



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS



**VARIABILIDAD OCEANOGRÁFICA DEL HÁBITAT DE LOS STOCKS
DE *Sardinops sagax* (Jenyns, 1842) (Clupeiformes: Clupeidae) EN EL
SISTEMA DE LA CORRIENTE DE CALIFORNIA (1981-2005).**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
DOCTORADO EN CIENCIAS MARINAS

PRESENTA:

M. en C. RICARDO GARCÍA MORALES

La Paz, Baja California Sur, Diciembre de 2012.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARIA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO
ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., siendo las 12:00 horas del día 13 del mes de Noviembre del 2012 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CICIMAR para examinar la tesis titulada:

"VARIABILIDAD OCEANOGRÁFICA DEL HÁBITAT DE LOS STOCKS DE *Sardinops sagax* (Jenyns, 1842) (Clupeiformes: Clupeidae) EN EL SISTEMA DE LA CORRIENTE DE CALIFORNIA (1981-2005)"

Presentada por el alumno:

GARCÍA

Apellido paterno

MORALES

materno

RICARDO

nombre(s)

Con registro:

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| A | 0 | 9 | 0 | 1 | 6 | 8 |
|---|---|---|---|---|---|---|

Aspirante de:

DOCTORADO EN CIENCIAS MARINAS

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR LA DEFENSA DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISION REVISORA

Directores de Tesis

DR. ROBERTO FÉLIX URAGA
Director de Tesis

DR. BERNARDO SHIRASAGO GERMÁN
2º. Director de Tesis

DRA. ROSA ISABEL OCHOA BÁEZ

DRA. LAURA SÁNCHEZ VELASCO

DR. ÁNGEL RAFAEL JIMÉNEZ ILLESCAS

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES

DRA. MARÍA MARGARITA CASAS VALDEZ



I.P.N.
CICIMAR
DIRECCIÓN



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

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., el día 21 del mes Noviembre del año 2012
el (la) que suscribe MC. RICARDO GARCÍA MORALES alumno(a) del
Programa de DOCTORADO EN CIENCIAS MARINAS
con número de registro A090168 adscrito al CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS
manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de tesis, bajo la dirección de:
DR. ROBERTO FÉLIX URAGA y DR. BERNARDO SHIRASAGO GERMÁN
y cede los derechos del trabajo titulado:

“VARIABILIDAD OCEANOGRÁFICA DEL HÁBITAT DE LOS STOCKS DE *Sardinops sagax* (Jenyns, 1842)
(Clupeiformes: Clupeidae) EN EL SISTEMA DE LA CORRIENTE DE CALIFORNIA (1981-2005)”

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

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Éste, puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección: rigarciam@ipn.mx - rfelix@ipn.mx - shirasag@hotmail.com

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

MC. RICARDO GARCÍA MORALES

nombre y firma

ÍNDICE.

| | |
|---|------|
| LISTA DE FIGURAS. | i |
| LISTA DE TABLAS. | v |
| GLOSARIO. | vi |
| RESUMEN. | xiii |
| ABSTRACT. | xv |
| 1. INTRODUCCIÓN. | 1 |
| 2. ANTECEDENTES. | 4 |
| 2.1 DINÁMICA OCEANOGRÁFICA. | 4 |
| 2.2 DINÁMICA POBLACIONAL DE LA SARDINA. | 12 |
| 3. HIPÓTESIS. | 17 |
| 4. OBJETIVOS. | 17 |
| 4.1. OBJETIVO GENERAL. | 17 |
| 4.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS. | 17 |
| 5. ÁREA DE ESTUDIO. | 18 |
| 6. MATERIAL Y MÉTODOS. | 21 |
| 6.1. IMÁGENES DE SATÉLITE. | 21 |
| 6.2. BASE DE DATOS DE ÍNDICES CLIMÁTICOS. | 21 |
| 6.3. BASE DE DATOS BIOLÓGICOS. | 22 |
| 6.4. REGIONALIZACIÓN. | 22 |

| | |
|---|----|
| 6.5. TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL MAR Y CONCENTRACIÓN DE CLOROFILA “a”. | 23 |
| 6.6. FENÓMENOS DE MESOESCALA. | 24 |
| 6.7. ESTACIONALIDAD DE CAPTURAS. | 25 |
| 6.8. MODELOS CONCEPTUALES. | 26 |
| 6.9. ESTADÍSTICA. | 27 |
| 7. RESULTADOS. | 28 |
| 7.1. VARIABILIDAD ANUAL DEL PDO Y “EL NIÑO”. | 28 |
| 7.2. VARIABILIDAD ANUAL DE LA CAPTURA DE SARDINA. | 30 |
| 7.3. ANÁLISIS DE CORRELACIÓN Y COMPONENTES PRINCIPALES PARA LOS ÍNDICES CLIMÁTICOS E ÍNDICE DE CAPTURAS. | 31 |
| 7.4. VARIABILIDAD ANUAL Y MENSUAL DE TSM EN LA COSTA OESTE DE LA PBC Y EU. | 32 |
| 7.5. ANÁLISIS DE CORRELACIÓN Y COMPONENTES PRINCIPALES PARA LOS ÍNDICES CLIMÁTICOS Y TSM ANUAL. | 33 |
| 7.6. ANÁLISIS DE CORRELACIÓN DE SPEARMAN Y COMPONENTES PRINCIPALES PARA LOS ÍNDICES CLIMÁTICOS Y TSM MENSUAL. | 36 |
| 7.7. VARIABILIDAD ANUAL Y MENSUAL DE CHL “a” EN LA COSTA OESTE DE LA PBC Y EU. | 37 |
| 7.8. ANÁLISIS DE CORRELACIÓN Y COMPONENTES PRINCIPALES PARA LOS ÍNDICES CLIMÁTICOS Y CHL “a” ANUAL. | 38 |

| | |
|---|----|
| 7.9. ANÁLISIS DE CORRELACIÓN Y COMPONENTES PRINCIPALES PARA LOS ÍNDICES CLIMÁTICOS Y CHL “a” MENSUAL. | 40 |
| 7.10. VARIABILIDAD ANUAL Y ESTACIONAL DE FENÓMENOS DE MESOESCALA VS CAPTURAS, TSM Y CHL “a” EN EL SCC Y CORRELACIÓN SPEARMAN. | 41 |
| 7.11. ESTACIONALIDAD DE LAS CAPTURAS. | 49 |
| 7.12. ANÁLISIS DE CAPTURAS DE SARDINA DEL PACÍFICO VS TSM Y CHL “a”. | 50 |
| 7.13. ANÁLISIS DE LA VARIABILIDAD MENSUAL DE TSM, CHL “a” Y CAPTURAS POR ZONAS DE PESCA PARA EL STOCK TEMPLADO Y FRÍO. | 52 |
| 7.14. ANÁLISIS DE CORRELACIÓN Y COMPONENTES PRINCIPALES PARA LOS ÍNDICES CLIMÁTICOS Y LA VARIACIÓN DE CAPTURAS PARA LOS STOCKS TEMPLADO Y FRÍO. | 56 |
| 7.15. ANÁLISIS DE CORRELACIÓN PARA TSM, CHL “a” Y LA VARIACIÓN DE CAPTURAS PARA LOS STOCKS TEMPLADO Y FRÍO. | 57 |
| 7.16. MODELOS CONCEPTUALES DE SARDINA DEL PACÍFICO POR TSM, CHL “a” Y FENOMENOLOGÍA DE MESOESCALA POR ESTACIÓN DEL AÑO. | 57 |
| 7.16.1. Modelos Conceptuales Para Invierno. | 57 |
| 7.16.1. Modelos Conceptuales Para Primavera. | 60 |
| 7.16.1. Modelos Conceptuales Para Verano. | 62 |

| | |
|---|----|
| 7.16.1. Modelos Conceptuales Para Otoño. | 64 |
| 8. DISCUSIÓN. | 66 |
| 8.1. VARIABILIDAD ANUAL DEL PDO Y “EL NIÑO” Y SU RELACIÓN CON LA ABUNDANCIA DE SARDINA DEL PACÍFICO, TSM Y CHL “a”. | 66 |
| 8.2. VARIABILIDAD ANUAL Y ESTACIONAL DE FENÓMENOS DE MESOESCALA Y SU RELACIÓN CON CAPTURAS Y VARIABLES AMBIENTALES. | 69 |
| 8.3. MODELOS CONCEPTUALES DE DISTRIBUCIÓN DE SARDINA DEL PACÍFICO. | 72 |
| 9. CONCLUSIONES. | 76 |
| 9. RECOMENDACIONES. | 78 |
| 10. BIBLIOGRAFÍA. | 79 |

LISTA DE FIGURAS.

- Figura 1. Área de estudio (SCC, recuadro) y diagrama general de circulación en el Pacífico norte. Tomado de F. B. Schwing, NOAA Fisheries Service. Bahía Magdalena (BM), Isla Cedros (IC), Ensenada (EN), San Pedro (SP), Monterey (MY), Oregon y Washington (O-W) 19
- Figura 2. Áreas de pesca: Bahía Magdalena (BM), Isla Cedros (IC), Ensenada (EN), San Pedro (SP), Monterey (MY), Oregon y Washington (O-W) y ubicación de cuadrantes para extracción de datos ambientales. 23
- Figura 3. Representación gráfica de las anomalías positivas y negativas del índice del PDO. 29
- Figura 4. Representación gráfica de las anomalías positivas y negativas del índice de “El Niño” y “La Niña”. 29
- Figura 5. Descarga de sardina del Pacífico de las pesquerías de la costa oeste de la PBC y EU. 31
- Figura 6. Gráfica de componentes principales entre los índices del PDO, “El Niño” y el índice de pesca para cada zona. 32
- Figura 7. Promedios anuales para Bahía Magdalena, Isla Cedros, Ensenada, San Pedro, Monterey, Oregon y Washington. Las líneas punteadas representan los promedios de TSM para cada zona. 33
- Figura 8. Índices del PDO, “El Niño” y TSM anual para el SCC. 34
- Figura 9. Gráfica de componentes principales entre los índices del PDO, “El Niño” y TSM anual. 34

| | |
|--|----|
| Figura 10. Promedios mensuales de TSM para Bahía Magdalena, Isla Cedros, Ensenada, San Pedro, Monterey, Oregón y Washington. | 35 |
| Figura 11. Gráfica de componentes principales entre los índices del PDO, “El Niño” y TSM mensual. | 36 |
| Figura 12. Promedios anuales de Chl “a” para Bahía Magdalena, Isla Cedros, Ensenada, San Pedro, Monterey, Oregón y Washington. | 37 |
| Figura 13. Índices del PDO, El Niño y Chl “a” anual para el SCC. | 38 |
| Figura 14. Gráfica de componentes principales entre los índices del PDO, “El Niño” y Chl “a”. | 39 |
| Figura 15. Promedios mensuales de Chl “a” para Bahía Magdalena, Isla Cedros, Ensenada, San Pedro, Monterey, Oregón y Washington. | 40 |
| Figura 16. Grafica de componentes principales entre los índices del PDO, “El Niño” y Chl “a”. | 41 |
| Figura 17. Variación estacional de la captura mensual promedio en las pesquerías de la costa oeste de la PBC y el SC. | 49 |
| Figura 18. Total de capturas de sardina del Pacífico vs TSM en el SCC a) Capturas acumuladas para el periodo de 1981-2005, b) Distribución anual. | 50 |
| Figura 19. Total de capturas de sardina del Pacífico vs Chl “a” en el SCC a) Capturas acumuladas para el periodo de 1981-2005, b) Distribución anual. | 51 |
| Figura 20. Variación mensual de capturas, TSM y Chl "a" para los stocks templado y frio (zonas de distribución norte y sur). Las líneas continuas indican la captura mensual, la línea punteada la TSM y la discontinua la concentración de Chl "a". | 53 |

Figura 21. Diagramas de dispersión entre capturas, TSM y Chl "a" para el stock templado en las zonas de pesca de BM, IC, EN y SP. 54

Figura 22. Diagramas de dispersión entre capturas, TSM y Chl "a" para el stock frío en las zonas de pesca de EN, SP, MY y O&W. 55

Figura 23. Gráfica de componentes principales entre los índices del PDO, "El Niño" y la captura por stocks. 56

Figura 24. Modelos conceptuales de distribución de sardina por TSM, Chl "a" (sobrepuesto en las imágenes de invierno de 2003) y fenómenos de mesoescala para invierno. a) Imagen de promedio estacional de TSM con las isotermas de los 17°C y 22°C y patrones de distribución de los stocks sobrepuestos en las imágenes. b) Imagen de concentración de Chl "a" con las isoclinas de 0.6 and 1.8 mg/m³. c) Frecuencia de giros ciclónicos y anticiclónicos de mesoescala en cada área de pesca. 59

Figura 25. Modelos conceptuales de distribución de sardina por TSM, Chl "a" (sobrepuesto en las imágenes de primavera de 2003) y fenómenos de mesoescala para primavera. a) Imagen de promedio estacional de TSM con las isotermas de los 17°C y 22°C y patrones de distribución de los stocks sobrepuestos en las imágenes. b) Imagen de concentración de Chl "a" con las isoclinas de 0.6 and 1.8 mg/m³. c) Frecuencia de giros ciclónicos y anticiclónicos de mesoescala en cada área de pesca. 61

Figura 26. Modelos conceptuales de distribución de sardina por TSM, Chl "a" (sobrepuesto en las imágenes de verano de 2003) y fenómenos de mesoescala para verano. a) Imagen de promedio estacional de TSM con las isotermas de los

17°C y 22°C y patrones de distribución de los stocks sobrepuestos en las imágenes. b) Imagen de concentración de Chl "a" con las isolneas de 0.6 and 1.8 mg/m³. c) Frecuencia de giros ciclónicos y anticiclónicos de mesoescala en cada área de pesca. 63

Figura 27. Modelos conceptuales de distribución de sardina por TSM, Chl "a" (sobrepuesto en las imágenes de otoño de 2003) y fenómenos de mesoescala para otoño. a) Imagen de promedio estacional de TSM con las isothermas de los 17°C y 22°C y patrones de distribución de los stocks sobrepuestos en las imágenes. b) Imagen de concentración de Chl "a" con las isolneas de 0.6 and 1.8 mg/m³. c) Frecuencia de giros ciclónicos y anticiclónicos de mesoescala en cada área de pesca. 65

LISTA DE TABLAS.

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Fenómenos, capturas y promedios de TSM y Chl “a” para cada una de las zonas de pesca. | 42 |
| Tabla 2. Fenómenos, capturas y promedios de TSM y Chl “a” para cada una de las zonas de pesca. Los números en rojo indican los valores de correlación significativa. | 42 |
| Tabla 3. Fenómenos, capturas y promedios de TSM y Chl “a” en el SCC. Los valores en rojo indican los valores de correlación significativa. | 44 |
| Tabla 4. Capturas y Fenómenos por separado en el SCC. Los valores en rojo indican los valores de correlación significativa. | 45 |
| Tabla 5. Total de fenómenos y capturas por temporadas para las zonas de pesca de BM, IC EN. | 47 |
| Tabla 6. Total de fenómenos y capturas por temporadas para las zonas de pesca de SP, MY y O-W. | 48 |

GLOSARIO.

Abundancia: Número de individuos por unidad de área, distancia o tiempo durante el esfuerzo de observación.

Advección: Proceso mediante el cual son transportadas las propiedades inherentes en un fluido en movimiento. Aunque en las ecuaciones de movimiento, la advección es en las tres direcciones, en general se usa el término de advección para movimientos horizontales, mientras que los movimientos verticales se asocian al término "convección".

AESs: Agua Ecuatorial Subsuperficial.

Ambiente: Es un conjunto de elementos físico, químicos y biológicos capaces de, en un plazo corto o largo, causar efectos directos o indirectos sobre los seres vivos.

Anomalía: Diferencia entre el valor de una variable y su promedio a largo plazo en un lugar y tiempo determinado.

Anticiclónico: Hace mención a la dirección de rotación en los fenómenos oceánicos y atmosféricos, contrarios a la dirección de giro de los ciclones y al de la tierra, en sentido de las manecillas del reloj en el hemisferio norte y contrario en el hemisferio sur.

Área de distribución: Sitios donde han emigrado o de donde han inmigrado los organismos; además son los sitios donde se localizan actualmente las especies. Superficie sobre la cual se encuentra repartida una especie dada, tanto en la actualidad como en el pasado.

ASA: Agua Subártica.

AStS: Agua Subtropical Superficial.

ATS: Agua Tropical Superficial.

Ca: Cercano a.

Caracterización del hábitat: Determinación de los atributos particulares de una región, de modo que claramente se distinga de las demás.

CC: Corriente de California.

CCC: Contra Corriente de California.

CD: Corriente de Davidson.

Ciclónico: Se usa para definir la dirección de la rotación del giro de un fluido igual al de los ciclones y de la tierra; en sentido contrario al de las manecillas del reloj en el hemisferio norte y en el mismo sentido que éstas, en el hemisferio sur.

Contracorriente: Corriente marina que va en sentido contrario a la dirección general de las corrientes de la zona, por ejemplo, la Contracorriente de Davidson que fluye hacia el polo norte frente a las costas de California, cuando en la zona domina la Corriente de California con dirección hacia el ecuador.

Corriente oceánica: es un movimiento superficial de las aguas de los océanos y en menor grado, de los mares más extensos.

Convergencia: Fenómeno que se presenta cuando aguas de diferente origen tienen una componente de su flujo que se unen en una línea o en un área, la cual es llamada línea o zona de convergencia.

Correlación: En estadística y probabilidad, la correlación indica la fuerza y la dirección de una relación lineal entre dos variables aleatorias. Se considera que dos variables cuantitativas están correlacionadas cuando los valores de una de ellas varían sistemáticamente con respecto a los valores homónimos de la otra. La correlación entre dos variables no implica, por sí misma, ninguna relación de causalidad.

CSC: Contracorriente del Sur de California.

Distribución espacial: Disposición geográfica de los componentes de una población en un área determinada.

Distribución temporal: Disposición de los componentes de una población a lo largo del tiempo.

“El Niño”: es un fenómeno climático, erráticamente cíclico (Strahler habla de ciclos entre tres y ocho años), que consiste en un cambio en los patrones de movimiento de las corrientes marinas en la zona intertropical provocando, en consecuencia, una superposición de aguas cálidas procedentes de la zona del hemisferio norte inmediatamente al norte del ecuador sobre las aguas de emersión muy frías que caracterizan la corriente de Humboldt; esta situación provoca estragos a escala zonal (en la zona intertropical) debido a las intensas lluvias, afectando principalmente a América del Sur, tanto en las costas atlánticas como en las del Pacífico.

Hábitat: En el ecosistema, hábitat es el ambiente que ocupa una población biológica . Es el espacio que reúne las condiciones adecuadas para que la especie pueda residir y reproducirse, perpetuando su presencia.

Filamentos: Extensiones longitudinales o lenguas que se desprenden de fenómenos oceanográfico, constituidos principalmente por las surgencias costeras, las cuales transportan aguas características de dicha zona costera, como altas o bajas concentraciones de pigmentos fitoplanctónicos o aguas de mayor o menor temperatura.

Forzamiento: Se refiere a cualquier fuerza que aplicada sobre un fluido provoca alguna reacción. Por ejemplo, el viento que sopla sobre la superficie del mar es un forzamiento que induce algún tipo de movimiento del fluido.

Gran escala: Se refiere a las dimensiones de movimientos oceanográficos que abarcan extensiones desde varios cientos de kilómetros, hasta todo el océano.

Imagen de satélite: Imágenes obtenidas mediante sensores instalados en plataformas satelitales. Las imágenes son matrices de celdas, formadas por un número variable de columnas y filas. Cada celda representa espacialmente un área geográfica indivisible, determinando así el detalle espacial mínimo discernible dentro de la imagen. El valor que contiene cada celda es la expresión en energía de algún parámetro, variable o característica que define a esa área geográfica. Tanto la dimensión del área geográfica que representa cada celda, como la cantidad diferente de valores que pueda contener, varía dependiendo del origen de la imagen

Inestabilidades: Extensiones longitudinales o parcelas de agua que se desprenden principalmente de corrientes marinas, remolinos o frentes oceánicos, las cuales en su mayoría tienden a rotar, ya sea ciclónica o anticiclónicamente, o tomar una dirección aleatoria.

Intrusión de agua: Arribo de una masa de agua con características particulares de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto u otros parámetros oceanográficos, a una zona en particular, la cual puede ser identificable por algún método.

Isoterma: Una línea o superficie que conecta en una gráfica todos los puntos de igual valor de la temperatura, ya sea en el tiempo o en el espacio.

Km: Kilómetros

“La Niña”: Hace referencia al período con temperatura superficial del mar con anomalías frías en el Océano Pacífico Ecuatorial en sus porciones occidental y central. Asociado a una inusual baja presión atmosférica hacia el oeste de la línea internacional del tiempo y una presión atmosférica alta al este de la misma (Hayward *et al.*, 1999).

m/m³: Miligramos por metro cubico de clorofila “a”.

Masas de agua: Un volumen de agua usualmente identificado por valores típicos de temperatura y salinidad que le son característicos y que permiten distinguirlo de las aguas circundantes. Su formación ocurre en la interfaz con la atmósfera y por la mezcla de dos o más tipos de agua.

Meandro: Son las curvaturas muy pronunciadas en la trayectoria de una corriente marina

Mesoescala: Se refiere a la extensión geográfica de fenómenos marinos, la cual va desde decenas a cientos de kilómetros.

Modelo Conceptual: Es una idea global sobre los individuos, los grupos, las situaciones y los acontecimientos que interesan a una disciplina. Los modelos conceptuales se construyen a partir de los conceptos que son palabras que describen imágenes, fenómenos, y de las proposiciones que establecen las relaciones entre los conceptos. Por tanto un modelo conceptual es un grupo de conceptos y de juicios que lo integran dentro de una configuración.

Morfotipo: Categoría en la que un individuo es clasificado de acuerdo con sus formas.

Pelágico: Se refiere a los organismos que viven en la columna de agua, independientes del fondo oceánico.

Población: es un conjunto de organismos o individuos de la misma especie que coexisten en un mismo espacio y tiempo, y que comparten ciertas propiedades biológicas y se pueden reproducir entre ellos. Profundidad de la capa de mezcla: Es el espesor de la capa superficial que es mezclada por el efecto del viento y la advección, en la práctica se caracteriza por la distribución vertical de temperatura y salinidad.

Remolinos Oceanográficos: Movimiento de mar el cual presenta vorticidad, característica de un fluido en rotación. Dicha rotación puede ser anticiclónica, esto es en sentido de las manecillas del reloj, y ciclónica, rotación en contra de las manecillas del reloj. Ambos sentidos son en el hemisferio norte, siendo contrarios en el hemisferio sur.

SCC: Sistema de la Corriente de California.

Stock: Parte de una población de peces que se considera desde el punto de vista de su utilización actual, posee los mismos parámetros de crecimiento, mortalidad y un área única de desove, a la cual los adultos regresan año tras año.

Subpoblación: Grupo de organismos de la misma especie que viven en un área o región particular.

Surgencias: Movimientos ascendentes mediante los cuales las aguas de los niveles subsuperficiales son llevadas hasta la superficie, desde profundidades generalmente menores de 100-200 metros, y removidas desde el área de transporte por el flujo horizontal, produciéndose así un aporte de nutrientes a las aguas superficiales empobrecidas por el consumo biológico.

Variable: Objeto, proceso o característica que está presente, o supuestamente presente, en el fenómeno que un científico quiere estudiar. Los objetos, procesos

o características reciben el nombre de variables en la medida en que su modificación provoca un cambio en otro objeto, proceso o característica.

RESUMEN.

Estudios recientes sugieren que, además de las variaciones oceánicas normales, las interacciones océano-atmosfera cambian drásticamente los ecosistemas como es el caso del Sistema de la Corriente de California (SCC). La población de sardina del Pacífico (*Sardinops sagax*) en el SCC, está constituida por varios stocks con una importante variación en espacio y tiempo. Este estudio analizó la variabilidad oceanográfica en el SCC, incluyendo los efectos que tienen sobre ésta algunos fenómenos de macroescala y mesoescala, y la influencia de esta variabilidad sobre la distribución de los stocks de sardina del Pacífico, mediante dos métodos, el primero consistió en examinar la variabilidad mensual de los índices del PDO y “El Niño” y su relación con variables biológicas y físicas como las capturas de sardina, temperatura superficial del mar (TSM), la concentración de clorofila “a” (Chl “a”) y fenómenos de mesoescala; en el segundo, se realizó una comparación de la variabilidad de TSM, Chl “a” y los fenómenos de mesoescala, con la distribución y abundancia de capturas de sardina. Ambos métodos mostraron una importante correlación entre las variables, tanto mensual, como interanual. Tres picos de abundancia fueron observados para el análisis entre captura de sardina versus TSM y Chl “a”. Para temperatura, el primero y mayor pico, fue localizado por debajo de los 17°C (stock frío), el segundo entre 17°C y 22°C (stock templado), y el tercero arriba de los 22°C (stock cálido). Este último stock fue excluido de los análisis, por su poca presencia en el área de estudio. Estos rangos de temperatura varían en espacio y tiempo determinando la distribución latitudinal de los stocks de sardina. Para el análisis de captura y la concentración de Chl “a”, el primero y mayor pico, es delimitado por el

rango de 0.6 a 1.8 mg/m³, el segundo y el tercero, con mucho menores capturas, entre 1.8 mg/m³ a 3.4 mg.m³ y 3.4 a 6 mg/m³, respectivamente. Estos rangos de concentración de Chl “a” variaron en espacio y tiempo, determinando la distribución longitudinal de los stocks, esto significa una distribución desde la costa hacia la zona oceánica. Tres modelos conceptuales de distribución fueron elaborados en el SCC para cada época del año, con los promedios estacionales de capturas de sardina e imágenes de TSM y Chl “a”, así como la presencia de giros de mesoescala, para describir la distribución espacio-temporal de los stocks de sardina. En estos modelos se observó que los stocks templado y frío se desplazan hacia el sur en invierno, alcanzando su distribución más sureña en primavera. En verano inician su desplazamiento hacia el norte y en otoño alcanzan su distribución más norteña. Adicionalmente, con los modelos de distribución de capturas y Chl “a”, se establecieron los límites de distribución longitudinal de los stocks, esto es, de la costa hacia el océano, y con los modelos de fenomenología de mesoescala, se observó que los giros anticiclónicos, surgencias y filamentos tienen mayor presencia en el área de distribución de los stocks.

ABSTRACT.

Recent studies suggest that besides normal ocean variations the ocean-atmosphere interactions change drastically the ecosystem conditions as in the case of the California Current System (CCS). The Pacific sardine population (*Sardinops sagax*) in the CCS is constituted by several stocks which present important variations in space and time. This study analyzed the oceanographic variability in the CCS, including the effects of macro and mesoscale phenomena on this current system, and the influence of this variability in the distribution of sardine stocks, all of this through two methods. The first one consisted in examine the monthly variability of PDO and "El Niño" indices and their relationship to biologic and physical variables as sardine captures, sea surface temperature (SST), chlorophyll "a" concentrations (Chl "a") and mesoscale phenomena. In the second analyses, a comparison was made between the variability of TSM, Chl "a" and mesoscale phenomena with the distribution and abundance of sardine catches. Both macro and mesoscale analyses showed an important correlation between variables, in monthly and interannual bases. Three abundance peaks were observed from the analysis between sardine catch versus SST and Chl "a" data. In the case of SST, the first and highest peak was located below the 17°C (cold stock), the second one between 17°C and 22°C (temperate stock), and the third one above the 22°C (warm stock). The warm stock was excluded from the analysis because of its scarce presence in the study area. The temperature ranges vary in space and time determining the latitudinal distribution of the sardine stocks. In the case of the catch and Chl "a" concentration analysis, the first one and highest peak is delimited by the range from 0.6 to 1.8 mg/m³, the second and the third one, with

many less catches, between 1.8 mg/m^3 to 3.4 mg.m^3 and 3.4 to 6 mg/m^3 , respectively. These Chl "a" concentration ranges vary in space and time and determined the longitudinal distribution boundaries of the stocks, this means, the distribution from the coastal to the oceanic zone. Three conceptual models of distribution were developed in the CCS, with seasonal averages of sardine catches and SST and Chl "a" images, as well as the presence of mesoscale eddies, all to describe the spatial-temporal distribution of sardine stocks. The models showed that the temperate and cold stocks moved southward in winter, reaching their southernmost distribution in spring. In summer begin their northward movement and in fall reached its northernmost distribution. Additionally, with the catch distribution models and Chl "a", were established the longitudinal distribution boundaries of the stocks, this is, from the coastal to the oceanic zone, and with the mesoscale phenomenology models, was observed that anticyclonic gyres, upwelling and filaments have a greater presence in the area of distribution of stocks.

