



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS
COLEGIO DE GEOGRAFÍA

**INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL MAR Y LA
CONCENTRACIÓN DE CLOROFILA-A EN LA PRODUCCIÓN PESQUERA DE
SARDINA EN LA COSTA OCCIDENTAL DE BAJA CALIFORNIA SUR DE
1997 A 2009.**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
LICENCIADO EN GEOGRAFÍA
P R E S E N T A

JUAN CARLOS MOLINA LÓPEZ

DIRECTOR DE TESIS:
DRA. OLIVIA SALMERÓN GARCÍA

MÉXICO, D.F.

CIUDAD UNIVERSITARIA, SEPTIEMBRE 2012





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Agradecimientos

A la Dra. Olivia Salmerón García, por sus enseñanzas, consejos y la paciencia para guiarme en el desarrollo de esta investigación.

A los miembros del jurado; Dr. Raúl Aguirre Gómez, Mtra. María de la Paz Medina Barrios, Mtra. Johanna Morales Whitney y Mtro. Jesús Manuel Tapia López, por sus valiosas aportaciones que fueron fundamentales para enriquecer y mejorar esta tesis.

Al comité de becas del Instituto de Geografía, por permitirme ser beneficiario de la beca “María Teresa Gutiérrez de MacGregor” la cual fue de gran apoyo para el desarrollo y conclusión de la presente investigación.

A la Universidad Nacional Autónoma de México, por brindarme mucho más que conocimientos.

Dedicatoria

Con especial cariño a mis padres, Eufrocina López y Armando Molina † (Nunca dejo de pensar en ti), por siempre creer en mí, por apoyarme incondicionalmente en las decisiones que tomo aunque algunas veces no las comprendan, sin ustedes esto no hubiera sido posible.

**A mis hermanas Ana Karla y Blanca Esthela, a mi sobrina Paula, porque este logro les sirva como ejemplo y de inspiración para alcanzar sus metas.
Las quiero!!**

**A Diana Guerrero, mi novia, por ser parte esencial de mi vida, por compartir tantas cosas conmigo, por toda su comprensión, ayuda, risas, lágrimas, regaños.....
Por hacerme tan feliz!!**

**Y por ultimo y no menos importante, a mi familia: abuelos, tíos, tías, primos, primas.
Porque de cada uno de ustedes he aprendido algo nuevo.**

A todos ustedes, gracias por tanto!!!

ÍNDICE

Introducción.....	1
Antecedentes	2
Planteamiento del problema.....	3
Hipótesis	4
Objetivos	4
<i>Objetivo general</i>	4
<i>Objetivos particulares</i>	4
Capítulo 1. Aspectos teóricos.....	6
2.1 Percepción Remota.....	6
2.1.1 Definición y objetivos.....	6
2.1.2 Componentes de un sistema de PR	7
2.2 Bases físicas de la PR	8
2.2.1 Espectro electromagnético	11
2.2.2 Firmas espectrales	12
2.2.3 Comportamiento espectral del agua.....	14
2.3 Sensores remotos.....	15
2.3.1 Resolución de los sensores remotos.....	15
2.4 Aplicaciones de la PR	17
2.5 TSM y Chla	18
2.5.1 TSM.....	18
2.5.2 Chla.....	20
2.6 Pesca.....	22
2.6.1 Pesca como actividad económica	22
2.6.2 Pesquerías de pelágicos menores	23
2.6.3 Generalidades de la sardina.....	24
Capítulo 2. Generalidades del área de estudio	28
2.1 Aspectos generales.....	28
2.1.1 Localización.....	28
2.1.2 Fisiografía.....	29
2.1.3 Clima	29
2.2 Oceanografía	30
2.2.1 Sistema Corriente de California.....	31
2.2.2 Surgencias costeras	33
2.3 Población	34
2.3.1 Comondú.....	35
2.4 Proyecto IMECOCAL	36

2.4.1	Objetivos de IMECOCAL.....	36
2.4.2	Resultados de IMECOCAL.....	38
2.5	Antecedentes de la captura de sardina.....	38
2.5.1	Pesquería de Sardina en el área de estudio.....	40
2.5.2	Impacto de la pesquería en el ecosistema.....	42
2.5.3	Características sociales y económicas.....	42
2.5.4	Normas que regulan la pesquería.....	43
2.5.5	Perspectivas.....	44
Capítulo 3.	Metodología.....	45
3.1	Estaciones Oceanográficas.....	45
3.2	Imágenes de TSM.....	47
3.3	Imágenes de Chla.....	49
3.4	Captura de sardina.....	51
3.5	Análisis de la relación entre las variables.....	51
3.5.1	Correlación lineal.....	51
3.5.2	Regresión lineal.....	53
3.5.3	Función de correlación cruzada.....	53
Capítulo 4.	Análisis de la distribución espacio-temporal de la TSM, Chla y la captura de sardina.....	55
4.1	Distribución espacio-temporal de la TSM.....	55
4.1.1	Distribución estacional de la TSM.....	56
4.1.2	Distribución mensual de la TSM.....	58
4.1.3	Anomalías anuales en la TSM.....	61
4.2	Distribución espacio-temporal de la Chla.....	64
4.2.1	Distribución estacional de la Chla.....	64
4.2.2	Distribución mensual de la Chla.....	65
4.2.3	Anomalías anuales en la Chla.....	67
4.3	Variabilidad anual en la producción de sardina en peso vivo.....	70
4.3.1	Variabilidad mensual de la producción de sardina en peso vivo.....	71
Capítulo 5.	Influencia de la variabilidad espacio-temporal de la TSM y la Chla, en la producción de sardina.....	74
5.1	Distribución de la TSM y la Chla y volúmenes mensuales de captura de sardina.....	74
5.2	Análisis estacional - Verano.....	75
5.3	Análisis estacional - Invierno.....	77
5.4	Correlación entre las variables.....	78
5.4.1	Comparación interanual entre la TSM, la Chla y la captura de sardina.....	82

5.4.2 Correlación lineal entre la TSM y Chla	91
5.4.3 Correlación lineal entre la captura de sardina y la Chla	95
5.4.4 Correlación lineal entre la TSM y la captura de sardina.....	98
Conclusiones.....	102
Referencias	104
Glosario.....	110

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Elementos de un sistema de PR	8
Figura 2 Propagación de la energía electromagnética	10
Figura 3 Espectro electromagnético.....	12
Figura 4 Firmas espectrales.....	13
Figura 5 Producción primaria y cadena trófica marina	21
Figura 6 Arte de pesca al Cerco.....	27
Figura 7 Presión atmosférica en el Pacífico Norte (A- Verano B- Invierno).....	30
Figura 8 Circulación de las aguas del Océano Pacífico	32
Figura 9 Corriente de California	33
Figura 10 Surgencias Costeras en el Pacífico noreste	34
Figura 11 Red de estaciones IMECOCAL.....	37
Figura 12 Distribución comercial de los pelágicos menores en el Pacífico Mexicano.....	40
Figura 13 Localización de bahía Magdalena.....	41
Figura 14 Tipos de correlación con relación a r	52
Figura 15 Regresión lineal	53
Figura 16 Correlograma	54

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1 Aplicaciones de la PR en las Ciencias de la Tierra	17
Cuadro 2 Características principales del sensor AVHRR	47
Cuadro 3 Características principales del sensor SeaWiFS	50

ÍNDICE DE IMAGENES

Imagen 1 Sardinas	25
Imagen 2 Baja California Sur	28
Imagen 3 Red de estaciones oceanográficas para la COBCS.....	46
Imagen 4 Promedio climatológico de la TSM en la COBCS, 1997-2009	56
Imagen 5 Promedios climatológicos de la TSM durante verano en la COBCS, 1997-2009.....	57
Imagen 6 Promedios climatológicos de la TSM durante invierno en la COBCS, 1997-2009.....	58
Imagen 7 Promedios climatológicos mensuales de la TSM para la COBCS, 1997-2009.....	60
Imagen 8 Promedio de anomalías anuales en la TSM para la COBCS	63

Imagen 9 Promedios climatológicos mensuales en la Chla para la COBCS, 1997-2009.....	66
Imagen 10 Promedios de anomalías anuales en la Chla para la COBCS	69
Imagen 11 Promedio climatológico en la Chla, TSM y promedios mensuales de volúmenes de captura de sardina, COBCS, 1997-2009	75
Imagen 12 Promedios climatológicos en verano para la Chla, TSM y volúmenes de captura de sardina, COBCS, 1997-2009.....	77
Imagen 13 Promedios climatológicos en invierno para la Chla, TSM y volúmenes de captura de sardina, COBCS, 1997-2009	78

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1 Promedio mensual de la TSM, COBCS, 1997-2009.....	55
Gráfica 2 Promedios mensuales de la Chla, COBCS, 1997-2009	64
Gráfica 3 Volúmenes anuales de captura de sardina, COBCS, 1997 - 2009...	70
Gráfica 4 Volúmenes mensuales de captura de sardina, COBCS, 1997-2009	73
Gráfica 5 Relación entre la TSM, Chla y volúmenes de captura de sardina, COBCS,	81
Gráfica 6 Relación entre los promedios mensuales de TSM y Chla, COBCS, 1997-2009.....	88
Gráfica 7 Relación entre los promedios mensuales de Chla y los volúmenes mensuales de captura de sardina, COBCS, 1997-2009	89
Gráfica 8 Relación entre los promedios mensuales en la TSM y los volúmenes mensuales de captura de sardina, COBCS, 1997-2009	90
Gráfica 9 Correlación lineal entre la TSM y la Chla.....	91
Gráfica 10 Correlograma entre la TSM y la Chla	93
Gráfica 11 Relación entre la TSM y la Chla	94
Gráfica 12 Correlación lineal posterior a la correlación cruzada entre la TSM y la Chla.....	94
Gráfica 13 Correlación lineal entre los volúmenes de captura de sardina y la Chla	95
Gráfica 14 Correlograma entre los volúmenes de captura de sardina y la Chla	96
Gráfica 15 Relación entre los volúmenes de captura de sardina y la Chla	97
Gráfica 16 Correlación lineal posterior a la correlación cruzada entre la los volúmenes de captura de sardina y Chla.....	97
Gráfica 17 Correlación lineal entre los volúmenes de captura de sardina y la TSM	98
Gráfica 18 Correlograma entre los volúmenes de captura de sardina y la TSM	99
Gráfica 19 Relación entre los volúmenes de captura de sardina y la TSM	100
Gráfica 20 Correlación lineal posterior a la correlación cruzada entre los volúmenes de captura de sardina y la TSM	101

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

Julio Verne

Introducción

Los pelágicos menores (sardinias, anchovetas y macarelas) representan la pesquería más importante a nivel mundial por volumen capturado, en México los volúmenes de este recurso oscilan entre el 30% y 40% del peso total de la producción pesquera nacional (SAGARPA, 2004). Las principales áreas donde se captura este recurso se localizan al noroeste de la república mexicana, siendo los puertos de; Ensenada en Baja California, Adolfo López Mateos y San Carlos en Baja California Sur, Guaymas en Sonora y Mazatlán en Sinaloa, los sitios donde se desembarcan y procesan los pelágicos menores en el noroeste de México. La composición de los volúmenes capturados de pelágicos menores es generalmente superior a 90% para las diversas especies de sardina y menos de 10% para anchovetas y macarelas. En la costa occidental de Baja California Sur (COBCS), las principales especies capturadas son la sardina Monterrey (*Sardinops caeruleus*) y la sardina Crinuda (*Opisthonema libertate*), siendo el volumen total de captura de la sardina monterrey superior a 80% del total de captura de pelágicos menores (*Ibid*)

El ambiente oceanográfico que presenta la COBCS constituye un atributo fundamental para que exista abundancia de sardinias, esto gracias a que el océano frente a la COBCS se encuentra influenciado por la corriente de California, que es un flujo frío de borde oriental que se caracteriza por su alto índice de surgencias costeras donde afloran nutrientes inorgánicos que al tener contacto con la luz solar realizan el proceso de fotosíntesis dando pie al inicio de la cadena trófica marina (Ramos, 2007). Debido a lo anterior las zonas de surgencias costeras presentan altas concentraciones de poblaciones

planctónicas, que son aprovechadas por los cardúmenes de pelágicos menores.

La oceanografía satelital representa una herramienta importante para el estudio de los océanos, esta importancia radica en la visión sinóptica de los parámetros oceanográficos que se obtiene mediante imágenes satelitales, ejemplo de esto son; temperatura superficial del mar (TSM), concentración de clorofila-a (Chla), rugosidad, vientos superficiales, topografía marina, entre otros. Dichos parámetros tradicionalmente son medidos a través de buques oceanográficos, lo que muchas veces representa un obstáculo temporal, espacial y económico. No obstante, las mediciones *in situ* de los parámetros oceanográficos son de utilidad para calibrar y validar los datos satelitales (Aguirre, 2001).

Los productos satelitales que miden tanto la temperatura superficial del mar (TSM) como la concentración de clorofila-a (Chla) tienen una gran aplicación en las pesquerías, debido a que las especies marinas generalmente se encuentran limitadas por las condiciones térmicas del océano la cual es medida a través de imágenes de temperatura, así como por la disponibilidad de alimento, la cual es inferida mediante imágenes de concentración de clorofila-a (*Ibid*)

Antecedentes

El presente trabajo se generó a partir del proyecto denominado *Monitoreo de la Temperatura Superficial de los Mares Mexicanos*, llevado a cabo en el Laboratorio de Análisis Geoespacial en el Instituto de Geografía de la UNAM. Dentro de este proyecto se realizó el monitoreo de la TSM por medio de percepción remota para comparar y validar los datos obtenidos *in situ* por la

boya oceanográfica del proyecto IMECOLAL (Investigaciones Mexicanas de la Corriente de California) localizada en bahía Magdalena en el estado de Baja California Sur. Los datos obtenidos fueron integrados en un sistema de información geográfica (SIG) formando una serie de tiempo con datos de TSM para un periodo de 12 años (1997-2009). Al ser la pesquería de sardina la más importante por volumen desembarcado en la COBCS, se decidió medir la influencia que tenía la TSM en dicha pesquería, integrándose la Chla como indicador de la abundancia de nutrientes (plancton) aprovechables por los cardúmenes de sardina.

Planteamiento del problema

Baja California Sur ocupa el 3° lugar en producción pesquera a nivel nacional con 185,000 toneladas en peso vivo (10.65%) (SAGARPA, 2008), es la entidad que tiene la mayor longitud de litoral con 2,131 km (19.2%) (INEGI, 2010), esta característica junto con las condiciones oceanográficas que presenta esta área, permiten que en los mares de Baja California Sur exista abundancia en ciertas especies marinas. La sardina es una de ellas y su captura se lleva a cabo en las aguas de la COBCS, esta entidad ocupa el 4 lugar nacional en esta pesquería con 68,846 toneladas en peso vivo (8.2%) (SAGARPA, 2008). Sin embargo, su abundancia se encuentra regida por parámetros ambientales los cuales al sufrir anomalías pueden repercutir en los volúmenes de sardina capturados. El aumento en la TSM así como el descenso de los niveles de concentración de clorofila-a, pueden ser anomalías que se encuentren asociadas a una disminución en la producción pesquera de sardina, al presentarse dichas condiciones se verá afectada la cadena productiva de sardina y la economía del municipio de Comondú, ya que la

pesca en este sitio constituye una actividad primaria con una importancia fundamental, debido a su valor económico, social y alimentario, además de ser el municipio donde se localizan los puertos donde se descargan el 96% de las capturas de sardina en Baja California Sur (*Ibid*).

Hipótesis

La variabilidad de la producción pesquera de sardina en la Costa Occidental de Baja California Sur (COBCS), está determinada por las condiciones físicas y biológicas del océano. Cuando existen anomalías positivas en la temperatura superficial del mar (TSM) y negativas en la concentración de clorofila-a (Chla) se verán afectados de manera negativa los volúmenes de captura de sardina.

Objetivos

Objetivo general

Analizar la influencia de la temperatura superficial del mar y la concentración de clorofila-a en la captura de sardina en la costa occidental de Baja California Sur.

Objetivos particulares

1. Identificar la variabilidad de la temperatura superficial del mar (TSM) y concentración de clorofila-a (Chla) en la costa occidental de Baja California Sur para el periodo 1997-2009.
2. Indicar la relación entre temperatura superficial del mar (TSM), concentración de la clorofila-a (Chla) y la producción de sardina en la costa occidental de Baja California Sur.

3. Evaluar las consecuencias de las variaciones en las condiciones oceanográficas en la captura de sardina en la costa occidental de Baja California Sur.

Capítulo 1. Aspectos teóricos

2.1 Percepción Remota

El inicio de la Percepción Remota (PR) explotada por el hombre para cuestiones espaciales data de los primeros pobladores del planeta, esto se da gracias a la necesidad de exploración que ha caracterizado al ser humano, este atributo es el que le ha permitido conocer más allá del territorio que habita.

Cuando el humano primitivo se elevaba en los árboles, colinas y montañas, donde tenía una visión sinóptica del paisaje, esto le permitía observar el medio que le rodeaba, se podían mostrar los elementos básicos que hoy componen la PR moderna: la *fuentes de iluminación*, formada por la radiación que emite el Sol; *el paisaje*, que constituye todos los rasgos geográficos presentes en el territorio explorado por el hombre; *la escena*, se refiere a la sección del paisaje donde se presenta mayor interés; *el sensor remoto*, en este caso es el ojo humano con el que se captura la luz proveniente de la escena para formar una imagen; *la plataforma*, es la elevación o vehículo en la cual está posicionado el sensor remoto; *el sistema de procesamiento*, se refiere al cerebro del individuo, que procesa la información adquirida en la imagen de manera cualitativa y cuantitativa para la posterior toma de decisiones; y por último *el apoyo de campo*, que es la verificación *in situ* de la información observada desde la plataforma (Lira, 1987).

2.1.1 Definición y objetivos

Por PR, de manera genérica, se entiende a cualquier procesamiento o técnica relacionada con obtener información sin tener contacto directo con el objeto (Pérez y Muñoz, 2006), la vista es un ejemplo de PR, ya que el ojo humano al detectar energía electromagnética en el espectro “visible” la manda al cerebro

para ser codificada y formar una imagen. Sin embargo, en el ámbito de Ciencias de la Tierra el concepto de PR queda restringido a la técnica de obtención de información de la superficie de la Tierra a partir de sensores montados en una plataforma espacial, así como fotografías tomadas desde aeronaves (Chuvienco, 2008).

La PR no comprende solo los procesos para la obtención de la imagen satelital o fotografía aérea, también incluye todo el tratamiento que se le da para obtener información respecto a temáticas específicas la cual es interpretada por un usuario final (*ibíd*).

2.1.2 Componentes de un sistema de PR

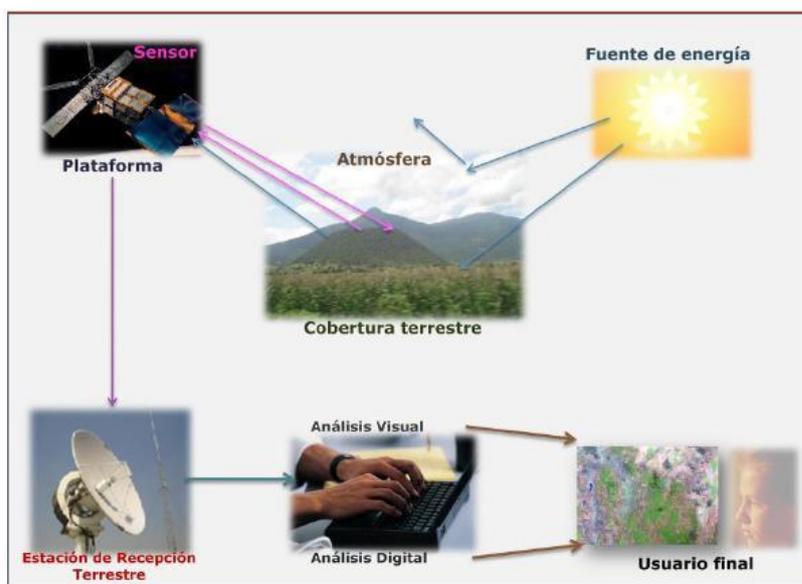
Los elementos fundamentales de la PR son los siguientes:

1. Fuente de energía, se refiere al origen del flujo energético, el cual puede ser pasivo cuando el sensor toma la energía solar que refleja o emite a la Tierra o activo, que es cuando el sensor toma la energía radiada por la superficie terrestre gracias a un haz energético emitido artificialmente.
2. Cubierta terrestre. Este elemento son todos aquellos rasgos geográficos que están distribuidos sobre la superficie de la Tierra como son; cubierta vegetal, suelos, agua y construcciones humanas, estos van a reflejar un determinado tipo de energía que va de acuerdo a sus cualidades físicas.
3. Sistema sensor. Los componentes de este sistema son el sensor y la plataforma en que este está montado, su función es captar la energía emitida por la cubierta terrestre, codificarla y almacenarla o mandarla directamente al sistema receptor.

4. Sistema de recepción-comercialización. Es el proceso de recepción de la información, procesamiento y correcciones de la misma para que posteriormente sea interpretada por un técnico capacitado.
5. Interprete. Es el técnico encargado de procesar la información, con el fin de elaborar documentos gráficos que sean adecuados para la evaluación del problema de estudio.
6. Usuario final. Es el profesional encargado de analizar el documento generado para la toma de decisiones en diversas temáticas.

(Figura 1)

Figura 1 Elementos de un sistema de PR



Fuente: INEGI, 2011

2.2 Bases físicas de la PR

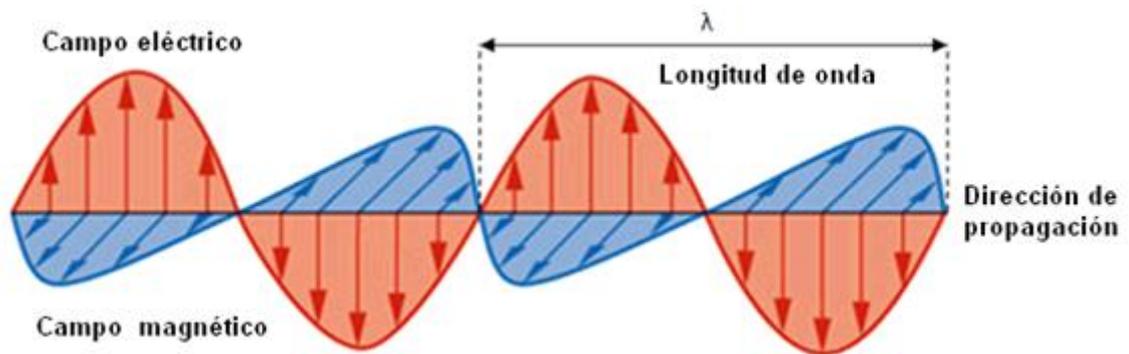
La óptica y la electrónica son los campos de la física en los que se sustenta la PR. La observación remota es posible gracias a la interacción que existe entre la superficie terrestre y los flujos energéticos que inciden sobre ella. Tal flujo recibe el nombre de radiación electromagnética (Pérez y Muñoz, 2006).

Existen tres formas de obtener información a partir de un sensor remoto: por reflexión, por emisión y por emisión-reflexión.

La primera de éstas involucra directamente la energía emitida por el Sol, la cual es el motor de todos los procesos físicos que se generan en la Tierra, esta energía es reflejada por la superficie terrestre y detectada por los diversos sensores montados en los satélites espaciales. La emisión se basa en obtener información de la energía irradiada por la propia superficie. La emisión-reflexión tiene que ver con los sensores que tienen la capacidad, tanto de generar su propio flujo energético, como de detectar su reflexión sobre la superficie terrestre (Chuvieco, 2008). Sin embargo, la energía electromagnética proveniente del Sol antes de incidir sobre la superficie terrestre interactúa con la atmósfera terrestre, los compuestos atmosféricos absorben, reflejan y dispersan la radiación en función de su longitud de onda, es así como la transmisibilidad atmosférica posee características espectrales, no obstante existen regiones dentro del espectro electromagnético, donde la radiación pasa sin interactuar significativamente con los componentes atmosféricos, a estas regiones se les denomina “ventanas atmosféricas” (Aguirre, 2009).

La energía electromagnética se transmite mediante ondas que viajan de un lado a otro siguiendo un modelo armónico y continuo a la velocidad de la luz y conteniendo dos campos de fuerzas ortogonales entre sí: eléctrico y magnético. Esta energía es medida a través de su longitud de onda, que se refiere a la distancia que existe entre dos crestas sucesivas de una onda, y de su frecuencia, que designa el número de ciclos pasando por un punto fijo en una unidad de tiempo (Figura 2). Ambos elementos de las ondas electromagnéticas son inversamente proporcionales (Chuvieco, 2008).

Figura 2 Propagación de la energía electromagnética



Fuente: Van der Pol, 2012

La fórmula esencial que sustenta la propagación de la energía electromagnética es la siguiente:

$$c = \lambda * \nu$$

Donde c es la velocidad de propagación de la luz (una constante), siendo λ y ν la longitud de onda y la frecuencia respectivamente. Por otro lado, la teoría cuántica permite que se pueda calcular la energía transportada por un fotón, siempre que se conozca su frecuencia, esto se expresa en la siguiente fórmula:

$$Q = h * \nu$$

Donde Q es la energía radiante de un fotón, ν la frecuencia y h la constante de Planck.

Despejando ν en la fórmula anterior y sustituyendo se puede expresar la siguiente ecuación:

$$Q = h\left(\frac{c}{\lambda}\right)$$

Esto significa que a mayor longitud de onda o menor frecuencia el contenido energético será menor, o viceversa (Pérez y Muñoz, 2006).

2.2.1 Espectro electromagnético

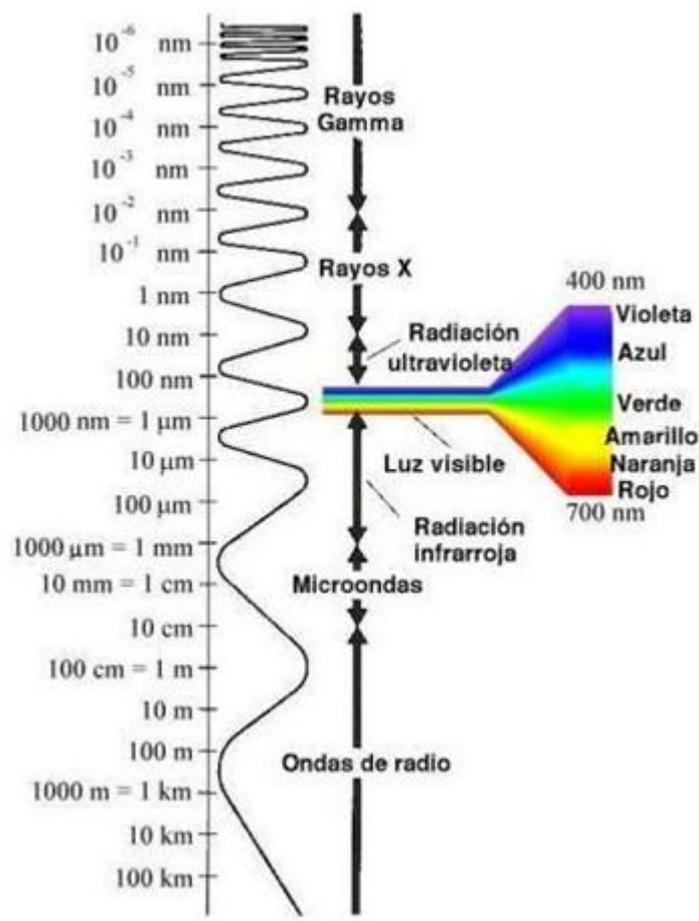
La forma ondulatoria y la velocidad de propagación de las ondas son características comunes entre la radiación electromagnética. Sin embargo, la longitud de onda y la frecuencia difieren entre las diversas clases de energía radiante, estas diferencias son las que permiten que se forme el espectro electromagnético (Figura 3) y se generen regiones con características específicas (Aguirre, 2009), dichas regiones se explican a continuación.

- *Rayos Gamma (Menores a 0.03 nm)*, radiación completamente absorbida por la atmosfera superior y no es utilizada por la percepción remota.
- *Rayos X (0.03 a 30 nm)*, radiación absorbida por la atmosfera.
- *Ultravioleta (0.03 a 0.4 μm)*, las longitudes inferiores a 0.03 μm son completamente absorbidas por el ozono en la atmosfera superior.
- *Luz visible (0.4 a 0.7 μm)*, Es la única radiación electromagnética que puede percibir el ojo humano, contiene 3 bandas ; Azul (0.4 a 0.5 μm), Verde (0.5 a 0.6 μm), Rojo (0.6 a 0.7 μm)
- *Infrarrojo cercano (0.7 a 1.3 μm)*, Parte de él puede detectarse por películas dotadas de emulsiones especiales, se caracteriza por tener una importante capacidad para discriminar masas vegetales y concentraciones de humedad.
- *Infrarrojo medio (1.3 a 8 μm)*, en esta región se entremezclan los procesos de reflexión de la luz solar y emisión de la superficie terrestre. Contiene dos bandas; infrarrojo de onda corta (1.3 a 2.5 μm) idóneo para estimar el contenido de humedad en vegetación y suelos, el

infrarrojo medio (3 a 5 μm) es determinante para la detección de focos de alta temperatura como incendios y erupciones volcánicas.

- *Infrarrojo lejano o térmico* (8 a 14 μm), Incluye la porción emisiva del espectro terrestre, se detecta el calor proveniente de la mayor parte de las cubiertas terrestres.
- *Micro-ondas* (Mayores a 1 mm), Energía bastante transparente a la cubierta nubosa.

Figura 3 Espectro electromagnético



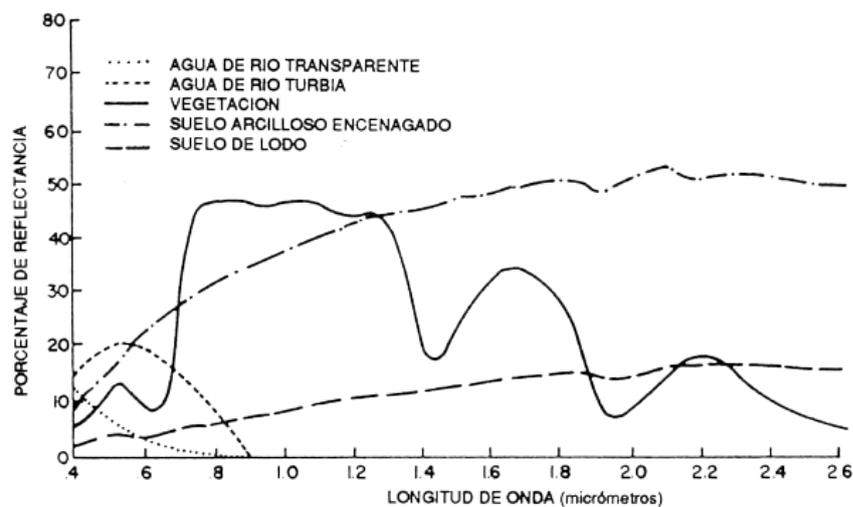
Fuente: PARTNeR, 2009

2.2.2 Firmas espectrales

La composición física de los diferentes materiales que constituyen la cubierta terrestre es determinante para que se les atribuyan características particulares

dentro de su comportamiento espectral, tales diferencias forman la base para la identificación y clasificación de tipos de cubiertas y materiales a partir de sensores remotos. El modo particular en el que las cubiertas reflejan o emiten energía a diferentes longitudes de onda se denominan firmas espectrales (Figura 4) (Chuvieco, 2008).

