



# **CARACTERIZACIÓN OCEANOGRÁFICA Y PRONÓSTICO DE LA VARIABILIDAD DE LOS MARES MEXICANOS Y DE ALGUNAS REGIONES MARINAS Y SU APLICACIÓN A LA PESCA Y ACUACULTURA**

## **INFORME FINAL**

Mazatlán, Sinaloa. Diciembre 30 de 2010

## CONTENIDO

	Página
I. INTRODUCCIÓN.....	3
II. ANTECEDENTES.....	4
III. PLANTEAMIENTO DEL PROYECTO.....	5
IV. HIPÓTESIS.....	6
V. OBJETIVOS GENERALES.....	7
VI. MATERIALES Y MÉTODOS.....	8
VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	16
VIII. CONCLUSIONES.....	78
IX. REFERENCIAS.....	80
X. ANEXO I. DESARROLLO DEL SISTEMA INFORMÁTICO VÍA WEB	

## I. INTRODUCCIÓN

La variabilidad climática del océano afecta a todas las etapas del ciclo de vida de los organismos marinos, pero primordialmente a la reproducción y al crecimiento. Por lo anterior, el conocer los cambios en algunas de las variables más importantes que regulan la vida en los océanos, así como sus fluctuaciones temporales y espaciales sobre diversas escalas, es de primordial importancia para entender el comportamiento de los organismos que en ellos habitan, como son los recursos pesqueros y acuícolas. Actualmente, gracias a la generación de información oceanográfica de varios años en las aguas mexicanas (ejemplo: Programa IMECOCAL, <http://imecocal.cicese.mx>) y a la reproducción de escenarios ambientales suministrados por modelos oceanográficos (ejemplo: ROMS), es posible proveer visiones de acontecimientos a diferentes escalas espaciales y temporales; lo que constituye una herramienta única para poder caracterizar y realizar diagnósticos fidedignos sobre el efecto que estos cambios podrían tener en el estado de los recursos marinos para su posterior ordenamiento y manejo.

Para contar con un apoyo en la toma correcta de decisiones pesqueras y acuícolas es necesario recurrir a la Oceanografía Operacional aplicada a los mares mexicanos, pero sobre todo en aquellas áreas pesqueras y acuícolas de mayor interés para la CONAPESCA, debido al efecto de la variabilidad climática en las poblaciones marinas presentes o al cultivar otros organismos de interés comercial en un futuro cercano.

La síntesis de la información oceanográfica es de gran beneficio para la regulación y prevención de acciones destinadas a la utilización y planeación de los recursos pesqueros. En este proyecto se presenta la información básica acerca de la variabilidad del ambiente oceánico de los mares Mexicanos. Esta información permitirá realizar

acciones en la industria extractiva del mar (pesca, acuicultura, etc.), así como su relación con el conocimiento de las fluctuaciones ambientales.

## II. ANTECEDENTES

Existen diversos estudios aislados sobre la dependencia de la relación entre los recursos vivos y el ambiente marino. Sin embargo, estos resultados regularmente se refieren a recursos determinados y a los efectos específicos que los afectan. Por lo tanto, tienen poco alcance en cuanto a las escalas espaciales y temporales. Por citar algunos ejemplos de estudios relacionados con las pesquerías y el ambiente está el trabajo de Chávez (2008), titulado "El impacto del cambio climático sobre las pesquerías de la zona de transición templado-cálida del Pacífico oriental mexicano", o el realizado por Lluch-Cota sobre la variabilidad del clima y pesquerías del noroeste mexicano. Otros ejemplos de este tipo de estudios se pueden encontrar publicados en López-Martínez (2008) con el libro "Variabilidad ambiental y pesquerías de México". Algunos autores como Ramos (2006) propusieron proyectos similares al actual, llamado proyecto SeaSNET, cuyo objetivos son combinar competencias y adquirir experiencia para ofertar un espectro de productos comprensibles y competitivos en el campo de la oceanografía por sensores remotos para la gestión de recursos pesqueros y (2) proponer una versión adaptada de productos para los requerimientos específicos de las instituciones responsables de la gestión de estos recursos en regiones ultra periféricas de la Unión Europea (Canarias, Isla Reunión, Guyana Francesa, Nueva Caledonia y Tahití) donde la actividad pesquera artesanal es un sector socioeconómico estratégico para su desarrollo sostenible. Además, existen diferentes fuentes de datos oceanográficos y biológicos, aunque se encuentran dispersos entre las diversas administraciones gubernamentales y centros de investigación especializadas en ello.

En tiempos recientes el océano ha experimentado cambios climáticos muy importantes, lo que implica que los organismos que viven en este ambiente estén sujetos a la variabilidad que afecta a su crecimiento, reproducción y en casos extremos a su propia sobrevivencia. Existen diversos trabajos que muestran los cambios en el clima regional y mundial, lo que implica que se requieren adaptaciones y modificaciones a las formas en que actualmente se explotan y cultivan los recursos marinos. Esto ha sido mayormente notorio en los ecosistemas de aguas templadas de México, ya que están sujetos a cambios extremos por la ocurrencia de eventos tropicales (ejemplo: El Niño), así como a eventos con características frías (ejemplo: La Niña). Gaxiola-Castro y colaboradores (2010) muestran un ejemplo de esta variabilidad, así como las consecuencias de la física del océano sobre los recursos que soportan el inicio de la trama trófica marina, describiendo básicamente los efectos sobre el fitoplancton y el zooplancton frente a la Península de Baja California, México.

La variabilidad climática del océano afecta a todas las etapas del ciclo de vida de los organismos marinos, pero primordialmente a la reproducción y al crecimiento. Por lo anterior, el conocer los cambios en algunas de las variables más importantes que regulan la vida en los océanos, así como sus fluctuaciones temporales y espaciales sobre diversas escalas, es de primordial importancia para entender el comportamiento de los organismos que en ellos habitan, como son los recursos pesqueros y acuícolas de interés comercial.

### **III. PLANTEAMIENTO DEL PROYECTO**

Con el presente proyecto se logra integrar información relacionada con la oceanografía física-biológica a diferentes escalas espacio-temporal, dispuesta la información en el portal del CICESE (<http://omm.cicese.mx>) de acceso directo a los interesados, con el fin de ofrecer información de la variabilidad oceánica mensual de los mares mexicanos.

Esto es sobre todo aplicado en las áreas de mayor interés económico-pesquero y en aquellas zonas que sean de particular utilidad a la autoridad encargada de la administración y regulación de los recursos pesqueros (CONAPESCA).

La oceanografía operacional se compone de un conjunto de disciplinas de las ciencias de la tierra con aplicación práctica en diversas actividades, y es considerada como toda aquella actividad que comprende las medidas y muestreos hechos en los océanos, mares y atmósfera, así como su difusión e interpretación, todo ello de un modo rutinario, con el fin de:

- suministrar una predicción continua de las futuras condiciones del mar con la mayor antelación posible;
- dar la descripción más precisa, desde el punto de vista utilitario, del estado actual del mar, incluyendo los recursos vivos;
- reunir datos climáticos a largo plazo que suministrarán la información necesaria para describir estados pasados y con la posibilidad de generar series de tiempo que muestren las tendencias y cambios.

#### **IV. HIPÓTESIS**

Dar a conocer las oportunidades o riesgos a los que se pueden enfrentar al realizar acciones en la industria extractiva del mar (pesca, acuicultura, etc.), en relación al conocimiento de sus fluctuaciones temporales.

La síntesis de la información oceanográfica es de gran beneficio para la regulación y prevención de acciones destinadas a la utilización y planeación de los recursos pesqueros.

## **V. OBJETIVO GENERAL**

Desarrollar un sistema de información para la caracterización oceanográfica nacional que contribuya a generar escenarios ambientales y su aplicación en el manejo de los recursos marinos pesqueros y acuícolas, mediante su actualización permanente y difusión a través de internet.

### **V.I. Objetivos Específicos**

1. Generar bases de datos oceanográficas, actualizadas de las regiones marinas mexicanas, así como un diagnóstico preliminar de los procesos que afectan las condiciones de las regiones donde se realizan las principales operaciones extractivas y de cultivos diversos.
2. Generar escenarios ambientales a partir de modelos predictivos para planear acciones que atenúen los efectos de algunos procesos oceanográficos, como puede ser el fenómeno de “El Niño”, y/o aprovechar las condiciones y oportunidades de condiciones ambientales que otros procesos pueden traer sobre regiones diferentes como pueden ser “La Niña”, surgencias costeras, transporte de larvas, aumento en la producción biológica, entre otros.
3. Contar con información ambiental actualizada y viable para un mejor manejo de los recursos marinos, así como contribuir a minimizar el riesgo en la fase de la extracción y el cultivo de organismos marinos.

## VI. MATERIALES Y METODOS

El sistema de información oceanográfica operacional está diseñado para cubrir las necesidades gubernamentales y del sector productivo con tres enfoques principales.

A nivel regional con una caracterización climatológica del Océano Pacífico mexicano (hasta aproximadamente 200 millas náuticas), otro enfocado a la climatología del Golfo de México y Mar Caribe, así como la descripción de los principales índices oceanográficos para el Océano Pacífico mexicano.

La información se obtiene de las fuentes abiertas como la de sensores remotos que colectan información del océano y de aquellas bases de datos públicos (ejemplo: Programa Oceanográfico IMECOCAL frente a Baja California) <http://imecocal.cicese.mx>.

Se analizan bases de datos derivados de modelos oceanográficos aplicados a las regiones de interés de la CONAPESCA. Además, se proporciona información del ambiente oceánico derivada de modelos de circulación oceanográfica (ejemplo ROMS, Regional Oceanographic Modeling and Simulation) y de la producción primaria del océano (modelos de Carr, Berhenfeld y Falkowski), alimentados de variables oceanográficas y datos satelitales, así como de parámetros fotosintéticos promedio obtenidos para los mares mexicanos.

Esta información oceanográfica se complementa con la proporcionada por los principales índices de variabilidad climática del Océano Pacífico, como el ENSO (El Niño-Oscilación del Sur) y el PDO (Oscilación Decenal del Pacífico). En conjunto con esta información se obtiene un análisis mensual de las tendencias climáticas de los mares mexicanos y las posibles implicaciones en el ambiente de las regiones de mayor interés. Toda la información del proyecto se sitúa en la página web del sitio del CICESE (<http://omm.cicese.mx>).



La información respecto a índices oceanográficos y su explicación para fines de impacto en pesca y acuicultura consta de datos con tres niveles de precisión, como se indica a continuación. El primer nivel de resolución más general contiene la información oceanográfica para ambos litorales de la República Mexicana hasta una distancia aproximada de 100 millas de la costa, con relación a la caracterización climatológica. En un nivel intermedio de resolución o detalle se obtiene información de zonas de ambos litorales de la República Mexicana, siendo estas: 1) la costa occidental a la Península de Baja California, 2) el Golfo de California, 3) la zona frente al Golfo de Tehuantepec, 4) Región Norte del Golfo de México, 5) Sonda de Campeche y 6) Mar Caribe.

En el nivel de mayor resolución o detalle (de 2 km a 3 km) se incluye en lo posible información oceanográfica y satelital en algunas de las zonas marinas relevantes de la región frente a la Península de Baja California y costas mexicanas que se señalan a continuación. En la costa oriental de Baja California: Zona frente al puerto de Ensenada, zonas frente a la Laguna Ojo de Liebre, zona cercana a Isla de Cedros y frente a Bahía Magdalena-Almejas. En el Golfo de California: Zona del Alto Golfo, proximidades a la Isla Ángel de la Guarda, proximidades de la Isla Tiburón y frente a la Bahía de Guaymas.

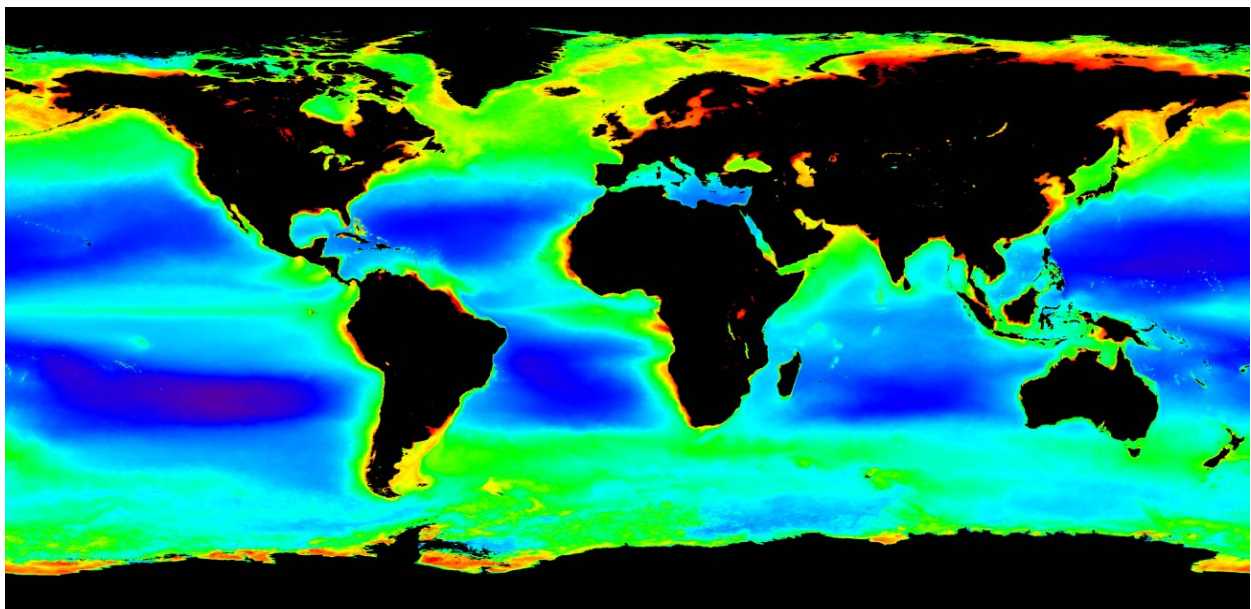
Se resuelve a una menor resolución (9 km x 9 km) con solamente información derivada de datos satelitales en la región del Pacífico sur mexicano. En la zona frente a Punta Pérula, Jalisco, zona de Manzanillo en el Estado de Colima, frente a las costas del Faro de Bucerías y Zona de Petatlán, Zihuatanejo en Guerrero, en Oaxaca en la zona de entre Puerto Escondido y Puerto Ángel.

En lo que respecta al Golfo de México con una resolución de 9 km o mayor en las siguientes zonas: frente a Laguna Madre, Tamaulipas, frente a Laguna de Tampamachoco y Pueblo Viejo, Veracruz, zona de Arrecife Veracruzano, zona cercana a la Laguna de Términos, Campeche, Celestún, Campeche y Ría Lagartos, Yucatán.