1. INTRODUCCIÓN.

En el estudio de las comunidades marinas se ha observado que la distribución de las especies está asociada a variables ambientales, por lo que diversos organismos han sido utilizados como indicadores de características particulares del ambiente (Ekman, 1953). Los peces pelágicos menores se presentan principalmente en las zonas de corrientes costeras de frontera este con alta productividad. La heterogeneidad espacio-temporal de las características físicas del ambiente costero y la alta movilidad de los pelágicos menores, causan que se distribuyan en áreas donde las condiciones son más favorables para su desarrollo (Massé *et al.*, 1996; Freón *et al.*, 2005).

La sardina del Pacífico (*Sardinops sagax*) actualmente es la especie más importante asociada al Sistema de la Corriente de California (SCC). Esta especie se distribuye desde el sur de Alaska hasta el Golfo de California (Kramer & Smith, 1971; Lluch-Belda *et al.*, 1986), y es un recurso transfronterizo que comprende tres países: Canadá, Estados Unidos y México, donde soporta importantes pesquerías (Wolf, 1992; Félix-Uraga *et al.*, 1996, 2004, 2005; McFarlane & Beamish, 1999, 2001). *Sardina* existe como un grupo de poblaciones en el Atlántico oriental y el Mediterráneo, y *Sardinops* abarca cinco poblaciones regionales aisladas geográficamente: (1) Sudáfrica-Namibia, (2) Australia-Nueva Zelanda, (3) Chile Perú, (4) Japón-Rusia y (5) México-EUA- Canadá (Grant & Leslie 1996).

Generalmente se acepta que la población de sardina de la costa oeste de Norte América consiste de tres subpoblaciones o stocks. Una población norteña (del sureste de Alaska al norte de Baja California), una población sureña (del sur

de California al sur de la península de Baja California) y la subpoblación del Golfo de California, las cuales se caracterizaron con base en técnicas serológicas (Vrooman, 1964) y estudios de dinámica poblacional (Radovich, 1982) y más recientemente un estudio de capturas y temperaturas (Félix-Uraga *et al.*, 2004; 2005). Un estudio genético mediante electroforesis mostró que no hay variación genética entre estos stocks de sardina (Hedgecock *et al.*, 1989). Ya que los rangos de distribución de las subpoblaciones norteña y sureña se sobreponen, sus migraciones hacia el sur y hacia el norte tienden a estar sincronizadas, de tal manera que pueden ocupar la misma área pero en épocas distintas posiblemente teniendo flujo genético (Hill *et al.*, 2009).

Estos grandes movimientos estacionales que presenta la sardina en el SCC, aproximadamente hasta 300 millas náuticas fuera de la costa (Macewicz & Abramenkoff, 1993), desde Baja California, México, hasta Canadá (Clark & Janssen, 1945) y desde el sur de California al sur de la Península de Baja California (Félix-Uraga *et al.*, 2004; 2005), aparentemente siguen hábitats caracterizados por rangos específicos de temperatura superficial del mar (Lluch-Belda *et al.*, 1991; Ware, 1999; Lo *et al.*, 2007) y de productividad primaria (Reiss *et al.*, 2008).

La complejidad de la pesquería de pelágicos menores en el SCC, ha sido durante un tiempo prolongado todo un desafío para los investigadores desde el siglo pasado. La población de sardina del Pacífico ha sufrido grandes fluctuaciones en su abundancia con su pico en la década de los treinta y su colapso en la década de los cincuenta, manteniéndose a niveles bajos hasta la

década de los ochenta cuando inició la actual recuperación de este recurso (Pacific Fisheries Management Council, 2004).

Actualmente existen numerosos estudios sobre la sardina del Pacífico en el SCC y la mayoría de ellos se han enfocado al problema de estimar su abundancia y su distribución, aunque también en explicar los cambios de los mismos y la manera en que éstos son afectados por el ambiente. Sin embargo, varios de ellos no integran la dinámica oceanográfica de dicho sistema y sus variaciones estacionales e interanuales. Por lo que la representación de sus hábitats se ha limitado, en la mayoría de los casos, a la descripción de la distribución de algunos parámetros ambientales en áreas particulares.

Por lo tanto, la finalidad de este trabajo es realizar un análisis de la dinámica oceanográfica del SCC, asociándola a las descripciones de la dinámica poblacional de la sardina del Pacífico, que nos permita realizar un análisis integral de los eventos ambientales de macroescala y de variabilidad de los fenómenos de mesoescala, a fin de relacionarlos con la presencia o ausencia de estos peces y con esto tratar de caracterizar de una mejor manera el hábitat de las diferentes subpoblaciones o stocks. De acuerdo con lo anterior, en el presente trabajo se describe la variabilidad ambiental y la dinámica oceanográfica en el SCC y su relación con los stocks de sardina del Pacífico, definidos en el modelo de distribución espacial y temporal de Félix-Uraga *et al.* (2004).

2. ANTECEDENTES.

2.1 DINÁMICA OCEANOGRÁFICA.

Según Edwards & Nelly (2007), las corrientes de frontera oriental son un importante componente del sistema climático global porque intercambian grandes cantidades de energía de la atmósfera. Josey *et al.* (1998), mencionan que en los océanos subtropicales del hemisferio norte, el mayor intercambio de energía ocurre en la región del Sistema de la Corriente de California (SCC).

Estudios realizados por Carr (2002) y Hickey (1998), señalan que el SCC es una típica corriente de frontera oriental caracterizada por surgencias costeras como consecuencia del viento a lo largo de la costa, giros ciclónicos y anticiclónicos y filamentos. Este sistema consiste de la Corriente de California (CC) que domina la superficie del océano (ca. 0-200 m), con una amplitud de (ca. 50-1000 km fuera de la costa) que fluye hacia el ecuador originada en el sur de Canadá hasta la Península de Baja California, México, alcanzando velocidades de 25 cm/s como lo sugiere Reid *et al.* (1962) y Talley (1993). En la parte sur de Punta Concepción esta corriente retorna hacia el norte para originar la Contracorriente del Sur de California (CSC). A veces este flujo no sigue hacia el norte y recircula en la Bahía del Sur de California para volverse el Giro del Sur de California. Esta corriente hacia el polo se suma en profundidad con la Contra Corriente de California (CCC), es estrecha (ca. 0-40 km y ca. 200-400 m de profundidad) con velocidades de 2 a 10 cm/s, transportando agua más cálida y salada desde Baja California hasta la Isla de Vancouver. La CCC es generada por gradientes de presión con valores altos de salinidad en el sur y agua fría con bajos

niveles de salinidad del norte. Adicionalmente un flujo débil hacia el polo se origina cerca de Punta Concepción llamado Corriente de Davidson (CD) el cual viaja hacia el norte hasta la Isla de Vancouver, en comparación con la CCC, la CD es más ancha (ca.100 km) y se extiende por el talud continental. En promedio la CC es más intensa en primavera cuando ésta se encuentra cercana a la costa en el talud continental y la CCC se desarrolla en primavera y persiste hasta otoño, también la CD domina el flujo sobre la plataforma y más allá del talud continental durante invierno según Pavlova (1966); Pares-Sierra (1989); Hickey (1998); Talley (1993).

Las masas de agua presentes en el SCC son el Agua Subártica (ASA) transportada hacia el sur por la Corriente de California (CC) siendo ésta más intensa en primavera según Perez-Brunius *et al.* (2007), sus valores mínimos de temperatura se presentan entre 200 y 500 km fuera de la costa con bajos niveles de salinidad. También está presente Agua Tropical Superficial (ATS) y Agua Subtropical Superficial (AStS) proveniente del sur y suroeste de la península con mayores temperaturas y salinidades relativamente altas en otoño e invierno como lo mencionan Hickey, (1998); Lynn & Simpson (1987); Saytsev *et al.* (2007). Bajo la superficie, entre los 100 y los 400 m de profundidad se encuentra el flujo hacia el polo de la Contra Corriente de California (CCC) éste transporta Agua Ecuatorial Subsuperficial (AESs) según información reportada por Durazo & Baumgartner (2002). Las fronteras entre estas masas de agua cambian de posición en escalas temporales notablemente diversas y la confluencia de estas masas de agua, propician las condiciones para la activación de procesos de mezcla y agitación, en particular en la capa superior del océano (Sprintall & Tomzack, 1992), las cuales

modulan la diversidad biológica y la variabilidad química en la región (Bograd & Lynn, 2003; Gaxiola-Castro *et al.*, 2008; Durazo, 2009).

Los estudios más generales de circulación oceánica (Sverdrup & Fleming, 1941; Hickey, 1979; Lynn & Simpson, 1987) muestran que la intensificación del SCC está controlada por los vientos del oeste. La CC se manifiesta cerca de la costa en los meses de abril y mayo, es entonces cuando se elimina la contracorriente costera de California (CCC). Al final del verano y durante el otoño la CC es menos intensa, justo cuando la CCC se intensifica.

Es común observar remolinos de mesoescala en el SCC. Estos remolinos son trazados regularmente usando datos de altimetría, datos de hidrografía y cuerpos de deriva superficiales o subsuperficiales con seguimiento por GPS. Empleándose datos de altimetría Strub & James (2000) mostraron la variabilidad de la actividad de remolinos de mesoescala en la CC. Y con los datos de hidrografía Huyer *et al.* (1998) encontraron remolinos subsuperficiales frente al norte de California y Simpson & Lynn (1990) observaron rasgos similares frente al sur de California. También, mediante flotadores liberados en la Contracorriente Subsuperficial de California, Garfield *et al.* (1999) mostraron giros propagándose hacia el oeste.

En la región sur de la CC (frente a Baja California) el patrón de circulación en la superficie del océano está caracterizado por remolinos de mesoescala, meandros y frentes (Lynn & Simpson, 1987; Parés-Sierra *et al.*, 1997; Soto-Mardones *et al.*, 2004; Espinoza-Carreón *et al.*, 2004; Durazo *et al.*, 2005). En esta región, han sido observados frecuentemente remolinos de mesoescala

principalmente en el verano (Schwing *et al.*, 2002; Venrick *et al.*, 2003), y sus propiedades fueron descritas en Soto-Mardones *et al.*, (2004).

Durante los meses de marzo a julio, se intensifican los vientos del noroeste los cuales crean condiciones favorables para la generación de surgencias costeras (Hickey, 1979). En este periodo la CC se intensifica acercándose a la costa (dirección norte-sur), al mismo tiempo, la Contracorriente Subsuperficial de California, fluye cerca de la costa en dirección al polo norte, llevando aguas cálidas. En los meses de septiembre a febrero los vientos son predominantemente del sureste y las surgencias cesan.

Los cambios interanuales de TSM en el Pacífico Nororiental que ocurren en periodos aproximados de 3 a 7 años, han sido identificados en su conjunto como parte del evento de “El Niño” (Parés–Sierra *et al.*, 1997). Generalmente el fenómeno de “El Niño” es reconocido como un evento de latitudes bajas, sin embargo se ha demostrado que contribuye de manera significativa a la energía total de la región (Parés-Sierra & O'Brien, 1989). Seguido de un periodo de restauración de condiciones normales en transición a un periodo de anomalías negativas de salinidad y temperatura, asociadas éstas con el fenómeno de “La Niña” (Durazo & Baumgartner, 2002; Mendelsohn *et al.*, 2003).

La respuesta física del SCC al Fenómeno de “El Niño” ha sido reportada ampliamente por Chelton *et al.* (1982); Emery & Hamilton (1985); Wooster & Fluharty (1985); Mysak (1986); Chavez *et al.* (2002). Desde de una perspectiva de ecosistema, “El Niño” es un factor físico de importancia que afecta la producción primaria y la disponibilidad de alimento, agregaciones de especies, reproducción,

dispersión larval, barreras de migración condiciones fisiológicas extremas y cambios en la composición e interacción de especies.

La influencia que tiene “El Niño” en el ecosistema de la CC es principalmente una reducción en los vientos favorables para las surgencias y produce una fuerte estratificación vertical reduciéndose el aporte de nutrientes hacia las capas superficiales y por ende una baja biomasa de plancton (Kahru & Mitchell, 2000; Bograd & Lynn, 2001), y altera la abundancia y distribución de numerosas especies de peces y mamíferos marinos (Sette & Isaacs 1960; Wooster & Fluharty, 1985; Chavez *et al.*, 2002). Un Niño moderado normalmente produce aguas más cálidas que acelera el crecimiento de algunas especies como la sardina del Pacífico, pero aunque se reduce la capacidad de algunas especies que prefieren aguas más frías o reduce su distribución y se concentra cerca de la costa (Schwing *et al.*, 2005).

Otro efecto de “El Niño” es que la CCC se incrementa introduciendo una inusual entrada de agua más cálida y de especies de plancton a la CC. Este proceso de advección a lo largo de la costa es un proceso muy diferente al calentamiento superficial. Ya que “El Niño” no sucede al mismo tiempo que la intrusión de la CCC, llegan a afectar de manera diferente a las poblaciones y estos efectos pueden ser desfavorables. Por ejemplo, el hábitat del desove de la sardina generalmente se define en la región de TSM de 14°C la cual se incrementó en “El Niño” de 1997-98 ocasionándose una reducción en las surgencias y en consecuencia una reducción en el alimento de los adultos de sardina y una pobre producción de huevos. Por otro lado las surgencias presentaron un record en 1999 y contribuyeron a una elevada producción de

huevos a pesar del desplazamiento de aguas cálidas mar adentro (Schwing *et al.*, 2005).

En general, frente a la Península de Baja California, la temperatura disminuye de la costa hacia el mar abierto y la salinidad disminuye en la misma dirección. La zona de dominio de aguas ecuatoriales presenta temperaturas de aproximadamente 19°C a 21°C y salinidades promedio anuales y 33.9 a 34.6, respectivamente, según la latitud de norte a sur. En los meses de primavera se presentan las anomalías negativas máximas para ambos parámetros (-5.1°C y -0.35); en verano se presentan las anomalías positivas máximas de temperatura (+4°C), y en otoño las anomalías positivas máximas de salinidad (+.22 y +.24 respectivamente) (Gómez-Valdéz & Vélez-Muñoz, 1982).

En la zona de dominio de aguas transicionales los cambios de temperatura y salinidad son más bajos que en la zona ecuatorial. Se registran promedios anuales de 16.5°C a 15.7°C y 33.6 a 33.4 respectivamente, de norte a sur. Las temperaturas y salinidades más altas se presentan en verano y otoño (+2.5°C y +0.09) y las más bajas en invierno y primavera (-1.5°C y -0.06) (Gómez-Valdéz & Vélez-Muñoz, 1982).

El índice de la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO) es definido como el principal componente en las anomalías anuales y mensuales de temperatura superficial del mar en el Pacífico Norte (por encima de los 20°N) (Mantua & Hare, 2002), teniendo cambios de fases negativas a fases positivas con un periodo de duración de aproximadamente de 20 a 30 años. Por ejemplo durante el régimen negativo del PDO, la temperatura superficial del mar en la costa del Golfo de Alaska y CC tiende a ser fría, durante el régimen positivo del PDO principalmente

se vuelve cálida. Los cambios en el Centro de Baja Presión Aleutiana (BPA) también pueden estar asociados con un desplazamiento hacia el centro de vientos invernales, con cambios medios en la intensidad del viento junto a la costa en Norte América (Mantua *et al.*, 1977). Esto puede llevar cambios en la intensidad de la CC (Smith & Moser, 2003), también como bifurcaciones en la corriente subártica (Chelton & Davis, 1982), y desde la posición en los límites del norte de la CC introduciendo una importante cantidad de agua subártica a la CC.

Ambos afectan localmente las condiciones del océano (Chelton, 1981; Lynn & Simpson, 1987; Pares-Sierra & O'Brien, 1989; Strub, *et al.*, 1990). Un ejemplo de esto, es el calentamiento de la capa superficial del mar, en la costa de América, causado una depresión de la termoclina fuera de la costa, además de debilitar la Corriente de California y la intensidad de las surgencias (Chelton, *et al.*, 1982; Simpson, 1992; Hollowed, 1992; Hickey, 1998). También producen forzamiento físico y biológico y variabilidad en el Sistema de la Corriente de California. Strub *et al.*, (1990) describe cuatro fuentes de forzamiento oceánico: 1) la entrada de viento del oeste cerca de los límites del Sistema de la Corriente de California, 2) el transporte hacia la costa de agua del Pacífico central desde el oeste, 3) la propagación de ondas internas dentro de la región desde el sur, 4) la topografía característica de la región ocasionando surgencias, remolinos, jets y meandros los cuales interactúan con la Corriente de California (Bateen, 1997; Barth *et al.*, 2000).

El SCC exhibe una gran diversidad de procesos físicos y biológicos ambos latitudinalmente de norte a sur y longitudinalmente de este a oeste, (Parrish *et al.*, 1981; Strub *et al.*, 1990; Mendelssohn *et al.*, 2003; Huyer *et al.*, 1979; Strub, & James, 1988; Lynn & Simpson, 1987), quienes desde una perspectiva latitudinal

dividen el SCC en 3 sub áreas. La región I, del norte de Cabo Blanco hasta Washington & Oregón, caracterizada por: fuertes tormentas en invierno, forzamiento de viento estacionales y una significativa entrada de agua fría, con una línea de costa relativamente plana, alta producción primaria estacional, alta producción de biomasa zooplanctónica y estuarios principalmente como zonas de crianza. La región II, entre Cabo Blanco y Cabo Mendocino (norte y centro de California) definida por vientos favorables para las surgencias, intensas surgencias costeras y filamentos, menor entrada de agua fría, mayor cantidad de promontorios en la costa, alta productividad primaria estacional, biomasa zooplanctónica estacional y desoves mínimos por especies pelágicas. La región III, sur de Punta Concepción (sur de California y Baja California), está caracterizada por menos tormentas, menor intensidad de vientos, menor intensidad en las surgencias locales, amortiguamiento estacional en la producción primaria, estratificación estable, amortiguamiento en la biomasa zooplanctónica y mayor mezcla de masas de agua.

Desde una perspectiva “longitudinal”, el flujo hacia el ecuador de la CC y su interacción con la costa y las aguas oceánicas, se definen regiones específicas dentro del sistema. Por ejemplo Lynn & Simpson, (1987), definen tres procesos dominantes en la región sur de la CC entre los 30 y 35°N, que son producidos de forma perpendicular a la costa (este a oeste); el primer proceso, basado en una amplitud dinámica, el segundo en el cambio estacional y el tercero es el producto de la transición costa océano. La zona oceánica es controlada en su mayoría por interacciones océano atmosfera y procesos dinámicos de gran escala (> 1000 km). La zona de transición se caracteriza por eventos no estacionales como remolinos

(eddies) de mesoescala fuera de la costa y meandros localizados en el flujo medio de la CC. La zona costera está caracterizada por alteraciones o inestabilidades en la superficie y estructuras por debajo de la superficie.

2.2 DINÁMICA POBLACIONAL DE LA SARDINA.

Las sardinas son un grupo de peces pelágicos pequeños que forman cardúmenes y que habitan aguas costeras templadas y subtropicales. El género *Sardinops* se encuentra en el borde oriental de los sistemas de corrientes del Atlántico y del Pacífico. Estudios recientes indican que en las corrientes de Benguela, California, Kuroshio, Humbolt y frente a Nueva Zelanda y Australia, hay una sola especie *Sardinops sagax*, (Parrish *et al.*, 1989), pero estas poblaciones en las diferentes áreas del mundo, pueden ser diferentes al nivel de subespecies (Bowen y Grant, 1997).

La sardina del Pacífico ha sido la especie más abundante en la Corriente de California. Cuando la población es grande, se distribuye desde el sureste de Alaska (57° Latitud N) hasta la punta de la Península de Baja California (23° latitud N) y el Golfo de California (Félix-Uraga, 2006). La sardina del Pacífico probablemente ha migrado extensivamente durante los períodos históricos cuando la abundancia fue alta, moviéndose al norte hasta Columbia Británica en el verano y retornando al sur de California y norte de Baja California, en el otoño esta región es habitada por las sardinas más norteñas y desde San Pedro California hasta Bahía Magdalena, las sardinas mas sureñas. Estudios de marcado (Clark & Janssen 1945) indican que las sardinas más viejas y grandes se movían más al

norte. Los patrones migratorios probablemente fueron complejos y el momento y la extensión del movimiento estuvieron afectados por las condiciones oceanográficas (Hart 1973) y la biomasa del stock. En primavera la sardina se concentra en la parte central y sur de California para su temporada principal de desove (Clark & Janssen, 1945), a medida que progresan las estaciones y aumenta la temperatura superficial del mar, los adultos de sardina migran hacia el norte siguiendo la zona costera (McClatchie, 2009), con algunos desoves esporádicos durante primavera y verano en Oregón y Washington (Emmett *et al.*, 2005) y ocasionalmente en Canadá (McFarlane *et al.*, 2005). Las sardinas se agregan en la parte sur de la Isla Vancouver, Columbia Británica en verano (Ware, 1999), en invierno la mayor parte de la sardina del norte se regresa, concentrándose de nuevo al sur para el próximo desove en primavera.

Varios estudios de Sardina del Pacífico están centrados en la identificación de stocks. Esto es relevante ya que su biología específica e información ecológica, son utilizadas para implementar estrategias de manejo con el objetivo de lograr una explotación sustentable del recurso. Actualmente la población de sardina del pacífico está constituida por varios stocks, este planteamiento se sustenta en parte por la presencia de varias áreas de desove separadas geográficamente (Marr, 1960; Parrish *et al.*, 1989), por información de marcado y recaptura (Clark, 1945), por conteo de vértebras (Clark, 1947; Wisner, 1960), por grupos sanguíneos (Sprague & Vrooman, 1962; Vrooman, 1964), por datos morfométricos (Wolf & Daugherty, 1964; De La Cruz-Agüero & García-Rodríguez, 2004) y por análisis genéticos (Hedgecock, *et al.*, 1989; Lecomte, *et al.* 2004; Gutiérrez-Flores, 2007). Todos estos estudios acerca de la distribución geográfica estacional y abundancia

de las poblaciones de sardina, sustentan la existencia de tres stocks. Sin embargo existe mucha incertidumbre acerca de cuántas sardinas residen en el stock más norteño y de cuántos individuos desovan fuera de Oregon y Washington lo que origina la posibilidad de ser considerado un cuarto stock o una población separada de aquellos que residen en California (Smith, 2005; Emmett et al., 2005).

En otros estudios basados en temperaturas, capturas y morfometría de otolitos, encontraron evidencia de tres stocks. Uno asociado a aguas frías de 13 a 17 °C, distribuido principalmente en California, otro fue relacionado con aguas a temperaturas de 17 a 22 °C habitando en gran parte de la costa oeste de la Península de Baja California y el tercer stock fue asociado con aguas cálidas (> 22°C), habitando principalmente en el Golfo de California (Félix-Uraga *et al.*, 2004, 2005). Otros estudios como los de (Hedgecock *et al.*, 1989; Lecomte *et al.*, 2004; Gutiérrez-Flores, 2007) con marcadores moleculares mencionan que no hay diferencias genéticas significativas entre estas subpoblaciones o stocks. García-Rodríguez *et al.* (2011), compararon sardinas de dos sitios a lo largo de la costa oeste de la Península de Baja California (Ensenada y Bahía Magdalena), usando dos enfoques: morfometría geométrica y secuencias de ADN mitocondrial, los resultados morfométricos mostraron diferencias significativas entre los tres grupos tal como fueron propuestos por Félix-Uraga *et al.* (2004, 2005), esto sugiere la existencia de diferentes morfotipos, a pesar de que el análisis molecular mostró que no existe una población filogenéticamente estructurada.

La identificación de los regímenes cálidos favorables para la sardina del Pacífico, han sido importantes en la descripción de los cambios multidecadales en las pesquerías de pelágicos (Lluch Belda *et al.*, 1989), pero esta descripción no

facilita la comprensión necesaria para predecir cómo las poblaciones pueden variar en condiciones futuras (Baumgartner *et al.*, 1992; Bakun & Broad, 2003). Se ha observado que el crecimiento en la población de anchoveta aumenta en los períodos fríos. Sin embargo, el crecimiento masivo de la población de sardina (hasta cuatro veces más grande que la población máxima de anchoveta) durante los períodos cálidos, con surgencias costeras débiles, ha intrigado a los investigadores de la pesca durante décadas (Lluch-Belda *et al.*, 1989; Chávez *et al.*, 2003). También se sabe que las poblaciones de sardina y anchoveta fluctúan en periodos de 20 a 30 años y prácticamente desaparecen en periodos similares (Lluch-Belda, 1989; Lluch-Cota, 1997). La sardina y la anchoveta están asociadas a fluctuaciones en la TSM de gran escala en periodos aproximados de 25 años, cuando el Pacífico presenta temperaturas cálidas en cuanto al promedio se le denomina (régimen cálido de la sardina) y cuando cambia a menores con respecto al promedio se le denomina (régimen frío de la anchoveta) (Chávez *et al.*, 2003).

La producción biológica en zonas de surgencias costeras es diferente a la producción biológica en zonas donde el rotacional del viento es intenso en el océano abierto ya que las surgencias costeras presentan una velocidad vertical alta produciendo un fitoplancton más grande, mientras que las surgencias por el rotacional del viento, con velocidad vertical más baja, producen un fitoplancton más pequeño (Margalef, 1978; Falkowski & Oliver, 2007). Rykaczewski & Checkley, (2008), compararon surgencias costeras y surgencias por el rotacional del viento con la producción de sardina, en donde los resultados indicaron que en las surgencias por el rotacional del viento fuera de la costa durante primavera y verano (mayo y julio) tuvieron una correlación significativa con la producción de

sardina, por el contrario, la correlación de la producción de sardina contra las surgencias costeras no fue significativa durante estos meses. Por otra parte Checkley *et al.* (2000) indican que el desove de sardina, se da principalmente en aguas fuera de la costa, en el borde de las surgencias costeras.

Zwolinski *et al.* (2011), realizaron un análisis de presencia-ausencia de huevos de sardina, descargas de sardina comercial y variables oceanográficas con datos de sensores remotos, desarrollando un modelo aditivo generalizado (GAM) para predecir los patrones de distribución espacio-temporal y el hábitat de la sardina norteña en la CC, independientemente de la condición de los desoves, encontrando relaciones significativas entre los huevos de sardina con la TSM, concentración de clorofila “a” y la altura del nivel del mar. Los resultados mostraron que los huevos de sardina se distribuían principalmente en temperaturas de 11.5 a 15.5°C y a concentraciones de clorofila “a” de 0.18 a 3.2 mg·m⁻³. A temperaturas menores de 11.5°C, en conjunto con clorofilas mayores de 3.2 mg·m⁻³, indican un afloramiento de aguas más frías definiendo sus límites de distribución. En aguas fuera de la costa los huevos de sardina se restringen a aguas oceánicas más cálidas, superiores a 15.5 °C y 0.18 mg·m⁻³ de concentración de clorofila “a”, el modelo también indicó que el máximo probable de presencia de sardina adulta ocurre a TSM de 13.5 °C y en concentración de 0.5 mg·m⁻³.

3. HIPÓTESIS.

El hábitat de los stocks de la sardina del Pacífico presentes en el borde oriental del Sistema de la Corriente de California, está influenciado por los parámetros ambientales que delimitan la distribución y abundancia de los stocks de sardina del Pacífico.

4. OBJETIVOS.

4.1. OBJETIVO GENERAL.

Determinar la variabilidad de TSM, Chl “a” así como fenómenos de macro y mesoescala en el Sistema de la Corriente de California, en relación con la distribución y abundancia de los stocks de sardina en las zonas de pesca comprendidas desde Washington, hasta Bahía Magdalena, durante el período de 1981 a 2005.

4.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS.

Estimar las variaciones mensuales, estacionales e interanuales de capturas de sardina del Pacífico en el Sistema de la Corriente de California, durante los años de estudio.