Figura 4 Firmas espectrales



Fuente: FAO, 2010

Existen factores que modifican la firma espectral de las cubiertas como lo son:

- Ángulos de iluminación y observación, los cuales dependerán de factores geográficos como la altitud, estacionalidad y hora del día así como de la posición del sensor.
- El relieve, las geoformas así como su orientación generaran un ángulo de iluminación.
- La atmosfera, la absorción por nubes y la dispersión selectiva en diferentes longitudes de onda.
- Variaciones medioambientales, como asociación con otras superficies, homogeneidad, estado fenológico, etc.
- Sustrato edáfico o litológico, influyente cuando la cubierta observada presenta una densidad media

Estos factores demuestran la complejidad que existe para la identificación de cubiertas por medio de sensores remotos aun conociendo su firma espectral. Sin embargo, estas firmas son de gran utilidad ya que gracias a ellas se pueden elegir con mayor precisión las bandas que sean más útiles para el estudio de la cubierta de interés (Chuvienco, 2008).

2.2.3 Comportamiento espectral del agua

Teniendo este antecedente podemos explicar el comportamiento del agua en las diferentes regiones del espectro electromagnético, debido a que representa la cubierta de interés de donde se obtendrán datos satelitales para el desarrollo del presente trabajo.

Las superficies acuáticas absorben la mayor cantidad de la radiación que reciben en longitudes de onda superiores a los $0.7 \mu m$, su absorptividad será mayor en longitudes de onda más grandes, la mayor reflectividad del agua clara se da en el azul disminuyendo hacia el infrarrojo. Las variables como profundidad, materiales en suspensión y rugosidad de la superficie del agua son fácilmente detectables en longitudes de onda cortas (azul, verde), el contenido de sedimentos del agua va a generar que exista una mayor reflectividad en las bandas del visible dependiendo del tamaño de partícula, siendo evidente esto en las desembocaduras de los ríos. La reflectividad está también relacionada con la profundidad, ya que en aguas poco profundas esta se incrementara debido a que hay mayor aporte de radiancia reflejada por los fondos. Es por eso que la absorptividad aumentara cuando más profunda sea la capa de agua. La concentración de clorofila en el agua es medible utilizando el espectro visible, la característica espectral que determinara el contenido de

clorofila es la disminución de reflectancia en la banda azul (400 - 500 nm) y el aumento en la banda verde (500 – 600 nm) (Chuvienco, 2008).

El agua al poseer una alta inercia térmica debida su gran conductividad le permite tener alto grado de resistencia al cambio de temperatura, ya que absorbe gran parte de la energía emitida por el Sol y la conduce hacia capas más profundas mediante movimientos de convección. La región del infrarrojo lejano o térmico (8 a 14 μm) es la óptima para medir la temperatura superficial de las cubiertas acuáticas (*ibid*).

2.3 Sensores remotos

Los sensores remotos son instrumentos montados en plataformas aéreas o espaciales capaces de obtener información de las cubiertas terrestres en forma de energía electromagnética, ésta es convertida en un formato analógico, en el caso de las fotografías aéreas, y digital para las imágenes satelitales (Sobrino y Raissouni, 2000).

Los sensores remotos se agrupan en 2 clases:

- Pasivos. Se nombran así cuando su única función es captar la radiación de la cubierta de interés.
- Activos. Estos son aquellos sensores que emiten un haz energético con una determinada longitud de onda, hacia la cubierta de interés, para después captar la radiación resultante de la interacción con la energía emitida por el sensor.

2.3.1 Resolución de los sensores remotos

Al trabajar con información espacial se debe tomar en cuenta la escala de representación con respecto al espacio, ya que es así como se entiende la

proporción que existe entre el documento, ya sea gráfico o digital, y el espacio real. En el caso de las imágenes satelitales dicha proporción se puede obtener a partir de las características de la imagen, esto implica considerar la calidad de la información obtenida en distintos aspectos, dichos aspectos se obtienen a partir de los diferentes tipos de resolución:

- Resolución espacial. Se refiere al objeto más pequeño que puede ser distinguido en la imagen, en el caso de imágenes digitales se refiere al tamaño del píxel, que es la unidad mínima de almacenamiento de datos. Mientras el tamaño de píxel sea menor la resolución será mayor.
- Resolución radiométrica. Es la capacidad del sensor de discriminar niveles o intensidades de radiancia, se refiere al número de bits que utiliza el sensor para codificar la información, a mayor número de bits reservados para almacenar la reflectividad de un píxel, será mayor la resolución radiométrica.
- Resolución espectral. Indica el número de anchura de las bandas espectrales que puede discriminar el sensor, mientras sea mayor el número de bandas y más estrechos sean los rangos de éstas será mayor la resolución espectral.
- Resolución temporal. Se refiere a la periodicidad con la que un sensor colecta una imagen del mismo lugar, mientras el tiempo de recolección sea menor será mayor la resolución temporal.

2.4 Aplicaciones de la PR

Las aplicaciones de la PR en las ciencias de la tierra son diversas, existen parámetros proporcionados por sensores remotos de la atmósfera, océanos, tierra, y nieve-hielo (Cuadro 1).

Cuadro 1 Aplicaciones de la PR en las Ciencias de la Tierra

Cuadro 1.1 Atmósfera	Tierra	Océanos	Nieve-hielo
Aerosoles	Albedo y reflectividad	Color - biología	Topografía de la capa de hielo
Humedad atmosférica	Topografía	Topografía del océano y corrientes	Límite, cubierta y profundidad de la nieve
Temperatura atmosférica	Humedad del suelo	Viento de la superficie del mar	Límite y espesor del hielo oceánico
Vientos atmosféricos	Vegetación	Temperatura superficial del mar	Otros aspectos
Propiedades y perfil de las partículas nubosas	Temperatura de la superficie terrestre	Altura y espectro del oleaje	
Tipo de nube, cantidad y temperatura del techo de la nube	Otros aspectos	Otros aspectos	
Precipitación			
Ozono			
Balance de radiación			

Fuente: Pérez y Muñoz, 2006

Como se puede observar las aplicaciones meteorológicas, las cuales fueron pioneras dentro de la PR, son las que han tenido un avance significativo dentro de las técnicas de PR. Sin embargo, las aplicaciones oceánicas constituyen un medio valioso de observación debido a que son una forma de visualizar fenómenos globales dinámicos, como lo son las mediciones del color del mar, que están relacionadas con parámetros biológicos como la concentración de fitoplancton, balance de carbono y partículas suspendidas. La medición de estas variables junto con la TSM son de gran utilidad para estudios relacionados con producción pesquera, por que presentan un panorama general de la distribución y temporalidad de los aspectos ambientales que inciden en los océanos y con esta información se puede obtener un diagnóstico que será útil para la explotación responsable de los recursos pesqueros (Sobrino y Raissouni, 2000).

2.5 TSM y Chla

Tanto la TSM como la Chla son dos variables medibles a partir de PR, las cuales son aplicables a diversas temáticas, en este caso se utilizarán para hacer un análisis bivariado, donde se visualizará su comportamiento en la costa occidental de Baja California Sur (COBCS) con una cobertura temporal que incluye los años 1997 a 2009, este análisis será de utilidad para determinar la influencia de estos elementos ambientales en la pesquería de sardina. Las bases físicas que explican cada una de las variables se expresan a continuación.

2.5.1 TSM

La fuente de energía calorífica que recibe la Tierra procede de la radiación emitida por el Sol. La cantidad de energía que recibe la exósfera es de 0.14

W/cm^2 o $2 \text{ ly}/min$, a estos valores se les denomina *constante de radiación solar*. La radiación que alcanza la superficie terrestre es modificada por las diferentes capas de la atmósfera, los diversos gases que componen dichas capas permiten que la radiación solar sufra una absorción selectiva en sus diferentes longitudes de onda, con una entrada máxima de energía que va de $0.5 \mu m$ a $0.8 \mu m$ y una salida máxima entre 9 y $12 \mu m$, estos rangos corresponden a la luz visible y al calor, respectivamente (De la Lanza, 2001).

En la superficie del mar, los intercambios con la atmósfera afectan, en primer lugar, a la temperatura. Las aguas marinas se calientan por absorción de la radiación solar ya sea directa o difusa, y se enfrían por irradiación directa a la atmósfera, por evaporación o por convección de calor del agua hacia la atmósfera.

Es así como el sistema Tierra trabaja para mantener un equilibrio térmico planetario, y lo lleva a cabo distribuyendo las ganancias de temperatura de las bajas latitudes hacia las altas latitudes, es decir, transfiriendo masas de agua caliente hacia los polos y de agua fría hacia el ecuador. Por lo anterior el equilibrio térmico de los océanos está ligado a los mecanismos climáticos (Doumengué, 1965).

Siguiendo la misma lógica que las zonas climáticas en los continentes, existe un gradiente térmico para determinar la temperatura de la superficie del océano basándose en la latitud, las aguas con mayor temperatura corresponden a la franja ecuatorial, teniendo como máxima entre 28° y $33^\circ C$, mientras se avanza hacia los polos, se tendrá un descenso en la temperatura hasta llegar a los $-1.9^\circ C$ que corresponde al punto de congelación del agua marina, siendo los casquetes polares la zona geográfica que registra estas temperaturas

(Lefevre, 2003). Sin embargo, en la variación sobre la TSM influyen otros factores como; la estación de año, el régimen de vientos, las corrientes marinas, la circulación profunda, la presencia de tierras emergidas y en menor medida las precipitaciones y la influencia de agua continental (Uribe, 2006).

La temperatura del océano no es constante en toda la columna de agua, solo la capa superficial es térmicamente estable y habitable para la mayoría de los organismos marinos, dicha capa puede comprender hasta 200 m de profundidad, es en ella donde se realiza la transferencia térmica entre la atmosfera y el agua. Existe una capa a una profundidad variable entre 200 y 1000 m donde se presenta una discontinuidad térmica, a dicho límite se le denomina termoclina y esta frontera marca un descenso térmico donde la temperatura disminuye 1° C por cada diez metros de profundidad. Por debajo de este estrato se localiza una capa fría la cual alcanza los 4° C, que va del nivel inferior de la termoclina hasta el piso oceánico y representa el estrato que contiene el mayor volumen de agua. No obstante, la temperatura vertical en el océano se comporta de manera diferente en relación con la latitud; en latitudes medias se encuentra una termoclina permanente, mientras en la zona subtropical además de esta termoclina se forma otra estacional durante el verano la cual desaparece en el invierno gracias al enfriamiento y mezcla de aguas (De la Lanza, 2001).

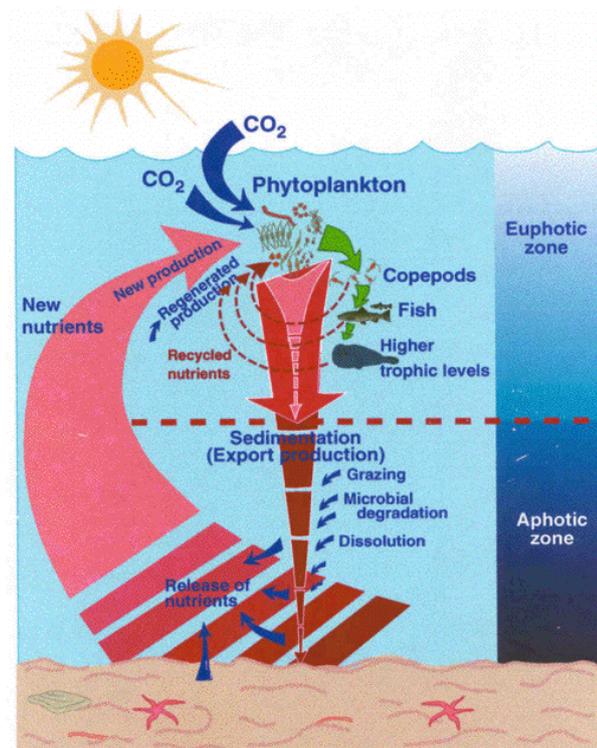
2.5.2 Chla

Las tonalidades que refleja el mar son la respuesta espectral a la entrada de radiación solar incidente, así como la contribución de la radiación difusa del cielo, dichas radiaciones interactúan con las sustancias y partículas contenidas en el agua, estas partículas están constituidas por materia inorgánica y

fitoplancton, los cuales son indispensables para que se lleve a cabo la producción primaria (Aguirre, 2001).

La producción primaria es un proceso complejo en el cual el carbono inorgánico (CO_2) se transforma en material orgánico celular, este proceso se lleva a cabo mediante la fotosíntesis realizada por los organismos vegetales (De la Lanza, 2001) en este caso el fitoplancton, compuesto por algas microscópicas, diatomeas, dinoflagelados y coccolitóforos (Chávez, 1981). La fotosíntesis se lleva a cabo en la zona eufótica, la cual comprende de la superficie hasta el límite más profundo donde puede penetrar la luz, la profundidad de este límite oscila entre 10 y 100 m, esta frontera puede variar dependiendo de las partículas suspendidas en el agua, así como el ángulo de inclinación de los rayos solares (Figura 5).

Figura 5 Producción primaria y cadena trófica marina



Fuente: Wassmann, 2011

La Chla es el pigmento mediante el cual se puede determinar la biomasa fitoplanctónica en el océano, debido a esto, es utilizada para inferir la actividad fotosintética y para medir la tasa de producción primaria. Su comportamiento espectral le permite reflejar principalmente en la región verde del espectro visible, de ahí se derivan las tonalidades que adquieren los organismos vegetales. Mientras tanto la región de absorción de la Chla se localiza en las regiones azules y rojas del espectro visible. Debido a lo anterior las imágenes satelitales que miden la reflectancia del mar son útiles para determinar la Chla y con esto se pueden inferir las zonas donde se lleva a cabo la producción primaria.

La producción primaria es el inicio de la cadena trófica en los ecosistemas marinos (Figura 5), debido a esto, la distribución y flujos de los cardúmenes estará influenciada por las zonas con alta concentración de nutrientes, y son estas zonas las que tendrán un alto potencial para la producción pesquera.

2.6 Pesca

A lo largo de la historia el mar ha adquirido una importancia económica para las sociedades, se ha utilizado como medio de comunicación por diversas civilizaciones, además de ser un contenedor de grandes recursos utilizables por el hombre, como materias primas para la industria y especies marinas para la alimentación (Bassols, 2002).

2.6.1 Pesca como actividad económica

La pesca como actividad económica se refiere a la explotación de los recursos marinos, la cual comprende un conjunto de actividades que van desde la identificación del recurso a explotar, la definición y obtención de los medios de

producción, los procesos de localización, búsqueda y captura así como el traslado a puerto y su comercialización (Grande-Vidal, 2006).

Cada país puede explotar sus recursos marinos libremente dentro de la Zona Económica Exclusiva (ZEE) que le corresponda, a esta zona le conciernen 200 millas náuticas mar adentro a partir del límite exterior del mar territorial, el cual a su vez se extiende 12 millas náuticas a partir de la línea de base situada en la costa (INEGI, 2000).

2.6.2 Pesquerías de pelágicos menores

Las pesquerías de pelágicos menores, como lo son; la sardina, anchoveta y afines, representan el mayor porcentaje dentro del peso vivo y desembarcado en el ámbito de la pesca mundial, además esta pesquería se encuentra en el quinto lugar en el mundo en términos económicos (SAGARPA, 2004).

Las pesquerías de pelágicos menores se desarrollan en zonas de surgencias donde la productividad fitoplanctónica es muy elevada, este proceso se lleva a cabo gracias a las condiciones oceanográficas particulares que tienen algunas regiones, las que se caracterizan por la presencia de afloramientos de las aguas profundas de menor temperatura hacia la superficie. A lo largo de este flujo se provoca el acarreo de nutrientes hacia la superficie el cual propicia una explosión de las poblaciones, especialmente fitoplanctónicas, de las cuales se alimentan los pelágicos menores entre otros organismos (Rodríguez, 1988).

Las zonas de surgencia a nivel mundial constituyen alrededor del 0.5% de la superficie de los océanos. Sin embargo, las pesquerías que se desarrollan en estas zonas producen alrededor del 50% de los volúmenes capturados en todo el mundo. Solo son cuatro las zonas de surgencia las más importantes en el

mundo y se localizan en las costas de California y Baja California, Perú, Norte y Sur de África Occidental (*ibid*).

La pesquería de pelágicos menores por su manera de captura, su procesamiento y su destino se clasifica en; pesquería costera y de mediana altura: este tipo de pesquerías se realizan dentro la plataforma continental, cuentan con una gran diversidad de equipo empleado para la captura, ya que va desde embarcaciones y artes de pesca artesanal hasta equipo sofisticado el cual incluye detección de cardúmenes por medio de ecosonda, aeronaves y PR (*ibid*).

Son pesquerías rentables, socialmente organizadas y altamente variables en cuanto a volumen capturado, ya que son muy susceptibles a cambios ambientales.

2.6.3 Generalidades de la sardina

Dentro la pesquería de pelágicos menores, la sardina es la especie que representa el mayor volumen capturado en el área de estudio. Mientras la captura de anchoveta y macarela en la COBCS es mínima y muchas veces nula, debido a esto dichas especies no se tomarán en cuenta para el presente trabajo.

A continuación se da una descripción general de las características biogeográficas de la sardina:

Pertenece a la familia de los clupeidos (*clupeidae*), existen 7 especies principales:

1. Sardina Monterrey (*Sardinops caeruleus*)
2. Sardina Crinuda (*Opisthonema libertate*)
3. Sardina Crinuda Azul (*Opisthonema bulleri*)

4. Sardina Crinuda Machete (*Pliosteostoma lutipinnis*)
5. Sardina Bocona (*Cetengraulis mysticetus*)
6. Sardina Japonesa (*Etrumeus teres*)
7. Sardina Piña (*Oligoplites refulgens*)

Fuente: Carta Nacional Pesquera, 2004

Son organismos pelágicos costeros, efectúan migraciones relacionadas con su reproducción y alimentación. Habitan zonas subtropicales de alta productividad biológica cuya temperatura superficial oscila entre 10° y 23° C.

Las 7 especies de sardina se caracterizan por tener un cuerpo esbelto y comprimido, poco elevado y por su forma de “huso” se les denomina pisciformes (Imagen 1) (Cifuentes, 1990). Presentan una sola aleta dorsal de forma trapezoidal; las pélvicas son muy pequeñas en posición abdominal; la anal es muy baja y la aleta caudal es homocerca (Ruiz, 1985).

Imagen 1 Sardinas



Fuente: INAPESCA, 2011

La Familia de los clupeidos está representada generalmente por especies de talla media y pequeña, entre 15 y 20 cm. Sin embargo, se pueden encontrar individuos hasta de 25 cm. Su periodo de vida es de 10 años y se agrupan en cardúmenes que varían en densidad desde unas cuantas toneladas, hasta varios cientos de ellas (*ibid*).

Son organismos unisexuales que presentan un amplio periodo de desove, que se relaciona directamente con un rango de temperatura, que va de 16° a 18° C, estas condiciones generalmente se dan entre diciembre y mayo en el hemisferio norte. Alcanzan su primera madurez sexual a los 2 años, convirtiéndose en desovadores masivos.

Por su alimentación esta especie se clasifica dentro de los peces omnívoros, consume tanto fitoplancton como zooplancton. Los clupeidos sirven de alimento para los grandes carnívoros como; tiburones y barracudas, así como mamíferos y aves.

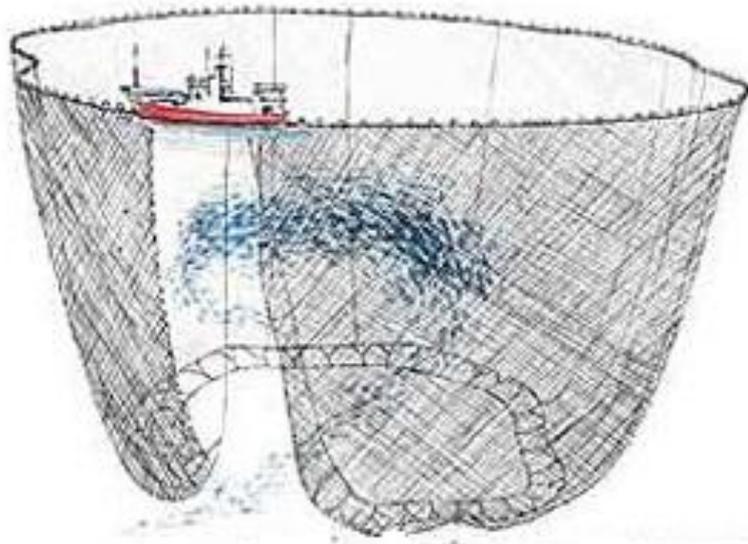
La sardina monterrey se distribuye a lo largo de la costa del pacifico norte del continente americano; desde el sur de Alaska hasta Cabo San Lucas y el golfo de California, esta distribución corresponde a la ruta que sigue la corriente de California. La distribución de la sardina monterrey y la sardina crinuda corresponde a todo el Pacífico oriental así como al Atlántico occidental (Ruiz, 1985).

La pesquería de sardina es multiespecífica, esto quiere decir que al momento de la captura se pescan especies que no pertenecen a los clupeidos. Las unidades de pesca que se utilizan para la captura de sardina son barcos cerqueros o sardineros tipo *clipper* y camaroneros adaptados para la pesca de cerco; es por eso que se observan variaciones notables en las características de los barcos: la eslora varia de 10 a 33 metros, la manga de 2.3 a 9.5 metros, el casco puede ser de hierro o madera, la capacidad de bodega oscila entre 16 y 300 toneladas. Las embarcaciones más sofisticadas cuentan con sistema de refrigeración así como sistemas electrónicos de navegación: como sonar, piloto automático, radar y omega. Una característica común entre los barcos

dedicados a esta pesquería es que cuentan con: pluma, patesca hidráulica, pangón, plataforma giratoria, malacate y tambor (*ibid*).

El arte de pesca común dentro la pesquería de sardina es la *red de cerco con jareta*, que llega a tener una longitud de 250 a 300 metros por 30 a 60 metros de profundidad (Figura 6). Las dimensiones de las redes son proporcionales a la potencia y tonelaje de las embarcaciones, están fabricadas de nylon y su abertura de malla es de 1 1/8 de pulgada en el cuerpo y 1/2 de pulgada en la bolsa (*ibid*)

Figura 6 Arte de pesca al Cerco



Fuente: Itsaspreben, 2005

La producción de sardina se emplea tanto para consumo humano directo como industrial, siendo este último al que se dirige el mayor porcentaje de la producción la cual se emplea para el enlatado y la elaboración de harina y aceite de pescado (Rodríguez, 1988).

Capítulo 2. Generalidades del área de estudio

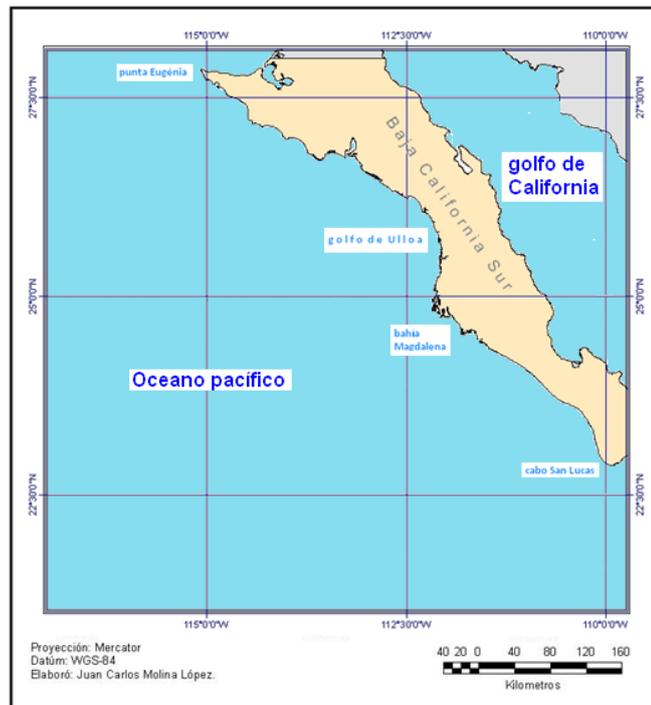
2.1 Aspectos generales

La península de Baja California está ubicada en el extremo noreste de la república mexicana, se extiende desde la frontera con los Estados Unidos al Norte, hasta cabo San Lucas al Sur, a lo largo de 1283 km.

2.1.1 Localización

El estado de Baja California Sur está localizado al noroeste de la república mexicana, forma parte de la porción sur de la península de Baja California, sus coordenadas extremas son; 28° 16' a 22° 33' de latitud norte y 109° 22' a 115° 04' de longitud oeste (Imagen 2). Se encuentra limitado al norte por el estado de Baja California y el golfo de California, al este con el golfo de California, al sur y oeste con el océano Pacífico. Cuenta con una superficie 70,913.4 Km² lo cual representa el 3.64% del total del territorio nacional (INEGI, 2010)"

Imagen 2 Baja California Sur



Fuente: Elaboración propia

2.1.2 Fisiografía

Baja California Sur forma parte de la provincia fisiográfica Península de Baja California. En el estado se localizan cinco sub provincias, las cuales son; Sierra de la Giganta y las discontinuidades Desierto de San Sebastián Vizcaíno, Llanos de la Magdalena y Del Cabo. En estas tres últimas subprovincias es donde se localizan los puertos pesqueros donde se desarrolla la captura de sardina, siendo la más importante Llanos de la Magdalena, donde se encuentra bahía Magdalena, que es una importante zona de producción pesquera, particularmente de pelágicos menores, siendo los puertos ubicados dentro la bahía los que registran el mayor volumen de captura a nivel estatal.

2.1.3 Clima

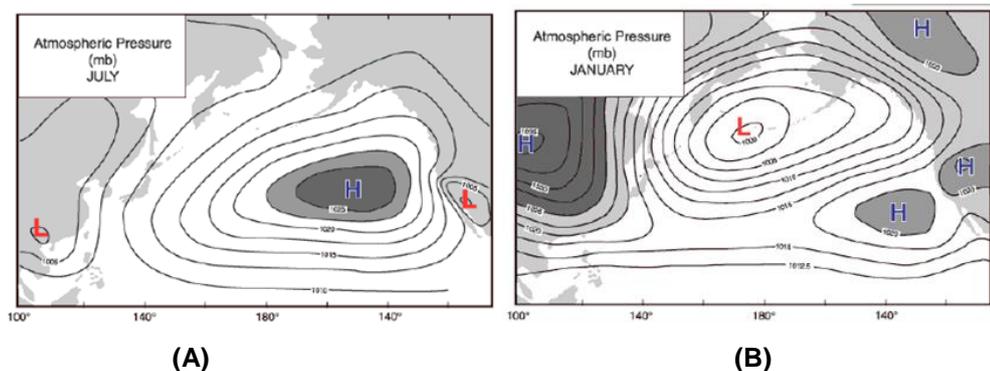
El clima que incide sobre la costa occidental de la Baja California Sur (COBCS), según el sistema de Köppen, corresponde a muy seco (BW) (García, 2004). Su régimen de lluvias es muy escaso y puede ser tanto en invierno como en verano, gracias los altos niveles de insolación y la escasa precipitación la cual es rebasada por la evaporación la mayor parte del año, solo se forman corrientes de agua intermitentes, además se tiene una elevada oscilación térmica la cual determina lo extremo de dicho clima (Vidal, 2005). Las costas de Baja California Sur están influenciadas por dos masas de agua de características diferentes, lo que repercute en el clima de ambas costas. La costa occidental se encuentra bajo la influencia de la Corriente de California en el Océano Pacífico, donde las brisas marinas generadas por los vientos dominantes permiten que durante el verano, los regímenes de temperatura sean menos extremos que en la costa oriental, la cual se encuentra

influenciada por aguas del Golfo de California, donde se presentan condiciones distintas (Flores, 1998).

2.1.3.1 Vientos

Las corrientes de aire que inciden en la COBCS están determinadas por los cambios estacionales. Desde primavera hasta otoño la celda de alta presión se sitúa frente a las costas de Estados Unidos en el océano Pacífico (Figura 7-A), por lo tanto los vientos que soplan en la porción sur de la península provienen del norte y noroeste, siendo estos intensos y constantes, lo que permite que se formen zonas de surgencias costeras de alta productividad biológica. Mientras tanto, en invierno la celda de alta presión se desplaza hacia el sur (Figura 7-B) lo cual trae consigo que los vientos dominantes provenientes del norte se debiliten provocando una baja en la intensidad en la corriente de California y por ende en las surgencias costeras (De la Lanza, 1991).

Figura 7 Presión atmosférica en el Pacífico Norte (A- Verano B- Invierno)



Fuente: Edwards, 2005

2.2 Oceanografía

La corriente de California juega un papel importante dentro de la producción pesquera de pelágicos menores en el área de estudio, es por eso que es necesario entender su dinámica espacial para así asociar la relevancia de

dicha pesquería con los procesos físicos oceánicos que inciden frente a la Costa Occidental de Baja California Sur (COBCS).

2.2.1 Sistema Corriente de California

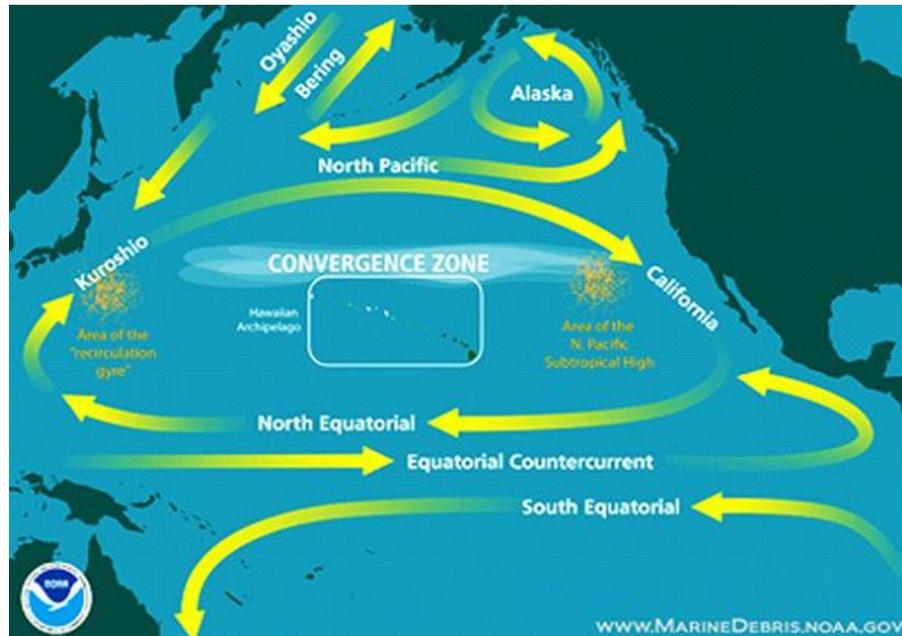
El sistema corriente de California está limitado al norte por la corriente Sub-ártica y al sur por la corriente Nor-ecuatorial (Cepeda, 2004) Este sistema está formado por una corriente superficial con dirección al ecuador llamada corriente de California (Figura 8), por la subcorriente de California, la cual tiene un flujo subsuperficial con dirección hacia el norte y la contra corriente de California que es costera y con una estacionalidad intermitente, debido a que se encuentra asociada a la intensidad de los vientos del norte y noroeste. Estos flujos cambian en intensidad a escalas estacionales e interanuales. Las variaciones interanuales están fuertemente asociadas con la circulación atmosférica de latitudes medias, relacionadas principalmente a eventos del “Niño” (Durazo, 2005). Los efectos del “Niño” dentro el sistema corriente de California se manifiesta con un calentamiento anómalo del agua superficial, incremento en la salinidad, disminución de las surgencias costeras e incremento del nivel medio del mar.

