



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

POSGRADO EN CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA

Análisis de la temperatura superficial marina y clorofila a de las costas de Jalisco y Colima mediante el uso de imágenes satelitales (2003-2013) y su relación con la pesca de *Scomberomorus sierra* (Percoidei:Scombridae).

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

PRESENTA:

Biól. Hiram Castro Garibay

TUTOR PRINCIPAL:

Dr. Manuel Gallardo Cabello

Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. UNAM

COMITÉ TUTOR:

Dr. Miguel Ángel Alatorre Mendieta

Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. UNAM

Dr. Raúl Aguirre Gómez

Instituto de Geografía. UNAM

Dra. Olivia Salmerón García

Instituto de Geografía. UNAM

Dra. Elaine Espino Barr

Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura. SAGARPA

CIUDAD UNIVERSITARIA, CD. MX., DICIEMBRE, 2017



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.



Análisis de la temperatura superficial marina y clorofila a de las costas de Jalisco y Colima mediante el uso de imágenes satelitales (2003-2013) y su relación con la pesca de *Scomberomorus sierra* (Percoidei: Scombridae).

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE:
MAESTRO EN CIENCIAS

PRESENTA:

Biól. Hiram Castro Garibay

TUTOR PRINCIPAL:

Dr. Manuel Gallardo Cabello

Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. UNAM

COMITÉ TUTOR:

Dr. Miguel Ángel Alatorre Mendieta

Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. UNAM

Dr. Raúl Aguirre Gómez

Instituto de Geografía. UNAM

Dra. Olivia Salmerón García

Instituto de Geografía. UNAM

Dra. Elaine Espino Barr

Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura. SAGARPA

MÉXICO, CD. MX., DICIEMBRE, 2017



En memoria de las víctimas y afectados por el sismo del 8 y 19 de septiembre (2017), tragedias que nos hacen recordar que podemos trabajar, ayudar, servir y vivir como hermanos.

AGRADECIMIENTOS

A mi familia: **Teresa Garibay, Héctor Castro Torres e Hildebrando Castro Garibay** por darme valiosos consejos, recomendaciones, acompañándome en los días más alegres y ayudarme a superar los más difíciles de mi vida.

Agradezco al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)** por la confianza que depositó en mí y por el apoyo para la realización de este proyecto de tesis.

Agradezco a mi *alma mater* la **Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)** y al **Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología (PCML)** por abrirme sus puertas y permitir realizar mis estudios de posgrado, además un especial agradecimiento al personal de la sede en la Ciudad de México (Dra. Ruth Cecilia Vanegas Pérez, M. en C. Diana Juárez Bustos, Chantal Ruiz Guerrero, Guadalupe Godoy Medina, Gabriela Almaraz Mejía, Biol. Yazmín Valenzuela Velázquez) quienes me apoyaron en trámites y dudas con entera disposición y amabilidad.

Agradezco al **Instituto de Ciencias del Mar y Limnología (ICML)** por permitirme hacer uso de sus instalaciones; al **Instituto Nacional de la Pesca (INAPESCA) CRIP Manzanillo** y a la **Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca (CONAPESCA)** por facilitarme y permitirme el uso de sus datos para la realización de este estudio.

Un especial agradecimiento a mis tutores, colegas y amigos, **Dr. Manuel Gallardo Cabello** y la **Dra. Elaine Espino Barr** por su gran apoyo y lecciones durante el transcurso del posgrado y en la realización de esta tesis.

Finalmente, agradezco a la comunidad Bahá'í en la Ciudad de México y a todas las personas que me faltó mencionar que en algún momento me ayudaron con sus consejos, me apoyaron en mis ideas y me brindaron su amistad.

ÍNDICE

| | |
|--|------|
| ÍNDICE..... | i |
| Índice de Figuras | iii |
| Índice de tablas | vi |
| ABSTRACT | vii |
| RESUMEN | viii |
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| Percepción remota | 2 |
| Compuestos satelitales NSST y CHLOa | 3 |
| Área de estudio | 5 |
| Localización | 5 |
| Características | 5 |
| Corrientes marinas | 9 |
| Fenómeno <i>El Niño</i> | 10 |
| Población | 13 |
| <i>Scomberomorus sierra</i> | 14 |
| Características | 14 |
| Hábitat y biología | 15 |
| Pesca y utilización | 16 |
| OBJETIVOS | 19 |
| MÉTODOS..... | 20 |
| Regionalización del área de estudio..... | 20 |
| Obtención de datos..... | 21 |
| Compuestos mensuales de imágenes satelitales..... | 21 |
| Información de pesca..... | 21 |
| Manejo de datos | 22 |
| Subregionalización de los píxeles por distancia de la costa..... | 22 |
| Subregionalización de los píxeles por latitud..... | 24 |
| Organización de los datos | 24 |
| Anomalías..... | 25 |
| Correlación | 25 |
| Preparación de datos | 25 |

| | |
|---|----|
| Aplicación | 26 |
| RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 27 |
| Descripción de las variables en las costas..... | 27 |
| Variación estacional | 27 |
| Variación por la distancia de la costa y la latitud | 30 |
| Anomalías de la NSST y la CHLOa (2003-2013) | 40 |
| Relación CHLOa y NSST | 43 |
| Influencia del Niño en el área de estudio..... | 44 |
| Pesquerías y parámetros de la <i>S. sierra</i> | 46 |
| Poblaciones de sierra | 46 |
| Variación estacional de captura | 48 |
| Anomalías de la captura (2003-2013)..... | 48 |
| Relación de CHLOa y NSST con <i>S. sierra</i> | 50 |
| Periodos de reproducción | 58 |
| CONCLUSIONES | 61 |
| RECOMENDACIONES | 62 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | 63 |

Índice de Figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1: Localización de los estados de interés para este estudio. | 5 |
| Figura 2: Batimetría generada con datos de GEBCO (2016). | 6 |
| Figura 3: Mapa de climas presentes en las costas de Jalisco y Colima generado a partir de datos de la CONABIO (2012a) | 6 |
| Figura 4: Variación de la media de precipitaciones mensuales (2004-2013) obtenidas a partir de datos del (Servicio Meteorológico Nacional, 2016). | 7 |
| Figura 5: Mapas generados a partir de la CONABIO (2012a), se muestran los sitios prioritarios marinos para la conservación de la biodiversidad (GAP- CONABIO), las áreas naturales protegidas (ANP) y los humedales de importancia internacional (RAMSAR) | 8 |
| Figura 6: Mapas modificados de Badan (1997), muestran las variaciones mensuales en la influencia de las corrientes: CC Corriente de California, CCR Corriente Costa Rica, CCE Contra Corriente Ecuatorial, CNE Corriente Nor-Ecuatorial, CSE Corriente Sur-Ecuatorial. | 9 |
| Figura 7: Fenómenos de <i>El Niño</i> y <i>La Niña</i> en el pacífico (modificado de NOAA, 2014) | 12 |
| Figura 8: Valores del Índice Oceánico de <i>El Niño</i> de 2003 al 2013 con datos de la NOAA (National Weather Service, 2015)..... | 12 |
| Figura 9: Datos del censo de INEGI (2010) del número de habitantes por municipio..... | 13 |
| Figura 10: Actividades económicas y su aportación al PIB (modificado de INEGI, 2010). | 14 |
| Figura 11: Foto de <i>Scomberomorus sierra</i> , se muestra la talla máxima que alcanza la especie en el mundo comparada con un hombre de 1.7m de altura (modificado de Espino-Barr <i>et al.</i> , 2012).... | 15 |
| Figura 12: Mapa que muestra en rojo los registros de <i>S. sierra</i> de colecciones ictiológicas nacionales e internacionales tomados del portal GBIF (2013). | 15 |
| Figura 13: Media anual (2003-2013) de pesca de sierra por estado obtenido a partir de datos de anuarios de (CONAPESCA, 2014)..... | 16 |
| Figura 14: Captura de <i>Scomberomorus sierra</i> en el estado de Colima 2003. (modificada de Espino-Barr <i>et al.</i> , 2012)..... | 18 |
| Figura 15: Se muestra el área de estudio resultante. A) Con la línea azul se identifica la distancia máxima que alcanzaría una panga en un recorrido de 24 millas náuticas desde la costa norte de Jalisco, B) mismo caso pero partiendo de la costa sur de Colima. | 20 |
| Figura 16: Mapa que muestra las cuatro oficinas de pesca en los Estados..... | 22 |
| Figura 17: Regiones creadas con base a la distancia de la costa: 0-6, 6-12, 12-18 y 18-24 mn. | 23 |
| Figura 18: Profundidad resultante a partir de datos obtenidos en GEBCO (2016)..... | 23 |
| Figura 19: Profundidad de Bahía Banderas a partir de datos obtenidos en GEBCO (2016). | 27 |

| | |
|--|----|
| Figura 20: Variación de la media mensual (2003-2013) de la NSST y la concentración de CHLOa para toda el área de estudio. | 28 |
| Figura 21: a) Diagrama de las masas de agua dominantes en el Pacífico Trópico-Oriental (modificado de Badan, 1997). b) Se muestra la media de la NSST del área de estudio con los datos de salinidad (NASA, 2013) en los años 2012 y 2013. | 29 |
| Figura 22: Comparación entre tamaño y localización del pixel de AQUARIUS (A) más cercano al área de estudio (B). | 29 |
| Figura 23: Variación de la media NSST y la CHLOa en el área de estudio para los 11 años..... | 30 |
| Figura 24: Mapas de la NSST para el mes de febrero a diferente escala. Se observa la surgencia de Bahía Banderas con menores temperaturas en Cabo Corrientes..... | 31 |
| Figura 25: Variación de las medias de NSST según su latitud y mes del año..... | 32 |
| Figura 26: Variación mensual de la media de NSST según su distancia de la costa. | 33 |
| Figura 27: Mapas que muestran la NSST para los meses de junio y noviembre, se observan las diferencias en la distribución de las temperaturas menores..... | 33 |
| Figura 28: Mapa de la NSST para el mes de diciembre, se observan menores temperaturas en Bahía Banderas..... | 34 |
| Figura 29: Variación mensual de la media de CHLOa según su distancia de la costa..... | 35 |
| Figura 30: Variación de las medias de la concentración de CHLOa según su latitud y mes del año. 36 | |
| Figura 31: Media de febrero a mayo de las concentraciones de CHLOa entre la distancia de la costa y la latitud..... | 37 |
| Figura 32: Mapas de la concentración de CHLOa para los meses de mayo y junio..... | 38 |
| Figura 33: Medias de la CHLOa en función de la latitud y distancia de la costa el mes de agosto... 38 | |
| Figura 34: Concentración de CHLOa del mes de agosto en diferentes regiones del área de estudio y a diferente escala, con niveles altos: A) Toda el área de estudio, B) Río Ameca en Bahía Banderas, C) Laguna de Chalacatepec, y D) Río Coahuayana en límite fronterizo Colima y Michoacán..... | 39 |
| Figura 35: Anomalías del 2003 al 2013 en el área de estudio para: a) NSST y b) concentración de CHLOa..... | 40 |
| Figura 36: Incremento de CHLOa en el mes de febrero del 2008 respecto su media (2003-2013). 41 | |
| Figura 37: Comparación de la NSST entre diciembre del 2010 respecto la media de los 11 años de estudio..... | 42 |
| Figura 38: Variación de la media de CHLOa y NSST de toda el área de estudio en 2005; se observa el aumento de CHLOa y una alta NSST en septiembre. | 44 |

| | |
|--|----|
| Figura 39: Variación del ONI y las anomalías de NSST..... | 45 |
| Figura 40: Mapa modificado de Dóminguez-López <i>et al.</i> (2010), se muestran las tres poblaciones de <i>S. sierra</i> identificadas en su estudio: En rojo Sinaloa (SIN), en azul Oaxaca (Oax) y Chiapas (Ch), en verde Perú (Pe)..... | 47 |
| Figura 41: Variación mensual promedio de la captura de <i>S. sierra</i> (toneladas de peso vivo)..... | 48 |
| Figura 42: Anomalías de captura de sierra del 2003 al 2013..... | 49 |
| Figura 43: Variación de la media mensual de la CHLOa, NSST y la captura de la sierra: a) según el año y b) la media de todos los años..... | 51 |
| Figura 44: Variación anual de la CHLOa y la captura de la sierra en el 2005..... | 52 |
| Figura 45: Variación anual de la correlación (r^2) según la distancia de la costa entre la CHLOa y la captura de la sierra..... | 53 |
| Figura 46: Variación anual de la correlación (r^2) según la distancia de la costa entre la NSST y la captura de la sierra..... | 55 |
| Figura 47: Variación anual de las anomalías de captura, CHLOa y NSST..... | 56 |
| Figura 48: Variación media mensual en el 2003 de la captura de la sierra, la NSST y la CHLOa en el área de estudio..... | 58 |
| Figura 49: Variación mensual de las medias del índice gonadosomático (IGS), el índice hepatosomático (IHS) y el índice de repleción gástrica (IRG) de <i>Scomberomorus sierra</i> (tomado de Espino-Barr <i>et al.</i> , 2017)..... | 59 |
| Figura 50: Factores de condición de Fulton y Clark (tomado de Espino-Barr <i>et al.</i> 2017). | 59 |
| Figura 51: Concentración de CHLOa en el área de estudio, se observan áreas muy cercanas a la costa con altas concentraciones ($>2\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$)..... | 60 |

Índice de tablas

| | |
|--|----|
| Tabla 1: Especies comerciales capturadas incidentalmente junto con la sierra y su porcentaje de aparición (modificada de Espino-Barr <i>et al.</i> , 2012)..... | 17 |
| Tabla 2: Ejemplo de las categorías empleadas para el acomodo y análisis de los pixeles. | 24 |
| Tabla 3: Acomodo de los datos por variable..... | 26 |
| Tabla 4: Resumen de los valores mayores y menores de las variables NSST y CHLOa..... | 43 |
| Tabla 5: Correlaciones entre la CHLOa y la NSST por año. | 43 |
| Tabla 6: Valores de las correlaciones por año entre la NSST y el ONI | 45 |
| Tabla 7: Valores mensuales del índice de correlación entre NSST y ONI. | 46 |
| Tabla 8: Parámetros poblacionales de <i>S. sierra</i> para el Pacífico Central Mexicano (Jalisco-Colima) y sus diferencias con otros estudios. (Modificada de Nava-Ortega <i>et al.</i> 2012). | 47 |
| Tabla 9: Resumen de los valores mayores y menores de la captura de sierra..... | 50 |
| Tabla 10: Correlaciones entre la CHLOa y la captura de sierra por año. | 52 |
| Tabla 11: Correlaciones entre la NSST y la captura de sierra por año..... | 54 |
| Tabla 12: Valores anuales de la correlación entre las anomalías de la CHLOa, NSST y la captura de <i>S. sierra</i> | 57 |

ABSTRACT

Chlorophyll a concentrations (CHLOa) and nocturnal sea surface temperature (NSST) off the coast of Jalisco and Colima, México (106°-101°O, 18°-23°N) from 2003 to 2013 were related to the capture of sierra *Scomberomorus sierra* (data obtained from Arrival Reports). Data of CHLOa has an inverse proportional relation with NSST. From February to April NSST had a lower average to 25°C and in this period CHLOa had the highest value. From July to October CHLOa reached its minimum value and NSST an average of 29°C. CHLOa concentrations reach its highest value at a distance of 0 to 6 nautical miles (mn) from the coast; from 18 to 24 mn values descend. During rainy season CHLOa maintained values higher than 2 mg·m⁻³ in areas near the coast, due to river flow. With the NSST compound, the presence of a coastal current was detected from 0 to 6 nm from northwest to southeast direction, transporting water of lower temperature; signs of this current vanish in summer when the area reaches an isotherm. It was observed that most years show that the Oceanic Niño Index (ONI) and NSST have a significant correlation, being stronger in those years with a moderate phenomenon (Niño or Niña). Jalisco has higher catches of *S. sierra* than Colima, and variations from 18.5 t in March to 5.9 t in August. Most capture of *S. sierra* in Jalisco and Colima are from January to May and secondly in November and December. Significant correlations ($p < 0.05$) were found between CHLOa and *S. sierra* catch, with changes from one year to the next. Significant inverse correlations ($p < 0.03$) were found between NSST and *S. sierra* catch, higher than 70%, except 2003 and 2005. During 2003 three periods of distribution and reproduction of *S. sierra* were found: 1) January to May, high concentrations of CHLOa and a low NSST, coinciding with high values of the gonadosomatic (GSI), hepatosomatic (HIS) and gastric repletion (GRI) indexes. Also there are high registers of *S. sierra* capture. 2) From June to August high values of GSI and GRI were found, although there were low concentrations of CHLOa and a raise in the NSST, possibly the species secludes itself to zones with high concentrations of CHLOa thanks to the transportation of organic matter, therefore a drastic decrease of captures is observed. 3) From October to December the rainy season comes to its end, first in Jalisco and later in Colima, while from November on CHLOa starts to increase and NSST to decline; with this, a rise in captures is observed and also increments in the GSI, HIS and GRI, although values do not reach the first two periods.

RESUMEN

Se analizaron las concentraciones de clorofila a (CHLOa) y la temperatura superficial marina nocturna (NSST) en las costas de Jalisco y Colima (106° – 101° O; 18° – 23° N) durante los años del 2003 al 2013. Se relacionaron los valores de la CHLOa y la NSST con los datos de la captura de la sierra *Scomberomorus sierra* obtenidos a través de los avisos de arribo. Los valores obtenidos muestran que la CHLOa mantiene una relación inversamente proporcional con la NSST. Durante los meses de febrero a abril la NSST muestra una media menor a los 25° C y en este mismo periodo la CHLOa alcanza sus máximos valores. Los meses de julio a octubre los valores de la CHLOa alcanzan sus valores mínimos y la NSST alcanza una media de 29° C. Se identificó que las concentraciones de la CHLOa alcanzan sus valores máximos de las 0 a las 6 millas náuticas (mn). A partir de las 18 a las 24 mn los valores descienden. En temporada de lluvias existen zonas aledañas a la costa en que la CHLOa mantiene valores mayores a $2\text{mg}/\text{m}^3$ debido al aporte de los ríos. Se detectó la presencia de una corriente costera de las 0 a las 6 mn en dirección noroeste-sureste transportando aguas de menor temperatura de latitudes mayores, la señal de esta corriente desaparece los meses de verano en que se alcanza la isoterma. Se observa que la mayoría de los años el Índice Oceánico *El Niño* (ONI por sus siglas en inglés) y la NSST presentan una correlación significativa siendo más fuerte en los años que se presenta un fenómeno moderado (Niño o Niña). Jalisco presenta mayores capturas de la sierra que Colima, así como mayores variaciones que oscilan entre 28.5t en marzo a 5.9t en agosto. Las mayores capturas de la sierra en Jalisco y Colima se llevan a cabo de enero a mayo y secundariamente de noviembre a diciembre. Se encontraron correlaciones significativas ($p < 0.05$) entre la CHLOa y la captura de la sierra, sin embargo esta varía de año en año, por otro lado se identificaron correlaciones inversas significativas ($p < 0.03$) entre la NSST y la captura de la sierra mayores al 70% exceptuando los años 2003 y 2005. Durante el 2003 se observaron tres periodos en la distribución y reproducción de la sierra. El primero, de enero a mayo, presenta altas concentraciones de CHLOa y menores NSST, lo cual coincide con altos valores del índice gonadosomático (IGS), hepatosomático (IHS) y de repleción gástrica (IRG), además muestran altos registros en la captura de *S. sierra*. El segundo, de junio a agosto, se identifica con altos valores en el IGS e IRG sin embargo presenta bajas concentraciones de CHLOa y un aumento de NSST, es posible que la especie se recluya en este periodo a determinadas áreas que mantienen elevadas concentraciones de CHLOa gracias al arrastre de materia orgánica, por tal motivo se ve una reducción drástica en sus capturas. El tercer periodo de octubre a diciembre, en los primeros meses comienza un declive en la temporada de lluvias dándose por finalizada primero en Jalisco y después en Colima, mientras que a partir de noviembre vuelve a incrementarse la CHLOa y a disminuir la NSST, con ello existe un alza en las capturas y comienza un incremento en los IGS, IHS e IRG, sin embargo no alcanza los valores de los dos primeros periodos.

INTRODUCCIÓN

Una labor primordial para el análisis de la pesquería en México son los estudios de las poblaciones de peces de una región determinada a lo largo de varios años, sin embargo es evidente que estas poblaciones no se encuentran aisladas y no viven en un medio estático. De tal manera las poblaciones de un sitio en particular se encuentran a expensas de las fluctuaciones que experimenta el ambiente, las interacciones con otras especies que lo habitan y a la presión que son sometidas por actividades humanas como la pesca.

Realizar estudios de un ambiente tan dinámico y cambiante como es el marítimo a meso o gran escala a través de datos tomados *in situ* tiene el inconveniente de que se requiere gran capital económico para tomar las mediciones necesarias en tiempo y espacio.

Un segundo método consiste en adquirir información por medio de *percepción remota*. El principal atributo de este método reside en la gran cobertura espacial que cubren los sensores casi de forma instantánea, lo cual permite realizar estudios espacio-temporales de las características oceánicas, además, gracias al desarrollo tecnológico en estas últimas décadas, es posible tener una aproximación cada vez más precisa de los factores biológico-ambientales (Gallegos *et al.*, 2006), así como la entrada, manejo y el análisis de la gran cantidad de datos obtenidos.

Sin embargo, son contados los estudios que se han realizado por este método para las costas de Jalisco y Colima y en su mayoría son áreas muy extensas de la región Panámica, como lo es el realizado por Gallegos *et al.* (2006), quien define áreas de 500 km a partir de la costa.

Este estudio se divide en dos partes, la primera consta de una descripción de la temperatura superficial marina nocturna (NSST) y la clorofila a (CHLOa) en las costas de Jalisco y Colima mediante el uso de compuestos satelitales de 11 años (2003-2013), la segunda entabla relación de estos parámetros con la pesca artesanal de *Scomberomorus sierra* Jordan y Starks, 1985.

Percepción remota

El término fue acuñado en 1960 por Evelyn Pruitt de la Oficina de Investigación Naval de los Estados Unidos (Butler *et al.*, 1990) y en la actualidad lo definimos como el conjunto de técnicas que permiten obtener y registrar información de objetos, áreas o fenómenos con base en mediciones tomadas a cierta distancia de ellos. Aunque el término abarca una gran cantidad de dispositivos como los que perciben gravedad, campos magnéticos u ondas de sonido, en la práctica se limita su uso para describir la recolección y análisis de datos de la radiación electromagnética, obtenidos por instrumentos transportados en o sobre la atmósfera (Butler *et al.*, 1990). El método en que se maneja según Rosete y Bocco (2003) consta de cinco componentes: la energía, la fuente de radiación, el blanco sobre el cual incide la radiación, el sensor y la vía de transmisión.

Bajo este criterio la percepción remota data desde 1858 con las primeras fotografías aéreas tomadas cerca de París por el fotógrafo Gaspard Tournachon. A partir de ese año se consumaron numerosos avances en los instrumentos de medición, sin embargo sería hasta la Primera Guerra Mundial cuando se empezó a sistematizar el uso de las imágenes adquiridas en gran escala y, hasta la Segunda Guerra Mundial, cuando dichas técnicas se volvieron altamente sofisticadas (Butler *et al.*, 1990).

Según Butler *et al.*, (1990) las plataformas que transportan estos instrumentos no se han quedado atrás y han sido de diversa índole como papalotes, cohetes, aviones, globos, sería hasta el año de 1957 con el lanzamiento de Sputnik 1 por la U.R.S.S, lo que marcaría el principio de toda una nueva serie de plataformas y dos años más tarde con el satélite EXPLORER-6 enviado por la NASA, en que se transmitiría la primera imagen de la tierra vista desde el espacio, a partir de ese momento diversas agencias han llevado a cabo numerosos lanzamientos de satélites con sensores cada vez más especializados.

Aunque en un inicio la percepción remota satelital fue diseñada para la toma de datos terrestres, se demostró más tarde el valor de la información obtenida del monitoreo del ambiente marino, satélites como NIMBUS-7 (1978) que transportó el Barredor de Color de la Zona Costera (CZCS), SEASAT (1978) con varios sensores marinos especializados (Butler *et al.*, 1990), ADEOS con el sensor OCTS (1996), GeoEye con el sensor SeaWiFS (1997), entre otros, han aportado valiosa información en este sentido.

Hoy en día los satélites juegan un papel muy importante como plataformas para los sensores remotos, diversas agencias espaciales ponen al alcance del público la descarga de sus datos a través de internet a un costo relativamente bajo o incluso gratuito. No obstante para realizar un estudio en particular no todas las imágenes son útiles, se debe realizar una selección para optar por la mejor opción. En este sentido Chuvieco (1995) menciona cuatro tipos de resolución que ayudarán a identificar las ventajas y desventajas de las imágenes provenientes de la percepción remota:

- *“Resolución espacial: Se refiere al cuerpo más pequeño que puede ser distinguido sobre una imagen.*
- *Resolución espectral: Representa el número y ancho de bandas espectrales que puede discriminar el sensor.*
- *Resolución radiométrica: Describe la sensibilidad del sensor y la capacidad del mismo de detectar variaciones en la radiancia espectral que recibe.*
- *Resolución temporal: Constituye la periodicidad de adquisición de imágenes de la misma porción de la superficie terrestre.”*

De este modo, imágenes con una alta resolución espacial podrían no tener suficiente resolución radiométrica, o bien, si en un estudio se busca hacer un análisis estacional, es necesario cerciorarse si se cuenta con la suficiente resolución temporal.

Compuestos satelitales NSST y CHLOa

En este estudio se trabajaron las costas mediante el análisis de compuestos satelitales mensuales de la clorofila a (CHLOa) y la temperatura superficial nocturna marina (NSST) procesados a partir de imágenes satelitales de resolución moderada (MODIS por sus siglas en inglés) por el Sistema de Monitoreo Oceánico (SATMO) (CONABIO, 2011).

Las imágenes MODIS provienen del sensor MODIS, el cual presenta una resolución radiométrica de 12 bit, una resolución espectral con 36 bandas que van desde el espectro visible hasta el infrarrojo térmico (0.4 μm -14.4 μm) y una resolución espacial moderada que va desde 1 km (bandas 8-36), hasta 500 m (bandas 3-7) e incluso llegando a los 250 m (bandas 1-2) (NASA, 2016). Dicho sensor se encuentra a bordo del satélite AQUA, mismo que fue lanzado con éxito el 4 de mayo del 2002 y es propiedad de la Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio (NASA por sus siglas en inglés), el cual es el resultado del trabajo conjunto entre los Estados Unidos, Japón y Brasil.

Una característica esencial de estas imágenes para la realización de este estudio fue su buena resolución temporal, debido a que tiene una franja de visión de 2,330 km cubriendo la superficie entera de la Tierra cada uno a dos días (NASA, 2016).

En México, estas imágenes se obtienen por medio de una estación terrena perteneciente a la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) y se procesan por medio de SATMO para entregar como producto final las imágenes de CHLOa y NSST.

Dicho proceso de obtención y manejo de imágenes lo describe de manera clara y concisa Cerdeira-Estrada y López-Saldaña (2011), donde indican que:

- Para la obtención de imágenes procesadas de CHLOa (en mg m^{-3}): *“se realiza a partir de la reflectancia teledetectada a 443, 490 y 555 nm, usando el algoritmo OC3M (O’Reilly, 2000)”*:

$$\text{Log}(\text{CHLO}_a) = 0.2830 - 2.753R_{3M} + 1.457R_{3M}^2 + 0.659R_{3M}^3 - 1.403R_{3M}^4$$

Donde:

$$R_{3M} = \log_{10} \left[\frac{\max(R_{rs}(443), R_{rs}(490))}{R_{rs}(555)} \right]$$

- Para el cálculo de imágenes de NSST: *“se utiliza la diferencia entre la temperatura de brillo en las longitudes de onda de 11 y 12 μm , de onda larga o del infrarrojo térmico (bandas 31 y 32 del MODIS)”*.

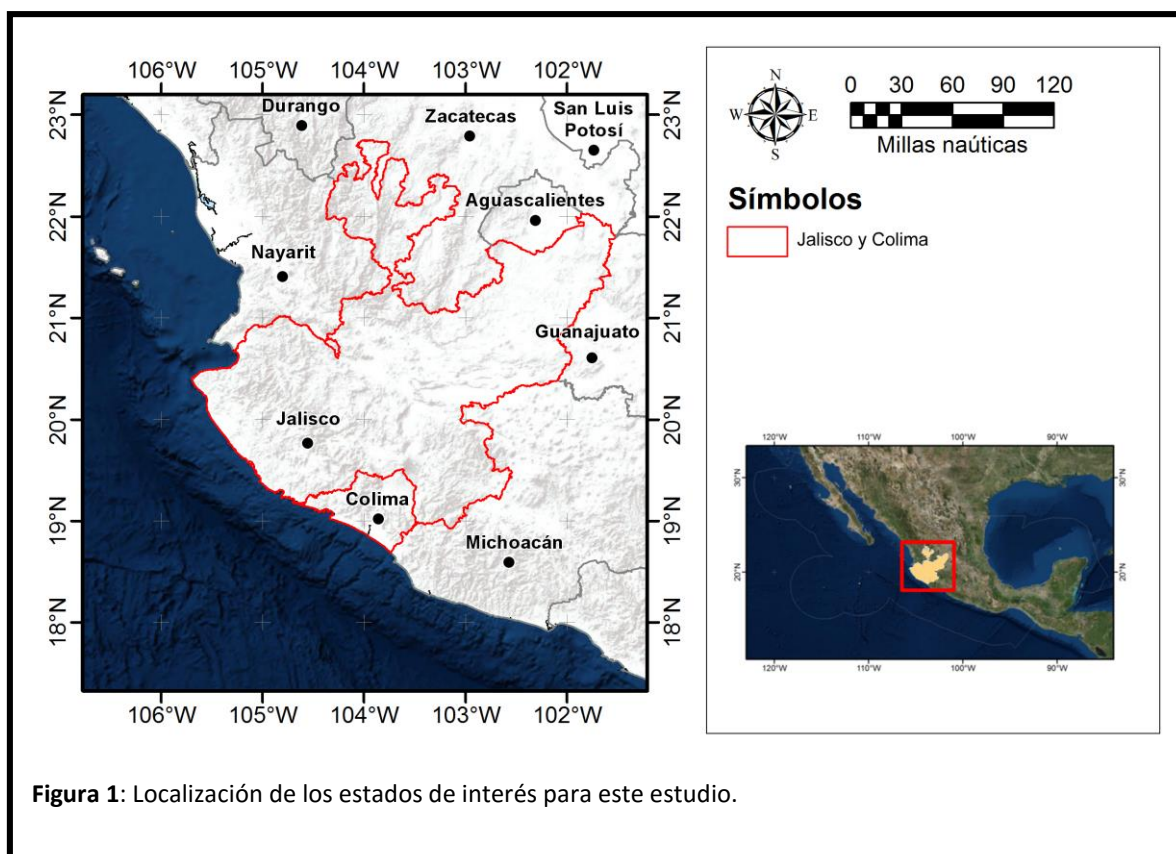
La CHLOa y la NSST son parámetros relacionados con varios procesos oceanográficos (Cerdeira-Estrada y López-Saldaña, 2011). La NSST en particular afecta procesos locales de interacción aire-mar y elementos de los ecosistemas marinos como la producción primaria, incluso puede ser útil para monitorear la salud de los ecosistemas marinos como los arrecifes coralinos y utilizarse como un indicador del estrés ambiental (Hu *et al.*, 2009). Por otra parte, la CHLOa es una molécula fundamental del fitoplancton, conocer su distribución y concentración sirve de enlace entre las propiedades oceanográficas físicas y biológicas, además ha permitido establecer estimaciones de la producción primaria fitoplanctónica a escala regional y global (O’Reilly, 2000).

De este modo, conocer la distribución espacio-temporal de los dos parámetros aporta información valiosa del hábitat donde se desenvuelven especies epipelágicas de importancia comercial, lo cual puede traducirse en un incremento o decremento de su captura.