Establecer las variaciones mensuales e interanuales los índices PDO y “El Niño” en los diferentes hábitats de la sardina del Pacífico en el Sistema de la Corriente de California, durante los años de estudio.

Establecer las variaciones mensuales, estacionales e interanuales de Temperatura Superficial del Mar (TSM) y Clorofila “a” (Chl “a”), en los diferentes hábitats de la sardina del Pacífico en el Sistema de la Corriente de California, durante los años de estudio.

Analizar y determinar la evolución y número de estructuras de mesoescala durante los años de estudio.

Integrar un modelo conceptual de distribución espacio temporal de Sardina del Pacífico en el Sistema de la Corriente de California para cada estación del año para las variables de TSM, Chl "a" y giros de mesoescala.

Encontrar las relaciones existentes entre los marcos oceanográficos que determinan la distribución y abundancia de los stocks de sardina del Pacífico.

5. ÁREA DE ESTUDIO.

El área de estudio incluye las zonas de pesca de Bahía Magdalena (BM), Isla Cedros (IC), Ensenada (EN), San Pedro (SP), Monterey (MY) Oregon-Washington (OW), comprendidas en el Sistema de la Corriente de California desde los 22°N a 46°N y entre los 109°W a 132°W aproximadamente. Este sistema forma parte del segmento oriental del gran giro anticiclónico del Pacífico Norte, el cual comprende la Corriente Nor-Ecuatorial, Kuroshio, Pacífico Norte y Corriente de Alaska, en donde Holladay *et al.* (1975); Hickey (1979); Soto *et al.* (2004) mencionan que este giro de macroescala está influenciado por el forzamiento de vientos de gran escala, que determinan las variaciones en su intensidad (Fig. 1).

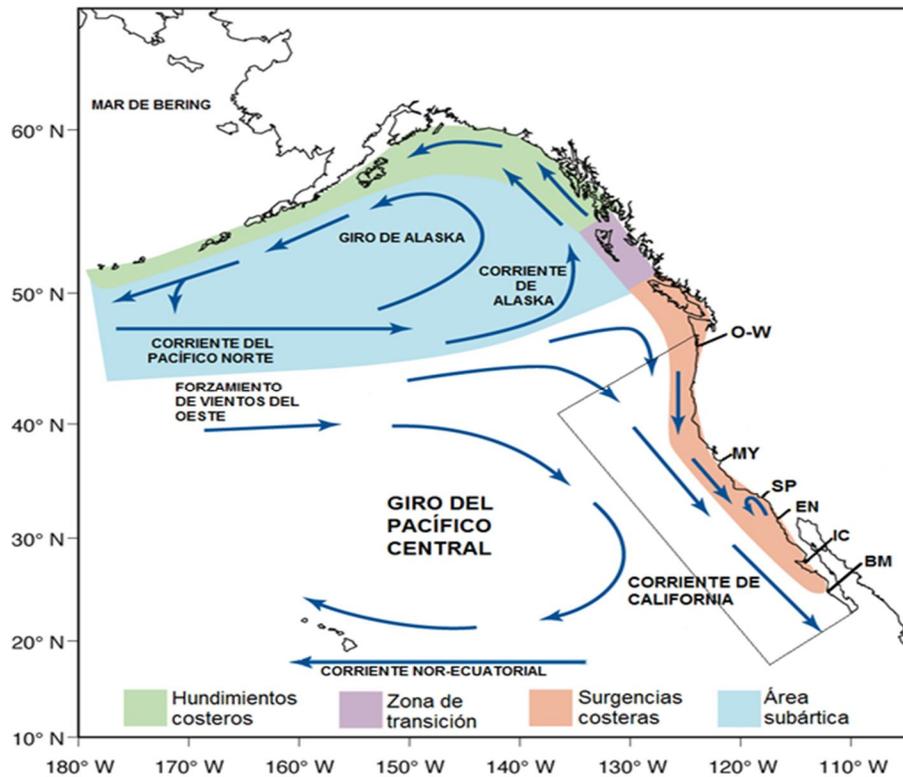


Figura 1. Área de estudio (SCC, recuadro) y diagrama general de circulación en el Pacífico norte. Tomado de F. B. Schwing, NOAA Fisheries Service. Bahía Magdalena (BM), Isla Cedros (IC), Ensenada (EN), San Pedro (SP), Monterey (MY), Oregon y Washington (O-W)

La principal característica en la dinámica de la región del SCC son los fuertes vientos predominantes del noroeste a lo largo de la costa, la topografía del fondo y su estrecha plataforma continental, con una transición abrupta hacia fuera de la costa con cuencas de más de 500 m de profundidad (Hickey, 1998). Como resultado de estas características pueden producirse grandes surgencias costeras en la región. También la línea de costa desde la Península de Baja California hasta Oregon es relativamente recta, caracterizada por promontorios submarinos grandes que influyen en la formación de meandros desde la plataforma hacia fuera de la costa (por conservación de vorticidad potencial), afectando el flujo medio de la CC (Strub & James, 2000). El patrón de circulación superficial de la CC está

caracterizado por giros de mesoescala, meandros, filamentos, jets y frentes observados en el verano, éstos son un mecanismo eficiente de transporte de partículas hacia fuera de la costa y un importante regulador en la distribución de salinidad (Lynn & Simpson, 1987; Soto-Mardones, *et al.*, 2004; Espinosa-Carreón, *et al.*, 2004; Huyer, *et al.*, 1998; Simpson & Lynn, 1990; Durazo, 2009). Así también transportan, acumulan y mantienen fuera de la costa una variedad de especies de zooplancton (Batchelder *et al.*, 2002). La dinámica del SCC a lo largo de la costa de California es la principal influencia de este ecosistema oceánico (Hayward, 1998).

En la dinámica oceánica de mesoescala, se ha detectado una zona de giros semi-permanentes cerca de Punta Concepción y Punta Eugenia de aparente origen costero y asociados a las irregularidades batimétricas y topográficas de la costa (Owen, 1980).

La plataforma continental de la costa occidental de la Península de Baja California tiene una amplitud irregular, que va desde 20 km en el extremo norte ($32^{\circ}31'58''N$), a 3 km al sur del paralelo $33^{\circ}N$, alcanzando su mayor amplitud en el área de Bahía Vizcaíno (entre 140 y 150 km) y al sur de Punta Abreojos (115 km). En esta zona se identifican tres estructuras geográficas principales: dos bahías, la de Sebastián Vizcaíno ($\sim 28^{\circ}$ a $26^{\circ}N$), el complejo lagunar Magdalena-Almejas ($\sim 25^{\circ}$ a $23^{\circ}N$), y el Golfo de Ulloa ($\sim 27^{\circ}$ a $25^{\circ}N$). Sobre la plataforma y el borde continental se localizan cordilleras, cuencas, cañones y montañas submarinas frente a las costas de Colnett, San Quintín, San Isidro y Bahía Sebastián Vizcaíno (Arriaga-Cabrera *et al.*, 1998).

6. MATERIAL Y MÉTODOS.

6.1. IMÁGENES DE SATÉLITE.

Los datos de temperatura superficial del mar (TSM), se obtuvieron de un total de 300 imágenes mensuales del sensor NOAA-AVHRR (National Oceanic and Atmospheric Administration, Advance Very High Resolution Radiometer) para los años de 1981 a 1999; para los años de 2000 al 2005 se utilizaron combinaciones de imágenes MODIS-Aqua (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) y MODIS-Terra. Los datos de clorofila “a” se obtuvieron de 168 imágenes del CZCS (Coastal Zone Color Scanner) para los años de 1981 a 1986, OCTS y SeaWiFS (Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor) para los años 1996 al 1999, MODIS-Aqua, MODIS-Terra y MERIS (Medium Resolution Imaging Spectrometer) para el periodo del 2000 al 2005. Estas fueron tipo HRPT (High Resolution Picture Transmission), con una resolución de 1.1 km, almacenadas en formato HDF (Hierarchical Data Format), obtenidas de Scripps Institution of Oceanography, University of California.

6.2. BASE DE DATOS DE ÍNDICES CLIMÁTICOS.

Los datos históricos mensuales de los índices climáticos de la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO) y “El Niño” (EN) se obtuvieron de la NOAA, para los años de 1981 al 2005, los cuales se graficaron anualmente con el fin de analizar la variabilidad de estos fenómenos de macroescala en el Pacífico Norte.

6.3. BASE DE DATOS BIOLÓGICOS.

Los datos de las descargas mensuales de sardina en Bahía Magdalena, Isla Cedros y Ensenada durante el periodo de 1981 a 2005, fueron obtenidos directamente de las plantas enlatadoras que operan en estas zonas de pesca. Los datos de captura del sur de California, Monterey, Oregon y Washington, fueron proporcionados por el Southwest Fisheries Science Center (SWFSC) de La Jolla, California. Estos datos de la captura comercial de sardina del Pacífico obtenidos de las zonas de pesca de Bahía Magdalena (BM), Isla Cedros (IC), Ensenada (EN), San Pedro (SP), son los reportados por Félix-Uraga *et al.* (2004), los cuales fueron actualizados hasta el año 2005, añadiéndose los datos de captura de las zonas de pesca de Monterey y Oregon-Washington. Estos datos fueron utilizados como indicadores de la disponibilidad y abundancia de los stocks de sardina en las 6 zonas de pesca del área de estudio (Fig. 2).

6.4. REGIONALIZACIÓN.

Para el manejo y extracción de datos superficiales de las variables ambientales y fenomenología de mesoescala se obtuvieron mensualmente de las imágenes de satélite delimitando las áreas interés, haciendo una regionalización del área de estudio, de acuerdo a las 6 zonas de pesca de sardina del Pacífico antes mencionadas, en las inmediaciones de cada una de ellas se seleccionaron arbitrariamente 4 cuadrantes representativos de donde se obtuvieron los promedios mensuales de TSM y Clorofila "a". También se tomó el número y tipo

de estructuras de mesoescala (Fig. 2). Este se realizó con la ayuda del sistema de procesamiento de imágenes de satélite WIM (Windows Image Manager).

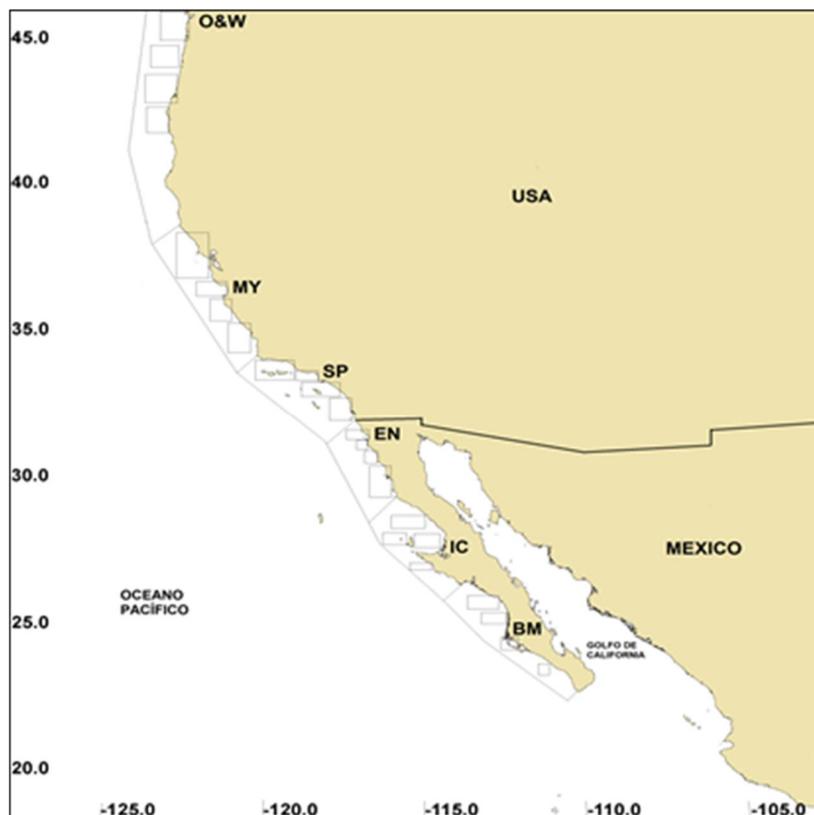


Figura 2. Áreas de pesca: Bahía Magdalena (BM), Isla Cedros (IC), Ensenada (EN), San Pedro (SP), Monterey (MY), Oregon y Washington (O-W) y ubicación de cuadrantes para extracción de datos ambientales.

6.5. TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL MAR Y CONCENTRACIÓN DE CLOROFILA “a”.

Los datos de temperatura superficial del mar (TSM) y de Chl “a” son promedios mensuales tomados de los cuadrantes ubicados en cada zona de pesca de sardina en la costa oeste de la Península de Baja California (PBC) y Estados Unidos (EU). En cada localidad se describieron las diferencias anuales de la TSM respecto al promedio para el periodo de 1981 a 2005. Además, se graficó

el promedio mensual TSM de todo el periodo para establecer la variación estacional en cada zona de pesca.

6.6. FENÓMENOS DE MESOESCALA.

Los remolinos anticiclónicos presentan una rotación a favor a las manecillas del reloj y producen una elevación de la superficie del océano en su centro (por efecto de Coriolis), que decrece radialmente hacia su borde. Este sentido de rotación genera una convergencia de partículas hacia el interior del remolino, lo que resulta en una depresión de la termoclina y un engrosamiento de la capa superficial (Duxbury *et al.*, 2000).

En un remolino ciclónico ocurre lo contrario, una depresión de la superficie del océano y un afloramiento de agua sub-superficial hacia la superficie, con una consecuente elevación de la termoclina y un adelgazamiento de la capa superficial (Duxbury *et al.*, 2000). Esto hace que los remolinos ciclónicos presenten una temperatura menor a la que lo rodea (Schmitz & Vastano, 1975), una alta concentración de nutrientes y alta densidad fitoplanctónica (Müller-Karger & Fuentes-Yaco, 2000; Fiedler, 2002; Vaillancourt *et al.*, 2003).

La identificación de los giros en las imágenes de satélite se realizó con base a estudios previos (Pegau *et al.*, 2002; López, 2005; Zamudio, 2008 y García-Morales, 2008), en los cuales pueden detectarse mediante una mayor o menor concentración de pigmentos en su borde que a la de su entorno, y el sentido del giro se determina observando el origen del giro, en la mayoría de los casos en la zona costera los valores de concentración son iguales o mayores que en el borde

del remolino donde presenta bajas concentraciones de pigmentos. En numerosas ocasiones no se presenta cerrado el círculo del remolino facilitando la identificación del giro. La circulación superficial es inferida de las imágenes de concentración de clorofila “a”, puesto que está comprobada la utilidad de los pigmentos fotosintéticos como trazadores de estructuras mesoescalares (Pegau *et al.*, 2002), y que estas imágenes pueden resultar más confiables que las imágenes de temperatura superficial del mar, cuando se observa un calentamiento solar sobre la superficie del mar puede eliminar los gradientes de temperatura superficial rápidamente (Paden *et al.*, 1991; Pegau *et al.*, 2002).

Con este análisis se realizaron tablas de la fenomenología mensual y anual en la zona de estudio especificando número y tipo estructura de mesoescala en los años con la finalidad de encontrar el patrón de circulación y su correlación con variables ambientales y las capturas de sardina.

6.7. ESTACIONALIDAD DE CAPTURAS.

Con los datos de las descargas mensuales de sardina en cada una de las zonas de pesca, durante el periodo de 1981 a 2005, se elaboraron dos series de gráficas: una para ver su comportamiento anual y otra para ver el mensual, con la finalidad de observar las variaciones en su abundancia en el periodo de estudio.

Los datos de capturas se estandarizaron con la siguiente fórmula para hacerlas comparables con los índices climáticos.

$$\text{Indice de Capturas} = \frac{\text{Captura por Año} - \text{Promedio de Capturas Anuales}}{\text{Desviacion Estandar de Capturas}}$$

Para representar la estacionalidad de las capturas en cada zona de pesca se obtuvo el promedio mensual de las descargas de sardina en Bahía Magdalena, Isla Cedros, Ensenada y San Pedro, Monterey, Oregon-Washington para el periodo de 1981 a 2005.

Se realizó un análisis gráfico de los datos de captura combinados con los de TSM y otro para capturas y Chl "a" en las zonas de pesca de Bahía Magdalena, Isla Cedros, Ensenada y San Pedro, Monterey, Oregon-Washington en el periodo de 1981 a 2005. Se hicieron dos gráficas: una para la captura total acumulada por intervalo de 1° C de TSM y otra de captura por rangos de concentración de clorofila "a", las cuales fueron para todas las zonas juntas. La segunda serie de gráficas tridimensionales fue hecha sumando la captura agrupada por intervalos de 1° C y otra para por rangos de Chl "a" para cada año para todas las zonas de estudio. Ambas series de gráficas se hicieron con el software Surfer® (ver. 9) y Grapher (ver. 8).

Después se realizó un análisis mensual de TSM y Chl "a" con estacionalidad de capturas para el stock templado y frío resultado de diferentes combinaciones de las 6 zonas de pesca para observar la eventual relación de la captura de cada una de las variables mediante diagramas de dispersión e identificar las zonas de alimentación y desove.

6.8. MODELOS CONCEPTUALES.

Tres modelos conceptuales de distribución fueron elaborados para cada época del año. El primero, capturas de sardina por TSM, el segundo captura de

sardina por Chl “a”, y el tercero, presencia de giros de mesoescala que influyen en la distribución y abundancia de los stocks de sardina en el SCC, basado en el modelo conceptual propuesto por Félix-Uraga, 2004. Este modelo de distribución de sardina fue actualizado incluyendo datos e imágenes satelitales de TSM y Chl “a” y giros de mesoescala, así como datos de capturas para los años del 2003-2005 y las áreas de pesca de MY-OW. Los modelos conceptuales para cada estación del año fueron sobrepuestos en las imágenes estacionales de TSM del 2003, los cuales fueron, comparados también con las imágenes de Chl “a” estacional y mapas de los giros de mesoescala ya que este año representa un año normal y una oceanografía típica, también muestra fenómenos estacionales característicos de la región. Los tres modelos de cada estación fueron utilizados para representar las características ambientales que describen la distribución de los stocks templado y frío. El stock cálido no fue incluido por su poca presencia en el área de estudio.

6.9. ESTADÍSTICA.

Se realizaron correlaciones entre índices climáticos del PDO y “El Niño” vs capturas totales por año, el índice de capturas por año, captura estacional por stock, TSM y Chl “a” anual y fenómenos de mesoescala por año. También se realizaron correlaciones anuales, estacionales por zona de fenómenos de mesoescala vs captura, TSM, Chl “a”. Por otro lado se hicieron correlaciones de captura por stock vs TSM y Chl “a”. Para ello se utilizaron análisis de correlación de Spearman. Las mediciones de este índice varían de + 1 a - 1, pasando por el

cero, donde este último significa correlación nula entre las variables estudiadas, mientras que los dos primeros denotan la correlación máxima directa e inversamente proporcional respectivamente (Zar, 1996). Esta prueba se utilizó para inferir qué parámetros ambientales y oceanográficos inciden con mayor significancia en la variación de la distribución y abundancia de sardina del Pacífico dentro del área de estudio. También se llevó a cabo un análisis de componentes principales de la misma forma que se agruparon las variables en el análisis de correlación, para determinar la variable o grupo de variables de mayor influencia sobre la distribución y abundancia del recurso.

7. RESULTADOS.

7.1. VARIABILIDAD ANUAL DEL PDO Y “EL NIÑO”.

En la serie de tiempo del índice del PDO fue posible identificar tres periodos cálidos, el primero con una duración de 8 años de (1981-1988), el segundo de 7 años (1992-1998) y el tercero de 4 años (2002-2005). Así también se observaron periodos fríos con duración de 3 años (1989-1991 y 1999-2001) y un periodo corto de un año en (1994). El intervalo de tiempo entre los años 1981 a 1998 puede considerarse como una fase positiva o régimen cálido del PDO (Fig. 3).

Por otra parte “EL Niño” presentó 5 periodos con anomalías positivas, con su respectivo periodo de restauración definido como “La Niña”. El primero de (1982-83), el segundo de (1986-87), el tercero de (1990-95) el cuarto en (1997-98) y por último el periodo de (2002-05), de los cuales fueron intensos los de años de (1982-83, 1986-87 y 1997-98) (Fig. 4).

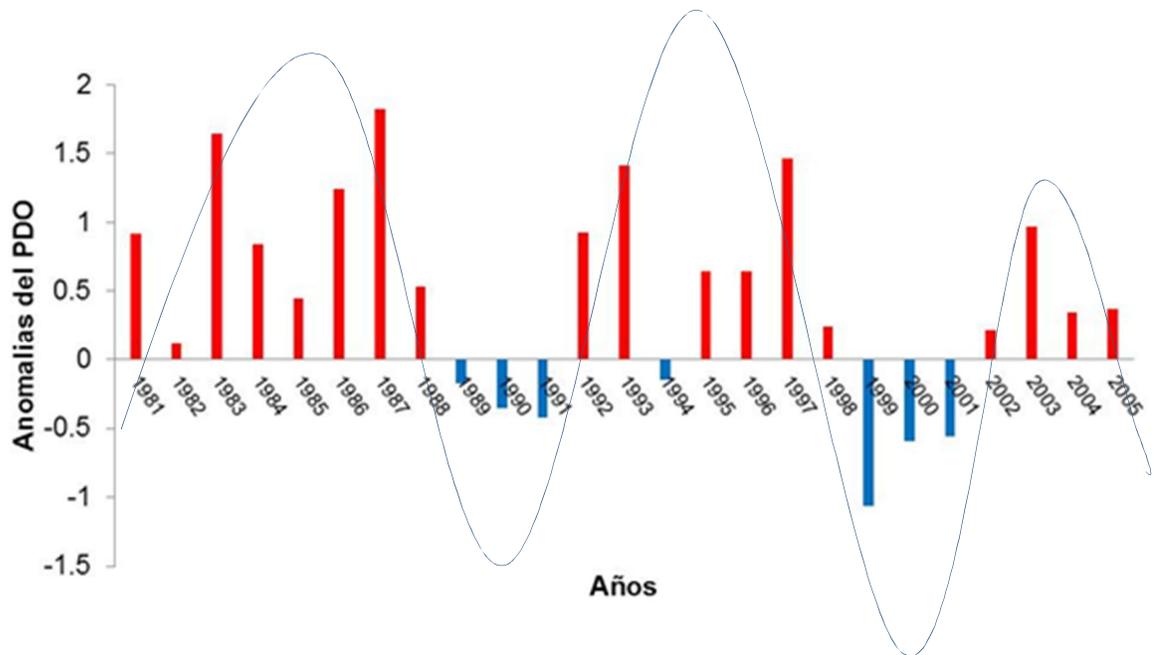


Figura 3. Representación gráfica de las anomalías positivas y negativas del índice del PDO.

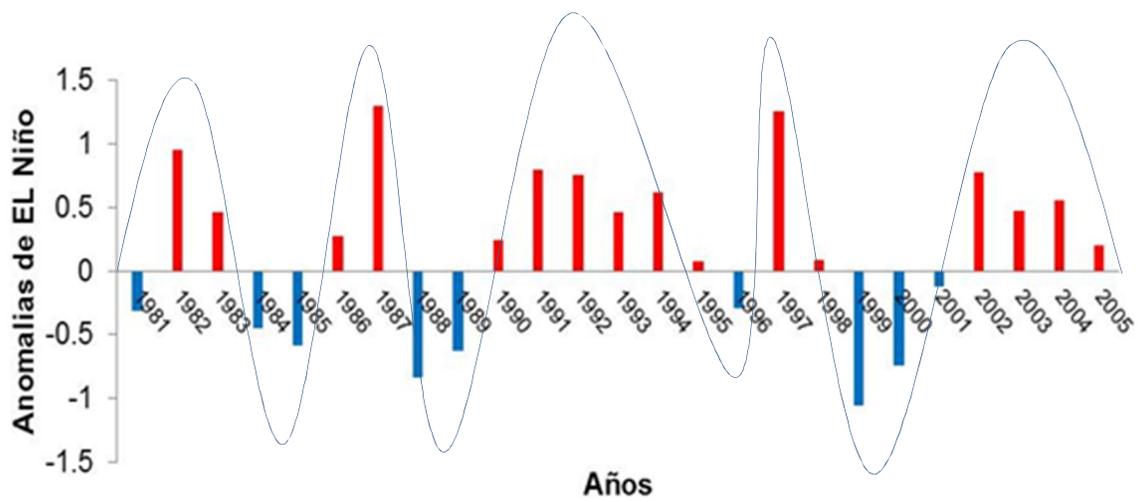


Figura 4. Representación gráfica de las anomalías positivas y negativas del índice de “El Niño” y “La Niña”.

7.2. VARIABILIDAD ANUAL DE LA CAPTURA DE SARDINA.

La captura de sardina en la costa oeste de Baja California y EUA, se descargó durante el periodo de 1981 a 2005 en los siguientes lugares: Bahía Magdalena, Isla Cedros, Ensenada, San Pedro, Monterey, Oregón y Washington.

El total de descargas de sardina del Pacífico *Sardinops sagax* ha presentado un incremento sostenido en las pesquerías de la costas de la PBC y EE.UU. en el periodo de estudio, a partir de 1984, cuando se registró un mínimo de 3,782 t. Hasta el año 2002 cuando se registró una captura mayor a 195,000 t. (Fig. 5). Para los años ochenta la sardina se presentó desde la PBC hasta Monterey Cal. principalmente en Bahía Magdalena e Isla Cedros donde se descargaron en promedio anual 9,000 t. y 2,000 t. respectivamente. La captura de sardina en Isla Cedros finalizó en 1996 cuando la única planta enlatadora cerró sus operaciones debido a problemas económicos.

En los noventa las capturas de sardina se incrementaron en la parte norte de la PBC y SC, en la cual Ensenada y San Pedro presentaron las mayores capturas con un promedio anual de 38,000 t. en Ensenada y 22,000 t. para San Pedro.

Para el intervalo de 2000 a 2005, las capturas se incrementaron considerablemente para todas las zonas a excepción de Isla Cedros. Las capturas de sardina del Pacífico se obtuvieron principalmente en Bahía Magdalena con un promedio anual de 43,000 t., Ensenada con 41,000 t. San Pedro con 39,000 t, Oregón y Washington con 35,000 t. y Monterey con un promedio anual de 10,000 t.

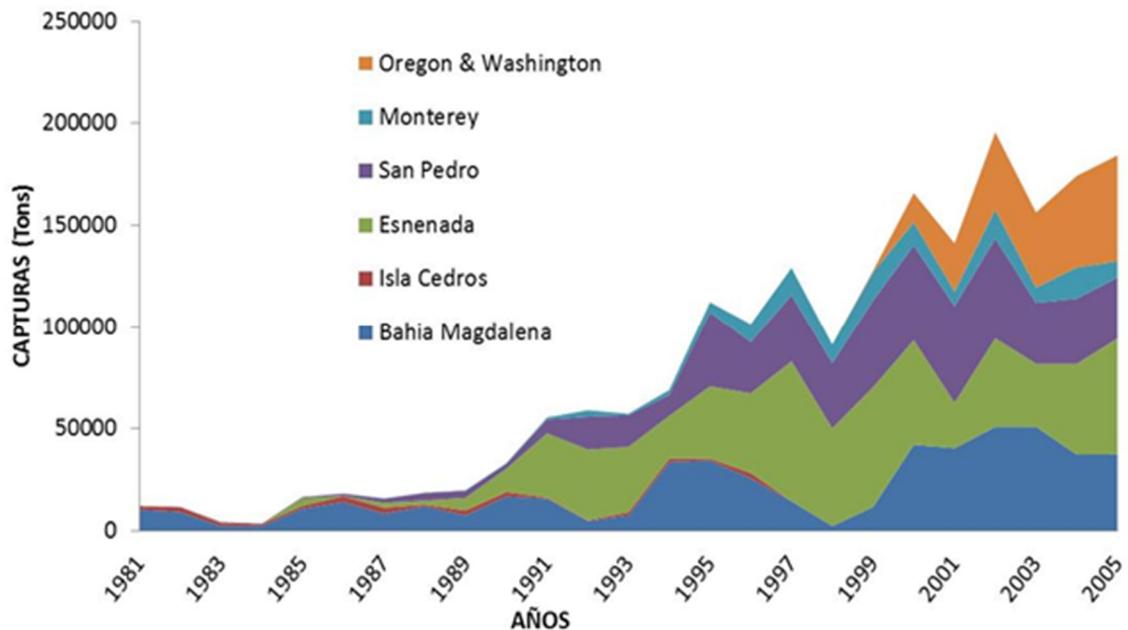


Figura 5. Descarga de sardina del Pacífico de las pesquerías de la costa oeste de la PBC y EU.