El sistema corriente de California se divide en tres zonas en términos de masas de agua; agua sub-ártica del Pacífico, la cual se forma desde cabo Mendocino hasta San Francisco en el estado de California, esta área cuenta con un exceso de precipitación y pérdida de calor con respecto a las áreas localizadas al sur.

La zona de transición que se distribuye desde las costas del sur de California y Norte de Baja California aproximadamente entre los paralelos 30° y 35° N.

La zona de influencia de aguas norecuatoriales se distribuye desde punta Eugenia hasta cabo San Lucas (Cepeda, 2004). Esta última zona es la que corresponde a la COBCS y la que será objeto de estudio en este trabajo.

Figura 8 Circulación de las aguas del Océano Pacífico

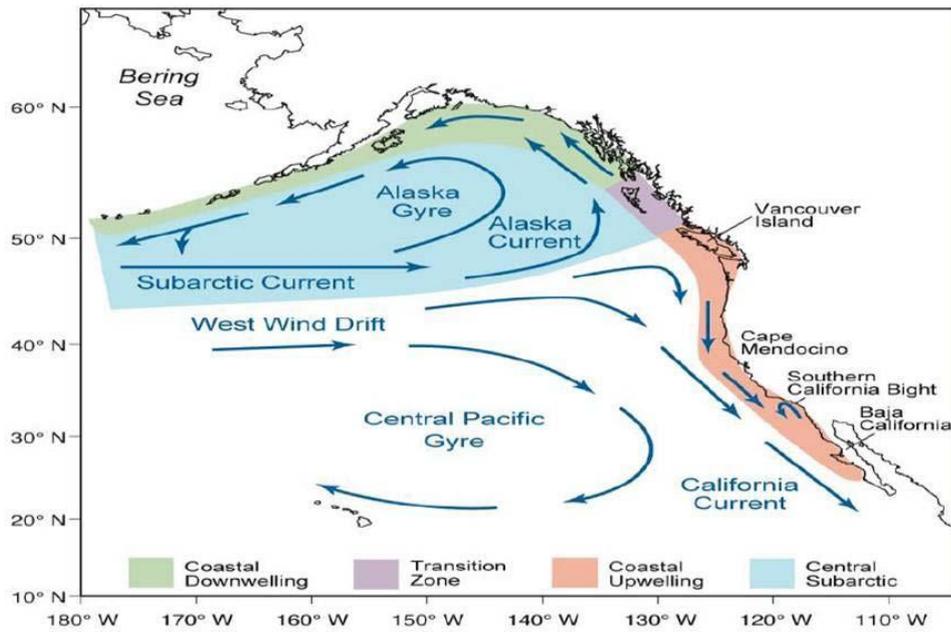


Fuente: NOAA, 2011

La corriente de California pertenece al grupo de corrientes con frontera oriental la cual es formada gracias a las diferencias térmicas de las grandes cuencas oceánicas y forma parte del giro anticiclónico del Pacífico norte. Es una corriente superficial con una profundidad máxima de 300 m, fluye paralela a Norteamérica desde Columbia Británica hasta Cabo San Lucas, se desplaza a una distancia de 200 a 300 Km de la costa con una velocidad promedio de 25 cm/s (Cepeda, 2004).

Al llegar cerca del paralelo 25, la corriente de California gira hacia el oeste y se mezcla con la corriente Nor-ecuatorial creándose una zona particularmente compleja gracias a la asociación de aguas cálidas y salinas de dicha corriente con las frías de baja salinidad provenientes del norte (Figura 9) (Rosas, 2007).

Figura 9 Corriente de California

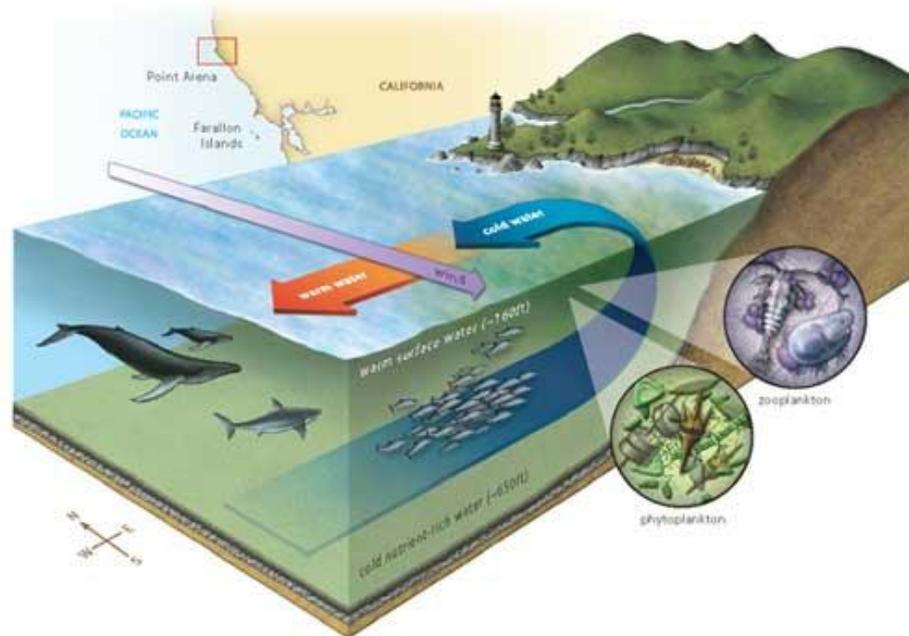


Fuente: Rowntree, 2010

2.2.2 Surgencias costeras

El viento actúa sobre la superficie del océano y la costa de tal manera que provoca una divergencia horizontal que permite que se generen surgencias de aguas profundas relativamente frías (Figura 10), la cuales contienen un alto contenido de nitratos y una menor cantidad de oxígeno disuelto que el agua superficial (Hernández, 2010). Los nutrientes de estas aguas al ser expuestos a la radiación solar son generadores de fitoplancton gracias al proceso de fotosíntesis. Aunado a lo anterior, la geomorfología de la línea de costa permite la formación de frentes y giros, los cuales están asociados a surgencias costeras (Ramos, 2007).

Figura 10 Surgencias Costeras en el Pacífico noreste



Fuente: Wong, 2007.

Las condiciones biológicas que se presentan en las zonas de surgencias son favorables para las especies pelágicas, estas áreas presentan altas concentraciones de plancton el cual sirve como alimento para dichas especies. Es por lo anterior que en zonas de surgencias se puedan encontrar grandes cardúmenes de pelágicos menores.

2.3 Población

De acuerdo con el Censo Nacional de Población y Vivienda, para el año 2010 la población total del Estado comprendía 637,065 habitantes, que corresponde al 0.6% del total nacional y está compuesta en 51.10% por hombres y en 48.89% por mujeres. La población se encuentra distribuida en un 86% en áreas urbanas y 14% en zonas rurales. La tasa de crecimiento anual para la entidad durante el período de 2005-2010 fue del 4.5% (INEGI, 2010).

Políticamente la entidad se encuentra dividida en 5 municipios: La Paz y Los Cabos, Loreto, Mulegé y Comondú.

La Paz y Los Cabos concentran al 77% de los habitantes ocupando el primer y segundo lugar respectivamente, el tercer lugar lo ocupa el municipio de Comondú, con 70, 816 habitantes y es aquí donde se localizan los puertos pesqueros de San Carlos y Adolfo López Mateos.

A nivel estatal las actividades terciarias presentan la mayor aportación al PIB estatal con un 69.5%, en segundo lugar se encuentran las actividades secundarias con 26.61% y en último lugar las actividades primarias con 3.89%. (INEGI, 2010).

2.3.1 Comondú

La cabecera municipal es Cd. Constitución, colinda al norte con el municipio de Mulegé, al este con el municipio de Loreto y el Golfo de California, al oeste con el Océano Pacífico y al sur con el municipio de La Paz.

Comprende una extensión de 12,547.3 km²., que representa el 17.03% de la superficie total del estado, con un total de 565 km. de litorales que incluye islas, estuarios y lagunas. Por su dimensión ocupa el segundo lugar en extensión respecto a los demás municipios del estado y, de acuerdo al Censo de 2010, tiene una densidad de 6.1 habitantes por km². Con relación al área insular, el municipio tiene dentro de su jurisdicción las islas de Santa Margarita, Isla Magdalena y la Isla Mangrove, en el Océano Pacífico y la Isla Habana y San Diego en el Golfo de California (*ibid*).

2.4 Proyecto IMECOCAL

Investigaciones Mexicanas de la Corriente de California (IMECOCAL) es un proyecto de investigación aplicado a la sección sur de la Corriente de California, las labores de dicho proyecto se dirigen a la colecta de muestras oceánicas frente a la costa Occidental de la península de Baja California así como un monitoreo continuo de estaciones costeras. Este proyecto sirvió para definir el contexto dentro del cual se desarrolla esta tesis, al mismo tiempo que proporcionó los parámetros a seguir para definir las estaciones oceanográficas que son utilizadas en esta investigación.

2.4.1 Objetivos de IMECOCAL

Los objetivos del proyecto son proveer de descripciones cuantitativas de procesos físicos y biológicos que inciden en la corriente de California dentro la sección que corresponde a la península de Baja California, para entender la dinámica que juegan dichos procesos y su respuesta frente a cambios climáticos de tipo local y global.

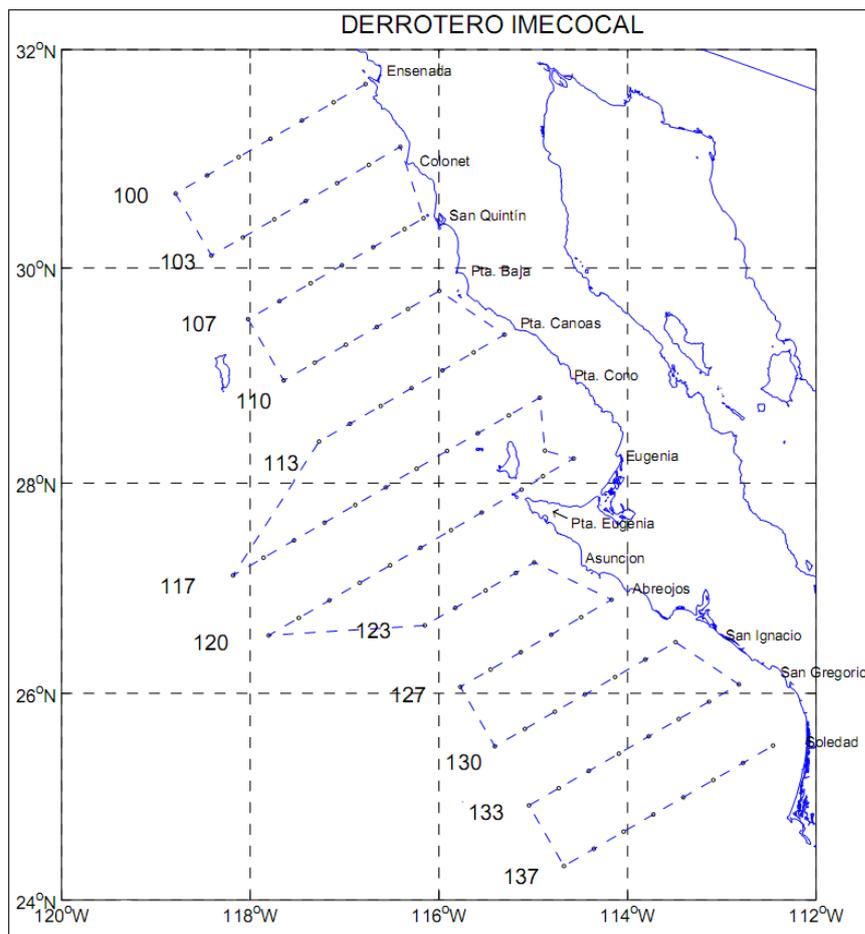
Teniendo estos antecedentes y como objetivo final el programa, pretende tener la capacidad de realizar predicciones del impacto de las variaciones ambientales hacia el ecosistema pelágico, así como a las pesquerías que se desarrollan dentro de esta área (IMECOCAL, 2011).

La metodología para el muestreo de las variables oceánicas que estudia el programa, se encuentra basada en la red de estaciones utilizadas por California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations (CalCOFI, por sus siglas en inglés) que ha sido el programa pionero en la investigación de la corriente de California, el cual empezó a operar desde el año 1949 en las aguas de California.

Las colectas se realizan en cruceros oceanográficos a bordo del buque Francisco de Ulloa, dichos cruceros se realizan cuatro veces al año en los meses de: enero, abril, octubre y julio.

Los cruceros zarpan del puerto de Ensenada siguiendo una serie de transectos perpendiculares a la costa en los cuales están organizadas alrededor de 90 estaciones, donde se realizan los muestreos. El crucero se realiza en dos fases de aproximadamente 10 días cada una; la primera corresponde a la sección norte de la península, desde Ensenada hasta isla Cedros, comprende 6 transectos que contienen alrededor de 50 estaciones, la segunda fase se extiende desde isla Cedros a bahía Magdalena, para esta sección se utilizan 6 transectos y alrededor de 40 estaciones (Figura 11).

Figura 11 Red de estaciones IMECOCAL



Fuente: IMECOCAL, 2011

2.4.2 Resultados de IMECOCAL

A lo largo de 14 años de operaciones del programa, se ha tenido un importante desarrollo técnico, académico y científico. Lo anterior se expresa en los reportes técnicos que ha arrojado el proyecto, las tesis tanto de licenciatura, maestría y doctorado que se han desarrollado a lo largo del programa así como la aportación de artículos para revistas especializadas (IMECOCAL, 2011).

Con estos antecedentes de investigación del área de estudio se sientan fuertes bases metodológicas y científicas que son de gran importancia para esta investigación.

2.5 Antecedentes de la captura de sardina

La pesquería de sardina en México comenzó en el puerto de Ensenada e isla Cedros en el estado de Baja California durante el año 1929, la producción era baja debido a la poca demanda del producto y la limitada capacidad de arrastre de la flota pesquera. Durante los primeros 11 años de capturas, éstas se mantuvieron inferiores a las 1,000 toneladas por año. De 1946 a 1952 el crecimiento industrial del puerto de Ensenada dirigido al procesamiento de pelágicos menores permitió que se pudiera incrementar el esfuerzo pesquero obteniendo 16,200 toneladas por año en promedio. A mediados de los años 40's ocurrió un desplome en la producción de sardina en las costas de Norteamérica, provocada por la sobrexplotación del recurso por parte de los Estados Unidos y fuertes cambios ambientales en la corriente de California, esto trajo consigo una severa crisis en la industria pesquera estadounidense. Durante los años 50s este suceso repercutió en el puerto de Ensenada donde dicha actividad virtualmente desapareció. Este hecho, aunado al descubrimiento de nuevas poblaciones de sardina, fue la causa de que algunas

embarcaciones de la flota de Ensenada se desplazaron hacia Bahía Magdalena y al Golfo de California (Figura 12), lo cual permitió que se sentaran las bases de una sólida pesquería de sardina en estas dos áreas, la cual tiene como base los puertos de San Carlos y Adolfo López Mateos para la costa occidental de Baja California Sur, Guaymas y Yavaros para Sonora (Nevárez, 2009).

Dentro del área de estudio se reconocen dos zonas principales de producción biológica, estas son, Punta Eugenia y bahía Magdalena, los altos niveles de producción primaria permiten que estos lugares sirvan a las especies de pelágicos menores como centros de refugio, desove y crianza (Ramos, 2007).

La mayor parte de los recursos pesqueros que se encuentran dentro de la zona de estudio son de origen templado, estos organismos se caracterizan por ser abundantes pero menos diversos, lo contrario pasa con las especies tropicales las cuales son diversas pero menos abundantes (Rosas, 2007). Esta característica de abundancia de individuos de las aguas templadas contribuye a que se presente una explotación de tipo industrial, enfocada a capturar y procesar grandes volúmenes de recursos pesqueros (Hernández, 1987). Un ejemplo claro de lo anterior es la producción de pelágicos menores, en específico la sardina, la cual es capturada en grandes volúmenes para su posterior industrialización.

Figura 12 Distribución comercial de los pelágicos menores en el Pacífico Mexicano

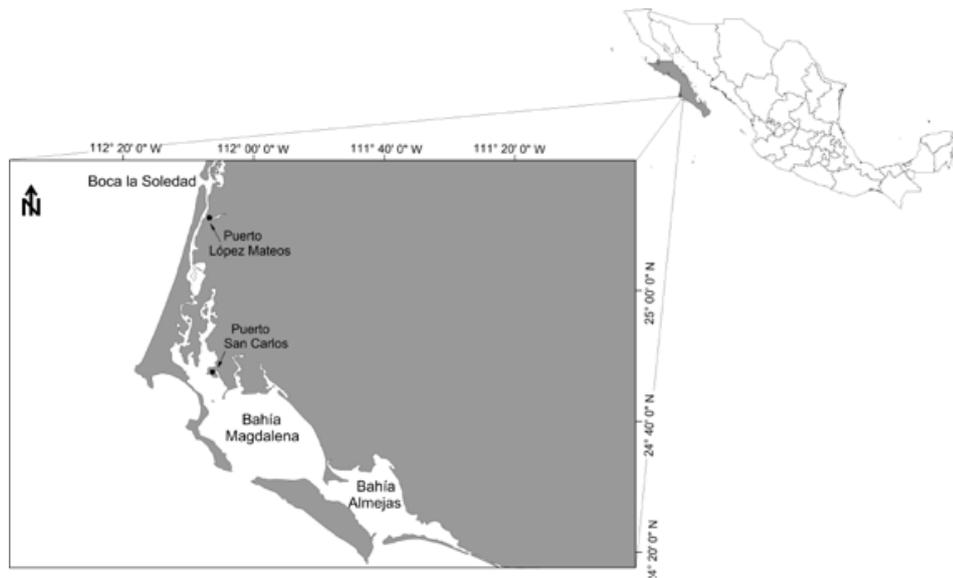


Fuente: Carta Nacional Pesquera, 2004

2.5.1 Pesquería de Sardina en el área de estudio

Por peso desembarcado la captura de pelágicos menores representa el mayor porcentaje dentro las pesquerías mexicanas. Siendo la variedad de especies de sardina las que representan el mayor volumen de captura. En los puertos de bahía Magdalena (Figura 13) la composición específica de las descargas de sardina es la siguiente: Sardina Monterrey (*Sardinops caeruleus*) en un 70%, Sardina Crinuda (*Opisthonema libértate*) 20% y Sardina Bocona (*Cetengraulis mysticetus*) 10% (SAGARPA, 2004 b).

Figura 13 Localización de bahía Magdalena



Fuente: Nevárez, 2009

Como recurso pesquero la sardina es una importante fuente de proteína para consumo humano directo, además de ser la principal materia prima para la elaboración de harinas de pescado, las cuales se utilizan en la producción de alimentos balanceados para la ganadería avícola y porcina, también se le da uso como forraje en los ranchos atuneros y como carnada para la pesca comercial, deportiva y artesanal. Aunado a lo anterior, dichas especies tienen un importante papel ecológico, al formar un eslabón importante de la cadena trófica ya que son importantes consumidores de plancton y a su vez sirven de alimento de especies marinas carnívoras así como de aves (Nevárez, 2005).

A pesar que la sardina se captura todo el año, existen periodos donde la abundancia es superior, siendo estos lapsos de *abril a agosto*. El pico máximo de *reproducción se da en invierno* con importantes desoves en enero y febrero (Nevárez, 2009).

2.5.2 Impacto de la pesquería en el ecosistema

No se tiene identificado el efecto de esta pesquería en el ecosistema de la costa occidental de Baja California Sur a nivel físico, químico o de alteraciones biológicas sobre el sustrato, especies depredadoras y su hábitat. Sin embargo, dados los volúmenes de extracción de esta pesquería se podría considerar algún tipo de impacto en el ecosistema y en la cadena trófica a corto o mediano plazo. Debido a esto es importante que no se aumente el esfuerzo de pesca en el área, y si es necesario introducir nuevas embarcaciones, sea únicamente en sustitución de las ya existentes. Otra medida importante para equilibrar el impacto ambiental que se pudiera tener, es el no otorgar permisos de captura en el área a embarcaciones provenientes de otros puertos (CIB, 2007).

2.5.3 Características sociales y económicas

Tradicionalmente las descargas de sardina se destinan para la elaboración de harina de pescado en un 85% y en productos enlatados y congelados en un 15%. Sin embargo, en 2001 el consumo humano directo alcanzó el 25% siendo la sardina Monterrey la especie destinada a este consumo (SAGARPA, 2004 a).

Debido a los fines para los que se requiere este producto es comercializado en playa. Es decir, cada embarcación que llega a puerto con el producto lo vende directamente a las plantas procesadoras, las cuales le darán el valor agregado enlatándolo o convirtiéndolo en harina de pescado (Nevárez, 2005).

Para la elaboración de una tonelada de harina de pescado y de 350 litros de aceite de pescado como subproducto, se requieren 5.5 toneladas de sardina fresca. Sin embargo, una vez procesado el valor del producto se eleva de manera significativa, alcanzando hasta 10 veces su valor en fresco. Este

producto básicamente se comercializa dentro el país. No obstante, en algunas ocasiones se presentan exportaciones mínimas (SAGARPA, 2004 a).

En cuanto a la producción destinada a enlatarse, por cada tonelada de sardina fresca se obtiene 25 cajas de latas de sardina con 48 unidades cada una. Este producto es de consumo nacional y no es hasta hace algunos años cuando se ha empezado a exportar (Nevárez, 2005).

En la fase de captura, procesamiento y comercialización intervienen los armadores e industriales de la pesca agrupados en organizaciones. Así mismo en el proceso de captura participan pescadores libres y en menor escala se encuentran aquellos que integran alguna cooperativa. Para la transportación de los productos algunas empresas cuentan con sus propios medios de transporte, también participan transportistas particulares y agrupados en uniones (Nevárez, 2005).

2.5.4 Normas que regulan la pesquería

El aprovechamiento de la sardina se rige por una norma oficial mexicana NOM-003-PESC-1993, publicada el 31 de diciembre de 2003, la cual indica que la talla mínima de captura para la sardina Monterrey es de 150 mm de longitud, mientras para la sardina Crinuda es de 160 mm de longitud, esta norma es aplicable para todo el Pacífico mexicano y el Golfo de California. Además establece que el esfuerzo pesquero aplicable a la captura de pelágicos menores no podrá ser incrementado en aguas de jurisdicción federal en el océano Pacífico y Golfo de California en el área comprendida al norte del paralelo de 20° N (CIB, 2007).

2.5.5 Perspectivas

El estado actual de la pesquería en la COBCS es favorable, gracias al aumento en la disponibilidad del recurso, se espera que las capturas se mantengan en los niveles de los últimos años, los cuales han superado las 60,000 t por año de 2004 a la fecha. El esfuerzo pesquero actual en los puertos de bahía Magdalena consta de 5 embarcaciones, su capacidad de acarreo varía entre 60 y 120 toneladas por viaje, dicho esfuerzo se ha mantenido desde 1981 hasta la fecha (CIB, 2007).

Los problemas de industrialización en el puerto de Ensenada para el procesamiento de la sardina han permitido que los puertos de San Carlos y Adolfo López Mateos se coloquen en un lugar estratégico para la captura e industrialización del recurso. Es por eso que las perspectivas a futuro de dicha actividad en la costa occidental de Baja California Sur son positivas (Nevárez, 2009)

Capítulo 3. Metodología

En este capítulo se explican los métodos mediante los cuales se obtuvieron los datos satelitales de la superficie del océano para medir la Chla y la TSM, así como la información de captura de sardina, se mencionan los algoritmos que se siguieron para la obtención de dichas variables, así como las técnicas estadísticas empleadas para el análisis de las mismas.

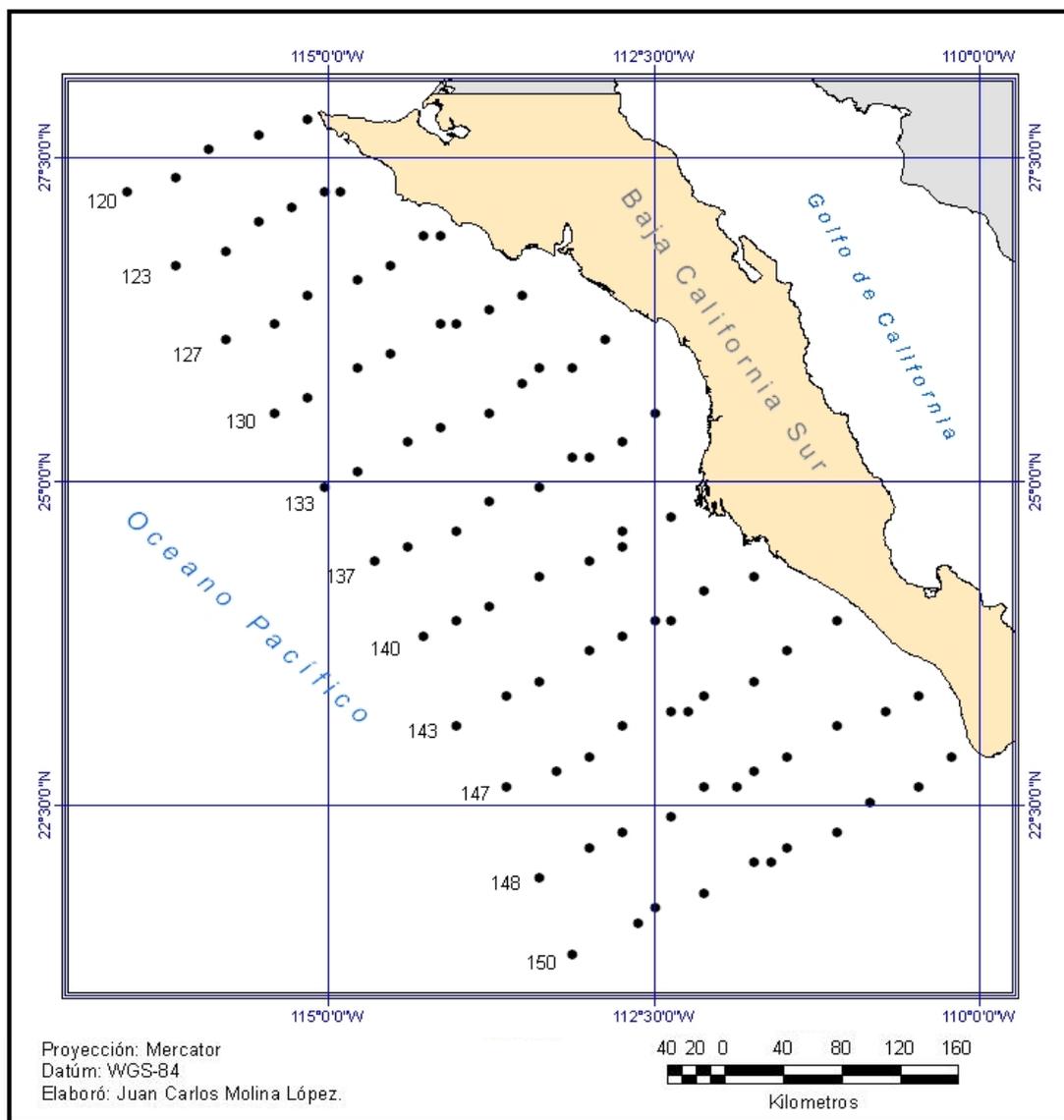
3.1 Estaciones Oceanográficas

La medición de los parámetros oceanográficos se llevó a cabo mediante una serie de estaciones, de las cuales se tomaron los datos de los promedios mensuales de TSM y Chla del periodo que comprende los años 1997-2009, dichas estaciones se organizan en transectos perpendiculares a la costa, formando una retícula la cual cubre en su totalidad el área de estudio. Esta metodología es tomada de IMECOCAL quien tiene establecidas estaciones en la costa occidental de la península de Baja California, las cuales monitorean las condiciones marinas mediante cruceros a bordo de buques oceanográficos, midiendo parámetros oceánicos como temperatura, salinidad, fluorescencia, oxígeno disuelto, etc. (IMECOCAL, 2011).

La cobertura del proyecto IMECOCAL tiene los siguientes límites: al norte con el puerto de Ensenada y al sur entre el paralelo 26° y 24° N, al este con la península de Baja California y al oeste entre los meridianos 115° y 119° W. Esta cobertura de las estaciones no comprende por completo la costa Occidental de Baja California Sur, por lo tanto se procedió a completar las estaciones en la porción sur del estado siguiendo el mismo orden de las estaciones de IMECOCAL.

Los transectos trazados, así como, los marcados por IMECOCAL correspondientes a Baja California Sur tienen una orientación noreste – suroeste, la distancia entre estaciones es aproximadamente de 38 Km, mientras que, entre transectos es alrededor de 71 Km. Estas dimensiones forman 94 estaciones a lo largo de 11 transectos (Imagen 3) los cuales están comprendidos entre los paralelos $21^{\circ}22'37''$ y $21^{\circ}47'25''$ N, y los meridianos $116^{\circ}31'40''$ y $110^{\circ}09'01''$ W.

Imagen 3 Red de estaciones oceanográficas para la COBCS



Fuente: Elaboración propia con base en IMECOCAL

3.2 Imágenes de TSM

La TSM fue medida mediante imágenes satelitales obtenidas por el sensor AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer), el cual se encuentra montado en satélites de la serie NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), que tienen como objetivo realizar observaciones de carácter meteorológico y ambiental. Dichos satélites siguen una órbita helio-sincrónica lo que les permite proporcionar imágenes dos veces en 24hrs.

El sensor AVHRR es un radiómetro de barrido que cuenta con 6 bandas y una resolución espacial de 1.1 km al nadir, obtiene información en el espectro visible, infrarrojo cercano y térmico.

Las bandas que se utilizan para medir la TSM de noche, son 3b, 4 y 5 (Cuadro 2). Las bandas útiles para la medición diurna de la TSM son la 4 y 5 ubicadas en el infrarrojo térmico (Aguirre, 2002).

Cuadro 2 Características principales del sensor AVHRR

Banda	Longitud de onda (μm)	Características
1	0.58 – 0.68	Cobertura diurna de nubes, detección de sedimentos.
2	0.725 – 1.0	Vegetación, cobertura diurna de nubes.
3a	1.58 – 1.64	Detección de capas de hielo.
3b	3.55 – 3.93	Cobertura nubosa nocturna, TSM, incendios.
4	10.30 – 11.30	Cobertura de nubes, TSM.
5	11.50 – 12.50	TSM, corrección por vapor de agua.

Fuente: Chuvieco, 2008

Los algoritmos para el cálculo de la TSM a partir de sensores AVHRR están basados en el método multi-canal infrarrojo, el cual utiliza fórmulas empíricas. Los coeficientes se obtuvieron por medio de regresiones lineales entre

temperaturas medidas simultáneamente *in situ* y la información captada por el sensor.

McClain *et al* en 1985, propusieron algoritmos para calcular la TSM de día y de noche utilizando el método de multi-canal.

Para calcular la TSM en observaciones nocturnas se utilizan las siguientes formulas:

$$TSM_1 = 1.5018T_{3.7} - 0.4930T_{11} - 273.34$$

$$TSM_2 = 3.61139T_{11} - 2.5789T_{12} - 283.34$$

$$TSM_3 = 1.0170T_{11} + 0.9694 (T_{3.7} - T_{12}) - 276.58$$

Donde $T_{3.7}$, T_{11} y T_{12} son las temperaturas de brillo expresadas en grados Kelvin de las bandas 3, 4 y 5 respectivamente, TSM_1 , TSM_2 y TSM_3 son los algoritmos MCSST (Temperatura Superficial del Mar Multi-canal) conocidos como: doble-ventana, ventana dividida y triple ventana, respectivamente, en grados centígrados.