Área de estudio

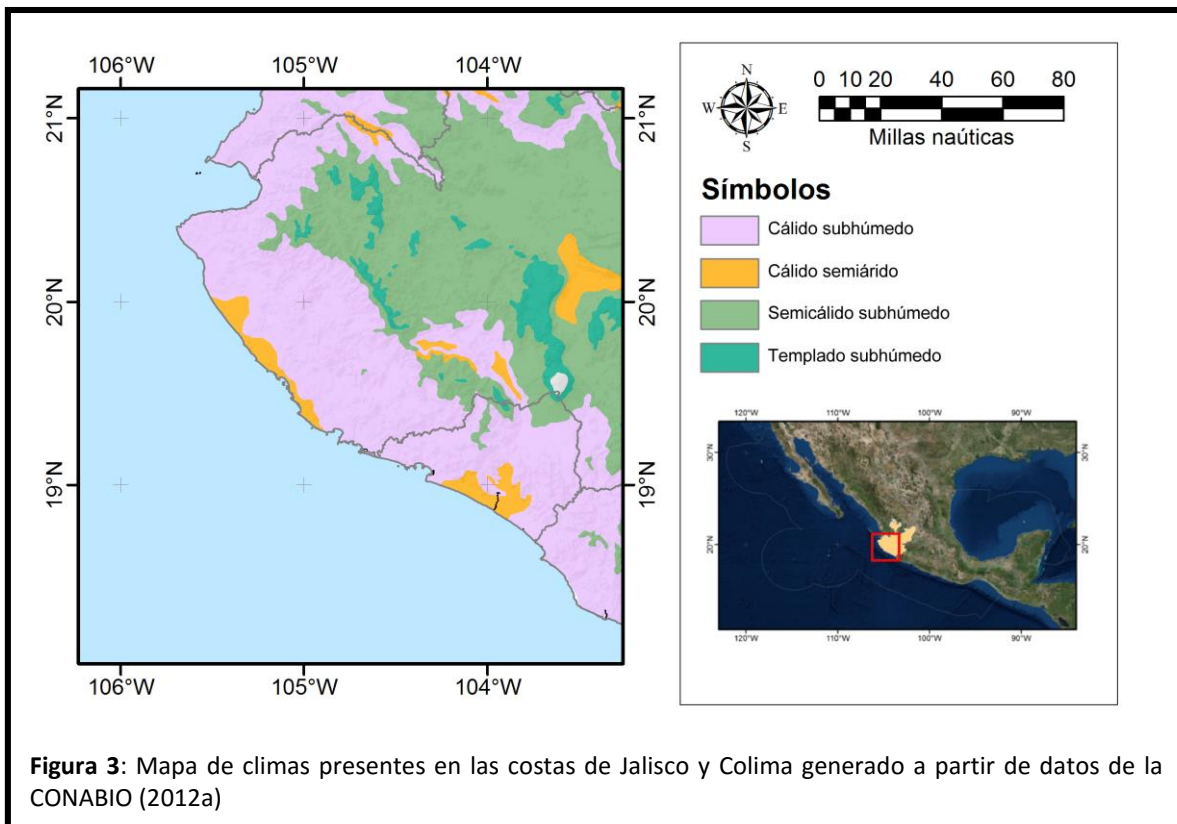
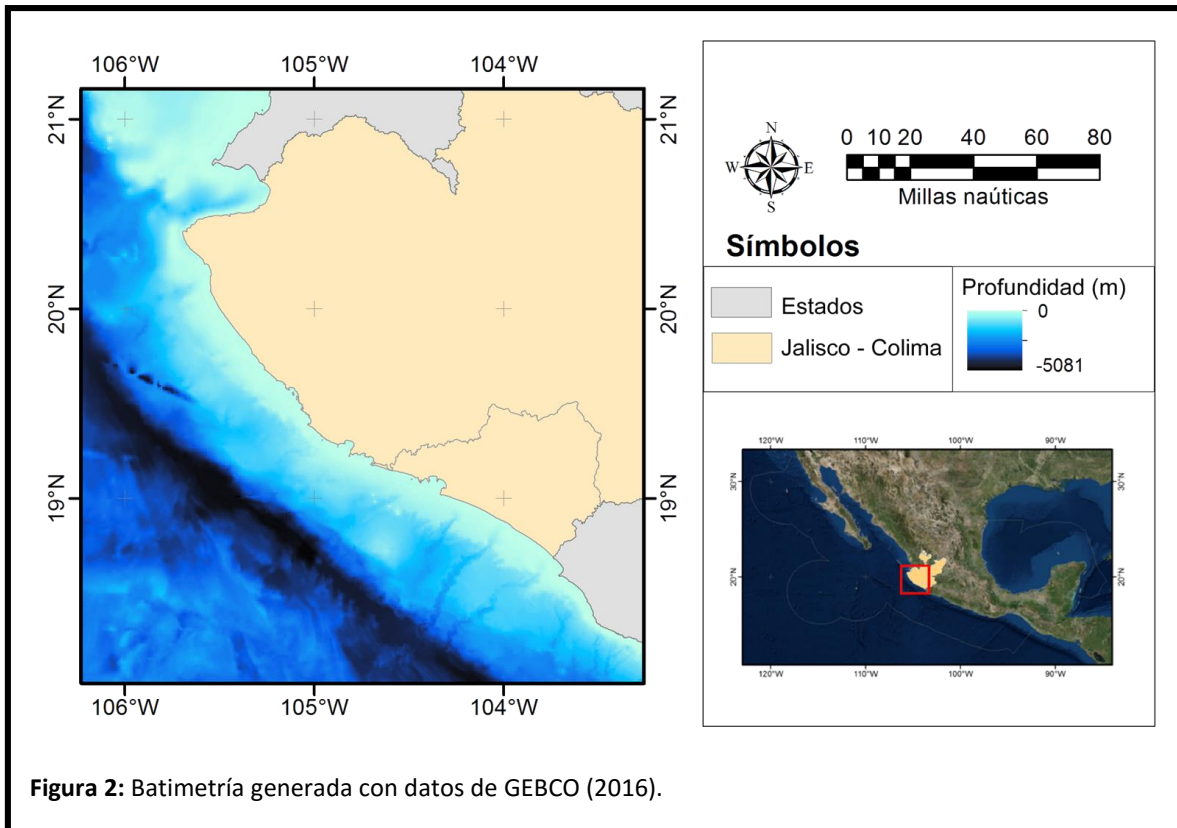
Localización

Se estudiaron las costas de Jalisco y Colima, dichos estados se ubican en la región media de la costa sur del océano Pacífico al occidente de la República Mexicana, entre los meridianos 106 y 101 de longitud oeste y los paralelos 18 y 23 de latitud norte, mantienen 4.3% de la extensión total del territorio nacional (4.01% Jalisco y 0.29% Colima)(INEGI, 2010) y se encuentran rodeados al norte por los estados de Nayarit, Durango, Zacatecas y Aguascalientes, al este por San Luis Potosí y Guanajuato y al sur por Michoacán (Fig. 1).

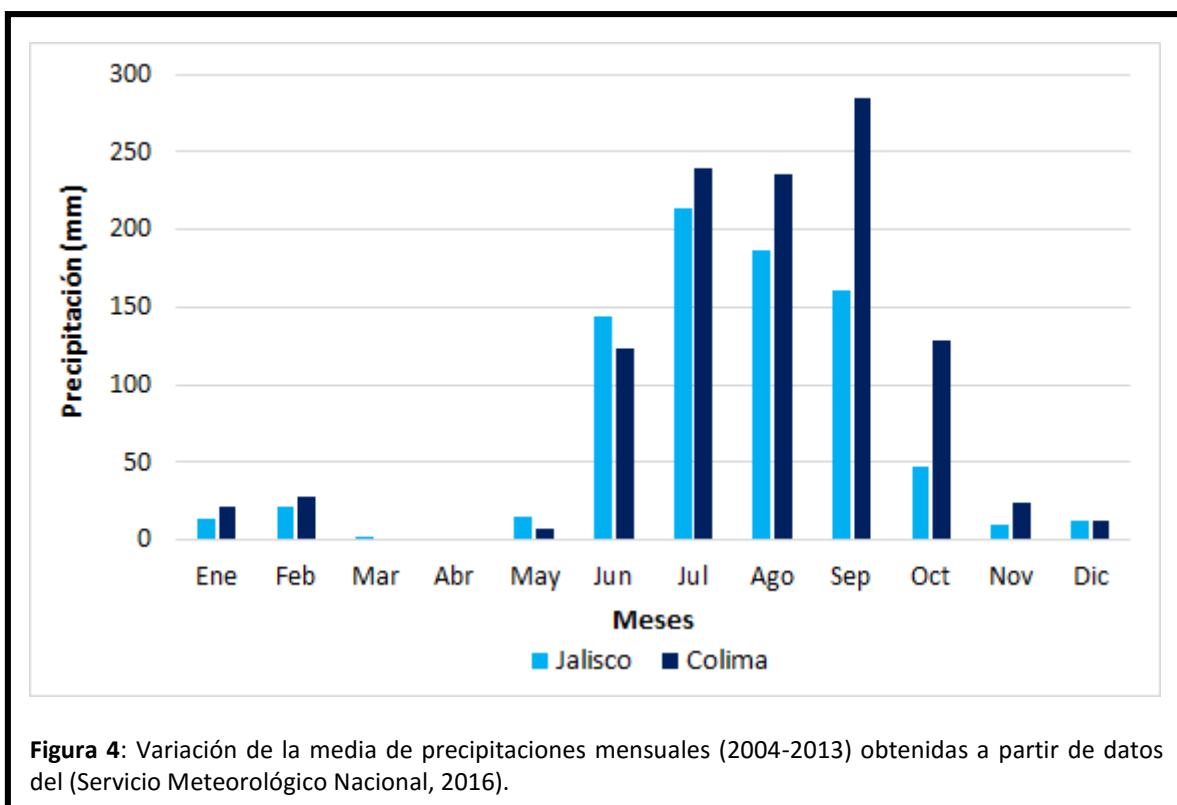


Características

Los estados cuentan con 493 km (351 km Jalisco y 142 km Colima) en extensión de litorales, lo que constituye 4.43% del total para México (INEGI, 2010), tienen una plataforma continental principalmente rocosa y muy angosta (Ruiz-Durá, 1985) (Fig. 2), la mayor parte presenta un clima cálido subhúmedo A(w), sin embargo, dos regiones: una en la costa central de Jalisco y la otra en la costa central de Colima, se asocian con un clima cálido semiárido B(s) (CONABIO, 2012a) (Fig. 3).



La temperatura media anual para el estado de Jalisco es de 20.5 °C (mínima 7.0°C; máxima 23°C) y presenta una precipitación total anual media de 829 mm aunque en las zonas costeras puede alcanzar más de 1 000 mm anuales (INEGI, 2010). Por otro lado, la temperatura media anual de Colima es de 25°C (máxima 30°C; mínima 18°C) (INEGI, 2010) y la precipitación total anual media (2004-2013) es de 1106 mm. Ambos estados presentan una temporada de lluvias muy marcada que va de junio a octubre (Fig. 4), periodo que concentra aproximadamente 90% de la precipitación.



Asimismo, en las costas se pueden identificar cuatro Sitios Prioritarios Marinos para la Conservación de la Biodiversidad reconocidos por CONABIO (2012a): siete Áreas Naturales Protegidas y once Humedales de Importancia Internacional (sitios RAMSAR) (Fig. 5). Además se encuentra la desembocadura del Río Armería, mismo que representa gran influencia en esta zona y es uno de los 15 ríos más importantes de los 100 existentes en la vertiente del Pacífico (CONABIO, 2012b). Estas regiones de interés han mostrado una gran importancia en el mantenimiento de los ecosistemas marinos ya que son zonas de crecimiento y reproducción de invertebrados, peces, tortugas y mamíferos marinos, así como zonas de refugio para aves migratorias (CONABIO, 2012a).

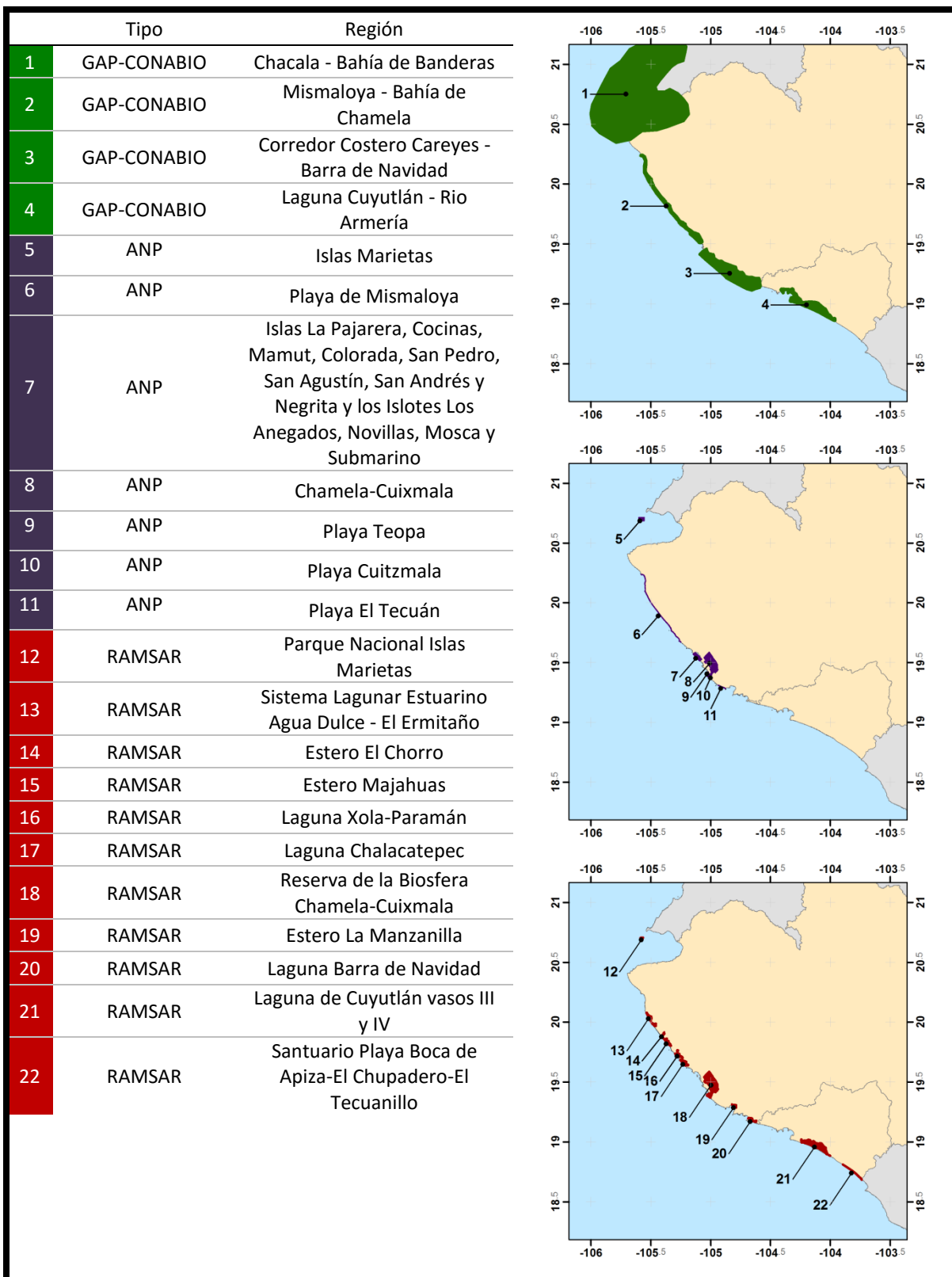


Figura 5: Mapas generados a partir de la CONABIO (2012a), se muestran los sitios prioritarios marinos para la conservación de la biodiversidad (GAP- CONABIO), las áreas naturales protegidas (ANP) y los humedales de importancia internacional (RAMSAR) .

Corrientes marinas

Esta área presenta la influencia de corrientes que se desplazan en diferentes direcciones según la estación del año, a continuación se describe las más importantes:

Corriente de California (CC)

Presenta un movimiento persistente de norte a sur de manera paralela a la costa norteamericana hasta la península de Baja California (Fig. 6). Dicha corriente transporta agua fría de salinidad que varía entre los 33.4-34.6 ups (de la Lanza-Espino, 2001), sin embargo presenta variaciones estacionales en espacio e intensidad (Aguirre Gómez, 2001). De febrero a junio se da una corriente fuerte paralela a la costa y con una velocidad que alcanza 0.2 nudos (Wyrcki, 1965) y un área de influencia que alcanza entre los 18°N (enero-febrero) a los 15°N

(marzo-junio) (Wyrcki, 1965; de la Lanza-Espino, 2001), a partir de julio y durante todo el verano la corriente cambia alejándose de la costa y reduciendo su velocidad (Wyrcki, 1965).

Contra Corriente Ecuatorial (CCE)

Fluye de oeste a este, en dirección opuesta a los vientos alisios dominantes (Badan, 1997) entre los 4° y 11°N presentando variaciones estacionales en posición y anchura, que van de menos de 4°N en diciembre, pasando por 3°N en mayo y alcanzando hasta los 5°N de agosto a octubre (Wyrcki, 1965) (Fig. 6). Presenta aguas templadas de salinidad intermedia (34.6-34.85 ups) en la zona cercana a las costas mexicanas (Aguirre Gómez, 2001) y una velocidad de flujo máxima de 0.75 nudos en septiembre entre los 110° y 130°W (Wyrcki, 1965). En verano aumenta su influencia conectándose con la Corriente de Costa Rica y alimentando juntas la Corriente Nor-Ecuatorial.

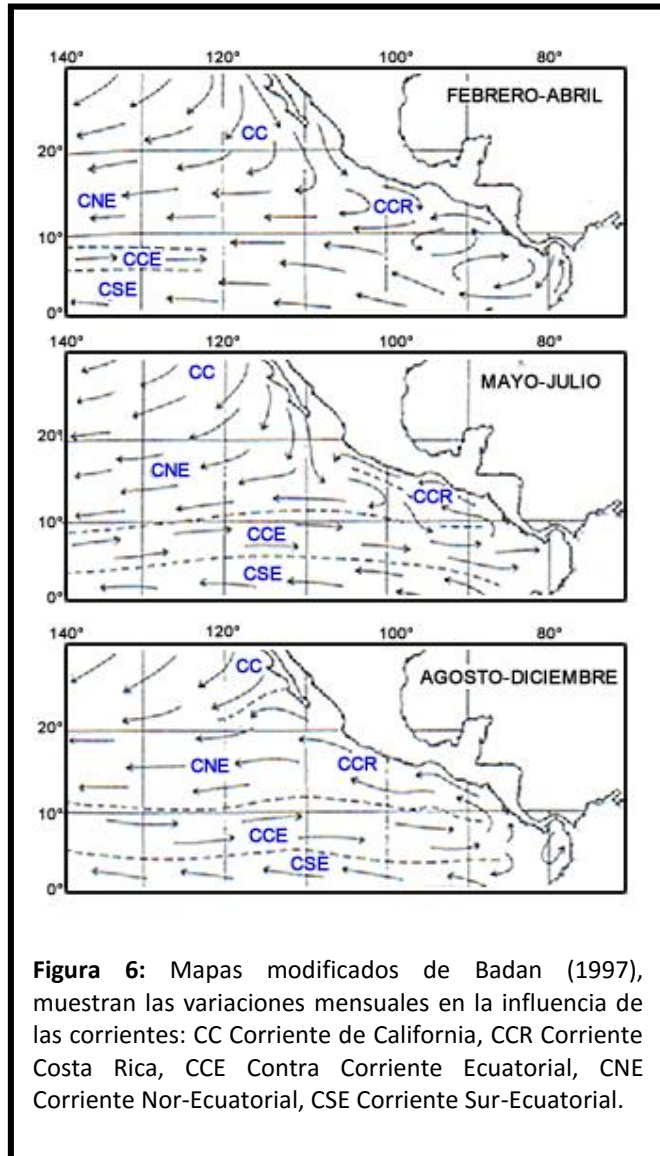


Figura 6: Mapas modificados de Badan (1997), muestran las variaciones mensuales en la influencia de las corrientes: CC Corriente de California, CCR Corriente Costa Rica, CCE Contra Corriente Ecuatorial, CNE Corriente Nor-Ecuatorial, CSE Corriente Sur-Ecuatorial.

Corriente de Costa Rica (CCR)

Procedente desde Panamá con dirección al norte alcanzando el Pacífico tropical mexicano hasta Cabo Corrientes, razón por la cual esta corriente cambia su nombre a Corriente Mexicana. Tiene su máximo de influencia de junio a diciembre llegando a la península de Baja California (de la Lanza-Espino, 2001), es fuente de la mayor parte de las masas de agua que bañan las costas continentales mexicana trayendo aguas cálidas de salinidad intermedia y es la que transmite los disturbios ocasionados por el fenómeno del Niño (Badan, 1997).

Corriente Nor-Ecuatorial (CNE)

Esta corriente se alimenta de la Corriente de California, la Contra Corriente Ecuatorial y la Corriente Mexicana, pero la contribución de estas fuentes varía durante el año (Wyrтки, 1965). En enero y febrero el flujo está marcado por altas velocidades que se alargan desde Costa Rica, mientras que de marzo a julio, se encuentra alimentada casi exclusivamente por las aguas de la Corriente de California, finalmente de julio a diciembre la contribución del agua del Pacífico Oriental Tropical es más significativa coincidiendo con el periodo que la Contra Corriente se desarrolla con mayor fuerza (Wyrтки, 1965) (Fig. 6).

Debido a la alternancia en la influencia de las corrientes, las costas de Jalisco y Colima se ubican dentro de un área que muestra importantes cambios de temperatura tanto latitudinales (Gallegos *et al.*, 2006), como estacionales, estos últimos pueden alcanzar una variación hasta de 5°C en el área cercana a Cabo Corrientes (Aguirre Gómez, 2001).

Fenómeno *El Niño*

Un evento de gran influencia en la región es el fenómeno de El Niño-Oscilación del Sur (ENOS), el cual es un patrón climático que implica cambios de la temperatura en las aguas de la parte central y oriental del Pacífico tropical. Este fenómeno no se presenta de manera periódica sino lo hace de manera recurrente y su intensidad varía de un evento a otro (NOAA, 2014).

En condiciones normales el agua del Pacífico recorre una dirección este – oeste acompañada por los vientos alisios e induciendo a un aumento de la temperatura en el Pacífico occidental, dicho aumento provoca que el aire se torne más ligero, genera un ascenso de humedad y la atmósfera se torna inestable, lo cual conlleva a un aumento de la precipitación pluvial para esta zona (Webster, 1994). En contraparte en el Pacífico oriental con el empuje de los vientos dirección

occidental junto con el desplazamiento del agua de mayor temperatura, la termoclina de esta zona se eleva ocasionando un descenso de la temperatura, con ello se forman nubes bajas asociadas a pocas cantidades de lluvia (Magaña, 2004).

En el fenómeno de *El Niño* los vientos alisios se debilitan y el agua cálida que se encontraba normalmente en el Pacífico occidental se desplaza hacia el este sobre la línea ecuatorial, esto genera nubes de convección profunda, que a su vez originan un aumento de precipitación pluvial en ciertas regiones mientras que en otras causa una reducción (NOAA, 2014) (Fig. 7). Caso contrario, en el fenómeno de *La Niña*, los vientos alisios se intensifican ocasionando una reducción aun mayor de la temperatura superficial marina en el Pacífico oriental y mayor cantidad de lluvia en el Pacífico occidental.

Para medir su magnitud se utiliza el Índice Oceánico *El Niño* (ONI por sus siglas en inglés), el cual es un criterio de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA por sus siglas en inglés) y se obtiene mediante el promedio de la anomalía de la temperatura superficial marina de tres meses sucesivos. Si estas anomalías presentan un aumento mayor a 0.5 se dice que hay un evento de *El Niño* y se subdivide en: débil si el aumento es de 0.5 a 0.9, moderado de 1.0 a 1.4, fuerte de 1.5 a 1.9 y muy fuerte para anomalías mayores de 2. Caso contrario si se tiene variaciones negativas se dice que es un evento de *La Niña* y presenta las mismas subdivisiones que *El Niño*.

Para el periodo de este estudio (2003-2013), según datos de la NOAA (National Weather Service, 2015), se reconocen cuatro eventos de El Niño, tres de ellos de categoría débil y uno más de categoría moderada, en cambio se identificaron seis eventos de La Niña, dos de categoría moderada y los cuatro restantes de categoría débil (Fig. 8)

En el área de estudio según Trasviña *et al.* (2004) un evento del Niño de gran magnitud como sucedió en 1997, afecta la distribución vertical y latitudinal de las masas de aguas. De este modo en un año normal está presente el Agua Tropical Superficial (ATS), misma que alcanza los 50 o hasta los 75 m de profundidad, sin embargo en un año Niño se incrementa la presencia de la masa de Agua del Pacífico Ecuatorial (APE) aumentando la salinidad desde 34 ups en la superficie hasta 34.7 a 150 m.

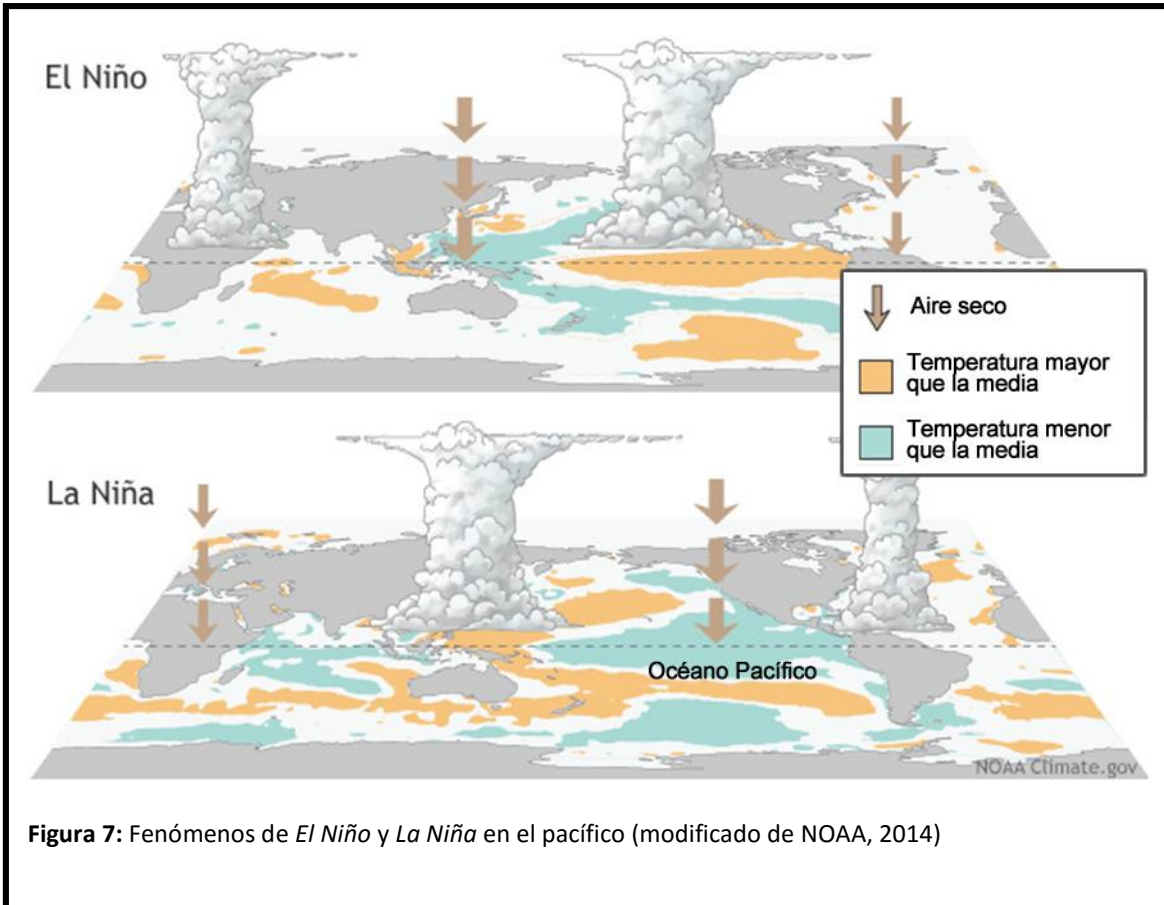


Figura 7: Fenómenos de *El Niño* y *La Niña* en el pacífico (modificado de NOAA, 2014)

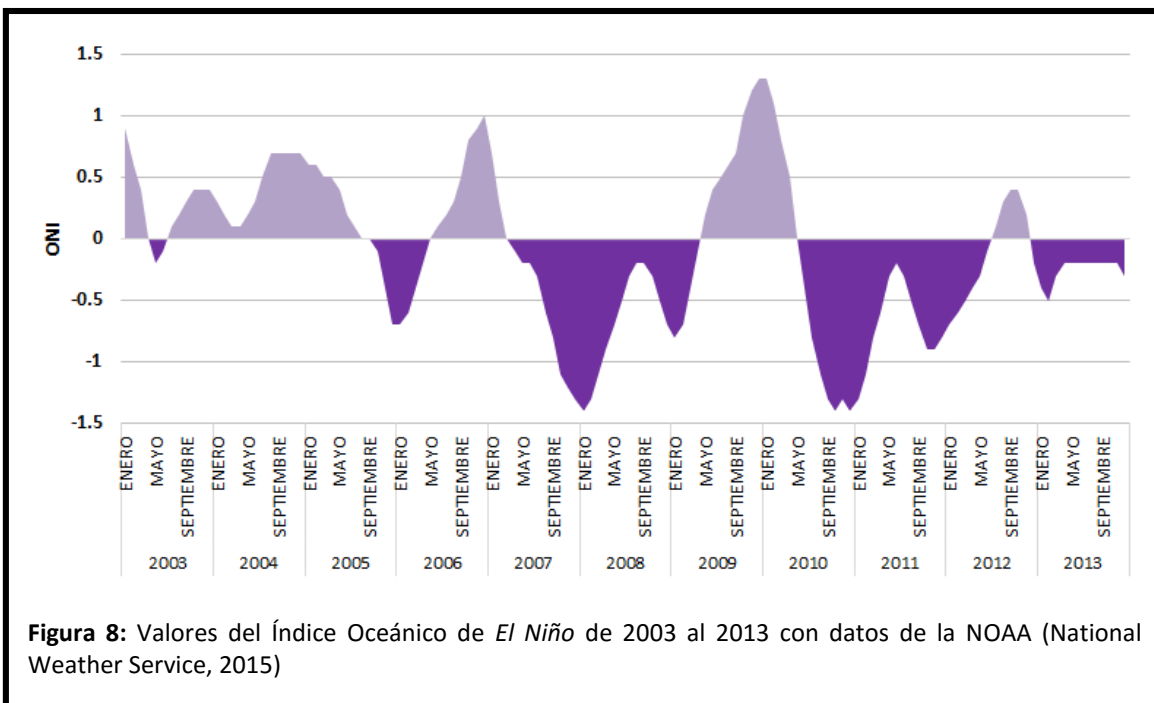
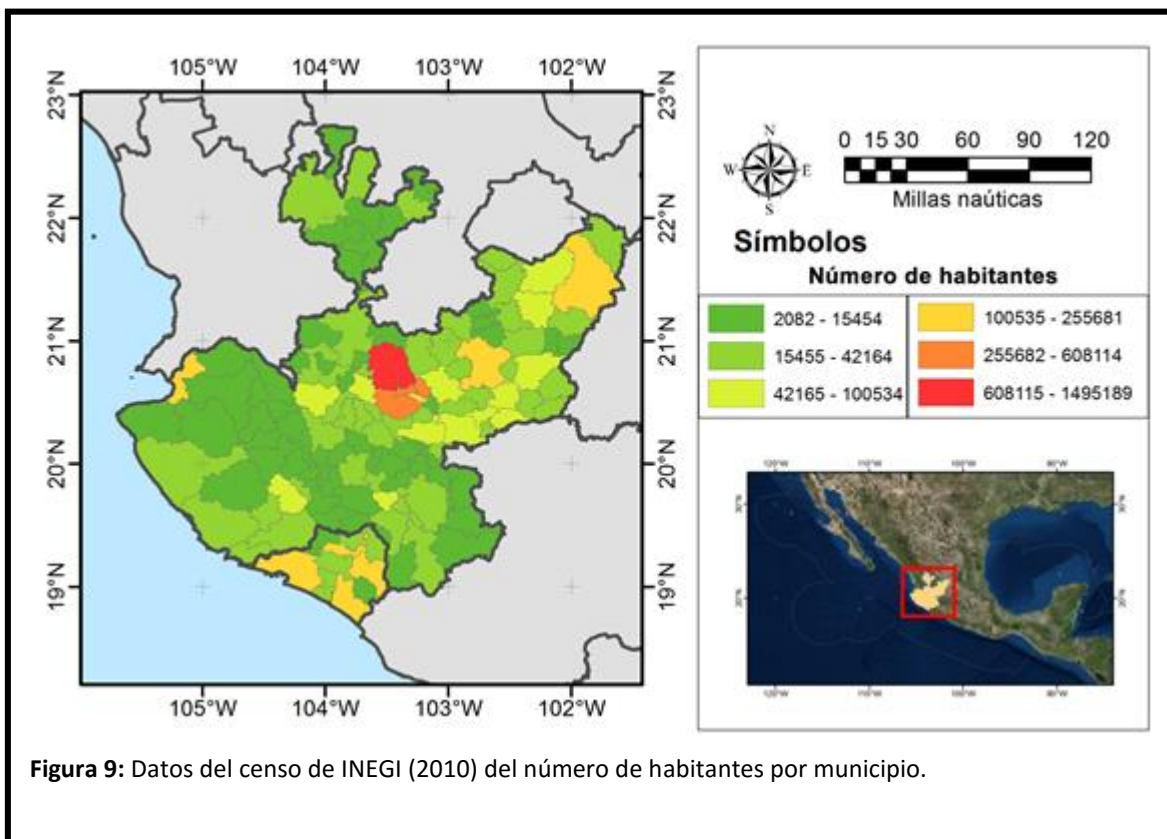


Figura 8: Valores del Índice Oceánico de *El Niño* de 2003 al 2013 con datos de la NOAA (National Weather Service, 2015)

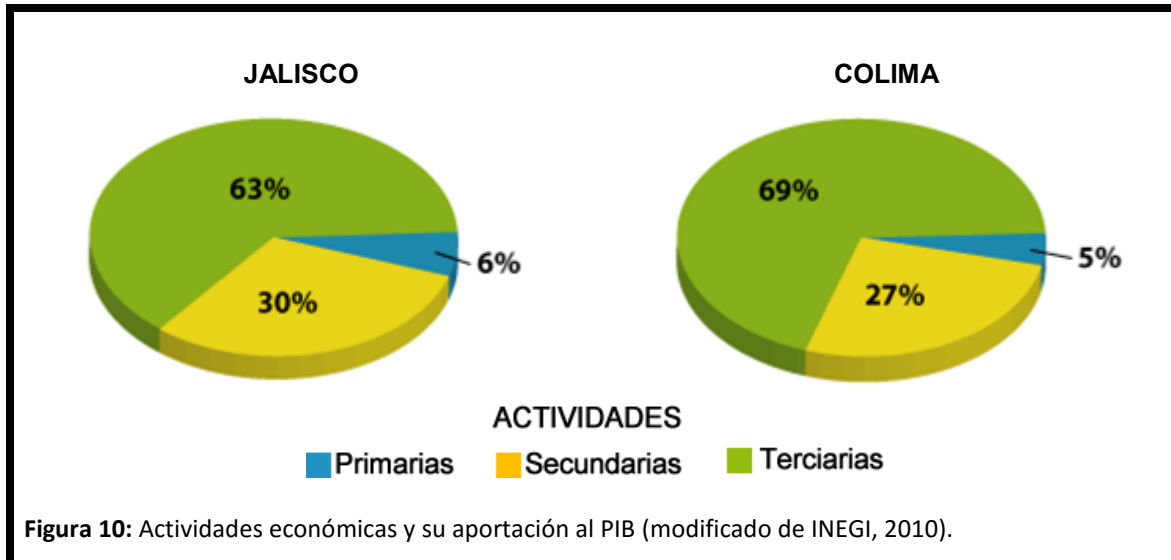
Población

Según datos del censo de INEGI en el 2010, Jalisco contaba con 7,350,682 de habitantes distribuidos en sus 125 municipios, mientras Colima con 650,555 habitantes en sus 10 municipios. Juntos representan 7.1% de la población total del país.