7.3. ANÁLISIS DE CORRELACIÓN Y COMPONENTES PRINCIPALES PARA LOS ÍNDICES CLIMÁTICOS E ÍNDICE DE CAPTURAS.

En los resultados de análisis de correlación de Spearman del PDO y “El Niño” con el índice de capturas anuales para cada zona de pesca no se observó una relación significativa, sin embargo eso no significa que no tenga alguna influencia como se muestra en el análisis de componentes principales donde se muestra una asociación de “El Niño” con el índice de captura de O-W y el PDO asociado directamente con las capturas de EN e inversamente con BM y disminuyendo sucesivamente para las demás áreas (Fig. 6).

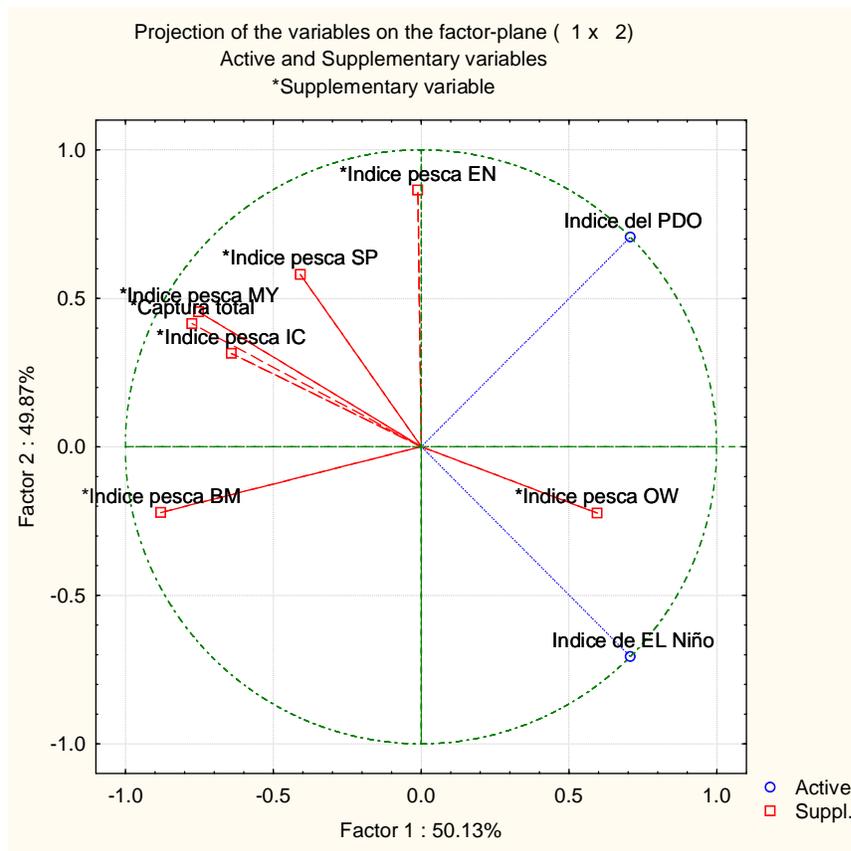


Figura 6. Gráfica de componentes principales entre los índices del PDO, “El Niño” y el índice de pesca para cada zona.

7.4. VARIABILIDAD ANUAL Y MENSUAL DE TSM EN LA COSTA OESTE DE LA PBC Y EU.

Los promedios anuales de TSM para todas las zonas de estudio mostraron durante los años 1982-83, 1991-92, 1997-98 y 2004 un calentamiento relacionado con la presencia del fenómeno “El Niño”, por lo contrario en los años 1985, 1988, 1991 y 1999 se presentaron condiciones frías o “La Niña”. Las temperaturas más elevadas se presentaron en Bahía Magdalena con respecto a las otras 5 zonas de pesca: la diferencia con respecto a Isla Cedros es de 3°C, Ensenada 4.5°C, San Pedro 5.5°C, Monterey 8°C, Oregon y Washington 10°C. Las temperaturas más

bajas se presentaron en Oregón y Washington, cabe aclarar que las diferencias entre Ensenada y San Pedro solo son de 1°C (Fig. 7).

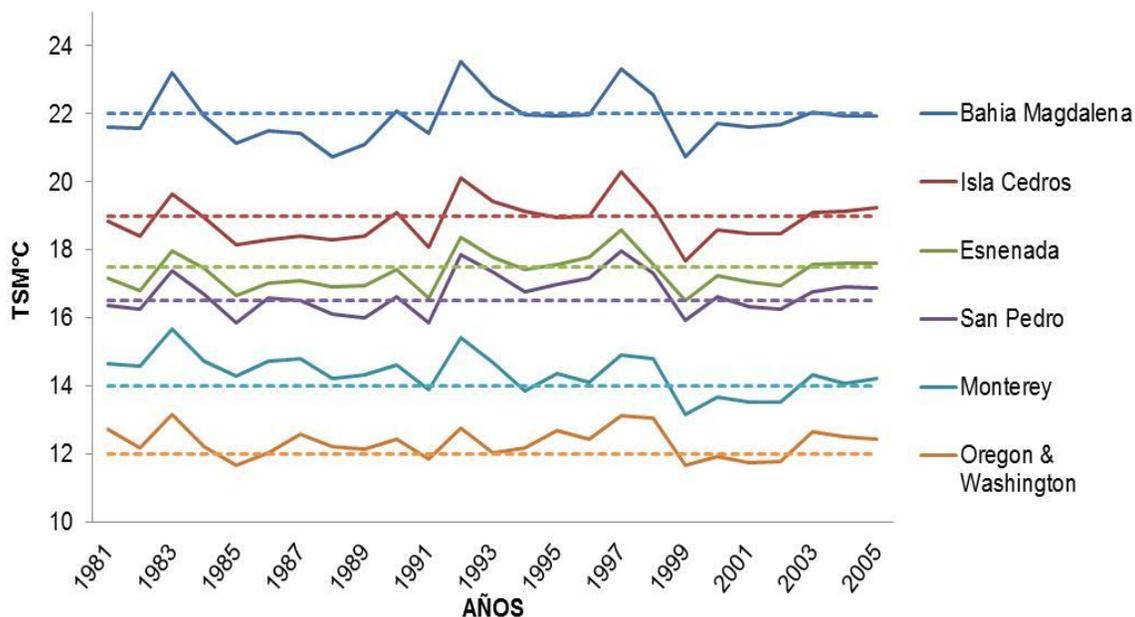


Figura 7. Promedios anuales para Bahía Magdalena, Isla Cedros, Ensenada, San Pedro, Monterey, Oregón y Washington. Las líneas punteadas representan los promedios de TSM para cada zona.

7.5. ANÁLISIS DE CORRELACIÓN Y COMPONENTES PRINCIPALES PARA LOS ÍNDICES CLIMÁTICOS Y TSM ANUAL.

De acuerdo al resultado de la gráfica entre los índices y TSM se observa un mayor acoplamiento del PDO con la TSM que con el índice “El Niño” (Fig. 8). Tal y como lo muestra el análisis de correlación con una R significativa de 0.6 y el análisis de componentes principales (Fig. 9).

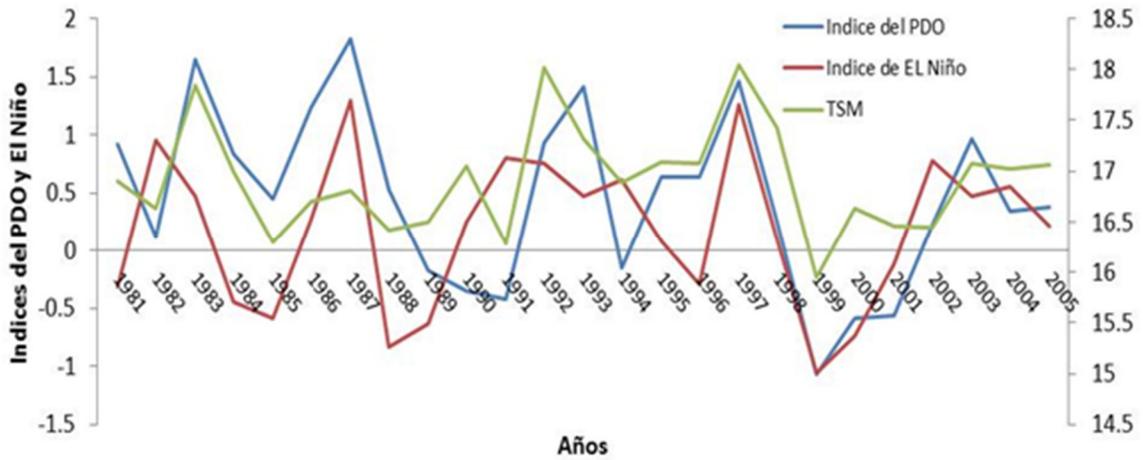


Figura 8. Índices del PDO, “El Niño” y TSM anual para el SCC.

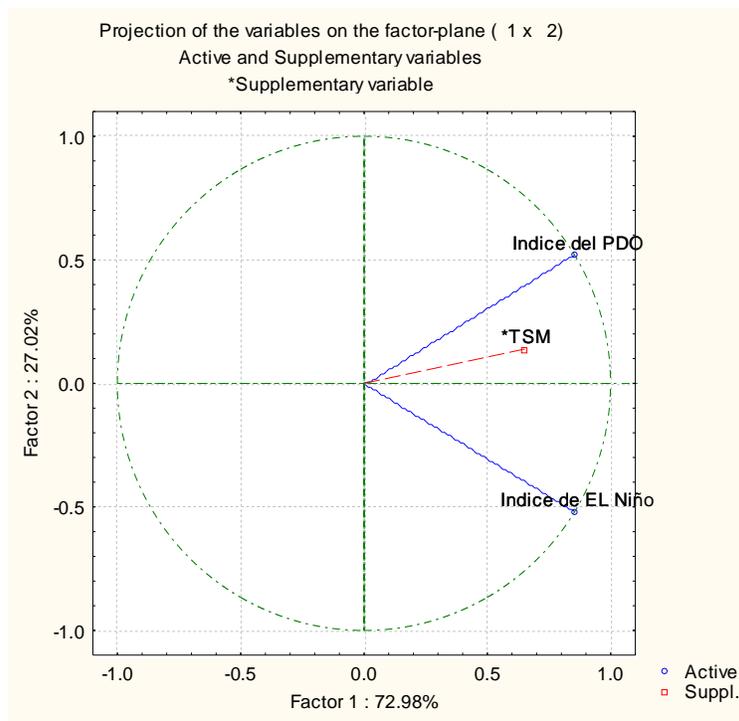


Figura 9. Gráfica de componentes principales entre los índices del PDO, “El Niño” y TSM anual.

La temperatura más alta se presentó en el mes de septiembre para todas las zonas excepto en Oregón y Washington donde sucedieron en agosto, y la más

baja se presentó en diferentes meses de acuerdo con la zona. Para Bahía Magdalena las más bajas se encontraron en abril y para todas las demás ocurrieron en febrero y marzo (Fig. 10).

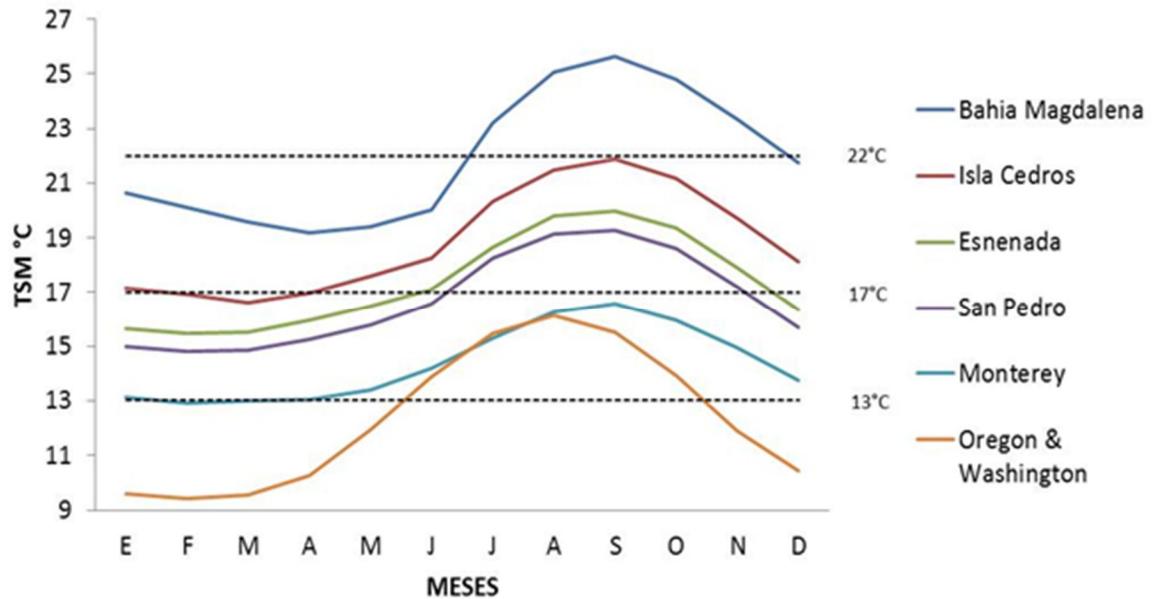


Figura 10. Promedios mensuales de TSM para Bahía Magdalena, Isla Cedros, Ensenada, San Pedro, Monterey, Oregon y Washington.

La TSM promedio mensual mostró para Bahía Magdalena temperaturas mayores a 22°C de julio a diciembre en cambio de enero a junio se registraron menores de 22°C. Las temperaturas entre 17°C y los 22°C se registraron en Isla Cedros prácticamente todo el año. En Ensenada, las TSM entre 17°C y los 22°C se presentaron de junio a noviembre y las menores de 17°C de diciembre a mayo. Las temperaturas de entre 17°C y 22°C en San Pedro ocurrieron de julio a noviembre y de diciembre a junio estuvieron entre 13°C y 17°C. En este último intervalo de TSM se registró casi todo el año en Monterey. Para Oregon y Washington desde junio a octubre se tuvieron temperaturas de entre 13°C y 17°C y temperaturas menores de 13°C desde noviembre a mayo (Fig. 10).

7.6. ANÁLISIS DE CORRELACIÓN DE SPEARMAN Y COMPONENTES PRINCIPALES PARA LOS ÍNDICES CLIMÁTICOS Y TSM MENSUAL.

En los resultados de correlación entre los índices climáticos del PDO y “El Niño” y las variaciones mensuales de TSM, “El Niño” fue el que mostró una correlación significativa con una $R = 0.76$. Esto también se observa en el análisis de componentes principales (Fig. 11).

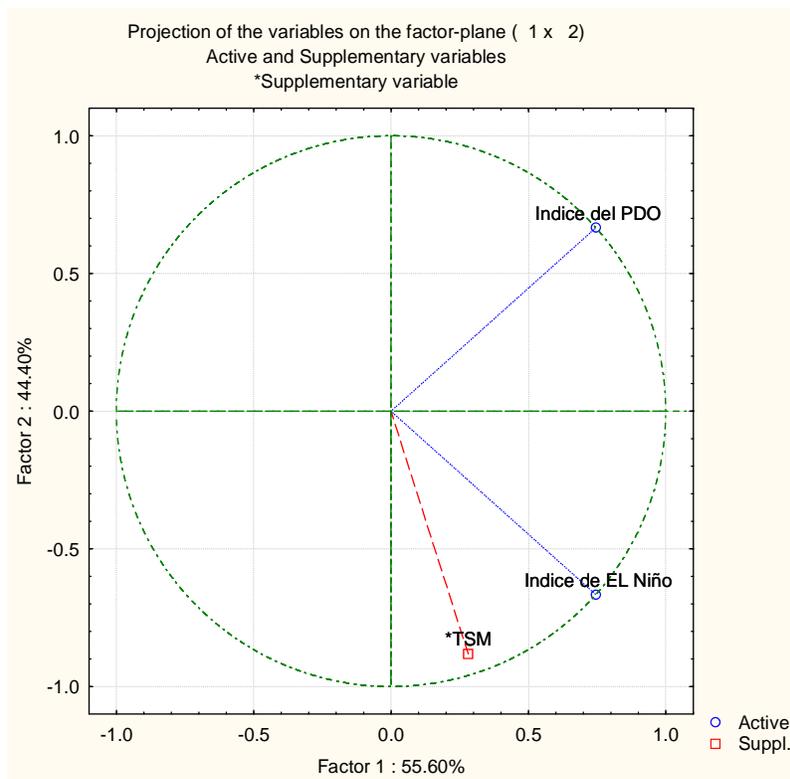


Figura 11. Gráfica de componentes principales entre los índices del PDO, “El Niño” y TSM mensual.

7.7. VARIABILIDAD ANUAL Y MENSUAL DE CHL “a” EN LA COSTA OESTE DE LA PBC Y EU.

Los promedios anuales de Chl “a” para todas las zonas de estudio a excepción de Monterey mostraron que durante los años 1983, 1997 y 2004 ocurrió una disminución en la concentración de pigmentos relacionado con la presencia del fenómeno “El Niño”, por lo contrario en los años 1986, 1999 y 2003 se presentó un aumento en las concentraciones de Chl “a”. Las concentraciones promedio anuales más elevadas se presentaron en Monterey con $3.04 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$, las otras 5 zonas de pesca, con menos concentración de pigmentos con valores de $2.48 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$, $1.87 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$, $2.15 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ y $1.27 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$, $1.77 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ para Oregon & Washington, San Pedro, Ensenada, Isla Cedros y Bahía Magdalena respectivamente (Fig. 12).

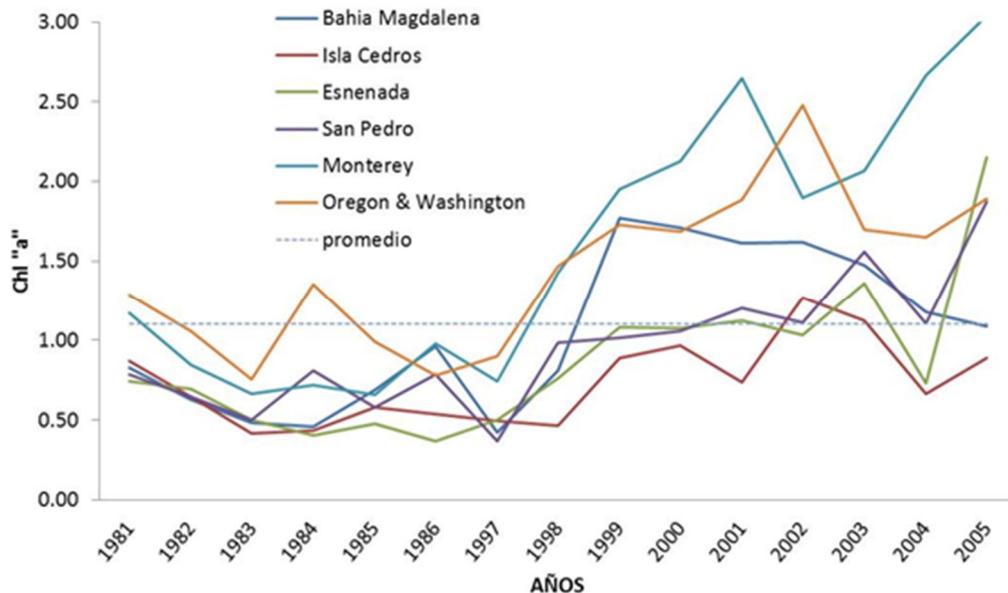


Figura 12. Promedios anuales de Chl “a” para Bahía Magdalena, Isla Cedros, Ensenada, San Pedro, Monterey, Oregon y Washington.

7.8. ANÁLISIS DE CORRELACIÓN Y COMPONENTES PRINCIPALES PARA LOS ÍNDICES CLIMÁTICOS Y CHL "a" ANUAL.

De acuerdo al resultado de la gráfica entre los índices y Chl "a" se observa un comportamiento inverso con los dos índices y la TSM (Fig. 13). Donde el análisis de correlación se mostró inversamente significativo con una R de -0.56, esta asociación se observa también en el análisis de componentes principales (Fig. 14).

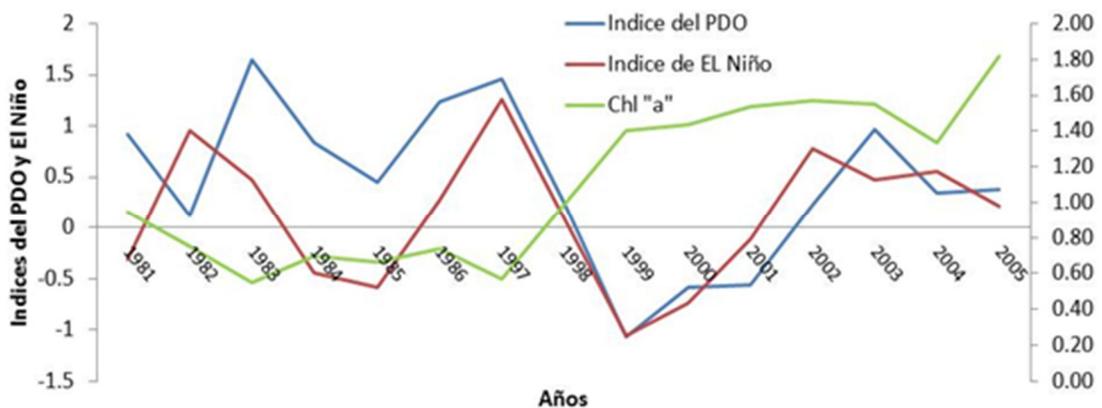


Figura 13. Índices del PDO, El Niño y Chl "a" anual para el SCC.

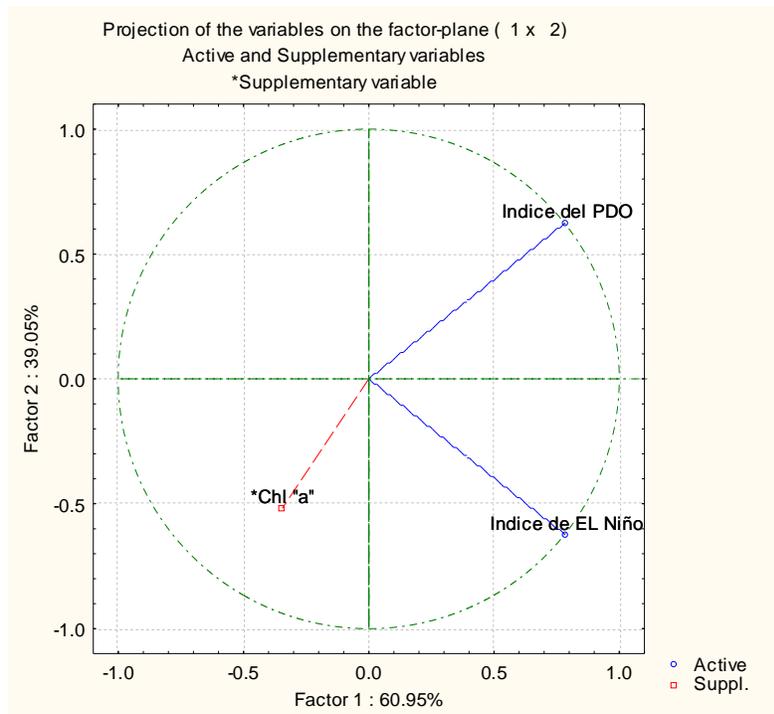


Figura 14. Gráfica de componentes principales entre los índices del PDO, “El Niño” y Chl “a”.

Los valores más altos de concentración de clorofila “a” mensual se presentaron en el mes de julio para la zona de Oregón y Washington, en Monterey y Bahía Magdalena las mayores concentraciones de pigmentos se presentaron en junio, para Ensenada y San Pedro en abril y en Isla Cedros las mayores concentraciones se presentaron en Mayo. A partir de septiembre hasta diciembre en Bahía Magdalena, Isla Cedros y Ensenada se presentaron las más bajas. Para esta variable no se observa un gradiente latitudinal claro, ya que los máximos de pigmentos se observan en diferentes zonas en diferentes épocas del año (Fig. 15).

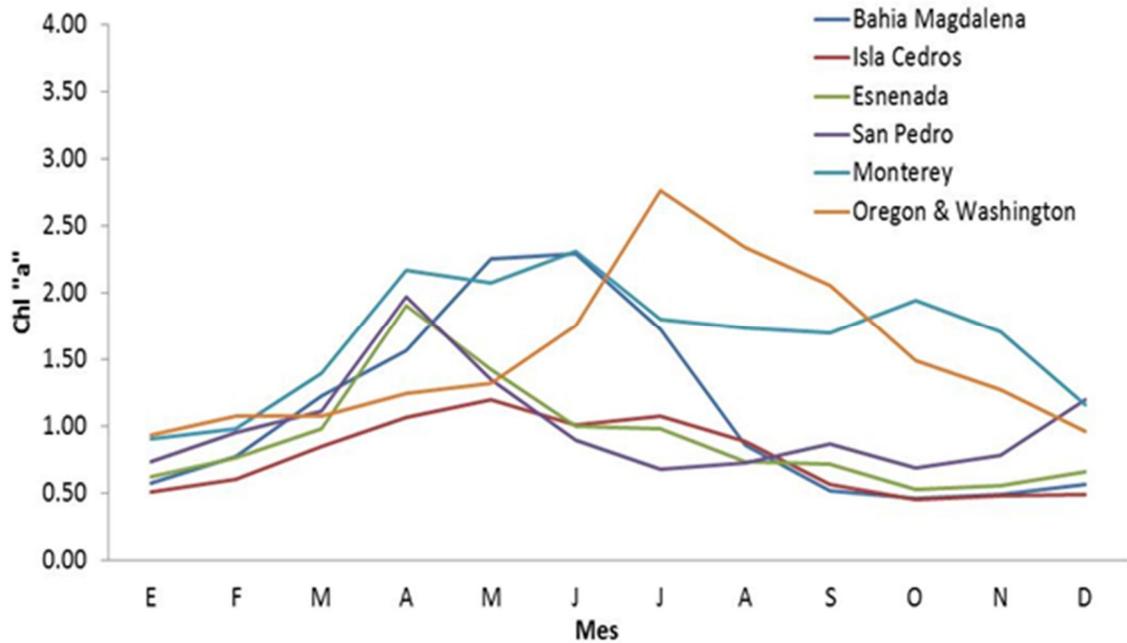


Figura 15. Promedios mensuales de Chl "a" para Bahía Magdalena, Isla Cedros, Ensenada, San Pedro, Monterey, Oregon y Washington.

7.9. ANÁLISIS DE CORRELACIÓN Y COMPONENTES PRINCIPALES PARA LOS ÍNDICES CLIMÁTICOS Y CHL "a" MENSUAL.

En los resultados de correlación entre los índices climáticos del PDO y "El Niño" y las variaciones mensuales de Chl "a", el PDO mostró una correlación significativa con una $R = 0.72$. Esto también se observa en el análisis de componentes principales (Fig. 16).

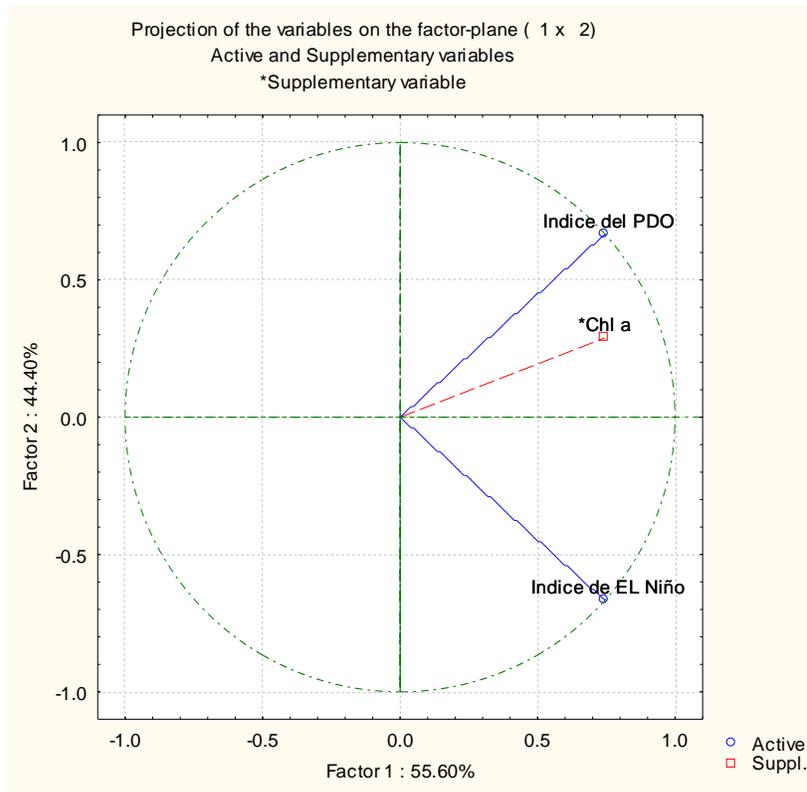


Figura 16. Grafica de componentes principales entre los índices del PDO, “El Niño” y Chl “a”.