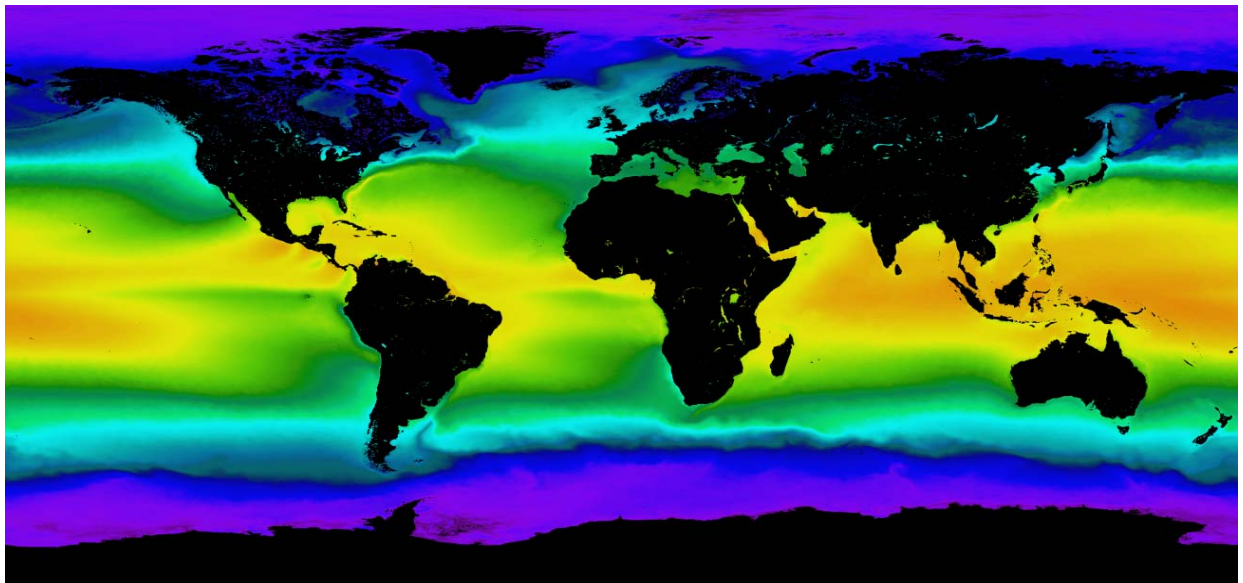
### **VI.I. Clorofila y Temperatura estimadas por satélite**

Las variaciones espaciales y temporales de los mares mexicanos fueron analizadas en base a imágenes obtenidas de dos sensores remotos. Para describir riqueza biológica y estudiar su variabilidad se analizaron las fluctuaciones en la biomasa del fitoplancton en base a las imágenes globales de color del océano como estimadores de la concentración de clorofila del fitoplancton. Mientras que para describir los cambios en las condiciones oceanográficas de la capa superficial de los mares mexicanos se analizaron las imágenes globales de la temperatura superficial del mar.

Los datos de clorofila del fitoplancton fueron colectados por el sensor SeaWiFS (Sea viewing Wide Field of view Sensor). Esta información es proporcionada por la agencia NASA a través de su portal del OceanColor Web (<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>) y comprende información desde septiembre de 1997 a diciembre del 2007 (<ftp://oceans.gsfc.nasa.gov/SeaWiFS>).



Los datos de temperatura superficial del mar corresponden al sensor Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) Pathfinder los cuales son proporcionados por el portal de la PODAAC perteneciente al Jet Propulsion Laboratory (<http://podaac.jpl.nasa.gov/>) también de la agencia NASA, con información comprendida para el periodo entre enero de 1985 a diciembre del 2010 ([ftp://podaac.jpl.nasa.gov/pub/sea\\_surface temperature/avhrr/pathfinder/data\\_v5.1/monthly](ftp://podaac.jpl.nasa.gov/pub/sea_surface_temperature/avhrr/pathfinder/data_v5.1/monthly)).



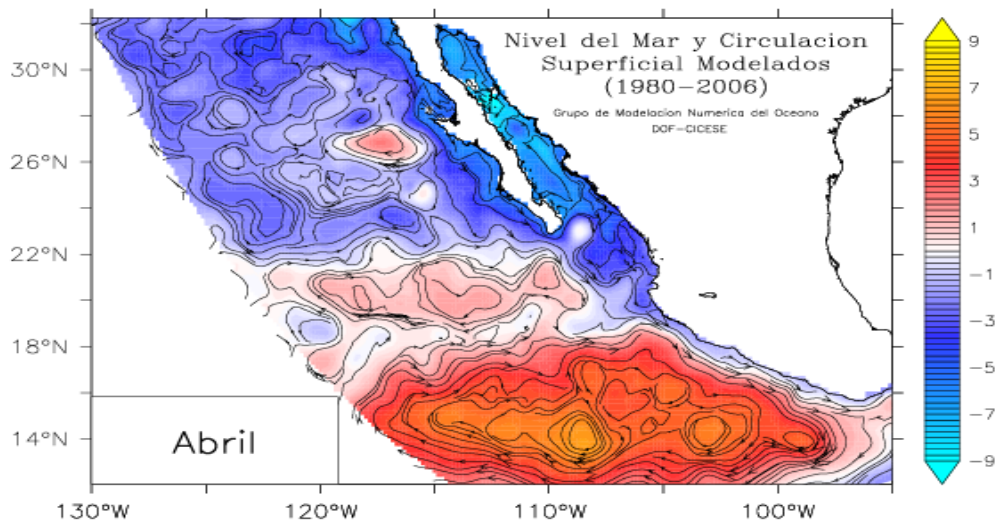
Los datos utilizados para ambos sensores, corresponden a compuestos mensuales de imágenes globales tanto para clorofila del fitoplancton como para la temperatura superficial del mar con una resolución de 9x9 km por pixel. El estudio de las condiciones de los mares mexicanos se dividió en dos escenarios. En un primer caso para realizar una descripción global se generaron imágenes de toda la republica incluyendo sus mares adyacentes. En el segundo caso, se generaron imágenes regionales de los diferentes márgenes continentales de México. Se generaron así series

de tiempo de clorofila del fitoplancton y de la temperatura superficial del mar con diferentes resoluciones espaciales.

Para el análisis de las series de tiempo se generaron primero los promedios de largo periodo utilizando toda la serie de tiempo disponible para cada sensor (media de largo periodo). Posteriormente se calcularon los promedios climatológicos para cada mes del año, ya que se tomaron los datos correspondientes a cada mes y se calculó su valor promedio. Por ejemplo para el promedio climatológico de enero se calculó el promedio de todos los eneros de la serie de tiempo y así se hizo con cada mes del año.

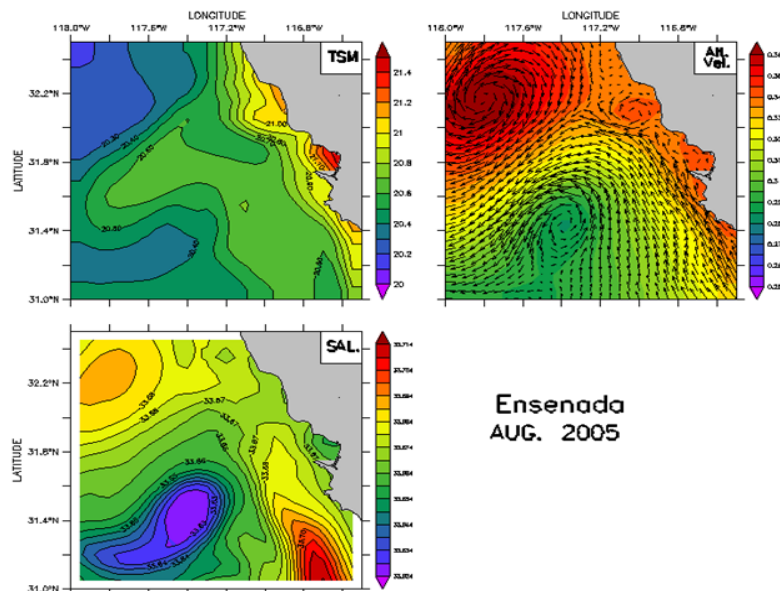
## VI.II. MODELACIÓN NUMÉRICA

Los campos modelados de temperatura, salinidad, nivel del mar y corrientes presentados en este trabajo corresponden a las salidas del Regional Ocean Modeling System ([ROMS](#)), que resuelve las ecuaciones de movimiento y masa incorporando las aproximaciones Hidrostáticas y de Boussinesq con superficie libre.



Este modelo utiliza coordenadas sigma que siguen a la batimetría y permiten una resolución variable en la vertical y una malla curvilínea y de resolución variable también en la horizontal que permite mayor resolución en zonas de mayor interés. En particular, en este caso con una mayor resolución en la superficie y en las zonas costeras.

El modelo ROMS ha sido usado exitosamente para estudiar numerosas regiones de los océanos mundiales, por nombrar sólo algunos, ver por ejemplo: [Haidvogel et al.,\(2000\)](#) o [Marchesiello et al.,\(2003\)](#). Una descripción detallada del modelo se puede encontrar en Song y Haidvogel (1994).

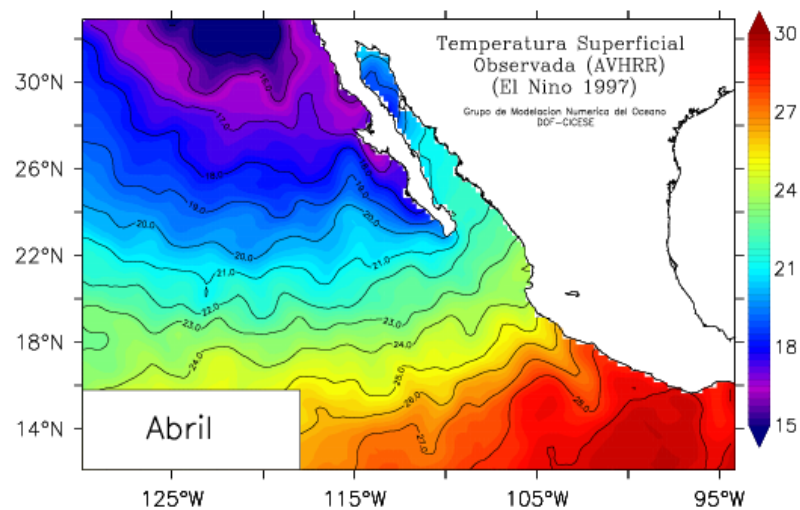


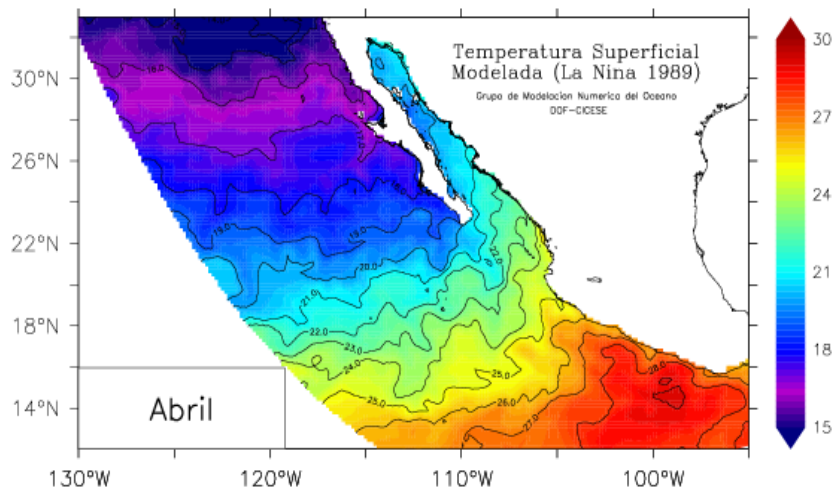
La implementación del modelo ROMS para la región del Océano Pacifico Mexicano cuenta con una resolución espacial costera de 7 km. La batimetría de esta

implementación proviene de la base de datos ETOPO2 (Smith y Sandwell, 1997). Los campos atmosféricos forzantes fueron derivados de la base de datos NARR (Mesinger *et al.*, 2006), y las condiciones de frontera provienen de la base de datos SODA (Carton y Giese, 2008).

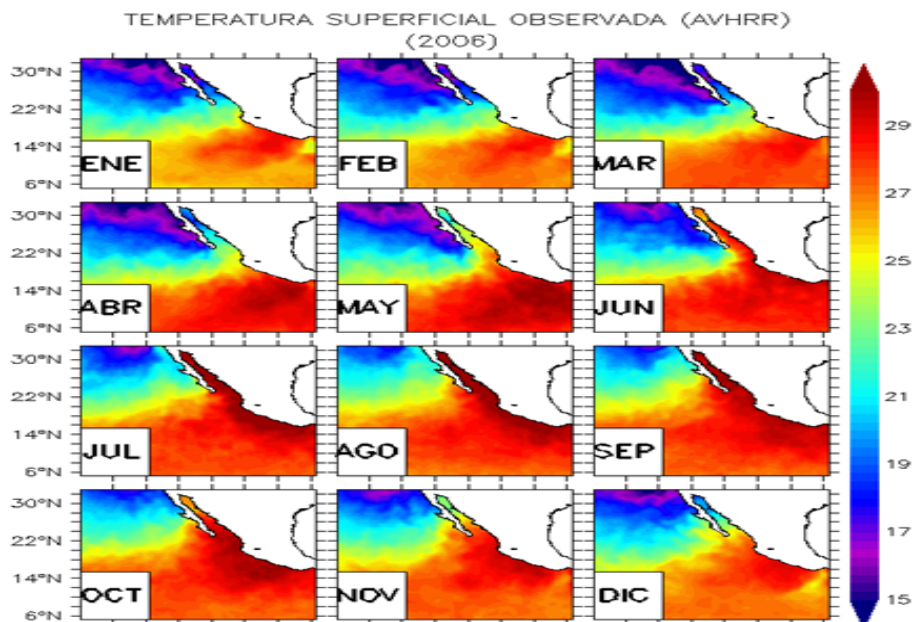
El modelo se corrió por varios años con la climatología de los forzantes hasta lograr un estado de equilibrio a partir del cual se utilizaron los vientos y condiciones de frontera observados por varias décadas, permitiendo la obtención de la climatología o año típico promedio que son los que se presentan en este trabajo.

También se extrajeron años extremos, como 1989 y 1997 que representan el comportamiento del océano, tanto en su circulación como en sus características de temperatura y salinidad para casos representativos de condiciones de La Niña y El Niño, respectivamente.





Para los campos de temperatura superficial del Pacífico Mexicano se usó la base de datos del sensor “Advanced Very High Resolution Radiometer” ([AVHRR](#)). Estos datos se interpolaron objetivamente a una resolución espacial de 0.25 grados y temporales de un día (Reynolds *et al.*, 2007). El cálculo de la climatología o año promedio y los años extremos (i.e. 1989, 1997) fue realizado de igual manera a la utilizada para los datos modelados.