En lo referente a sus costas, Colima alberga casi la mitad de su población (47%; 302,841 habitantes) en los tres municipios colindantes a la costa: Armería, Manzanillo y Tecomán; mientras Jalisco mantiene números similares (363,208 habitantes) en sus cinco municipios aledaños a la costa: Cabo Corrientes, Cihuatlán, La Huerta, Puerto Vallarta y Tomatlán, sin embargo al ser mayor en extensión el porcentaje respecto la población total del Estado es tan sólo del 5% (Fig. 9).



Juntos, los estados aportan 7.1% al PIB nacional (0.6% Colima; 6.5% Jalisco) dentro del cual, el comercio se sitúa como la actividad más importante en las dos entidades y las actividades primarias como la agricultura, ganadería, minería, explotación forestal y pesca, se ubican como la parte productiva más débil de la economía (Fig. 10).



Actividad pesquera

Según datos de anuarios de CONAPESCA (2013), para el año 2013 en conjunto las costas reportaron una captura anual de 43 620 toneladas de peso vivo de especies marinas, representando con ello el 2.95% de la producción nacional y una ganancia de 578 millones de pesos aproximadamente.

Respecto la pesca artesanal en las costas de los estados, se sabe que en Jalisco se fundamenta en la captura de más de 140 especies de peces e invertebrados marinos, mientras que en Colima se basa en más de 109 (Espino-Barr *et al.*, 2003).

Scomberomorus sierra

Características

Perteneciente a la familia de los escómbridos, presenta un cuerpo alargado fusiforme, de hocico puntiagudo mucho más corto que la cabeza, dos aletas dorsales. Se caracteriza por la presencia de numerosas manchas naranjas y redondeadas, dispuestas en 3 hileras por debajo y una por encima de la línea lateral (Collette, 1995) (Figura 11).

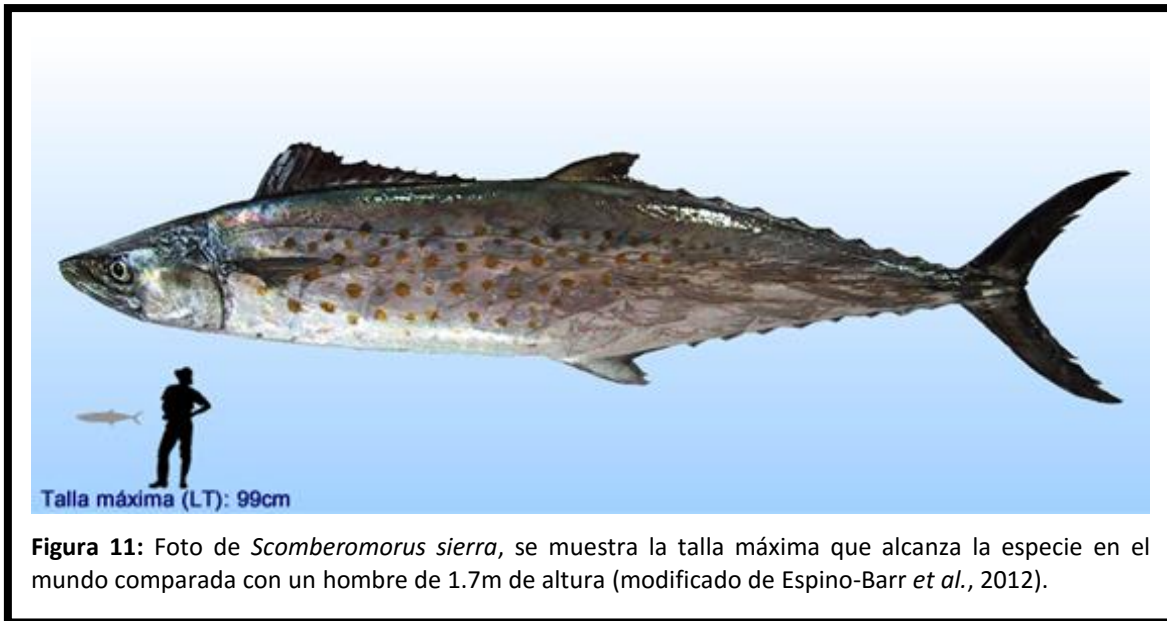


Figura 11: Foto de *Scomberomorus sierra*, se muestra la talla máxima que alcanza la especie en el mundo comparada con un hombre de 1.7m de altura (modificado de Espino-Barr *et al.*, 2012).

Hábitat y biología

Es una especie epipelágica nerítica que habita en zonas costeras entre 0-15 m de profundidad (Robertson y Allen, 2008), presenta una amplia distribución en el Pacífico, que abarca desde Estados Unidos hasta Perú (Fig. 12), no obstante tiene una capacidad limitada para realizar migraciones en comparación con otros escómbridos pelágicos de tallas mayores, esto a causa de sus aletas pectorales cortas y por la densidad y el largo de su cuerpo (Manguson, 1978).

Forma grandes cardúmenes y su alimentación consta de pequeños peces como anchoveta y sardina, o crustáceos como camarón (Collette, 1995; Espino-Barr *et al.*, 2004a).

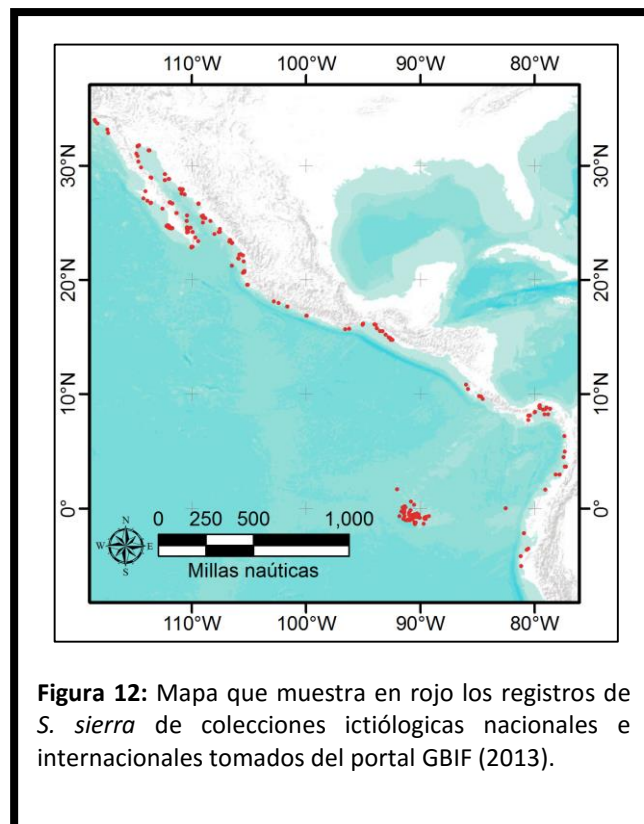
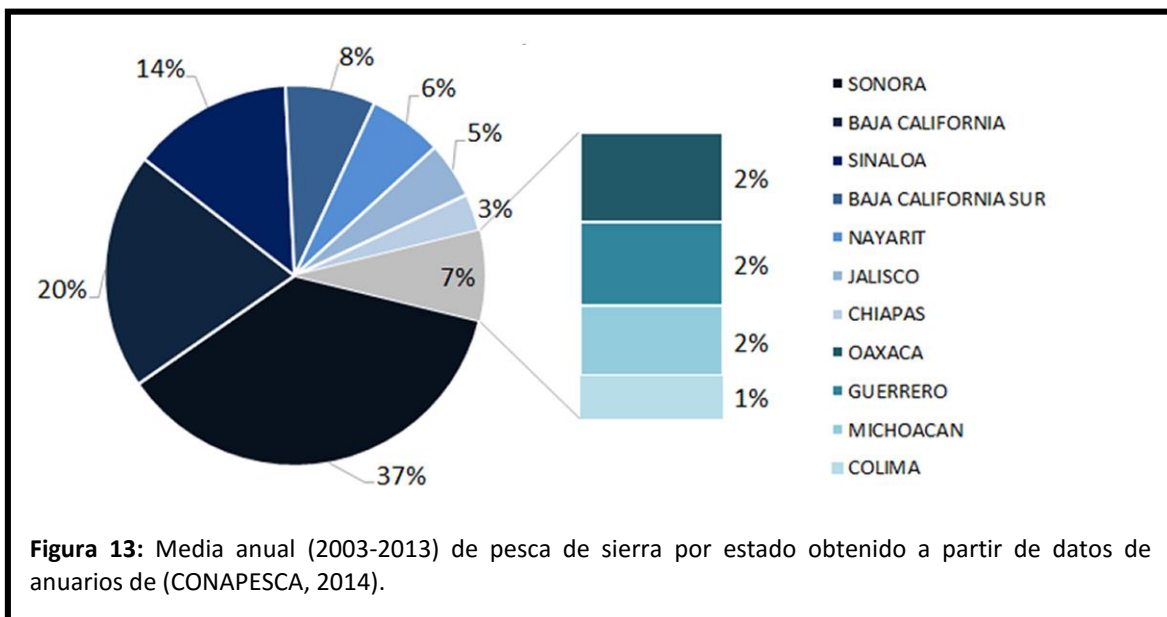


Figura 12: Mapa que muestra en rojo los registros de *S. sierra* de colecciones ictiológicas nacionales e internacionales tomados del portal GBIF (2013).

La supervivencia de sus larvas está estrechamente relacionada a la disponibilidad de alimento (Shoji *et al.*, 2005) razón por la cual desova en zonas cercanas de la costa (Collette, 1995) y en áreas que muestran una alta productividad.

Pesca y utilización

Es capturada en los once estados del Pacífico mexicano de los cuales Sonora reporta la mayor producción con cerca de tres mil toneladas anuales, el equivalente al 37% de la producción total del país (Fig. 13), sin embargo en los Estados colindantes con el Golfo de California presentan la captura de *Scomberomorus concolor*, por lo que los datos de sierra podrían estar soportados en dos especies y no en una.



Caso contrario en Jalisco y Colima donde según datos de avisos de arribo de (CONAPESCA, 2014), la captura anual de peso vivo fue de aproximadamente 239 toneladas (191 en Jalisco y 48 en Colima). En estos Estados no se ha reportado la presencia de *S. concolor* por lo que podemos asegurar que el nombre común sierra sólo es perteneciente a la especie *S. sierra*.

Por otro lado según (CONAPESCA, 2014) la sierra se compra a los pescadores a un valor mínimo de \$8 y un máximo de \$45 por kilogramo, con un precio promedio de \$23.5, sin embargo a precio comercial en mercados alcanza los \$70 o incluso hasta más según la temporada que se trate.

En los Estados dicha pesca es artesanal, realizada principalmente con redes agalleras y chinchorro playero, razón por la cual su pesca se relaciona a un gran número de especies comerciales cuya

captura es incidental (Tabla 1). La sierra mantiene una importancia local, regional y nacional, aunque es considerada de segunda clase comercial por su precio (Espino-Barr *et al.*, 2003, 2004).

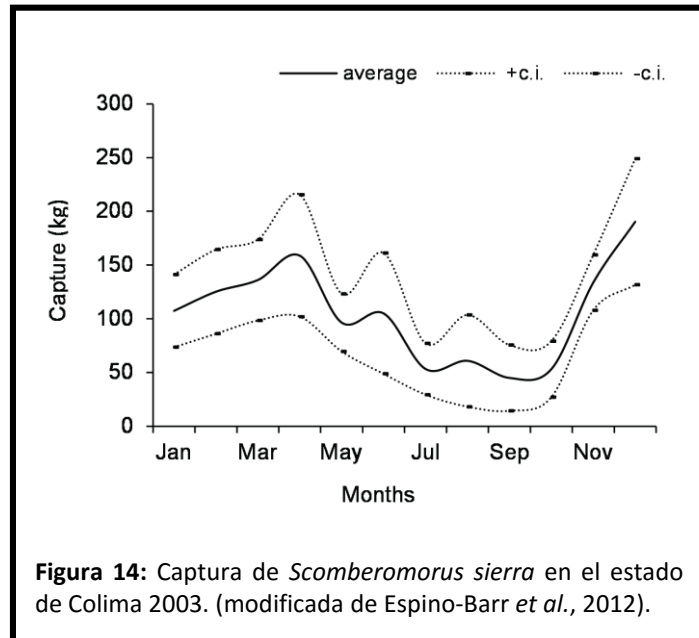
Tabla 1: Especies comerciales capturadas incidentalmente junto con la sierra y su porcentaje de aparición (modificada de Espino-Barr *et al.*, 2012).

| Nombre común (español) | Nombre común (inglés) | Nombre científico | Familia | % |
|-----------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|-----------------|----------|
| Jurel | Pacific crevalle jack | <i>Caranx caninus</i> | Carangidae | 22.25 |
| Huachinango | Pacific red snapper | <i>Lutjanus peru</i> | Lutjanidae | 16.45 |
| Agujón | California needlefish | <i>Strongylura exilis</i> | Belonidae | 10.90 |
| Pargo lunarejo | Spotted rose snapper | <i>Lutjanus guttatus</i> | Lutjanidae | 10.11 |
| Burro | Panamic grunt | <i>Pomadasys panamensis</i> | Haemulidae | 7.84 |
| Rasposa | spottail grunt | <i>Haemulon maculicauda</i> | Haemulidae | 6.66 |
| Buzo | Mexican barracuda | <i>Sphyraena ensis</i> | Sphyraenidae | 6.15 |
| Cocinero | Green Jack | <i>Caranx caballus</i> | Carangidae | 6.04 |
| Lenguado | Panamic flounder | <i>Cyclopsetta panamensis</i> | Paralichthyidae | 5.80 |
| Barrilete | Black skipjack | <i>Euthynnus lineatus</i> | Scombridae | 4.39 |
| Tigre | Giant hawkfish | <i>Cirrhitus rivulatus</i> | Cirrhitidae | 4.31 |
| Cabrilla | Flag cabrilla | <i>Epinephelus labriformis</i> | Serranidae | 4.23 |
| Sábalo | Milkfish | <i>Chanos chanos</i> | Chanidae | 3.14 |
| Curvina | Surf croaker | <i>Umbrina xanti</i> | Sciaenidae | 1.96 |
| Raya mariposa | California butterfly ray | <i>Gymnura marmorata</i> | Gymnuridae | 1.88 |
| Malacapa | Peruvian mojarra | <i>Diapterus peruvianus</i> | Gerreidae | 1.57 |
| Pargo colmillón | Whipper snapper | <i>Lutjanus jordani</i> | Lutjanidae | 1.57 |
| Albacora | Rainbow runner | <i>Elagatis bipinnulata</i> | Carangidae | 1.10 |
| Pámpano | Blackblotch pompano | <i>Trachinotus kennedyi</i> | Carangidae | 1.02 |
| Puerco | Finescale triggerfish | <i>Balistes polylepis</i> | Balistidae | 0.94 |
| Pámpano caballo | African pompano | <i>Alectis ciliaris</i> | Carangidae | 0.94 |
| Chocho | Golden trevally | <i>Gnathanodon speciosus</i> | Carangidae | 0.94 |
| Medregal | Almaco jack | <i>Seriola rivoliana</i> | Carangidae | 0.86 |
| Palmilla | Gafftopsail pompano | <i>Trachinotus rhodopus</i> | Carangidae | 0.78 |
| Dorado | Dolphinfish | <i>Coryphaena hippurus</i> | Coryphaenidae | 0.78 |
| Chile | Machete | <i>Elops affinis</i> | Elopidae | 0.78 |
| Ojo de perra | Bigeye trevally | <i>Caranx sexfasciatus</i> | Carangidae | 0.71 |
| Botete | Bullseye puffer | <i>Sphoeroides annulatus</i> | Tetraodontidae | 0.71 |
| Robalo | Black snook | <i>Centropomus nigrescens</i> | Centropomidae | 0.63 |
| Ronco chano | Cortez grunt | <i>Haemulon flaviguttatum</i> | Haemulidae | 0.47 |
| Pargo mulato | Pacific dog snapper | <i>Lutjanus novemfasciatus</i> | Lutjanidae | 0.20 |
| Baqueta | Gulf coney | <i>Epinephelus acanthistius</i> | Serranidae | 0.16 |
| Cabrilla rosada | Pacific mutton hamlet | <i>Alphistes immaculatus</i> | Serranidae | 0.16 |
| Pintillo | Spotted cabrilla | <i>Epinephelus analogus</i> | Serranidae | 0.16 |
| Viejita | Pacific creolefish | <i>Paranthias colonus</i> | Serranidae | 0.16 |
| Cirujano | Yellowfin surgeonfish | <i>Acanthurus xanthopterus</i> | Acanthuridae | 0.08 |

Aunque la especie está presente en todo el año, existen importantes variaciones en la captura de los Estados, así lo reporta Espino-Barr *et al.* (2012) quienes identifican, para el estado de Colima en el año de 2003, valores máximos los meses de enero a abril y de noviembre a diciembre, y valores mínimos de julio a octubre (Fig. 14).

Espino-Barr *et al.* (2012) establecen que si se incrementa la edad de

captura a 5.5 años se podría incrementar el esfuerzo hasta cuatro veces que resultaría en mayores capturas sin consecuencias negativas para el stock, además Espino-Barr *et al.* (2017) sugiere, dos periodos de veda uno en mayo y el otro en septiembre.



OBJETIVOS

Los objetivos de este estudio fueron:

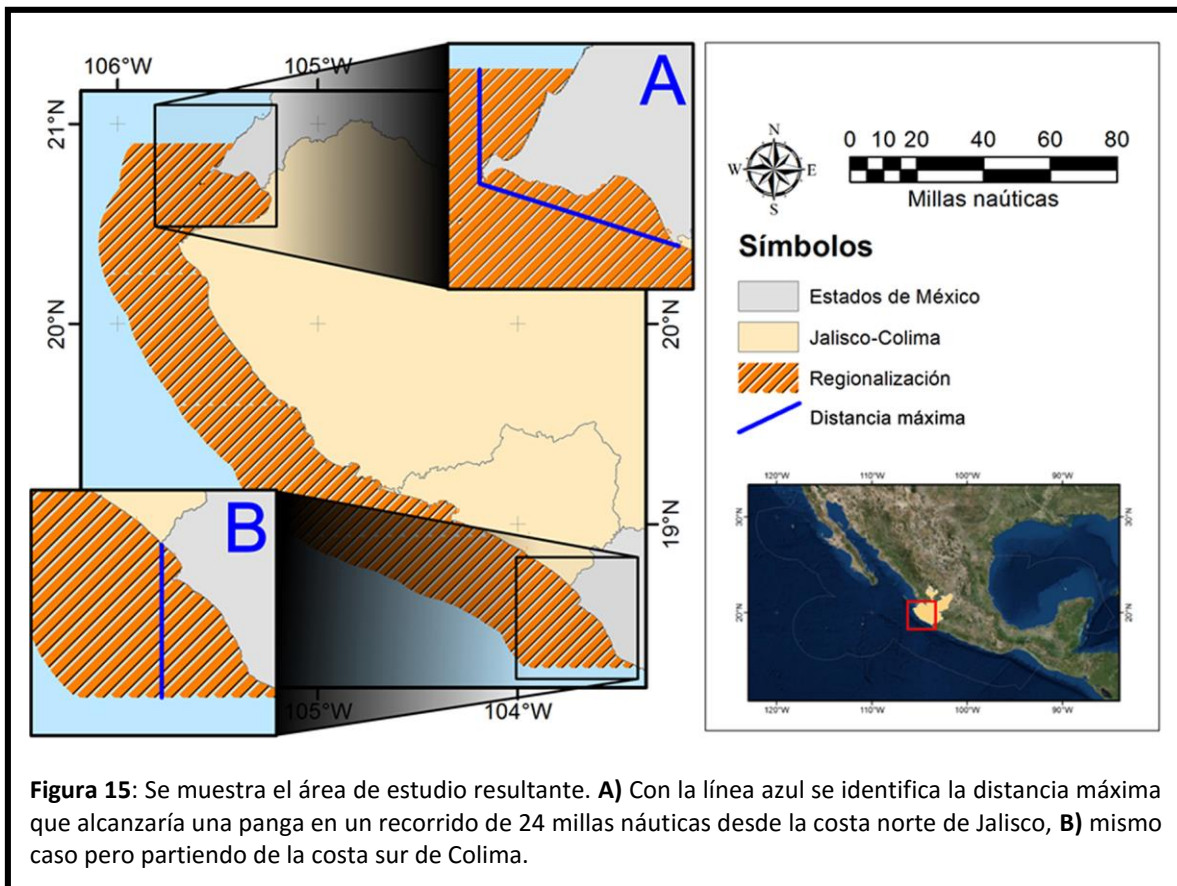
- Describir las variaciones espacio-temporales de las costas de Jalisco y Colima (enero 2003 - diciembre 2013) mediante el uso de compuestos satelitales de clorofila a y de temperatura superficial marina nocturna.
- Analizar la producción pesquera de *Scomberomorus sierra* en los Estados mediante el uso de los avisos de arribo proporcionados por CONAPESCA.
- Asociar la influencia de la NSST y la CHLOa en la producción pesquera de *Scomberomorus sierra* de los Estados estudiados.

MÉTODOS

Regionalización del área de estudio

Para delimitar las costas de Jalisco y Colima, se efectuó una regionalización completamente artificial basada en la pesca artesanal y por lo tanto la captura de *S. sierra*, es una actividad que se realiza en la región aledaña a la costa. Por tal motivo se construyó un polígono con coordenadas basadas en el sistema *WGS84*, donde el límite exterior se realizó mediante un área de amortiguamiento de 24 mn a partir de la línea de costa presentada por CONABIO (2010) en la cual sólo consideró la parte continental.

Por otro lado, para el límite superior se tomó la distancia máxima que podría alcanzar una panga haciendo ese mismo recorrido (24 mn) y asumiendo que ésta saliera del sitio más alejado de la costa norte de Jalisco (Fig. 15A), mientras que para el límite inferior, se usó la misma técnica teniendo de referencia el punto más alejado de la costa sur de Colima (Fig. 15B). De esta forma el límite superior se fijó a los 20.904°N y el límite inferior a los 18.282°N.



Obtención de datos

Compuestos mensuales de imágenes satelitales

Se obtuvieron compuestos mensuales de la temperatura superficial nocturna del mar (NSST) y la concentración de clorofila a (CHLOa) a escala de 1 km procesados por CONABIO (2011), utilizando una temporalidad de 11 años (enero 2003- diciembre 2013), lo que corresponde a 144 compuestos por cada factor analizado (288 en total).

Con el polígono obtenido previamente de la regionalización del área de estudio se obtuvo la información de todos los *pixeles* (pxs) que coincidieron en la zona mediante el programa SeaDAS®, dicho procedimiento se realizó para cada una de las imágenes dando como resultado un total de 20,137 pxs por cada imagen y un total de 2,658,084 pxs por cada variable (NSST y CHLOa).

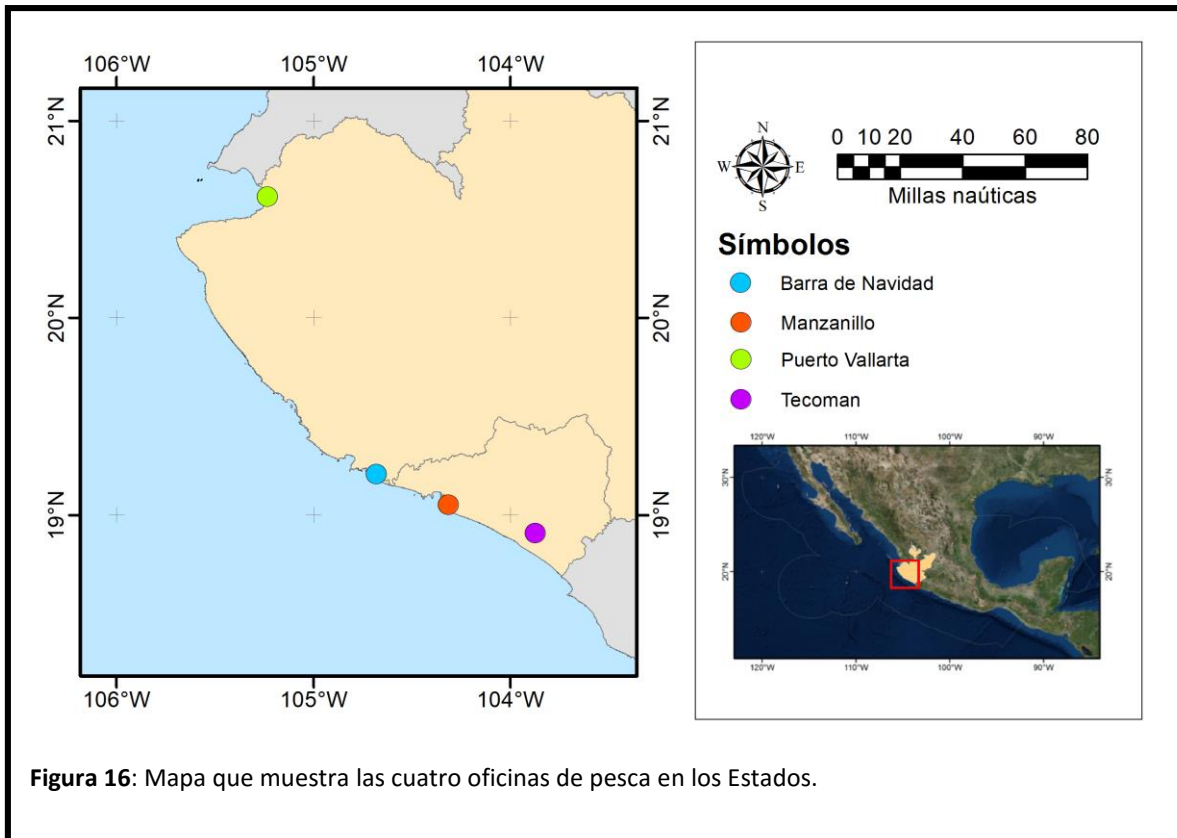
Información de pesca

Los datos sobre la captura comercial se obtuvieron mediante las oficinas de pesca ubicadas: dos en Colima (Manzanillo y Tecomán) y dos en Jalisco (Barra de Navidad y Puerto Vallarta) desde enero del 2003 a diciembre del 2013. (Fig. 16). Dichos avisos a su vez provienen de los reportes quincenales o mensuales que realizan las cooperativas a la Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca (CONAPESCA) para el pago de sus impuestos y se originan a partir de la suma de todos los informes de pesca que realiza cada uno de los pescadores que conforman y/o venden a la cooperativa en cuestión durante el periodo de tiempo establecido.

Estos informes mencionan a grandes rasgos el día, la cantidad de kilogramos por especie o grupo de especies y el valor a la que fueron comprados; sin embargo el contenido total y la organización cambian de una cooperativa a otra. De esta forma existen cooperativas que llevan sus registros de manera muy meticulosa cuyo vaciado se realiza en notas, cuadernos u hojas de Excel, mientras que otras cooperativas no cuentan con una información tan ordenada.

Por tal motivo cuando las cooperativas realizan su reporte queda en duda el origen de dicha información ya que es imposible cotejar y revisar cada uno de los informes, aún más en especies de poco valor comercial.

Sin embargo y como ya se mencionó *S. sierra*, tiene la ventaja de ser una especie de importancia comercial y de fácil identificación en los Estados, razón por la que las cooperativas ponen un mayor interés en esta especie y por tal motivo es posible que los datos de los avisos estén más cercanos a la realidad.