7.10. VARIABILIDAD ANUAL Y ESTACIONAL DE FENÓMENOS DE MESOESCALA VS CAPTURAS, TSM Y CHL “a” EN EL SCC Y CORRELACIÓN SPEARMAN.

De acuerdo al análisis de las imágenes de concentración de clorofila “a” se observó un total de 741 fenómenos distribuidos en el SCC en las diferentes épocas de estudio. Las épocas con mayor frecuencia de fenómenos son primavera y verano con 274 y 219 fenómenos de mesoescala respectivamente. También se observó que las surgencias, giros anticiclónicos y filamentos son las estructuras con mayor frecuencia en el SCC (Tabla 1). Por otro lado en cuanto a las capturas por zonas de pesca se observó que en IC, MY y O-W contaron con el mayor número de estructuras de mesoescala con 129, 196 y 177 fenómenos respectivamente. Resultó una correlación

inversamente significativa de $R = -0.82$ para el total de fenómenos de mesoescala con el total de capturas por zonas y una $R = -0.94$ para giros anticiclónicos (Tabla 2).

Tabla 1. Fenómenos, capturas y promedios de TSM y Chl "a" para cada una de las zonas de pesca.

| Fenómenos con mayor frecuencia por temporada | | | | | |
|---|---------------------|----------------------|-------------------|------------------|------------|
| | INVIERNO (E,F,M) | PRIMAVERA (A,M,J) | VERANO (J,A,S) | OTOÑO (O,N,D) | Total |
| Giro ciclónico | 13 | 23 | 23 | 6 | 65 |
| Giro anticiclónico | 27 | 28 | 36 | 14 | 105 |
| Surgencias | 103 | 157 | 108 | 52 | 420 |
| Filamentos | 20 | 59 | 48 | 10 | 137 |
| Eddies | 2 | 7 | 4 | 1 | 14 |
| Total | 165 | 274 | 219 | 83 | 741 |

Tabla 2. Fenómenos, capturas y promedios de TSM y Chl "a" para cada una de las zonas de pesca.

Los números en rojo indican los valores de correlación significativa.

| Totales Fenómenos, Captura y promedios de TSM y Chl "a" por zona de pesca | | | | |
|--|-----------------|---------------|--------------------|------------|
| ZONA DE PESCA | Fenómenos | Captura X año | Giro anticiclónico | Surgencias |
| BM | 81 | 20279.8 | 2 | 56 |
| IC | 129 | 1066.8 | 55 | 55 |
| EN | 75 | 25727.3 | 5 | 47 |
| SP | 83 | 18756.7 | 7 | 59 |
| MY | 196 | 4859.7 | 24 | 108 |
| O&W | 177 | 8413.0 | 12 | 95 |
| Spearman | R | -0.82 | -0.94 | -0.42 |
| | p<.05 | 0.04 | 0.004 | 0.39 |

La variabilidad de fenómenos de mesoescala por año en el SCC mostró una menor frecuencia en el periodo de los años de 1981 a 1997, con un aumento significativo a partir de 1998 al 2005 encontrándose una correlación significativa con el aumento en las capturas para el mismo periodo de estudio con una $R = 0.67$, en cuanto Chl "a" tuvo una correlación significativa con una $R = 0.85$, aunque con TSM la correlación no fue significativa. Cabe señalar que el año 1997 registró la mayor TSM, con menor concentración de clorofila "a" y con la menor frecuencia de fenómenos de mesoescala (Tabla 3).

En el análisis por separado de fenómenos de mesoescala por año, los fenómenos de mayor frecuencia son las surgencias, los filamentos y los giros anticiclónicos con una correlación significativa con una $R = 0.76$ para las surgencias y una $R = 0.50$ para los giros anticiclónicos; en menos cantidad estuvieron los giros ciclónicos y los eddis (Tabla 4).

Tabla 3. Fenómenos, capturas y promedios de TSM y Chl "a" en el SCC. Los valores en rojo indican los valores de correlación significativa.

| Totales de fenómenos, captura y promedio de TSM y Chl "a" por Año en el SCC. | | | | | | |
|---|------------------------|----------------------|---------------------|-------------------------|-------------------------|--|
| Año | Total fenómenos | Captura total | TSM promedio | Chl "a" promedio | Captura Promedio | |
| 1981 | 50 | 12261.6 | 16.9 | 1.0 | 1021.8 | |
| 1982 | 10 | 11884.9 | 16.6 | 0.8 | 990.4 | |
| 1983 | 16 | 4592.6 | 17.8 | 0.6 | 382.7 | |
| 1984 | 27 | 3732.3 | 17.0 | 0.6 | 311.0 | |
| 1985 | 27 | 16723.1 | 16.3 | 0.4 | 1393.6 | |
| 1986 | 18 | 18418.0 | 16.7 | 0.5 | 1534.8 | |
| 1997 | 8 | 91361.2 | 18.0 | 0.2 | 10774.4 | |
| 1998 | 62 | 127886.3 | 17.4 | 1.3 | 7613.4 | |
| 1999 | 82 | 165945.9 | 15.9 | 1.8 | 10657.2 | |
| 2000 | 80 | 141338.3 | 16.6 | 1.7 | 13828.8 | |
| 2001 | 74 | 195773.1 | 16.5 | 1.8 | 11778.2 | |
| 2002 | 63 | 156451.1 | 16.5 | 1.8 | 16314.4 | |
| 2003 | 69 | 174422.8 | 17.1 | 1.7 | 13037.6 | |
| 2004 | 77 | 184472.4 | 17.0 | 1.6 | 14535.2 | |
| 2005 | 78 | 79103.3 | 17.1 | 2.3 | 15372.7 | |
| Spearman | R | 0.67 | | 0.85 | 0.65 | |
| | p<.05 | 0.005359 | | 0.000054 | 0.008154 | |

Tabla 4. Capturas y Fenómenos por separado en el SCC. Los valores en rojo indican los valores de correlación significativa.

| Captura y fenómenos por separado por año en el SCC | | | | | | |
|---|----------------------|-----------------------|---------------------------|-------------------|-------------------|---------------|
| Año | Captura total | Giro ciclónico | Giro anticiclónico | Surgencias | Filamentos | Eddies |
| 1981 | 12261.6 | 6 | 5 | 20 | 16 | 3 |
| 1982 | 11884.9 | 0 | 0 | 4 | 6 | 0 |
| 1983 | 4592.6 | 5 | 2 | 5 | 4 | 0 |
| 1984 | 3732.3 | 6 | 3 | 7 | 7 | 4 |
| 1985 | 16723.1 | 3 | 13 | 5 | 6 | 0 |
| 1986 | 18418.0 | 3 | 0 | 15 | 0 | 0 |
| 1997 | 91361.2 | 0 | 0 | 8 | 0 | 0 |
| 1998 | 127886.3 | 5 | 3 | 41 | 12 | 1 |
| 1999 | 165945.9 | 6 | 14 | 45 | 17 | 0 |
| 2000 | 141338.3 | 7 | 15 | 41 | 14 | 3 |
| 2001 | 195773.1 | 6 | 11 | 43 | 14 | 0 |
| 2002 | 156451.1 | 0 | 12 | 44 | 6 | 1 |
| 2003 | 174422.8 | 5 | 9 | 48 | 6 | 1 |
| 2004 | 184472.4 | 10 | 7 | 45 | 15 | 0 |
| 2005 | 79103.3 | 3 | 11 | 49 | 14 | 1 |
| | Spearman | | | | | |
| | R | | 0.50 | 0.76 | | |
| | p<.05 | | 0.056148 | 0.000942 | | |

En cuanto a la variabilidad de fenómenos por zona de pesca no se observaron valores significativos a pesar de que los valores de R. son altos. En BM la captura tiene una correlación con el total de fenómenos con una R de 0.80 y en fenómenos por separado se relacionó con surgencias, filamentos y eddis con una R = 0.63, 0.94 y 0.73 respectivamente. En IC la captura se correlacionó con el total de fenómenos y por separado con giros ciclónicos, surgencia y filamentos con una R = 0.80. Para EN el resultado de las correlaciones cambió a una relación inversa en donde la captura y el total de fenómenos tuvo una R = -0.80, para giros ciclónicos una R = -0.63, una R = -1 para surgencias y una R = -0.80 para filamentos (Tabla 5).

En SP solamente dos correlaciones se observaron en el análisis en donde la captura esta correlacionada con giros anticiclónicos con una $R = 0.80$ e inversamente proporcional con filamentos con una $R = -1$. En MY la captura se correlacionó inversamente con el total de fenómenos, surgencias y filamentos con una $R = -0.8$. Para O-W solo se presentó una sola correlación inversa con una $R = -0.73$ (Tabla6).

Tabla 5. Total de fenómenos y capturas por temporadas para las zonas de pesca de BM, IC EN.

| Total de fenómenos y capturas por temporadas para BM, IC y EN. | | | | | | | |
|---|-------------------|------------------------|-----------------------|---------------------------|-------------------|-------------------|---------------|
| Temporada | Captura BM | Total fenómenos | Giro ciclónico | Giro anticiclónico | Surgencias | Filamentos | Eddies |
| INVIERNO (E,F,M) | 2957 | 16 | 3 | 0 | 13 | 0 | 0 |
| PRIMAVERA (A,M,J) | 7480 | 39 | 2 | 1 | 29 | 6 | 1 |
| VERANO (J,A,S) | 6302 | 23 | 3 | 0 | 13 | 5 | 2 |
| OTOÑO (O,N,D) | 3540 | 3 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| Spearman | R | 0.80 | | | 0.63 | 0.94 | 0.73 |
| | p<.05 | 0.20 | | | 0.36 | 0.05 | 0.26 |
| | Captura IC | Total fenómenos | Giro ciclónico | Giro anticiclónico | Surgencias | Filamentos | Eddies |
| INVIERNO (E,F,M) | 307 | 26 | 1 | 11 | 13 | 1 | 0 |
| PRIMAVERA (A,M,J) | 315 | 54 | 8 | 16 | 26 | 4 | 0 |
| VERANO (J,A,S) | 230 | 39 | 3 | 19 | 15 | 2 | 0 |
| OTOÑO (O,N,D) | 215 | 10 | 0 | 9 | 1 | 0 | 0 |
| Spearman | R | 0.80 | 0.80 | | 0.80 | 0.80 | |
| | p<.05 | 0.20 | 0.20 | | 0.20 | 0.20 | |
| | Captura EN | Total fenómenos | Giro ciclónico | Giro anticiclónico | Surgencias | Filamentos | Eddies |
| INVIERNO (E,F,M) | 5395 | 16 | 1 | 1 | 13 | 1 | 0 |
| PRIMAVERA (A,M,J) | 4396 | 34 | 5 | 1 | 22 | 5 | 1 |
| VERANO (J,A,S) | 7199 | 21 | 4 | 2 | 10 | 4 | 1 |
| OTOÑO (O,N,D) | 8737 | 4 | 1 | 1 | 2 | 0 | 0 |
| Spearman | R | -0.8 | -0.63 | | -1.0 | -0.80 | |
| | p<.05 | 0.20 | 0.36 | | | 0.20 | |

Tabla 6. Total de fenómenos y capturas por temporadas para las zonas de pesca de SP, MY y O-W.

| Total de fenómenos y capturas por temporadas para SP, MY y O-W. | | | | | | | |
|--|------------------------|------------------------|-----------------------|---------------------------|-------------------|-------------------|---------------|
| | Captura SP | Total fenómenos | Giro ciclónico | Giro anticiclónico | Surgencias | Filamentos | Eddies |
| INVIERNO (E,F,M) | 7669 | 21 | 1 | 4 | 15 | 1 | 0 |
| PRIMAVERA (A,M,J) | 3472 | 30 | 3 | 2 | 21 | 4 | 0 |
| VERANO (J,A,S) | 2795 | 18 | 0 | 0 | 12 | 6 | 0 |
| OTOÑO (O,N,D) | 4820 | 14 | 0 | 1 | 11 | 2 | 0 |
| Spearman | R | | | 0.80 | | -1.0 | |
| | p<.05 | | | 0.20 | | | |
| | Captura MY | Total fenómenos | Giro ciclónico | Giro anticiclónico | Surgencias | Filamentos | Eddies |
| INVIERNO (E,F,M) | 860 | 46 | 1 | 9 | 25 | 10 | 1 |
| PRIMAVERA (A,M,J) | 241 | 63 | 2 | 6 | 32 | 22 | 1 |
| VERANO (J,A,S) | 1400 | 55 | 3 | 8 | 28 | 15 | 1 |
| OTOÑO (O,N,D) | 2358 | 32 | 2 | 1 | 23 | 5 | 1 |
| Spearman | R | -0.8 | | | -0.8 | -0.8 | |
| | p<.05 | 0.19 | | | 0.2 | 0.1 | |
| | Captura O&W | Total fenómenos | Giro ciclónico | Giro anticiclónico | Surgencias | Filamentos | Eddies |
| INVIERNO (E,F,M) | 0 | 40 | 6 | 2 | 24 | 7 | 1 |
| PRIMAVERA (A,M,J) | 394 | 54 | 3 | 2 | 27 | 18 | 4 |
| VERANO (J,A,S) | 7588 | 63 | 10 | 7 | 30 | 16 | 0 |
| OTOÑO (O,N,D) | 431 | 20 | 2 | 1 | 14 | 3 | 0 |
| Spearman | R | | | | | | -0.73 |
| | p<.05 | | | | | | 0.26 |

7.11. ESTACIONALIDAD DE LAS CAPTURAS.

La captura mensual promedio en cada zona de pesca de sardina en la costa oeste de la PBC y el EU mostró dos máximos en el ciclo anual a excepción de Oregon & Washington (Fig. 17). El máximo de capturas de sardina del Pacífico en Bahía Magdalena (BM) se registran a mediados del año (julio), un segundo pico menor se presenta al final del año (octubre). La captura en Isla Cedros (IC) tiene un pico en abril y otro en octubre. La captura en Ensenada (EN) los máximos se tienen al inicio y al final del año, mientras que en San Pedro (SP) los máximos ocurren en marzo y octubre. Monterey presenta sus máximos a principios de año y a finales. En Oregon & Washington se observa un máximo de capturas en el mes de agosto.

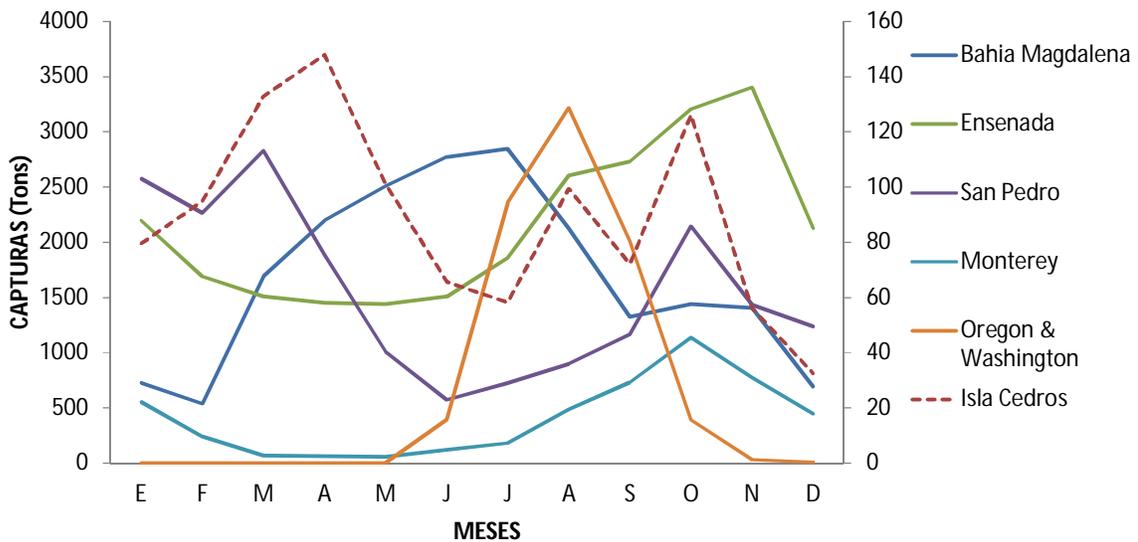


Figura 17. Variación estacional de la captura mensual promedio en las pesquerías de la costa oeste de la PBC y el SC.

7.12. ANÁLISIS DE CAPTURAS DE SARDINA DEL PACÍFICO VS TSM Y CHL “a”.

De acuerdo al análisis de capturas por TSM se observaron tres stocks en el SCC. (Figs. 18a, 18b). Un stock frío adaptado a temperaturas menores de 17 °C. Un stock templado adaptado a temperaturas de entre 17 °C y 22 °C y un stock cálido adaptado a temperaturas mayores de 22 °C (no incluido en este trabajo).

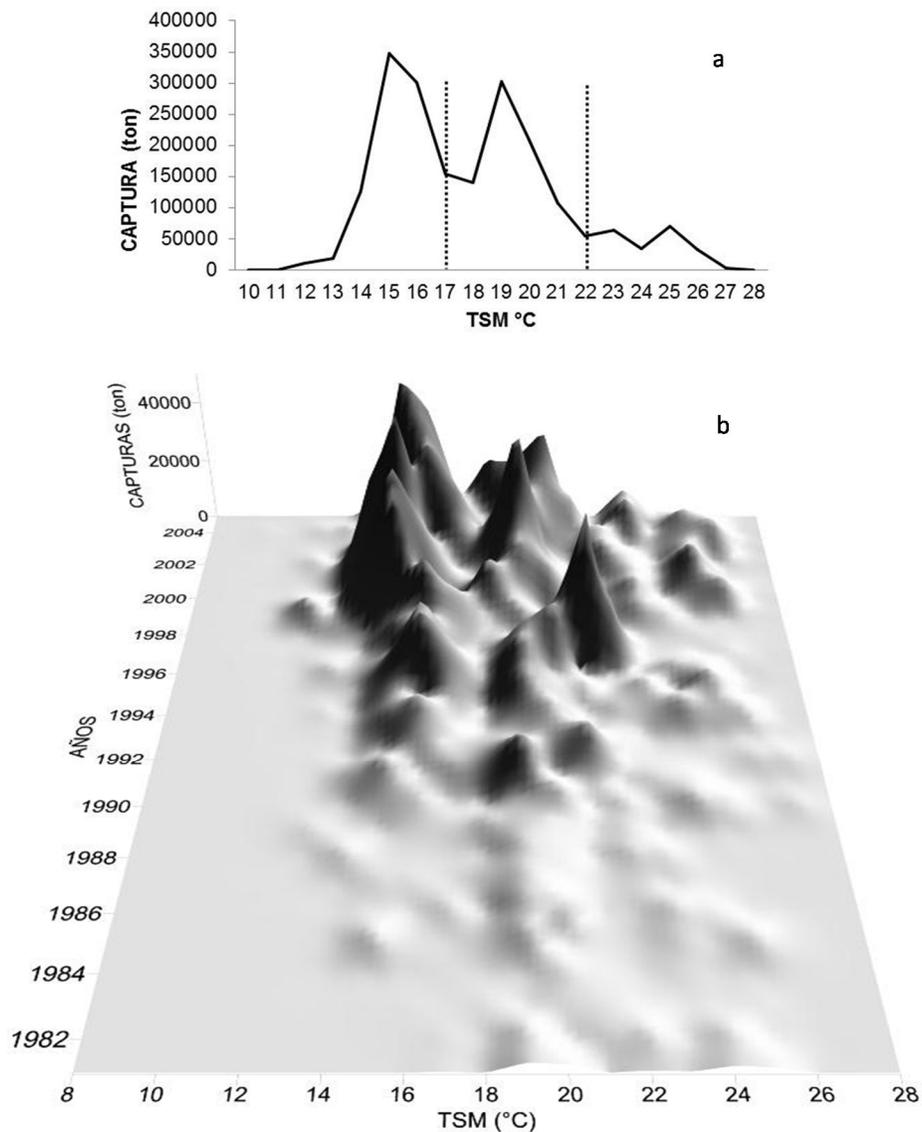


Figura 18. Total de capturas de sardina del Pacífico vs TSM en el SCC a) Capturas acumuladas para el periodo de 1981-2005, b) Distribución anual.

En el caso de las capturas acumuladas vs concentración de Chl "a", mostró el máximo de capturas en el rango de concentraciones superficiales de 0.6 a 1.8 mg/m³, con un decremento gradual hacia concentraciones altas donde se observan otros 2 picos menores de abundancia de sardina en los rangos de 1.8 a 3.4 y mayores de 3.4 mg/m³ de Chl "a". (Fig. 19a).

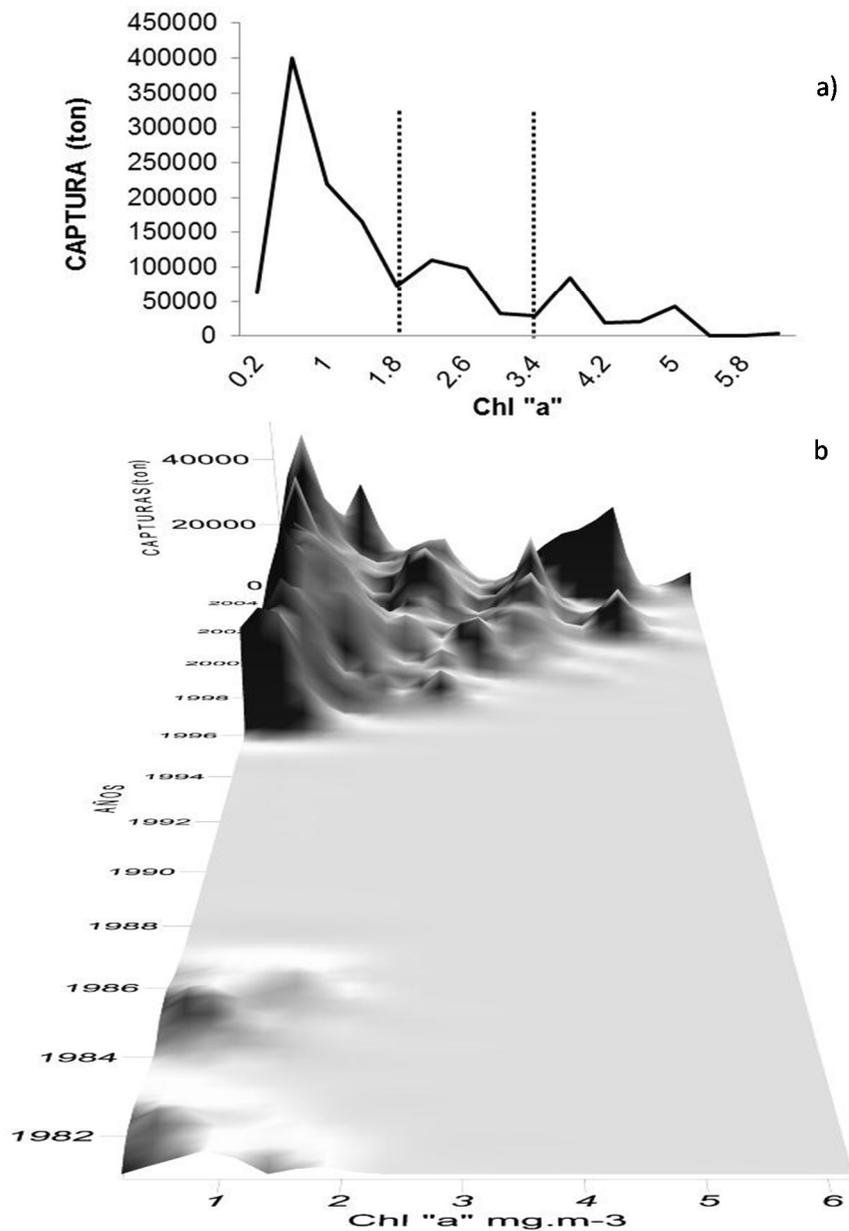


Figura 19. Total de capturas de sardina del Pacífico vs Chl "a" en el SCC a) Capturas acumuladas para el periodo de 1981-2005, b) Distribución anual.

7.13. ANÁLISIS DE LA VARIABILIDAD MENSUAL DE TSM, CHL "a" Y CAPTURAS POR ZONAS DE PESCA PARA EL STOCK TEMPLADO Y FRÍO.

Este análisis mostró que cuando el stock templado se localiza al sur de su distribución (BM e IC) las mayores capturas se presentan en la primera mitad del año. Cuando el stock templado se encuentra en el norte de su distribución en las zonas de pesca de (EN y SP), las mayores capturas ocurren en la segunda mitad del año. En ambos casos el stock templado se restringe a temperaturas entre los 17°C y 22°C y una concentración de Chl "a" entre 0.4 y 1.8 mg/m³. Es notable la sincronización entre los valores más altos de capturas y la concentración de clorofila en la primera mitad del año mientras que en la segunda mitad no se observa este fenómeno (Fig. 20).

Una situación similar fue observada con el stock frío cuando éste se localiza en el sur de su distribución en las zonas de pesca de (EN y SP) las capturas más altas se presentan en la primera mitad del año. Cuando su distribución se presenta al norte (MY y O-W) las mayores capturas ocurren en la segunda mitad del año. En ambos casos el stock frío se restringe a temperaturas por debajo de los 17°C y concentraciones de Chl "a" entre 0.4 and 1.8 mg/m³. En este caso las mayores capturas están asociadas a los rangos con mayores valores de Chl "a" (Fig. 20).