Para calcular al TSM diurna se utiliza la siguiente fórmula:

$$TSM_4 = 1.017432T_{11} + 1.139588 (T_{11} - T_{12}) + -283.21$$

Durante el día el valor $T_{3.7}$, que corresponde a la temperatura de brillo en la banda 3, no se puede usar sin hacer consideraciones importantes sobre la reflexión solar, por lo que el algoritmo de ventana dividida es el único que se puede utilizar (Aguirre, 2001).

Las imágenes AVHRR para medir la TSM de la costa occidental de Baja California Sur fueron obtenidas en el LAGE (Laboratorio de Análisis

Geoespacial) del Instituto de Geografía de la UNAM, fueron procesadas en el programa TeraScan, para obtener los datos de TSM por estación, estos archivos fueron exportados al programa Excel para realizar el análisis estadístico y posteriormente integrarlo en un sistema de información geográfica (ArcGis 9.3) con la finalidad de generar un producto cartográfico.

3.3 Imágenes de Chla

La Chla fue medida a partir de imágenes satelitales obtenidas por el sensor SeaWiFS (Sea-Viewing Wide Field-of-View Sensor) montado en el satélite SeaStar (conocido actualmente como OrbView-2) desarrollado por OCS (Orbital Sciences Corporation).

El proyecto SeaWiFS fue diseñado por la OSSA (Office of Space Science and Applications) de la NASA (National Aeronautic and Space Administration) y el centro GSFC (Goodard Space Flight Center) con el fin de desarrollar un sistema que procesara, calibrara, validara, archivara y distribuyera información recibida por el sensor acerca del color del océano (Miguélez, 2002).

El sensor SeaWiFS se ha convertido en una herramienta importante dentro de la oceanografía satelital, porque permite determinar la abundancia de la biota del océano a una escala global, para evaluar su función en el ciclo global de carbono así como el intercambio de otros elementos y gases entre atmosfera y océano.

El sensor SeaWiFS registra la radiación en 8 bandas del espectro electromagnético, 6 de estas bandas son captadas en el espectro visible mientras 2 en el infrarrojo cercano, todas ellas con intervalos muy estrechos (Cuadro 3). Este sensor permite que se puedan obtener dos combinaciones de

resolución espacial y franja de barrido para cada una de las bandas: el modo alta resolución (con una franja de barrido de 2800 km y un tamaño de pixel de 1.1 km al nadir) y el modo de baja resolución (con una franja de 1500 km y un pixel de 4.5 km al nadir) (Sobrino y Raissouni, 2000).

Para este estudio se tuvo acceso a imágenes de promedios mensuales, las cuales fueron obtenidas en el sitio electrónico del proyecto SeaWiFS, estas imágenes compuestas cuentan con una resolución espacial de 9 km.

Cuadro 3 Características principales del sensor SeaWiFS

Bandas	Longitud de onda (nm)	Fenómeno
1	402 - 422	Absorción de sustancia amarilla
2	433 - 453	Absorción de clorofila <i>a</i>
3	480 - 500	Absorción de pigmentos no clorofílicos
4	500 - 520	Concentración de clorofila <i>a</i>
5	545 - 565	Correlación con fluorescencia
6	660 - 680	Absorción de clorofila <i>a</i>
7	745 - 785	Corrección atmosférica: aerosoles
8	845 - 885	Corrección atmosférica

Fuente: Chuvieco, 2008

Los algoritmos generados con la información de las imágenes SeaWiFS para el cálculo en la concentración de clorofila *a* son los siguientes:

$$Chla = -0.040 + 10^{(0.341 - 3.001x + 2.811x^2 - 2.045x^3)}$$

Donde *Chla* es la concentración de clorofila *a* (mg m⁻³) y *x* expresa el cociente entre las bandas espectrales 3 y 5 del SeaWiFS:

$$X = \log_{10} R_{rs} \frac{490}{R_{rs}} (555)$$

$R_{rs}(\lambda)$ es la reflectancia en la banda λ . A partir de este algoritmo se calcula la concentración total de pigmentos.

Las imágenes SeaWiFS se procesaron en el programa SeaDAS donde se extrajeron los datos de concentración de clorofila-a por cada estación y al igual que los datos de TSM, fueron capturados en hojas de cálculo y exportados a un sistema de información geográfica para su posterior representación cartográfica.

3.4 Captura de sardina

Las estadísticas de captura de sardina en Baja California Sur se obtuvieron de los anuarios estadísticos de pesca publicados por CONAPESCA (Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca). Se extrajeron los datos de volúmenes mensuales de captura de sardina en peso vivo destinada al consumo humano directo e indirecto. Posteriormente se graficaron los resultados para visualizar el comportamiento temporal de los volúmenes de captura del periodo 1997-2009. Con estos datos se realizó una *correlación lineal* para establecer cuál es la relación entre las variables oceanográficas y la captura de sardina a lo largo del periodo estudiado.

3.5 Análisis de la relación entre las variables

3.5.1 Correlación lineal

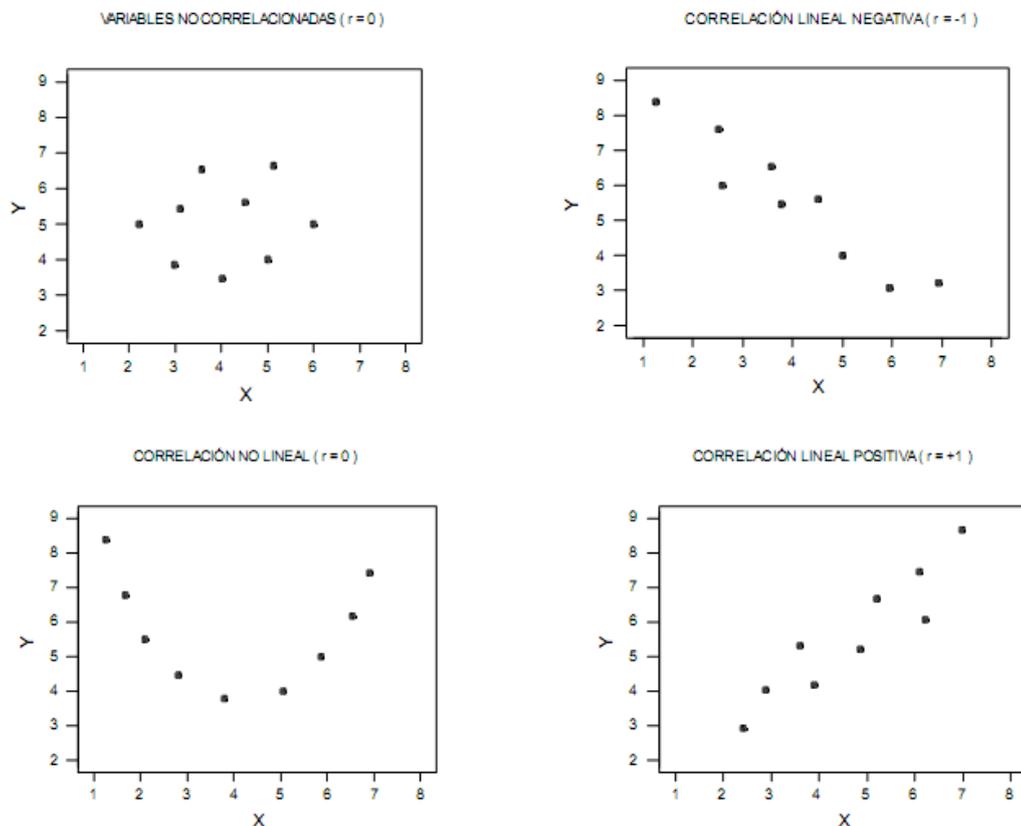
La correlación lineal es un método estadístico utilizado para determinar el grado de relación entre dos variables cualitativas, donde los datos muestrales son apareados y se representan en un diagrama de dispersión, donde la distribución y orientación de los puntos indica la correlación que guardan las variables. Para obtener una medida de la relación que guardan las variables, es necesario calcular el índice de correlación de Pearson, el cual se expresa en la siguiente fórmula:

$$r = \frac{\frac{\sum xy}{n} - \bar{x} \bar{y}}{s_x s_y}$$

Donde r es el coeficiente de correlación de Pearson, x, y se refieren a los valores de las dos variables, \bar{x}, \bar{y} es la media aritmética de las variables y s_x, s_y son las desviaciones estándar de muestra de las dos variables.

El índice de correlación de Pearson incluye valores que van de 1 a -1. Los valores positivos indican una correlación lineal directa, mientras los valores negativos indican una correlación lineal inversa (Figura 14). Cuando los valores son cercanos a 1, ya sean positivos o negativos se habla de una correlación lineal alta, es decir las variables están muy relacionadas, mientras los valores se acercan a 0, la correlación será más débil, siendo este último valor un indicador de correlación nula (Ebdon, 1982).

Figura 14 Tipos de correlación con relación a r



Fuente: Ebdon, 1982

La covarianza cruzada $\gamma_{xy}(k)$ dividida por el producto de las desviaciones típicas de ambos procesos nos permiten obtener la FCC según la siguiente relación:

$$\rho_{YX}(k) = \frac{\gamma_{xy}(k)}{s_x \cdot s_y}$$

Por lo tanto la FCC $+k$ puede obtenerse a partir de la siguiente ecuación:

$$FCC(+k) = \frac{\sum_{t=1}^{n-k} (X_t - \bar{X})(Y_{t+k} - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{t=1}^n (X_t - \bar{X})^2} \sqrt{\sum_{t=1}^n (Y_t - \bar{Y})^2}}$$

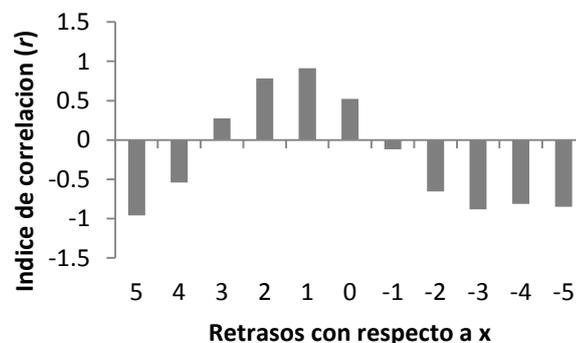
Mientras tanto la FCC $-k$ se obtiene mediante la ecuación:

$$FCC(-k) = \frac{\sum_{t=1}^{n+k} (X_{t-k} - \bar{X})(Y_t - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{t=1}^n (X_t - \bar{X})^2} \sqrt{\sum_{t=1}^n (Y_t - \bar{Y})^2}}$$

(Arnau, 2001)

Es importante analizar la FCC tanto para los valores negativos de k como los positivos, esto para determinar la dirección de la relación entre las variables. En los valores negativos de k , la FCC describe la influencia lineal sobre los valores pasados de y_t sobre x_t . Y a su vez, para valores positivos de k , la FCC describe la influencia lineal sobre los valores pasados de x_t sobre y_t . Para visualizar dichas relaciones se obtiene un gráfico de la FCC contra k , llamado correlograma cruzado (Figura 16), (Castaño & Martínez, 2008).

Figura 16 Correlograma



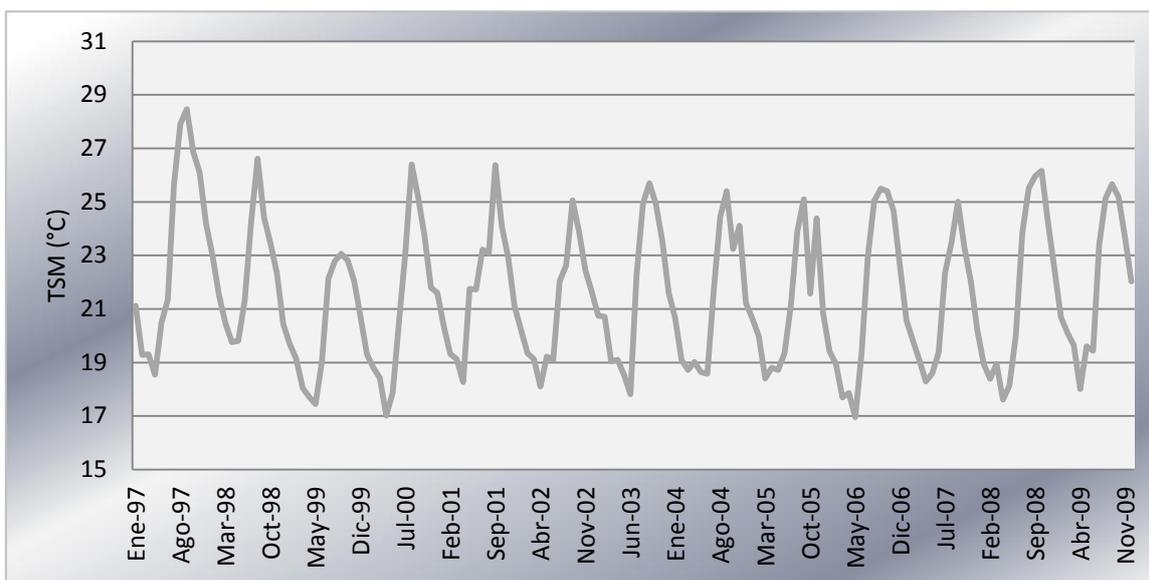
Fuente: Elaboración propia

Capítulo 4. Análisis de la distribución espacio-temporal de la TSM, Chla y la captura de sardina

4.1 Distribución espacio-temporal de la TSM

La TSM para la COBCS (Costa Occidental de Baja California Sur) se encuentra bien marcada por un componente estacional, las temperaturas mínimas para el periodo de estudio se observan entre los meses de *abril* y *mayo*, las cuales oscilan entre 17°C y 19°C, la menor temperatura registrada en el periodo corresponde a mayo de 2006, con 16.9°C. Las máximas temperaturas se pueden observar durante el mes de *septiembre* oscilando entre 25°C y 27°C con un caso excepcional para septiembre de 1997 donde la temperatura alcanzo 28.46°C (Gráfica 1).

Gráfica 1 Promedio mensual de la TSM, COBCS, 1997-2009

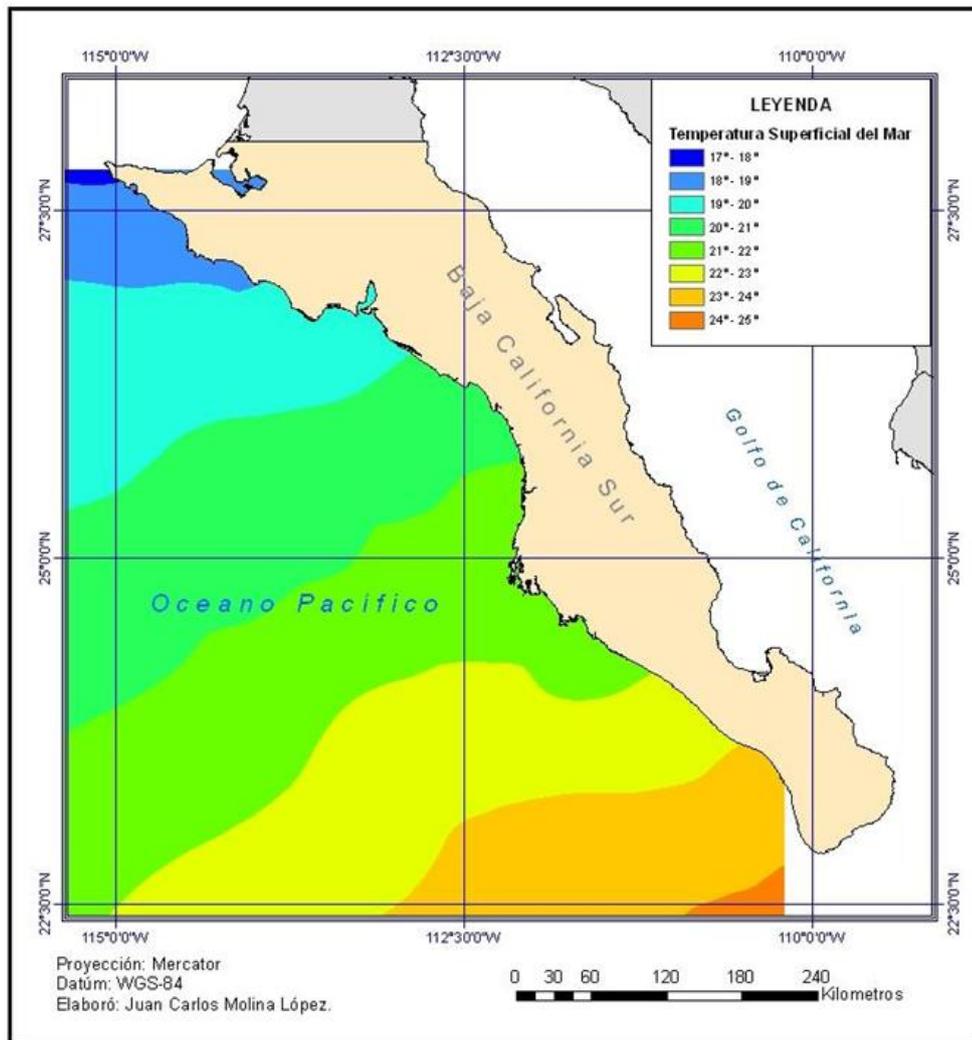


Fuente: Elaboración propia con base en datos AVHRR

En el mapa donde se presenta el promedio climatológico 1997-2009, se observa que la TSM presenta un gradiente latitudinal (Imagen 4), es decir, la TSM disminuye conforme aumenta la latitud. El área al sureste de bahía Magdalena se excluye de dicho comportamiento, debido a que la isoterma de

22°C se desplaza hacia el sur, rompiendo con el gradiente marcado por la latitud. Esta desviación térmica se encuentra asociada a la zona de surgencias costeras ubicada frente a bahía Magdalena.

Imagen 4 Promedio climatológico de la TSM en la COBCS, 1997-2009



Fuente: Elaboración propia con base en datos AVHRR

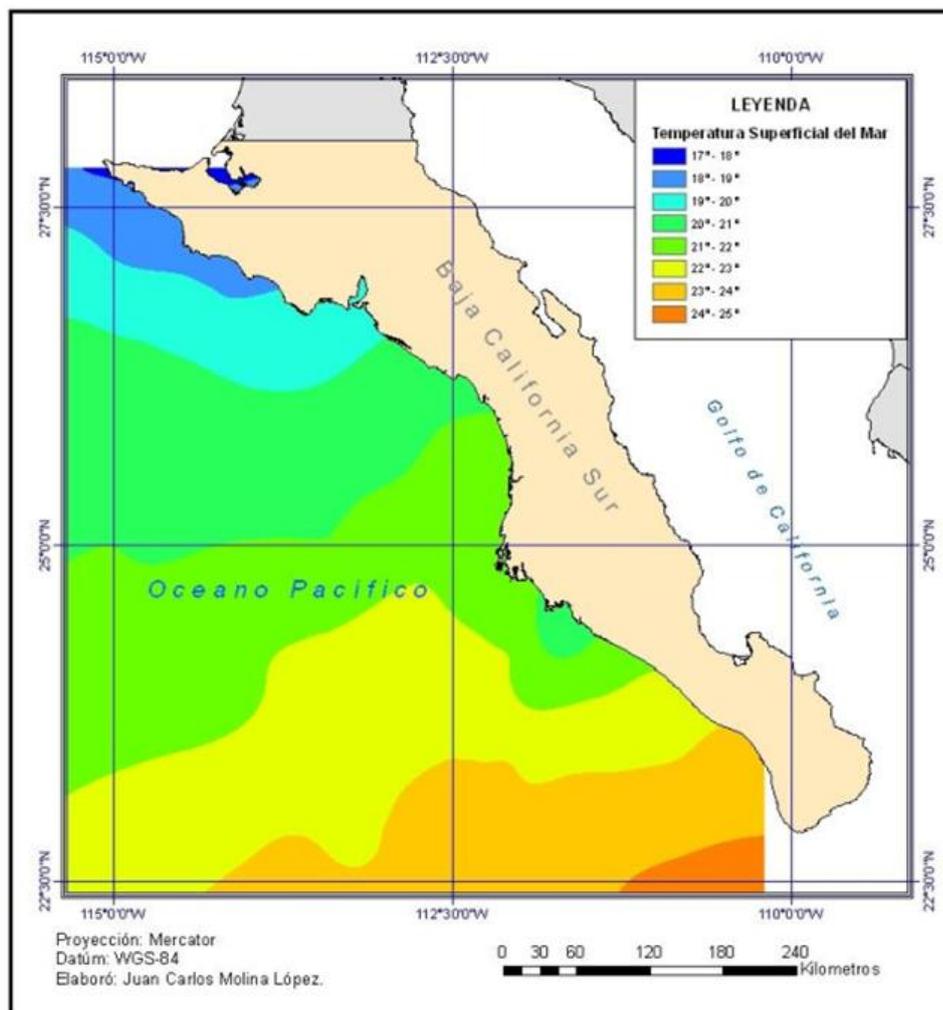
4.1.1 Distribución estacional de la TSM

La TSM en verano muestra un comportamiento dinámico (Imagen 5), debido a la interacción que presenta la corriente de California con la corriente Norecuatorial, la TSM oscila entre 17°C y 25°C. Para el norte de COBCS las isothermas de 18°C y 19°C forman una orientación paralela a la costa,

permitiendo que la isoterma de 20°C penetre hacia el norte. Mientras tanto el área central de la COBCS mantiene un amplio margen espacial entre los 21°C y 22°C, en esta área se identifica una zona costera aislada de menor temperatura ubicada al sureste de bahía Magdalena (Imagen 5). Para el sur de la COBCS la distancia entre isotermas se vuelve más estrecha, notándose el desplazamiento de aguas cálidas hacia el norte con una oscilación entre 22°C y 25°C.

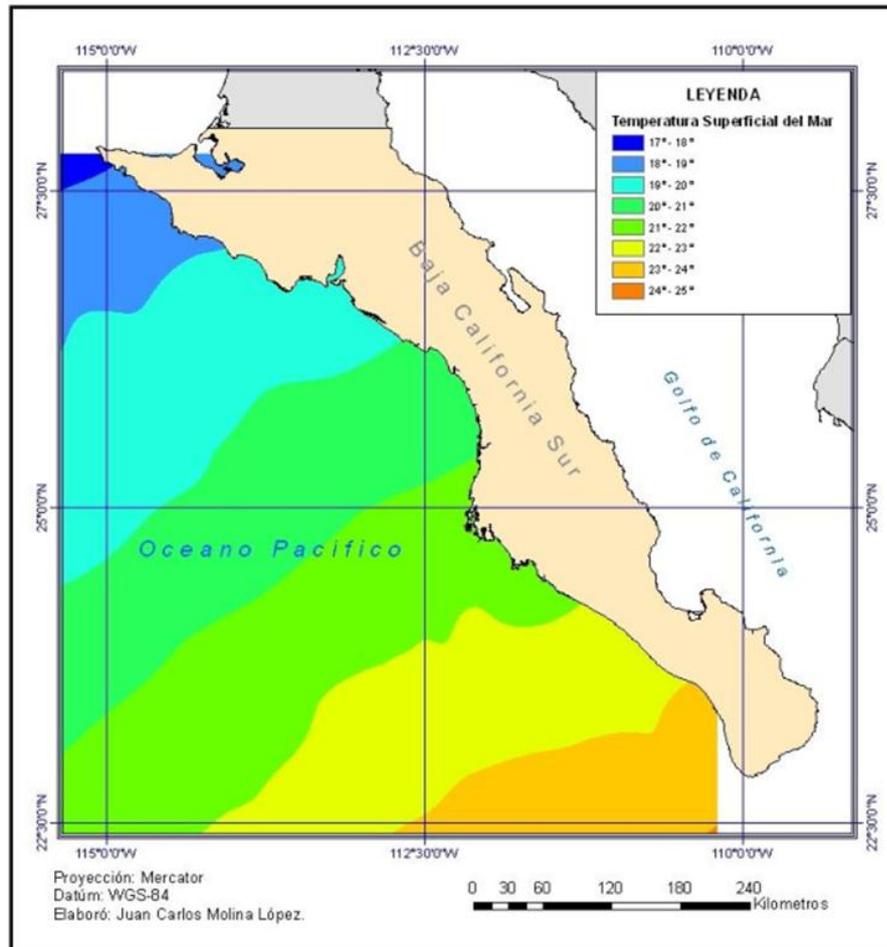
La TSM en invierno presenta un gradiente térmico latitudinal bien definido, (Imagen 6), las isotermas se distribuyen de forma perpendicular a la línea de costa indicando una interacción débil con la corriente Norecuatorial.

Imagen 5 Promedios climatológicos de la TSM durante verano en la COBCS, 1997-2009



Fuente: Elaboración propia con base en datos AVHRR

Imagen 6 Promedios climatológicos de la TSM durante invierno en la COBCS, 1997-2009



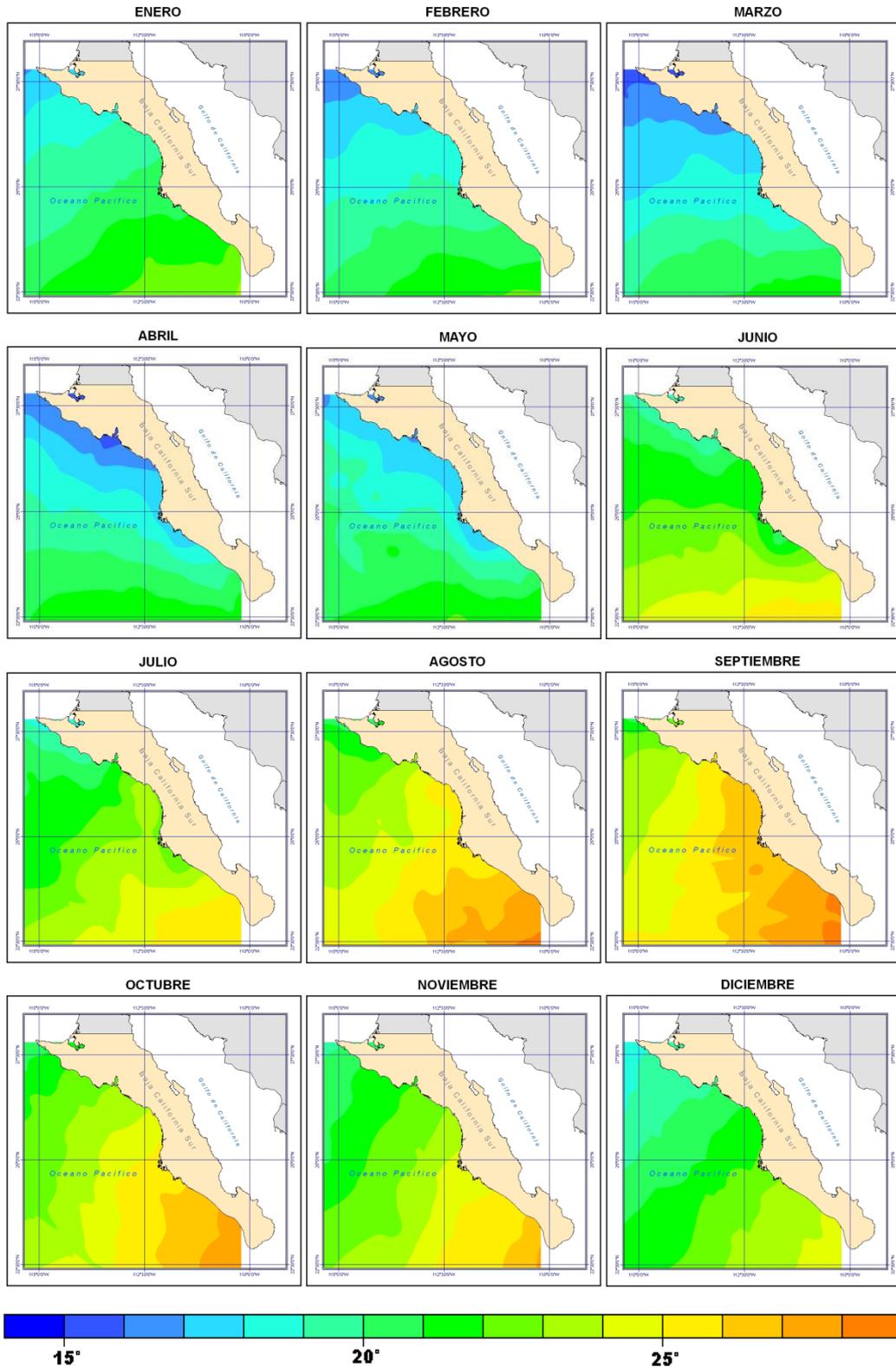
Fuente: Elaboración propia con base en datos AVHRR

4.1.2 Distribución mensual de la TSM

En el análisis mensual del comportamiento de la TSM se identifican elementos explicados en la dinámica estacional, como lo es la estabilidad de la TSM durante los meses últimos meses de otoño y prácticamente todo el invierno, este periodo se encuentra acotado entre los meses de octubre a marzo, en este lapso solamente ocurre el desplazamiento latitudinal de las isoterma, las cuales muestran una orientación perpendicular a la costa. Es hasta abril donde se observa una mayor dinámica en la TSM y prueba de esto es la orientación paralela a la costa que presentan las isoterma, a partir de 21°C, la cual se desplaza hasta el extremo sur de la COBCS. La distancia entre isoterma se

vuelve estrecha hasta los 18°C, la cual rodea bahía Magdalena y continúa de forma paralela a la costa, seguida hacia el norte de 17°C. Durante mayo se pueden observar diferencias con respecto al mes anterior, se identifica la ausencia de la isoterma de 17°C y una larga distribución paralela a la costa de la isoterma de 18°C, la cual se extiende desde el sureste de bahía Magdalena hasta punta Eugenia. Para el mes de junio se identifica un desplazamiento de las isotermas relativamente cálidas hacia el norte, la TSM fluctúa entre 19°C y 26°C, sin embargo al sureste de bahía Magdalena se presenta un área aislada que registra temperaturas inferiores a 21°C, a partir de esta área hacia el sur se muestra una pendiente térmica moderada ya que aumenta la temperatura hasta 26°C en el extremo sur del área de estudio, dentro los siguientes meses se observa un calentamiento gradual, hasta llegar a septiembre donde la TSM fluctúa entre 21°C y 29°C siendo éste el mes más cálido del año (Imagen 7).

Imagen 7 Promedios climatológicos mensuales de la TSM para la COBCS, 1997-2009



Fuente: Elaboración propia con base en datos AVHRR

4.1.3 Anomalías anuales en la TSM

Mediante el análisis de las anomalías anuales en la TSM para el periodo 1997-2009 se observa la intensidad de la variabilidad en la COBCS tanto negativa como positiva para cada año estudiado.

De manera general se identifica una variabilidad de las anomalías en la TSM entre 1°C y -1°C para la mayor parte de los años analizados. No obstante, se aprecian años en los que las anomalías en la TSM superan 1°C, tanto de manera negativa como positiva, lo cual es indicador de la presencia del fenómeno océano-atmosférico conocido como El Niño-Oscilación del Sur (ENOS).

El ENOS se refiere a un ciclo climático que se genera en el océano Pacífico ecuatorial y que se encuentra expresado en dos fases; una cálida (El Niño), la cual se identifica con anomalías positivas en la TSM, así como una fría (La Niña) donde se presentan anomalías negativas en la TSM (NOAA, 2011).

Mientras El Niño y La Niña se señalan como las condiciones anómalas en la temperatura del océano, La Oscilación del Sur se refiere al componente atmosférico del fenómeno, el cual corresponde a la oscilación barométrica por debajo del promedio entre los extremos este y oeste del océano Pacífico (*Ibid*).