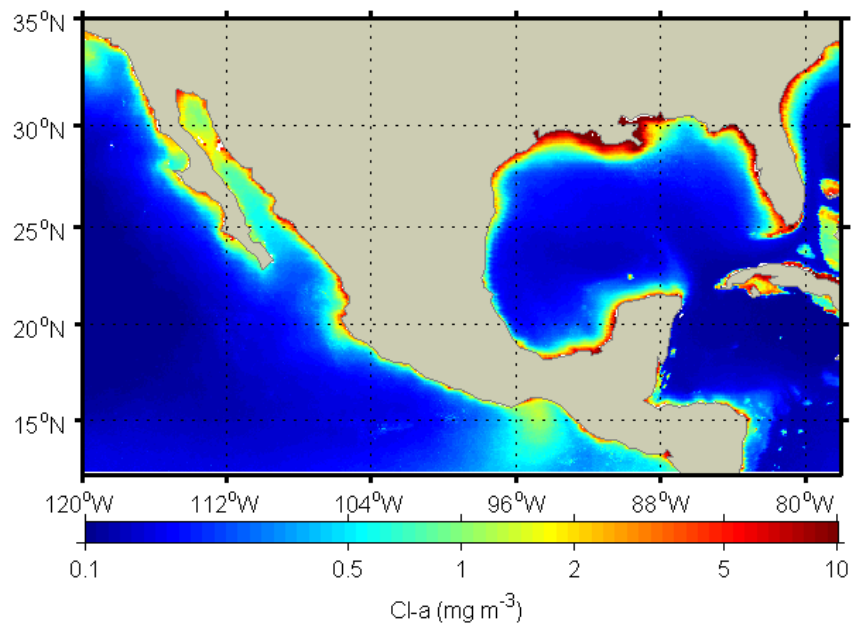
## VII. RESULTADOS Y DISCUSION

### VII.I. Imágenes de los mares mexicanos

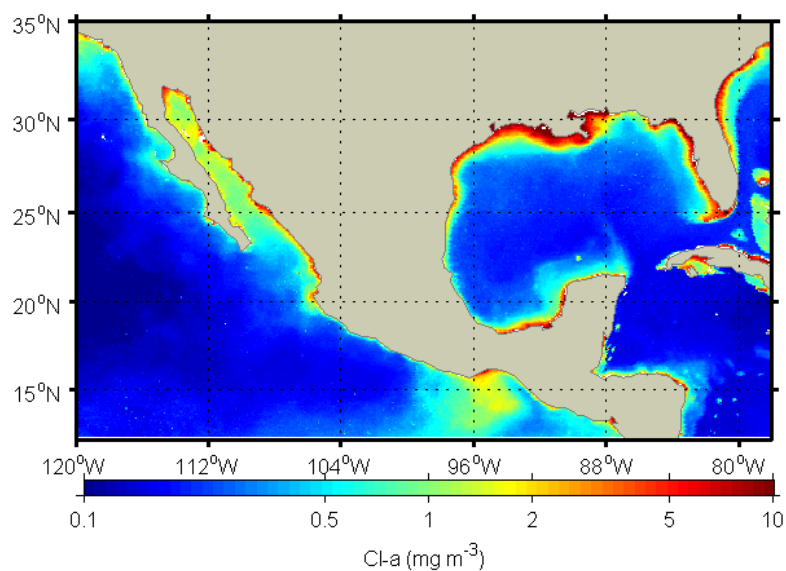
#### CLOROFILA

El color del océano es un producto satelital que estima la concentración de clorofila total presente en la capa superficial de los océanos (primera profundidad óptica). La clorofila es ampliamente utilizada como referencia de la productividad del fitoplancton y por consiguiente permite caracterizar regiones según su grado de riqueza biológica. En la distribución del promedio de largo periodo de la clorofila del fitoplancton se observaron altos valores ( $>2.0 \text{ mg m}^{-3}$ ) en la zona costera en todo el margen continental de México, llegando en algunas regiones a concentraciones tan altas como  $5.0 \text{ mg m}^{-3}$ . Estas altas concentraciones formaron una delgada franja del orden de algunas decenas de kilómetros en las zonas contiguas al continente, con alta riqueza en cuanto a biomasa del fitoplancton también llamada zona eutrófica. Conforme aumentó la distancia con la costa, se presentó una región intermedia entre la franja inmediatamente contigua al continente o zona costera y la parte oceánica, caracterizada con valores de clorofila entre  $0.5$  a  $1.0 \text{ mg m}^{-3}$ . Mientras que a medida que se aleja de la costa las concentraciones de clorofila tienden a ser bajas, con valores menores a  $0.2 \text{ mg m}^{-3}$  que son característicos de las zonas oceánicas con baja productividad biológica también llamadas zonas oligotróficas. Es así como se puede observar que en toda la región oceánica del Pacífico Oriental frente a México, así como en el Golfo de México y el Mar Caribe la concentración de clorofila del fitoplancton presentó valores promedios bajos ( $\leq 0.2 \text{ mg m}^{-3}$ ), definiendo una amplia región de los mares mexicanos bajo condiciones oligotróficas. Las regiones con valores intermedios ( $0.5$  a  $1.0 \text{ mg m}^{-3}$ ) o mesotróficas que más destacaron fueron el Golfo de California y el Golfo de Tehuantepec.



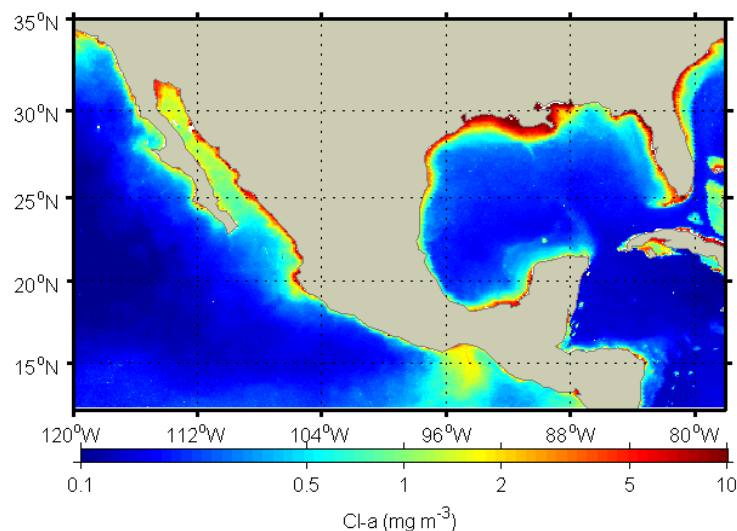


Durante enero, el promedio en los mares mexicanos con mayor producción biológica (biomasa del fitoplancton) fueron el Golfo de California ( $>1.0 \text{ mg m}^{-3}$ ), extendiéndose hacia la región de Cabo Corrientes con condiciones intermedias ( $\sim 0.5 \text{ mg m}^{-3}$ ) y el Golfo de Tehuantepec con concentraciones de clorofila del fitoplancton  $>1.0 \text{ mg m}^{-3}$  que se extienden a varios cientos de kilómetros mar afuera.



La región de la Corriente de California presentó condiciones oligotróficas ( $0.2 \text{ mg m}^{-3}$ ) a mesotróficas ( $0.5 \text{ mg m}^{-3}$ ), al igual que en el margen occidental de la Península de Yucatán. Las regiones de mayor pobreza biológica en el promedio de enero fueron la región oceánica del Pacífico y el Mar Caribe, así como una importante porción del Golfo de México.

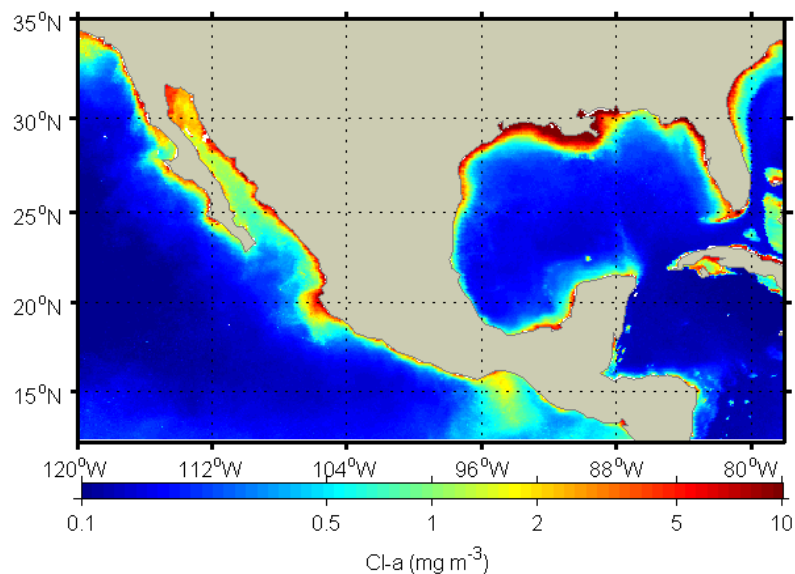
En febrero la mayor producción biológica en cuanto a la biomasa del fitoplancton se observó en el Golfo de California, el cual presentó un aumento ( $>2.0 \text{ mg m}^{-3}$ ), extendiéndose con condiciones intermedias ( $\sim 0.5 \text{ mg m}^{-3}$ ) hacia la región de Cabo Corrientes. Destacó el incremento en la zona costera desde Cabo Corrientes hasta el extremo norte del Golfo de California con concentraciones altas ( $>5.0 \text{ mg m}^{-3}$ ).



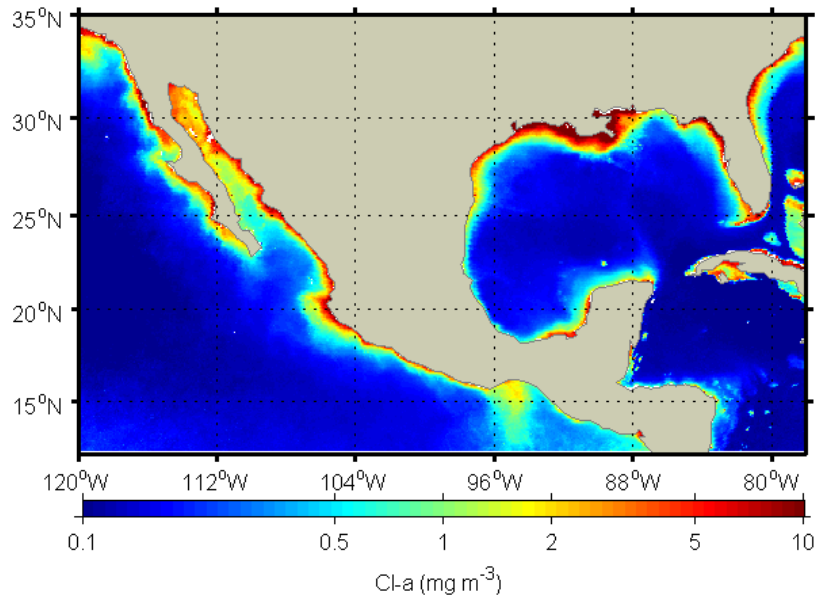
El Golfo de Tehuantepec permaneció con concentraciones de clorofila de  $1.0$  a  $2.0 \text{ mg m}^{-3}$ , los cuales se extendieron a varios cientos de kilómetros mar adentro. La región de la Corriente de California presentó condiciones mayormente oligotróficas ( $0.2 \text{ mg m}^{-3}$ ) y mesotróficas ( $0.5 \text{ mg m}^{-3}$ ), al igual que en el margen occidental de la Península de Yucatán.

Durante marzo se observó la mayor producción biológica en el Golfo de California con valores entre  $2.0$  a  $5.0 \text{ mg m}^{-3}$ . Se observó un incremento en la zona costera oriental del

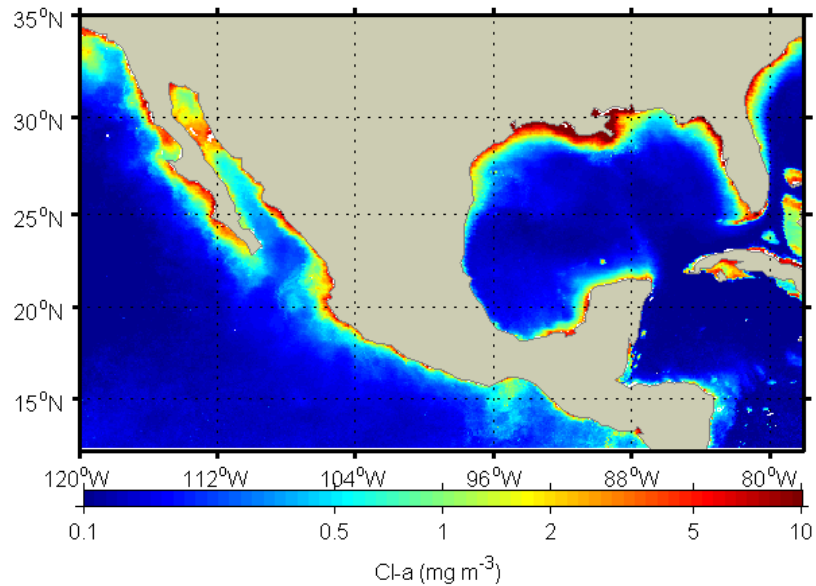
litoral mexicano desde Cabo Corrientes hasta el extremo norte del Golfo de California con concentraciones altas ( $>5.0 \text{ mg m}^{-3}$ ). La zona costera de Baja California presentó un aumento en la concentración de clorofila con valores  $>2.0 \text{ mg m}^{-3}$ . El Golfo de Tehuantepec permaneció con concentraciones de clorofila entre  $1.0$  a  $2.0 \text{ mg m}^{-3}$ , aunque disminuyó su extensión respecto a los meses de enero y febrero aun así continuó abarcando varios cientos de kilómetros mar afuera. Tanto el Golfo de México como el Mar Caribe se mantuvieron bajo condiciones oligotróficas.



En abril el Golfo de California presentó un aumento ( $2.0$  a  $5.0 \text{ mg m}^{-3}$ ) en la zona al norte de los  $25^{\circ}\text{N}$ . Con incremento en la costa occidental de Baja California ( $1.0$  a  $5.0 \text{ mg m}^{-3}$ ), en las inmediaciones de Cabo Corrientes ( $1.0$  a  $5.0 \text{ mg m}^{-3}$ ) y en el Golfo de Tehuantepec donde se apreció una amplia región con valores cercanos a  $2.0 \text{ mg m}^{-3}$ . Lo anterior ofrece la evidencia que durante abril las condiciones oceanográficas fueron favorables al crecimiento del fitoplancton, lo cual se relaciona con un incremento en la producción biológica del océano. Las zonas más pobres ( $0.2 \text{ mg m}^{-3}$ ) se observaron en las regiones más alejadas de la costa del Océano Pacífico ( $> 300 \text{ km}$ ), así como el Golfo de México y el Mar Caribe que se mantuvieron bajo condiciones oligotróficas.



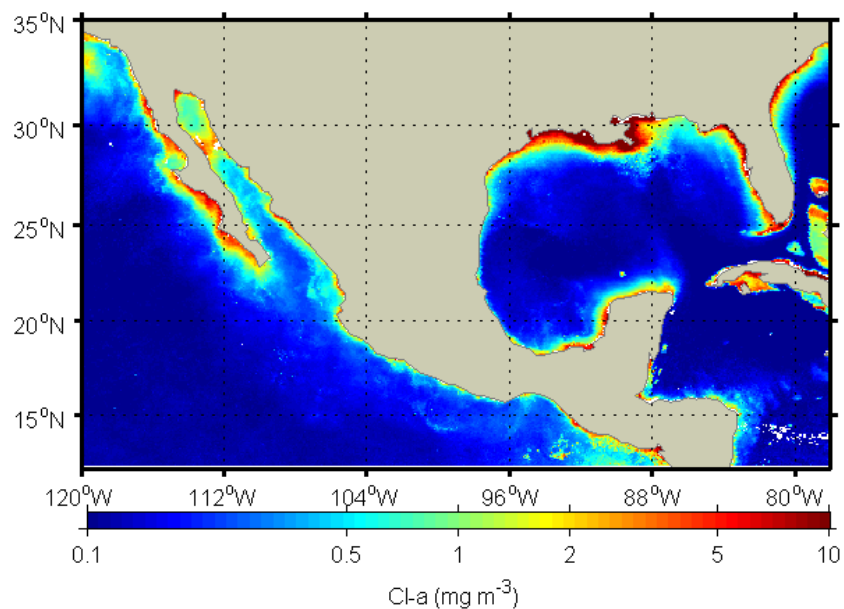
En mayo las zonas con mayor producción biológica estimadas como biomasa del fitoplancton se observaron en los primeros 200 km frente a Baja California, donde se presentaron concentraciones mayores de  $0.5 \text{ mg m}^{-3}$ , que aumentaron a  $\sim 3.0 \text{ mg m}^{-3}$  en las zonas más costeras.