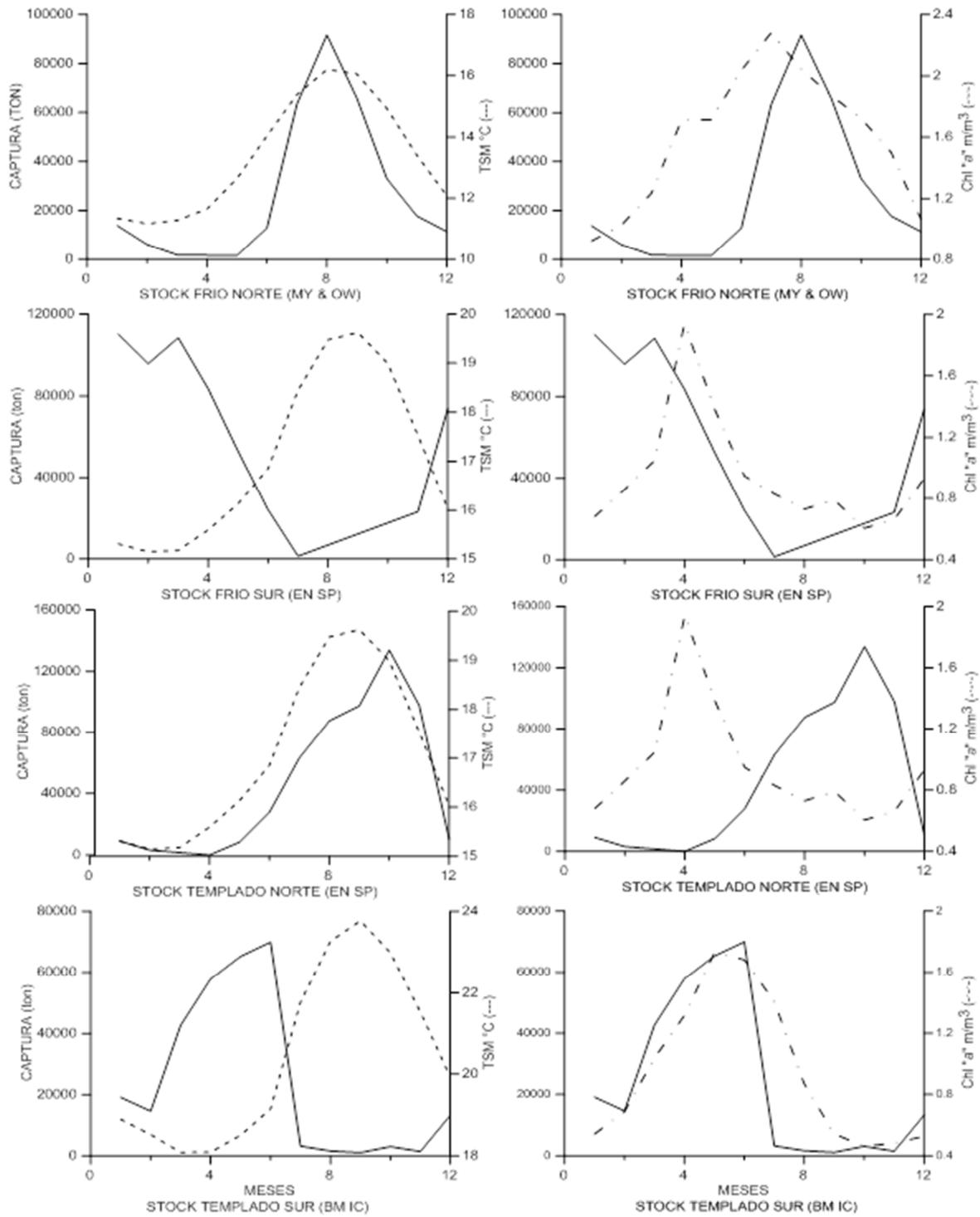


Figura 20. Variación mensual de capturas, TSM y Chl "a" para los stocks templado y frio (zonas de distribución norte y sur). Las líneas continuas indican la captura mensual, la línea punteada la TSM y la discontinua la concentración de Chl "a".

De acuerdo a los resultados de los diagramas de dispersión para el stock templado sur, se puede observar una r^2 de 0.55 entre capturas y TSM, una r^2 de 0.61 entre capturas y concentración de Chl "a" en las zonas de pesca de BM e IC. En el stock templado norte en EN y SP se observa valores de r^2 de 0.80 y 0.34 para TSM y Chl "a" respectivamente. Dichas proporciones nos indican una correlación entre las dos variables analizadas, en la cual el porcentaje de variación de la variable dependiente (capturas), esta explicada por la variable independiente (TSM) o (Chl "a") (Fig. 21).

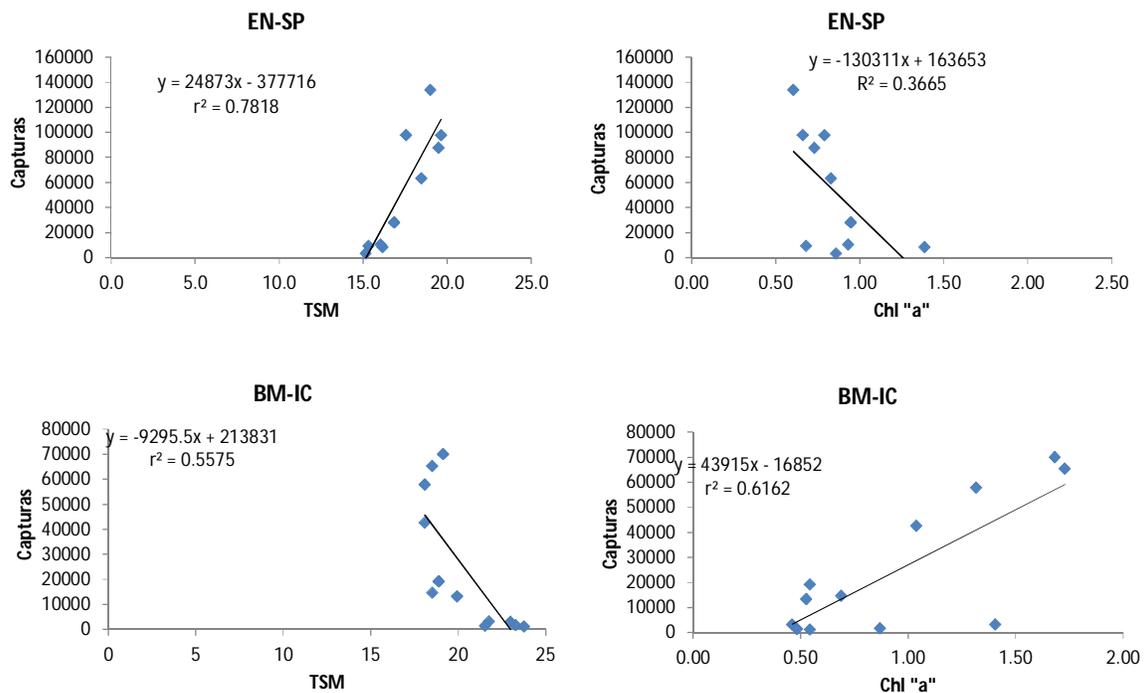


Figura 21. Diagramas de dispersión entre capturas, TSM y Chl "a" para el stock templado en las zonas de pesca de BM, IC, EN y SP.

Los resultados de los diagramas de dispersión para el stock frío sur, se puede observar una r^2 de 0.91 entre capturas y TSM, una r^2 de 0.03 entre capturas y concentración de Chl "a" en las zonas de pesca de EN y SP. En el stock frío norte en MY y O&W se observan valores de r^2 de 0.78 y 0.38 para TSM y Chl "a" respectivamente. Dichos porcentajes indican una correlación entre las dos variables analizadas, en la cual el porcentaje de variación de la variable dependiente (capturas), esta explicada por la variable independiente (TSM) o (Chl "a") (Fig. 22).

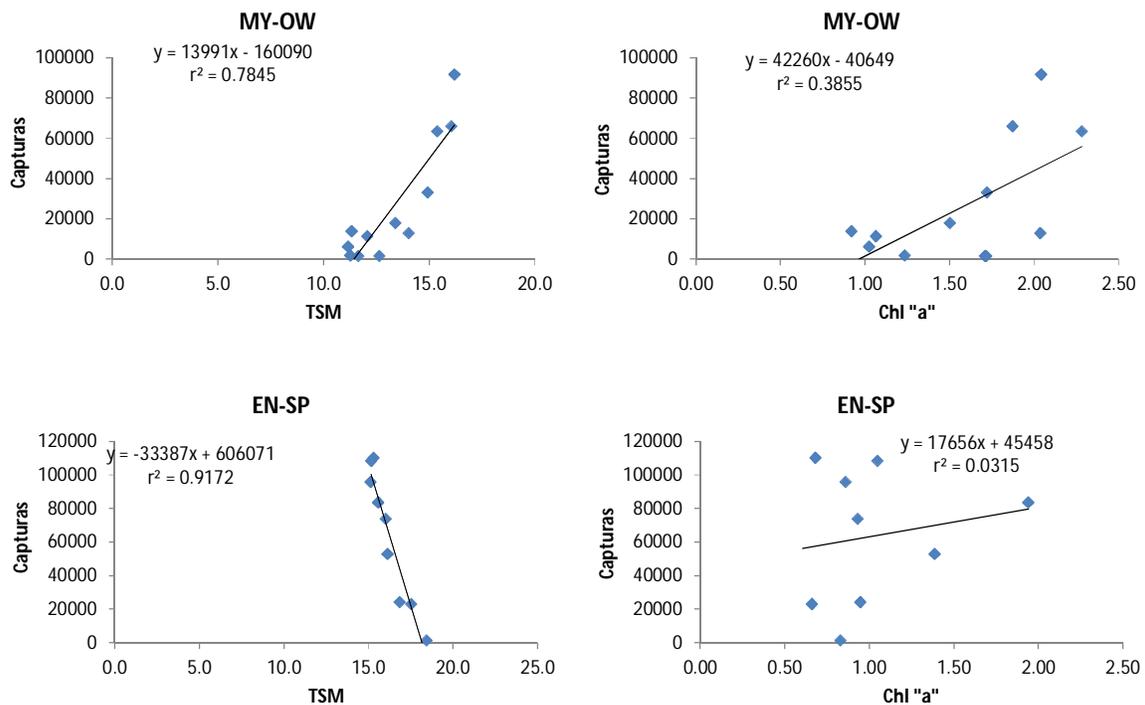


Figura 22. Diagramas de dispersión entre capturas, TSM y Chl "a" para el stock frío en las zonas de pesca de EN, SP, MY y O&W.

7.14. ANÁLISIS DE CORRELACIÓN Y COMPONENTES PRINCIPALES PARA LOS ÍNDICES CLIMÁTICOS Y LA VARIACIÓN DE CAPTURAS PARA LOS STOCKS TEMPLADO Y FRÍO.

Los resultados de este análisis muestran que el índice del PDO tiene una correlación significativa con el stock templado cuando se encuentra al sur de su distribución con una $R = 0.66$, por lo contrario no muestra ninguna relación con los demás stocks. “El Niño” se relacionó significativamente con el stock frío cuando se encuentra al norte de su distribución con una $R = 0.68$. Esto se observa más claramente en la gráfica de componentes principales (Fig. 23).

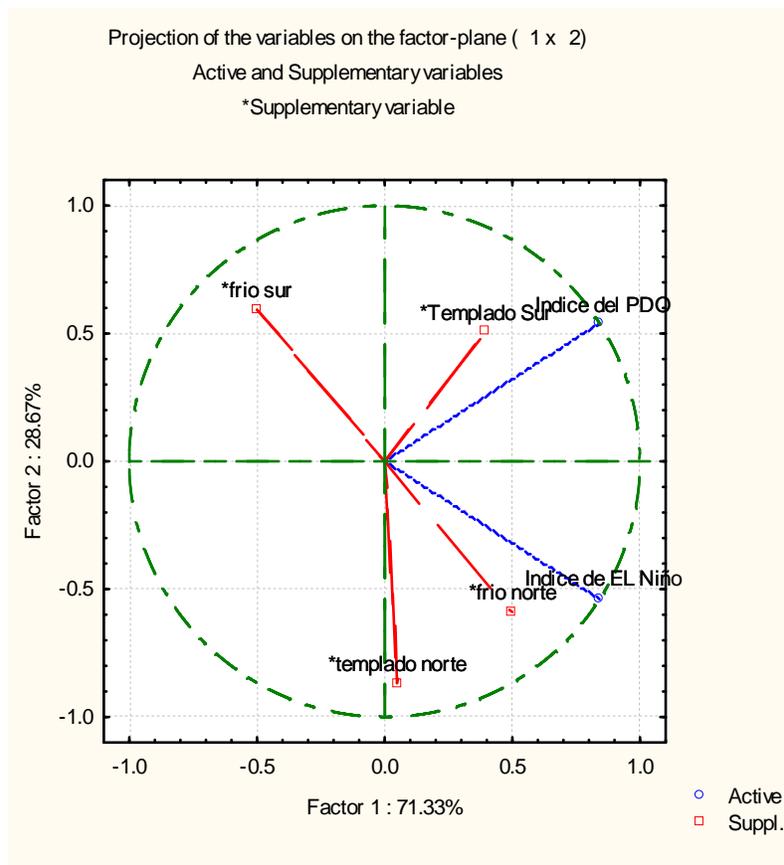


Figura 23. Gráfica de componentes principales entre los índices del PDO, “El Niño” y la captura por stocks.

7.15. ANÁLISIS DE CORRELACIÓN PARA TSM, CHL "a" Y LA VARIACIÓN DE CAPTURAS PARA LOS STOCKS TEMPLADO Y FRÍO.

Para el stock templado sur se observó una correlación significativa con una $R = 0.66$ con Chl "a" y una correlación inversa con TSM con una $R = -0.8$. En el stock templado norte se observa otro comportamiento en las correlaciones donde la TSM tuvo una $R = 0.83$ y la concentración de clorofila una $R = -0.77$.

El stock frío sur solamente mostró una correlación inversa significativa con la TSM con una $R = -0.93$. En el stock frío norte la TSM se correlacionó significativamente con la captura con una $R = 0.79$. Dichos resultados corroboran la relación que se da entre las variables y la distribución de sardina por stocks en el SCC (Fig. 20).

7.16. MODELOS CONCEPTUALES DE SARDINA DEL PACÍFICO POR TSM, CHL "a" Y FENOMENOLOGÍA DE MESOESCALA POR ESTACIÓN DEL AÑO.

Los patrones de distribución para los stocks templado y frío están delimitados en las imágenes de TSM (Figs. 24, 25, 26 y 27). La TSM y concentración de Chl "a" presentaron patrones de variación en espacio y tiempo con un gradiente de norte a sur y de este a oeste respectivamente.

7.16.1. Modelos Conceptuales Para Invierno.

En esta estación ambos stocks se localizaron al norte de su distribución. El stock frío se distribuye principalmente a lo largo de la costa desde MY a O-W con valores por debajo de los 17°C . El stock templado se localiza desde BM hasta el

sur de EN y principalmente entre la isoterma de 17°C y 22°C. Las mayores capturas en esta temporada se presentaron en MY (stock frío) y en BM (stock templado) (Fig. 24a).

La concentración de Chl "a" para invierno presentó una variación longitudinal siendo mayor en la costa y menor en el océano abierto. Las mayores capturas se obtuvieron en el rango de 0.6 a 1.8 mg/m³. Este rango está restringido a la zona costera a excepción del área norte de MY, donde los valores de 0.6 mg/m³ se encuentran más hacia afuera de la costa (Fig. 24b).

El número de giros ciclónicos y anticiclónicos generados durante invierno para todos los años analizados en cada área de pesca se muestran en la figura 24c. Los giros anticiclónicos fueron los fenómenos de mesoescala más frecuentes en el área de estudio a excepción de O-W y BM donde dominaron los giros ciclónicos. La mayor presencia de fenómenos fue observada en el área de IC (12 giros) y la menor en el área de BM (3 giros). También fueron observados filamentos y surgencias moderadas por medio de la concentración de Chl "a" principalmente en SP y O-W.

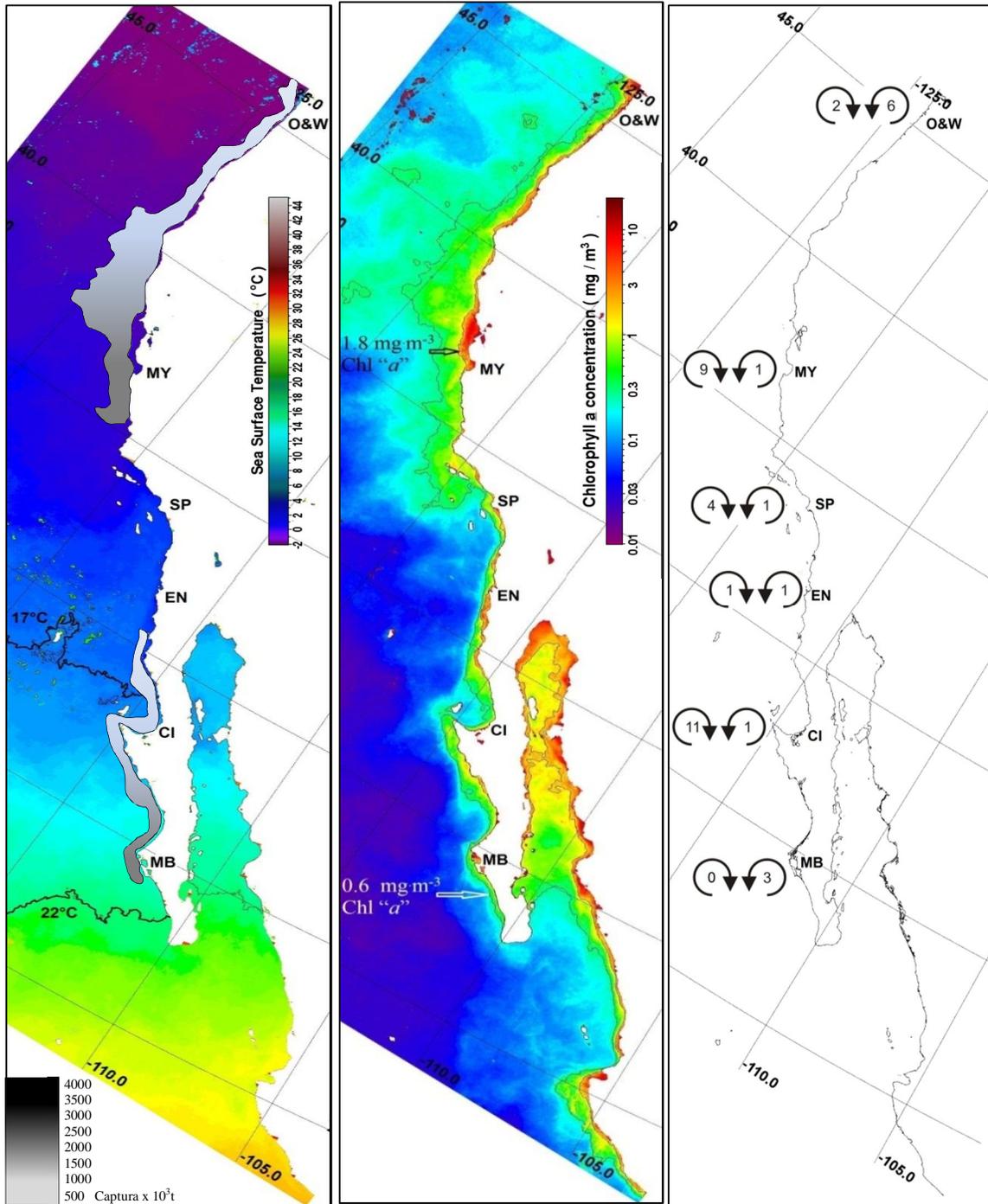


Figura 24. Modelos conceptuales de distribución de sardina por TSM, Chl "a" (sobrepuesto en las imágenes de invierno de 2003) y fenómenos de mesoescala para invierno. a) Imagen de promedio estacional de TSM con las isotermas de los 17°C y 22°C y patrones de distribución de los stocks sobrepuestos en las imágenes. b) Imagen de concentración de Chl "a" con las isoclinas de 0.6 and 1.8 mg/m³. c) Frecuencia de giros ciclónicos y anticiclónicos de mesoescala en cada área de pesca.

7.16.1. Modelos Conceptuales Para Primavera.

En esta estación los dos stocks alcanzan su distribución más sureña. El stock frío se distribuye principalmente a lo largo de la costa desde MY hacia el sur de EN y también con valores por debajo de los 17°C. El stock templado es localizado desde IC hasta la zona sur de BM y también entre las isotermas de 17°C y 22°C. las mayores capturas en esta estación se presentaron en EN (stock frío) y en BM (stock templado) (Fig. 25a).

La concentración de Chl "a" para primavera presenta el mismo patrón longitudinal que en el invierno pero con concentraciones altas restringidas a las costa también con las mayores capturas entre 0.6 a 1.8 mg/m³ aunque con un movimiento más hacia mar abierto (Fig. 25b).

La generación de giros ciclónicos y anticiclónicos varía en primavera en comparación de invierno incrementándose desde IC a EN y disminuyendo en O-W y MY dominando los giros anticiclónicos de nuevo (Fig. 25c). La mayor presencia de estos fenómenos se observó en el área de IC (24 giros) y la menor en el área de BM (3 giros). La intensidad de las surgencias y el incremento en las dimensiones de los filamentos en esta temporada del año, fueron mayormente observados en la parte norte del área de estudio.

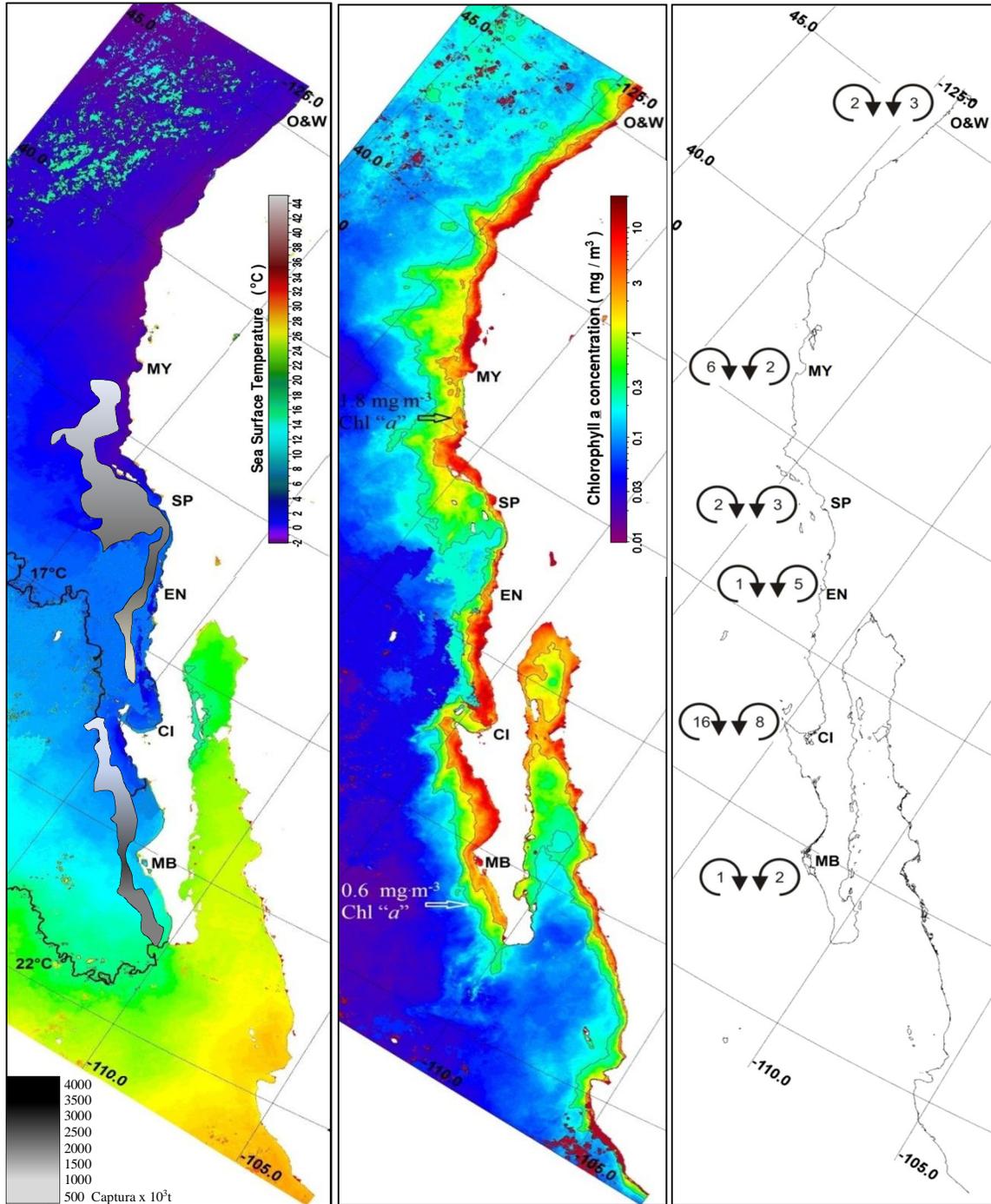


Figura 25. Modelos conceptuales de distribución de sardina por TSM, Chl "a" (sobrepuesto en las imágenes de primavera de 2003) y fenómenos de mesoescala para primavera. a) Imagen de promedio estacional de TSM con las isotermas de los 17°C y 22°C y patrones de distribución de los stocks sobrepuestos en las imágenes. b) Imagen de concentración de Chl "a" con las isolíneas de 0.6 and 1.8 mg/m³. c) Frecuencia de giros ciclónicos y anticiclónicos de mesoescala en cada área de pesca.

7.16.1. Modelos Conceptuales Para Verano.

Los dos stocks muestran un desplazamiento hacia el norte desde su distribución más sureña. El stock frío se observó entre O-W y MY y por debajo de la isolinia de los 17 °C. El stock templado se distribuyó desde EN a BM y mayormente se encontró en el área definida por las isotermas de los 17°C y 22°C. Las mayores capturas en esta estación fueron en O-W (stock frío) y EN (stock templado) (Fig. 26a).

La Chl "a" presentó una concentración similar desde SP a O-W como en primavera pero con un decremento desde EN a BM, también se obtuvieron las mayores capturas en el rango de 0.6 a 1.8 mg/m³. El stock frío se mantuvo localizado en el océano abierto como en primavera, el stock templado presentó un cierto movimiento hacia la costa restringiéndose también las mayores capturas entre 0.6 a 1.8 mg/m³ manteniéndose fuera de la costa (Fig. 26b).

En verano la circulación superficial mostró un mayor número de giros ciclónicos y anticiclónicos en el área de estudio. Las áreas de captura que registraron una mayor presencia de estos fenómenos fueron IC (22), MY (11) y O-W (17) y con menor presencia fue SP (0). Las surgencias costeras y filamentos mantienen su número e intensidad como en primavera en la parte norte y se observa una reducción en la parte sur (Fig, 26c).

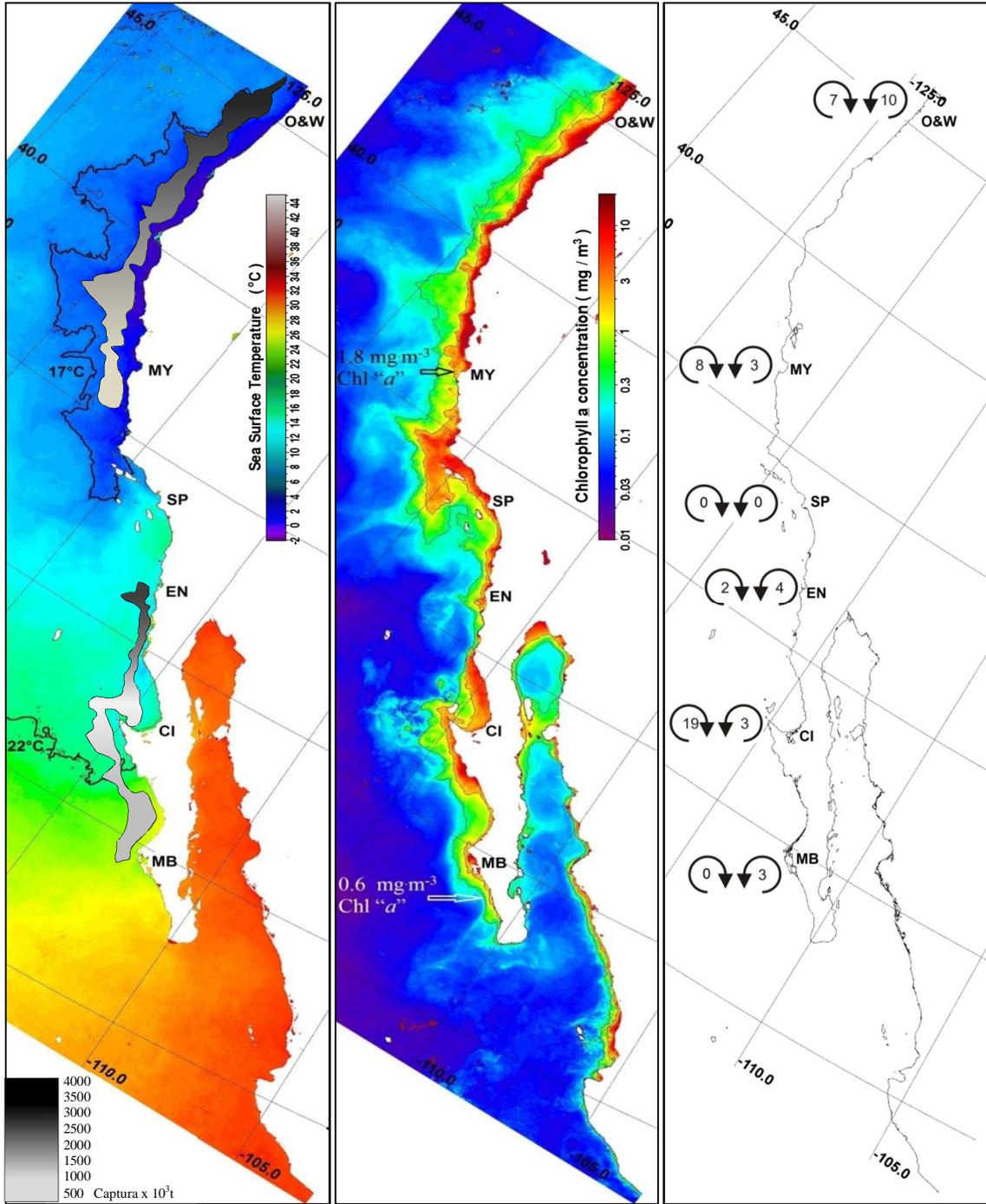


Figura 26. Modelos conceptuales de distribución de sardina por TSM, Chl "a" (sobrepuesto en las imágenes de verano de 2003) y fenómenos de mesoescala para verano. a) Imagen de promedio estacional de TSM con las isotermas de los 17°C y 22°C y patrones de distribución de los stocks sobrepuestos en las imágenes. b) Imagen de concentración de Chl "a" con las isoclinas de 0.6 and 1.8 mg/m³. c) Frecuencia de giros ciclónicos y anticiclónicos de mesoescala en cada área de pesca.