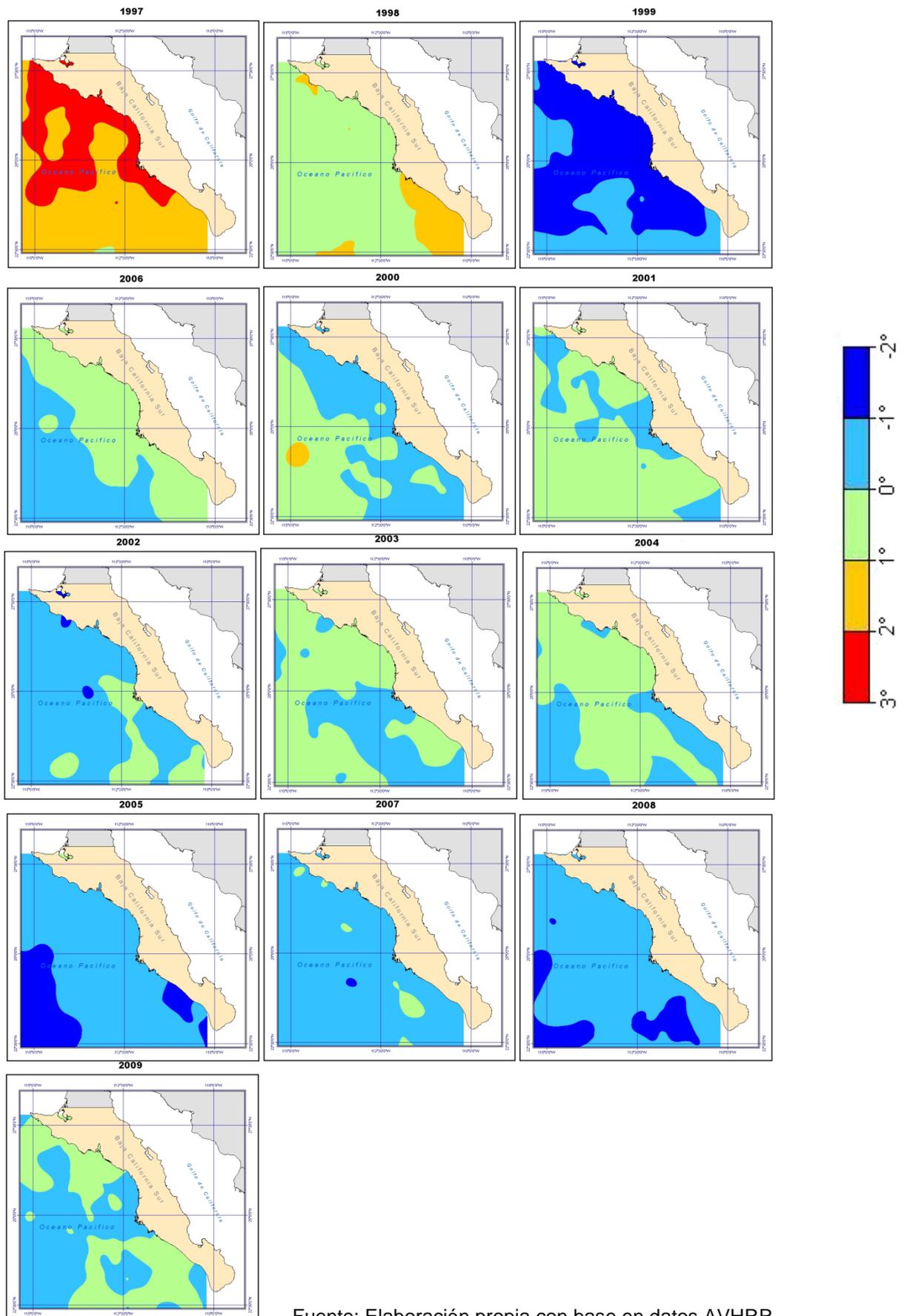
En concreto, para el área y periodo de estudio se identifican anomalías superiores a 1°C las cuales se encuentran asociadas a eventos del El Niño, mientras las anomalías inferiores a -1°C se asocian a eventos de La Niña.

Para 1997, se identifica una fuerte influencia de El Niño sobre las aguas de la COBCS con anomalías que superan los 2°C en el norte de la costa y 1°C al sur, en 1998 disminuye la intensidad de las anomalías positivas, no siendo superiores a 1°C, mientras una porción costera al sur de bahía Magdalena

registra anomalías hasta de 2°C. Para 1999 se identifican condiciones térmicas de La Niña en la COBCS, gran proporción de la costa presenta anomalías que van de -1° a -2°C, la presencia de estas se extiende hasta el año 2000; donde, aunque menos intensas, se identifican a lo largo de la costa. Sin embargo también se identifican diferencias térmicas positivas que no superan 1°C en áreas alejadas de la costa. Durante los años 2001, 2002, 2003 y 2004 las anomalías en la COBCS oscilan entre 1° y -1°C lo que indica la ausencia de condiciones de ENOS intensas. En 2005 se presentan condiciones ligeramente frías con anomalías negativas que no superan -1°C, mientras en 2006 las condiciones son ligeramente cálidas con anomalías positivas inferiores a 1°C. Los años 2007 y 2008 registran condiciones ligeramente frías con anomalías negativas durante ambos años las cuales no superaran -1°C. En 2009 se identifican anomalías tanto negativas como positivas que oscilan entre 1°C y -1°C (Imagen 8).

De manera general con el análisis de las anomalías se identificaron los años en los cuales el ENOS actuó de manera significativa en la condiciones térmicas de la COBCS, siendo estos los años 1997-1998 presentando condiciones cálidas referentes a un periodo intenso de El Niño, así como los años 1999 y 2000 con condiciones frías las cuales indican un periodo intenso de La Niña.

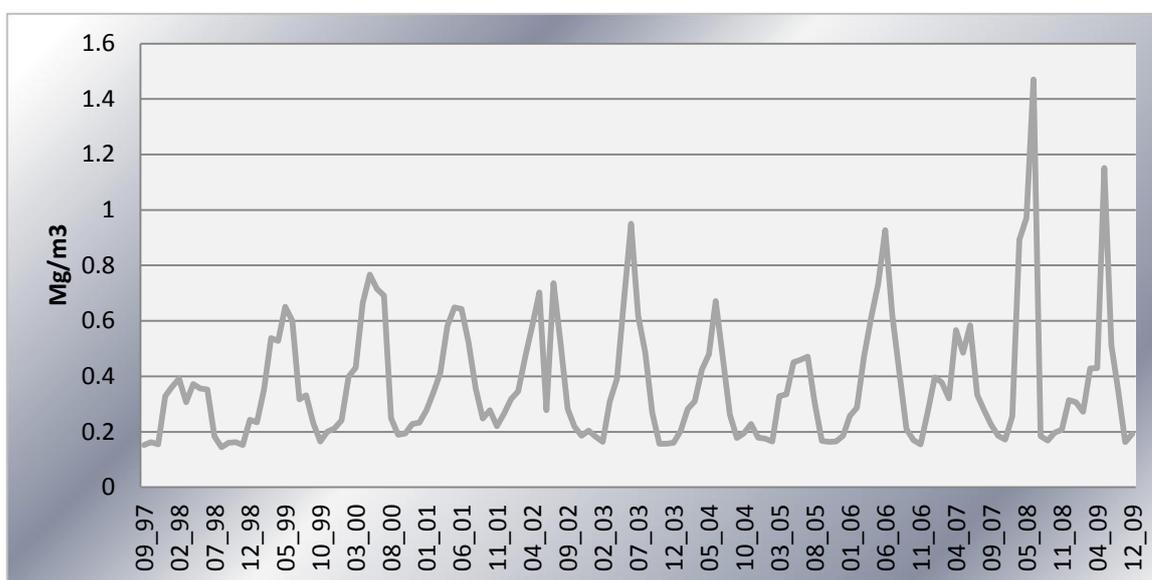
Imagen 8 Promedio de anomalías anuales en la TSM para la COBCS



4.2 Distribución espacio-temporal de la Chla

Al igual que la TSM la variabilidad de la Chla se encuentra marcada por un componentes estacionales; sin embargo, en esta variable se observa mayor variabilidad en tiempo a escala anual, las menores concentraciones de clorofila se presentan en el periodo 97-98 donde los niveles no superan los 0.4 mg/m^3 , a partir de este periodo se muestra un incremento gradual hasta el año 2000 (Gráfica 2).

Gráfica 2 Promedios mensuales de la Chla, COBCS, 1997-2009



Fuente: Elaboración propia con base en datos SeaWIFS

4.2.1 Distribución estacional de la Chla

La estacionalidad de la Chla está marcada por dos temporadas, de marzo a agosto (verano) se presentan los mayores niveles de Chla, mientras de septiembre a febrero (invierno) la concentración es mínima.

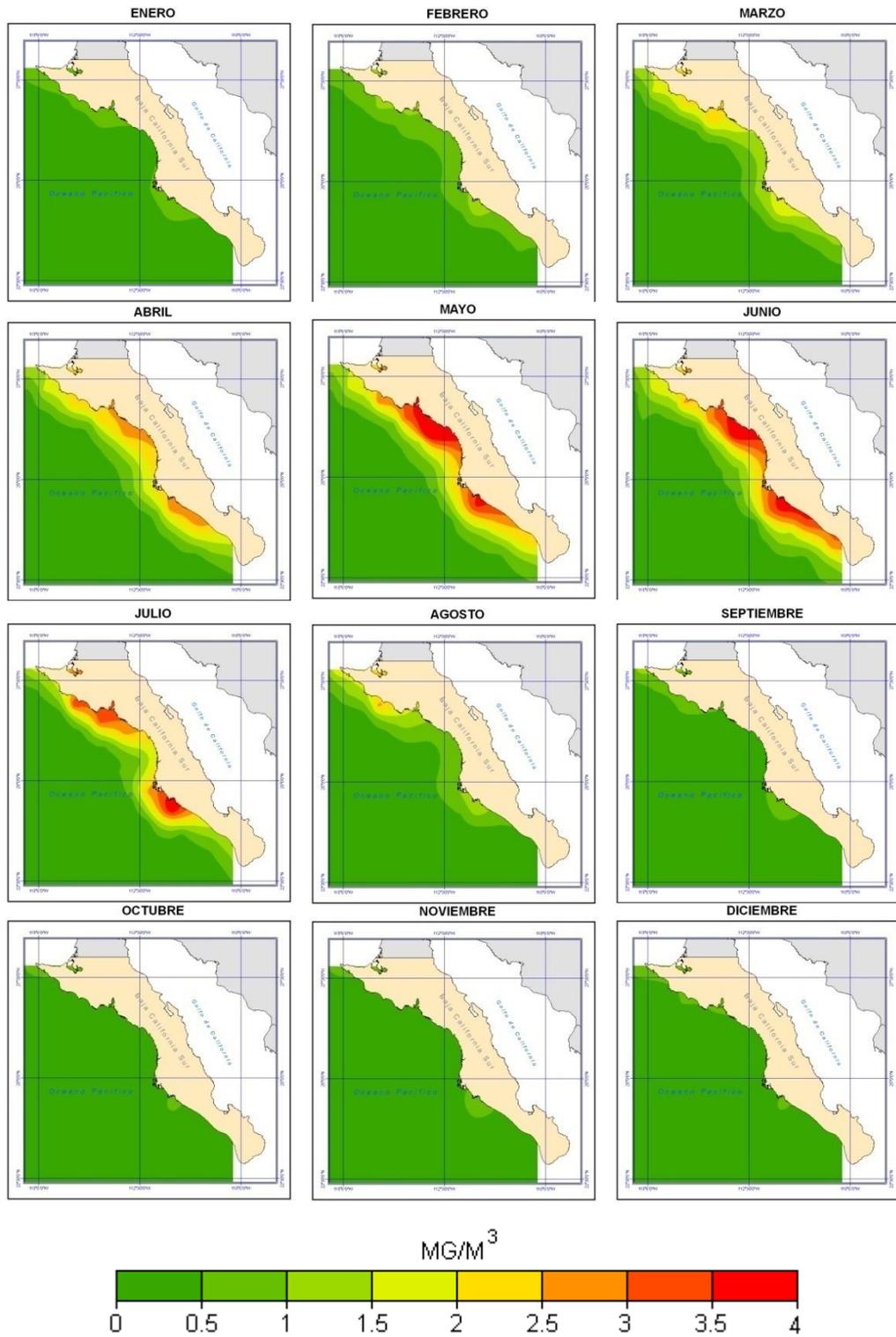
A partir del verano de 1999 se observa un incremento que oscila entre 0.6 y 0.8 mg/m^3 , siendo en general los meses de mayo y junio los que presentan los mayores niveles de concentración. Dicho incremento llega a su límite máximo en junio de 2003 donde los niveles sobrepasan los 0.9 mg/m^3 . Los años

posteriores muestran un decremento que se prolonga hasta 2005 donde los niveles apenas alcanzan los 0.4 mg/m^3 . Para junio de 2006 se observa un repunte que supera los 0.9 mg/m^3 mientras 2007 apenas alcanza 0.6 mg/m^3 . 2008 y 2009 representan los años con los máximos niveles con 1.5 y 1.2 mg/m^3 respectivamente (Gráfica 2).

4.2.2 Distribución mensual de la Chla

La variabilidad en la Chla para el periodo estudiado se comporta de la siguiente forma: durante marzo y abril la concentración aumenta gradualmente hasta llegar a su máximo en los meses de mayo y junio, para julio se aprecian niveles importantes, sobre todo para el área de bahía Magdalena. Para agosto los niveles disminuyen abruptamente, quedando solo algunas áreas que presentan una concentración importante al norte de la COBCS. En el periodo que corresponde de septiembre a febrero se observan niveles de concentración bajos, las costas frente a bahía Magdalena y punta Eugenia representan las únicas áreas durante el periodo donde se presentan niveles de concentración superiores a los 0.5 mg/m^3 , en febrero, se empieza a percibir un incremento en la Chla, con áreas costeras aisladas que presentan niveles superiores a 1 mg/m^3 . Dichas áreas corresponden a bahía Magdalena y el norte de la COBCS (Imagen 9)

Imagen 9 Promedios climatológicos mensuales en la Chla para la COBCS, 1997-2009



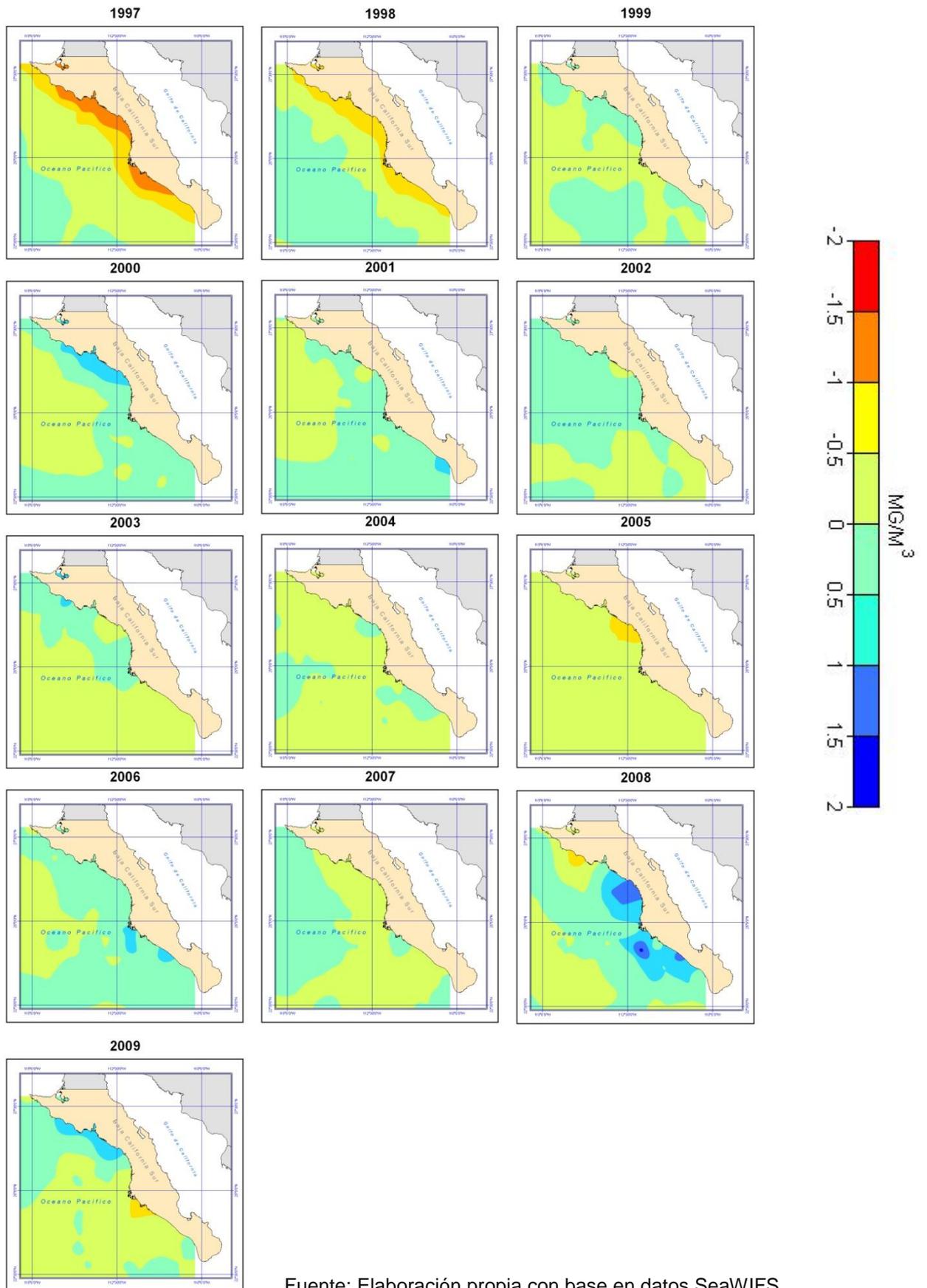
Fuente: Elaboración propia con base en datos SeaWIFS

4.2.3 Anomalías anuales en la Chla

Las anomalías a lo largo del periodo muestran variaciones considerables, en 1997 se presentan las anomalías negativas más intensas de todo el periodo, las que se extienden prácticamente sobre toda el área analizada, siendo más intensas sobre la línea costera, estas anomalías presentan valores hasta -2 mg/m^3 . Para 1998 se observa un decremento en las anomalías negativas, y se identifica la presencia de anomalías positivas, sin embargo, el área costera en su totalidad presenta aun anomalías negativas en rangos de -1 a -1.5 mg/m^3 . A partir de 1999 se registra un dominio de anomalías positivas a lo largo de la costa; no obstante, los niveles son bajos, dentro del rango de 0 a 0.5 mg/m^3 . Para 2000 y 2001 dominan las anomalías positivas y existen áreas aisladas que presentan hasta 1 mg/m^3 , en 2000 se observan al norte de la costa, mientras en 2001, aunque de menor extensión, se identifican en el extremo sur. A partir de 2002 se percibe un incremento en la intensidad negativa de las anomalías al sur de la costa, dicha tendencia se intensifica en 2003 y 2004 llegando a su punto máximo en 2005 donde el área de estudio en su totalidad es cubierta por anomalías negativas, las que oscilan entre 0 y -0.5 mg/m^3 con un área aislada al norte, que presenta anomalías entre -0.5 y -1 mg/m^3 . Para 2006 se observan anomalías positivas en los rangos de 0.5 y 1 mg/m^3 frente a bahía Magdalena y en una área al sur de esta. En 2007 se muestra nuevamente un predominio de anomalías negativas, quedando solo bahía Magdalena y el extremo sur de la costa con anomalías positivas en el rango de 0 a 0.5 mg/m^3 . 2008 es el año donde se observan las mayores anomalías positivas del periodo, las cuales se distribuyen a lo largo de la costa centro y sur con niveles de 0.5 a 2 mg/m^3 . Sin embargo, al norte se pueden apreciar algunas anomalías negativas. Para 2009

las anomalías positivas disminuyen, además invierten su presencia con respecto a lo que aconteció en 2008 ya que durante este año, estas anomalías se presentan al norte de la costa, mientras las negativas se posicionan frente a bahía Magdalena (Imagen 10).

Imagen 10 Promedios de anomalías anuales en la Chla para la COBCS

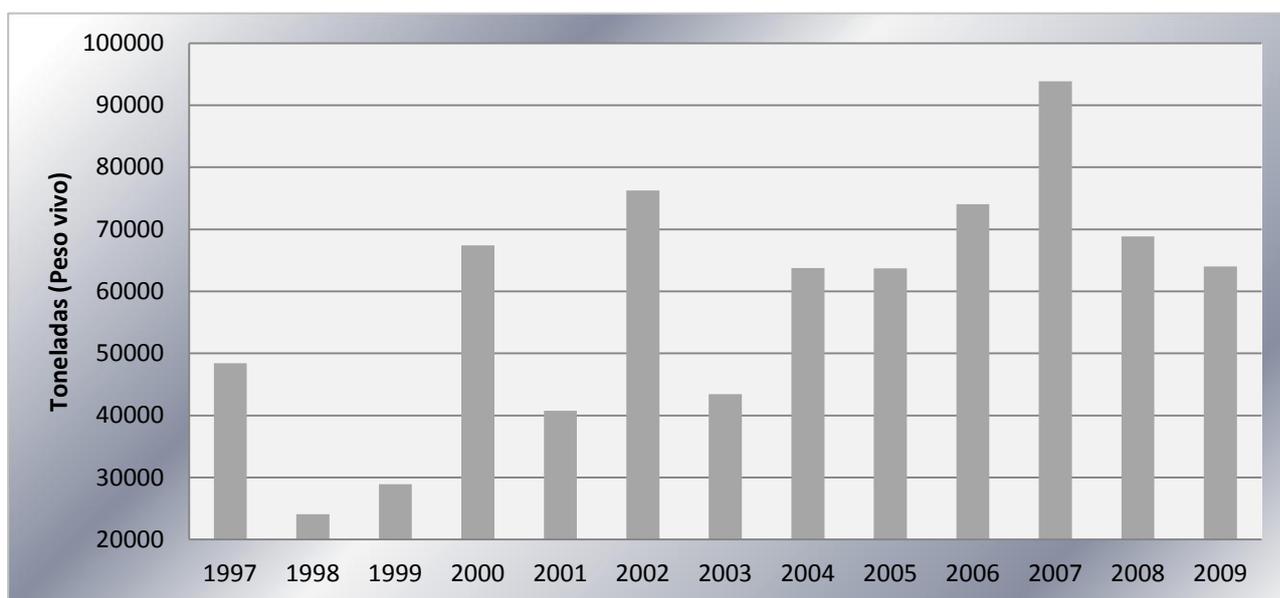


Fuente: Elaboración propia con base en datos SeaWiFS

4.3 Variabilidad anual en la producción de sardina en peso vivo

La captura de sardina muestra una variabilidad marcada durante el periodo analizado, en 1997 se capturaron alrededor de 50,000 t, mientras en 1998 se presentaron los menores volúmenes de captura del periodo con 21,000 t. Para 1999 se observa una recuperación mínima de la captura de sardina, es hasta el 2000 cuando se aprecia una recuperación significativa por arriba de las 60,000 t. Para el 2001 nuevamente se observa una caída en la producción con 40,000 t, mientras en 2002 se presenta un aumento en la producción la cual sobrepasa las 70,000 t. Durante 2003 nuevamente la captura muestra una baja producción con 43,000 t. A partir de 2004 se observa un incremento gradual hasta 2007 donde se presentan las mayores capturas del periodo con 94,000 toneladas. Para 2008 y 2009 se identifica una disminución gradual en las capturas llegando a las 64,000 toneladas en 2009 (Gráfica 3).

Gráfica 3 Volúmenes anuales de captura de sardina, COBCS, 1997 - 2009



Fuente: Elaboración propia con base en datos de CONAPESCA

4.3.1 Variabilidad mensual de la producción de sardina en peso vivo

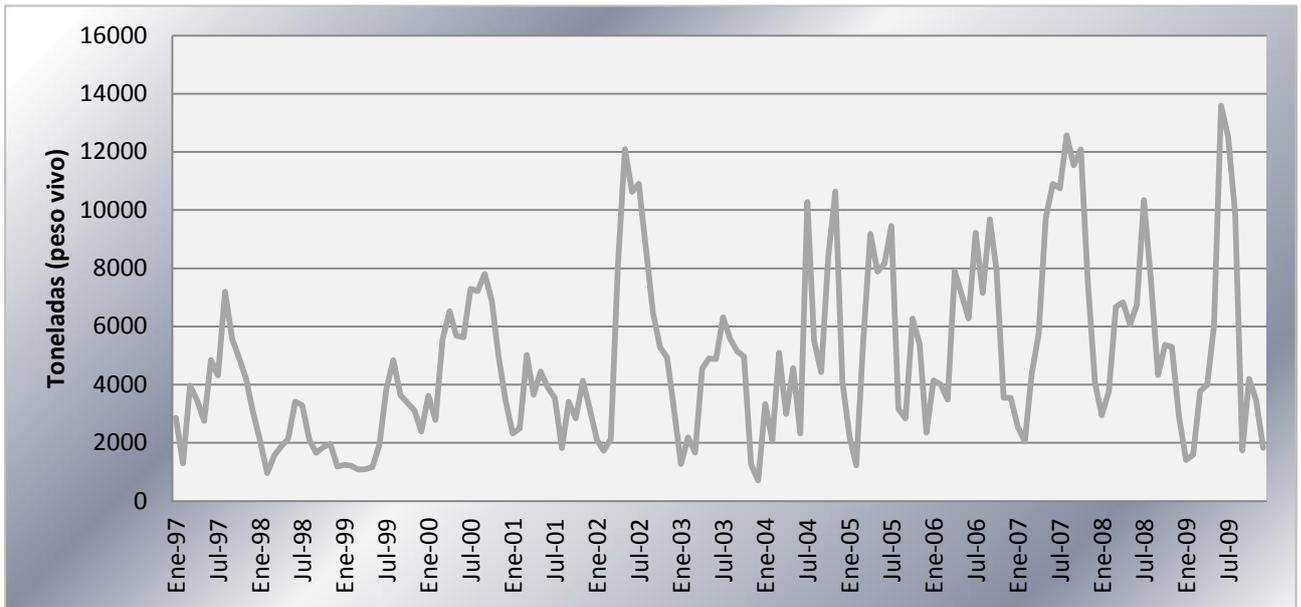
Al igual que la TSM y la Chla, la captura de sardina se rige por componentes estacionales, lo cual se encuentra asociado básicamente a la disponibilidad del recurso, y de una manera más compleja, a los fenómenos físicos que sustentan su disponibilidad.

En el caso de la captura de sardina no se identifica un patrón bien definido de los meses que presentan los mayores volúmenes de pesca durante el año, sin embargo; diciembre, enero y febrero, se caracterizan por no presentar capturas significativas en todo el periodo, lo contrario sucede con el lapso entre marzo y noviembre, el cual presenta una gran variabilidad de volúmenes de captura para cada año analizado.

En 1997 (Gráfica 4) la captura se presenta de junio a noviembre con volúmenes superiores a 4,000 t mensuales, agosto y septiembre registran los mayores volúmenes de captura con 7,000 y 5,500 t respectivamente, durante 1998 no se registran volúmenes de captura mayores a 3,500 t mensuales, junio y julio son los meses más productivos con 3,300 y 3,400 t. Durante 1999 los meses de mayor producción son julio, agosto y septiembre con 3,800, 4800 y 3,600 t. Durante el 2000 se presentan capturas constantes superiores a 5,000 t en un periodo de 8 meses que va de marzo a octubre, siendo julio agosto y septiembre los meses más productivos con volúmenes mensuales superiores a 7,000 t. En 2001 se identifican volúmenes de captura mensuales superiores a 3,500 t de marzo a julio, destacando a marzo como el más productivo con 5,000 t. Durante 2002 se presenta un importante periodo de capturas donde los volúmenes mensuales superan 8,000 t entre abril y agosto, donde destaca mayo con 12,000 t. Para 2003 se identifica un periodo de capturas mensuales

superiores a las 5,500 t entre abril y octubre, siendo julio el mes con mayor producción con 6,000 t. Durante 2004 se registra más de una temporada de volúmenes importantes de pesca, la primera se presenta durante marzo y mayo con volúmenes superiores a 4,500 t, abril solo registra 3,000 t, la segunda temporada de pesca se identifica en el periodo de julio a noviembre con volúmenes mensuales de captura superiores a 10,000 t durante julio y noviembre, octubre registra 8,000 t. La alta producción de 2005 se presenta durante abril a julio con volúmenes de pesca mensuales que sobrepasan las 8,000 t. Durante 2006 la temporada de pesca se extiende de abril a octubre capturando volúmenes mensuales superiores a 7,000 t, con excepción de junio que registra 6,000 t. Para 2007 se registró la producción más elevada del periodo, las capturas mensuales sobrepasan 10,000 t en el lapso de junio a octubre, agosto registra la mayor producción con 12,500 t. En 2008 se identifica una producción que supera las 6,000 t de volumen de captura mensual en un periodo que va de marzo a agosto, donde julio presenta la mayor producción del año con volúmenes que superan las 10,000 t. Por ultimo 2009 registra sus mayores volúmenes de producción durante los meses de junio, julio y agosto con 13,500, 12,500 y 9,800 t respectivamente (Gráfica 4).

Gráfica 4 Volúmenes mensuales de captura de sardina, COBCS, 1997-2009



Fuente: Elaboración propia con base en datos de CONAPESCA

Capítulo 5. Influencia de la variabilidad espacio-temporal de la TSM y la Chla, en la producción de sardina

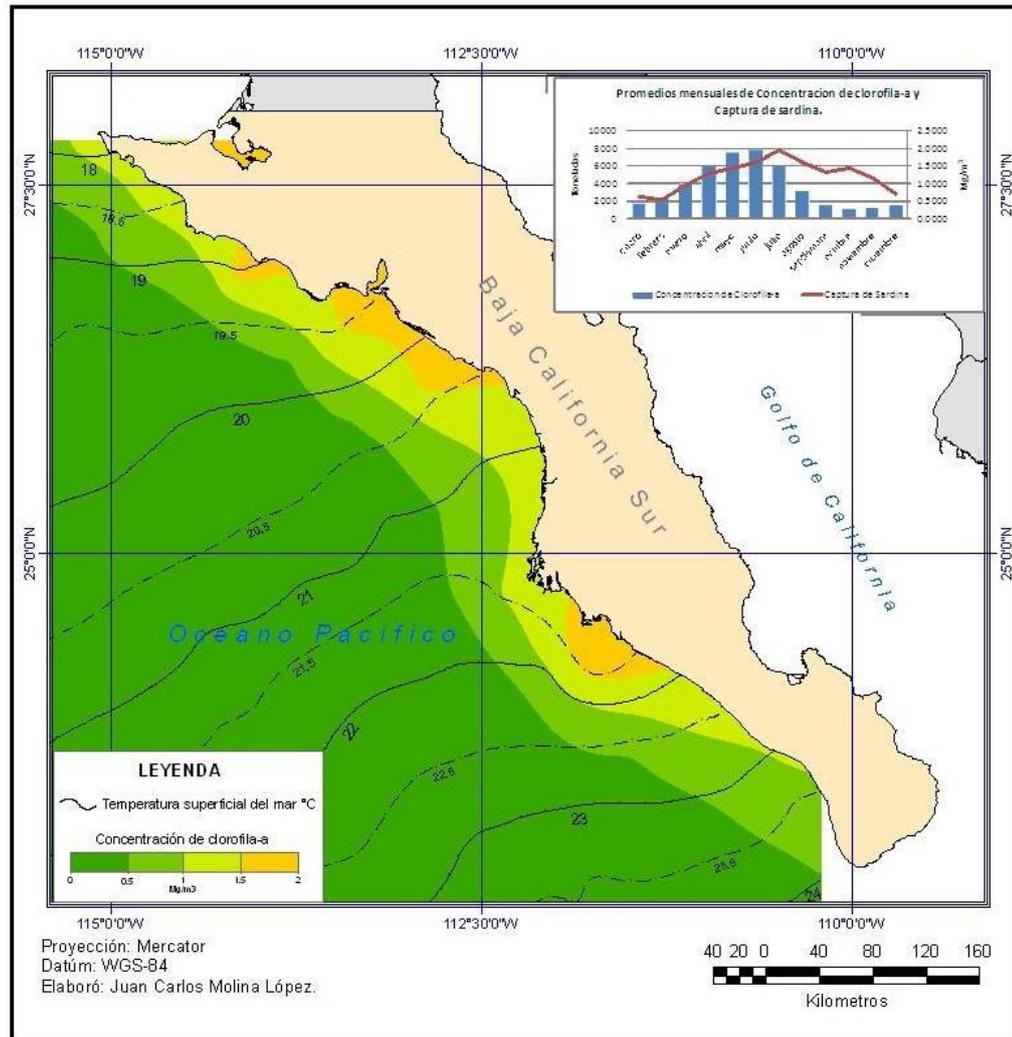
El análisis de la distribución espacial de la TSM y la Chla en el periodo estudiado permite observar cuáles son las áreas que reúnen las características ambientales para el desarrollo de la pesquería de sardina en la COBCS. Mientras el análisis del comportamiento temporal tanto de las variables ambientales (TSM – Chla) como la captura de sardina, son de utilidad para comprender la estacionalidad de las variables y así entender si estas guardan alguna correlación.