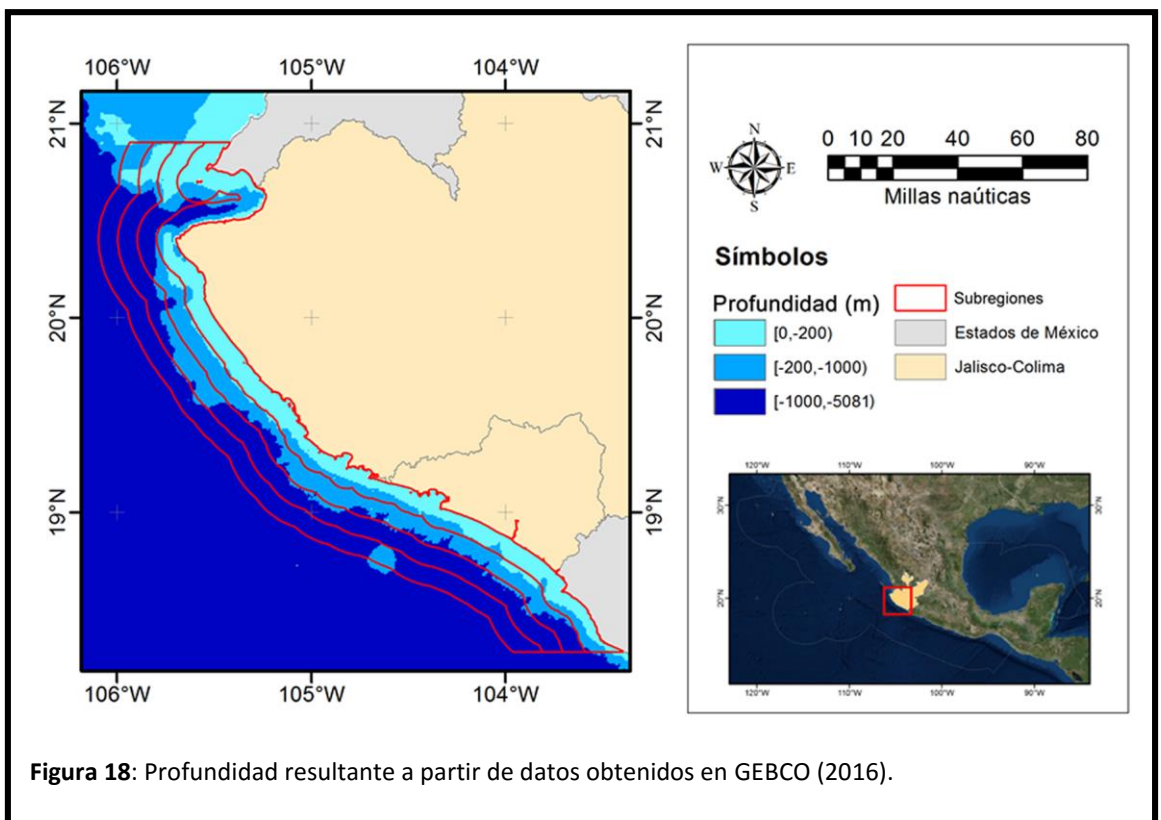
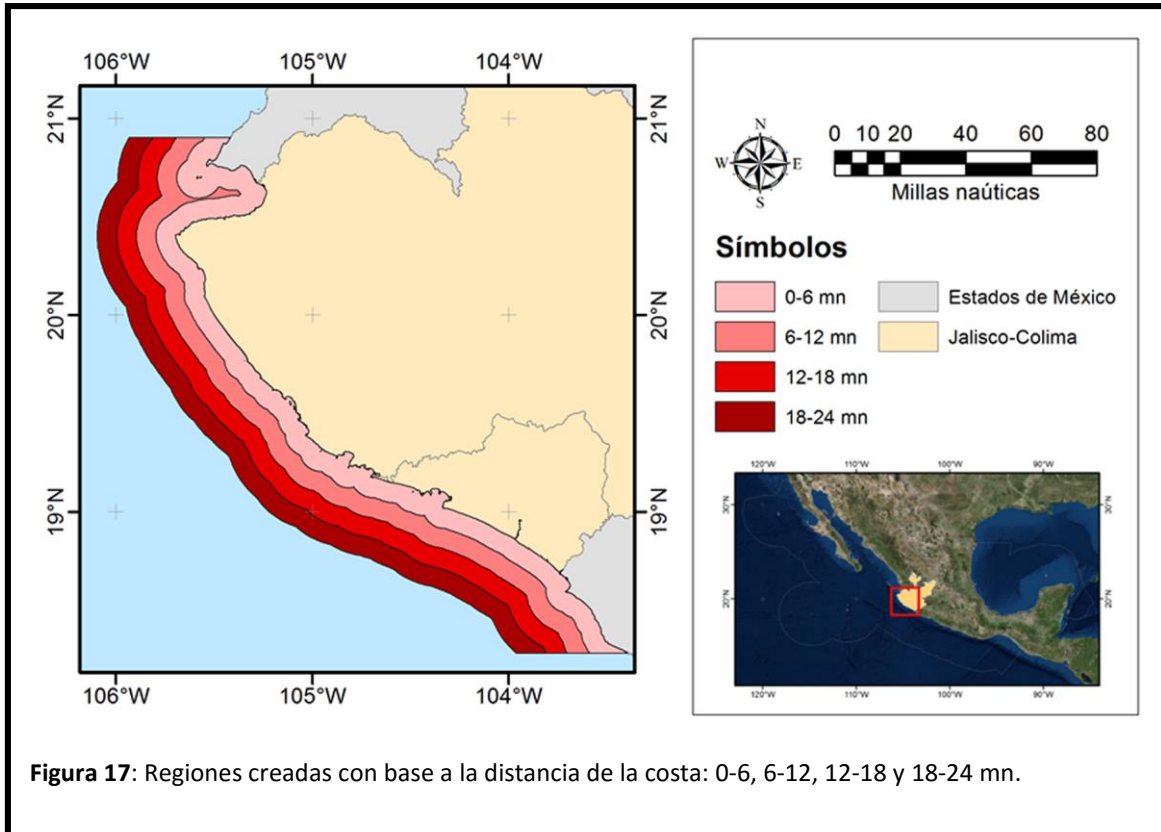


Manejo de datos

Para tener un mejor entendimiento de los procesos que ocurren dentro del área, se realizaron dos subregionalizaciones de los compuestos satelitales utilizando sus valores de longitud y latitud:

Subregionalización de los pixeles por distancia de la costa

En esta subregionalización se dividió el polígono del área de estudio en cuatro grandes secciones que van de 0 a las 6 millas náuticas, de las 6 a las 12, de las 12 a las 18 y de las 18 a las 24 (Fig. 17). En estas regiones es dónde existen cambios importantes en la batimetría, exponiendo de este modo, que la mayor parte de la primera subregión (0-6 mn) está conformada por la plataforma continental, la segunda (6-12 mn) se equipara a un rápido aumento de la profundidad lo que corresponde al talud continental y finalmente en las dos últimas (12-18 y 18-24 mn) se identifica por fondo abisal, con profundidades que superan los 1000 m (Fig. 18).



Utilizando estas nuevas capas y haciendo uso del programa SeaDAS© se identificaron todos los píxeles que coincidieron con cada una de estas subregiones, dando como resultado 5,954 pxs para la sección de las 0 a las 6 mn, 4,880 pxs de las 6 a las 12, 4,689 pxs de las 12 a las 18 y 4,614 pxs de las 18 a las 24.

Subregionalización de los píxeles por latitud

Para esta subregionalización se identificaron todos los valores únicos en la latitud de los *píxeles* que coincidieron con el área de estudio, dando como resultado un total de 291.

Organización de los datos

Una vez obtenidas las diferentes subregiones se calculó la media de los píxeles respondiendo a las siguientes categorías:

Tabla 2: Ejemplo de las categorías empleadas para el acomodo y análisis de los píxeles.

| Año | Mes | Subregión: distancia de la costa | Subregión: latitud | CHLOa | NSST |
|------|-----------|----------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 2003 | Enero | 0-6 mn | 18.288°N | $\bar{x}_{1,1}$ | $\bar{x}_{1,1}$ |
| | | | 18.306°N | $\bar{x}_{2,1}$ | $\bar{x}_{2,2}$ |
| | | | ⋮ | ⋮ | ⋮ |
| | | | 20.896°N | $\bar{x}_{291,1}$ | $\bar{x}_{291,2}$ |
| | | 6-12 mn | 18.288°N | $\bar{x}_{292,1}$ | $\bar{x}_{292,2}$ |
| | | | 18.306°N | $\bar{x}_{293,1}$ | $\bar{x}_{293,2}$ |
| | | | ⋮ | ⋮ | ⋮ |
| | | | 20.896°N | $\bar{x}_{582,1}$ | $\bar{x}_{582,2}$ |
| | | 12-18 mn | 18.288°N | $\bar{x}_{583,1}$ | $\bar{x}_{583,2}$ |
| | | | 18.306°N | $\bar{x}_{584,1}$ | $\bar{x}_{584,2}$ |
| | | | ⋮ | ⋮ | ⋮ |
| | | | 20.896°N | $\bar{x}_{873,1}$ | $\bar{x}_{873,2}$ |
| | | 18-24 mn | 18.288°N | $\bar{x}_{874,1}$ | $\bar{x}_{874,2}$ |
| | | | 18.306°N | $\bar{x}_{875,1}$ | $\bar{x}_{875,2}$ |
| | | | ⋮ | ⋮ | ⋮ |
| | | | 20.896°N | $\bar{x}_{1164,1}$ | $\bar{x}_{1164,2}$ |
| ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | |
| 2013 | Diciembre | 18-24 mn | 20.896°N | $\bar{x}_{n,1}$ | $\bar{x}_{n,2}$ |

Anomalías

Para la descripción de la variación anual se calculó y graficó las anomalías bajo la ecuación:

$$\text{Ec. 1} \quad a = \bar{x}_i - \bar{x}_m$$

Donde:

- \bar{x}_i : es la media de un mes de toda el área de estudio de la CHLOa o de la NSST. En el caso de la captura de la sierra es la suma de la producción pesquera en los Estados de ese mes en particular.
- \bar{x}_m : es la media mensual resultante de considerar ese mismo mes a lo largo de los 11 años de estudio.

Correlación

Preparación de datos

Dado que no se puede obtener el punto exacto de la captura de la sierra se realizaron las correlaciones con datos provenientes de los dos estados (Jalisco y Colima) y las medias de la NSST y CHLOa considerando toda el área de estudio.

Por otro lado con el propósito de reducir el efecto multiplicativo que se observa en la CHLOa se aplicó la transformación de logaritmo base 10 a los valores obtenidos. En este sentido Ortiz-Pinilla y Gil (2014) mencionan que: *“por tratarse de la función logarítmica que es una transformación estrictamente monótona creciente, el modelo transformado es equivalente al modelo original. Esto garantiza una interpretación adecuada de los coeficientes con el debido cuidado de las transformaciones requeridas”*.

Posteriormente se realizó una media móvil de las tres variables (NSST, captura y CHLOa) con la ecuación:

$$\text{Ec. 2} \quad Mo = \frac{\bar{x}_{i-1} + \bar{x}_i + \bar{x}_{i+1}}{3}$$

Donde:

- \bar{x}_{i-1} : es la media de la variable obtenida el mes anterior.
- \bar{x}_i : es la media de la variable del mes en curso.
- \bar{x}_{i+1} : es la media de la variable obtenida el siguiente mes.

Finalmente se obtuvo una tabla de datos organizados de la siguiente manera:

Tabla 3: Acomodo de los datos por variable.

| AÑO | MES | CHLOa | NSST | Captura |
|------|-----------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 2003 | ENERO | NA | NA | NA |
| 2003 | FEBRERO | Mo _{1,1} | Mo _{1,2} | Mo _{1,3} |
| 2003 | MARZO | Mo _{2,1} | Mo _{2,2} | Mo _{2,3} |
| ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ |
| 2013 | NOVIEMBRE | Mo _{n,1} | Mo _{n,2} | Mo _{n,3} |
| 2013 | DICIEMBRE | NA | NA | NA |

Cabe mencionar que el uso de la media móvil reduce la lista de casos, es decir, no se tiene como resultado valores en enero del 2003 y en diciembre de 2013.

Posteriormente se comprobó el supuesto de normalidad que exige el análisis de correlación (Restrepo y González, 2007) utilizando la prueba de Kolmogorov-Smirnov (prueba K-S), dicha prueba compara la distribución de las variables con una distribución normal, midiendo la distancia máxima entre ambas curvas.

Aplicación

Se utilizó el coeficiente de correlación de Pearson a nivel anual, dicho coeficiente mide el grado de asociación entre dos variables cuantitativas y se define por la ecuación:

$$\text{Ec. 3} \quad r = \frac{s_{xy}}{s_y s_x}$$

Donde:

- s_{xy} : es la covarianza entre dos variables.
- s_x ó s_y : son las desviaciones estándar de cada variable.

Posteriormente con el objeto de obtener los valores de significancia del modelo (valor p) se utilizó una prueba de *t de student* ($\alpha = 0.05$):

$$\text{Ec.4} \quad t_c = \frac{r}{\sqrt{\frac{1-r^2}{n-2}}}$$

Donde:

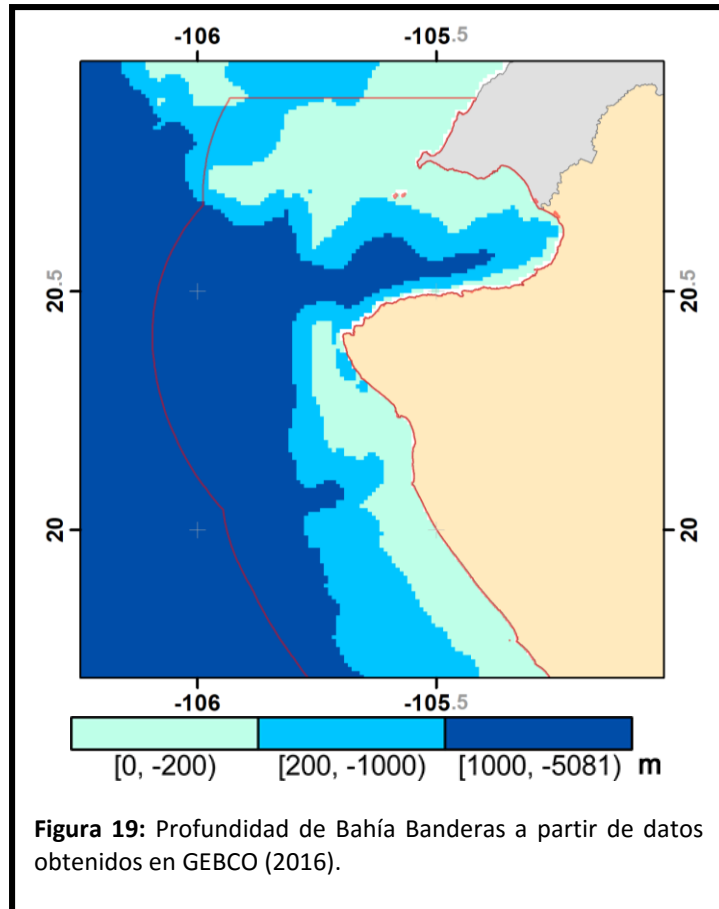
- r : es el resultado de aplicar la correlación de Pearson
- n : es el tamaño de muestra

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Descripción de las variables en las costas

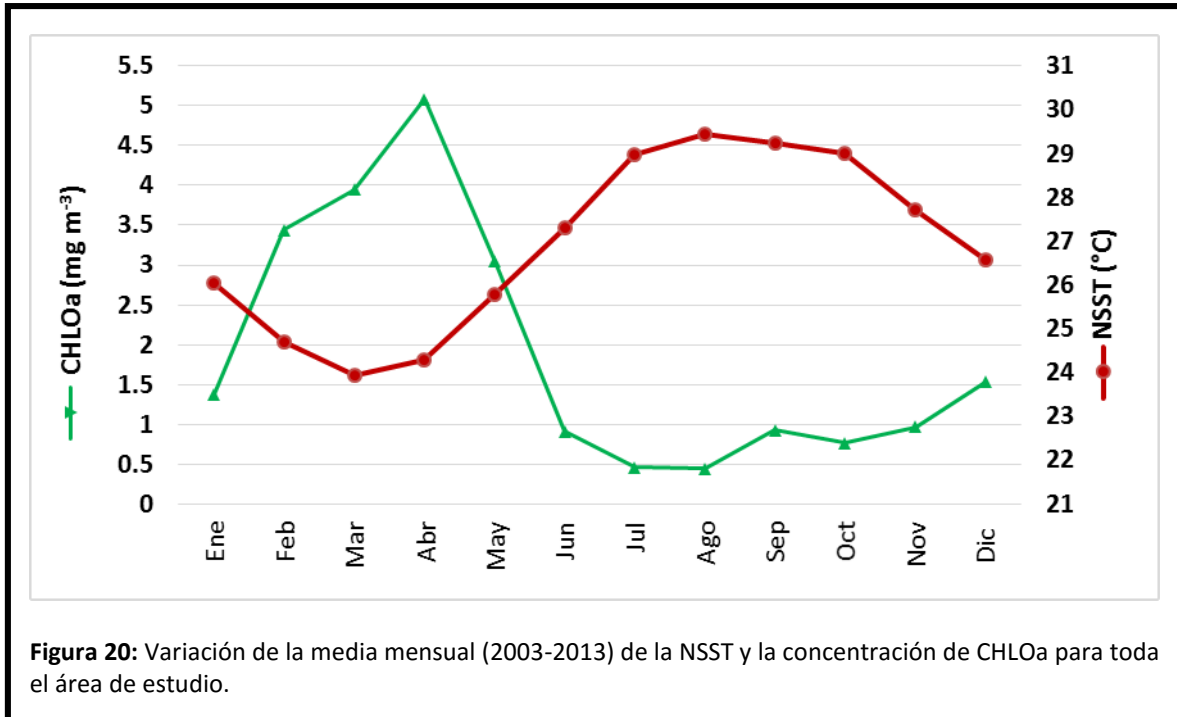
Variación estacional

Los meses de febrero a abril, la media de la NSST del área de estudio registra valores menores a los 25°C, la causa de esta reducción se sujeta a tres principales factores, el primero es un incremento en la intensidad de la Corriente de California ocasionando un empuje de agua de mayores latitudes a menores, el segundo factor está relacionado a este mismo empuje aunado a los cambios abruptos en la batimetría de Bahía Banderas (Expósito-Díaz, 2004) (Fig. 19), los cuales originan una surgencia de magnitud considerable, el último es la reducción en la intensidad de la Contra Corriente Ecuatorial junto a la Corriente Mexicana.

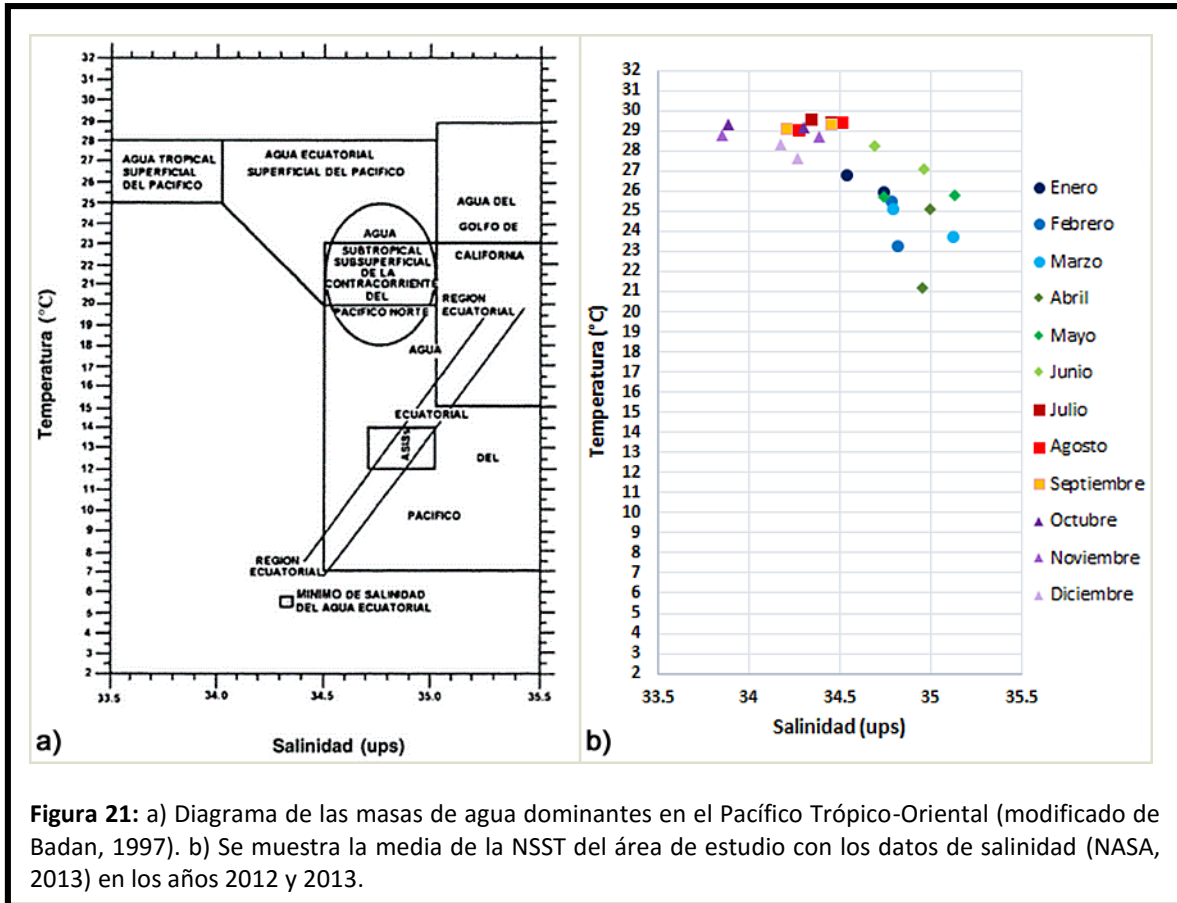


En contraste de julio a octubre la Corriente de California pierde fuerza, se disipa la surgencia de Bahía Banderas y aumenta la intensidad de la Contra Corriente Ecuatorial y la Corriente Mexicana ocasionando un empuje de aguas de menores latitudes a mayores y obteniendo una media resultante para el área de estudio que ronda los 29°C.

Los demás meses se muestran como transición entre estas dos temporadas, encontrando que de noviembre a enero la temperatura desciende mientras de mayo a junio se incrementa (Fig. 20).

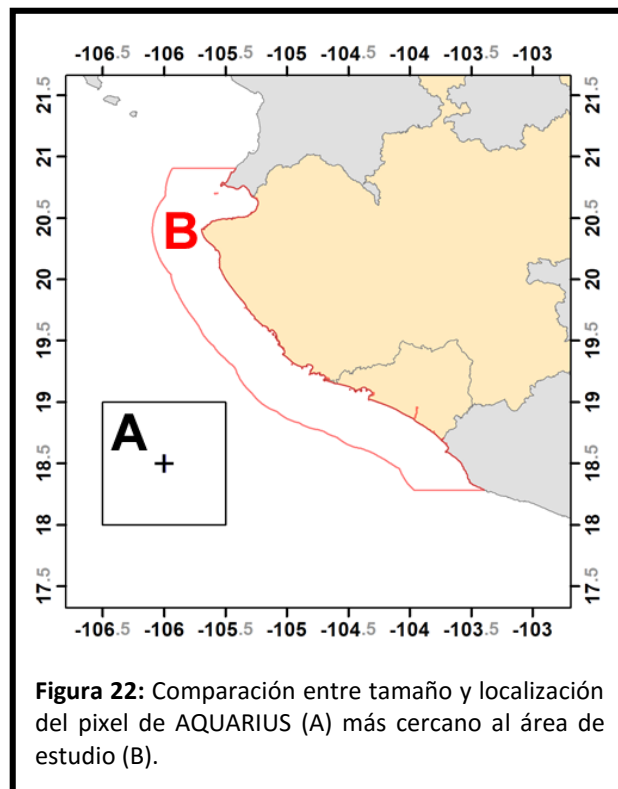


Desde otro punto de vista haciendo uso de datos de salinidad obtenidos del satélite AQUARIUS (NASA, 2016) y la media del área de estudio, se observa que la mayor parte de los años 2012 y 2013 está presente la masa de Agua Ecuatorial Superficial, misma que presenta salinidades menores a las 35 ups, temperaturas mayores a los 18°C y una profundidad máxima de 150m (Torres-Orozco, 1993). Solo en noviembre y octubre del 2013, se identificaron salinidades menores a las 34 ups propias del Agua Tropical Superficial del Pacífico la cual, según Badan (1997) es el principal componente de la Corriente Costera de Costa Rica (Fig. 21). Mientras que marzo del 2012 y mayo del 2013 parecen tener características más acordes a la Masa del Agua del Golfo de California (AGG) de salinidad superior a los 35 ups temperaturas mayores a los 12°C y un máximo de profundidad de 150m (Torres-Orozco, 1993).



Aunque puede darnos una idea de las características de las masas de aguas presentes en el área, esta descripción debe manejarse con reservas ya que los datos provenientes de AQUARIUS no recaen en el área de estudio, encontrándose el punto más cercano en los -106° longitud oeste y 18.5° latitud norte, además la resolución espacial es de 1° a comparación de los compuestos MODIS que se manejan en este estudio de 1 km (Fig. 22).

Por otra parte la CHLOa, contrario a la NSST, nos muestra en el área una fase de rápido incremento en su concentración los meses



de noviembre a enero, teniendo sus máximos de febrero a abril, meses que mantienen una concentración superior a los $3 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ (Fig. 20). Este incremento está relacionado a la surgencia de Bahía Banderas, ya que el aporte de aguas de menor temperatura, poco oxígeno y gran cantidad de nutrientes hace de estas regiones idóneas para un florecimiento del fitoplancton.

A continuación con el incremento de la NSST (mayo-julio), se identificó un rápido descenso en la concentración de CHLOa, llegando al mes de agosto cuando se registra una media del área de estudio de concentraciones menores ($<0.5 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$). Ya en el mes de septiembre se observa un ligero aumento, pero es hasta noviembre cuando se puede identificar un incremento constante en toda el área hasta completar el ciclo anual.

De esta forma tanto la NSST como la CHLOa muestran un pulso estacional en el área de estudio que se repite año con año, sin embargo este varía en intensidad (Fig. 23).

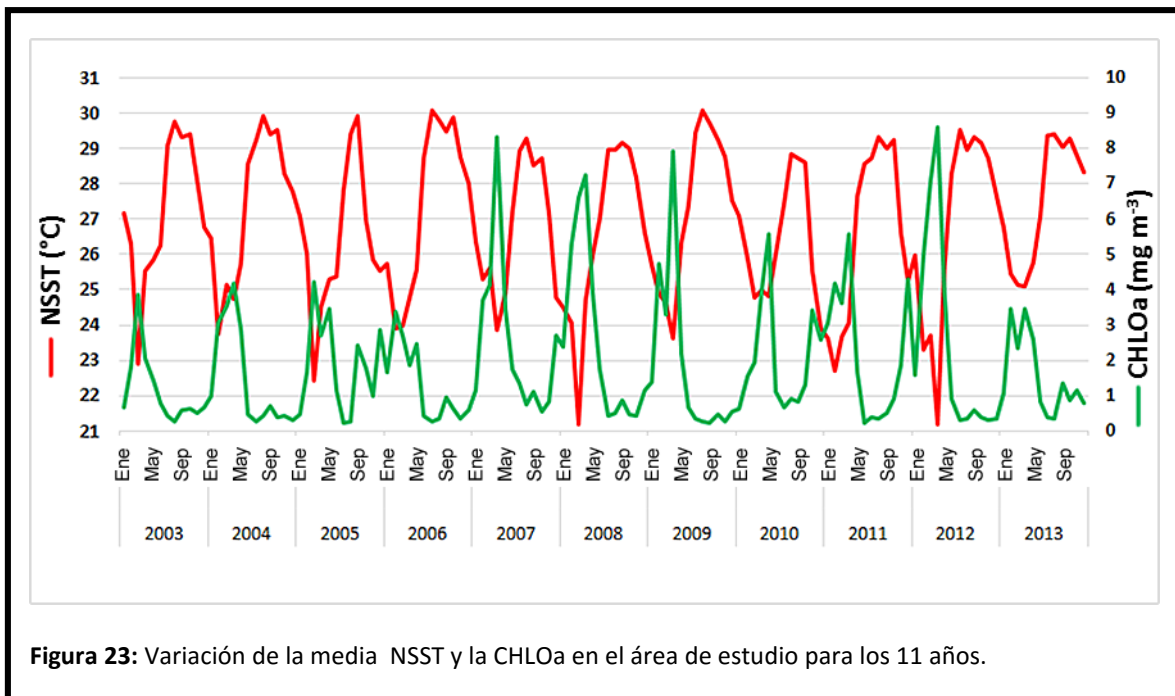
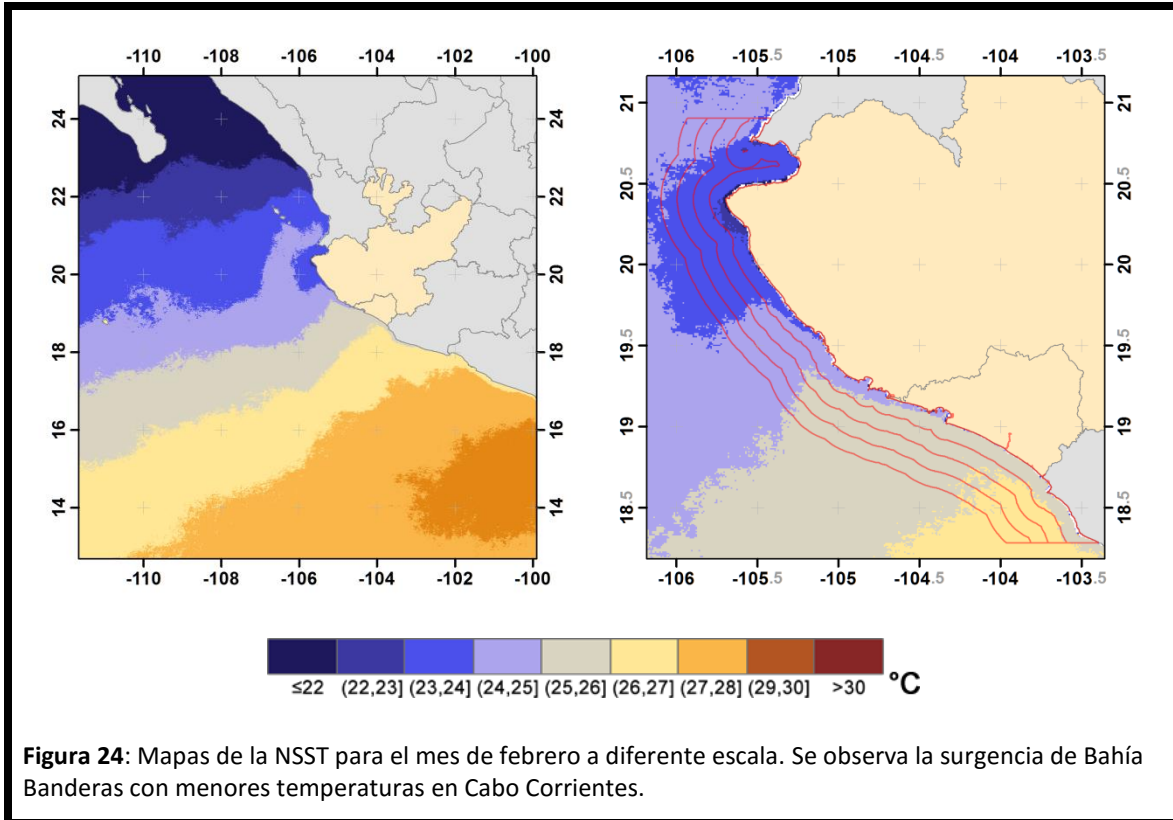


Figura 23: Variación de la media NSST y la CHLOa en el área de estudio para los 11 años.

Variación por la distancia de la costa y la latitud

Aunque la estacionalidad de las variables está presente en toda el área, existe una diferencia en la respuesta según la distancia de la costa y la latitud. En el caso de la NSST, los meses de febrero a abril como ya se mencionó, se observa la influencia del aumento de intensidad de la Corriente de California y se despliega la surgencia de Bahía Banderas (Fig. 24), la cual tiene su origen en las costas de Cabo Corrientes. La señal de dicha surgencia se observa como una intrusión de agua de menor temperatura ($<23^{\circ}\text{C}$) aledaña a la costa que va entre los 20.5° y los 20°N aproximadamente,

ocasionando que al momento de graficar la NSST en función de la latitud resulte en una característica curva donde las temperaturas menores se encuentran en la región central de Jalisco (Fig. 25a,b).



Además, en estos meses se identifica una corriente costera dirección noroeste-sureste sobre la plataforma continental (de las 0 a las 6 mn), que transporta agua de menor temperatura de latitudes mayores a latitudes menores y recorre toda el área de estudio (Fig. 26). De tal modo, en estos meses, la presencia de dicha corriente marca una ligera variación ($<1^{\circ}\text{C}$) de la temperatura según la distancia de la costa.