7.16.1. Modelos Conceptuales Para Otoño.

En ésta estación ambos stocks alcanzan su distribución más norteña. El stock frío se distribuyó entre MY y en el límite norteño de O-W y como en los otros periodos por debajo de la isolinia de los 17 °C. La mayor parte del stock templado se encuentra en EN entre los 17°C y 22 °C inclusive con alguna presencia en el límite norte de SP y por debajo de los 17°C (Fig. 27a). Las mayores capturas se encontraron para el stock frío al norte de O-W y en EN para el stock templado, registrando bajos registros de capturas en las otras áreas para ambos stocks.

La distribución de la concentración de clorofila para otoño es similar a la de invierno entre SP y O-W, con una reducción en la concentración al sur del área de estudio y confinada a la costa. Las mayores capturas se obtuvieron como en todo el estudio en el rango de 0.6 de 1.8 mg/m³ (Fig. 27b).

Se observó una drástica reducción en la generación de giros en esta estación para todas las áreas siendo IC el área que registró el mayor número de giros (9). Las surgencias costeras y filamentos también redujeron su presencia en intensidad principalmente en la mitad sur del área de estudio (Fig. 27c).

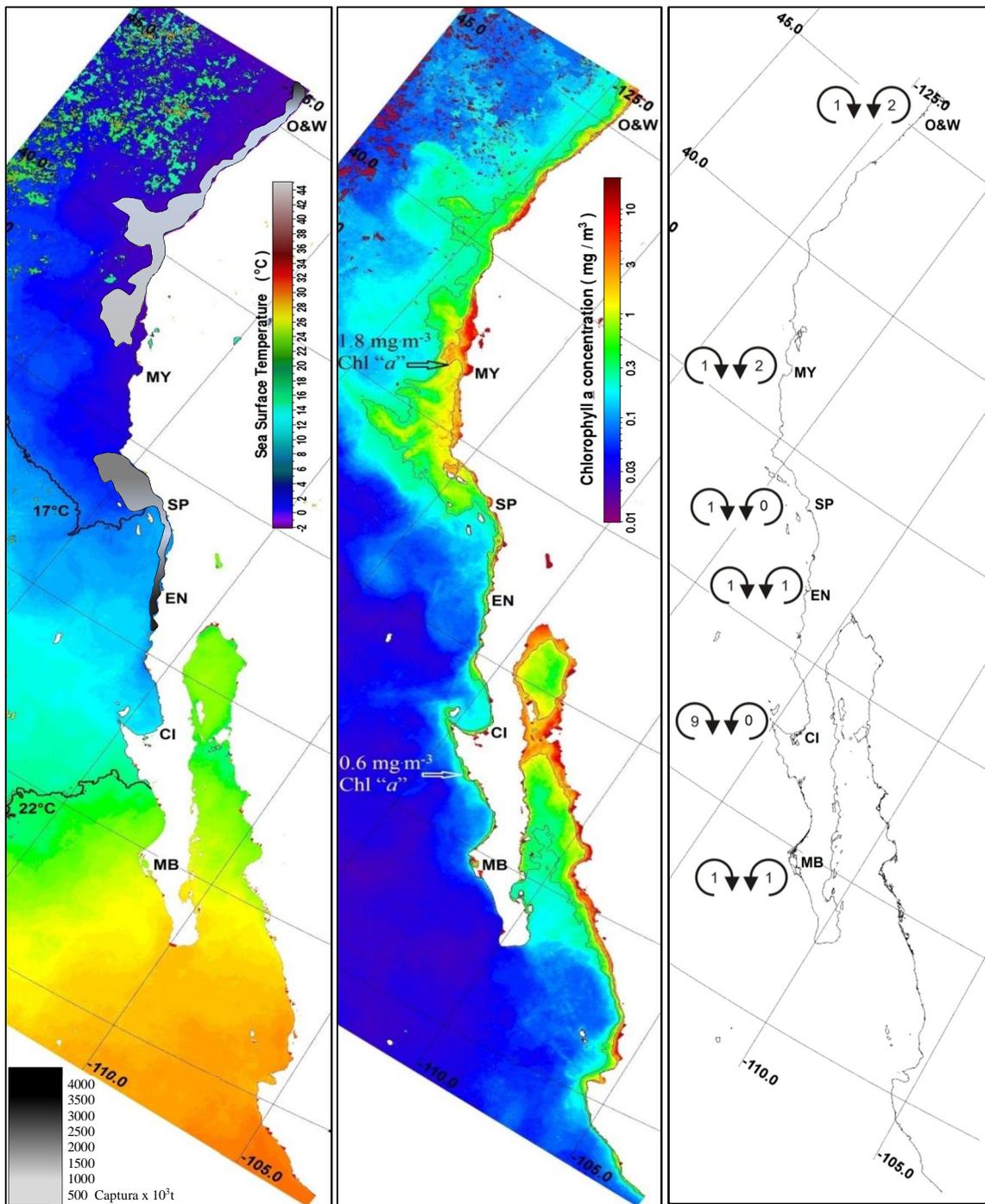


Figura 27. Modelos conceptuales de distribución de sardina por TSM, Chl "a" (sobrepuesto en las imágenes de otoño de 2003) y fenómenos de mesoescala para otoño. a) Imagen de promedio estacional de TSM con las isotermas de los 17°C y 22°C y patrones de distribución de los stocks sobrepuestos en las imágenes. b) Imagen de concentración de Chl "a" con las isolineas de 0.6 and 1.8 mg/m³. c) Frecuencia de giros ciclónicos y anticiclónicos de mesoescala en cada área de pesca.

8. DISCUSIÓN.

8.1. VARIABILIDAD ANUAL DEL PDO Y “EL NIÑO” Y SU RELACIÓN CON LA ABUNDANCIA DE SARDINA DEL PACÍFICO, TSM Y CHL “a”.

El PDO es el principal componente de cambios en las anomalías de TSM en el Pacífico Norte (Mantua & Hare 2002), teniendo periodos de anomalías positivas o negativas aproximadamente de 20 a 30 años, tal y como se pudo observar en la variabilidad de TSM en este estudio presentando un periodo de anomalías positivas de aproximadamente 18 años denominada como fase cálida o positiva.

Por otra parte “El Niño” presentó variaciones que van de 2 a 5 años, son periodos dentro de los mencionados por Parés–Sierra *et al.* (1997) los cuales caracterizan al fenómeno de “El Niño” con periodos de duración de 3 a 7 años.

Lluch Belda *et al.* (1989) mencionan la importancia de la identificación de periodos cálidos o fríos ya que son importantes descriptores de los cambios multidecadales en las pesquerías de pelágicos. Tal y como se muestra en nuestro estudio en el cual podemos observar un aumento sostenido de la pesquería de sardina del Pacífico en el SCC la cual se encontraba colapsada en 1981, esta se recuperó paulatinamente durante los siguientes 25 años, ósea los periodos cálidos favorecen el aumento en la abundancia de sardina, este periodo de restauración mencionado coincide con la fase cálida de PDO como lo mencionan Chávez *et al.*, (2003). Ambos tienen efecto localmente (Chelton 1981; Lynn & Simpson 1987; Pares-Sierra & O’Brien 1989; Strub, *et al.* 1990). En este estudio se pudo observar que el PDO principalmente afecta a la abundancia de la población de sardina en

comparación de otro fenómeno interanual como “El Niño” el cual tiene efectos principalmente en su distribución y en periodos más cortos tal y como se pudo ver en los resultados de las correlaciones. Sin embargo estos dos fenómenos afectan de una manera muy interesante a la población de sardina por stocks donde el PDO se correlaciona significativamente con el stock templado sur dado que este fenómeno afecta por ultimo a esta porción del stock dada su lejanía con sus efectos. Por el contrario “El Niño” se correlaciona significativamente con el stock frío y templado en su distribución norte ya que por el efecto de este fenómeno ambos stocks se desplazan mas al norte y ´por un tiempo mas prolongado. La TSM y concentración de clorofila “a” mostraron una variabilidad espacio-temporal para todos los años de estudio y áreas de pesca. En donde la variabilidad anual muestra 4 anomalías positivas en la TSM en los años de 1982-83, 1991-92, 1997-98 y 2004 identificados como (“El Niño”), seguido de un periodo de restauración de anomalías negativas en todas las áreas de pesca identificado como el fenómeno de La Niña, con periodos que van de 3 a 6 años (Parés–Sierra *et al.* 1997; Durazo & Baumgartner 2002; Mendelssohn *et al.* 2003; Durazo 2009). La temperatura promedio en el área de estudio varió de aproximadamente 10°C a 24°C con un gradiente latitudinal de norte a sur, coincidiendo para las zonas de estudio reportadas por Félix-Uraga (2004) estos valores difieren a los reportados por Gómez–Valdéz & Vélez–Muñoz (1982) para la zona de la PBC en donde reportan valores menores de TSM.

En cuanto a la variabilidad mensual la TSM presentó dos temporadas una fría en la primera mitad del año y una cálida en la segunda mitad del año. Al principio de la primavera en abril se presentan las anomalías negativas máximas

de TSM de (-2°C), y en el mes de septiembre se observan las anomalías positivas máximas de TSM de (+5°C) coincidiendo con lo reportado Félix-Uraga (2004); Durazo (2009) y difiriendo de lo reportado por Gómez-Valdéz & Vélez-Muñoz (1982) esto puede deberse a la intensa variabilidad de estos fenómenos a lo largo del periodo de estudio que no solo está afectando las condiciones globales sino principalmente localmente.

La respuesta física de “El Niño” y el PDO en el SCC se traduce en un aumento en la TSM, reducción de vientos, fuerte estratificación vertical reduciéndose el aporte de nutrientes y por ende una baja biomasa fitoplanctónica, (Kahru & Mitchell 2000; Bograd & Lynn 2001) y en una reducción en la producción primaria y la disponibilidad de alimento (Chelton *et al.* 1982; Emery & Hamilton 1985; Wooster & Fluharty 1985; Mysak 1986; Chavez *et al.* 2002) como se observó en la variabilidad anual de concentración de clorofila “a” en el SCC para este estudio donde se muestran tres reducciones en la Chl “a” en los años 1983, 1997 y 2004, alterando la distribución y abundancia de especies como la sardina del Pacífico tal y como se muestra en nuestro estudio que “El Niño” está afectando la abundancia de esta especie observándose claramente la reducción de capturas en los años Niño para toda las zonas pero más notable en “El Niño” de 1997-98.

Por otro lado la variabilidad mensual de Chl “a” mostró los niveles más altos en primavera y verano tal y como lo reportan Hickey (1979, 1998) y Chávez *et al.* (2002). En los primeros seis años de estudio los promedios de Chl “a” se mantienen por debajo de 1.1 mg/m³ con un aumento gradual a partir de 1997 al 2005. Esto puede deberse por que a partir de 1997 se presentaron condicione

frías en cuanto al PDO y “El Niño” y en los primeros seis años condiciones cálidas con una disminución en la concentración de clorofila “a”.

8.2. VARIABILIDAD ANUAL Y ESTACIONAL DE FENÓMENOS DE MESOESCALA Y SU RELACIÓN CON CAPTURAS Y VARIABLES AMBIENTALES.

Estudios anteriores mencionan que es común observar remolinos en el SCC los cuales se identifican usando datos de altimetría, datos de hidrografía y cuerpos de deriva superficiales o sub-superficiales. En este estudio se identificaron estos fenómenos de mesoescala mediante imágenes de satélite de clorofila dada su mayor cobertura lo cual permite hacer un mayor análisis que otros métodos usados por Strub & James (2000); Huyer *et al.* (1998); Simpson & Lynn (1990); Garfield *et al.* (1999).

Los estudios más generales de circulación como los de (Sverdrup & Fleming 1941; Hickey 1979; Reeves *et al.* 1983; Lynn & Simpson 1987) muestran que la intensificación del SCC está controlada por los vientos del oeste, los cuales pueden estar ocasionando la gran variabilidad de fenómenos de mesoescala distribuidos en toda la zona de estudio en donde las épocas de mayor frecuencia de fenómenos son primavera y verano coincidiendo con el máximo desarrollo de la CC en primavera. Donde se observan principalmente remolinos como lo mencionan Schwing *et al.* (2002); Venrick *et al.* (2003); Durazo (2009), surgencias y filamentos (Hickey 1979) en coincidencia con otros estudios (Lynn & Simpson 1987; Parés-Sierra *et al.* 1997; Soto-Mardones *et al.* 2004; Espinoza-Carreón *et al.* 2004; Durazo 2005). Estas variaciones de fenómenos también afectan las

condiciones locales en el SCC y por ende a las especies que en ella habitan como se observa en las diferentes zonas de pesca lo cual ocasiona variaciones en su abundancia dependiendo de su frecuencia y sus efectos en la columna de agua. En nuestros resultados por zonas se observa una relación inversa significativa o sea a mayor número de fenómenos se relaciona con menos captura y viceversa, lo cual aparentemente en mayor frecuencia e intensidad afecta de manera negativa a la abundancia de sardina la cual prefiere zonas de surgencias moderadas (Checkley *et al.* 2000).

El SCC mostró una variabilidad muy importante de fenómenos de mesoescala durante todos los años de estudio tanto latitudinalmente como longitudinalmente coinciden con resultados obtenidos por Parrish *et al.* (1981); Strub *et al.* (1990); Mendelssohn *et al.* (2003); Huyer *et al.* (1979); Strub, & James. (1988); Lynn & Simpson (1987) quienes principalmente identifican fenómenos en tres diferentes zonas antes mencionadas en los antecedentes. En el SCC se pudo observar que en periodo cálido en los años de (1981 a 1997) tuvo una menor frecuencia de fenómenos y a partir de 1998 al 2005 se observó un aumento en la frecuencia de fenómenos posiblemente debido a que a partir de 1999 se presentó una fase negativa del PDO con TSM mas fría a causa de la Baja Presión Aleutiana que está asociada con un desplazamiento de vientos invernales hacia el centro del Pacífico, con cambios medios en la intensidad del viento junto a la costa en Norte América (Mantua *et al.* 1997). Smith & Moser (2003) mencionan que estos vientos pueden causar cambios en la intensidad de la CC, aunado a las irregularidades batimétricas y topográficas de la costa reportadas por Owen (1980), los cuales forman procesos de mesoescala como filamentos que llevan a la formación de chorros cerca de los frentes de surgencia y

parecen ser dinámicamente los factores más importantes en la formación de estos remolinos (Parés–Sierra *et al.* 1997). Todo lo anterior pudo haber propiciado el aumento en la concentración de Chl “a” debido al aumento en las surgencias y en las capturas anuales las cuales estuvieron correlacionadas significativamente y principalmente con giros anticiclónicos y surgencias.

Un dato importante a destacar es que el año de 1997 mostró menor frecuencia de fenómenos, mayor TSM y menor concentración de Chl “a” posiblemente debido al acoplamiento de las fases de anomalías positivas de los dos fenómenos de macroescala las cuales ocasionaron un debilitamiento en la CC, aumento considerable en el promedio de TSM y por consecuencia baja intensidad de surgencias, baja concentración de pigmentos como lo mencionan Chelton *et al.* (1982); Simpson (1992); Hollowed (1992); Hickey (1998).

Por otro lado en el análisis de fenómenos por zonas y por temporadas se observó un resultado no esperado en el cual la fenomenología no se correlacionó significativamente con las zonas y ni con la captura lo cual nos puede indicar que el recurso no se encuentra estático en un solo lugar, sino siguen patrones de migración latitudinales como lo menciona Félix-Uraga (2004); Smith (2005); Emmett *et al.* (2005); McClatchie (2009) moviéndose permanentemente siguiendo los fenómenos o estructuras favorables en su dinámica poblacional y siguiendo valores óptimos de TSM y Chl “a” y también presentando movimientos longitudinales hacia fuera de la costa como se observa en los resultados de distribución de este trabajo en coincidencia con otros estudios como los de Macewicz & Abramenkoff (1993); Rykaczewski & Checkley (2008); Zwolinski *et al.* (2011). Todo esto se suma a la gran heterogeneidad de los ecosistemas por zonas o regiones características que abarcan

no solo una zona de pesca sino varias con las condiciones óptimas para su abundancia y distribución.

8.3. MODELOS CONCEPTUALES DE DISTRIBUCIÓN DE SARDINA DEL PACÍFICO.

Los resultados de esta tesis, confirman la existencia de tres stocks propuestos por Félix-Uraga *et al.* (2004, 2005), adaptados a diferentes rangos de temperatura (frío <17°C, templado entre 17°C y 22 °C s y cálido> 22°C), de los cuales son únicamente representativos los stocks frío y templado. En adición a los trabajos previos realizado por Félix-Uraga *et al.* (2004, 2005) en el presente estudio adiciona con mayor exactitud la localización de los stocks o subpoblaciones, en relación a los límites de los rangos de temperatura y los movimientos latitudinales de los stocks. También se proponen los movimientos longitudinales y una descripción de la distribución hasta O-W, (área no incluida por Félix-Uraga *et al.* 2004, 2005), así como los límites de Chl "a" (0.6 a 1.8 mg/m³), en los que se distribuyen ambos stocks analizados. Esto no significa que la distribución del stock frío esté limitada a la latitud de O-W, sino que la falta de datos satelitales adecuados fue una limitante para analizar la pesquería de Vancouver.

Respecto a las variaciones de SST y a las capturas durante la primera mitad del año, cuando la distribución de los stocks frío y templado están al sur, las temperaturas más bajas coincidieron con las capturas máximas de sardina. Para la segunda mitad del año, cuando ambos stocks se movieron hacia la parte más norteña de su distribución, las zonas de mayor temperatura concuerdan con los

lugares de máximas capturas. Lo anterior coincide con lo encontrado por Félix-Uraga *et al.* (2004, 2005), quienes también definieron que la distribución de ambos stocks se localiza en áreas con TSM entre 17°C y 22°C, para el stock templado, y menor de 17°C para el stock frío.

Los resultados del invierno del presente estudio sugieren un movimiento de los dos stocks hacia el sur posiblemente relacionado con la intensificación de la CC durante esta estación del año (Pérez-Brunius 2007). Los rangos de distribución de Chl "a" en esta época se localizan cerca de la costa y se encuentran asociados a surgencias débiles. En consecuencia, las capturas más altas en las áreas de pesca de MY (stock frío) y BM (stock templado) se localizaron cerca de la costa. La distribución de los stocks se asoció a una menor frecuencia de giros anticiclónicos en MY y menos giros ciclónicos en BM. Cabe hacer notar que mientras en IC se observó una mayor generación de remolinos tanto anticiclónicos y ciclónicos y las capturas fueron escasas, a pesar de la corta distancia entre estas dos localidades donde se distribuye el stock templado en esta época del año.

En primavera, ambos stocks alcanzan su distribución más sureña, período en el que la CC alcanza su mayor intensidad y presencia, inclusive localizándose al sur de la PBC (Pérez-Brunius 2007). Así mismo, se observa un desplazamiento longitudinal de los stocks hacia afuera de la costa, extendiéndose además en mayores áreas, como consecuencia de las intensas surgencias que ocurren durante la primavera (Pérez-Brunius 2007; Zwolinski 2011). Las capturas más altas se observaron en EN (stock frío) y BM (stock templado), asociadas a giros ciclónicos, con una mayor frecuencia en EN. Es de resaltar que Ahlstrom

(1966); Clark (1947, 1952), reconocieron a estas zonas como áreas de desove de la sardina, dónde sus larvas tienen disponibilidad de alimento para su desarrollo.

El movimiento hacia el norte de ambos stocks fue evidente en verano período del año en el cual la CC se debilita y la CCC se intensifica, presentándose un ambiente más tropical al sur de la zona de estudio (Di Lorenzo 2003; Pérez-Brunius 2007). Lo anterior aunado a que en esta época del año se presentó la mayor frecuencia de giros de todas las estaciones. La distribución oceánica de ambos stocks persistió en el verano, pero las capturas más altas se registraron al norte de sus distribuciones (O-W para el stock frío y EN para el templado). Esta situación se debió principalmente a la persistencia de surgencias intensas a lo largo de las costas de EE.UU. y con menor intensidad, a lo largo de las costas de México, así como a la presencia de giros ciclónicos, siendo más frecuentes frente a O-W. Es de destacar que Emmett *et al.* (2005); Lluch-Belda *et al.* (1991) consideran que las áreas ocupadas por ambos stocks durante el verano, las utilizan principalmente para su alimentación y desoves esporádicos.

En otoño, ambos stocks alcanzaron su distribución más norteña, esto ocurre cuando la CCC continúa su intensificación y aparece la CD. Algunos autores sugieren que la CD es el resultado de la intensificación de la CCC, cuando esta última alcanza la superficie cerca de la costa y es detectada desde Pt. Concepción hasta Vancouver (Pavlova 1966; Pares-Sierra 1989; Hickey 1998). La aparición de la CD genera un transporte hacia el polo de aguas menos frías a latitudes más altas y contribuye a que el stock frío se distribuya más hacia el norte, alcanzando las costas de Canadá y sur de Alaska. En otras palabras, se infiere que una parte importante del stock frío se localiza más allá de los límites de

nuestra área de estudio, debido a la presencia de la CD, causando un desplazamiento de dicho stock frío hacia el área de pesca de Vancouver. Adicionalmente, se puede mencionar que el debilitamiento de las surgencias durante el otoño, permitió a los stocks acercarse a la zona costera y desplazarse mas al norte. Este debilitamiento de las surgencias en las áreas de pesca durante el otoño, también ha sido observado por el Zaytzev *et al.* (2007) Lynn & Simpson (1987). Dado este desplazamiento el stock templado presentó las capturas máximas en EN durante esta época de otoño y el stock frío presento las máximas capturas al norte de EE.UU. y sur de Canadá. Es notorio que en esta estación se haya registrado la menor frecuencia de giros en todas las áreas de la pesca. En los resultados se pudo observar que una fracción del stock templado sobrepasó los límites mínimos de su distribución (17°C), esto permite asumir que esta fracción posiblemente forme parte de la fracción del stock frío, como ha sido propuesto por Emmett *et al.* (2005); Smith, (2005); Radovich, (1982).

De los resultados de este análisis, se puede inferir que los stocks de sardina se distribuyen en las inmediaciones de las áreas de surgencias, con valores moderados de Chl "a" a lo largo del año, limitando su distribución a valores entre 0.6 y 1.8 mg/m³, lo cual está de acuerdo con los resultados obtenidos por Zwolinski *et al.* (2011), quién definió este rango como el hábitat óptimo para esta especie.

Los cambios de productividad descritos mediante los modelos conceptuales, fueron debidos a las variaciones del SCC y a los fenómenos físicos de mesoescala (Pickett & Schwing 2006), consistiendo en giros ciclónicos y anticiclónicos, surgencias y filamentos presentes en cada estación del año (Lynn

Simpson 1987; Huyer 1998; Espinosa-Carreón 2004; Soto-Mardones 2004; Durazo 2009).

9. CONCLUSIONES.

Se corroboró la presencia de los tres stocks de sardina del Pacífico, previamente propuestos en el SCC, adaptados a tres rangos de temperatura. El stock cálido mostró afinidad por temperaturas mayores a 22° C, el stock templado entre 17° C y 22° C y el stock frío a menores de 17° C.

Se precisaron los desplazamientos latitudinales de los stocks templado y frío mediante las imágenes de Temperatura Superficial del Mar. En donde los stocks templado y frío se desplazan hacia el sur en los modelos de invierno y primavera y retornan al norte en los modelos de verano y otoño.

Así mismo, también se precisaron los desplazamientos longitudinales de los stocks templado y frío mediante imágenes de concentración de Chl "a", encontrándose que se desplazan hacia la zona oceánica en los modelos de primavera y verano y hacia la zona costera en los modelos de otoño e invierno. Circunscribiéndose al rango de concentración de Chl "a" de 0.6 a 1.8 m/m³. Que corresponde a valores medios de las surgencias, ya sean intensas o moderadas.

Se caracterizó el ambiente físico-biológico de los diferentes hábitats de la sardina del Pacífico en el Sistema de la Corriente de California, a partir del análisis de los datos de Temperatura Superficial del Mar y concentración de clorofila "a" superficial mediante imágenes satelitales y el análisis de los índices de macroescala PDO "El Niño".

Se determinó la dinámica oceanográfica de mesoescala en los diferentes hábitats de la sardina del Pacífico en el Sistema de la Corriente de California dentro de los cuales se identificó la variabilidad de giros ciclónicos, anticiclónicos surgencias y filamentos. Lo anterior haciendo énfasis en las imágenes de satélite de clorofila “a”, ya que, se ha comprobado una mayor utilidad de este tipo de imágenes a lo largo del año, como una herramienta para identificar estas estructuras.

Se observó que dichas estructuras de mesoescala como las surgencias están determinando el desplazamiento longitudinal hacia la zona oceánica en las temporadas de primavera y verano, o hacia la zona costera en las temporadas de otoño invierno.

Se determinó que las mayores capturas por año se dan cuando se presentan una mayor cantidad de fenómenos de mesoescala destacando giros anticiclónicos y surgencias. Por otra parte, en el análisis por zonas de pesca de sardina, las mayores capturas se asociaron a zonas con menor cantidad de estas estructuras.

Se encontró un impacto considerable de los efectos de la variabilidad climática de macro y mesoescala durante los años de estudio SCC, debido a que, producen condiciones favorables o desfavorables en la distribución y abundancia de los stocks de sardina del Pacífico.

Con la integración de las capturas y las variables ambientales de Temperatura Superficial de Mar, concentración de Chl “a” y giros de mesoescala para cada una de las estaciones del año, fue posible desarrollar modelos

conceptuales de distribución y abundancia de sardina para cada variable en estudio.

Mediante estos modelos se precisaron los periodos de migración estacionales, los cuales se encuentran sincronizados con los cambios latitudinales de Temperatura Superficial del Mar y longitudinales de concentración de Chl “a” y asociados a la variabilidad estacional de las corrientes presentes en el área de estudio y los efectos de los fenómenos de macroescala del PDO y “El Niño”.

Dado lo anterior y los análisis de correlación y asociación de pudo reforzar la hipótesis del trabajo que consistió en que “El hábitat de los stocks de la sardina del Pacífico presentes en el borde oriental del Sistema de la Corriente de California, está influenciado por los parámetros ambientales que delimitan la distribución y abundancia de los stocks de sardina del Pacífico. Esto debido a que cada stock de sardina del Pacífico tiene requerimientos ambientales diferentes, los cuales los llevan a seguir las condiciones optimas para su distribución y abundancia.

9. RECOMENDACIONES.

En el periodo que se realizó este estudio se caracterizó la variabilidad ambiental interanual y estacional de TSM, concentración de clorofila “a” y fenómenos de macro y mesoescala en los diferentes hábitats en los que se distribuye la sardina del Pacífico. Por lo tanto para continuar con este estudios, se recomienda integrar los datos de capturas de los años posteriores y de las zonas de pesca más norteñas, así como los datos satelitales de esas áreas como los ya utilizados en este documento y agregando posibles sensores como el Quikscat

para determinar vientos y caracterizando la capa de mezcla y la termoclina. Así mismo integrar datos de altimetría y escaterometría para obtener flujos geostróficos y reafirmar los resultados obtenidos en este estudio y contestar las hipótesis generadas en este trabajo y si es posible integrar un número mayor de variables.