En general ocurrió una disminución en los valores de alta concentración de clorofila ( $2.0$  a  $5.0 \text{ mg m}^{-3}$ ) en el Gof de California restringiéndose sólo al norte de la región de

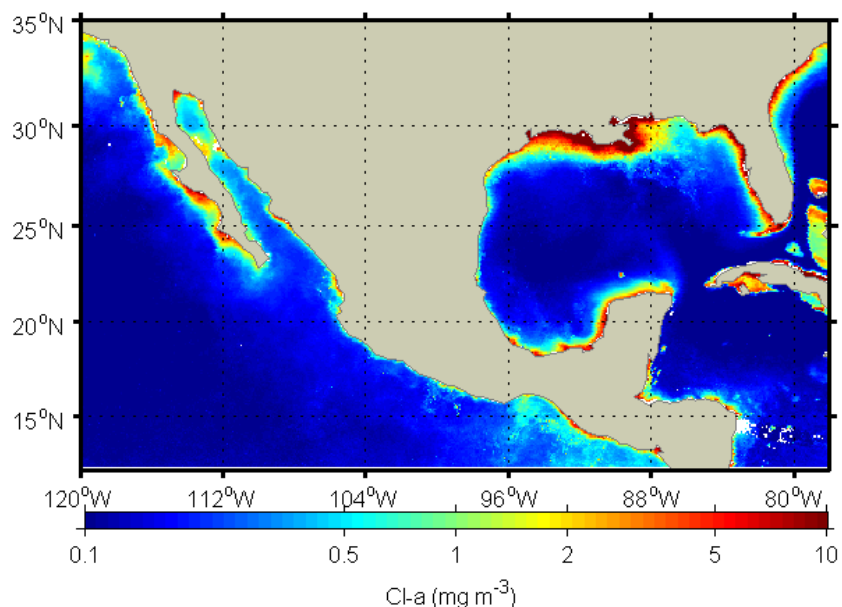
las grandes islas. También se observaron concentraciones relativamente altas al norte de Cabo Corrientes. Ocurrió una disminución de la concentración de clorofila en la región del Golfo de Tehuantepec donde los valores descendieron a  $0.5 \text{ mg m}^{-3}$ . Las regiones con bajas concentraciones de clorofila continuaron siendo las zonas más oceánicas del Pacífico ( $> 300 \text{ km}$  de la costa), el Golfo de México y el Mar Caribe.

En junio se presentó una disminución general en la concentración de clorofila, excepto en los primeros  $100 \text{ km}$  de la costa en el Pacífico frente a Baja California y en la región de las grandes islas del Golfo de California, las cuales mantuvieron altas concentraciones ( $>1.0 \text{ mg m}^{-3}$ ). Las áreas de baja concentración de clorofila se extendieron en la región oceánica ( $>200 \text{ km}$  de la costa) del Pacífico frente a Baja California.



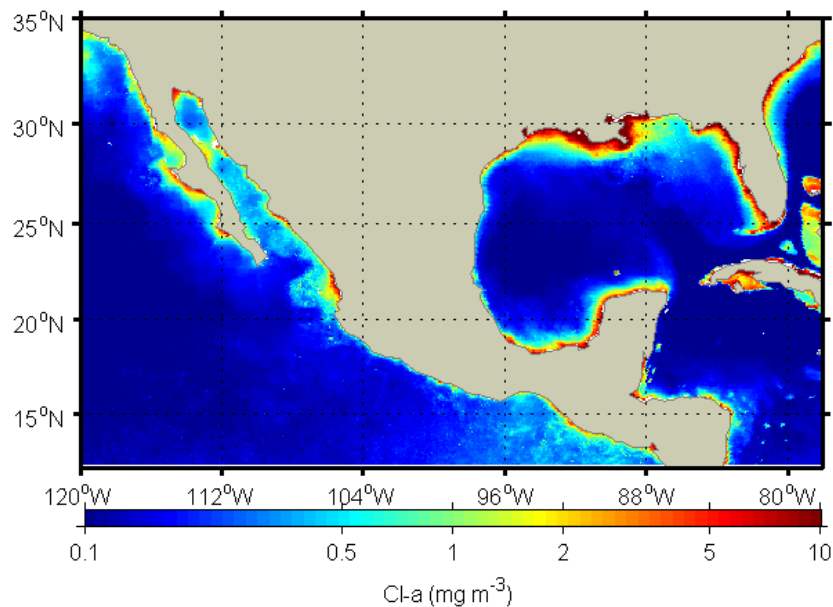
La entrada del Golfo de California hasta el sur de México sólo presentaron concentraciones de  $0.5 \text{ mg m}^{-3}$  en la franja de los primeros  $100 \text{ km}$  cercanos a la costa. En el Golfo de Tehuantepec también disminuyó la concentración de clorofila a valores  $< 0.5 \text{ mg m}^{-3}$ . Tanto el Golfo de México como el Mar Caribe mantuvieron condiciones oligotróficas. Esta disminución general en la biomasa del fitoplancton estuvo asociada a

una respuesta en la escala del ciclo estacional, con la llegada del verano debido al calentamiento de las capas superficiales del mar lo cual produjo un aumento en la estratificación de la columna de agua, con la subsecuente disminución del flujo hacia la superficie de los nutrientes inorgánicos esenciales para el crecimiento del fitoplancton. En julio se mostró una marcada disminución en la concentración de clorofila hacia valores  $< 0.2 \text{ mg m}^{-3}$  en toda la región del Pacífico frente a las costas de México. Excepto en la franja costera frente a la Península de Baja California, que presentó altos valores relativos con concentraciones de clorofila entre  $2.0$  a  $5.0 \text{ mg m}^{-3}$ . Dentro del Golfo de California sólo en la región de las grandes islas se conservaron altas concentraciones de clorofila, el resto del golfo presentó valores de  $0.5 \text{ mg m}^{-3}$  o menores. El interior del Golfo de México y el Mar Caribe presentaron bajas concentraciones de clorofila ( $< 0.2 \text{ mg m}^{-3}$ ). Durante julio las condiciones de biomasa del fitoplancton estuvieron bajas, debido a la estratificación y al bajo flujo de nutrientes que limitaron el crecimiento del fitoplancton.

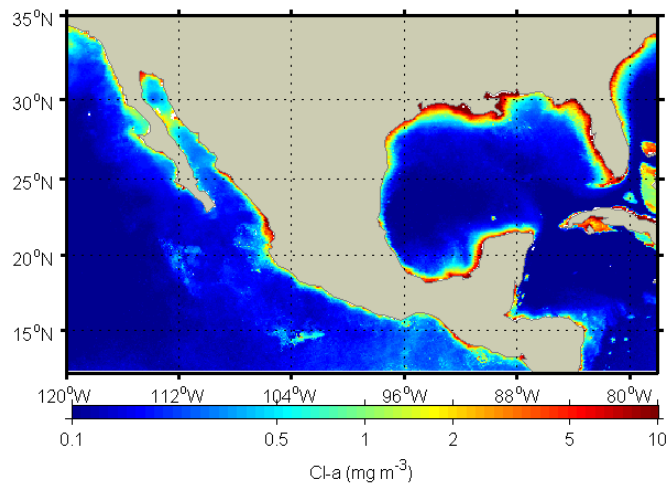


En agosto se conservó la tendencia de bajas concentraciones de clorofila del fitoplancton en la mayor parte de los mares mexicanos. En el Océano Pacífico frente a las costas de

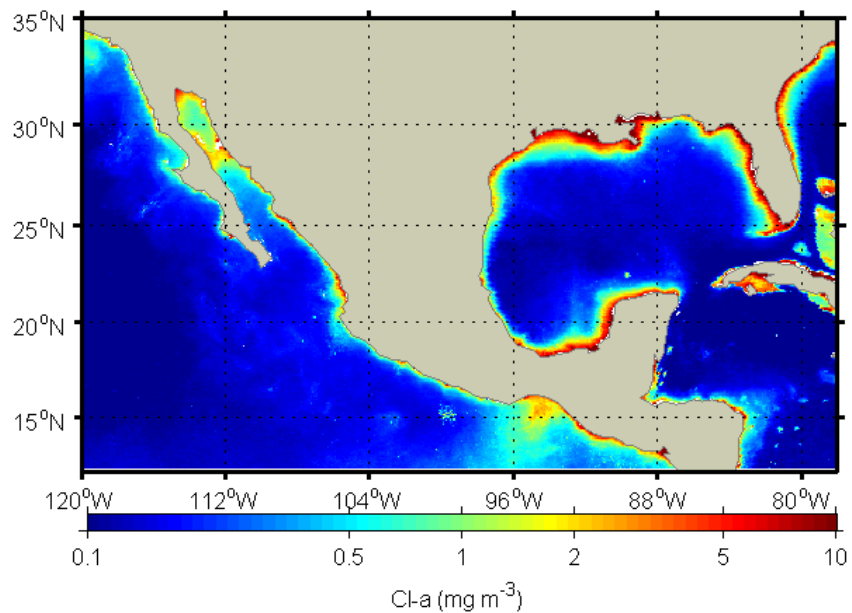
México se presentaron bajos valores ( $<0.2 \text{ mg m}^{-3}$ ) desde los  $96^\circ\text{W}$ . Destaca en la entrada y en el interior del Golfo de California diversas estructuras en la distribución de clorofila, con concentraciones de  $0.5 \text{ mg m}^{-3}$ , lo cual se asoció con remolinos y meandros que erosionan las capas subsuperficiales del océano, favoreciendo el flujo vertical de nutrientes. El Golfo de México y el Mar Caribe mantuvieron nuevamente bajas concentraciones de clorofila ( $<0.2 \text{ mg m}^{-3}$ ).



En el mes de septiembre se estimaron concentraciones bajas ( $0.2 \text{ mg m}^{-3}$ ) en gran parte de los mares mexicanos. En el Pacífico permanecieron valores relativamente altos ( $\sim 1.0 \text{ mg m}^{-3}$ ) en la región de las grandes islas en el interior del Golfo de California. En el resto de las costas del Pacífico los valores de clorofila fueron  $<0.5 \text{ mg m}^{-3}$  evidenciando que en promedio este mes fue uno de los menos productivos.



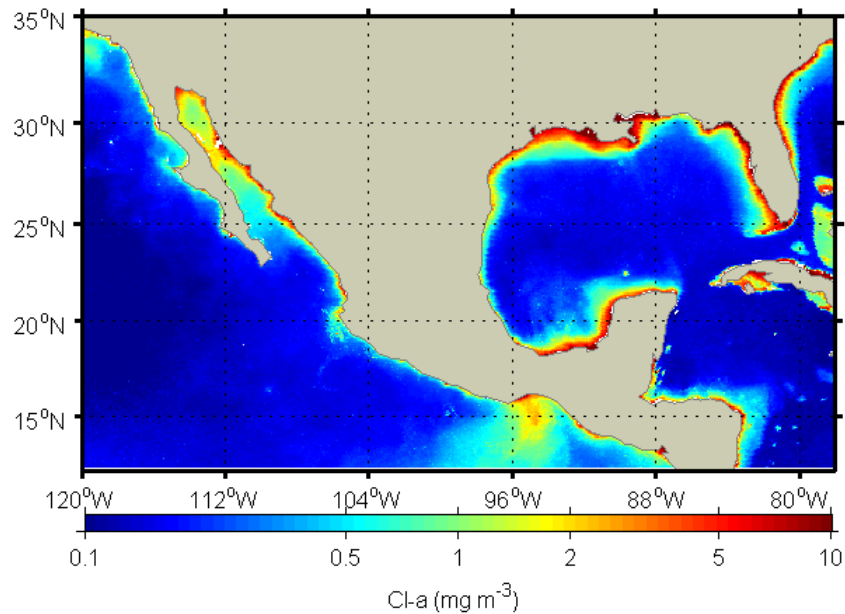
Octubre fue el otro mes caracterizado por bajas concentraciones de clorofila en gran parte de los mares mexicanos. Excepto en la región del Golfo de California desde la zona de las grandes islas hacia el norte, donde se presentaron altos valores relativos ( $>1.0 \text{ mg m}^{-3}$ ). También se observó un aumento en la actividad biológica en el Golfo de Tehuantepec con valores de  $\sim 2.0 \text{ mg m}^{-3}$ .



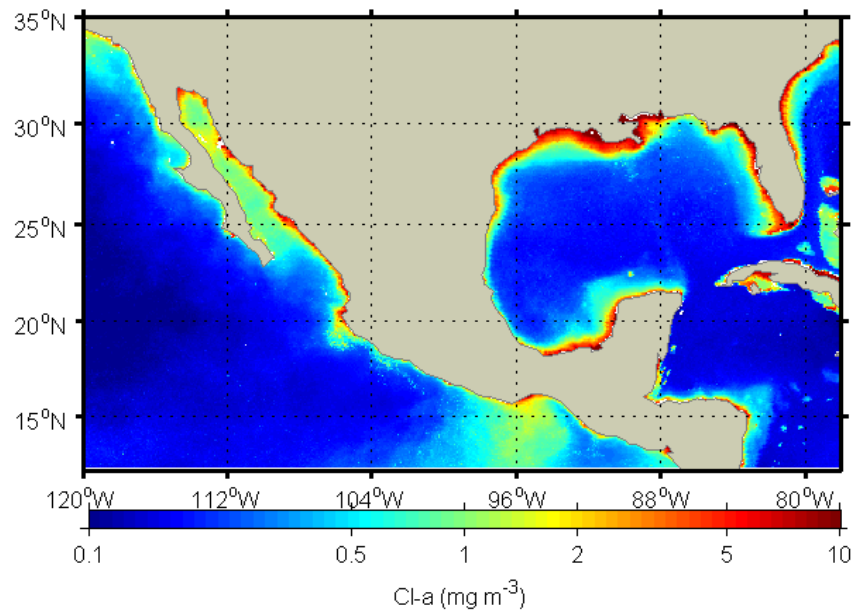


En las regiones oceánicas del Golfo de México y el Mar Caribe se mantuvieron bajas concentraciones de clorofila, mientras que en la franja costera desde la Península de Yucatán entre los 88-96°W se presentaron altos valores de clorofila ( $\sim 2.0 \text{ mg m}^{-3}$ ).

En noviembre se obtuvieron bajas concentraciones de clorofila ( $\leq 0.2 \text{ mg m}^{-3}$ ) en la región oceánica ( $>100 \text{ km}$  de la costa) del Pacífico al oeste de los 100°W, así como en la región del Golfo de México y el Mar Caribe. Destacaron los altos valores de clorofila ( $2.0$  a  $5.0 \text{ mg m}^{-3}$ ) en las regiones del Golfo de California al norte de las grandes islas. También se observó un incremento en la clorofila hacia concentraciones cercanas a  $2.0 \text{ mg m}^{-3}$  en el Golfo de Tehuantepec, que comprendió una parte importante de la región oceánica adyacente. Dentro del Golfo de México en la costa occidental de la Península de Yucatán se apreció una franja con altos valores de clorofila.



En diciembre las concentraciones de clorofila ( $\leq 0.2 \text{ mg m}^{-3}$ ) fueron bajas en la región oceánica ( $>100 \text{ km}$  de la costa) del Pacífico al oeste de los 100°W, así como en la región del Golfo de México y el Mar Caribe.