A continuación en mayo y junio comienza un incremento de la NSST debido a la reducción de intensidad de la Corriente de California y al empuje de la Corriente Mexicana, dicho incremento finaliza el mes de julio cuando alcanza los máximos de temperatura y una isoterma en toda el área de estudio que permanece hasta el mes de octubre (Fig. 25c), además, en estos meses de verano es imposible observar la señal de la corriente costera y no se registra variación según la distancia de la costa (Fig. 26).

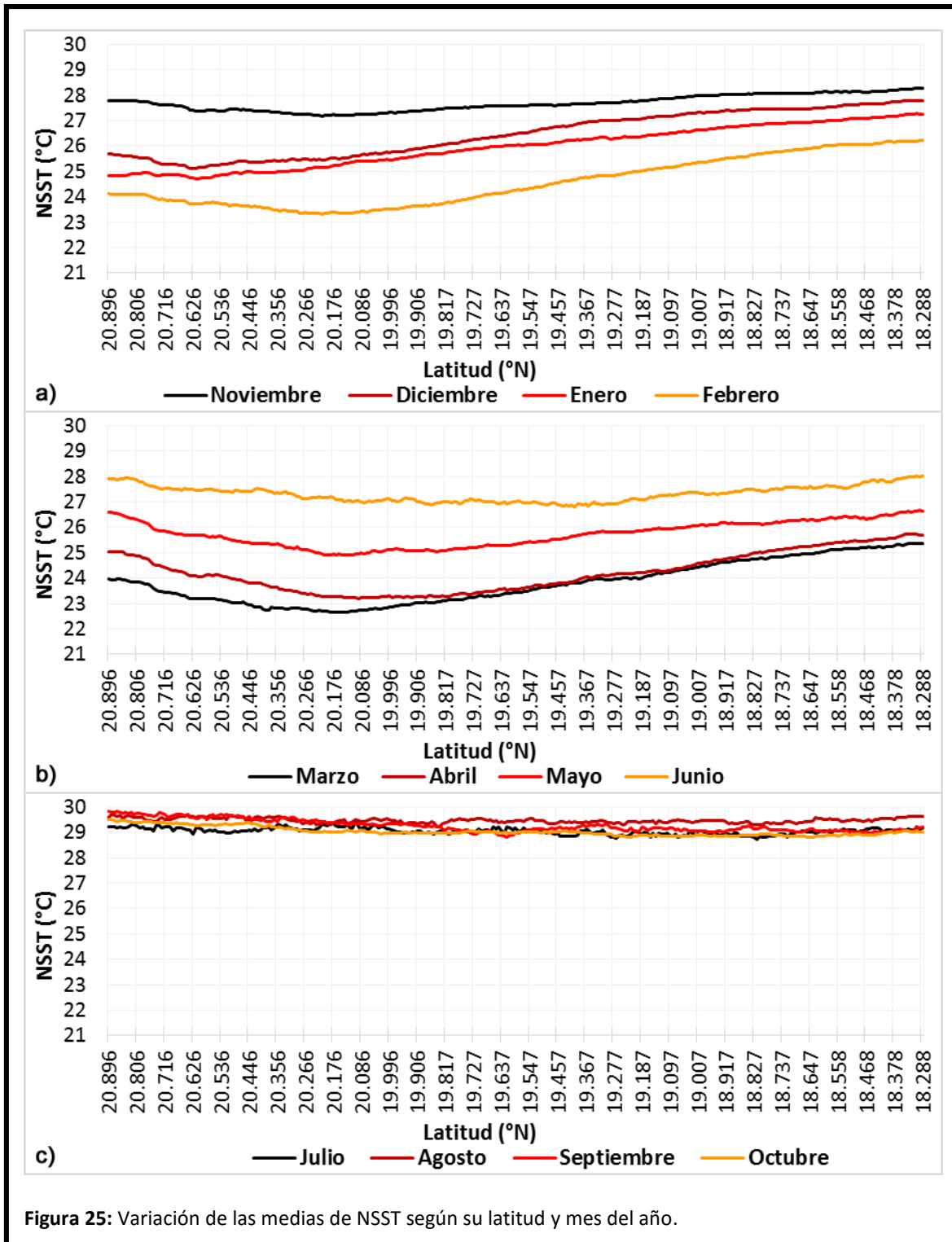
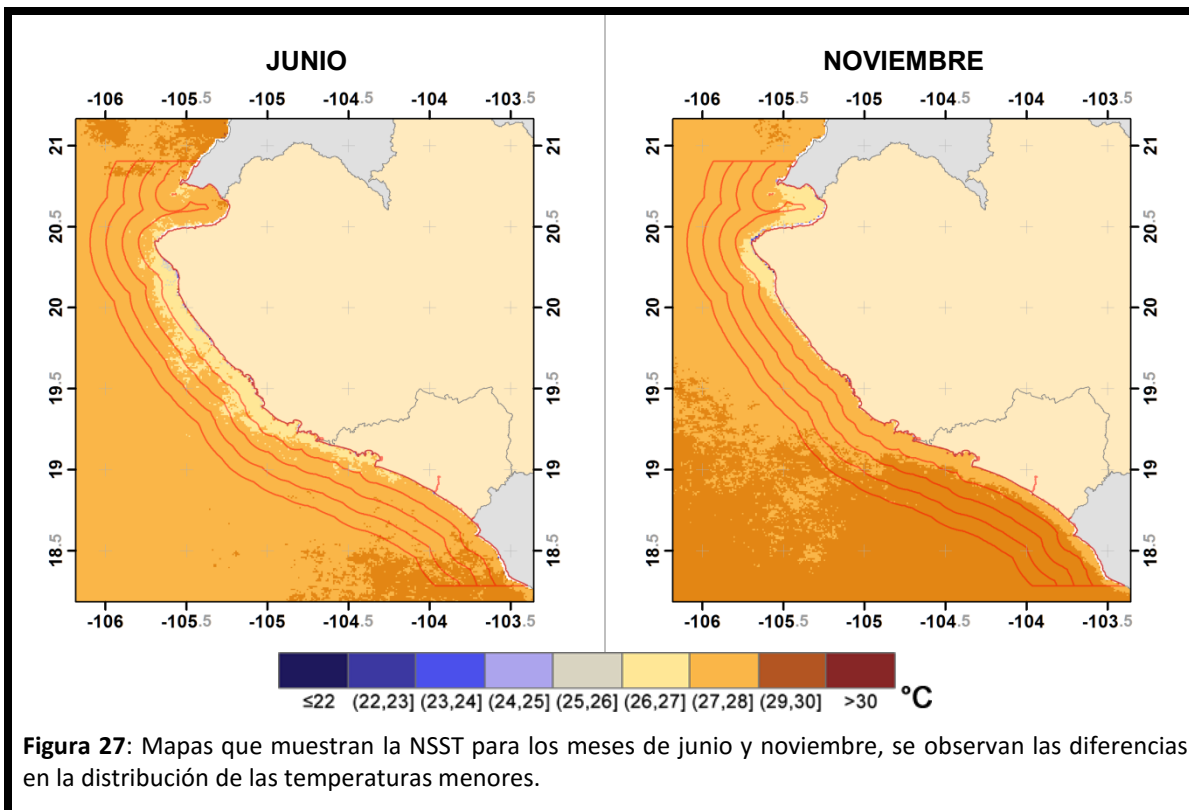
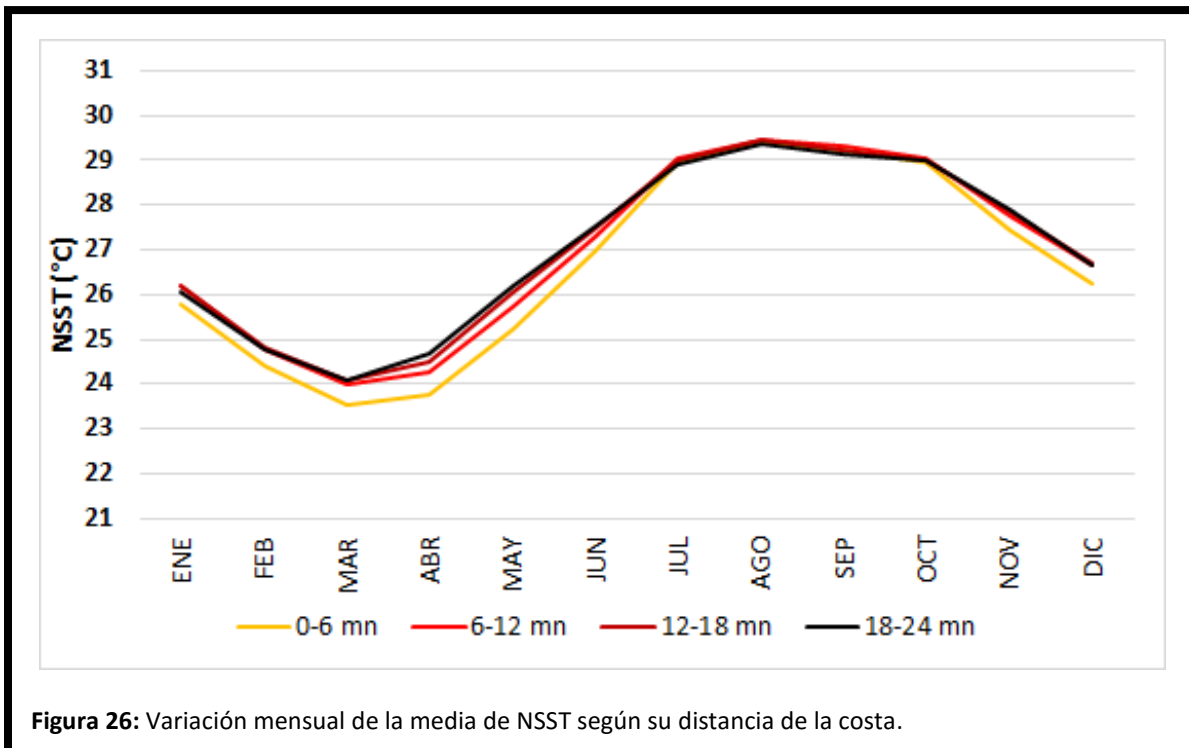


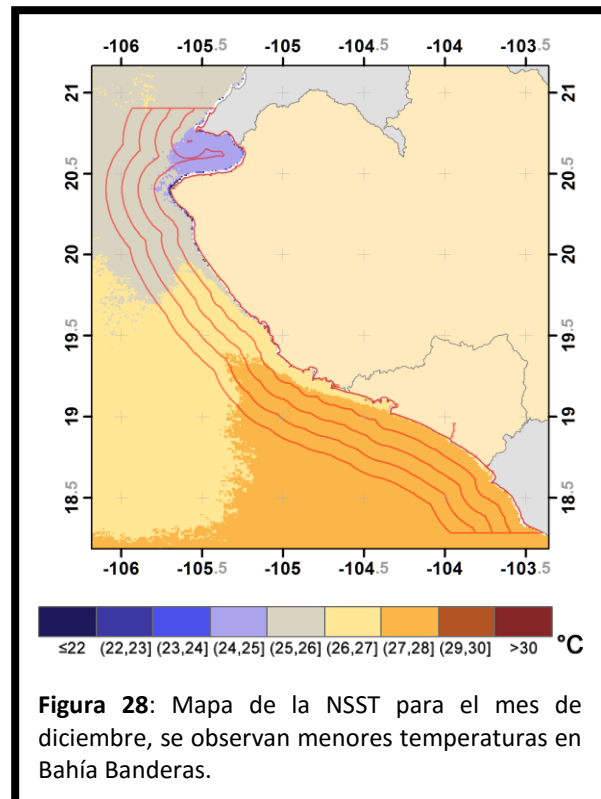
Figura 25: Variación de las medias de NSST según su latitud y mes del año.



Llegando a noviembre comienza a descender rápidamente la temperatura, tomando valores parecidos al mes de junio en el área de estudio (Fig. 25a), sin embargo, en noviembre las menores temperaturas se encuentran recluidas dentro de Bahía Banderas y en el área adyacente a Cabo Corrientes, mientras que en junio se encuentran distribuidas en la región las 0 a las 6 mn de la costa centro-sur de Jalisco y al norte de Colima (Fig. 27).

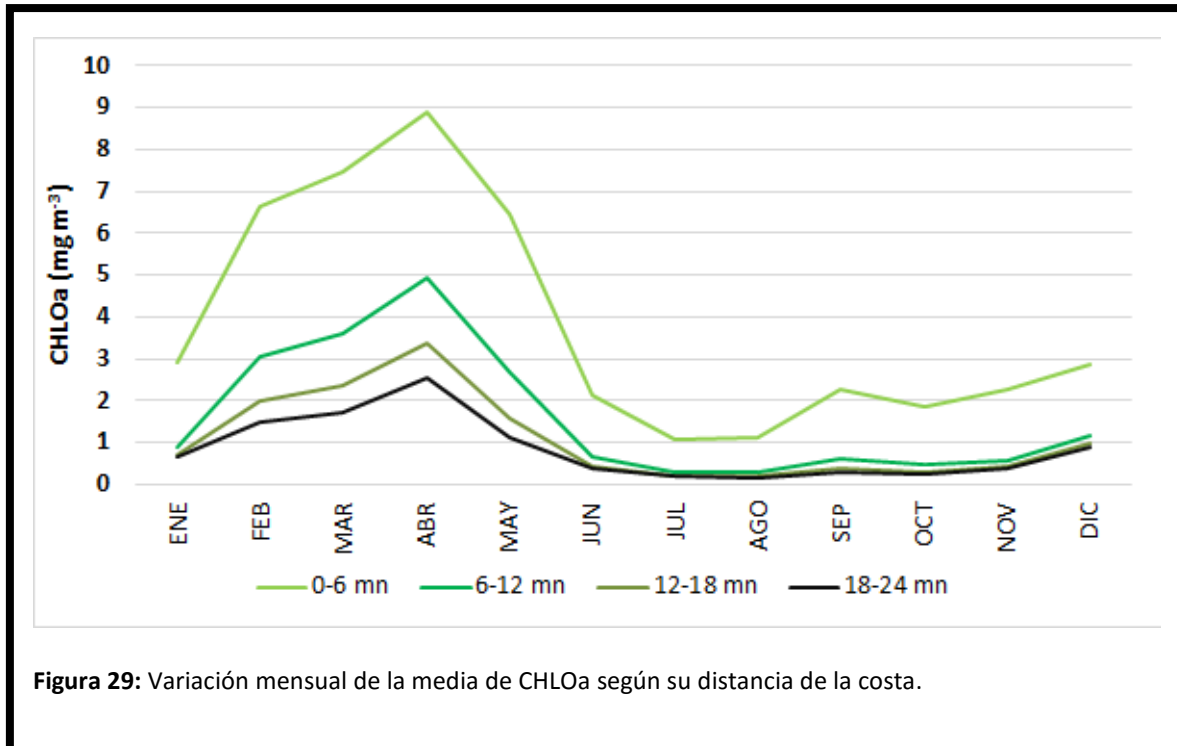
Además a partir de noviembre observamos nuevamente la corriente costera con dirección noroeste-sureste influenciando toda el área de las 0 a las 6mn.

En el mes de diciembre continúa disminuyendo la temperatura en Bahía Banderas manteniendo valores menores a los 25°C a diferencia de las zonas aledañas (Fig. 28), dicho patrón se mantiene hasta enero, cuando aumenta la intensidad de la Corriente de California y la temperatura de dicha región se homogeniza con las aguas provenientes de latitudes mayores. Por otro lado estos meses (diciembre y enero) presentan diferencias importantes en la latitud, donde a mayor latitud menor es la temperatura, superando los 2°C en los promedios entre el transecto que se encuentra al norte y el que se encuentra al sur del área de estudio (Fig. 25a).



En general se observa un área que va aproximadamente de los 20.347° a los 19.727°N que manifiesta variaciones mensuales importantes de la temperatura ($\approx 2^{\circ}\text{C}$) de enero a febrero, de abril a mayo, de mayo a junio, de junio a julio, de octubre a noviembre y de noviembre a diciembre, debido principalmente a la surgencia de Bahía Banderas.

Por otro lado las medias de la CHLOa muestran que la subregión de las 0 a las 6 mn es la que presenta valores más altos y con mayor variabilidad durante todo el año, caso contrario de las 18 a las 24mn donde se muestran los valores más bajos y más estables (Fig. 29).



De febrero a mayo con la presencia de la surgencia de Bahía Banderas aumenta considerablemente la concentración (Fig. 30a,b), alcanzando un máximo en cobertura e intensidad el mes de abril. Además, en estos meses se intensifican las diferencias de concentraciones por la distancia de la costa (Fig. 31), llegando a pasar en algunas zonas los $8 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ de diferencia entre la subregión de las 0 a las 6mn y la de 18 a las 24mn. También en estos meses se observa una regionalización latitudinal, dividiendo el área en tres grandes zonas. La primera va aproximadamente de los 20.788° a los 20.464°N donde se tiene un incremento considerable de las 0 hasta las 12 mn, dicha región pertenece a toda el área de Bahía Banderas. La segunda corresponde a una curva en la gráfica de latitud y concentración, dicha curva se extiende aproximadamente desde los 20.266° hasta los 19.727°N , presentando valores más altos a los 20.104°N . Esta región se encuentra ubicada al sur de Cabo Corrientes, sin embargo se observa que su influencia se extiende hasta la laguna de Cuyutlán, es probable que dicha influencia sea tan extensa en área gracias a la corriente costera que se identificó con la NSST. Por último una tercera región se forma aproximadamente desde los 18.827°N hasta los 18.558°N esta región representa todo el sur de Colima hasta San Juan de Alima (Michoacán) (Fig. 31).

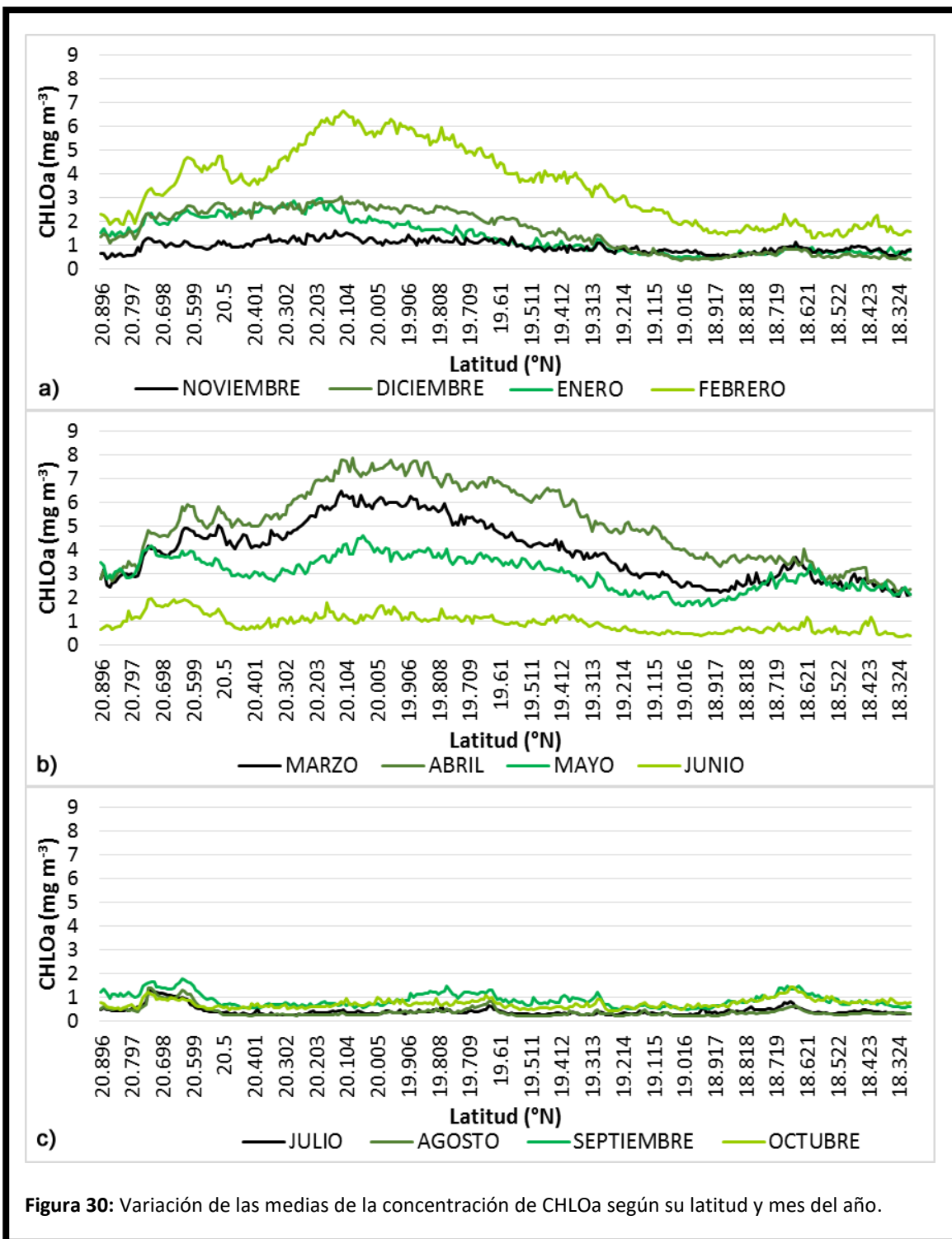
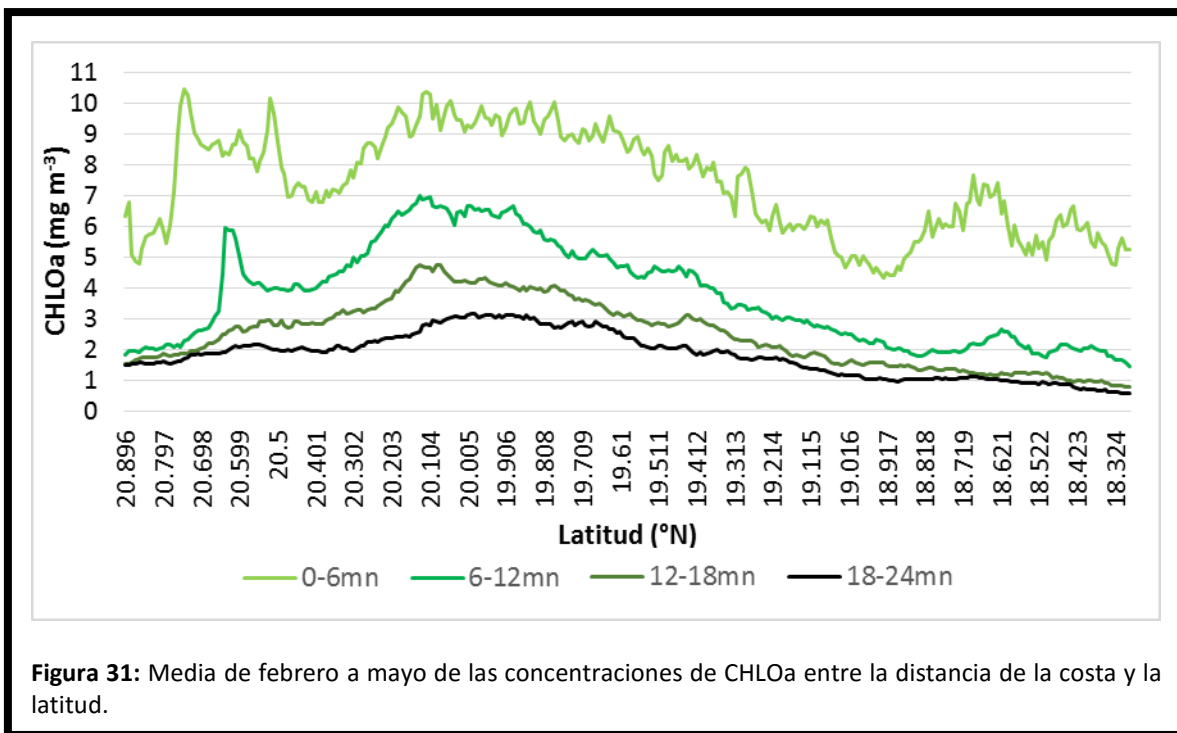


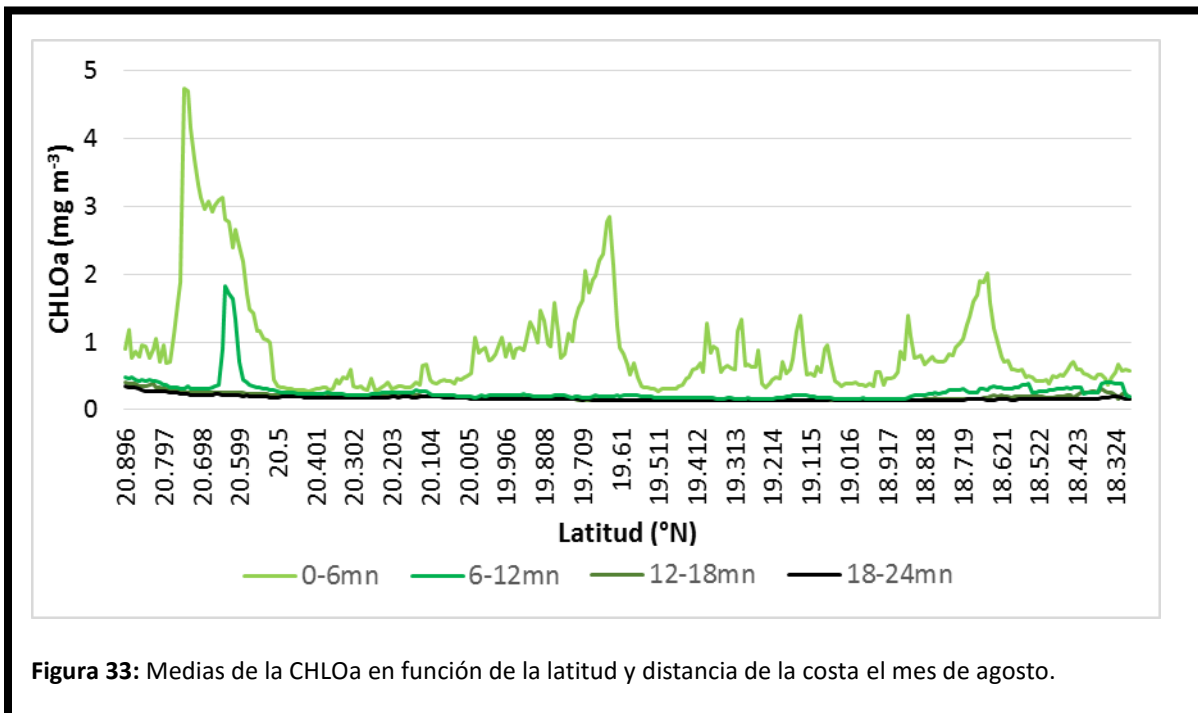
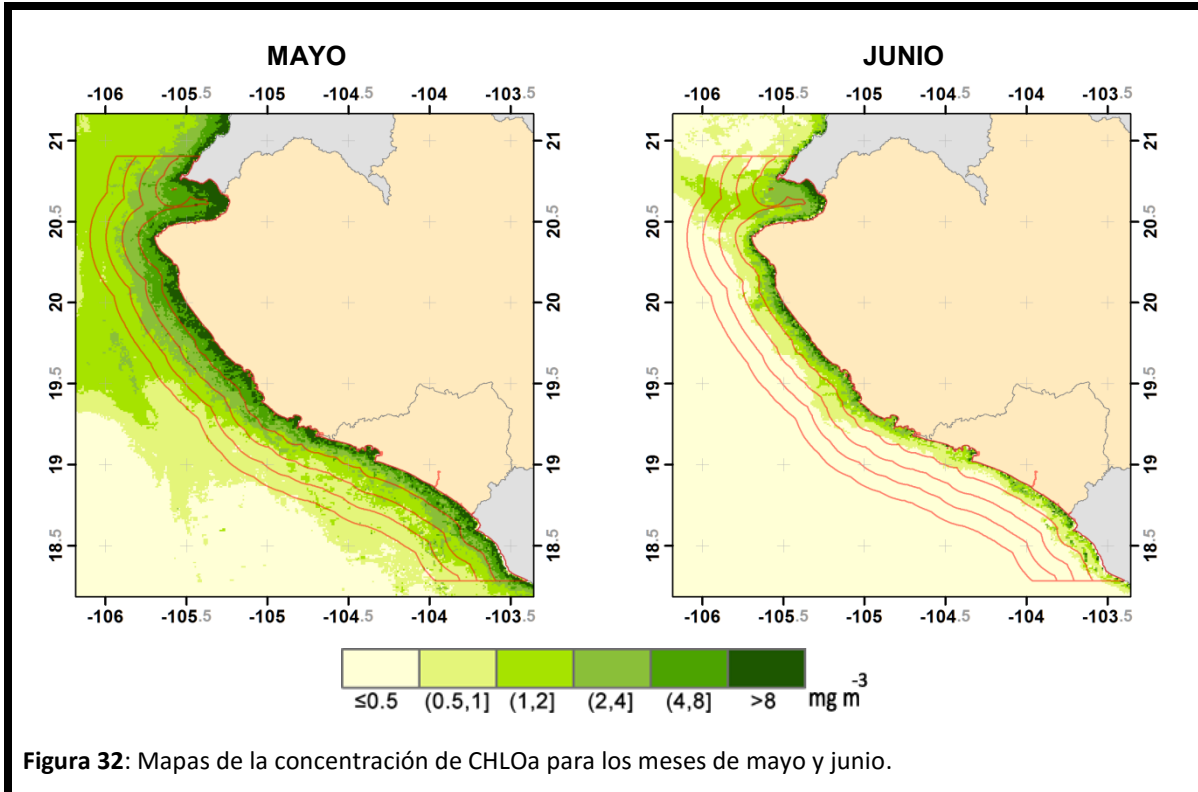
Figura 30: Variación de las medias de la concentración de CHLOa según su latitud y mes del año.



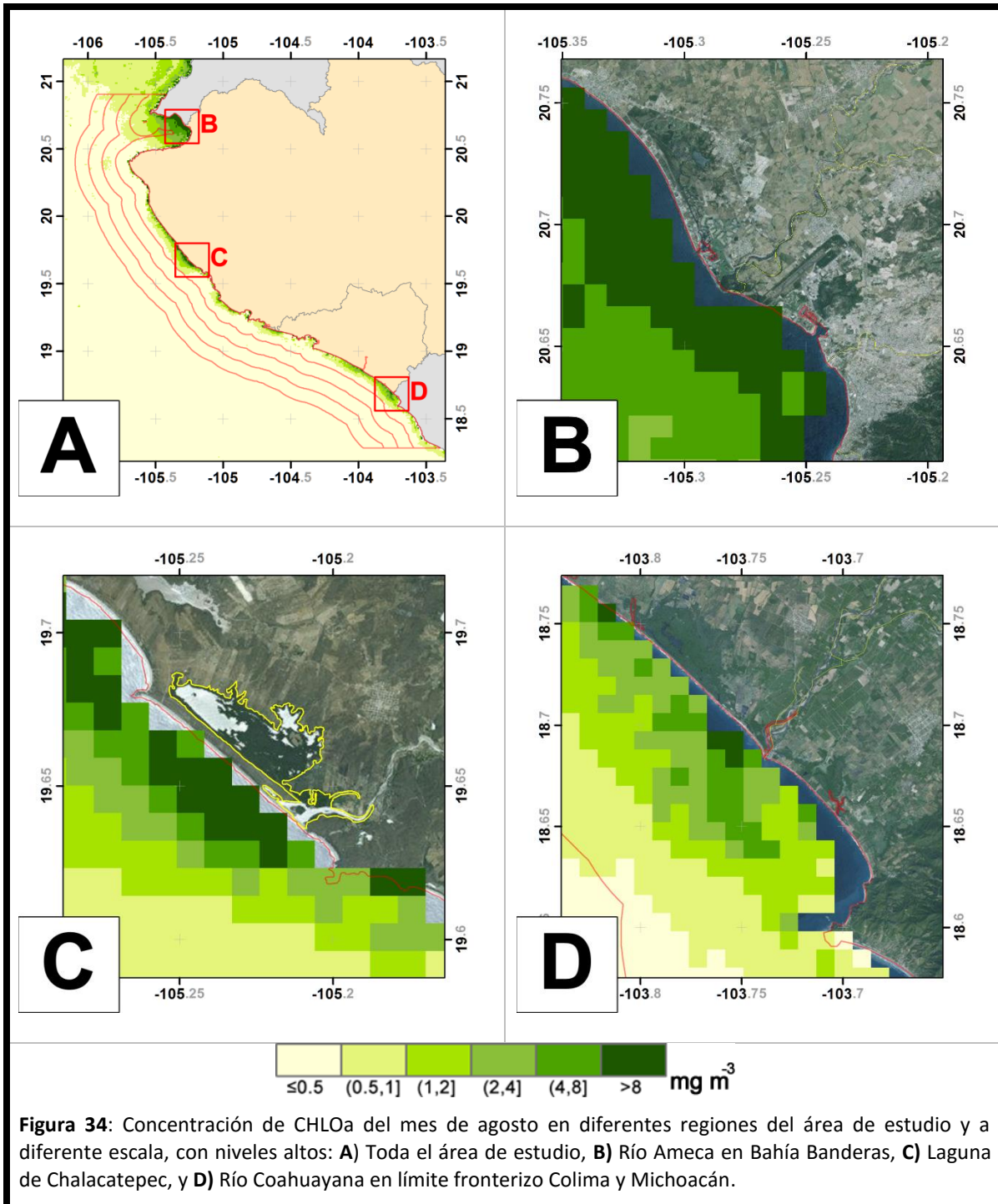
A pesar que desde el mes de mayo comienza el decremento de la concentración de CHLOa, es en junio donde se acelera este proceso manteniendo únicamente la zona aledaña a la costa y Bahía Banderas con valores mayores a 1mg m^{-3} (Fig. 32).