5.1 Distribución de la TSM y la Chla y volúmenes mensuales de captura de sardina

En los promedios de TSM para el periodo 1997-2009 se definen claramente las isotermas que se encuentran asociadas con las altas concentraciones de Chla y las que a su vez sustentan la disponibilidad del recurso sardina en COBCS. La isoterma de 22°C indica un desplazamiento hacia el sur de aguas relativamente frías, lo cual se encuentra fuertemente asociado a surgencias costeras, específicamente frente a bahía Magdalena (Imagen 11). En el golfo de Ulloa se identifica otra área con importante Chla, donde sus niveles sobrepasan los 1.5 mg/m³, mientras los promedios en la TSM oscilan entre 19° y 20°C (Imagen 10), valores aptos para la reproducción de pelágicos menores. Es así como se presentan dos áreas con condiciones apropiadas para sustentar la pesquería de sardina en la COBCS. No obstante, la intensidad de los volúmenes de pesca no es constante durante el año, debido a las variaciones estacionales que sufre el océano generadas por el sistema climático global. La temporalidad a la que está regida la pesquería de sardina, tiene que ver básicamente con el comportamiento estacional, de las variables

oceánicas; como TSM y Chla, que a su vez dependen, directa e indirectamente, de la intensidad de los vientos dominantes, ya que estos determinan la intensidad y temporalidad de el flujo de la corriente de California así como de las surgencias marinas.

Imagen 11 Promedio climatológico en la Chla, TSM y promedios mensuales de volúmenes de captura de sardina, COBCS, 1997-2009



Fuente: Elaboración propia con base en datos de CONAPESCA, AVHRR y SeaWiFS

5.2 Análisis estacional - Verano

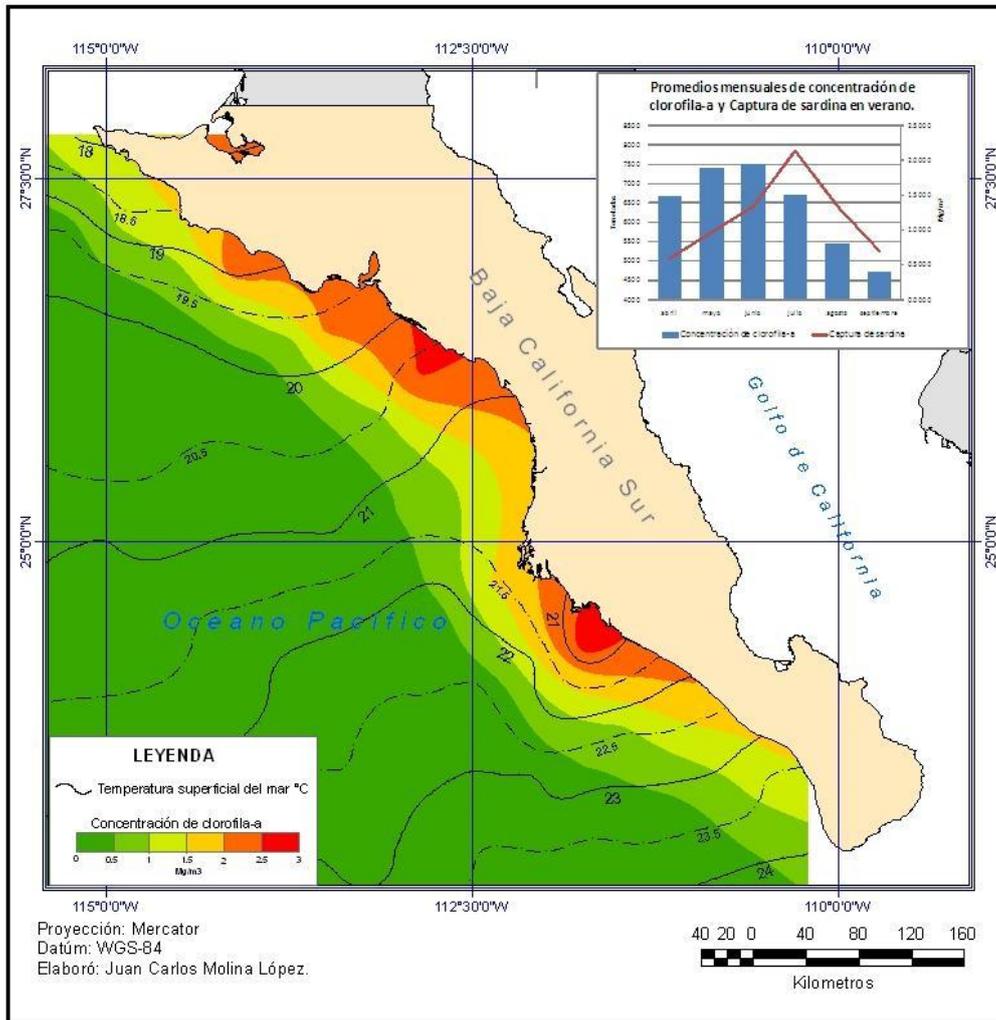
El sistema climático global rige la estacionalidad del ambiente físico-biológico del océano (TSM y Chla), debido a esto, se presentan dos secciones

temporales que comparten condiciones similares, dichas secciones corresponden a invierno y verano.

En verano las condiciones ambientales del océano favorecen la pesquería de sardina, para este periodo se intensifica la Chla en el golfo de Ulloa y bahía Magdalena, mismas áreas que se identifican como productivas en el promedio climatológico 1997-2009. Las características que inciden en verano en la COBCS son temperaturas inferiores a 21° C y Chla que supera los 2.5 mg/m³ para bahía Magdalena y 2 mg/m³ para el gofo de Ulloa (Imagen 12).

Se muestra la gráfica de promedios mensuales de captura de sardina (Imagen 12) y se puede observar que la Chla puede influir con la abundancia de sardina en la COBCS, esto debido a que los volúmenes de captura responden positivamente cuando existe un incremento en la Chla.

Imagen 12 Promedios climatológicos en verano para la Chla, TSM y volúmenes de captura de sardina, COBCS, 1997-2009



Fuente: Elaboración propia con base en datos de CONAPESCA, AVHRR y SeaWIFS

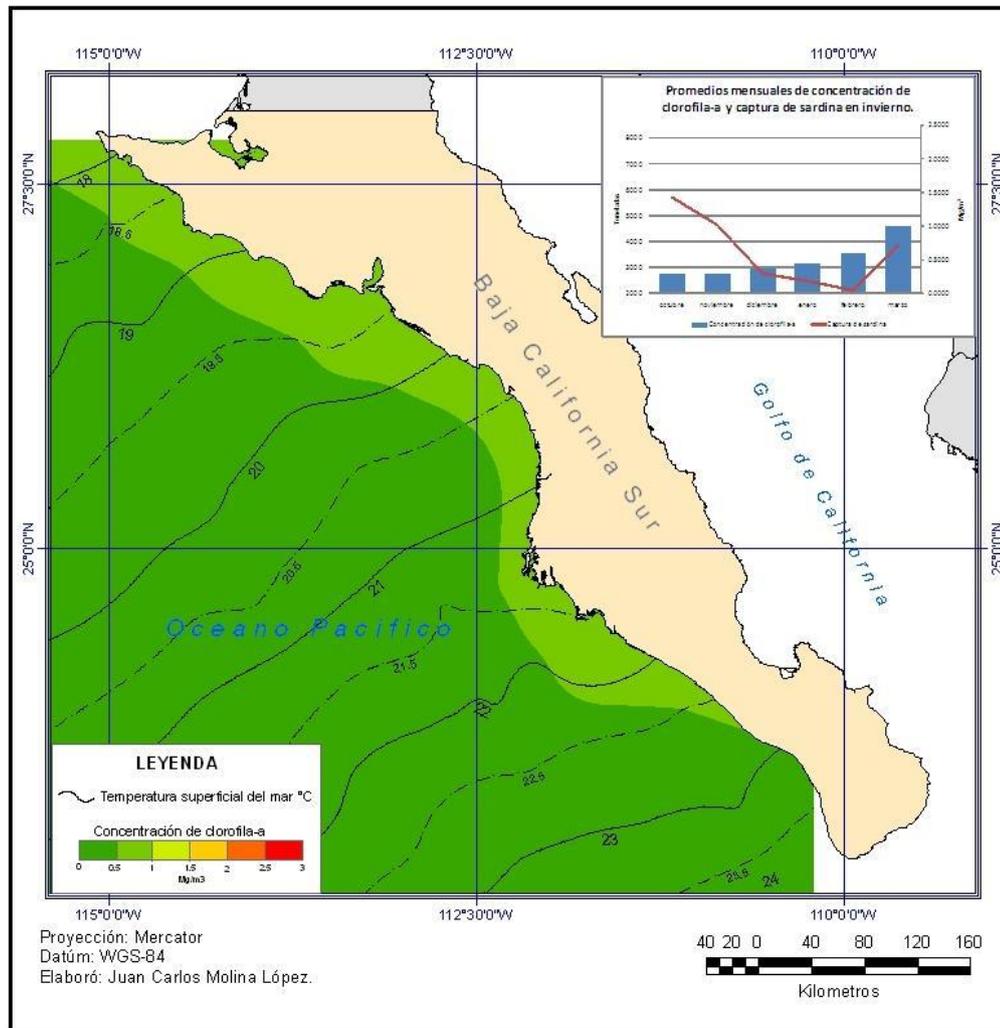
5.3 Análisis estacional - Invierno

Durante el invierno la Chla se mantiene con niveles bajos y estables, los cuales no superan 1 mg/m^3 sobre el área costera y 0.5 mg/m^3 mar adentro (Imagen 13), se nota un patrón latitudinal bien definido de las isotermas, registrando temperaturas relativamente altas, tomando en cuenta lo que acontece en verano, estas temperaturas oscilan entre 18° y 24°C a lo largo de la COBCS.

Durante el invierno se pueden observar volúmenes inferiores de captura de sardina comparado con lo que ocurre en durante el verano, lo cual se puede

asociar a la baja disponibilidad de plancton, inferida gracias a los bajos niveles que presenta la Chla, que a su vez se encuentra asociado con el incremento en la TSM.

Imagen 13 Promedios climatológicos en invierno para la Chla, TSM y volúmenes de captura de sardina, COBCS, 1997-2009



Fuente: Elaboración propia con base en datos de CONAPESCA, AVHRR y SeaWiFS

5.4 Correlación entre las variables

La TSM y la Chla presentan una variabilidad estacional bien definida a lo largo del periodo estudiado, ambas variables muestran una relación lineal inversa. La TSM se identifica como uno de los agentes físicos que se relacionan con la Chla, lo anterior se puede observar debido a que se presenta el fenómeno de

sucesión estacional, el cual observan cambios en las condiciones físicas, químicas y biológicas en el ambiente oceánico, estos pueden influir tanto de manera positiva como negativa en la composición de especies planctónicas así como la concentración de Chla (productividad primaria) (Weihaput, 1984). Es decir, la presencia de masas de agua relativamente fría, con temperaturas inferiores a 18°C durante los meses de abril y mayo, se desplazan a lo largo de la COBCS hasta la porción sur de esta, siendo aproximadamente el paralelo 23° 30' N el límite sur de la isoterma de 18°C durante el verano. Mientras tanto, los altos niveles de Chla se presentan durante mayo y junio con concentraciones que superan los 1.5 mg/m³ sobre la COBCS y áreas específicas como bahía Magdalena y el Golfo de Ulloa, donde se localizan niveles de Chla superiores a 3.5 mg/m³. (Gráfica 5) De esta manera se observa que la productividad primaria, inferida a través de la concentración de la Chla, es mayor durante mayo y junio, lo cual puede ser una respuesta a las condiciones térmicas que se presentaron en abril y mayo.

La pesquería de sardina presenta una variabilidad interanual menos precisa con respecto a las variables físicas, sin embargo, esta variable también muestra patrones estacionales bien definidos.

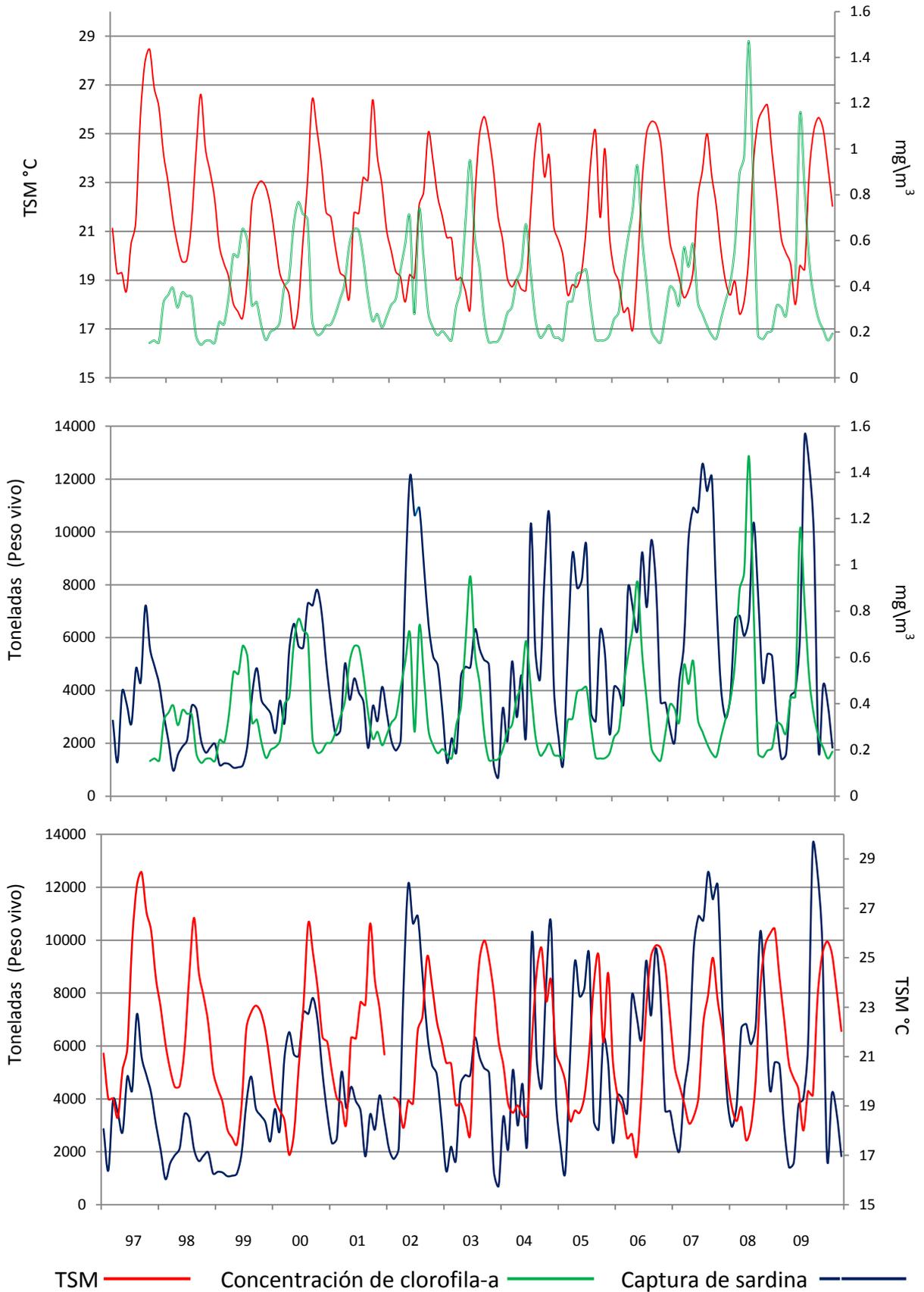
Las posibles causas de la variabilidad irregular en la serie de tiempo referente a la captura de sardina, se puede atribuir a componentes socioeconómicos que pueden influir en la pesquería. No obstante, para fines prácticos en el presente trabajo, la estabilidad en la captura de sardina se justifica con el hecho de que el esfuerzo pesquero en el área de estudio no ha sido disminuido ni aumentado en los últimos 25 años, así mismo la demanda del recurso ha sido constante durante el tiempo mencionado. Debido a esto se minimiza la influencia que

podrían tener los factores socioeconómicos en los volúmenes de pesca de sardina en la COBCS.

Como se había mencionado, la captura de sardina a lo largo del periodo de estudio presenta un patrón estacional bien definido el cual se encuentra estrechamente relacionado con el comportamiento de la Chla, mientras tanto con las condiciones térmicas se observa una relación más dispersa. (Gráfica 5).

Gráfica 5 Relación entre la TSM, Chla y volúmenes de captura de sardina, COBCS,

1997-2009



Fuente: Elaboración propia con base en datos de CONAPESCA, AVHRR y SeaWIFS

Durante la serie de tiempo se pueden observar patrones generales del comportamiento de las variables en sus niveles mínimos y máximos interanuales; los máximos registros de TSM se acotan a los meses de agosto a octubre con temperaturas que van de los 28° a 23.6°C durante 1997, 1998 y 1999, dicho periodo resulta ser el que presenta las mayores anomalías; positivas durante 1997 y negativas en 1998 y 1999. Los valores mínimos de TSM se presentan durante los meses de marzo a junio con temperaturas que van de 17° a 19.8°C (Gráfica 5). Los niveles máximos de Chla se identifican de marzo a julio con valores que van de 0.34 a 1.40 mg/m³, los valores mínimos corresponden a 1997, que a su vez corresponde al año más cálido del periodo, mientras los máximos corresponden a 2008. El periodo donde se identifican los mínimos niveles de Chla corresponde a los meses de septiembre a febrero con valores que van de 0.14 a 0.23 mg/m³ (Gráfica 5). La captura de sardina presenta un amplio margen temporal en sus máximas, los meses que registran los mayores volúmenes de captura van de junio a noviembre con capturas entre las 3,400 t en 1998 y las 13,000 t durante 2009. Las capturas mínimas se acotan a los meses entre diciembre y marzo con volúmenes de captura que van de las 700 t en 2003 a las 3,500 t durante 2006 (Gráfica 5).

5.4.1 Comparación interanual entre la TSM, la Chla y la captura de sardina

A lo largo de la serie de tiempo el comportamiento de las variables muestran anomalías tanto positivas como negativas, es por eso que se analiza la serie de tiempo con una escala interanual para entender la dinámica temporal de las variables y explicar la relación entre los aspectos físicos y la pesquería de sardina en cada año del periodo estudiado.

- **1997**, este año muestra un comportamiento anómalo positivo en la TSM, sobre todo en los últimos meses donde se observan las mayores temperaturas del periodo durante septiembre con 28°C, los datos de concentración de clorofila-a para este año no se tienen completos, solo se cuenta con los últimos tres meses del año, por lo cual no es posible establecer una relación con la TSM y la captura de sardina (Gráfica 6). Para los volúmenes de captura de sardina se nota una fluctuación que va de las 1,300 t en febrero a las 7,300 t en agosto (Gráfica 8).
- **1998**, para este periodo se identifica una baja oscilación térmica debido a los promedios mínimos de TSM solo disminuyen a 20° en verano, estas condiciones pueden ser el motivo de que la concentración de clorofila-a no supere los 0.5 mg/m³ durante el año (Gráfica 6), como resultado de estas condiciones físicas se infiere que la abundancia de sardinas en la COBCS se ve fuertemente disminuida, donde las capturas apenas alcanzan las 3,500 t en julio (Gráfica 8).
- **1999**, para este año se identifica un comportamiento anómalo negativo en la TSM, en la época cálida del año los promedios no superan los 24°C. Se identifica una recuperación en la concentración de clorofila-a mostrando valores superiores a los 0.5 mg/m³ en verano (Gráfica 6), estos niveles de concentración permiten que la captura de sardina incremente sus volúmenes en agosto llegando casi a las 5,000 t. (Gráfica 8)
- **2000**, para este año se presenta una amplia oscilación térmica en la TSM, los promedios mínimos alcanzan 19° C en mayo mientras en septiembre se tiene valores de 26° C. La concentración de clorofila-a

presenta una recuperación notable con promedios que sobrepasan los 0.5 mg/m^3 y llegan hasta los 0.8 mg/m^3 entre abril y agosto (Gráfica 6). Sin embargo en la captura de sardina no se nota una recuperación significativa, los volúmenes mensuales apenas superan las 7,000 t entre julio y septiembre (Gráfica 8).

- **2001**, la TSM muestra un comportamiento estable con temperaturas bajas cercanas a los 18° C en abril y con promedios altos superiores a los 26° C en septiembre. La concentración de clorofila-a reacciona a los promedios mínimos de abril presentando valores mensuales superiores a los 0.5 mg/m^3 entre mayo y julio (Gráfica 6), a pesar de las condiciones medianamente favorables para la abundancia de sardina, las capturas fueron mínimas, los volúmenes mensuales superiores se observan en marzo y mayo con 5,000 y 4,500 t respectivamente, mientras el resto del periodo se muestran capturas mensuales inferiores a 4,000 t, siendo agosto, que generalmente es un mes productivo, el que presenta los menores volúmenes con 1,800 t (Gráfica 8).
- **2002**, también presenta un comportamiento estable en la TSM, registrando promedios mínimos en mayo con 18° C y máximos en septiembre con 25° C . la concentración de clorofila-a presenta un incremento notable a partir de marzo hasta mayo donde se tienen valores de 0.7 mg/m^3 , en junio se observa una baja drástica en la concentración hasta 0.27 mg/m^3 mostrándose nuevamente una recuperación en julio con valores superiores a los 0.7 mg/m^3 (Gráfica 6). Para este año la captura de sardina se ve beneficiada ya que presenta

altos volúmenes de pesca, con valores mensuales superiores a las 8,000 t entre abril y agosto (Gráfica 8).

- **2003**, durante este año la TSM también presenta un comportamiento estable, sin embargo, los promedios mínimos se retrasan con respecto a años pasados y ahora se presentan en junio con 18°C, mientras los promedios máximos se muestran en septiembre con 26°C. La concentración de clorofila-a presenta un incremento superior a los 0.5 mg/m³ a partir de mayo, en junio se observan valores de concentración que alcanzan los 0.9 mg/m³, a partir de este punto la concentración disminuye gradualmente hasta sus niveles mínimos en los últimos meses del año (Gráfica 6). A pesar de las altas concentraciones de clorofila-a los volúmenes de pesca no sufren incrementos notables, a partir de abril se identifican volúmenes superiores a las 4,500 t los cuales se mantienen hasta octubre, presentándose los máximos volúmenes en julio con 6,000 t (Gráfica 8).
- **2004**, en este año se observa una oscilación térmica baja en la TSM, presentando sus promedios mínimos en mayo con valores cercanos a los 19° C y los máximos en septiembre con promedios de 25° C. la concentración de clorofila-a presenta niveles bajos con respecto a los últimos seis años, los niveles apenas superan los 0.4 mg/m³ durante abril y mayo, presentando el máximo nivel en junio con 0.6 mg/m³ (Gráfica 6). Mientras tanto, la captura de sardina aumenta sus volúmenes drásticamente en julio con valores que superan las 10,000 t, a partir de ahí y hasta diciembre se presentan capturas poco comunes para el resto de la serie de tiempo, donde los valores fluctúan entre

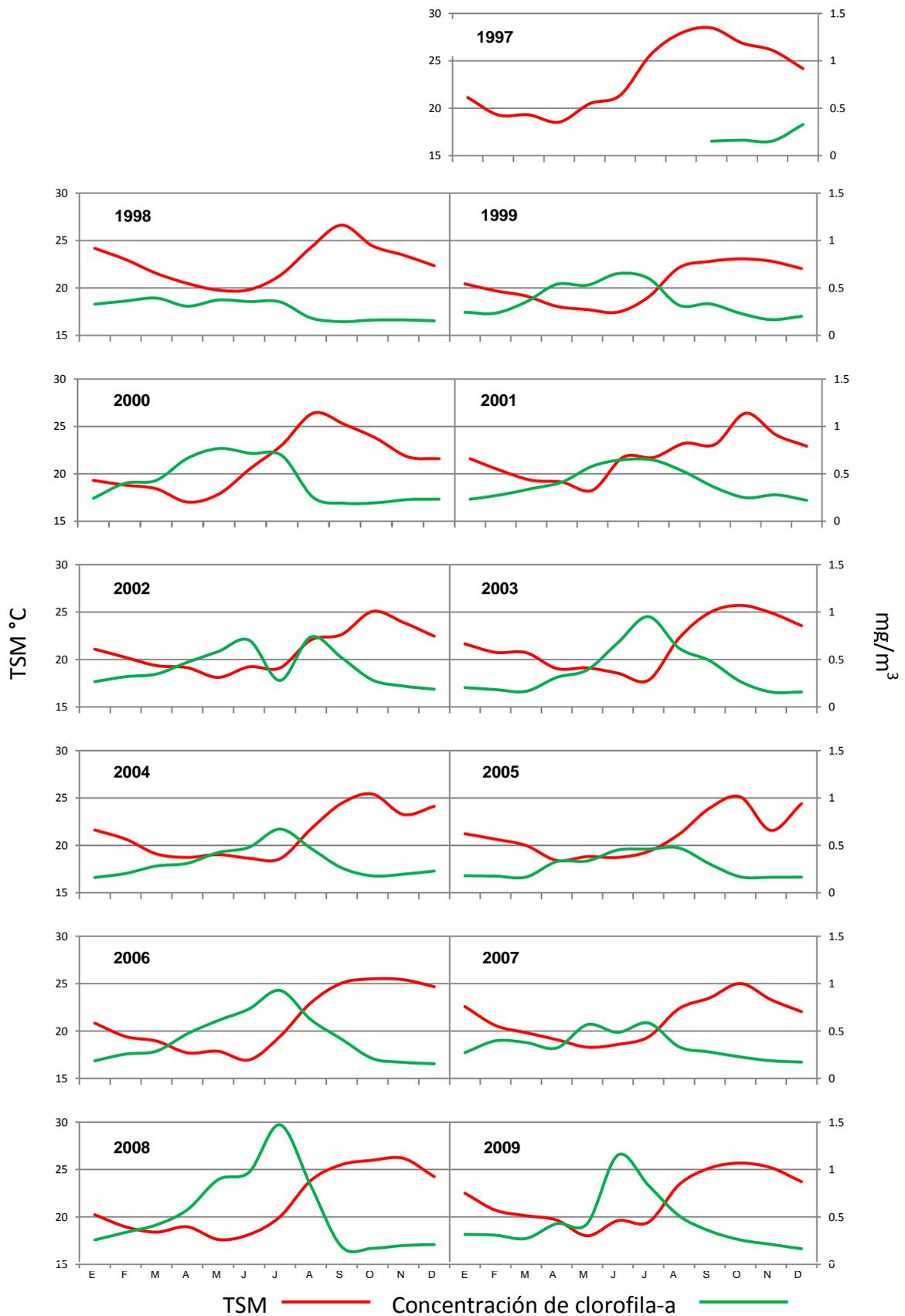
10,600 y 4,000 t, presentándose los valores máximos en noviembre y los mínimos en diciembre (Gráfica 8).

- **2005**, las condiciones térmicas del océano en este año son estables, se presentan promedios mínimos de 18° C en marzo y máximos de 25° C en septiembre, en noviembre se identifica un repunte anómalo en la TSM con 24° C. La concentración de clorofila-a se ve afectada a lo largo del año, donde los valores máximos apenas superan los 0.4 mg/m³ entre mayo y julio (Gráfica 6); a pesar de esto no se nota una afectación significativa en la captura de sardina, los volúmenes superan las 5,000 t entre marzo y julio obteniendo el promedio máximo en julio con 9,500 t (Gráfica 8).
- **2006**, las anomalías térmicas para los primeros meses del año son negativas, los promedios mínimos de TSM se presentan en mayo con 17°C mientras los máximos se observan en septiembre con 25°C. La concentración de clorofila-a presenta valores superiores a 0.6 mg/m³ de abril a julio con un máximo en junio con 9.3 mg/m³ (Gráfica 6), mientras los valores de captura muestran volúmenes favorables que superan las 7,000 t de agosto a octubre, con un desplome hasta 6,200 t en julio, y un valor máximo en septiembre con 9,700 t (Gráfica 8).
- **2007**, para este año se identifica un comportamiento estable de la TSM, los promedios mínimos se presentan en abril con 18°C y los máximos en septiembre con 25°C. La concentración de clorofila-a presenta niveles bajos con valores que apenas superan los 0.5 mg/m³ entre abril y junio (Gráfica 6), a pesar de esto la captura de sardina se mantiene con altos

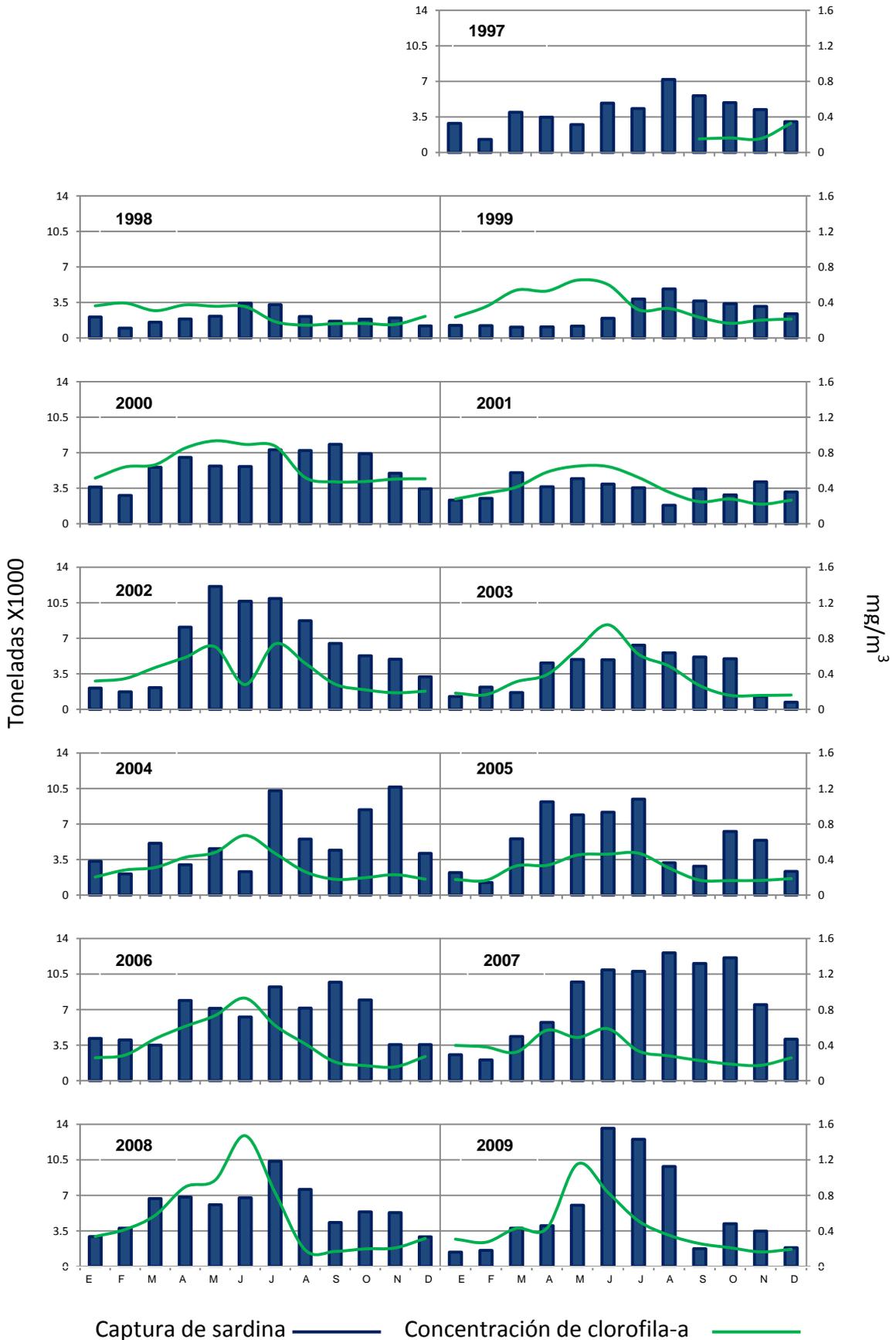
volúmenes los cuales superan las 9,500 t entre mayo y octubre (Gráfica 8).