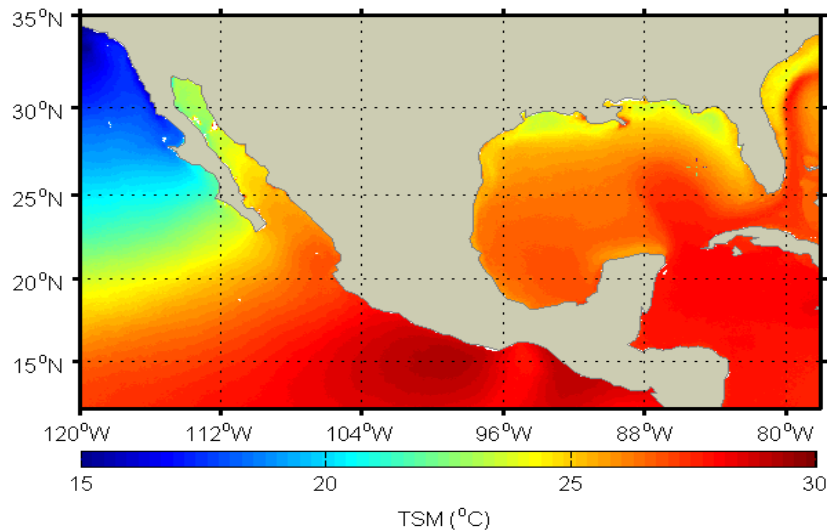
Destacaron valores de clorofila entre 1.0 a 2.0  $\text{mg m}^{-3}$  en gran parte del Golfo de California. También, en la región oceánica adyacente al Golfo de Tehuantepec la concentración de clorofila presentó valores cercanos a 0.5  $\text{mg m}^{-3}$  llegando a 2.0  $\text{mg m}^{-3}$ . En la zona costera dentro del Golfo de México en la costa occidental de la Península de Yucatán se apreció una franja con altos valores de clorofila.

### **Temperatura superficial del mar**

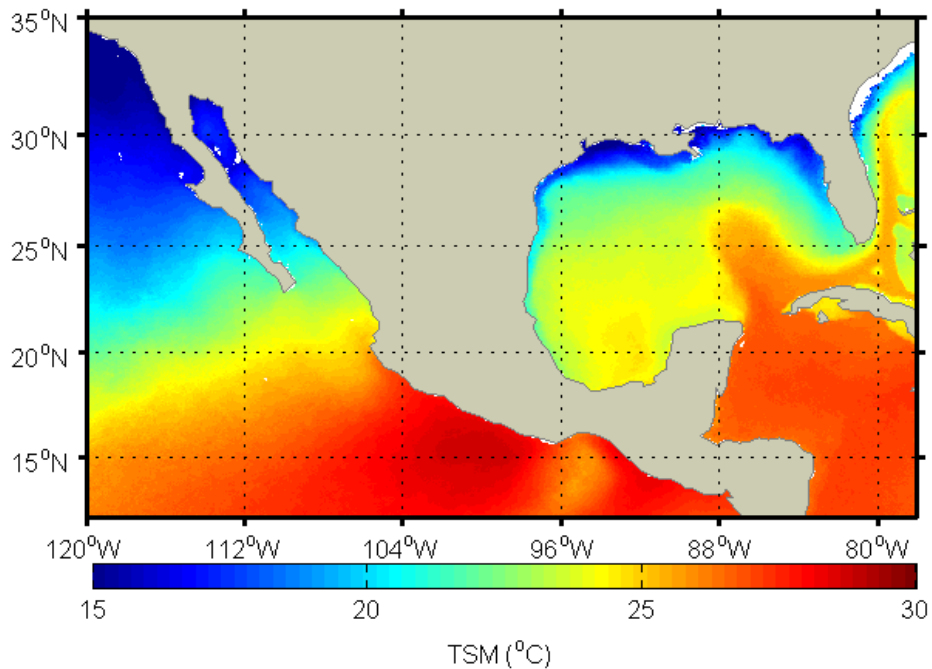
En la imagen promedio de la temperatura superficial derivada del sensor AVHRR se presenta la tendencia general de los datos de compuestos mensuales obtenidos con los datos de enero de 1985 a diciembre de 2009. Estas imágenes representan productos basados en la señal del infrarrojo que estima la temperatura superficial del mar en la capa superficial de los océanos (primeros centímetros). Este dato es ampliamente utilizado como referencia de las condiciones oceanográficas como la circulación superficial en diferentes escalas. La imagen del promedio de largo periodo de la temperatura superficial del mar muestra que los mares mexicanos presentaron temperaturas superficiales  $>25^{\circ}\text{C}$ , a excepción del Océano Pacífico frente a Baja

California, lugar donde la temperatura superficial del mar disminuyó de 20 a 15°C conforme aumentó la latitud. El Golfo de California presentó valores promedios de 25°C en la entrada disminuyendo a 22°C en la parte alta. En la región del Pacífico al sur de 20°N se presentó una región con los mayores valores promedio (30°C) en la temperatura superficial del mar, zona conocida como la alberca cálida, en la cual se observó un núcleo con un mínimo relativo (28°C) en la región de influencia del Golfo de Tehuantepec.

En el Golfo de México la temperatura superficial del mar promedio de largo periodo varió entre 25 a 28°C, mientras que en la región del Mar Caribe se presentaron valores promedios de aproximadamente 28°C. Sobresale una estructura frontal en la entrada del Golfo de México entre las Penínsulas de Yucatán y de Florida, la que corresponde a la señal de la Corriente de Lazo. Esta corriente transporta aguas superficiales a través del Canal de Yucatán desde el Mar Caribe hacia el Golfo de México con un volumen del orden de 20 Sv ( $1 \text{ Sv} = 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$ ). La corriente se mantiene relativamente angosta (30 km) formando un meandro hacia el interior del Golfo de México antes de salir por el estrecho de la Florida (<http://oceanografia.cicese.mx/GolfoMex/antecede.html>).



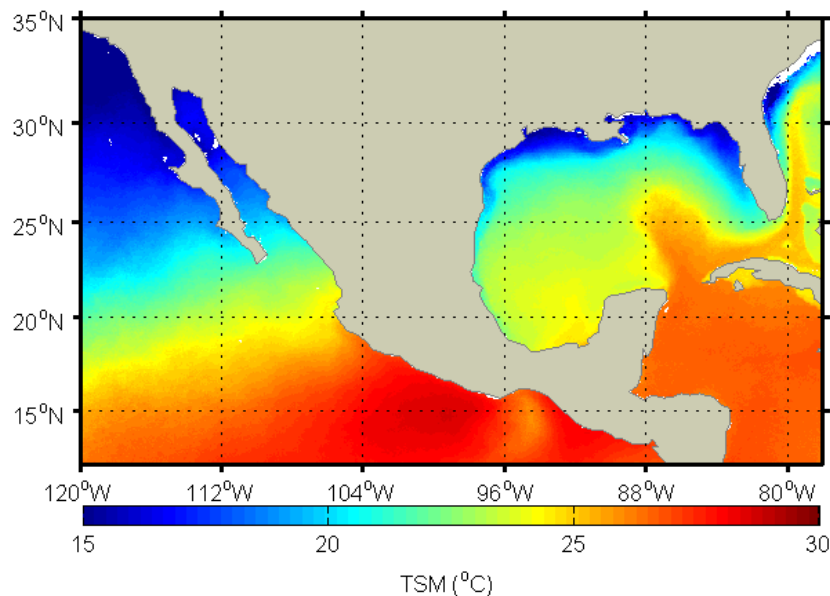
En enero se presentó un gradiente latitudinal perpendicular a la costa de México en el Océano Pacífico, con valores altos  $\sim 28^{\circ}\text{C}$  en las bajas latitudes ( $15^{\circ}\text{N}$ ) que disminuyeron a  $\sim 15^{\circ}\text{C}$  en las latitudes altas ( $>30^{\circ}\text{N}$ ). En el Golfo de California se presentaron temperaturas de  $20^{\circ}\text{C}$  en la entrada, disminuyendo a  $\sim 17^{\circ}\text{C}$  en la parte alta del Golfo.



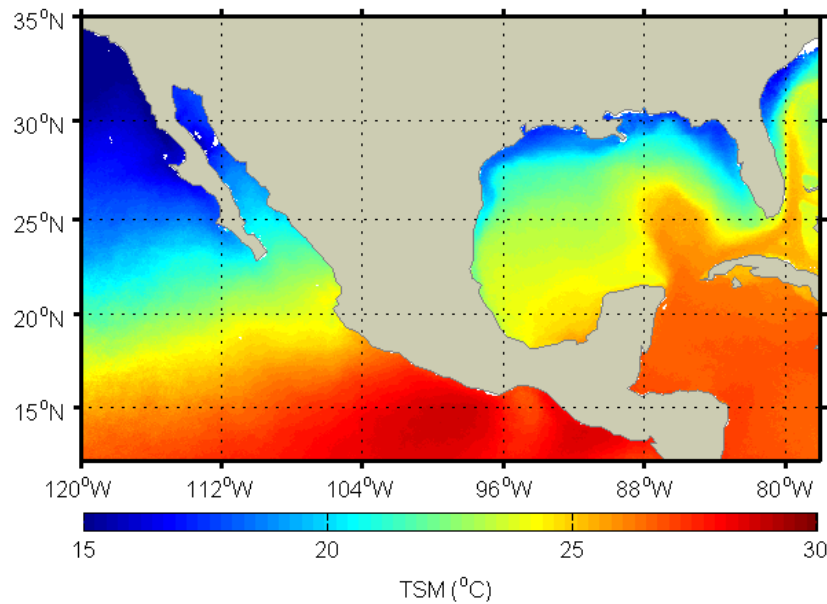
Hacia el sur en la región del Océano Pacífico entre  $97^{\circ}\text{W}$  a  $105^{\circ}\text{W}$  se observaron valores máximos de temperatura ( $\sim 28^{\circ}\text{C}$ ), mientras que en el Golfo de Tehuantepec se presentó una amplia zona del océano con valores mínimos relativos cercanos a  $25^{\circ}\text{C}$ . En el interior del Golfo de México la temperatura superficial promedio fue de  $\sim 23^{\circ}\text{C}$ . En la boca del Golfo de México entre Yucatán y la Florida se presentó el meandro formado por la presencia de la Corriente de Lazo que ingresa agua desde el Mar Caribe con mayor temperatura superficial ( $\sim 26^{\circ}\text{C}$ ) que la del interior del Golfo de México.

El mes de febrero presentó un gradiente latitudinal perpendicular a la costa de México en el Océano Pacífico, con valores altos  $\sim 28^{\circ}\text{C}$  en las bajas latitudes ( $15^{\circ}\text{N}$ ) que disminuyeron a  $\sim 14^{\circ}\text{C}$  en las latitudes altas ( $>30^{\circ}\text{N}$ ). En el Golfo de California se presentaron temperaturas desde  $20^{\circ}\text{C}$  en la entrada, disminuyendo a  $\sim 17^{\circ}\text{C}$  en la parte

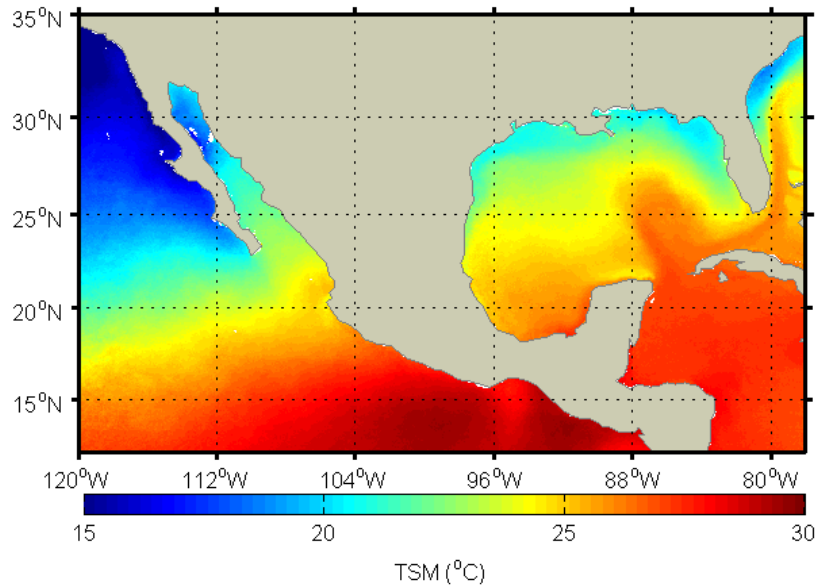
alta del Golfo. Hacia el sur en la región entre 97°W a 105°W se tuvieron los valores máximos de temperatura (~28°C), mientras que en el Golfo de Tehuantepec se mostró una amplia zona del océano con valores mínimos relativos cercanos a 25°C. En el interior del Golfo de México la temperatura superficial promedio fue de ~23°C. En la boca del Golfo de México entre Yucatán y la Florida se presentó el meandro formado por la Corriente de Lazo la cual transporta agua cálida desde el Mar Caribe.



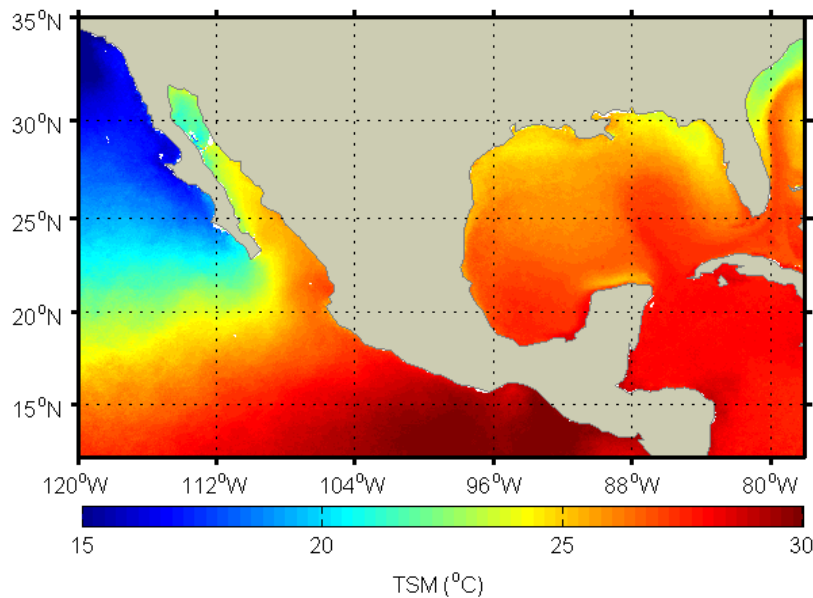
En marzo se observó un gradiente latitudinal perpendicular a la costa en el Océano Pacífico con valores altos ~28°C en las bajas latitudes (15°N) que disminuyeron a ~14°C en latitudes >30°N. En el Golfo de California se presentaron altas temperaturas en la entrada (20°C) disminuyendo a ~17°C. En la región entre 97°W a 105°W se mostraron los máximos valores en la temperatura (~28°C). En el Golfo de Tehuantepec se presentó una zona del océano con valores mínimos relativos cercanos a 26°C. En el Golfo de México la temperatura superficial promedio fue de ~23°C, con la presencia de la Corriente de Lazo que ingresó agua desde el Mar Caribe.



Durante abril se mantuvo el gradiente latitudinal perpendicular a la costa del Océano Pacífico, con valores altos  $\sim 30^{\circ}\text{C}$  en las bajas latitudes ( $15^{\circ}\text{N}$ ) que disminuyeron a  $\sim 15^{\circ}\text{C}$  en las latitudes altas ( $>30^{\circ}\text{N}$ ). Destaca el avance hacia el norte de agua de  $21^{\circ}\text{C}$  que llegó hasta  $25^{\circ}\text{N}$  frente a Baja California. En el Golfo de California hubo un incremento en la temperatura con  $24^{\circ}\text{C}$  en la entrada, disminuyendo a  $\sim 20^{\circ}\text{C}$  en la parte alta del golfo. Nótese los valores mínimos de temperatura ( $18^{\circ}\text{C}$ ) en la región de las grandes islas. Hacia el sur del Océano Pacífico entre  $97^{\circ}\text{W}$  y  $105^{\circ}\text{W}$  se mostró un incremento de la temperatura hasta  $30^{\circ}\text{C}$ , mientras que en el Golfo de Tehuantepec se presentó una zona del océano con valores mínimos relativos cercanos a  $28^{\circ}\text{C}$ . En el interior del Golfo de México la temperatura superficial promedio se incrementó a valores de 25 a  $26^{\circ}\text{C}$ . En la boca del Golfo de México entre Yucatán y la Florida se observó la Corriente de Lazo, que ingresó agua desde el Mar Caribe, con mayor temperatura superficial ( $\sim 27^{\circ}\text{C}$ ) que la del interior del Golfo de México.