Con el aumento de la intensidad de la Corriente Mexicana alimentada por la Contra Corriente Ecuatorial y la formación de la isoterma en el área, la concentración de CHLOa llega a su límite más bajo los meses de julio a octubre (Fig. 30c). Sin embargo en julio, agosto y septiembre se identifican tres picos en la concentración de CHLOa en la subregión de la 0 a las 6 mn (Fig. 33).

Haciendo un acercamiento, se observa que este incremento en la concentración de la CHLOa colinda con cuerpos de agua epicontinental, y como se vio anteriormente estos meses están relacionados con la época de lluvias en los estados, tal motivo lleva a pensar que este incremento está asociado al arrastre de materia orgánica (Fig. 34), además se observa un incremento mensual de estas regiones hasta el mes de septiembre, donde la concentración supera los 3mg m^{-3} .



Por otra parte, en octubre se registra un pequeño descenso de las concentraciones, sobretodo en Bahía Banderas donde alcanza una diferencia de 1mg m^{-3} respecto al mes anterior, esto es acorde con el fin de la temporada de lluvias en el estado de Jalisco.



Finalmente de noviembre a enero comienza a incrementarse la concentración en el área de estudio, paralelo a la reducción de NSST previamente descrita y completando de este modo el ciclo anual (Fig. 30a).

Anomalías de la NSST y la CHLOa (2003-2013)

La mayor parte del 2003 y 2004 las anomalías muestran una NSST ligeramente mayor y menores concentraciones de CHLOa. Esta tendencia no cambia hasta mediados del 2005, cuando la NSST presenta registros menores a la media los meses de junio, octubre y en noviembre, mostrando diferencias que alcanzan los 2°C, en contraste se identifica un incremento en la concentración de CHLOa los meses de septiembre, octubre y diciembre de ese mismo año (Fig. 35).

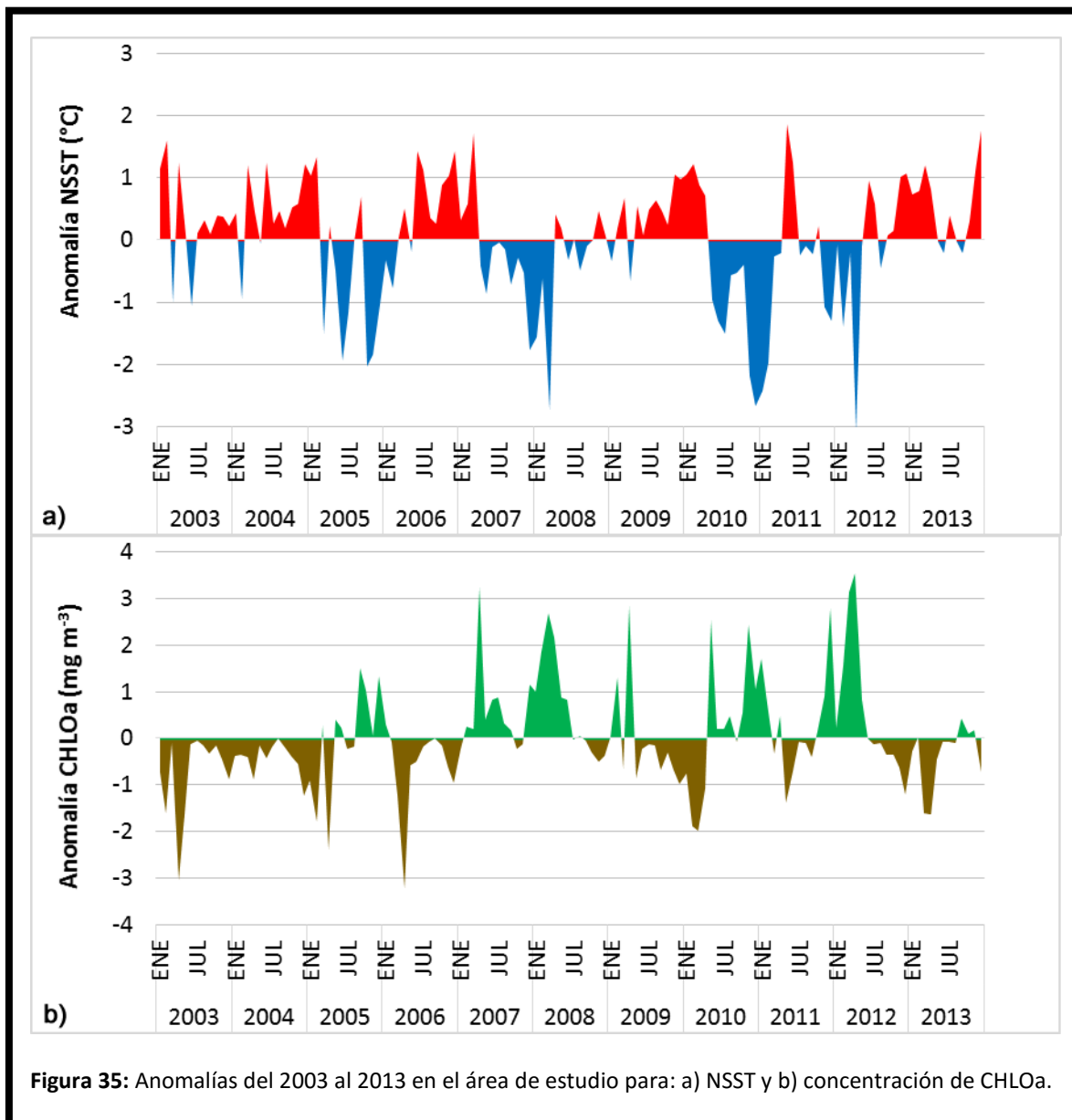
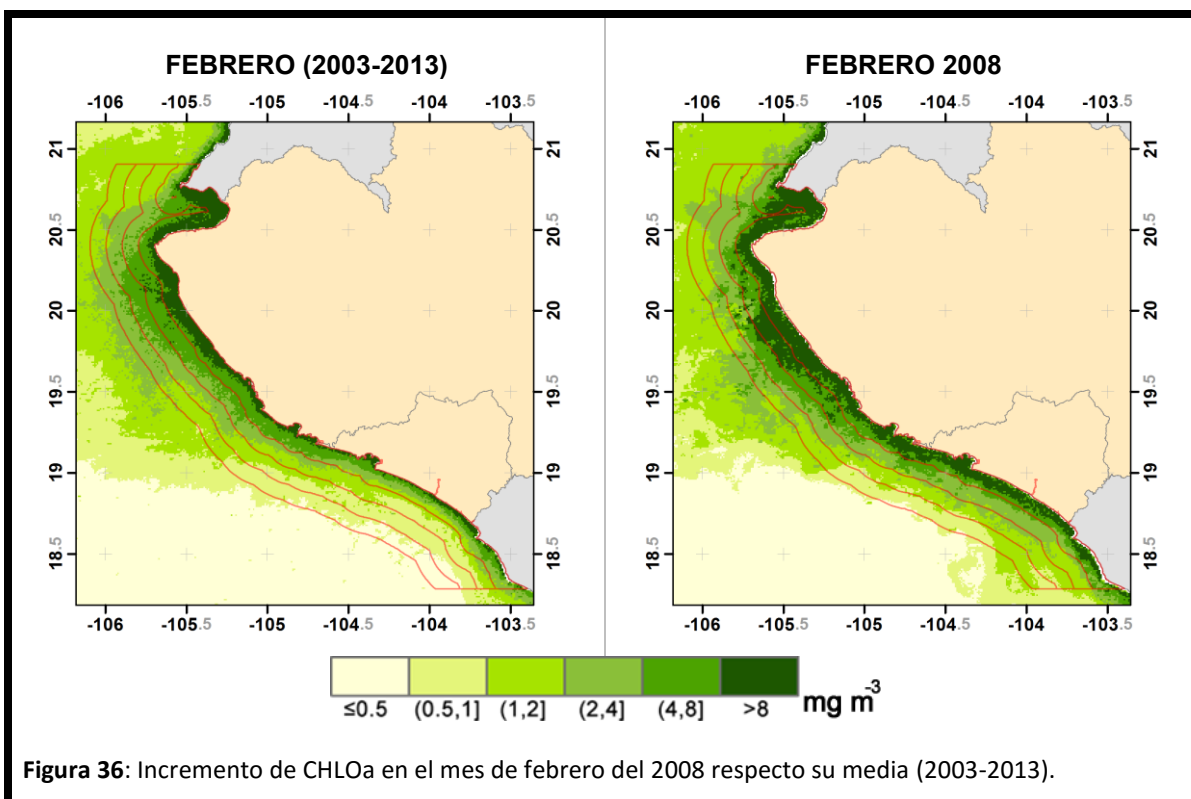


Figura 35: Anomalías del 2003 al 2013 en el área de estudio para: a) NSST y b) concentración de CHLOa.

Posteriormente, en marzo del 2006 se registra un aumento en las anomalías de la NSST que termina hasta marzo del 2007, esto es de considerarse ya que abarca la mayor parte del año incluyendo los meses de verano, este incremento hace de julio del 2006 el mes con la media mayor de NSST del área de estudio (30.09°C) en los 11 años que abarca el estudio. Por otro lado además de los incrementos en las anomalías de NSST existe un importante descenso en las de concentración de CHLOa, identificando en abril del 2006 una importante reducción que alcanza los 3 mg m^{-3} .

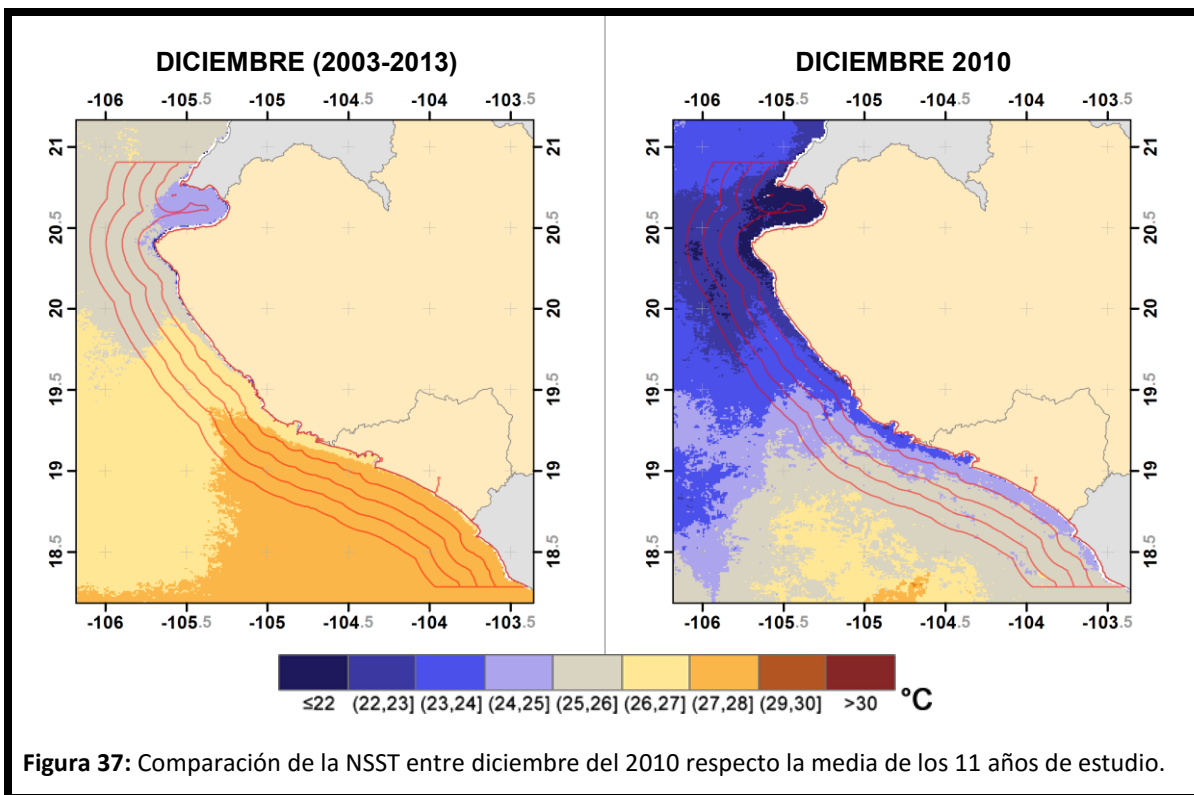
En el 2007 se observa un ligero incremento de la concentración de CHLOa los meses de febrero y marzo, aumentando en gran medida en abril cuando alcanza una diferencia de 3.24 mg m^{-3} respecto la media registrada para ese mes. Al mismo tiempo en este mes inicia un descenso importante en la anomalía de la NSST.

Tanto el incremento de la CHLOa como el descenso de la NSST permanecen la mayor parte del año 2007 e incluso se mantienen hasta julio del 2008. Este incremento prolongado de la CHLOa en los primeros meses sitúa al 2008 como el año con la media anual de mayor concentración, conjuntamente marzo del 2008 se identifica con la menor NSST promedio del área (21.2°C) de los 11 años que abarca el estudio (Fig.36).



A partir de julio del 2008 no se observan diferencias cuantiosas en las anomalías y esta tendencia se mantiene la mayor parte del 2009, donde sólo en los meses de febrero y abril constaron incrementos considerables en la concentración de CHLOa.

El 2010 vuelve a ser un año bastante irregular, los primeros meses se identifican con incrementos de la NSST y un descenso en la concentración de CHLOa los cuales perduran hasta abril. A partir de mayo se invierten los papeles en las anomalías, pues se identifica una disminución en la NSST hasta diciembre, mes que alcanza una diferencia de 2.7°C (Fig. 37), y de manera inversa se registra un incremento en la CHLOa esos mismos meses, alcanzando un aumento máximo en mayo, noviembre y diciembre.



Estas tendencias en las anomalías de finales del 2010 permanecen en enero del 2011, hasta mayo y junio, meses en los que existió un incremento de la NSST y una disminución de la concentración de CHLOa, razón por la cual junio se identifica como el mes con la concentración promedio más baja con apenas $0.21\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$.

A continuación en noviembre del 2011 se observa un incremento de la concentración de CHLOa, mismo que se extiende hasta febrero del 2012 y aumenta más en marzo y abril, esta anomalía

ocasiona que abril sea el mes con la mayor concentración promedio del área de estudio en los 11 años con $8.62\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ (Fig. 35). Dichos cambios en la concentración vienen acompañados de una reducción anómala en la NSST los meses de febrero y abril, este último alcanza una variación de 3.08°C respecto la media

Por último en la mayoría de los meses a partir de junio del 2012 y hasta diciembre del 2013 se observa un incremento de la NSST mismo que va acompañado en una reducción en la concentración de CHLOa.

Tabla 4: Resumen de los valores mayores y menores de las variables NSST y CHLOa.

| | Media de CHLOa en el área de estudio | Media de NSST en el área de estudio |
|----------------------------|---|--|
| REGISTRO MENSUAL MAYOR | 2012, abril 8.62 mg m^{-3} | 2006, julio 30.09 $^\circ\text{C}$ |
| REGISTRO MENSUAL MENOR | 2011, junio 0.21 mg m^{-3} | 2008, marzo 21.19 $^\circ\text{C}$ |
| REGISTRO MEDIA ANUAL MAYOR | 2008 2.59 mg m^{-3} | 2013 27.46 $^\circ\text{C}$ |
| REGISTRO MEDIA ANUAL MENOR | 2003 1.14 mg m^{-3} | 2005 26.35 $^\circ\text{C}$ |

Relación CHLOa y NSST

En este estudio se identificó para las costas de Jalisco y Colima a menor NSST existe un incremento en las concentraciones de CHLOa, aplicando la correlación de Pearson se observa esta relación inversa entre ambas variables (Tabla 5) la cual es altamente significativa ($p < 0.01$).

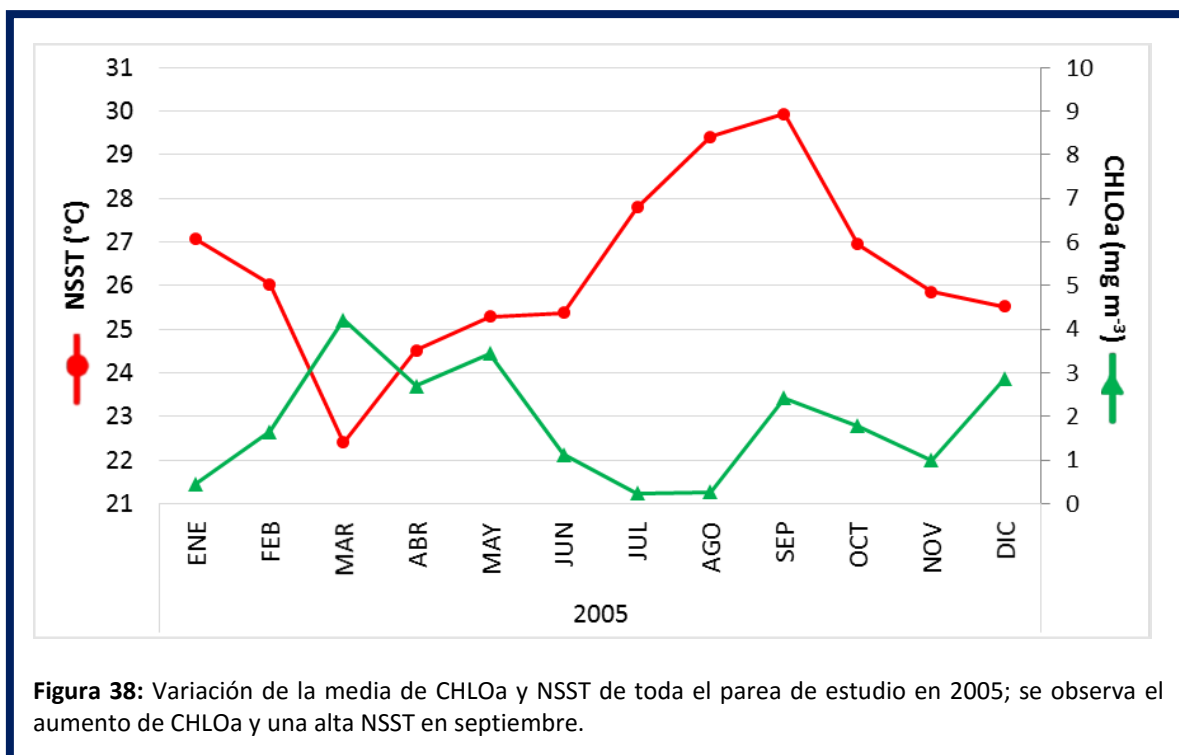
Tabla 5: Correlaciones entre la CHLOa y la NSST por año.

| AÑO | N | r(X,Y) | r ² | t | p | Prueba K-S (CHLOa) | Prueba K-S (NSST) |
|------|----|--------|----------------|--------|------------------|--------------------|-------------------|
| 2003 | 11 | -0.97 | 0.93 | -11.20 | < 0.01 | p > 0.2 | p > 0.2 |
| 2004 | 12 | -0.92 | 0.85 | -7.64 | < 0.01 | p > 0.2 | p > 0.2 |
| 2005 | 12 | -0.77 | 0.60 | -3.85 | < 0.01 | p > 0.2 | p > 0.2 |
| 2006 | 12 | -0.97 | 0.94 | -12.28 | < 0.01 | p > 0.2 | p > 0.2 |
| 2007 | 12 | -0.88 | 0.78 | -5.95 | < 0.01 | p > 0.2 | p > 0.2 |
| 2008 | 12 | -0.96 | 0.92 | -10.54 | < 0.01 | p > 0.2 | p > 0.2 |
| 2009 | 12 | -0.99 | 0.98 | -20.01 | < 0.01 | p > 0.2 | p > 0.2 |
| 2010 | 12 | -0.84 | 0.71 | -4.91 | < 0.01 | p > 0.2 | p > 0.2 |
| 2011 | 12 | -0.93 | 0.86 | -8.00 | < 0.01 | p > 0.2 | p > 0.2 |
| 2012 | 12 | -0.98 | 0.96 | -15.79 | < 0.01 | p > 0.2 | p > 0.2 |
| 2013 | 11 | -0.89 | 0.79 | -5.89 | < 0.01 | p > 0.2 | p > 0.2 |

**Valores con una relación fuerte ($r^2 > 70\%$) se muestran con un valor de r^2 en negritas

*Valores significativos se muestran el valor de p en negritas

En este caso resalta el año 2005 con una correlación de menor magnitud ($r^2 < 70\%$), esto puede ser debido a que en septiembre 2005 presenta un aumento en las concentración de CHLOa, sin embargo en este mes, la NSST permanece arriba de los 29°C (Fig. 38), es probable que este aumento en la concentración de CHLOa esté ligado a alguna causa externa.



Influencia del Niño en el área de estudio

Al aplicar la correlación entre los datos de las anomalías de la NSST con los datos del Índice Oceánico *El Niño* (ONI), se observa que la mayoría de los años presentan una correlación significativa y la relación es más fuerte ($>70\%$) en los años que presenta un fenómeno moderado (Niño o Niña) (Tabla 6).

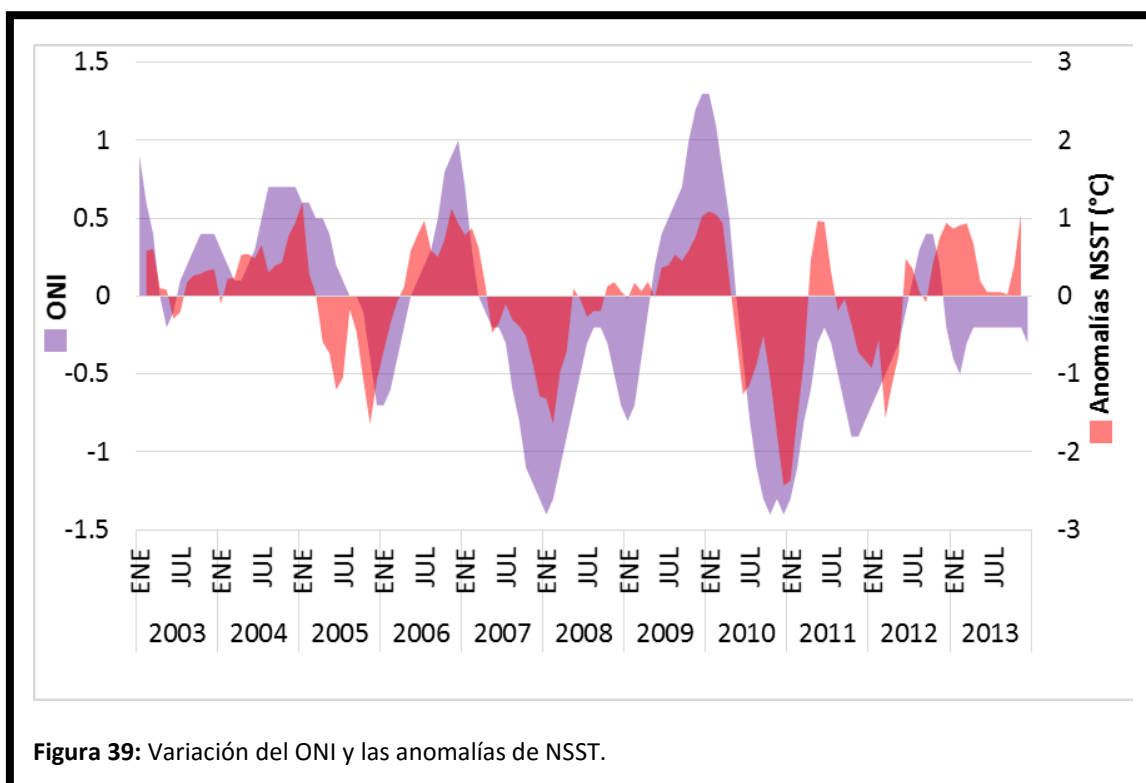
Tabla 6: Valores de las correlaciones por año entre la NSST y el ONI

| AÑO | n | r(X,Y) | r ² | t | p | Prueba K-S (NSST) | Prueba K-S (ONI) |
|------|----|--------|----------------|-------|-------------|-------------------|------------------|
| 2003 | 11 | 0.80 | 0.65 | 4.07 | <0.01 | p > 0.2 | p > 0.2 |
| 2004 | 12 | 0.41 | 0.17 | 1.42 | 0.19 | p > 0.2 | p > 0.2 |
| 2005 | 12 | 0.68 | 0.47 | 2.96 | 0.01 | p > 0.2 | p > 0.2 |
| 2006 | 12 | 0.87 | 0.76 | 5.64 | <0.01 | p > 0.2 | p > 0.2 |
| 2007 | 12 | 0.90 | 0.81 | 6.53 | <0.01 | p > 0.2 | p > 0.2 |
| 2008 | 12 | 0.83 | 0.69 | 4.67 | <0.01 | p > 0.2 | p > 0.2 |
| 2009 | 12 | 0.88 | 0.78 | 5.98 | <0.01 | p > 0.2 | p > 0.2 |
| 2010 | 12 | 0.89 | 0.79 | 6.17 | <0.01 | p > 0.2 | p > 0.2 |
| 2011 | 12 | 0.94 | 0.88 | 8.40 | <0.01 | p > 0.2 | p > 0.2 |
| 2012 | 12 | 0.66 | 0.44 | 2.81 | 0.02 | p > 0.2 | p > 0.2 |
| 2013 | 11 | -0.59 | 0.35 | -2.19 | 0.06 | p > 0.2 | p < 0.05 |

**Valores con una relación fuerte (>70%) se muestran con un valor de r² en negritas

*Valores significativos en la correlación se muestran el valor de p en negritas

Por otro lado el 2013 presentó valores muy cercanos a cero en el ONI la mayor parte del año, sin embargo en lo referente a la NSST se observa un incremento en las anomalías que no coincide con el fenómeno (Fig. 39).



Al realizar el mismo ejercicio de manera mensual, se observa que los meses de enero, febrero y de agosto a diciembre son los que obtienen relaciones significativas mayores al 60%, mientras que de abril a junio dichas correlaciones no lo son (Tabla 7).

Tabla 7: Valores mensuales del índice de correlación entre NSST y ONI.

| Meses | n | r(X,Y) | r ² | t | p | Prueba K-S (NSST) | Prueba K-S (ONI) |
|------------|----|--------|----------------|-------|-----------------|-------------------|------------------|
| Enero | 10 | 0.83 | 0.69 | 4.24 | <0.01 | p > .20 | p > .20 |
| Febrero | 11 | 0.80 | 0.63 | 3.95 | <0.01 | p > .20 | p > .20 |
| Marzo | 11 | 0.70 | 0.48 | 2.90 | 0.02 | p > .20 | p > .20 |
| Abril | 11 | 0.20 | 0.04 | 0.62 | 0.55 | p > .20 | p > .20 |
| Mayo | 11 | -0.17 | 0.03 | -0.51 | 0.62 | p > .20 | p > .20 |
| Junio | 11 | 0.24 | 0.06 | 0.75 | 0.48 | p > .20 | p > .20 |
| Julio | 11 | 0.61 | 0.37 | 2.31 | 0.05 | p > .20 | p > .20 |
| Agosto | 11 | 0.90 | 0.82 | 6.31 | <0.01 | p > .20 | p > .20 |
| Septiembre | 11 | 0.79 | 0.62 | 3.87 | <0.01 | p > .20 | p > .20 |
| Octubre | 11 | 0.79 | 0.62 | 3.86 | <0.01 | p > .20 | p > .20 |
| Noviembre | 11 | 0.78 | 0.61 | 3.76 | <0.01 | p > .20 | p > .20 |
| Diciembre | 10 | 0.82 | 0.68 | 4.36 | <0.01 | p > .20 | p > .20 |

**Valores con una relación mayor al 60% se muestran con un valor de r² en negritas
*Valores significativos se muestran el valor de p en negritas

Este comportamiento podría ser debido a la alternancia de la influencia de las diferentes corrientes en el área de estudio, ya que se observan bajas relaciones los meses que presenta una mayor influencia la Corriente de California acompañada de la Surgencia de Bahía Banderas (marzo a junio), por otro lado la Corriente Mexicana y la Contra Corriente Ecuatorial tienen una mayor influencia los meses en que presentan relaciones mayores entre el ONI y la NSST, incluso teniendo su máximo el mes de agosto, estas últimas corrientes son afectadas por los vientos alisios los cuales están directamente asociados al fenómeno de *El Niño*.

Pesquerías y parámetros de la *S. sierra*

Poblaciones de sierra

Dominguez-López *et al.* (2010) publicaron una alta diversidad genética mitocondrial (mtADN) así como una alta divergencia para *S. sierra* en las costas del Pacífico. Encontraron dos grupos genéticamente diferentes: uno en el área norte en las costas de Sinaloa y un segundo grupo en el área central en Michoacán, Oaxaca y Chiapas, además los autores manifiestan la posible existencia de un tercer grupo en Perú, el cual presenta ligeras diferencias genéticas con respecto a las muestras colectadas (Fig. 40).

Además, es posible la existencia de barreras que las confinen a determinadas áreas, a la par es importante mencionar que los desoves asincrónicos en áreas distantes pueden determinar el aislamiento de los stocks y por lo tanto la formación de poblaciones genéticamente diferentes (Shoji *et al.*, 2005).

En este sentido Nava-Ortega *et al.* (2012) reportan importantes diferencias en los parámetros poblacionales de *S. sierra* (Tabla 8), la cual alcanza tallas mayores a una misma edad en las costas de Mazatlán con respecto a las costas de Jalisco y Colima, esto fortalece la idea que podría tratarse de diferentes poblaciones de

sierra: la que se presenta en las costas del Golfo de California (Sinaloa) y la que se distribuye en las costas del Pacífico Central Mexicano (Jalisco-Colima).

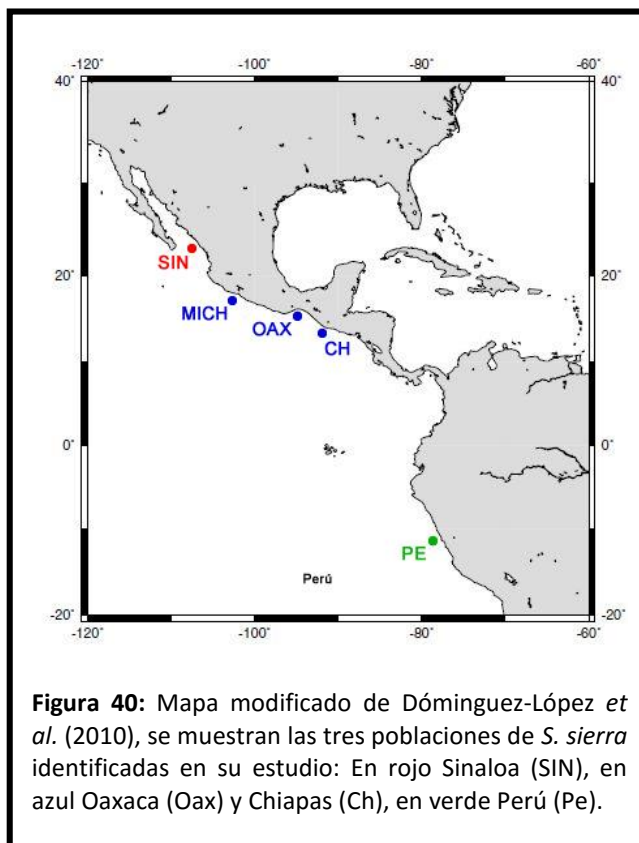


Figura 40: Mapa modificado de Dóminguez-López *et al.* (2010), se muestran las tres poblaciones de *S. sierra* identificadas en su estudio: En rojo Sinaloa (SIN), en azul Oaxaca (Oax) y Chiapas (Ch), en verde Perú (Pe).