- **2008**, las condiciones térmicas en este año son estables, los promedios mínimos se presentan en abril con 17.6° C mientras los máximos en octubre con 26.2° C. la concentración de clorofila-a presenta los valores máximos del todo el periodo con 1.4 mg/m³ en junio, se presentan niveles altos que rebasan los 0.8 mg/m³ de abril a julio, mientras en agosto se identifica un desplome hasta 0.18 mg/m³ (Gráfica 6). La captura de sardina muestra volúmenes medios en la mayor parte del año, de marzo a junio los volúmenes de pesca mensuales superan las 6,500 t, en julio se identifican los valores de captura máximos con 10,000 t, a partir de este mes las capturas disminuyen gradualmente, pero continúan con valores medios hasta noviembre (Gráfica 8).
- **2009**, para este año la TSM tiene un comportamiento estable, con un repunte mínimo en mayo, los promedios mínimos de TSM se muestran en abril con 18°C mientras los máximos en septiembre con 25°C. La concentración de clorofila-a solo presenta valores altos en mayo con 1.15 mg/m³ y junio con 0.8 mg/m³ (Gráfica 6). La captura de sardina registra el volumen mensual más elevado del periodo con 13,600 t en junio, mientras en julio y agosto los volúmenes también son significativos con 12,500 y 8,800 t respectivamente, durante septiembre la captura de sardina sufre una caída en su producción hasta las 1,700 t (Gráfica 8).

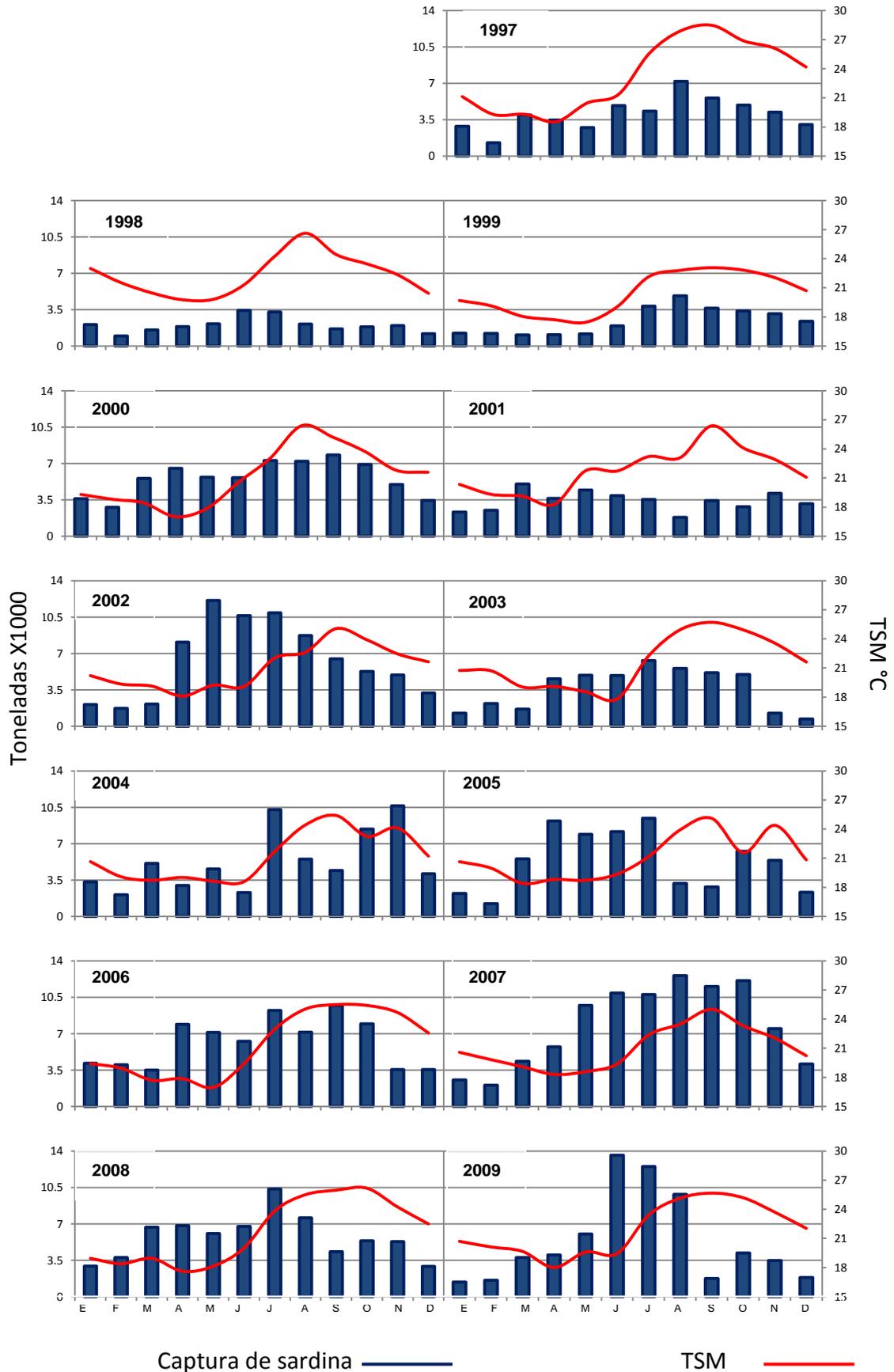
Gráfica 6 Relación entre los promedios mensuales de TSM y Chla, COBCS, 1997-2009



Gráfica 7 Relación entre los promedios mensuales de Chla y los volúmenes mensuales de captura de sardina, COBCS, 1997-2009



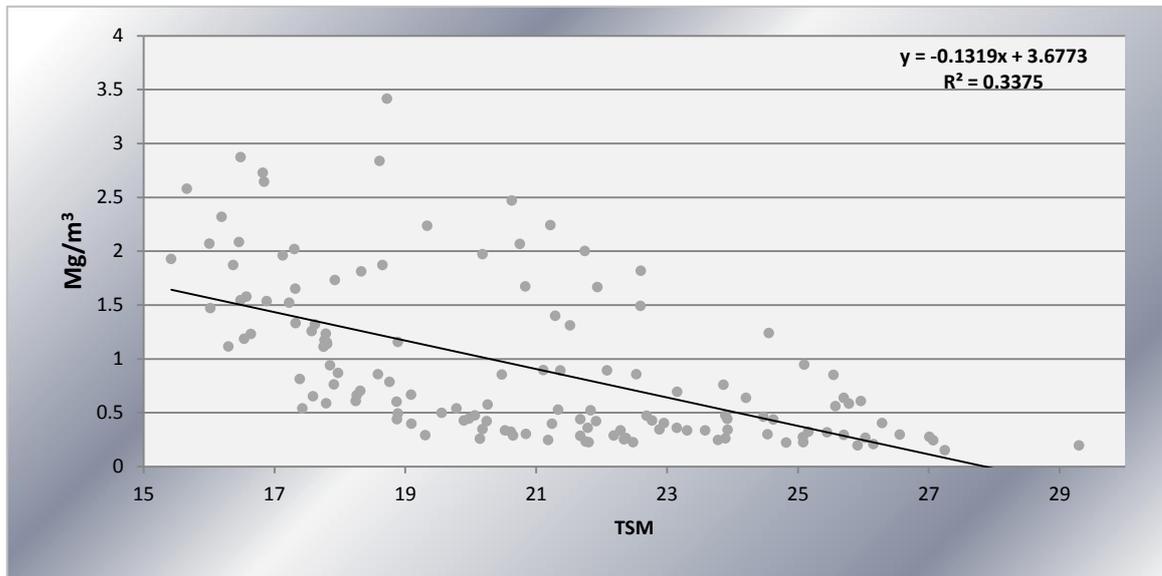
Gráfica 8 Relación entre los promedios mensuales en la TSM y los volúmenes mensuales de captura de sardina, COBCS, 1997-2009



5.4.2 Correlación lineal entre la TSM y Chla

Para determinar el grado de correlación entre la TSM y la Chla se obtuvo el índice de correlación de Pearson (r).

Gráfica 9 Correlación lineal entre la TSM y la Chla



Fuente: Elaboración propia con base en datos AVHRR y SeaWiFS

La correlación aplicada a la TSM y a la Chla muestra una relación inversa entre estas variables, el coeficiente de correlación r calculado expone un valor de -0.50, dicho índice indica que existe un nivel medio de correlación inversa entre las variables involucradas, lo que significa que mientras la TSM disminuye, la Chla aumenta. Con la recta de regresión lineal se identifica de manera visual la tendencia de la distribución de los puntos y se valida el índice de correlación r (Gráfica 9). A pesar de que existe un índice medio de correlación entre estas variables, es necesario determinar cuál es la dirección de la relación así como verificar si existe algún desfase temporal entre estas.

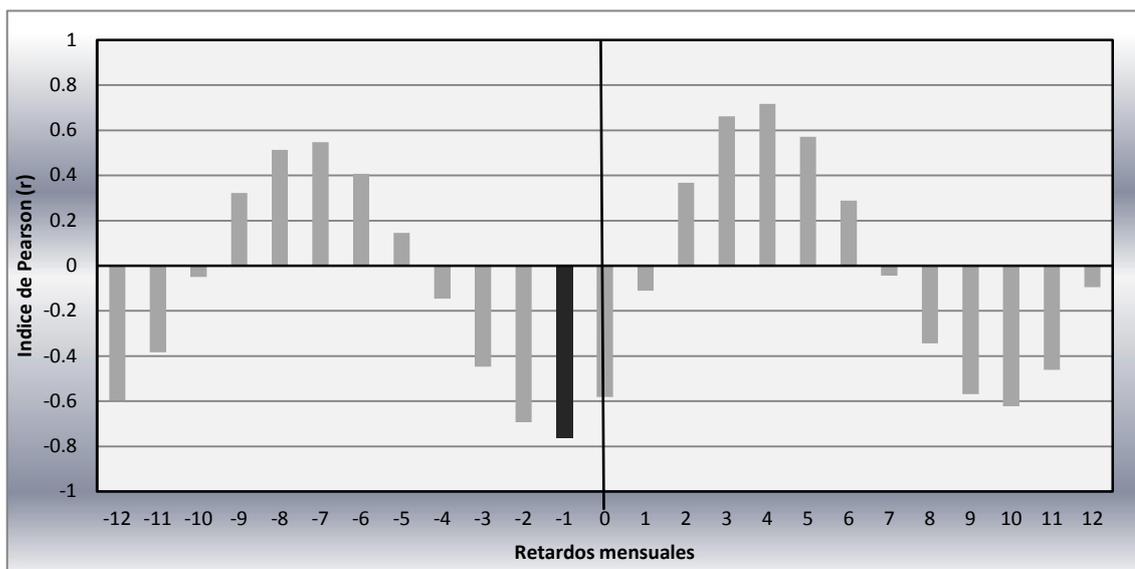
5.4.2.1 Correlación cruzada entre la TSM y concentración de clorofila-a

Como se mencionó anteriormente, la correlación lineal aplicada a la TSM y la concentración de Chla muestra un índice de correlación medio, lo cual indica que solo la mitad de los datos de ambas variables están correlacionados, esto es válido debido a que el comportamiento espacial de la Chla no sigue un gradiente longitudinal homogéneo en todas las estaciones muestreadas, lo contrario sucede con la TSM la cual sigue un gradiente latitudinal homogéneo con excepción del área de bahía Magdalena (Imagen 9) donde se presentan temperaturas inferiores con respecto a su entorno.

Para determinar si existe un desfase temporal entre la causa-efecto de estas variables se aplicó un análisis de correlación cruzada; así mismo, será de utilidad para identificar la dirección de la relación.

El resultado de dicha correlación, arrojó que existe un desfase temporal de un mes en la respuesta de la Chla con respecto a la TSM. Lo anterior se puede observar en el correlograma (Gráfica 10), donde se muestra que el mayor índice de correlación r se presenta cuando la serie de tiempo referente a la Chla se retrasa un mes respecto a la serie de tiempo correspondiente a la TSM

Gráfica 10 Correlograma entre la TSM y la Chla

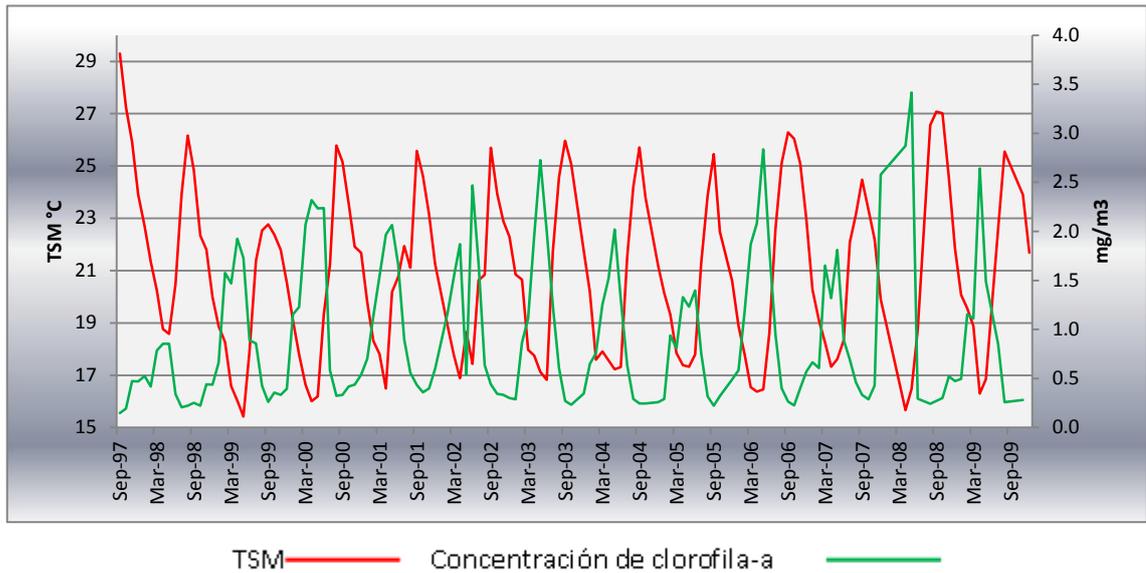


Fuente: Elaboración propia con base en datos AVHRR y SeaWiFS

El comportamiento de los datos graficados en el correlograma indican la que las variables analizadas, en este caso la TSM y la Chla, presentan un componente estacional, esto se identifica gracias a la distribución armónica de las barras, que demuestran que mientras se desplaza una serie de tiempo sobre la otra, el índice de correlación r alcanzara un máximo y un mínimo, con un aumento o disminución gradual dentro del periodo de desfase estudiado, para este caso 12 meses.

La Gráfica 11 muestra la serie de tiempo representada con el retardo de un mes de los datos de Chla sobre los de TSM. Se identifica la relación inversa proporcional de ambas variables para todos los años involucrados, debido a que se observa la correspondencia que existe entre los picos máximos de TSM y los mínimos de Chla y viceversa.

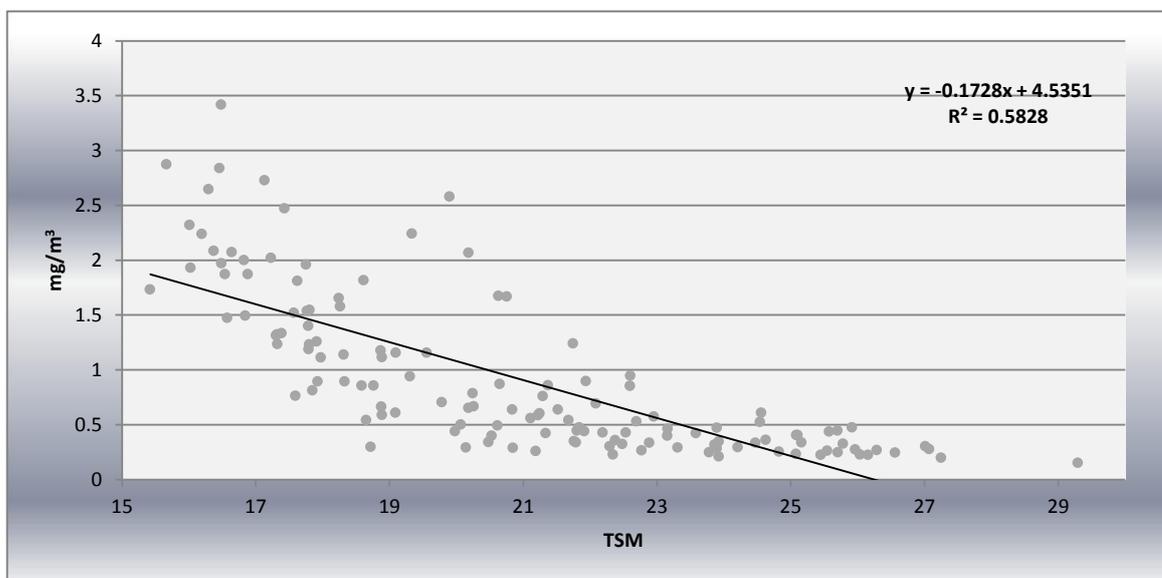
Gráfica 11 Relación entre la TSM y la Chla



Fuente: Elaboración propia con base en datos AVHRR y SeaWiFS

El índice de correlación r que se presentó obteniendo el desfase temporal es de -0.76 , este valor demuestra que existe una alta correlación inversa entre la TSM y la Chla. Mientras en la regresión lineal, los puntos ajustan de mejor forma en la recta, justificando el aumento en el índice de correlación r con respecto al obtenido inicialmente (Gráfica 12).

Gráfica 12 Correlación lineal posterior a la correlación cruzada entre la TSM y la Chla

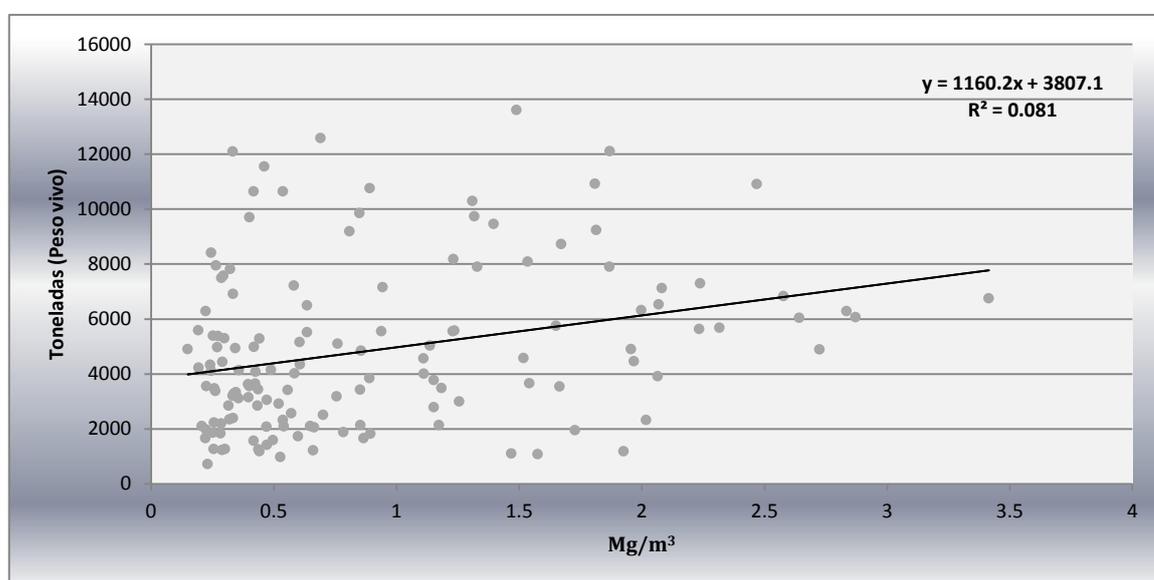


Fuente: Elaboración propia con base en datos AVHRR y SeaWiFS

5.4.3 Correlación lineal entre la captura de sardina y la Chla

El coeficiente de correlación entre la Chla y la captura de sardina es de 0.29, lo cual indica que entre estas dos variables existe una correlación directa pero débil, esto se puede corroborar mediante el ajuste de los puntos sobre la línea de regresión, donde se nota una alta dispersión de puntos siendo pocos los que se ajustan a la línea de tendencia (Gráfica 13), debido a esto es necesario realizar, al igual que con la Chla y la TSM, una correlación cruzada para establecer si existe un desfase temporal entre las variables.

Gráfica 13 Correlación lineal entre los volúmenes de captura de sardina y la Chla



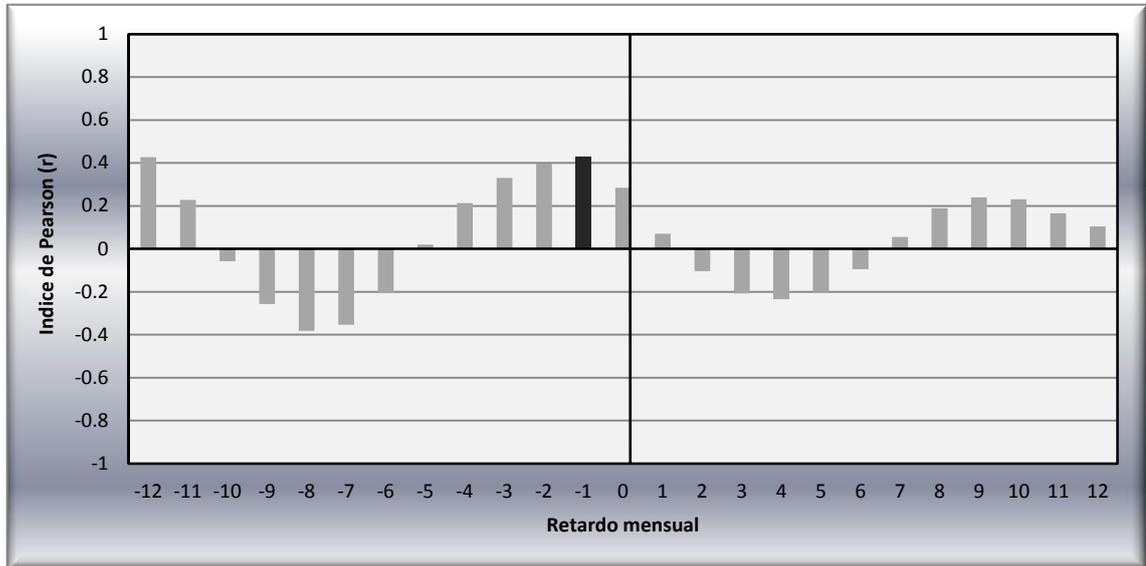
Fuente: Elaboración propia con base en datos de CONAPESCA y SeaWIFS

5.4.3.1 Correlación cruzada entre la captura de sardina y la Chla

Aplicando el análisis de correlación cruzada a la Chla y a la captura de sardina se identificó un desfase temporal de un mes entre la serie de tiempo de Chla y la captura de sardina (Gráfica 14), la correlación entre las variables es directa y presenta un coeficiente de 0.43, lo que indica una relación media entre la Chla y la captura de sardina, al igual que en el anterior análisis de correlación

cuzada, aplicado a la TSM y la Chla, se identifica un patrón estacional en ambas variables.

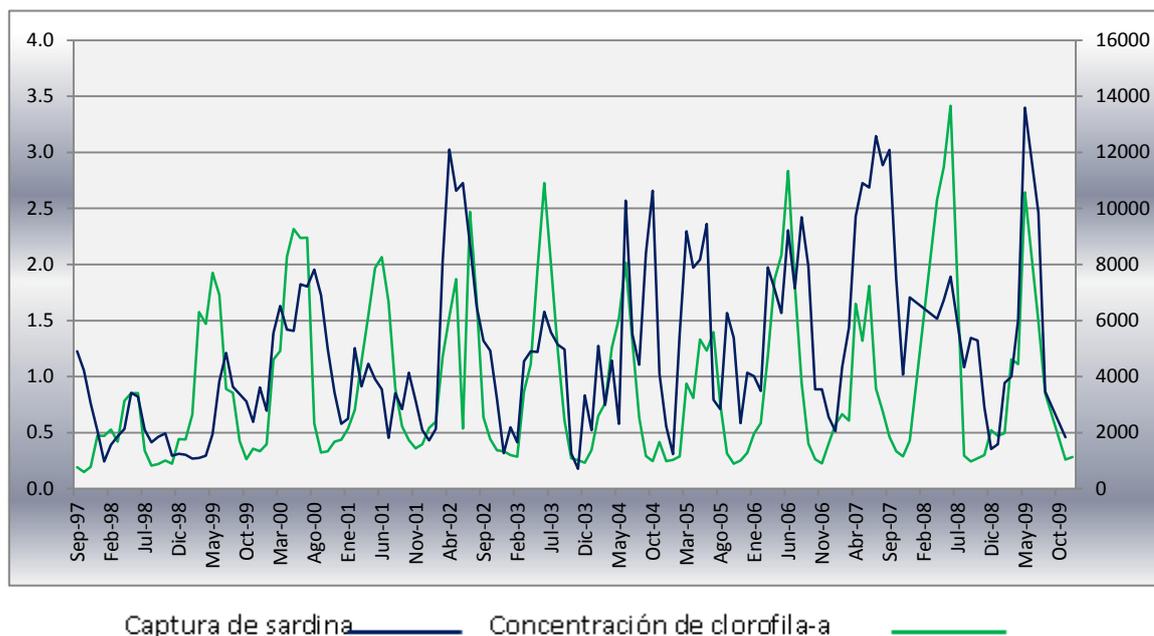
Gráfica 14 Correlograma entre los volúmenes de captura de sardina y la Chla



Fuente: Elaboración propia con base en datos de CONAPESCA y SeaWIFS

En la Gráfica 15 se identifica la relación directa entre las variables, debido a que los altos niveles de Chla coinciden con los mayores volúmenes de captura durante toda la serie de tiempo, para cada una de los años, sin embargo, a diferencia de la relación que existe entre la TSM y la Chla, estas variables no guardan una relación proporcional.

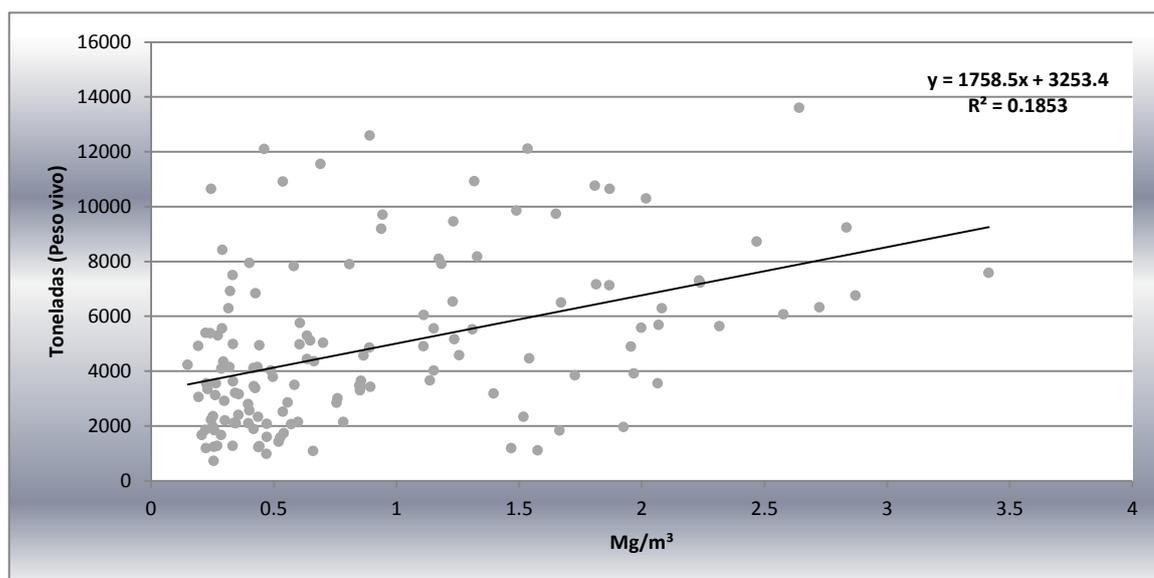
Gráfica 15 Relación entre los volúmenes de captura de sardina y la Chla



Fuente: Elaboración propia con base en datos de CONAPESCA y SeaWIFS

En la Gráfica 5.12 se puede observar un ligero ajuste de los puntos en la recta de regresión, el coeficiente de correlación r es de 0.43, lo cual indica una correlación directa media.

Gráfica 16 Correlación lineal posterior a la correlación cruzada entre la los volúmenes de captura de sardina y Chla

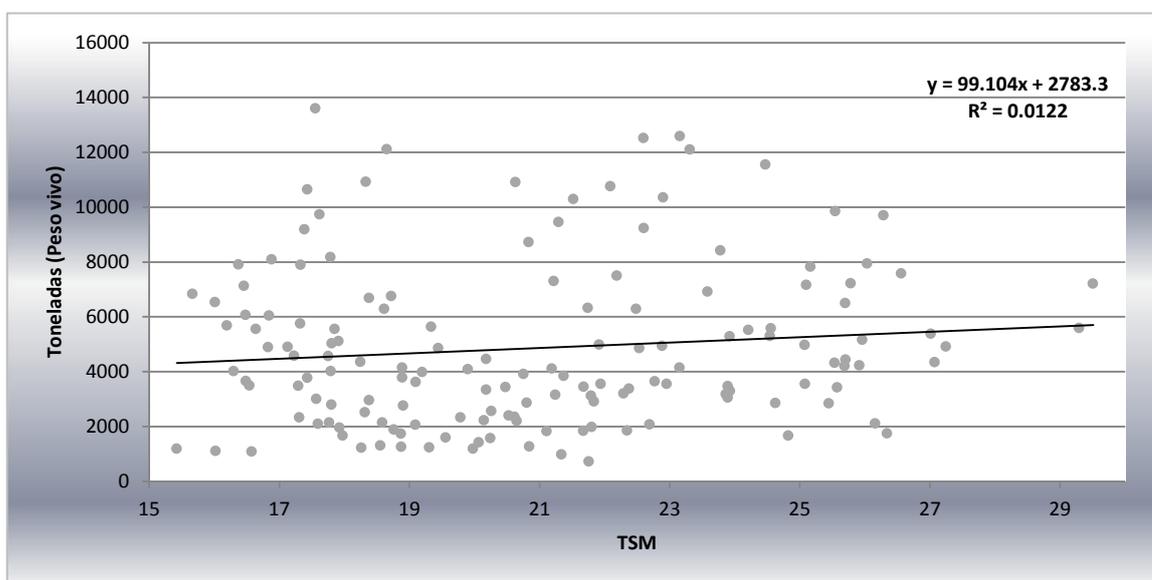


Fuente: Elaboración propia con base en datos de CONAPESCA y SeaWIFS

5.4.4 Correlación lineal entre la TSM y la captura de sardina.

El coeficiente de correlación de Pearson muestra un índice de 0.14, lo cual indica que existe una correlación directa muy débil entre las variables, esto se expresa en la gráfica, donde el ajuste de la línea de regresión muestra una tendencia poco clara de la relación de las variables (Gráfica 17) debido a la dispersión de los puntos, al igual que en las correlaciones anteriores se aplicó un análisis de correlación cruzada para identificar si existe un desfase temporal entre las variables.