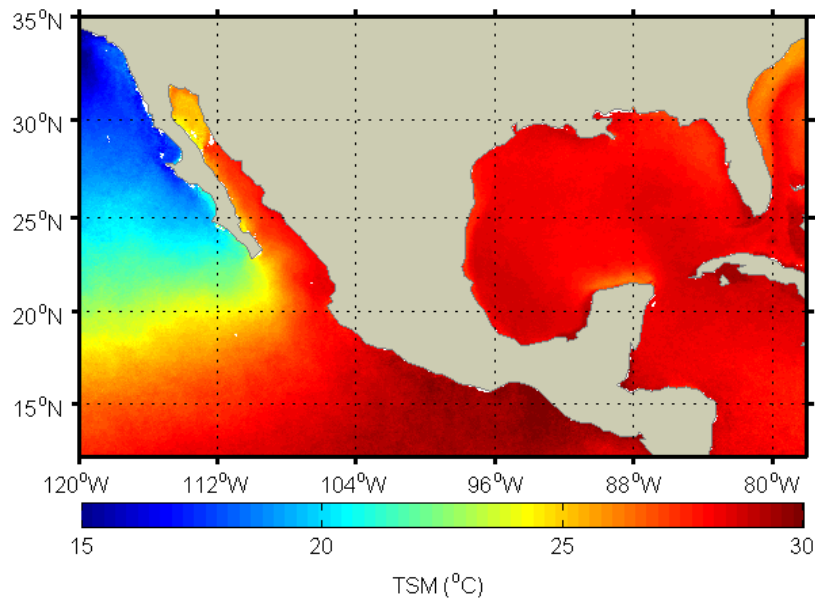
En el mes de mayo se presentó un aumento en el gradiente latitudinal perpendicular a la costa del Océano Pacífico con valores altos  $\sim 31^{\circ}\text{C}$  cercano a  $15^{\circ}\text{N}$  que disminuyeron a  $\sim 15^{\circ}\text{C}$  en las regiones  $>30^{\circ}\text{N}$ .



Destaca el avance hacia el norte de agua de  $21^{\circ}\text{C}$  que llegó hasta  $26^{\circ}\text{N}$  frente a Baja California en la parte más oceánica, mientras que en la costa se observó la presencia de agua fría ( $\sim 16^{\circ}\text{C}$ ), en una banda cercana a la costa cuyo origen es explicado por el flujo

de la Corriente de California y por las surgencias costeras locales. En el Golfo de California se presentó un incremento en la temperaturas desde 26°C en la entrada, disminuyendo a ~21°C en la parte norte. Hacia el sur del Pacífico entre 97°W y 105°W se mostró un incremento de la temperatura hasta ~32°C, mientras que en el Golfo de Tehuantepec se observó una zona con valores mínimos relativos cercanos a 29°C. En el interior del Golfo de México la temperatura superficial promedio se incrementó a valores de 26 a 27°C. En la boca del Golfo de México entre Yucatán y la Florida se aprecia con menor resolución la Corriente de Lazo.

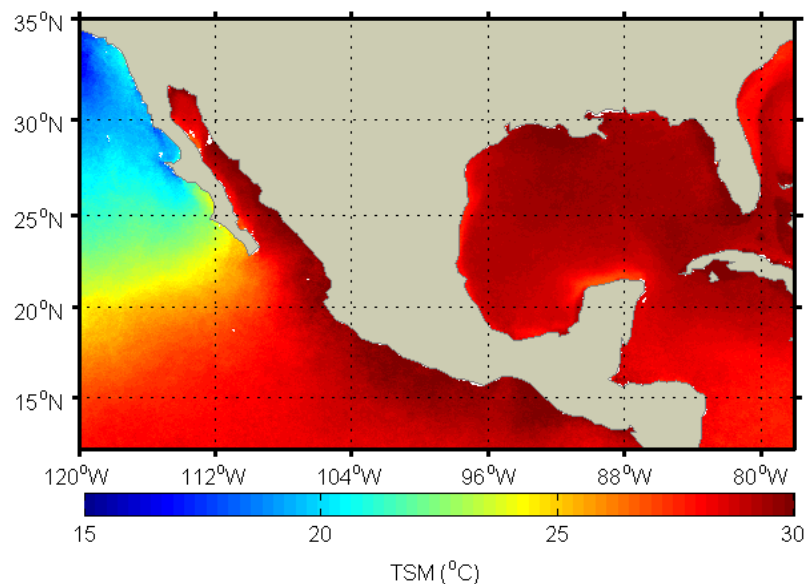
Durante el mes de junio se evidenció un incremento de temperatura en los mares mexicanos. El Océano Pacífico mantuvo un marcado gradiente latitudinal perpendicular a la costa, con valores altos ~31°C desde Cabo Corrientes hacia el sur, que disminuyeron a ~15°C a mayores latitudes (>30°N). Destaca el avance hacia el norte de agua de 21°C que alcanzó 28°N frente a Baja California en la parte más oceánica. En el Golfo de California se obtuvo un marcado incremento en la temperatura hasta 28°C, que abarcó la región de las grandes islas, con temperaturas menores de 26°C hacia el norte.





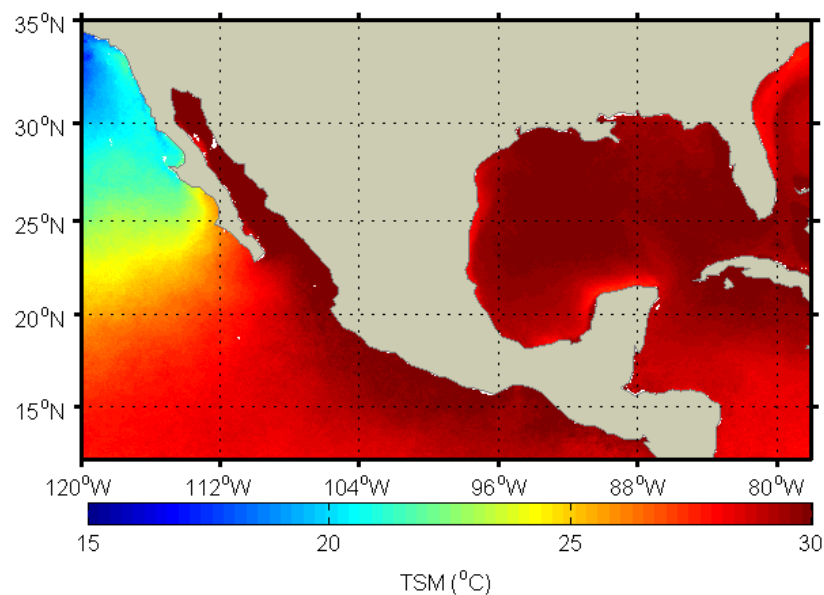
En el interior del Golfo de México la temperatura superficial promedio se incrementó a 28°C al igual que en el Mar Caribe. Por el aumento generalizado de la temperatura superficial en el Golfo de México y Mar Caribe es difícil de distinguir la Corriente de Lazo en este mes, debido a que toda la región mantuvo una temperatura superficial alta y muy homogénea.

En julio se mantuvo la tendencia al incremento en la temperatura en los mares mexicanos. En el Océano Pacífico se conservó un marcado gradiente latitudinal perpendicular a la costa con valores altos ~31°C desde Cabo Corrientes hacia el sur, que disminuyeron a ~15°C en las latitudes altas (>30°N). Destaca el avance hacia el norte de agua de 21°C que alcanzó 28°N frente a Baja California en la parte más oceánica. En el Golfo de California se presentó un marcado incremento en la temperatura (28°C) que abarcó hasta la región de las grandes islas, con temperaturas menores de 26°C hacia el norte. En el interior del Golfo de México la temperatura superficial promedio se incremento a valores de 28°C, al igual que en el Mar Caribe.

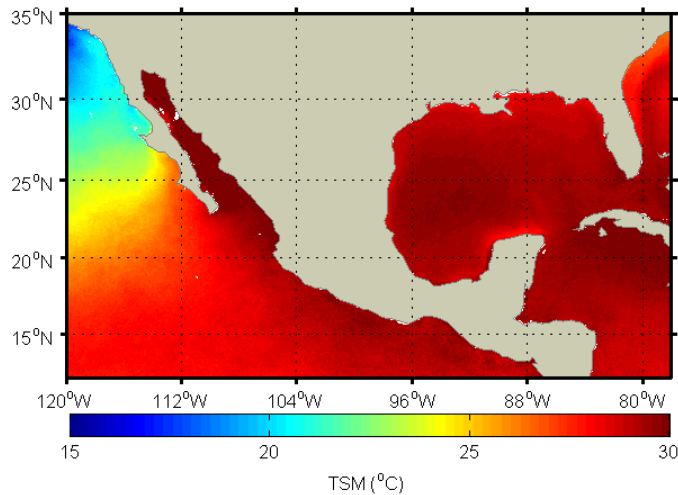


La imagen promedio de la temperatura superficial del mar de agosto mantuvo la tendencia al incremento en la temperatura en los mares mexicanos. Se conservó el

gradiente latitudinal perpendicular a la costa del Océano Pacífico, con valores altos  $\sim 31^{\circ}\text{C}$  desde Cabo Corrientes hacia el sur y una disminución posterior ( $\sim 20^{\circ}\text{C}$ ) con la latitud. Destaca el avance hacia el norte del agua con  $23^{\circ}\text{C}$  que alcanzó los  $25^{\circ}\text{N}$  frente a Baja California en la parte más oceánica. En el Golfo de California se presentó un marcado incremento en la temperatura a  $30^{\circ}\text{C}$  lo cual homogeneizó las condiciones superficiales. En el Golfo de México la temperatura promedio se incrementó hasta valores de  $30^{\circ}\text{C}$ , al igual que en el Mar Caribe. Debido al aumento generalizado de la temperatura superficial del mar en el Golfo de México y Mar Caribe en este mes es difícil distinguir el trazo superficial de la Corriente de Lazo.

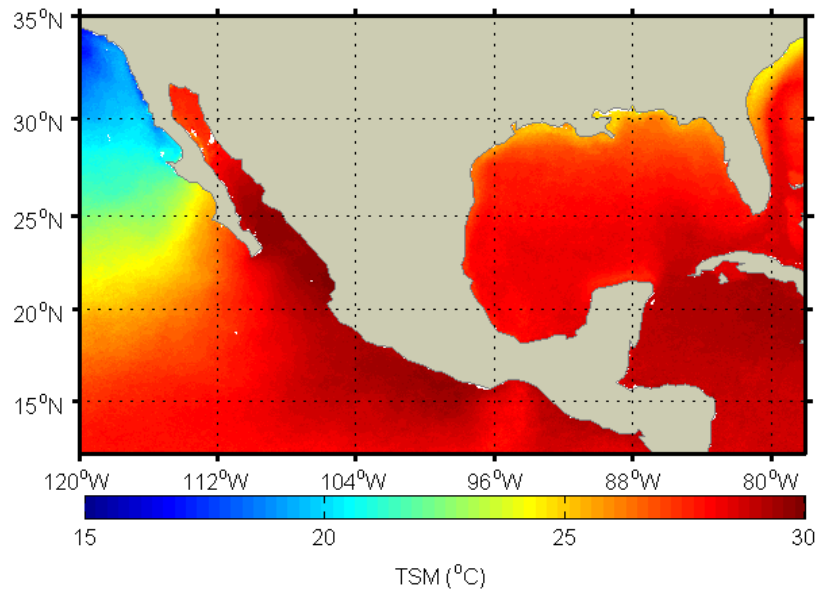


En septiembre la temperatura del Océano Pacífico mantuvo la distribución de la temperatura alcanzada por el promedio climatológico de agosto. El Océano Pacífico mantuvo un marcado gradiente latitudinal perpendicular a la costa, con valores altos  $\sim 31^{\circ}\text{C}$  desde Cabo Corrientes hacia el sur, que disminuyeron a  $\sim 20^{\circ}\text{C}$  en las latitudes mayores ( $>30^{\circ}\text{N}$ ).

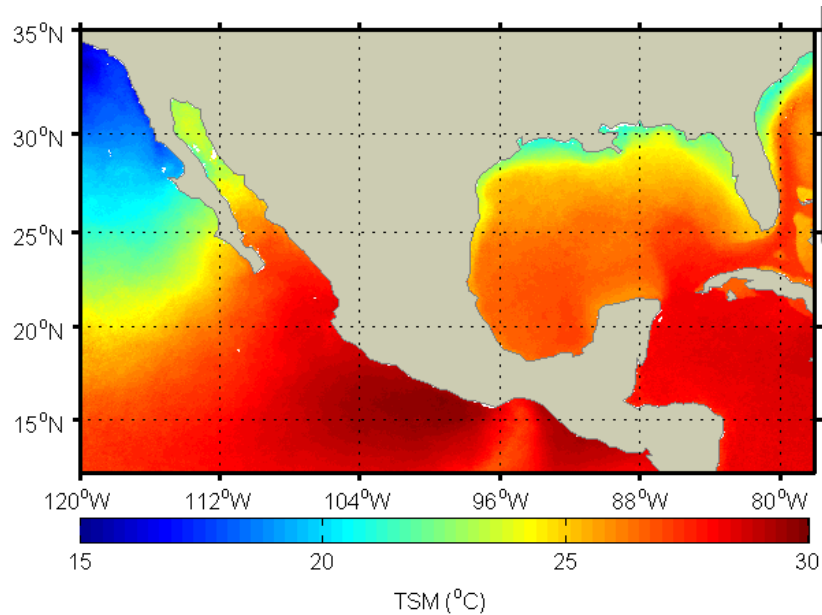


Destaca el avance hacia el norte de agua de 23°C que alcanzó los 25°N frente a Baja California en la parte más oceánica. En el Golfo de California se mantuvo la temperatura homogénea de 30°C. También, en el Golfo de México la temperatura superficial promedio se mantuvo en valores de 30°C, al igual que en el Mar Caribe.