10. BIBLIOGRAFÍA.

- Ahlstrom, E. H., 1966. Distribution and abundance of sardine and anchovy larvae in the California current region off California and Baja California, 1951-64: A summary. U.S. Fish. Wildl. Serv., Spec. Sci. Rep., 534: 71
- Arriaga–Cabrera, L., E. Vázquez–Domínguez, J. González–Cano, R. Jiménez–Rosenberg, E. Muñoz–López & V. Aguilar–Sierra. 1998. *Regiones prioritarias marinas de México*. Consejo Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México. 198 p.
- Bakun, A. & K. Broad. 2003. Environmental loopholes and fish population dynamics: comparative pattern recognition with focus on El Niño effects in the Pacific. *Fisheries Oceanography*, 12(4): 1-16.
- Barth, J. A., S. D. Pierce & R. L. Smith. 2000. A separating coastal upwelling jet at Cape Blanco, Oregon and its connection to the California Current System. *Deep-Sea Research (II)*, 47:783-810.
- Batchelder, H. P., C. A. Edwards & T. M. Powell. 2002. Individual based models of copepod populations in coastal upwelling regions: Implications of physiologically and environmentally influenced diel vertical migration on

- demographic success and nearshore retention, *Prog. Oceanogr.*, 53: 307–333.
- Bateen, M. L., 1997. Wind-forced modeling studies of currents, meanders and eddies in the California Current System. *Journal of Geophysical Resources*, 1021(C1): 985-1010.
- Baumgartner, T. A., Soutar & V. Ferriera-Bartrina. 1992. Reconstruction of the history of pacific sardine and northern anchovy populations over the past two millenia from sediments of the Santa Barbara Basin, California. *CalCOFI Rep.*, 33:24-40.
- Bograd, S. J., & R. J. Lynn. 2001. Physical-biological coupling in the California Current during the 1997-99 El Niño – La Niña cycle, *Geophys. Res. Lett.*, 28: 275-278.
- Bograd S. J., & Lynn R. J. 2003. Long-term variability in the Southern California Current System. *Deep-Sea Res.*, Vol. II (50): 2355–2370.
- Bowen, B. W., Grant, W. S., 1997. Phylogeography of the sardines (*Sardinops* spp.): assessing biogeographic models and population histories in temperate upwelling zones. *Evolution* 51, 1601–1610.
- Carr, M. E., 2002. Estimation of potential productivity in the Eastern Boundary Currents using remote sensing. *Deep-Sea Res.*, Vol. II (49): 59-80.
- Checkley, D. M., R. C. Dotson, & D. A. Griffith. 2000. Continuous, underway sampling of eggs of Pacific sardine and northern anchovy in spring 1996 and 1997 off southern and central California. *Deep Sea Research (II)*, 47: 1139-1155.

- Chavez, F. P., Collins, C. A., Huyer, A. & Mackas, D. L., 2002. El Niño along the west coast of North America. *Prog. Oceanogr.*, 54(1-4): 1-5.
- Chavez, F. P., J. Ryan, Lluch-Cota S. E, Niquen M. 2003. From anchovies to sardines and back: Multidecadal change in the Pacific Ocean. *Science*, 299: 217–221.
- Chelton, D. B. 1981. Interannual variability of the California current physical factors. *CalCOFI Reports*, 22: 34-48.
- Chelton, D. B., P. A. Bernal, & J. A. McGowan. 1982. Large-scale interannual physical and biological interaction in the California Current. *J. Mar. Res.*, 40: 1095–1125.
- Clark, F. N., & J. F. Janssen Jr. 1945. Movements and abundance of the sardine as measured by tag returns. Calif. Dep. Fish Game, *Fish Bull.*, 61:7-42.
- Clark, F. N. 1947. Analysis of populations of the Pacific sardine on the basis of vertebral counts. Calif. Div. Fish Game, *Fish. Bull.*, 65: 5-26
- Cushing, D. H. 1981. Fisheries Biology. A study in population dynamics. Univ. Wisconsin Press Ltd., 2nd Edition, London. 295 p.
- De La Cruz-Agüero, J., & F. J. García-Rodríguez. 2004. Morphometric stock structure of the Pacific sardine *Sardinops sagax* (Jenyns, 1842) off Baja California, Mexico, 115–124. *In: Morphometrics: Applications in Biology and Paleontology*, A. M. Elewa, (ed.) New York, NY., Springer-Verlag.
- Durazo, R. & T. R Baumgartner. 2002. Evolution of oceanographic conditions off Baja California: 1997–1999. *Progr. in Oceanogr.*, 54: 7–31.
- Durazo R., G. Gaxiola-Castro, B. Lavaniegos, R. Castro-Valdez, J. Gomez-Valdes, A. S. Mascareñas Jr. 2005. Oceanographic conditions west of the Baja

- California coast, 2002–2003: A weak El Niño and Subarctic water enhancement. *Cienc. Mar.*, 31: 537–552.
- Durazo R. 2009. Climate and upper ocean variability off Baja California, Mexico: 1997–2008. *Progress in Oceanography* 83 (2009): 361–368.
- Duxbury, A. C., A.B Duxbury, K. A. Sverdrup. 2000. *An Introduction to the World's Oceans*. 6a. Edición. McGraw-Hill. 528 p.
- Edwards, K. A., & K. A. Kelly. 2007. A seasonal heat budget across the extent of the California Current. *J. Phys. Oceanogr.*, 37: 518–530.
- Ekman, S. 1953. *Zoogeography of the sea*. Sidwick and Jackson Ltd. London. 417 pp.
- Emery, W., & Hamilton, D. 1985. Atmospheric forcing of interannual variability in the northeast Pacific Ocean: connections with El Niño. *Journal of Geophysical Research* 90: 857–868.
- Emmett R. L., R. D. Brodeur, T. W. Miller, S. S. Pool, G. K. Kutuzikowsky, P. J. Bentkey, J. McCrae. PACIFIC SARDINE NORTHWEST ECOLOGY *CalCOFI Rep.*, Vol. 46, 2005.
- Espinosa-Carreón, T. L., T. Strub, E. Beier, F. Ocampo & G. Gaxiola-Castro, 2004. Seasonal and interannual variability of satellite derived chlorophyll, surface height and temperature off Baja California. *J. Geophys. Res.* 109(C03039), doi: 10.1029/2003JC002105.
- Falkowski P. G., M. J. Oliver. 2007. Mix and match: How climate selects phytoplankton. *Nat. Rev. Microbiol.* 5: 813–819.
- FAO. 1998. *Estadísticas de Pesca*. Vol. 86-1. Roma, Italia.

- Félix-Uraga, R. 1986. Edad, crecimiento y estructura poblacional de *Sardinops sagax caerulea* en Bahía Magdalena, durante 1981 a 1984. Tesis de maestría en ciencias. CICIMAR-IPN. La Paz, B. C. S., México. 102 p.
- Félix-Uraga, R., R. M. Alvarado-Castillo & R. Carmona-Piña. 1996. The sardine fishery along the western coast of Baja California, 1981 to 1994. *CalCOFI Rep.* 37: 188-192.
- Félix-Uraga, R., V. M. Gómez-Muñoz, C. Quiñónez-Velázquez, F. N. Melo-Barrera, and W. García-Franco. 2004. On the existence of Pacific sardine groups off the west coast of the Baja California Peninsula and southern California. *Calif. Coop. Oceanic Fish. Invest. Rep.* 45:146–151.
- Félix-Uraga, R., V. M. Gómez-Muñoz, C. Quiñónez-Velázquez, F. N. Melo-Barrera, K. T. Hill, W. García-Franco. 2005. Pacific sardine (*Sardinops sagax*) stock discrimination off the West coast of Baja California and Southern California using otolith morphometry. *CalCOFI Rep.*, 46: 113–121.
- Félix-Uraga, R. 2006. Dinámica Poblacional de la Sardina del Pacífico *Sardinops sagax* (Jenyns 1842) (*Clupeiformes: Clupeidae*), en la costa Oeste de la Península de Baja California y Baja California Sur.
- Fiedler, P. C., y V. A. Philbrick. 2002. Environmental change in the Eastern Tropical Pacific Ocean: observations in 1986-1990 and 1998-2000. SWF Science Center Administrative Report LJ-02-15, available from National Marine Fisheries Service, SWF Science Center, NMFS, P.O. Box 271, La Jolla, California 92038. 18 p.

- Freón, P., P. Cury, L. Shannon & C. Roy. 2005. Sustainable exploitation of small pelagic fish stocks challenged by environmental and ecosystem changes: a review. *Bulletin of Marine Science* 76: 385–462.
- García-Morales, R. 2008. Análisis de la variabilidad superficial de mesoescala en el Golfo de California y su relación con la distribución y abundancia relativa de misticetos (2005-2006). Tesis de Maestría. CICIMAR-IPN. México. 137 pp
- García-Rodríguez, F. J., S. A. García-Gasca, J. De La Cruz-Agüero, V. M. Cota-Gómez. 2011. A study of the population structure of the Pacific sardine *Sardinops sagax* (Jenyns, 1842) in Mexico based on morphometric and genetic analyses. *Fisheries Research* 107: (2011) 169–176.
- Garfield, N., C. A. Collins, R. G. Paquette & E. Carter, 1999. Lagrangian Exploration of the California Undercurrent, 1992-95. *J. Phys. Oceanogr.*, 29: 560-583.
- Gaxiola-Castro G., R. Durazo, B. Lavaniegos, M. E. De La Cruz Orozco, E. Millan-Nunez, L. Soto-Mardones, J. Cepeda-Morales. 2008. Pelagic ecosystem response to interannual variability off Baja California. *Cienc. Mar.*, 34: 263–270.
- Gómez-Valdéz, J., & H. Vélez-Muñoz. 1982. Variaciones estacionales de temperatura y salinidad en la región costera de la Corriente de California. *Cienc. Mar.*, 8(2):167-176.
- Grant, W. S., & R. W. Leslie 1996. Late Pleistocene dispersal of Indian-Pacific sardine populations in an ancient lineage of the genus *Sardinops*. *Mar. Biol.* 126: 133-142.

- Gutiérrez-Flores, C. 2007. Estructura genética poblacional de la sardina del pacífico nororiental *Sardinops sagax caeruleus*. Tesis de Maestría, CICESE, Ensenada, B.C, p. 112.
- Hedgecock, D., E. S. Hutchinson, G. Li, F. L. Sly & K. Nelson. 1989. Genetic and morphometric variation in the Pacific sardine, *Sardinops sagax caerulea*: Comparisons and contrasts with historical data and with variability in the northern anchovy, *Engraulis mordax*. *Fish. Bull.* 87(3): 653-671.
- Hickey, B. 1998. Coastal Oceanography of Western North America from the Tip of Baja California to Vancouver Island; Coastal Segment In The Sea, Robinson, A.R., & Brink, K. H., pp 12,947-12,966.
- Hickey, B. M. 1979. The California Current System. Hypotheses and facts. *Prog. Oceanogr.*, 8: 191-279 pp.
- Hill, K. T., Lo, N. C. H., Macewicz, B. J., Crone, P. R., & Félix-Uraga, R. 2009. Assessment of the Pacific sardine resource in 2009 for US management in 2010. NOAA Technical Memorandum, NOAA-TM-NMFS-SWFSC-452. 156 pp.
- Holladay, C. G., & J. J. O'Brien. 1975. Mesoscale variability of sea surface temperature, *J. Phys. Oceanogr.*, 5: 761– 772.
- Hollowed, A. B. 1992. Spatial and temporal distributions of Pacific hake, *Merluccius Productus*, larvae and estimates of survival during early life history stages. *CalCOFI Reports.*, 33:100-133.
- Huyer, A., E. J. C. Sobey & R. L. Smith. 1979. The spring transition in currents over the Oregon continental shelf. *J. Geophys. Res.*, 8: 6995-7011.

- Huyer, A., J. A. Barth, P. M. Kosro, R. K. Shearman, & R. L. Smith 1998. Upper-ocean water mass characteristics of the California current, Summer 1993, *Deep Sea Res., Part II*, 45: 1411– 1442.
- IOCCG. 1999. Status and plans for satellite ocean colour missions:106 Considerations for complementary missions. Yoder, J. A. (ed.). Reports of the International Ocean Colour Coordinating Group; No. 2, IOCCG, Dartmouth, Canada.
- Josey, S. A., E. C. Kent & P. K. Taylor, 1998. The Southampton Oceanography Center (SOC) Ocean-Atmosphere heat, momentum and freshwater flux Atlas, Southampton Oceanography Center Report 6. 30 pp.
- Kahru, M., & B. G. Mitchell. 2000. Influence of the 1997-98 El Niño on the surface chlorophyll in the California Current, *Geophys. Res. Lett.*, 27: 2937-2940.
- Kramer, D. & P. E. Smith. 1971. Seasonal and geographic characteristics of fishery resources. California Current Region VII. Pacific Sardine Com. Fish. Rev. 33(10): 7-11.
- Lecomte, F., W. S. Grant, J. J. Dodson, R. Rodríguez-Sánchez, B. Bowen, 2004. Living with uncertainty: genetic imprints of climate shifts in East Pacific anchovy (*Engraulis mordax*) and sardine (*Sardinops sagax*). *Mol. Ecol.*, 13: 2169–2182.
- Lluch-Belda, D., Magallon, F. J., Schwartzlose, R. A., 1986. Large fluctuations in the sardine fishery in the Gulf of California: possible causes. CalCOFI Rep. 27, 136–140.

- Lluch-Belda, D., R. J. M. Crawford, T. Kawasaki, A. D. MacCall, R. H. Parrish, R. A. Schwartzlose, & P. E. Smith. 1989. Worldwide fluctuations of sardine and anchovy stocks: the regimen problem. *S. Afr. J. Mar. Sci.*, 8: 195–205.
- Lluch-Belda, D., D. B. Lluch-Cota, S. Hernandez-Vazquez, C. A. Salinas-Zavala. 1991. Sardine and anchovy spawning as related to temperature and upwelling in the California. Current System. *CalCOFI Rept.*, 31: 105-111.
- Lluch-Cota, S., Hernandez-Vazquez, S. E. Lluch-Cota, FAO Fish. Circ. 934 1997. The RIS series was built as the difference between the sum of the annual standardized sardine landings series from the three major stocks in the Pacific Ocean (northeast Pacific, northwest Pacific, and southeast Pacific), together with the southeast Atlantic anchovy stock (out of phase), and the sum of the anchovy standardized landings series (together with the southeast Atlantic sardine stock) in the same regions.
- Lo, N. C. H., B. J. Macewicz, D. A. Griffith, & Charter, R. L. 2007. Spawning biomass of Pacific sardine (*Sardinops sagax*) off US and Canada in 2006. NOAA Technical Memorandum, NOAA-TM-NMFS-SWFSC-401. 32 pp.
- López, J. M. 2005. Variabilidad anual e interanual de la clorofila- (SeaWiFS) y el viento superficial (QuikSCAT) en el Alto Golfo de California: su circulación y asociación. Tesis de Maestria. Universidad Autónoma de Baja California. Ensenada B.C.
- Lynn, R., & J. Simpson. 1987. The California Current System: The seasonal variability of its physical characteristics. *J. Geophys. Res.*, 92(C12): 12947-12966.

- Macewicz, B. J., & D. N. Abramenkoff. 1993. Collection of jack mackerel, *Trachurus symmetricus*, off southern California during 1991 cooperative US–USSR cruise. SWFSC–NMFS Administrative Report, LJ-93-07. 13 pp.
- Mantua, N. J., S. R. Hare, Y. Zhang, J. M. Wallace, & R. C. Francis. 1997. A Pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production, *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 78(6): 1069– 079.
- Mantua, N. J., & Hare, S. R. 2002. The Pacific Decadal Oscillation. *Journal of Oceanography (Japan)*, 58:35-44.
- Margalef R. 1978. Life-forms of phytoplankton as survival alternatives in an unstable environment. *Oceanol Acta* 1:493–509.
- Marr, J. C. 1960. The causes of major variations in the catch of the Pacific sardine, *Sardinops caerulea* (Girard). In: Proc. Of the world scientific meeting on the biology of sardines and related species. H. Rosa & G. I. Murphy (eds.) FAO of the UNO III: 667-791.
- Massé J. C. Koutsikopoulos & W. Patty. 1996. The structure and spatial distribution of pelagic fish schools in multispecies clusters: an acoustic study. *ICES Journal of Marine Science* 53: 155–160.
- McClatchie, S. 2009. Report on the NMFS California Current Ecosystem Survey (CCES) (April and July–August 2008). NOAA Technical Memorandum, NOAA-TM-NMFS-SWFSC-438. 98 pp.
- McFarlane, G. A. & R. J. Beamish. 1999. Sardines return to British Columbia waters. In: Proceedings of the 1998 Science Board Symposium on the impacts of the 1997/98 El Niño event on the north Pacific ocean and its

- marginal seas, H. Freeland, W. P. Peterson & A. Tyler (eds.) Sidney, Canada. PICES Scientific Report, 10. *N. Pac. Mar. Sci. Org.*, 77-82.
- McFarlane, G. A., & R. J. Beamish. 2001. The re-occurrence of sardines off British Columbia characterises the dynamic nature of regimes. *Prog. Oceanog.* 49: 151-165.
- McFarlane, G. A., J. Schweigert, L. MacDougall, & C. Habok. 2005. Distribution and biology of Pacific sardine (*Sardinops sagax*) off British Columbia, Canada. *CalCOFI Reports.*, 46: 144–160.
- Mendellsohn, R., F. S. Schwing, S. J. Bograd. 2003. The Spatial structure of subsurface temperature variability in the California Current, 1950-1993. *Journal of Geophysical Research*, 108:1-15.
- Müller-Karger, F. E., & C. Fuentes-Yaco. 2000. Characteristics of wind-generated rings in the eastern tropical Pacific Ocean. *Journal of Geophysical Research*, 105 (C1), 1271-1284.
- Moser, H. G., R. L. Charter, P. E. Smith, D. A. Ambrose, S. R. Charter, C. A. Meyer, E. M. Sandknop & W. Watson. 1993. Distributional atlas of fish larvae and eggs in the California Current region: taxa with 1000 or more total larvae, 1951 through 1984. *CalCOFI Atlas*, 31.
- Mysak, L. 1986. El Niño, interannual variability and fisheries in the northeast Pacific Ocean. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 43: 464–497.
- Owen, R. W. 1980. Eddies of the California current system: physical and ecological characteristics, 34-67. En: D. Powder (ed.). *The California Islands: Proceedings of a multi-disciplinary symposium*. Santa Barbara Museum of Natural History.

- Pavlova, Y. V., 1966. Seasonal variations of the California Current. *Oceanology*, 6: 806-814.
- Parés–Sierra, A., M. & J. J. O'Brien. 1989. The seasonal and interannual variability of the California Current system: A numerical model. *J. Geophys. Res.*, 94: 3159- 3180.
- Parés–Sierra, A., M. López & E. G. Pavia. 1997. Oceanografía física del océano Pacífico Nororiental, 1-24. En: Lavín, M. F. (Ed.). Contribuciones a la oceanografía física en México. Unión Geofísica Mexicana. Monografía No. 3.
- Parrish, R. H., C.S. Nelson, A. Bakun. 1981. Transport mechanisms and reproductive success of fishes in the California Current. *Biological Oceanography*, 1(2): 175-203.
- Parrish, R. H., R. Serra & W. S. Grant. 1989. The monotypic sardines, *Sardina* and *Sardinops*: Their taxonomy, distribution, stock structure, and zoogeography. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 46: 2019-2036.
- Parrish. R. H. A Monterey Sardine story. Unpublished manuscript.
- Perez-Brunius P., M. Lopez, A. Pares-Sierra, J. Pineda. 2007. Comparison of upwelling indices off Baja California derived from three different wind data sources. *Calif. Coop. Oceanic Fish. Invest. Rep.* 48: 204–214.
- Paden, C. A., M. R. Abbott, C. D. Winant., 1991. Tidal and atmospheric forcing of the upper ocean in the Gulf of California. Sea surface temperature variability. *Journal of Geophysical Research*, 96(C10): 18337-18359.

- Pegau, W. S., E. Boss, A. Martínez. 2002. Ocean color observations of eddies during the summer in the Gulf of California. *Geophysical Research Letters*, 29(9), doi:- 10.1029/2001GL014076.
- Radovich, J. 1982. The collapse of the California sardine fishery. What have we learned? *Calif. Coop. Oceanic Fish. Invest. Rep.* 23:56–78.
- Reiss, C. S., D. M. Checkley & S. J. Bograd. 2008. Remotely sensed spawning habitat of Pacific sardine (*Sardinops sagax*) and northern anchovy (*Engraulis mordax*) within the California Current. *Fisheries Oceanography*, 17: 126–136.
- Reid, J. L., & R. A. Schwartzlose. 1962. Direct measurements of the Davidson Current off central California, *J. Geophys. Res.*, 67: 2491-2497.
- Reid, J. L. 1973. Northeast Pacific Ocean Waters in winter. The Johns Hopkins Oceano. Studies. No 5. 96 pp.
- Ricker, W. E. 1975. Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. *Bull. Fish. Res. Board Can.*, 191: 382 p.
- Rodríguez-Sánchez, R., D. Lluch-Belda, H. Villalobos-Ortíz, & S. Ortega-García. 2001. Large-scale long-term variability of small pelagic fish in the California current system. In: *Spatial processes and management of marine populations*, G. H. Kruse, N. Bez, A. Booth, M. W. Dorn, S. Hills, R. N. Lipcius, D. Pelletier, C. Roy, S. J. Smith & D. Witherell (eds.) Fairbanks, AK: Univ. Alaska, 447–462.
- Rykaczewski R. R. & D. M. Checkley, 2008. Influence of ocean winds on the pelagic ecosystem in upwelling regions. *PNAS* Vol. 105, No. 6.

- Saila, S. B. & B. K. Martin. 1985. A brief review and guide to some multivariate methods for stock identification. Proceedings of the stock identification workshop. Panama City, Florida. NOAA Tech. Mem. NMFS-SEFC-199: 149-173.u.
- 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. Nevárez-Martínez, R. H. Parrish, C. Roy, R. Serra, K. V. Shust, M. N. Ward and J. L. Zuzunaga. 1999. Worldwide large-scale fluctuations of sardine and anchovy populations. *S. Afr. J. mar. Sci.*, 21: 289-347.
- Schmitz, J. E. & A. C. Vastano, 1975. Entrainment and diffusion in a Gulf Stream cyclonic ring. *Journal of Physical Oceanography*, 5: 93-97.
- Sette, O. E., & J. D. Isaacs. 1960. The changing Pacific Ocean in 1957 and 1958, *CalCOFI Reports*, 7: 13-127.
- Simpson, J. J., & R. J. Lynn. 1990, A mesoscale eddy dipole in the offshore California Current, *J. Geophys. Res.*, 95: 13,009– 13,022.
- Simpson, J. J. 1992. Response of the Southern California current system to the mid-latitude North Pacific coastal warming events of 1982-1983 and 1940-1941. *Fisheries Oceanography*, 1(1): 57-77.
- Smith, P. E., & H. G. Moser. 2003. Long-term trends and variability in the larvae of Pacific sardine and associated fish species of the California Current region. *Deep Sea Research (II)*, 50:2519-2536.

- Smith, P. A. 2005. A history of proposals for subpopulation structure in the Pacific sardine population off Western North America. Calif. Coop. Oceanic Fish. Invest. Rep.
- Soto-Mardones, L., A. Pares-Sierra, J. Garcia, R. Durazo & S. Hormazabal, 2004. Analysis of the mesoscale structure in the IMECOCAL region (off Baja California) from hydrographic, ADCP and altimetry data. *Deep Sea Res.* 51(6-9): 785-798.
- Sprague, L. M. & A. M. Vrooman 1962. A racial analysis of the Pacific sardine (*Sardinops caerulea*) based on studies of erythrocyte antigens. Ann. New York Acad. Sci. 97(1): 131-138.
- Sprintall, J. & M. Tomzack, 1992. Evidence of the barrier layer in the surface layer of tropics. *J. Geophys. Res.*, 97: 7305-7316.
- Strub, P. T., & C. James. 1988. Atmospheric conditions during the spring and fall transitions in the coastal ocean off western United States. *J. Geophys. Res.*, 93: 15561-15584.
- Strub, P. T., C. James, A. C. Thomas, & M. R. Abbott. 1990. Seasonal and non-seasonal variability of satellite derived surface pigment concentration in the California Current, *J. Geophys. Res.*, 95: 11,501-11,530.
- Strub, P. T., & C. James. 2000. Altimeter-derived variability of surface velocities in the California Current System: 2. Seasonal circulation and eddy statistics, *Deep Sea Res.*, Part II, 47, 831– 870, doi:10.1016/S0967-0645(99)00129-0.
- Sverdrup, H. U., & R. H. Fleming. 1941. The waters off the coast of southern California, March to July 1967, Scripps Inst. *Oceanogr. Bull.*, 4: 321–336.

- Sverdrup, H. U., M. W. Johnson & R. H. Fleming. 1942. *The Oceans Their Physics, Chemistry, and General Biology*. Prentice-Hall, INC. Englewood Cliffs, N. J. 1059 pp.
- Sverdrup, H. U. 1947. Wind-driven currents in a baroclinic ocean; with application to the equatorial current of the eastern Pacific. *Proc. Nat. Acad. Sci.* 33: 318– 326.
- Talley L. D. 1993. Distribution and formation of the North Pacific Intermediate Water. *J. Phys. Oceanogr.*, 23: 517–537.
- Venrick E., S. J. Bograd, D. Checkley, R. Durazo, G. Gaxiola-Castro, J. Hunter, A. Huyer, K. D. Hyrenbach, B. E. Lavaniegos, A. W. Mantyla, F. B. Schwing, R. L. Smith, W. J. Sydeman, & P. A. Wheeler. 2003. The state of the California Current, 2002-2003: Tropical and subarctic influences vie for dominance. *Calif. Coop. Oceanic Fish. Inves. Rep.*, 44: 28-60.
- Vaillancourt, R. D., J. Marra, M. P. Seki, M. L. Parsons, R. R. Bidigare, 2003. Impact of a cyclonic eddy on phytoplankton community structure and photosynthetic competency in the subtropical North Pacific Ocean. *Deep-Sea Research I*, 50, 829-847.
- Vrooman, A. M. 1964. Serologically differentiated subpopulations of the Pacific sardine, *Sardinops caerulea*. *J. Fish. Res. Board Can.*, 21: 691-701.
- Ware, D. M. 1999. Life history of Pacific sardine and a suggested framework for determining a BC catch quota. Canadian Stock Assessment Secretariat Research Document, 99/204. 19 pp.
- Wisner, R. L. 1960. Evidence of a northward movement of stocks of the Pacific sardine based on the number of vertebrae. *CalCOFI. Rep.*, 8: 75-82.

- Wooster, W. S., & D. L. Fluharty. 1985. El Niño North: Niño Effects in the Eastern Subarctic Pacific Ocean. Seattle, WA: Washington Sea Grant Program.
- Wolf, R., & A. E. Daugherty. 1964. Age and length composition of the sardine catch off the Pacific Coast of the United States and Mexico in 1961 and 1962. *Calif. Fish Game* 50: 241–242.
- Wolf, P. 1992. Recovery of the Pacific sardine and the California sardine fishery. *CalCOFI Rep.*, 33: 76-86.
- Zamudio, L., P. Hogan, & E. J. Metzger. 2008. Summer generation of the Southern Gulf of California eddy train, *Journal of Geophysical Research Res.*, 113, C06020, doi:10.1029/2007JC004467.
- Zar, J. H. 1996. *Biostatistical analysis*. Third edition. Prentice Hall. New Jersey. USA. 622 pp
- Zaytsev O., O. Sanchez-Montante, C. J. Robinson. 2007. Características del ambiente hidrofísico de la plataforma continental y zona oceánica adyacente al sistema lagunar Bahía Magdalena-Almejas. En: Funes-Rodríguez R, Gómez-Gutiérrez J, Palomares-García R (eds.), *Estudios ecológicos en Bahía Magdalena*. CICIMAR-IPN, La Paz, Baja California Sur, Mexico. Pp. 29–43.
- Zwolinski, J. P., R. L. Emmett, & D. A. Demer. 2011. Predicting habitat to optimize sampling of Pacific sardine (*Sardinops sagax*). *ICES Journal of Marine Science*, 68: 867–879.