Gráfica 17 Correlación lineal entre los volúmenes de captura de sardina y la TSM



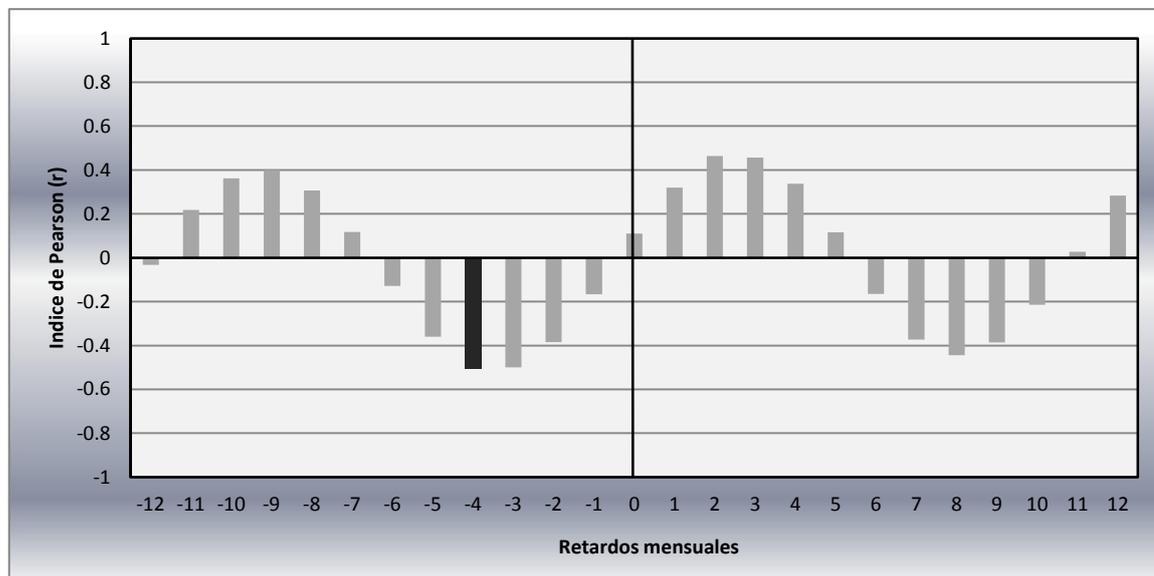
Fuente: Elaboración propia con base en datos de CONAPESCA y AVHRR

5.4.4.1 Correlación cruzada entre la TSM y la captura de sardina

Aplicando el análisis de correlación cruzada se identifica un desfase temporal entre tres y cuatro meses, esto se observa en la Gráfica 18 donde las barras que representan tanto los retardos de 3 meses como los de 4 presentan índices de correlación r similares, sin embargo se tomará en cuenta el índice de correlación más elevado, el cual corresponde al retardo de cuatro meses, el

índice de correlación r que arroja este análisis es -0.50, lo que indica una correlación inversa media.

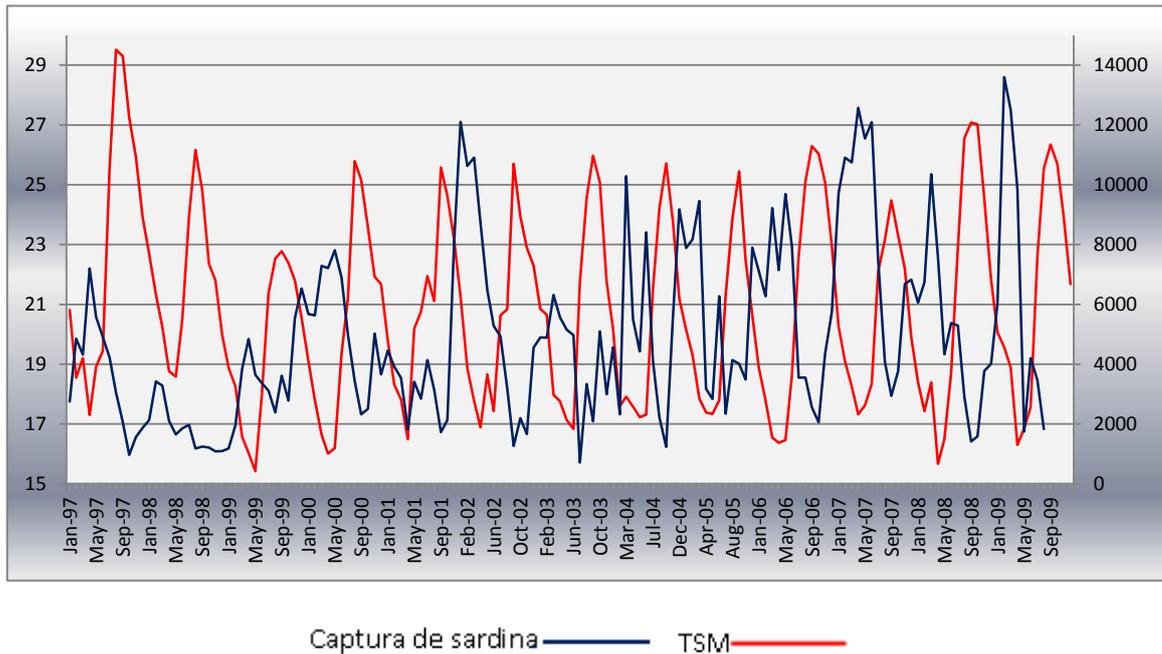
Gráfica 18 Correlograma entre los volúmenes de captura de sardina y la TSM



Fuente: Elaboración propia con base en datos de CONAPESCA y AVHRR

En la Gráfica 19 se muestra lo expresado anteriormente, donde existe un retraso entre la TSM y la captura de sardina entre tres y cuatro meses, lo anterior es posible debido a que existen años donde el desfase es de cuatro meses, en el caso de la Gráfica 19 dichos años tendrán una correspondencia directa: las altas temperaturas con la baja producción pesquera y viceversa, ejemplo se esto pueden ser los años 1997,1999, 2000, 2002, 2004, 2006 y 2007. Mientras tanto, existen años donde la correspondencia de las variables se observa un ligero desfase como 1998, 2001,2003, 2005, 2008 y 2009.

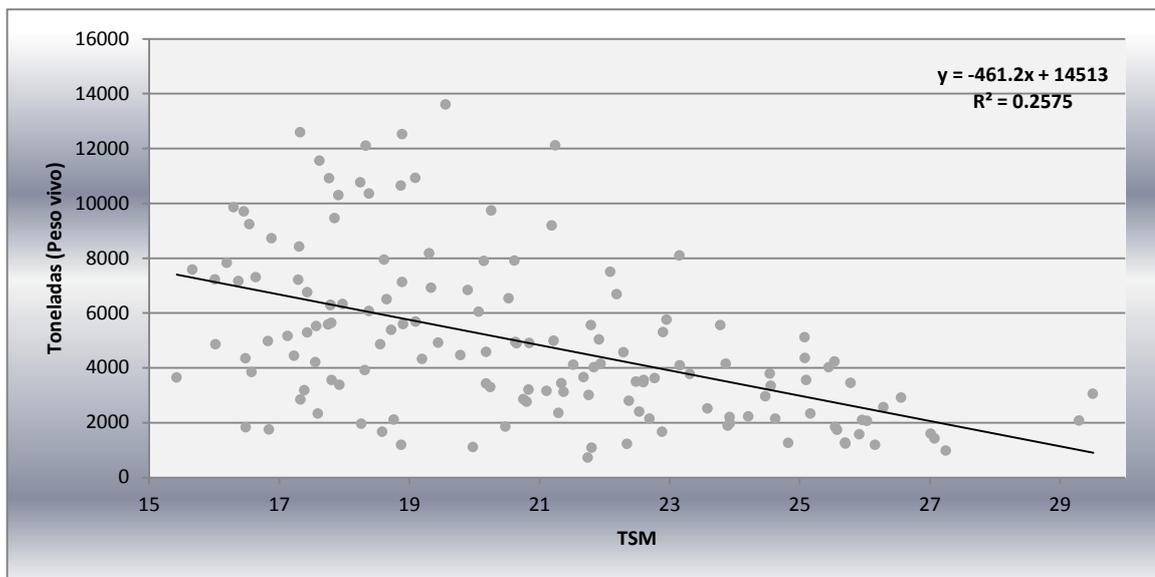
Gráfica 19 Relación entre los volúmenes de captura de sardina y la TSM



Fuente: Elaboración propia con base en datos de CONAPESCA y AVHRR

El índice de correlación r con el desfase temporal de cuatro meses presenta un valor de -0.50, lo que como se había mencionado anteriormente, indica una correlación media inversa, la línea de regresión valida dicha correlación ya que se identifica una tendencia de aumento en los volúmenes de captura de sardina cuando existen menores temperaturas, un ejemplo de esto es que los volúmenes de captura de sardina superiores a 10,000 t se presentan únicamente con temperaturas inferiores a los 22°C (Gráfica 5.16).

Gráfica 20 Correlación lineal posterior a la correlación cruzada entre los volúmenes de captura de sardina y la TSM



Fuente: Elaboración propia con base en datos de CONAPESCA y AVHRR

Conclusiones

La aplicación de herramientas de percepción remota y sistemas de información geográfica fueron fundamentales para la obtención, procesamiento y representación de las variables físicas del océano, Temperatura Superficial del Mar (TSM) y Concentración de clorofila-a (Chla), mientras los métodos estadísticos permitieron establecer una relación entre dichas variables y la captura de sardina.

El gran aporte que representó el uso de la percepción remota en esta investigación radica en la temporalidad y espacialidad de los datos, ya que el uso de esta tecnología permitió obtener una base de datos confiable de información diaria durante 12 años de los parámetros oceánicos de las aguas que se encuentran frente a la costa occidental de Baja California Sur.

Los sistemas de información geográfica permitieron sintetizar la información así como representarla gráficamente mediante mapas.

Los métodos estadísticos de correlación y regresión lineal así como la función de correlación cruzada fueron de gran importancia para medir la relación entre las variables.

La variabilidad en los promedios climáticos tanto de la TSM, la Chla y la captura de sardina se encuentra regida por componentes estacionales; la TSM presenta sus menores niveles durante mayo, mientras los mayores en septiembre. Esta variable tiene un gradiente latitudinal, la zona que se exime de este comportamiento es el área oceánica que rodea bahía Magdalena, la cual durante todo el año presenta temperaturas inferiores que a lo que se presenta en su entorno, este fenómeno se encuentra asociado a surgencias costeras.

La Chla presenta sus mayores niveles durante junio, este comportamiento se identifica como un efecto asociado con las bajas temperaturas registradas en mayo, que se relacionan con altos niveles de Chla en junio y de las altas temperaturas de septiembre las cuales reflejan su efecto en los niveles inferiores de Chla durante octubre.

Los volúmenes de captura de sardina presentan sus máximos niveles durante julio y los mínimos en noviembre, lo cual es la respuesta a los altos niveles de Chla de junio y los mínimos de octubre.

De manera general para los promedios del periodo 1997-2009 se identifica que las condiciones físicas del océano se encuentran regidas por componentes estacionales los cuales determinan la abundancia de sardinas en la COBCS. Sin embargo, no se presenta una relación proporcional entre las condiciones ambientales y la captura de sardina.

A lo largo de la COBCS se presentan condiciones óptimas para la producción y desarrollo de sardinas, no obstante, se identificó al área que rodea bahía Magdalena como la zona con mayor potencial para el desarrollo de la pesquería de sardina, con esto se entiende la localización estratégica de los puertos donde se desembarca y procesan las especies capturadas en la COBCS (San Carlos y Adolfo López Mateos).

Por último cabe mencionar que el presente trabajo es un acercamiento hacia la oceanografía, la cual es una rama poco explorada desde el enfoque geográfico. La tradición de los trabajos en geografía referentes a los recursos marinos, son de índole económica, dejando por un lado el estudio de los procesos físicos que sustentan tales recursos.

Referencias

- Aguirre, R. (2001), Los mares mexicanos a través de la Percepción Remota, Colec. Temas selectos de Geografía de México (III.1), Instituto de Geografía, UNAM/Plaza y Valdés, México.
- Aguirre, R. (2009), Bases físicas de la Percepción Remota, *Conceptos de Geomática y estudios de caso en México*, Instituto de Geografía UNAM, México.
- Arnau, J. (2001), Diseños de seris temporales: técnicas de análisis, Edicions Universitat de Barcelona, Barcelona.
- Bassols, A. (2002), Geografía socioeconómica de México: Aspectos físicos y económicos por regiones, Trillas, México.
- Castaño, E., y Martínez, J. (2008). Uso de la función de correlación cruzada en la identificación de modelos ARMA. *Revista Colombiana de Estadística* , 310
- Centro de Investigaciones Biológicas del Noreste, A.C (2007) Plan de manejo pesquero para pelágicos menores. La Paz, BCS.
- Cepeda Morales, J (2004) Aplicación de un modelo para estimar la producción primaria por sensores remotos en la región sur de la corriente de california: evaluación y consideraciones, tesis de maestría en ciencias en oceanografía costera, Ensenada B.C, UABC, Facultad de Ciencias Marinas.
- Chávez, G. (1981), Elementos de Oceanografía, Continental, México.
- Chuvieco, E. (2008), Teledetección Ambiental: La observación de la Tierra desde el Espacio, Tercera edición, Ariel Ciencia, España.

- Cifuentes, J., *Et Al*, (1990), *El océano y sus recursos X. Pesquerías*, Col. La ciencia desde México/87, Fondo de Cultura Económica, México.
- De la Horra, J (2001) *Estadística aplicada*, Díaz de Santos, Madrid.
- De la Lanza, G. (1991) *Oceanografía de mares mexicanos*, AGT Editor, México.
- De la Lanza, G. (2001), *Características Físico-Químicas de los mares de México*, Colec. Temas selectos de Geografía de México (I.9), Instituto de Geografía, UNAM/Plaza y Valdés, México.
- Doumengue, F. (1965), *Geografía de los mares*, Colec. La Geografía y sus problemas, Ariel, España.
- Durazo, R, *Et Al*, (2005) *Condiciones oceanográficas frente a la costa occidental de Baja California, 2002–2003: Influencia de un El Niño débil y del incremento de agua subártica*, *Ciencias Marinas* 31(3): 537–552
- Ebdon, D. (1982) *Estadística para geógrafos*, Oikos-tau, Barcelona.
- Edwards, L. (2005) *Motions of the Ocean: The California Current* (en línea). Disponible en <http://www.calclim.dri.edu/ccw200501.html>
- FAO, (2010) *La telepercepción como fuente de datos* (en línea). Disponible en <http://www.fao.org/docrep/003/T0446S/T0446S04.htm>
- Flores, E (1998) *Geosudcalifornia: Geografía, agua y ciclones*, UABCS, La Paz, México.
- García de Miranda, E, (2004) *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen : para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana*, 5ta edición, Instituto de Geografía, UNAM, México.

- Grande-Vidal, J. (2006), La explotación pesquera en México, *Pesca acuicultura e Investigación en México*, Guzmán, P. y Fuentes, D., Cámara de diputados LIX Legislatura, Comisión de pesca/CEDRSSA, México.
- Hernández, B. (2010) Producción primaria nueva (Pnueva) en la región sur de la Corriente de California: una propuesta de ordenamiento ecológico marino, Tesis de doctorado en geografía, México D.F, Instituto de Geografía, UNAM.
- INAPESCA (2012), Comunicado certificación sardina (en línea). Disponible en <http://www.inapesca.gob.mx/portal/sala-de-prensa/comunicados/152-comunicado-certificacion-sardina>
- Hernández, S. (1987) Pesquerías pelágicas y neríticas de la costa occidental de Baja California calcofi rep., vol. xxviii.
- IMECOCAL, (2011). Antecedentes (en línea). Disponible en <http://imecocal.cicese.mx/antecedentes.html>
- INEGI, (2011) Elementos de percepción remota (en línea). Disponible en <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/imgpercepcion/ImgSatelite/Elementos.aspx>
- INEGI, (2000) Marco geoestadístico de Baja California Sur.
- INEGI, (2010) Perspectiva estadística de Baja California Sur
- Lefevre, A. (2003), Mares y Océanos ¿El Planeta líquido?, Colec. El mundo contemporáneo, Larousse, España.

- Lira, J. (1987), *La percepción remota: nuestros ojos desde el espacio*, Colec. La ciencia desde México / 33, Fondo de Cultura Económica, México.
- Macías Carballo, M (2010) Variabilidad espacial de la forma espectral del fitoplancton y su relación taxonómica en abril 2008 en la zona occidental de Baja California, Tesis para obtener el título de Oceanólogo, Ensenada B.C, UABC, Facultad de Ciencias Marinas
- Miguélez, F. (2002), *Teledetección de pesquerías y predicción de mareas tóxicas*, Netbiblio, S.L., España.
- Nevárez Martínez, M, et al (2005) Propuesta de plan de manejo para la pesquería de pelágicos menores, INAPESCA, Guaymas Sonora.
- Nevárez Martínez, M, et al (2009) propuesta de plan de manejo para la pesquería de pelágicos menores, INAPESCA, Guaymas, México.
- PARTNeR, (2009) Propiedades de la radiación electromagnética (en línea). Disponible en, http://partner.cab.intacsic.es/index.php?Section=Curso_Fundamentos_Capitulo_1
- Pérez, C. y Muñoz, A. (2006), *Teledetección: Nociones y Aplicaciones*, Universidad de Salamanca, España.
- Ramos Castillejos, J (2007) Análisis morfológico y genético de las paralarvas *Rhynchoteuthion* del calamar gigante *dosidicus gigas* (d'orbigny, 1835) y del calamar púrpura *sthenoteuthis oualaniensis* (lesson, 1830) Tesis de maestría en Ciencias, La Paz B.C.S, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste.

- Rodríguez, M. (1988), *Los recursos pesqueros de México y sus pesquerías*, Secretaria de Pesca, México.
- Rosas, R (2007) Descripción de la alimentación del Calamar Gigante *Dosidicus gigas* D´Orbigny, 1835 en la costa Occidental de Baja California, Tesis de maestría en Ciencias, La Paz B.C.S, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste.
- Rowntree, L. Charting Climate Change on the Central Coast New Report on Cordell Bank and Gulf of Farallones (en línea). Disponible en <http://baynature.org/articles/charting-climate-change-on-the-central-coast/>
- Ruiz, M. (1985), Recursos pesqueros de las costas de México, limusa, México.
- SAGARPA (2008) Anuario estadístico de pesca
- SAGARPA (2004 a) Carta Nacional Pesquera
- SAGARPA, (2004 b) Sustentabilidad y Pesca Responsable en México, INAPESCA, México, D.F
- Sobrino, J. y Raissouni, N. (2000), *Teledetección*, Universidad de Valencia/Guada impresores S.L., España.
- Uribe, A (2007) Relación de los derroteros de las tortugas marinas *Chelonia mydas* y *Caretta caretta* con la concentración de Clorofila-a y la Temperatura Superficial del Mar obtenidas con imágenes satelitales , Tesis de maestría en Ciencias, México D.F, Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología, UNAM .

- Van der Pol (2012) Electromagnetic radiation (en línea) University of the Twente. Disponible en.
<http://physics.schooltool.nl/irspectroscopy/theory.php>
- Vidal Zepeda, R (2005) Las regiones climáticas de México, Colec. Temas selectos de Geografía de México (1.2.2), Instituto de Geografía, UNAM/Plaza y Valdés, México.
- Weihaupt, J (1984) *Exploración de los océanos*, Cecsá, México.
- Wong, K. A Moveable Feast: the Ups and Downs of Coastal Upwelling (en línea). Disponible en <http://baynature.org/articles/a-moveable-feast/>
- Zaragoza Álvarez, R (2010) Tipología y regionalización físico-geográfica de la península de Baja California, México. Tesis de maestría en Geografía, México D.F, UNAM, FFyL

Glosario

Absorción: Reducción de la fuerza de una onda electromagnética que se propaga a través de un medio, determinada por las condiciones dieléctricas del material.

Actividad pesquera: Conjunto de acciones de investigación, administrativas, legales, de captura, de industrialización, de comercialización etc., que tienen que ver con el aprovechamiento de los recursos biológicos cuyo medio de vida es el agua.

Anomalía: La diferencia en más (+) o en menos (-) que se observa en un lugar, respecto a su normal climática. Si es más, se denomina anomalía positiva, se es menos, anomalía negativa.

Arte de pesca: Equipo empleado en la pesca. Incluye el equipo utilizado para la búsqueda y localización de peces y el aparejo en sí; por ejemplo redes, líneas, etc., comúnmente conocidas como artes de pesca. Se incluye también cualquier equipo fijo, como malacates, poleas hidráulicas, etc.

Atmósfera: La porción gaseosa o de aire del medio ambiente físico que rodea al planeta. En el caso de la tierra, se mantiene más o menos cerca de la superficie gracias a la atracción de la fuerza de gravedad de la tierra. La atmósfera se divide en: troposfera, estratosfera, mesosfera, ionosfera y exosfera.

Bahía: Entrada considerable del mar en la costa. Es más grande que una caleta y menor que un golfo.

Banda espectral: es una selección de longitudes de onda con comportamientos electromagnéticos similares.

Barredor multiespectral. Sistema barredor que simultáneamente adquiere imágenes de una misma escena en varias bandas de longitud de onda.

Biogeografía. Ciencia que estudia la distribución de los seres vivos en el planeta.

Biomasa. La cantidad de materia por unidad de superficie o volumen de agua, que se expresa en unidades de peso.

Cadena trófica: Cadena de seres vivos en que cada eslabón se alimenta y obtiene energía del eslabón precedente y a su vez sirve de alimento y proporciona energía al siguiente.

Captura: Es una fase de la actividad pesquera y consiste en atrapar a la fauna acuática, empleando para el efecto distintos métodos. Comúnmente se le llama pesca.

Cardumen: Agrupación transitoria de peces de una misma población o especie unida por una conducta semejante.

Carta nacional pesquera: Es la presentación cartográfica y escrita que contiene el resumen de la información necesaria del diagnóstico y evaluación integral de la actividad pesquera y acuícola, así como los indicadores sobre la disponibilidad y conservación de los recursos pesqueros y acuícolas, en aguas de jurisdicción federal. Su contenido tendrá carácter informativo para los sectores productivos y será vinculante en la toma de decisiones de la autoridad pesquera en la adopción e implementación de instrumentos y medidas para el control del esfuerzo pesquero, en la resolución de solicitudes de concesiones y permisos para la realización de actividades pesqueras y acuícolas, y en la implementación y ejecución de acciones y medidas relacionadas con dichos actos administrativos.

Clorofila: Sustancia verdosa vegetal producida por fitoplancton que forman la base de nutrientes de los ecosistemas oceánicos.

Consumo humano directo: Consumo de especies pesqueras por la población.

Consumo humano indirecto: Consumo de especies pesqueras a través de del consumo de carne de animales alimentados con harina de pescado.

Corriente marina: Movimiento continuo de agua, en el océano, con una dirección determinada.

Costa: Línea más o menos sinuosa que delimita el encuentro de las aguas con la tierra. Zona en la que los procesos costeros funcionan o ejercen una marcada influencia.

Diatomea: Vegetal microscópico con su célula cubierta por una pared dividida en dos tapas o valvas formadas por sílice; integran el fitoplancton.

Ecosonda: Aparato que propaga las ondas sonoras en el agua para conocer las características del fondo marino o detectar bancos de peces.

Esfuerzo pesquero: El número de individuos, embarcaciones y/o artes de pesca que son aplicadas en la captura o extracción de una o varias especies en una zona y periodo determinados.

Especie: Conjunto de seres que tienen uno o varios caracteres comunes.

Espectro electromagnético: El espectro electromagnético es la organización de bandas de longitudes de onda o frecuencia desde las más cortas a las más largas. En Percepción Remota sólo se utilizan algunas de estas bandas, para obtener información de la superficie de la Tierra o de la atmósfera.

Estación: Término usado en oceanografía para referirse a los lugares en donde se registran observaciones y mediciones.

Firma espectral: es la forma peculiar de reflejar o emitir energía de un determinado objeto o cubierta. Depende de las características físicas o químicas del objeto que interacciona con la energía electromagnética, y varía según las longitudes de onda.

Fotón: Cada una de las partículas que componen un rayo de luz.

Fotosíntesis. Elaboración de sustancias orgánicas (alimento) a partir de bióxido de carbono y del agua, en presencia de clorofila y utilizando la energía solar; durante el proceso se libera oxígeno.

Golfo: Entrada en la costa, de gran tamaño, comprendida entre dos salientes llamados cabos.

Imagen de satélite: Es una representación pictórica de la medición de energía electromagnética registrada por un sensor; y no por medios fotográficos. Una fotografía se toma generalmente dentro de un cierto rango del espectro (luz visible). Los satélites toman imágenes más allá de este rango limitado. Las imágenes de satélite son ficheros ráster, formadas por una matriz regular o rejilla de celdas, a cada una de las cuales, denominada píxel (Picture Element, Elemento de Imagen), se le asigna un valor digital, que corresponde a la reflectividad recogida por el sensor.

Latitud: Líneas imaginarias paralelas que circundan el globo tanto al norte como al sur del ecuador. Los polos están ubicados a 90 grados de latitud Norte y Sur y el ecuador a cero grados (0) de latitud.

Longitud de onda. La distancia entre crestas de ondas sucesivas u otros puntos equivalentes en una onda armónica.

Longitud: Lugar al este u oeste al que se le asigna cero (0) grados de longitud en referencia al meridiano de origen (Greenwich). La distancia entre las líneas imaginarias de longitud es mayor en el ecuador y menor en las latitudes altas, intersectándose todas en los polos.

Malacate: Máquina de forma variada compuesta por tambores en donde se enrolla el cable; puede ser de vapor, hidráulica o eléctrica. Se utiliza para cobrar el arte y para realizar las maniobras de carga y descarga.

Onda electromagnética: Es una onda descrita por variaciones en los campos eléctrico y magnético. Buenos ejemplos de este tipo de ondas son: las ondas de luz, ondas de radio y las microondas. Todas estas ondas se propagan a la velocidad de la luz en el "espacio libre".

Percepción remota: La recolección de información acerca de un objeto o evento sin estar en contacto físico él. La percepción remota está restringida a métodos que graban la radiación electromagnética reflejada o radiada desde un objeto, la cual excluye estudios magnéticos o de gravedad que graban campos de fuerza.

Pesca: Es el acto de extraer, capturar, coleccionar o cultivar por cualquier procedimiento autorizado, especies biológicas cuyo medio de vida total, parcial o temporal sea el agua, así como los actos previos o posteriores relacionados con ella.

Peso vivo: Peso total del producto en el momento de obtenerse en su medio natural; se determina con base en el peso desembarcado, aplicando factores de conversión establecidos por el Instituto Nacional de la Pesca de acuerdo a la metodología universalmente empleada por la F.A.O.

Pesquería: Es un sistema de producción pesquera cuya base es la extracción de un recurso silvestre acuático particular, por medio de embarcaciones específicas; artes de pesca determinadas y una fuerza de trabajo bien definida. En forma amplia, es el conjunto de actividades económicas que se basan en la explotación de un recurso natural, constituido por una o varias especies acuáticas y que presentan regularidades geográficas y tecnológicas.

Plancton. Conjunto de seres vivos, animales y vegetales, generalmente microscópicos, que flotan a la deriva en las aguas dulces y marinas.

Plataforma continental: Zona que se extiende desde la línea de inmersión permanente hasta la profundidad cercana a los 200 m. mar adentro.

Potencial pesquero: Es la captura máxima sostenible estimada de un recurso, sin que se vea afectada la biomasa de manera irreversible.

Productividad pesquera: El rendimiento total de una pesquería durante un año.

Puerto: Es el lugar de la costa, abrigado natural o artificialmente, en donde se efectúan operaciones de carga o descarga.

Radiación electromagnética: Energía propagada a través del espacio o a través de medios materiales en forma de una interacción avanzada entre campos eléctricos y magnéticos.

Recursos pesqueros: Las especies acuáticas, sus productos y subproductos, obtenidos mediante su cultivo, extracción o captura, en su estado natural.

Resolución: La resolución de un sensor es su habilidad para registrar información en detalle de las distintas cubiertas. La resolución depende de la capacidad de los sensores para distinguir variaciones de la energía electromagnética, del detalle espacial que captura y del número y ancho de las bandas que alberga.

Satélite: Cualquier objeto que recorre una órbita alrededor de un cuerpo celeste como la luna. El término se usa normalmente para designar las plataformas artificiales que orbitan la Tierra.

Sensor pasivo: Sistemas de percepción remota los cuales usan la porción visible del espectro electromagnético. Estos sistemas de teledetección reciben la señal de una fuente de luz o energía externa reflejada por la superficie de los cuerpos. Estos sensores están incluidos sobre la mayoría de los satélites que manejan las bandas del espectro visible.

Sensores remotos activos: Sistemas de percepción remota que transmiten sus propias emanaciones electromagnéticas a un objeto y registra la energía reflejada o refractada de regreso al sensor. Entre los sensores activos más comunes están los radares, que pueden trabajar bajo cualquier condición atmosférica, tanto de día como de noche. Estos sensores trabajan principalmente en la región de las microondas.

Sensores remotos: Sistemas de detección y medida a distancia, generalmente empleados desde aeronaves o satélites, con los que se obtiene información meteorológica, oceanográfica, sobre la cubierta vegetal, etc. Para tales medidas se utilizan sistemas de detección activos y pasivos.

Sistemas de Información Geográfica:(SIG) Programas informáticos que proporcionan herramientas para el procesamiento, gestión, análisis y representación de datos con una componente cartográfica.

Sonar: Aparato que sirve para determinar por métodos sónicos la presencia, localización o naturaleza de los objetos en el mar.

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.

Tambor. Cilindro de madera o hierro, de propulsión mecánica o hidráulica, que se usa para cobrar cables, cabos y redes.

Temperatura Superficial del Mar. La temperatura de la capa de agua de mar que se encuentra en contacto con la atmósfera.

Termoclina: Plano de discontinuidad vertical de temperatura en el océano. Es aquella zona de la capa superficial del océano en la cual la temperatura del agua del mar tiene una rápida disminución en sentido vertical con poco aumento de la profundidad.

Ventanas atmosféricas: Las ventanas atmosféricas son rangos del espectro electromagnético en que la atmósfera tiene poca o muy poca influencia, lo que permite la percepción remota desde el espacio.