Tabla 8: Parámetros poblacionales de *S. sierra* para el Pacífico Central Mexicano (Jalisco-Colima) y sus diferencias con otros estudios. (Modificada de Nava-Ortega *et al.* 2012).

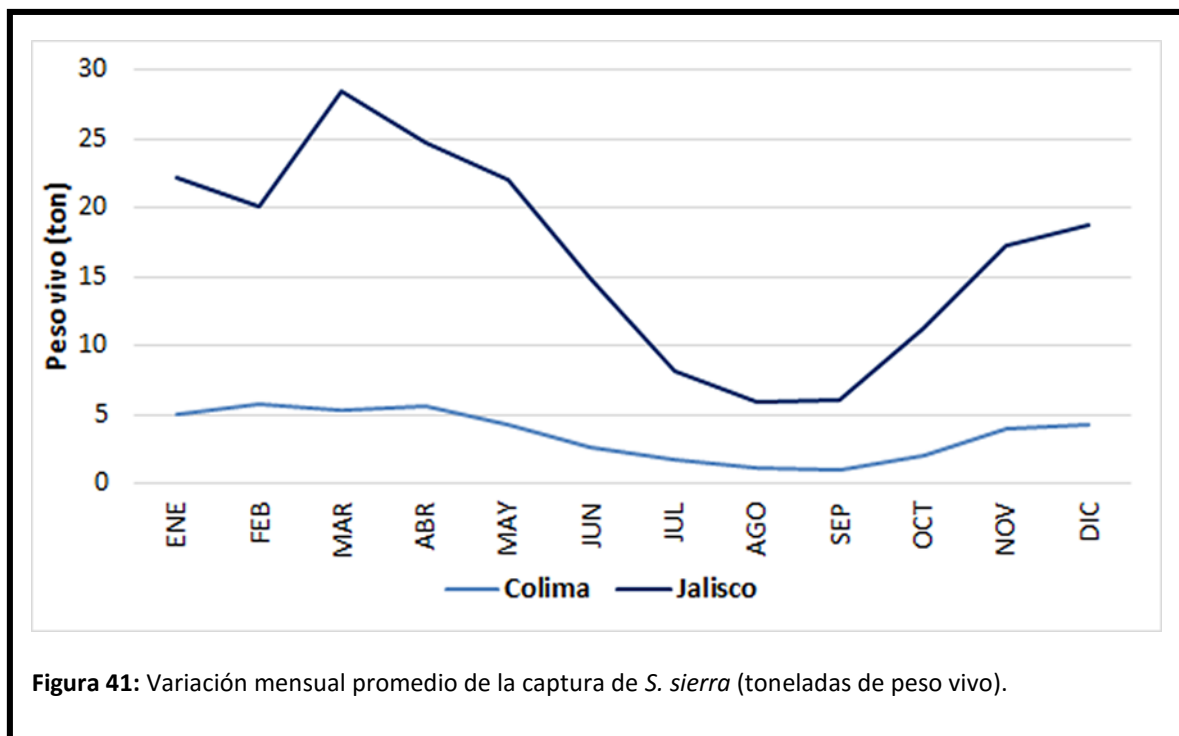
| | Espino-Barr <i>et al.</i> | Aguirre-Villaseñor <i>et al.</i> | Nava-Ortega <i>et al.</i> | Nava-Ortega <i>et al.</i> |
|-------------------|------------------------------|-------------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Año | 1990 | 2006 | 2010 | 2010 |
| Área | Colima | Golfo de California (Mazatlán) | Pacífico Central Mexicano | Pacífico Central Mexicano |
| Método | TL (ELEFAN) | LF | TL (ELEFAN) | TL (otolitos) |
| L_{∞} (cm) | 96.51 | 108.30 | 95.50 | 99.54 |
| K | 0.360 | 0.150 | 0.207 | 0.205 |
| t_0 | -0.023 | 0.0001 | 0.019 | -0.060 |
| Longevidad (años) | 8 | 20 | 14 | 15 |
| Fi | 3.525 | 3.245 | 3.276 | 3.308 |
| T°C | 26.5 | | 26.5 | 26.5 |

Variación estacional de captura

En el caso de los registros de peso vivo para la sierra Espino-Barr *et al.* (2012) identificaron a los meses de enero a mayo y de noviembre a diciembre como los que muestran un aumento considerable en la producción pesquera de *S. sierra*.

En este estudio coincide dicha temporalidad para los dos Estados, sin embargo Jalisco presenta mayores capturas y una mayor variación de sus registros, que van aproximadamente de las 28.5 toneladas de producción en marzo a las 5.9 toneladas en agosto (Fig. 41). En este estudio en que se consideran tanto Jalisco como Colima, es mayor la captura de la sierra en la temporada de enero a mayo que la de noviembre a diciembre.

Uno de los problemas que se afronta al trabajar con los datos de arribo de pesca es que no tienen el sitio exacto donde se realizó la captura, esto impide tener una buena regionalización a escalas menores obligando a trabajar con todo el Estado como la unidad mínima.



Anomalías de la captura (2003-2013).

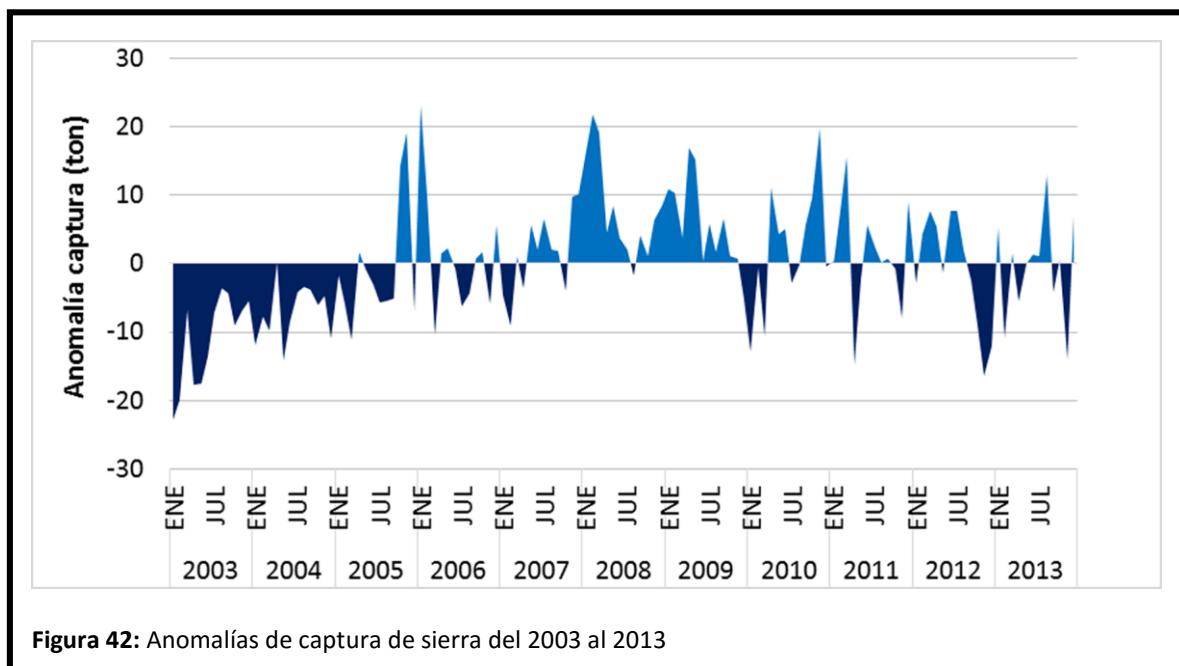
Los primeros dos años de este estudio registraron menores capturas a comparación de años posteriores, incluso en el 2003 los valores muestran una importante reducción de enero a mayo, justo en la temporada más alta, donde mayo de este año registró una entrada de apenas nueve

toneladas, a diferencia de la media registrada para ese mes de 26 t. Por tal motivo el año 2003 fue el que registró la menor captura anual de los 11 años de estudio con apenas 108 t (Fig. 42).

En el 2004 permanece aún por debajo de la media y aunque exhibe un aumento de 50 t en la producción anual con respecto al 2003, aún no alcanza valores competitivos de los siguientes años.

Esta tendencia continúa la mayor parte del 2005 (enero-agosto), incluso el mes de agosto registra una captura de 1.5 t, colocándolo como el mes con la captura más baja de los 11 años, sin embargo en octubre y noviembre de este año se registra un aumento considerable.

A continuación el 2006 mantiene registros ya muy cercanos a la media conservando esta tendencia la primera mitad del 2007. No obstante, a finales del 2007 y la mayor parte del 2008 se registra un incremento considerable en la captura, alcanzando una diferencia máxima de 21 t en febrero del 2008 respecto a su media registrada, y es en el mes de marzo que alcanza la mayor captura de los 11 años de estudio con 53 toneladas, lo cual coincide con el incremento en la concentración de la CHLOa que se obtuvo para este mes.



Esta serie de incrementos en la temporada alta (enero-mayo) colocan al 2008 como el año más productivo en la pesca de la sierra con 338 toneladas.

En el 2009 se observan incrementos en la producción pesquera la primera mitad del año y es en de abril cuando alcanza su máxima diferencia de 17 t, la segunda mitad del año, aunque presenta incrementos respecto la media, son en menor magnitud.

El año 2010 presenta un incremento en octubre, el cual coincide con las variaciones identificadas en la NSST y la CHLOa que se mencionaron previamente, sin embargo estas variaciones se presentan desde junio hasta diciembre y no así con la captura.

Los próximos años (2011-2013) se muestran con anomalías cercanas a la media con algunas excepciones muy puntuales: marzo del 2011 muestra un incremento respecto la media que alcanza las 15.6 t sin embargo abril presenta una reducción de 14.6 t de ese año; octubre, noviembre y diciembre del 2012 muestran un descenso que rebasa las 12 t en la captura respecto a la media de esos meses; finalmente agosto del 2013 muestra un incremento de 13 t pero noviembre de este año muestra una reducción de 14 t respecto su media.

Tabla 9: Resumen de los valores mayores y menores de la captura de sierra.

| CAPTURA EN LOS ESTADOS | |
|------------------------|---------------------------------|
| REGISTRO MENSUAL MAYOR | 2008, marzo 53.01 ton |
| REGISTRO MENSUAL MENOR | 2005, agosto 1.59 ton |
| REGISTRO ANUAL MAYOR | 2008 337.74 ton |
| REGISTRO ANUA MENOR | 2003 108.17 ton |

Relación de CHLOa y NSST con *S. sierra*

En este estudio se encontró una relación significativa entre la CHLOa y la NSST con la captura de la sierra, sin embargo dicha relación varía año con año (Fig. 43), por ejemplo en cuanto a la CHLOa y la captura se registraron años en que esta relación es mayor al 80% como lo son el 2006 (tabla 10), 2009, 2010 y 2012; sin embargo otros años se observan con correlaciones menores como en el 2003, 2004, 2005, 2007 y 2013; estos años se identificaron previamente por la baja productividad en la captura de la sierra (2003 y 2004) o bien por incrementos atípicos de la CHLOa (2005 y 2007).

El año 2005 presentó consideraciones muy particulares, se observa que los primeros meses con el incremento de la CHLOa existe un incremento inmediato en las capturas, sin embargo el mes de septiembre a pesar de que se registra otro incremento de la CHLOa, es hasta octubre-noviembre cuando dicho incremento se ve reflejado en la producción pesquera (Fig. 44), además se identifica un rápido descenso de la concentración de CHLOa en octubre y noviembre mismo que se ve reflejado hasta el mes de diciembre en las capturas.

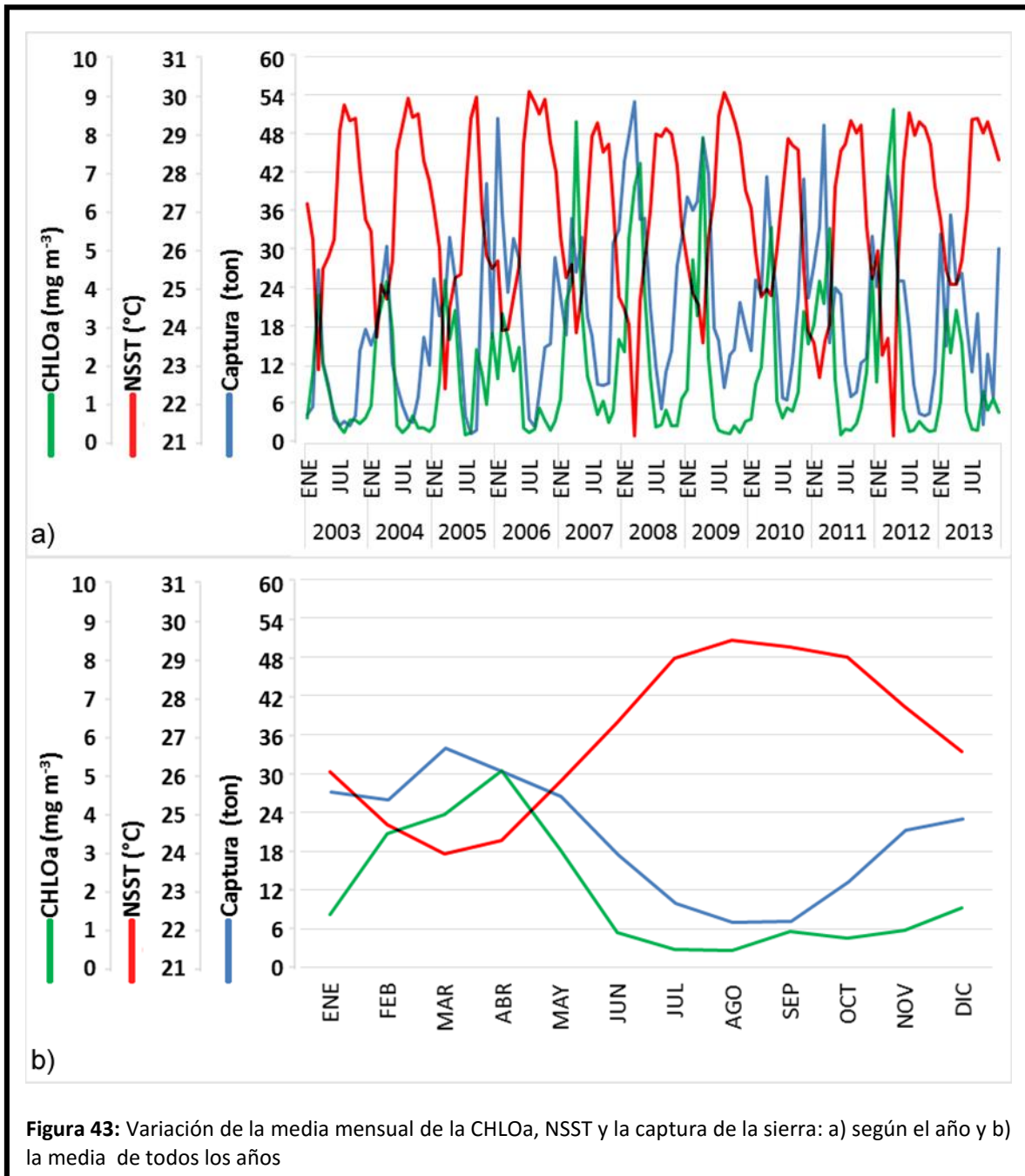


Figura 43: Variación de la media mensual de la CHLOa, NSST y la captura de la sierra: a) según el año y b) la media de todos los años

Tabla 10: Correlaciones entre la CHLOa y la captura de sierra por año.

| AÑO | N | r(X,Y) | r ² | T | P | Prueba K-S (CHLOa) | Prueba K-S (Captura) |
|------|----|--------|----------------|-------|---------------|--------------------|----------------------|
| 2003 | 11 | 0.74 | 0.54 | 3.28 | 0.01 | p > 0.2 | p > 0.2 |
| 2004 | 12 | 0.81 | 0.65 | 4.35 | < 0.01 | p > 0.2 | p > 0.2 |
| 2005 | 12 | 0.79 | 0.62 | 4.01 | < 0.01 | p > 0.2 | p > 0.2 |
| 2006 | 12 | 0.90 | 0.82 | 6.67 | < 0.01 | p > 0.2 | p > 0.2 |
| 2007 | 12 | 0.68 | 0.46 | 2.94 | 0.01 | p > 0.2 | p > 0.2 |
| 2008 | 12 | 0.88 | 0.78 | 5.95 | < 0.01 | p > 0.2 | p > 0.2 |
| 2009 | 12 | 0.99 | 0.98 | 20.98 | < 0.01 | p > 0.2 | p > 0.2 |
| 2010 | 12 | 0.93 | 0.87 | 8.23 | < 0.01 | p > 0.2 | p > 0.2 |
| 2011 | 12 | 0.86 | 0.74 | 5.34 | < 0.01 | p > 0.2 | p > 0.2 |
| 2012 | 12 | 0.95 | 0.91 | 10.08 | < 0.01 | p > 0.2 | p > 0.2 |
| 2013 | 11 | 0.79 | 0.62 | 3.83 | < 0.01 | p > 0.2 | p > 0.2 |

**Valores con una relación fuerte (>70%) muestran el valor de r² en negritas

*Valores significativos muestran el valor de p en negritas

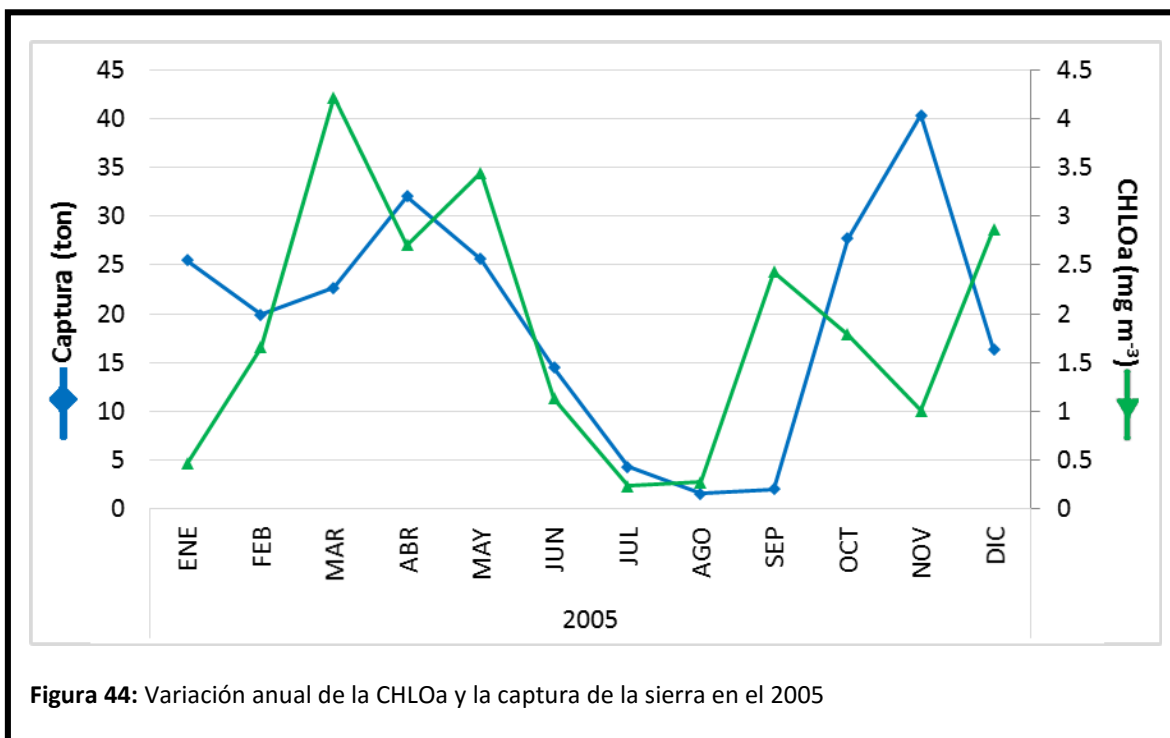
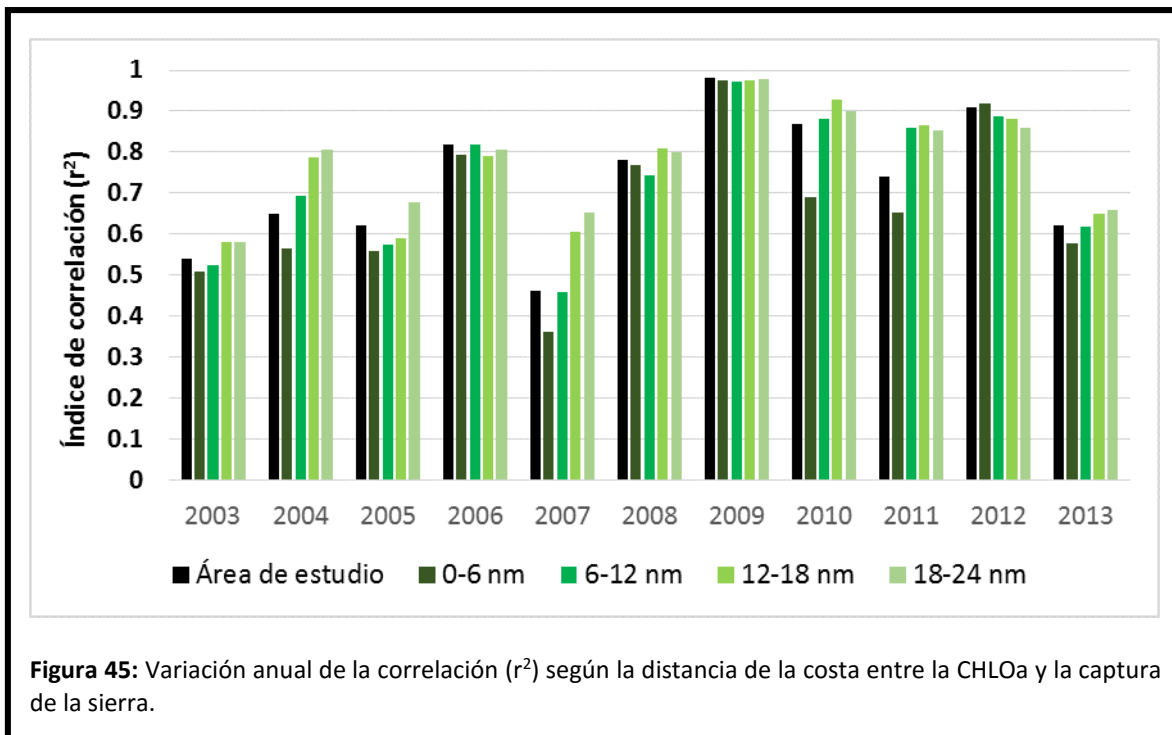


Figura 44: Variación anual de la CHLOa y la captura de la sierra en el 2005

Por otra parte se realizó el mismo ejercicio pero con valores obtenidos de las diferentes áreas según su distancia de la costa (Fig. 45).



En este caso se observa que los valores de los índices de correlación son mayores para el área de 18 a 24 mn en los años 2004 y 2007 respecto la media de toda el área de estudio, además en estos mismos años y añadiendo el 2010 y el 2011 el área de las 0 a las 6 mn presenta valores de relación más bajos.

En este sentido una mayor cantidad de CHLOa mostraría condiciones más adecuadas para una mayor captura de sierra, tomando este criterio se esperaría que el área de las 0 a las 6 mn tuviera una relación más estrecha dado que es el área que presenta mayores concentraciones, no obstante observamos en 8 años que el área de las 18 a las 24 mn es la que presenta valores mayores de relación. Es posible que la razón de esta variación sea que llegado determinado punto una mayor concentración de CHLOa en la región no necesariamente se refleja en una mayor captura de sierra, además que existen otros factores que influyen como el límite máximo de captura que pueda realizar cada pescador o bien factores biológicos como las relaciones inter o intra específicas (competencia y depredación), asimismo se debe tener en cuenta que *S. sierra* no es una especie que se alimente propiamente del fitoplancton.

En comparación la captura también muestra una estrecha relación con la NSST (Fig. 43, Tabla 11), en este caso se observa que nuevamente los años 2003 y 2005 vuelven a presentar una menor intensidad en la correlación frente a los demás años.

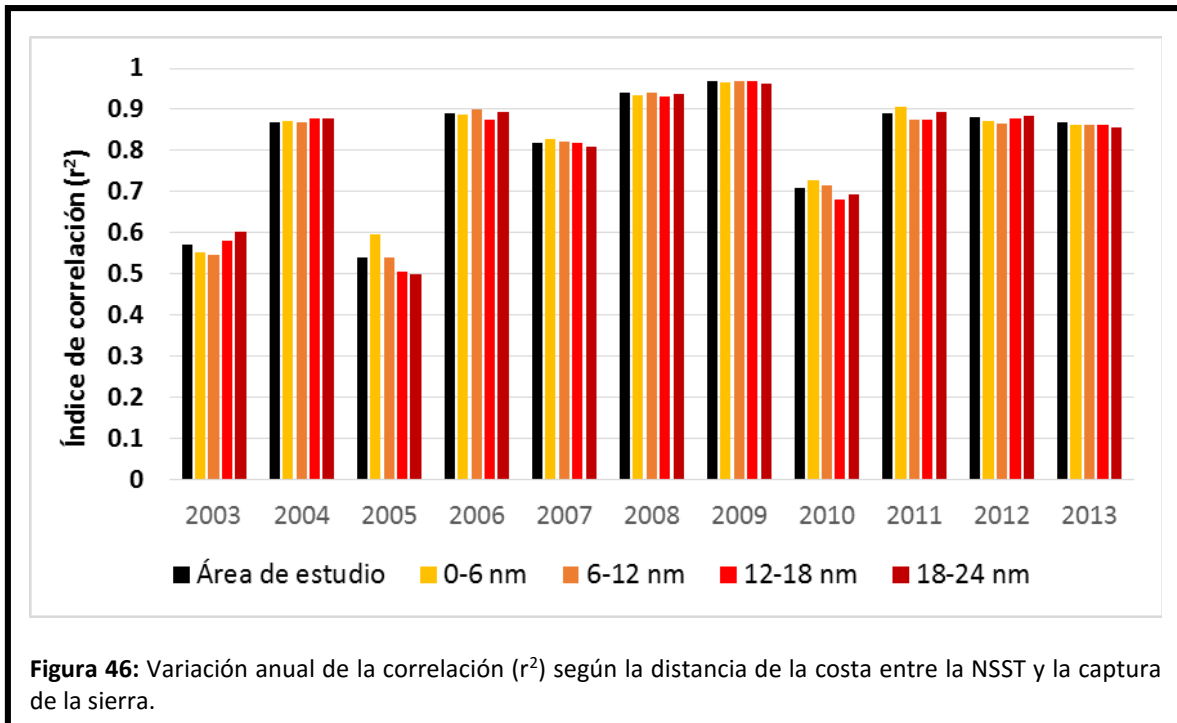
Tabla 11: Correlaciones entre la NSST y la captura de sierra por año.

| AÑO | N | r(X,Y) | r ² | T | p | Prueba K-S (NSST) | Prueba K-S (Captura) |
|------|----|--------|----------------|--------|---------------|-------------------|----------------------|
| 2003 | 11 | -0.76 | 0.57 | -3.46 | 0.01 | p > 0.2 | p > 0.2 |
| 2004 | 12 | -0.93 | 0.87 | -8.32 | < 0.01 | p > 0.2 | p > 0.2 |
| 2005 | 12 | -0.74 | 0.54 | -3.43 | 0.01 | p > 0.2 | p > 0.2 |
| 2006 | 12 | -0.94 | 0.89 | -8.95 | < 0.01 | p > 0.2 | p > 0.2 |
| 2007 | 12 | -0.91 | 0.82 | -6.80 | < 0.01 | p > 0.2 | p > 0.2 |
| 2008 | 12 | -0.97 | 0.94 | -12.36 | < 0.01 | p > 0.2 | p > 0.2 |
| 2009 | 12 | -0.98 | 0.97 | -16.99 | < 0.01 | p > 0.2 | p > 0.2 |
| 2010 | 12 | -0.84 | 0.71 | -4.95 | < 0.01 | p > 0.2 | p > 0.2 |
| 2011 | 12 | -0.94 | 0.89 | -9.01 | < 0.01 | p > 0.2 | p > 0.2 |
| 2012 | 12 | -0.94 | 0.88 | -8.42 | < 0.01 | p > 0.2 | p > 0.2 |
| 2013 | 11 | -0.93 | 0.87 | -7.61 | < 0.01 | p > 0.2 | p > 0.2 |

**Valores con una relación fuerte (>70%) se muestran con un valor de r² en negritas
Valores significativos se muestran el valor de p en negritas

Como ya se mencionó, el 2003 es probable que muestre estas irregularidades debido a que la producción pesquera de sierra fue muy baja, sin embargo en este sentido causa extrañeza el 2004, que a pesar de que mantiene bajas capturas alcanza una relación del 87% con la NSST. Además destaca el año 2009, dónde se identifica una correlación de 97% con la NSST y del 98% con la concentración de CHLOa.

Al igual que con la CHLOa, se realizó el mismo ejercicio tomando los valores de las áreas según la distancia de la costa, sin embargo a diferencia de la CHLOa no se observan cambios sustanciales entre las diferentes regiones (Fig. 46).



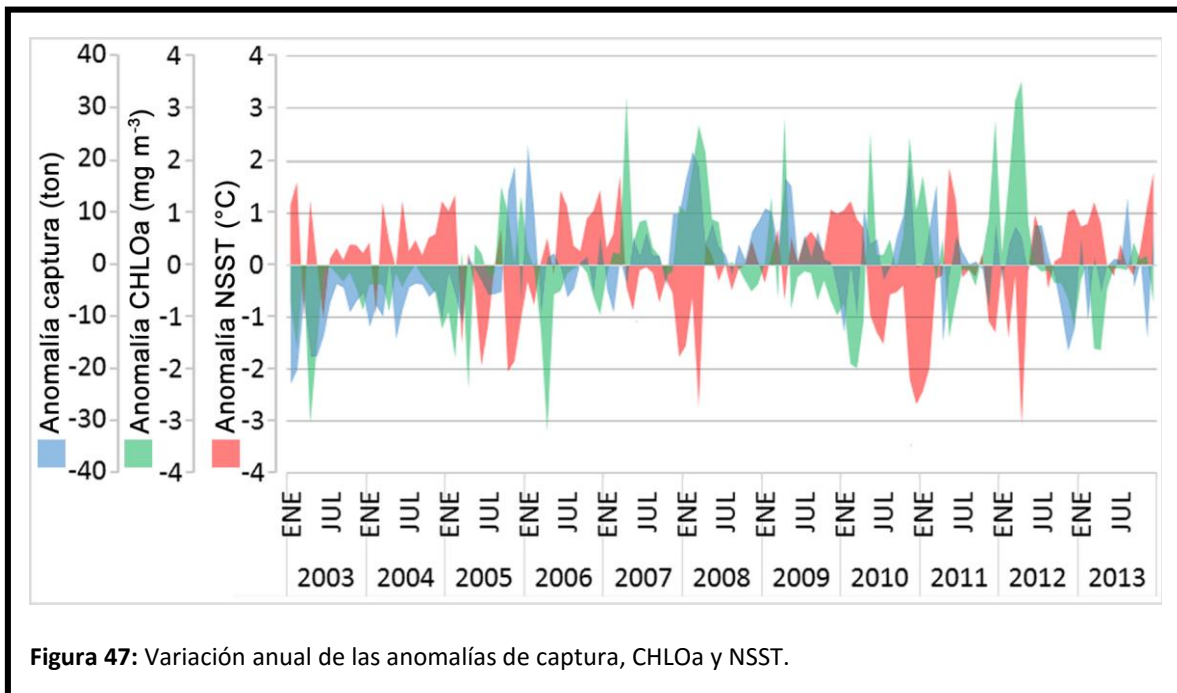
La razón de la poca diferenciación entre las áreas es debida a que, aunque existen variaciones según la distancia de la costa por la corriente costera, los principales cambios se dan latitudinalmente por la presencia o ausencia de la surgencia de Bahía Banderas, en este sentido se podría esperar que esta área tenga mayores capturas, sin embargo con los datos de anuarios no existe una manera para diferenciar el sitio exacto de pesca que nos permita comprobar esto.