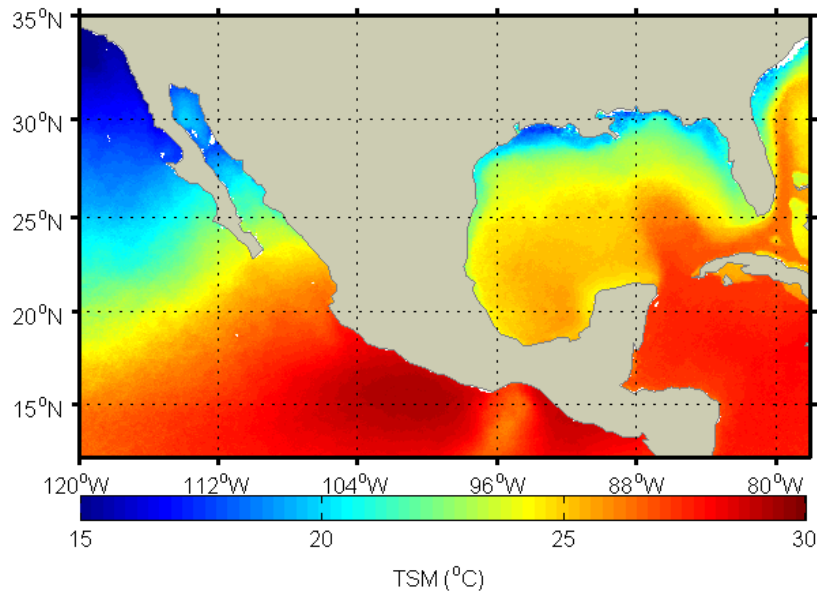
El promedio de la temperatura superficial del mar en octubre presentó una ligera disminución, aunque mantuvo el mismo patrón de agosto y septiembre. Se conservó un marcado gradiente latitudinal perpendicular a la costa del Pacífico mexicano con valores altos ~30°C desde Cabo Corrientes hacia el sur, que disminuyeron a ~18°C hacia el norte (>30°N). El agua de 20°C frente a Baja California se mantuvo a la altura de Bahía Vizcaíno, mientras que el sur de la península en la parte sur de Baja California presentó temperatura cercana a los 25°C. En el Golfo de California se conservó la temperatura espacialmente homogénea de 30°C. En del Golfo de México la temperatura superficial promedio presentó un ligero descenso a valores cercanos a 28°C. En el Mar Caribe se mantuvieron altas temperaturas cercanas a 30°C. En este mes reaparece levemente la señal superficial de la Corriente de Lazo en el Golfo de México.



La temperatura superficial del mar en noviembre mantuvo la tendencia a disminuir en los mares de México. En el Océano Pacífico se incrementó el gradiente latitudinal perpendicular a la costa, con valores mayores de  $\sim 30^{\circ}\text{C}$  entre Cabo Corrientes y el Golfo de Tehuantepec, con disminución a  $\sim 16^{\circ}\text{C}$  hacia latitudes mayores ( $>30^{\circ}\text{N}$ ). El agua de  $20^{\circ}\text{C}$  se mantuvo frente a Baja California entre  $24$  a  $28^{\circ}\text{N}$ . Mientras que la parte sur de Baja California presentó temperatura cercana a los  $25^{\circ}\text{C}$ . El Golfo de California mostró un descenso en la temperatura a valores cercanos a los  $25^{\circ}\text{C}$  desde los  $26^{\circ}\text{N}$ . La entrada del golfo tuvo valores cercanos a  $28^{\circ}\text{C}$ . En la región frente al Golfo de Tehuantepec reaparece una señal en forma de filamento de baja temperatura relativa ( $26^{\circ}\text{C}$ ) que se extendió hacia fuera del océano. En el interior del Golfo de México la temperatura superficial promedio presentó un ligero descenso a valores cercanos a  $26^{\circ}\text{C}$ . El Mar Caribe también mostró un descenso hacia temperatura cercana a  $28^{\circ}\text{C}$ . Con el descenso de la temperatura superficial en la región del Golfo de México y Mar Caribe se acentuó la señal superficial de la Corriente de Lazo.



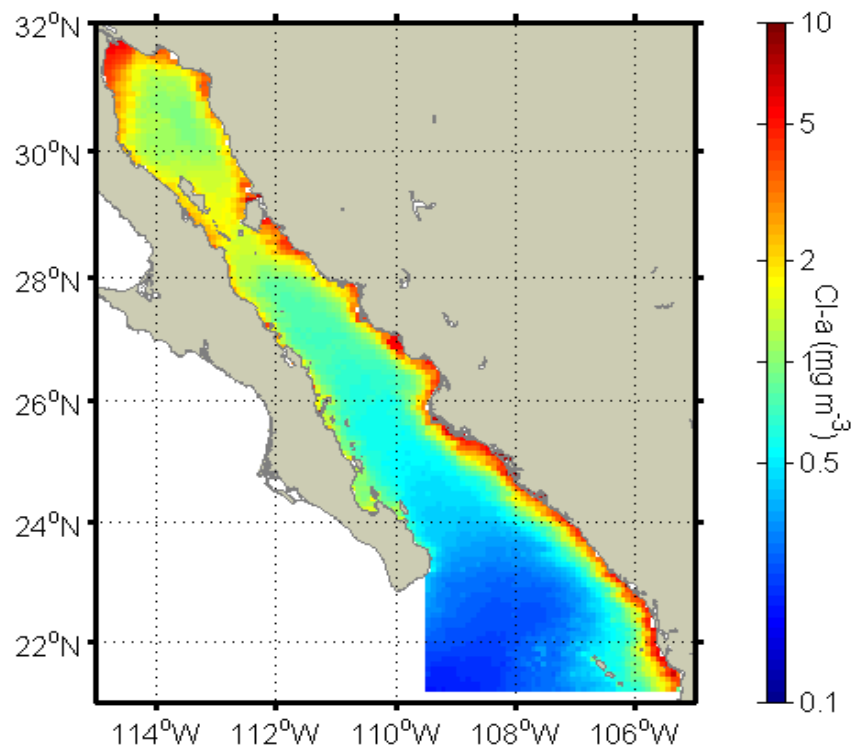
La imagen promedio de diciembre mostró una marcada disminución en la temperatura superficial en los mares de México. En el Océano Pacífico se incrementó el gradiente latitudinal perpendicular a la costa con valores mayores  $\sim 30^{\circ}\text{C}$  desde Cabo Corrientes al Golfo de Tehuantepec, y disminución a  $\sim 15^{\circ}\text{C}$  hacia el norte ( $>30^{\circ}\text{N}$ ). Se presentó un retroceso del agua de  $20^{\circ}\text{C}$  ubicándose al sur de Bahía Vizcaíno, mientras que la parte sur de la Península de Baja California mostró temperatura cercana a  $25^{\circ}\text{C}$ . En el Golfo de California se observó un descenso en la temperatura ( $20^{\circ}\text{C}$ ) desde los  $25^{\circ}\text{N}$ , mientras que la boca del golfo presentó valores cercanos a  $25^{\circ}\text{C}$ . En la región frente al Golfo de Tehuantepec se intensificó la señal en forma de filamento de baja temperatura relativa ( $\sim 25^{\circ}\text{C}$ ) que se extendió hacia fuera del océano. En el Golfo de México la temperatura superficial promedio presentó un marcado descenso a valores cercanos a  $25^{\circ}\text{C}$ . En el Mar Caribe también la temperatura exhibió un ligero descenso, con valores cercanos a  $27^{\circ}\text{C}$ . El descenso de la temperatura superficial acentuó la señal superficial de la Corriente de Lazo, formando un meandro que ingresó agua de mayor temperatura al interior del Golfo de México.



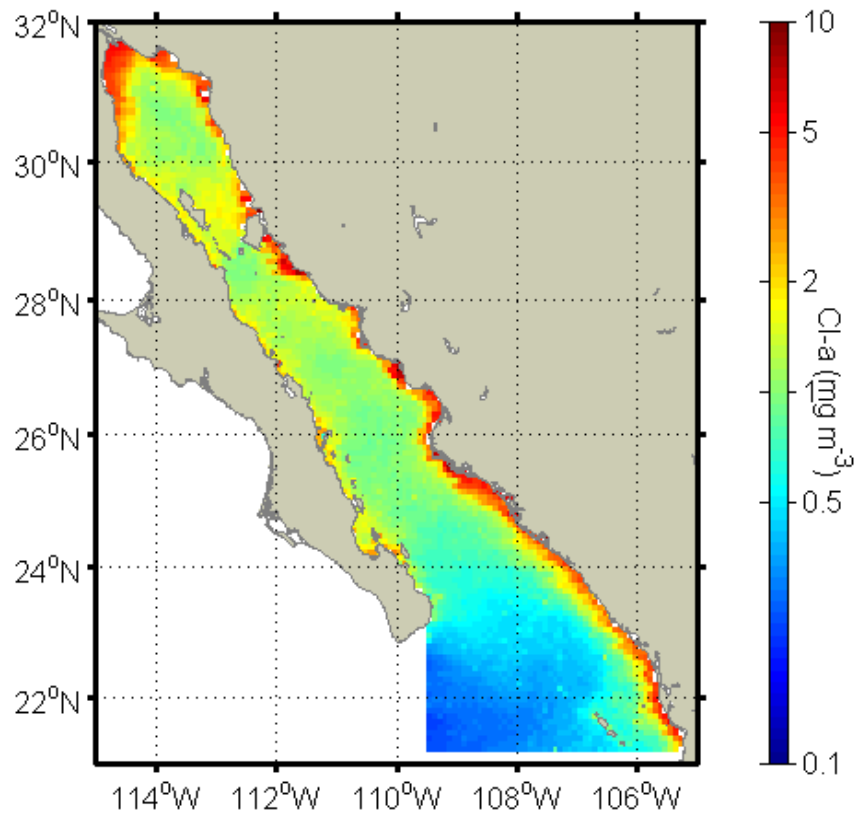
### II.3. ESCENARIOS REGIONALES

#### **Clorofila. Golfo de California.**

El promedio de largo periodo de clorofila (1997-2007) en el Golfo de California representa la respuesta de la comunidad fitoplanctónica debida a la variabilidad de las condiciones hidrográficas y a la influencia que recibe del Océano Pacifico. El Golfo de California presentó dos regiones diferenciadas por la concentración de clorofila. La primera región ubicada desde las grandes islas (28°N) hacia el norte, la cual mostró alta clorofila entre 1.0 a 3.0 mg m<sup>-3</sup>. La segunda región se ubicó al sur de 28°N hasta la boca del golfo con concentración promedio cercana a 0.5 mg m<sup>-3</sup>. Cabe destacar que la zona costera del margen oriental del Golfo de California presentó una franja con alta concentración de clorofila (~2.0 mg m<sup>-3</sup>) que se extendió desde boca hasta la parte norte.



La imagen promedio de enero (1997-2007) mostró que la concentración de clorofila en el Golfo de California tuvo condiciones similares en toda la región, con valores cercanos a  $1.0 \text{ mg m}^{-3}$  a lo largo del eje central y de  $2.0 \text{ mg m}^{-3}$  en los márgenes cercanos a la costa. En la entrada del golfo se presentaron bajas concentraciones ( $0.5 \text{ mg m}^{-3}$ ) las cuales disminuyeron hacia afuera. En el margen oriental del golfo se presentó una franja cercana a la costa con alta concentración de clorofila ( $\sim 2.0 \text{ mg m}^{-3}$ ) la cual se extendió desde fuera del golfo hasta el extremo norte. En la cabeza del golfo se presentaron altos valores de clorofila del fitoplancton ( $\sim 3.0 \text{ mg m}^{-3}$ ).

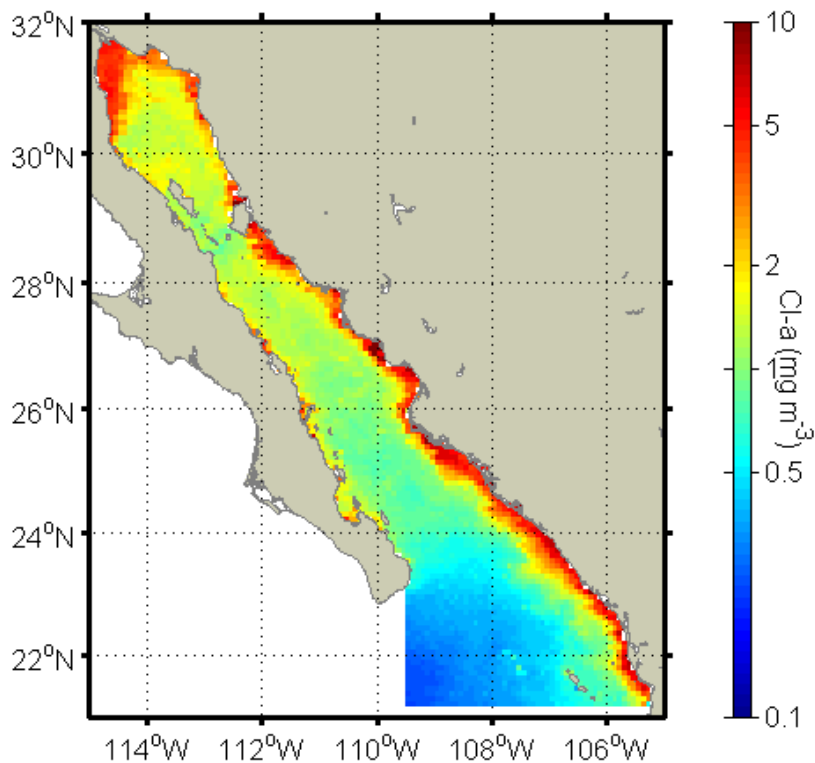


La imagen promedio de febrero (1997-2007) mostró que la concentración de clorofila en el Golfo de California tuvo un ligero incremento respecto al mes anterior, con un patrón de distribución con baja concentración ( $0.5 \text{ mg m}^{-3}$ ) en la boca hasta valores mayores ( $2.0 \text{ mg m}^{-3}$ ) en la región norte.

En el margen oriental se presentó una zona cercana a la costa con alta concentración de clorofila ( $2.0$  a  $5.0 \text{ mg m}^{-3}$ ), que se extendió desde fuera de la boca hasta la parte norte.

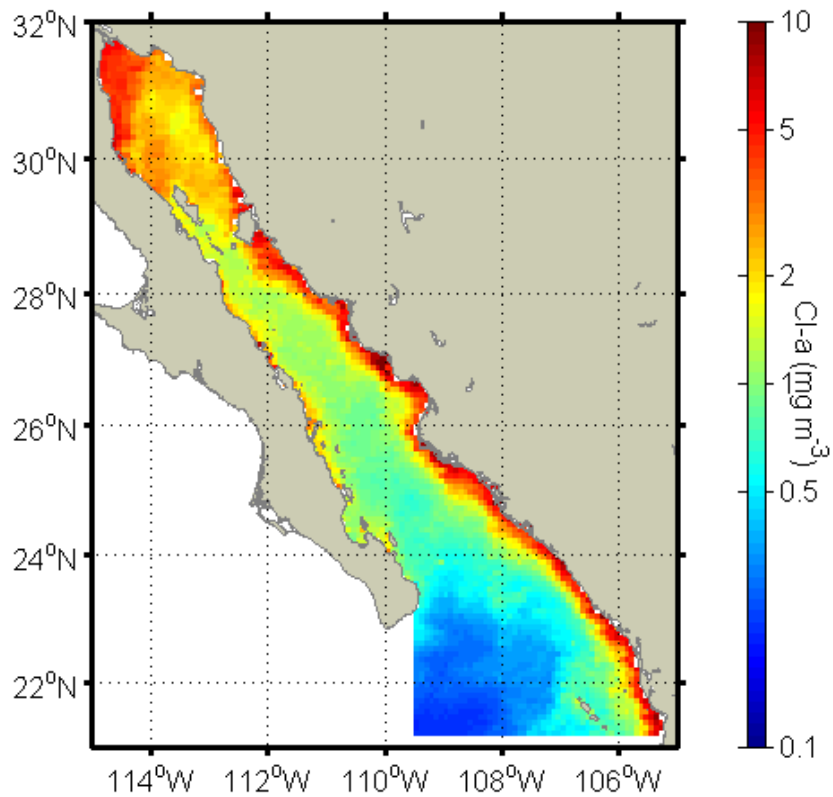
En el extremo norte se presentó una franja costera con altos valores de clorofila del ( $\sim 3.0 \text{ mg m}^{-3}$ ).