Relación entre anomalías

Desde el punto de vista de anomalías parecen ajustarse a la misma tendencia previamente descrita: una reducción atípica de la NSST viene acompañada de incrementos en la CHLOa y en la captura de *S. sierra*, ocurriendo de manera inversa cuando existe un aumento de la NSST (Fig. 47). Dicho comportamiento nos sugiere que existe una relación entre las mismas anomalías, sin embargo al aplicar la correlación de Pearson de manera anual, se identifican bajos valores de r^2 e incluso poco significativos.

Por ejemplo en la mayor parte del año 2003 existió un incremento de la NSST acompañado de reducciones en la captura y la CHLOa (Fig. 47), sin embargo al aplicar la correlación se observa que no existe una evidencia significativa entre la anomalía de la NSST y las anomalías de estas dos variables (tabla 12). Una posible causa de este efecto es que la intensidad a la que se maneja una respecto la otra varía de mes en mes, incluso en algunos meses pareciera contradictorio teniendo

anomalías negativas en la NSST y también en la CHLOa y la captura, estos meses nos agregan incertidumbre y provocando que no se pueda ajustar enteramente al modelo.



En este sentido al hablar de anomalías son muchas las posibles causas de estos efectos en las variables, por ejemplo:

- La velocidad de reacción de la especie o la concentración de CHLOa frente a un evento atípico de la NSST, podría no ser siempre inmediata y variar según el mes en que se trate.
- Referente únicamente a *S. sierra*, como se mencionó previamente es una especie depredadora, es decir se encuentra al final de la cadena trófica, de este modo podría no existir una respuesta inmediata entre una alteración en el fitoplancton respecto su alimentación.
- Otro factor importante son los pescadores que puede influir desde la toma de datos, los días festivos, el clima o condiciones adecuadas para realizar la actividad y la rentabilidad del producto, entre otras.

Tabla 12: Valores anuales de la correlación entre las anomalías de la CHLOa, NSST y la captura de *S. sierra*.

| Variable 1 | Variable 2 | Año | r(X,Y) | r ² | t | p | N |
|------------|------------|------|--------|----------------|--------|-----------------|----|
| Captura | CHLOa | 2003 | 0.74 | 0.55 | 3.29 | 0.01 | 11 |
| Captura | CHLOa | 2004 | -0.12 | 0.01 | -0.39 | 0.70 | 12 |
| Captura | CHLOa | 2005 | 0.86 | 0.74 | 5.35 | <0.01 | 12 |
| Captura | CHLOa | 2006 | 0.68 | 0.46 | 2.93 | 0.02 | 12 |
| Captura | CHLOa | 2007 | 0.59 | 0.35 | 2.33 | 0.04 | 12 |
| Captura | CHLOa | 2008 | 0.63 | 0.39 | 2.54 | 0.03 | 12 |
| Captura | CHLOa | 2009 | 0.84 | 0.71 | 4.90 | <0.01 | 12 |
| Captura | CHLOa | 2010 | 0.84 | 0.71 | 4.94 | <0.01 | 12 |
| Captura | CHLOa | 2011 | 0.12 | 0.01 | 0.38 | 0.71 | 12 |
| Captura | CHLOa | 2012 | 0.84 | 0.70 | 4.87 | <0.01 | 12 |
| Captura | CHLOa | 2013 | 0.18 | 0.03 | 0.55 | 0.60 | 11 |
| Captura | NSST | 2003 | -0.13 | 0.02 | -0.39 | 0.71 | 11 |
| Captura | NSST | 2004 | 0.20 | 0.04 | 0.63 | 0.54 | 12 |
| Captura | NSST | 2005 | -0.65 | 0.42 | -2.71 | 0.02 | 12 |
| Captura | NSST | 2006 | -0.78 | 0.61 | -3.92 | <0.01 | 12 |
| Captura | NSST | 2007 | -0.90 | 0.81 | -6.63 | <0.01 | 12 |
| Captura | NSST | 2008 | -0.86 | 0.74 | -5.27 | <0.01 | 12 |
| Captura | NSST | 2009 | -0.95 | 0.90 | -9.56 | <0.01 | 12 |
| Captura | NSST | 2010 | -0.74 | 0.55 | -3.49 | 0.01 | 12 |
| Captura | NSST | 2011 | -0.50 | 0.25 | -1.85 | 0.09 | 12 |
| Captura | NSST | 2012 | -0.65 | 0.42 | -2.70 | 0.02 | 12 |
| Captura | NSST | 2013 | -0.70 | 0.49 | -2.97 | 0.02 | 11 |
| CHLOa | NSST | 2003 | -0.44 | 0.19 | -1.48 | 0.17 | 11 |
| CHLOa | NSST | 2004 | -0.70 | 0.48 | -3.07 | 0.01 | 12 |
| CHLOa | NSST | 2005 | -0.80 | 0.64 | -4.23 | <0.01 | 12 |
| CHLOa | NSST | 2006 | -0.70 | 0.49 | -3.07 | 0.01 | 12 |
| CHLOa | NSST | 2007 | -0.49 | 0.24 | -1.80 | 0.10 | 12 |
| CHLOa | NSST | 2008 | -0.73 | 0.53 | -3.37 | 0.01 | 12 |
| CHLOa | NSST | 2009 | -0.89 | 0.79 | -6.05 | <0.01 | 12 |
| CHLOa | NSST | 2010 | -0.98 | 0.95 | -14.06 | <0.01 | 12 |
| CHLOa | NSST | 2011 | -0.80 | 0.65 | -4.27 | <0.01 | 12 |
| CHLOa | NSST | 2012 | -0.89 | 0.79 | -6.10 | <0.01 | 12 |
| CHLOa | NSST | 2013 | -0.40 | 0.16 | -1.30 | 0.22 | 11 |

**Valores con una relación fuerte (>70%) muestran el valor de r² en negritas

*Valores significativos muestran el valor de p en negritas

Periodos de reproducción

Durante el año 2003 se observan tres periodos en la biología de *S. sierra*: el primero de enero a mayo, como ya se mencionó, son meses en que aumentan las concentraciones de CHLOa y disminuye la NSST en toda el área de estudio (Fig. 48), se presenta la surgencia de Bahía Banderas y es una época de abundancia en la que según Espino-Barr *et al.* (2017), *S. sierra* presenta los valores más altos en el índice hepatosomático (IHS) y un incremento en los índices gonadosomático (IGS) y de repleción gástrica (IRG) (Fig. 49), además de altos valores en el factor de condición de Fulton y Clark (Fig. 50). Asimismo en este periodo ocurre el primer desove masivo (Espino-Barr *et al.*, 2017) y se incrementa la presencia de la sierra en toda el área de estudio, por tal motivo son altos los registros de captura (Fig. 48).

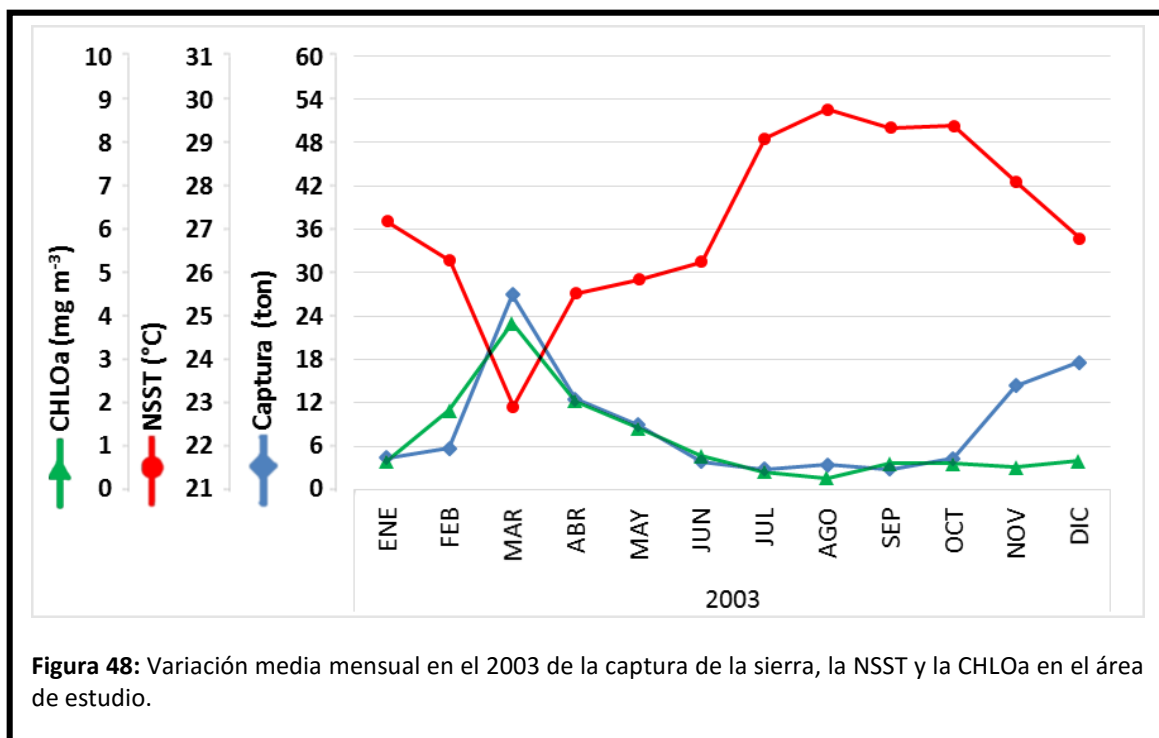
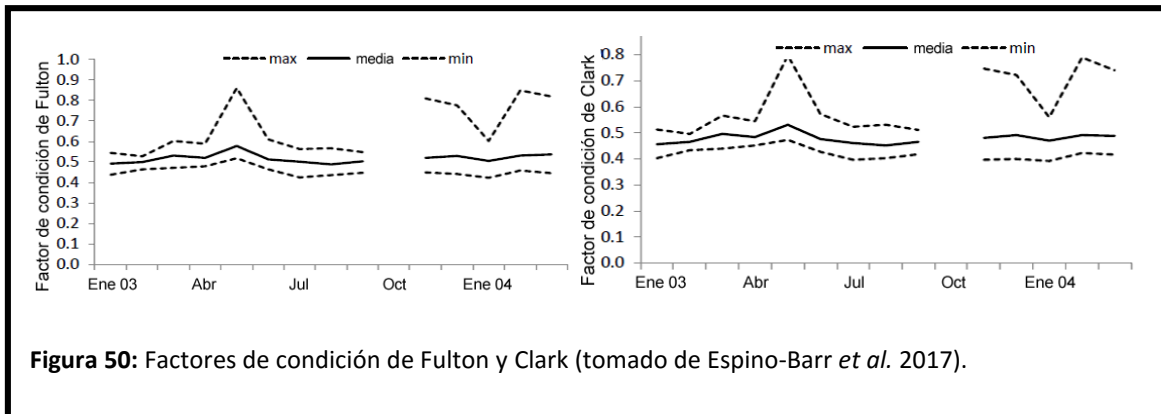
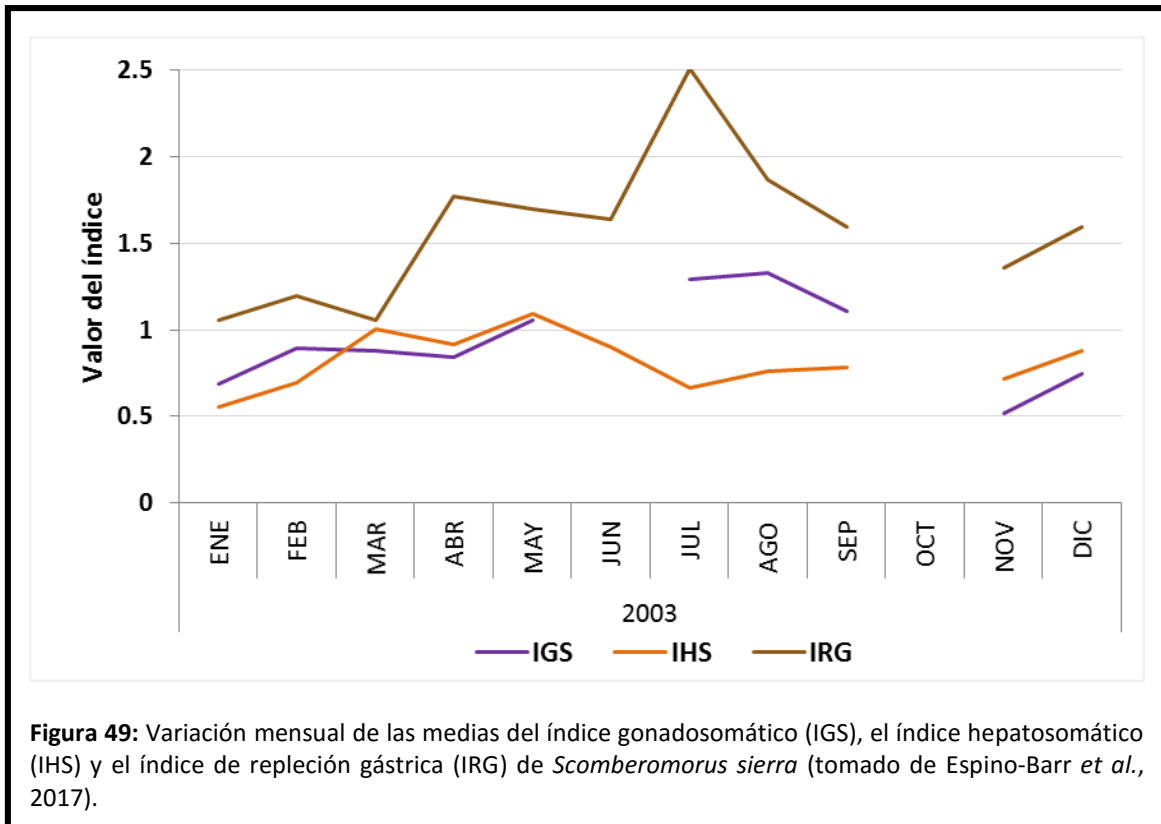


Figura 48: Variación media mensual en el 2003 de la captura de la sierra, la NSST y la CHLOa en el área de estudio.



El segundo periodo es en los meses de junio a agosto, como ya se indicó en estos meses se incrementa la media de NSST y disminuye la media de concentración de CHLOa, se desvanece la surgencia de Bahía Banderas, sin embargo inicia la temporada de lluvias y las afluentes conducen un mayor transporte de materia orgánica, lo cual se ve reflejado con la presencia de altas concentraciones de CHLOa ($>2\text{mg}/\text{m}^3$) en áreas muy cercanas a la costa como ocurre en Bahía Banderas y en la Playa de Mismaloya (Fig. 51). Por tal motivo es posible que en este período la especie se confine en estas áreas que mantienen condiciones adecuadas para la alimentación de larvas, juveniles y

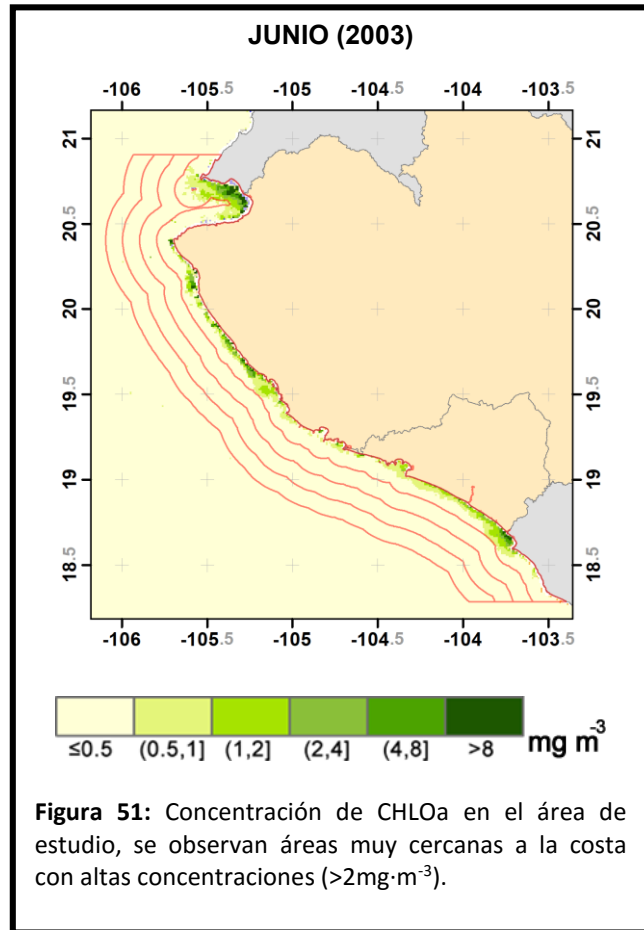


Figura 51: Concentración de CHLOa en el área de estudio, se observan áreas muy cercanas a la costa con altas concentraciones ($>2\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$).

adultos, además en este periodo se desarrolla un segundo periodo de desove masivo, incluso en julio se alcanzan los valores más altos del IGS e IRG según lo reportado por Espino-Barr *et al.* (2017) (Fig. 49). Por otro lado, es factible que debido a este confinamiento, la presencia de la sierra disminuya en toda el área de estudio lo cual se ve reflejado directamente en las capturas que son las más bajas (Fig. 48).

Un tercer periodo ocurre de septiembre a diciembre, los primeros meses comienza un declive en la temporada de lluvias dándose por finalizada primero en Jalisco y después en Colima, sin embargo en noviembre y diciembre empieza a descender la NSST y se observa un ligero aumento de la CHLOa en toda el área de estudio (Fig. 48), seguido del incremento en los valores del IGS, IRG e IHS reportados por Espino-Barr *et al.* (2017) (Fig. 49). Es probable que la especie al disponer de alimento en toda el área y no sólo en regiones determinadas, tenga una mayor presencia en toda la región, lo cual se ve reflejado directamente en el aumento de las capturas (Fig. 48).

CONCLUSIONES

1. Se identificó una fuerte relación inversa ($r^2 > 0.7$) altamente significativa ($p < 0.01$) entre la CHLOa y la NSST exceptuando el año de 2005, en el que dicha relación menor se presenta en menor magnitud ($r^2 < 0.7$).
2. Además se observa una relación entre la NSST y el fenómeno de *El Niño*, dicha relación parece incrementarse los meses en que la Corriente Mexicana y la Contra Corriente Ecuatorial presentan mayor influencia en el área de estudio, mientras que no se registra los meses en que está presente la influencia de la Corriente de California y la Surgencia de Bahía Banderas.
3. Las mayores capturas de *Scomberomorus sierra* en los Estados se llevan a cabo los meses de enero a mayo y secundariamente de noviembre a diciembre, por otra parte Jalisco presenta mayores capturas que Colima, al igual que una mayor variación que va desde las 28.5 t promedio en marzo a las 5.9 t en agosto.
4. El año 2003 fue el que registró menores capturas de sierra y el 2008 el que registró las mayores, este mismo año presenta el mayor registro mensual en marzo coincidiendo con altos valores en la concentración de CHLOa.
5. Los años en que se encontró una mayor correlación ($r^2 > 0.8$) entre CHLOa y la captura de la sierra fueron 2006, 2009, 2011 y 2012 y una menor correlación ($r^2 < 0.7$) los años de 2003, 2004, 2005, 2007 y 2013. Algunos incrementos en la concentración de CHLOa no se manifiestan de forma inmediata en las capturas, como en el caso de septiembre del 2005.
6. Se identificó una fuerte relación inversa ($r^2 > 0.7$) entre la NSST y la captura de la sierra, sin embargo se muestran valores bajos ($r^2 < 0.7$) los años del 2003 y el 2005.
7. En el 2003 se registran tres periodos en la distribución y reproducción de la sierra:
 - a. De enero a mayo, presenta altas concentraciones de CHLOa y menores NSST, lo cual coincide con altos valores del índice gonadosomático (IGS), hepatosomático (IHS) y de repleción gástrica (IRG), asimismo muestra altos registros en la captura de *S. sierra*.
 - b. De junio a septiembre, presenta altos valores en el IGS e IRG, sin embargo, es posible que la especie se recluya a determinadas áreas donde se conservan elevadas concentraciones de CHLOa gracias al arrastre de materia orgánica, por tal motivo se ve una reducción drástica en sus capturas.
 - c. De octubre a diciembre, vuelven a incrementarse la CHLOa y a disminuir la NSST en toda el área, existiendo un alza en las capturas y un incremento en los IGS, IHS e IRG, sin embargo no alcanza los valores de los dos primeros periodos

RECOMENDACIONES

1. Establecer un trabajo en conjunto con las cooperativas pesqueras con el objeto de conocer las áreas donde los pescadores obtienen sus recursos y su temporalidad con el propósito de conocer con precisión la distribución y abundancia de las especies sometidas a explotación comercial y su relación con la NSST y la CHLOa.
2. Continuar con los estudios de la dinámica poblacional de las especies sometidas a explotación comercial, con el objeto de conocer los factores aditivos (crecimiento y reclutamiento) y los sustractivos (mortalidad natural y por pesca) para largas series de tiempo, con el propósito de poder aplicar modelos de rendimiento máximo sostenible, de simulación y predicción de capturas.
3. Mantener análisis de percepción remota para la determinación de la CHLOa y la NSST en paralelo con los parámetros poblacionales de las especies de importancia comercial.
4. Realizar un mayor número de estudios en relación a la influencia de la corriente de California, en las costas del Pacífico mexicano en general y de los estados de Jalisco y Colima en particular. A la fecha se ha reportado que las aguas de la corriente de California no alcanzan las costas de del Pacífico Central Mexicano (Hernández-Contreras, 2016), debido a su densidad, con lo cual podría estar ocurriendo que la corriente de California solo empuje el agua de mayores latitudes pero perteneciente a la misma masa de agua. Un mayor número de estudios y de publicaciones al respecto ayudarían a entender este fenómeno con mayor claridad.
5. Ejecutar estudios que permitan conocer las áreas de transición en las costas del Pacífico en general y en los estados de Jalisco y Colima en particular.
6. Evitar la destrucción de los manglares que pone en peligro de extinción a las especies por ser áreas de alimentación y crianza.
7. Impedir la contaminación de las áreas cercanas a la costa que provoca grandes valores de mortalidad por envenenamiento de los organismos.

BIBLIOGRAFÍA

- AGUIRRE GÓMEZ, R., 2001, Los mares mexicanos a través de la percepción remota, México D.F., Plaza y Valdes, Instituto de Geografía UNAM, 95 p.
- BADAN, A., 1997, La Corriente Costera de Costa Rica en el Pacífico Mexicano., . En: Lavín MF (ed) Contribuciones a la Oceanografía Física en México. Monografía No. 3, Unión Geofísica Mexicana, p.p:99-112.
- BUTLER, M.J.A., M.-C. MOUCHOT, V. BARALE, Y C. LEBLANC, 1990, Aplicación de la tecnología de percepción remota a las pesquerías marinas: manual introductorio, Roma, Italia, FAO Documento Técnico de Pesca, 212 p.
- CERDEIRA-ESTRADA, S. Y G. LÓPEZ-SALDAÑA, 2011, Nuevo Sistema Satelital de Monitoreo Oceánico para México, Ciencias Marinas, 37(2): 237–247.
- CHUVIECO, E., 1995, Fundamentos de la teledetección espacial, Madrid, RIALP, S.A., 449 p.
- COLLETTE, B.B., 1995, Familia: SCOMBRIDAE, . En: Fischer W, Krupp F, Schneider W, Sommer C, Carpenter KE, Niem VH (eds) Guía FAO para la identificación de especies para los fines de Pesca, Pácifico Centro-Oriental. FAO, p.p:1816.
- CONABIO, 2011, Sistema Satelital de Monitoreo Oceánico (SATMO), (<http://www.biodiversidad.gob.mx/pais/mares/satmo/>), Consultado: 09/2017.
- CONABIO, 2012a, Portal de Geoinformación, Sistema Nacional de Información Sobre la Diversidad, (<http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>), Consultado: 09/2017.
- CONABIO, 2012b, LISTA DE LAS REGIONES HIDROLÓGICAS PRIORITARIAS, (<http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/Hlistado.html>), Consultado: 10/2016.
- CONAPESCA, 2014, Avisos de arribo, (http://www.conapesca.gob.mx/wb/cona/cona_avisos), Consultado: 09/2017.
- DE LA LANZA-ESPINO, G., 2001, Características físico-químicas de los mares de México, México D.F., Plaza y Valdes, Instituto de Geografía UNAM, 149 p.
- DÓMINGUEZ-LÓPEZ, M., M. URIBE-ALCOCER, Y P. DÍAZ-JAIMES, 2010, Phylogeography and historical demography of the Pacific Sierra mackerel (*Scomberomorus sierra*) in the Eastern Pacific, BMC Genetcis, 11:34: 12.
- ESPINO-BARR, E., E.G. CABRAL-SOLÍS, A. GARCIA-BOA, Y M. PUENTE-GÓMEZ, 2004a, Especies marinas con valor comercial de la costa de Jalisco, México, INP-SAGARPA, 145 p.
- ESPINO-BARR, E., M. CRUZ-ROMERO, Y A. GARCIA-BOA, 2003, Peces marinos con valor comercial de la costa de Colima, México, CONABIO, INP, 106 p.
- ESPINO-BARR, E., M. GALLARDO-CABELLO, R.A. NAVA-ORTEGA, M. PUENTE-GÓMEZ, Y A. GARCIA-BOA, 2017, Reproduction of *Scomberomorus sierra* (Percoidei: Scombridae) in the Central Mexican Pacific Coast, Revista de Investigación Agropecuaria, 21(1): 47-64.
- ESPINO-BARR, E., R.A. NAVA-ORTEGA, M. GALLARDO-CABELLO, E.G. CABRAL-SOLÍS, M. PUENTE-GÓMEZ, Y A. GARCÍA-BOA, 2012, Aspects of *Scomberomorus sierra* fishery from the coast of Colima, México, Ciencia Pesquera, 20(1): 77-88.
- ESPINO-BARR, E, E G CABRAL-SOLÍS, Y A GARCÍA-BOA, 2004b, Especies marinas con valor comercial de la costa de Jalisco, Colima, México, México. SAGARPA-IPN, 145 p.

- EXPÓSITO-DÍAZ, G., 2004, Reporte Batimétrico de Bahía de Banderas. Como parte de la campaña: Estudio Prospectivo Oceanográfico frente a las Costas del Pacífico Central Mexicano., (PROCEAM-2004). Informe interno del curso: Métodos de Investigación Oceanográfica, Semestre: 2004-2. UNAM, 9 p.
- GALLEGOS, A., R. RODRÍGUEZ, E. MÁRQUEZ, R. LECUANDA, Y J. ZAVALA-HIDALGO, 2006, Oceanografía física: Una climatología de la temperatura de la superficie del mar de las aguas adyacentes a las costas de Jalisco, Colima y Michoacán, México: 1996-2003, . En: Jiménez-Quiroz MC, Espino-Barr E (eds) Los recursos pesqueros y acuícolas de Jalisco, Colima y Michoacán. SAGARPA : Instituto Nacional de la Pesca, p.p:17-28
- GBIF, 2013, Free and open access to biodiversity data, (<http://www.gbif.org/>), Consultado: 08/2017
- GEBCO, 2016, General Bathymetric Chart of the Oceans, (<http://www.gebco.net/>), Consultado: 02/2016
- HERNÁNDEZ-CONTRERAS, R.E., 2016, Detección de la variabilidad de la salinidad superficial del sistema de Corriente de California mediante datos del sensor AQUARIUS y su relación con fenómenos de macroescala (2011 a 2015)., . Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, 96 p.
- HU, C., F. MULLER-KARGER, B. MURCH, D. MYHRE, J. TAYLOR, R. LUERSSEN, C. MOSES, C. ZHANG, L. GRAMER, Y J. HENDEE, 2009, Building an automated integrated observing system to detect sea surface temperature anomaly events in the Florida Keys, IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., 47: 2071–2084.
- INEGI, 2010, Actividades económicas primarias, pesca, (<http://cuentame.inegi.org.mx/economia/primarias/pesca/>), Consultado: 09/2017.
- MAGAÑA, R.V., 2004, Los impactos del niño en México, Ciudad de México, Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM, Secretaría de Gobernación, 229 p.
- MANGUSON, J.J., 1978, Locomotion by scombrid fishes, . En: Hoar WS, Randall DJ (eds) Fish Physiology Volume VII. Academic Press, p.p:239-313.
- NASA, 2013, AQUARIUS, (<http://aquarius.nasa.gov>), Consultado: 08/2017.
- NASA, 2016, MODIS, (<https://modis.gsfc.nasa.gov/about/design.php>), Consultado: 10/2016.
- NAVA-ORTEGA, R.A., E. ESPINO-BARR, M. GALLARDO-CABELLO, A. GARCÍA-BOA, M. PUENTE-GÓMEZ, Y E.G. CABRAL-SOLÍS, 2012, Growth analysis of the Pacific sierra *Scomberomorus sierra* in Colima, México., Revista de Biología Marina y Oceanografía, 47(2): 273-281.
- NOAA, 2014, El Niño & La Niña (El Niño-Southern Oscillation), (<https://www.climate.gov/enso>), Consultado: 08/2017.
- NOAA NATIONAL WEATHER SERVICE, 2015, Historical El Nino/ La Nina episodes (1950-present), (http://www.cpc.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml), Consultado: 09/2016.
- O'REILLY, J.E., 2000, Ocean color chlorophyll a algorithms for SeaWiFS, OC2, and OC4: Version 4, . En: O'Reilly JE (ed) SeaWiFS Postlaunch Calibration and Validation Analyses. Part 3. NASA Tech. Memo. 2000-206892. Space, NASA Goddard Center Flight, p.p:9-23.
- ORTIZ-PINILLA, J. Y D. GIL, 2014, Transformaciones logarítmicas en regresión simple, Comunicaciones en Estadística, 7 (1): 89–98.
- RESTREPO, L.F. Y J. GONZÁLEZ, 2007, De Pearson a Spearman, Rev Col Cienc Pec, 20: 183-192.

- ROBERTSON, D.R. Y G.R. ALLEN, 2008, Peces Costeros del Pacífico Oriental Tropical: Sistema de Información en línea. Versión 1.0, (<http://biogeodb.stri.si.edu/sftep/es/thefishes/species/2215>), Consultado: 08/2017.
- ROSETE, F Y G BOCCO, 2003, Los sistemas de información geográfica y la percepción remota. Herramientas integradas para los planes de manejo en comunidades forestales., Gaceta Ecológica, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 68: 43-54.
- RUIZ-DURÁ, M.F., 1985, Recursos Pesqueros de las Costas de México., México, D.F., Limusa, 135 p.
- SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL, 2016, Resúmenes Mensuales de Temperaturas y Lluvia, (<http://smn.cna.gob.mx/es/climatologia/temperaturas-y-lluvias/resumenes-mensuales-de-temperaturas-y-lluvias>), Consultado: 10/2016.
- SHOJI, J., M. TSTOMU, Y M. TANAKA, 2005, Larval growth and mortality of Japanese Spanish Mackerel (*Scomberomorus niphonius*) in the central Seto Inland Sea, Japan., Journal Marine Biology Association of th United Kinfdom, 85: 1255-1261.
- TORRES-OROZCO, E., 1993, Análisis volumétrico de las masas de agua del Golfo de California, . CICESE, Ensenada, 80 p.
- TRASVIÑA, A., D. LLUCH COTA, A.E. FILONOV, Y A. GALLEGOS, 2004, Capítulo 3: Oceanografía y El Niño, . En: Magaña Rueda V (ed) Los impactos de El Niño en México. Centro de Ciencias de la Atmósfera, Universidad Nacional Autónoma de México, Secretaría de Gobernación., p.p:69-102.
- WEBSTER, P.J., 1994, The role of hydrological processes in ocean-atmosphere interactions, Rev. Of Geophysics, 32: 427-476.
- WYRTKI, K., 1965, Surface currents of the eastern Pacific Otean, Bull. Interam. Trop. Tuna Comm., 9: 279-303.