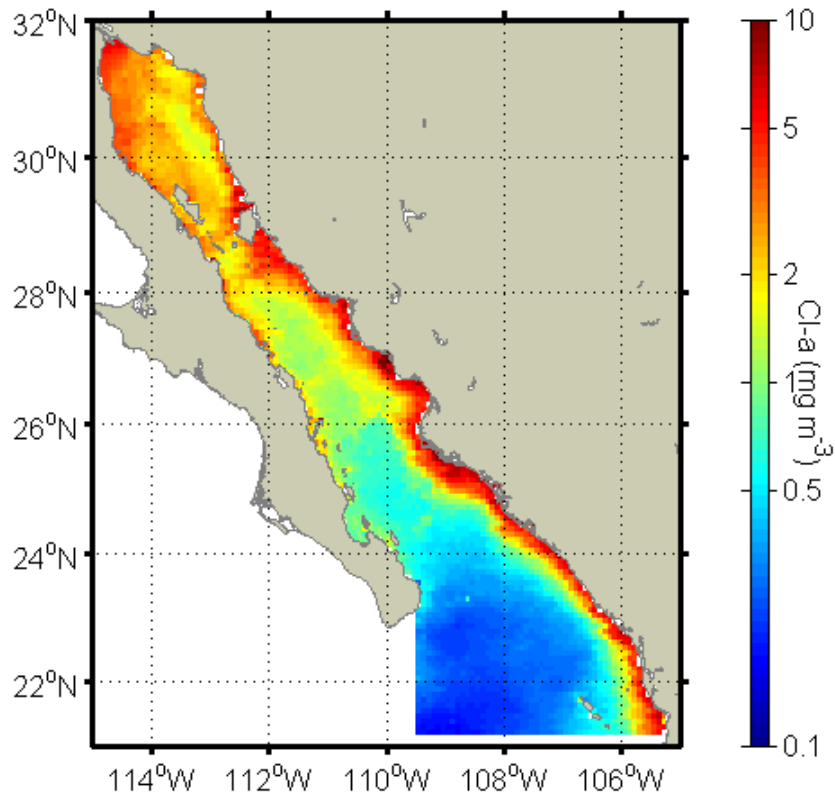


En marzo la concentración promedio de clorofila en el Golfo de California presentó un marcado incremento respecto al mes anterior, con un patrón de distribución con baja concentración ( $0.5 \text{ mg m}^{-3}$ ) desde la boca del golfo hasta valores mayores ( $\sim 3.0 \text{ mg m}^{-3}$ ) en la región norte. En el margen oriental aumentó la clorofila en la franja cercana a la costa, con valores cercanos a  $5.0 \text{ mg m}^{-3}$ , la cual se extendió desde fuera del golfo hasta la parte norte.

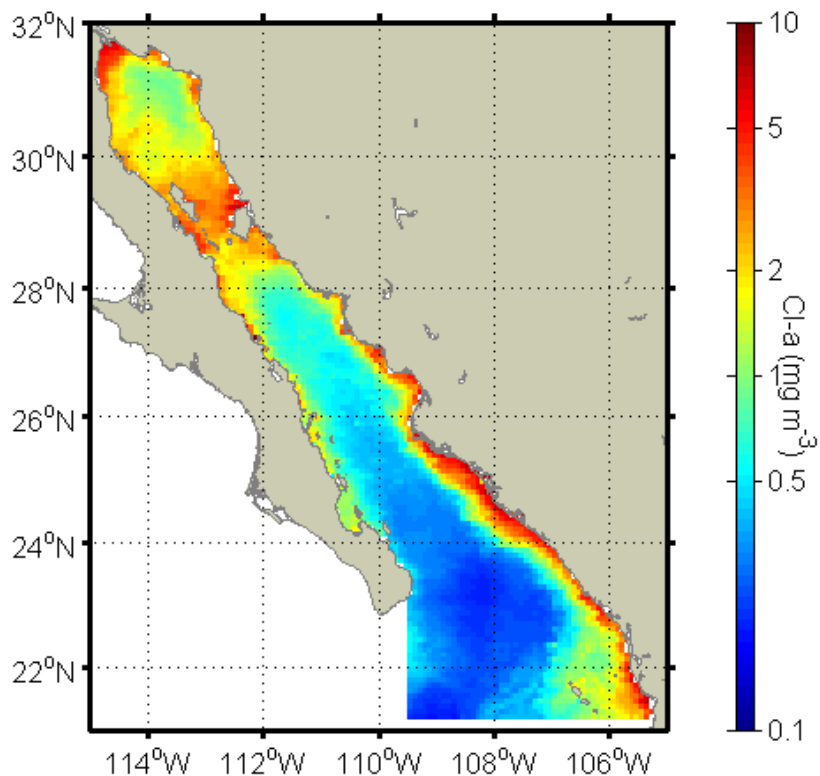
De igual manera la franja costera del margen occidental tuvo valores altos cercanos a  $2.0 \text{ mg m}^{-3}$ . En la franja costera noroccidental del alto golfo se presentaron altos valores de clorofila ( $\sim 3.0 \text{ mg m}^{-3}$ ).



Durante abril el promedio de la concentración de clorofila en el Golfo de California presentó un marcado incremento respecto al mes anterior, con un patrón de distribución de baja concentración ( $0.5 \text{ mg m}^{-3}$ ) en la boca del golfo hasta  $26^{\circ}\text{N}$ . En la zona de las grandes islas los valores aumentaron hasta  $2.0 \text{ mg m}^{-3}$ , mientras que en la región norte la concentración de clorofila se mantuvo entre  $2.0$  a  $5.0 \text{ mg m}^{-3}$ . En el margen oriental aumentó la concentración de clorofila en la zona cercana a la costa con valores cercanos a  $5.0 \text{ mg m}^{-3}$ , que se extendió desde fuera del golfo hasta la parte norte. En las inmediaciones de Isla Tiburón, cercano a la costa se presentó un incremento marcado en la concentración de clorofila. La franja costera del margen occidental tuvo valores altos cercanos a  $2.0 \text{ mg m}^{-3}$  desde  $26^{\circ}\text{N}$  hacia el Alto Golfo. Esta región permaneció con altos valores de clorofila ( $\sim 3.0 \text{ mg m}^{-3}$ ).

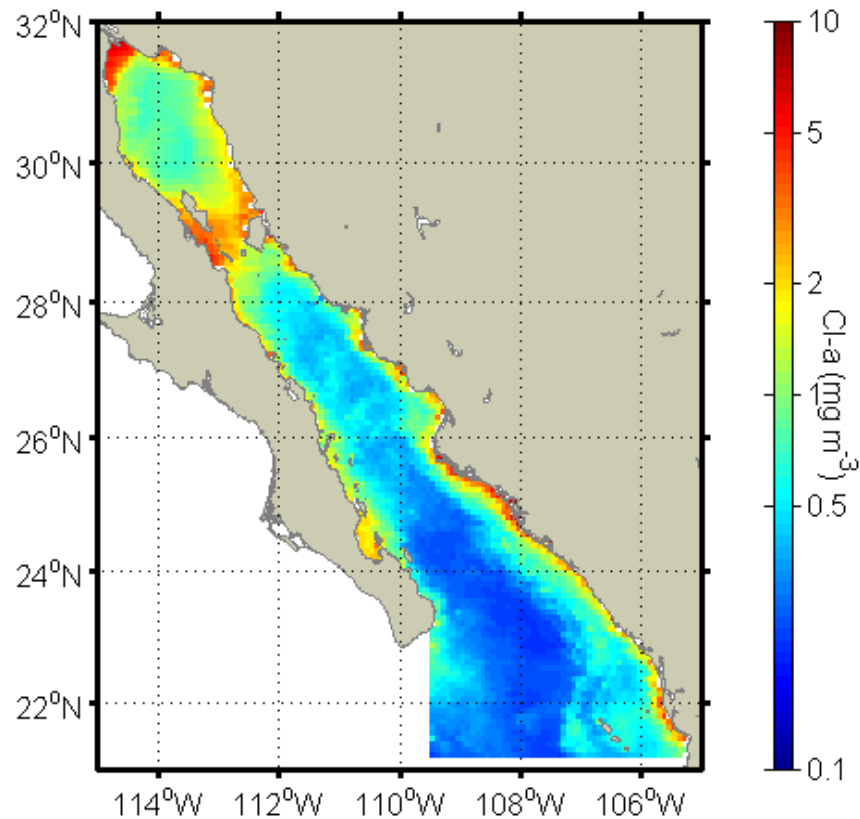


La concentración de clorofila en el Golfo de California en mayo tuvo un descenso con respecto al mes anterior, con un patrón de baja concentración ( $0.2 \text{ mg m}^{-3}$ ) de la boca del golfo hasta  $26^{\circ}\text{N}$ , que se presenta como una continuación de las condiciones desde el océano exterior. Hacia el norte entre los  $26$  y  $28^{\circ}\text{N}$  los valores de clorofila estuvieron cercanos a  $0.5 \text{ mg m}^{-3}$ . En las inmediaciones de las grandes islas se presentaron altos valores de clorofila (entre  $2.0$  a  $5.0 \text{ mg m}^{-3}$ ). En el margen oriental se mantuvo la señal de clorofila alta en la franja cercana a la costa con valores cercanos a  $5.0 \text{ mg m}^{-3}$ , la que se extendió desde el exterior del golfo hasta cerca  $27^{\circ}\text{N}$ . En el margen occidental se presentó una delgada franja cercana a la costa con valores cercanos a  $2.0 \text{ mg m}^{-3}$  desde los  $25^{\circ}\text{N}$ , la cual se incrementó hasta ser similar a los altos valores de la zona de las islas. El Golfo Norte permaneció con altos valores de clorofila ( $\sim 3.0 \text{ mg m}^{-3}$ ) con un mínimo relativo en el centro ( $\sim 1.0 \text{ mg m}^{-3}$ ).



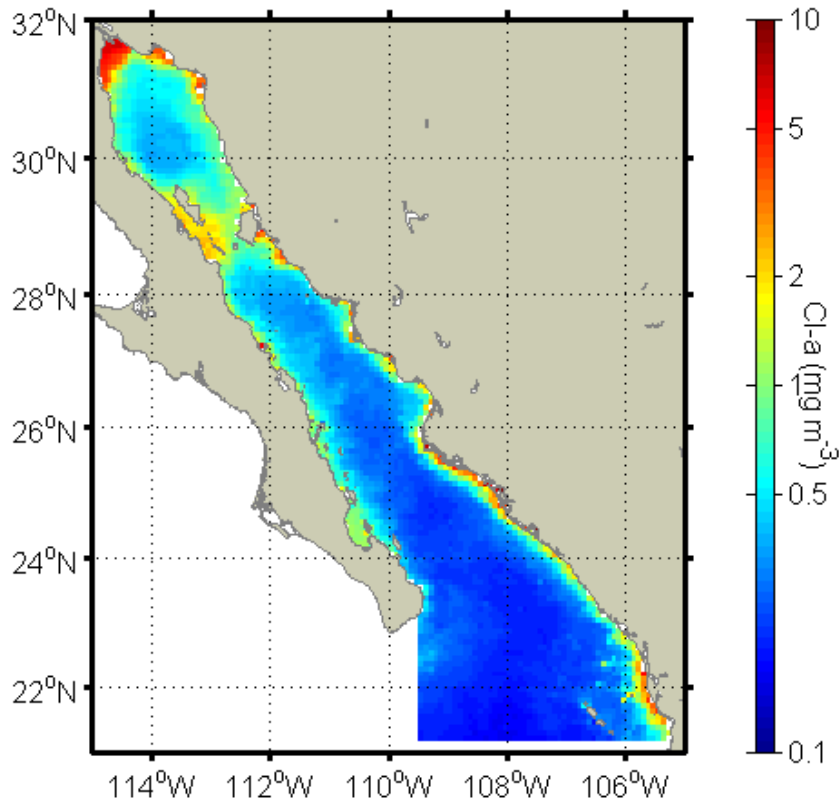
La imagen promedio de junio mostró que la concentración de clorofila continuó con la tendencia al descenso mostrando en los dos meses anteriores, con un patrón de distribución de baja concentración cercana a  $0.2 \text{ mg m}^{-3}$  desde la boca del golfo hasta los  $28^\circ\text{N}$ , con un ligero aumento a  $0.5 \text{ mg m}^{-3}$  que se presentó como una continuación de las condiciones desde el océano exterior. En las inmediaciones de las grandes islas se presentaron los más altos valores relativos de clorofila (entre  $2.0$  a  $5.0 \text{ mg m}^{-3}$ ). En el margen oriental ocurrió un descenso de clorofila en la franja cercana a la costa, con valores entre  $0.5$  a  $2.0 \text{ mg m}^{-3}$  que se extendieron a lo largo del golfo. En el margen occidental se presentó una delgada franja costera con valores cercanos a  $2.0 \text{ mg m}^{-3}$  desde la Bahía de La Paz, con un incremento hacia altos valores en la zona de las islas. El Golfo Norte, al norte de las grandes islas, permaneció con alta concentración de

clorofila ( $\sim 2.0 \text{ mg m}^{-3}$ ) en las zonas costeras y con la presencia de un mínimo relativo en el centro ( $\sim 1.0 \text{ mg m}^{-3}$ ).

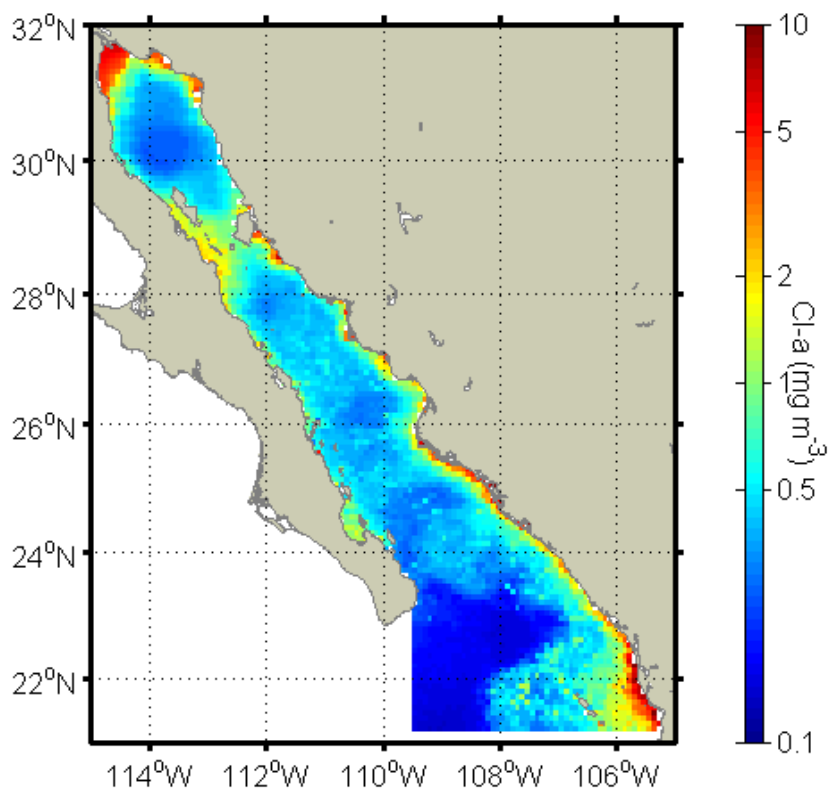


En julio la concentración de clorofila en el Golfo de California tuvo un descenso con relación a los meses anteriores, con baja concentración ( $0.2 \text{ mg m}^{-3}$ ) desde la boca del golfo hasta la zona de las grandes islas. Los valores de  $0.5 \text{ mg m}^{-3}$  se presentaron en ambas costas del golfo. En las inmediaciones de las grandes islas se presentó un núcleo muy restringido con altos valores relativos de clorofila (entre  $2.0$  a  $5.0 \text{ mg m}^{-3}$ ). En el Golfo Norte, al norte de las grandes islas, también fue evidente el descenso en la

concentración de clorofila a valores  $\leq 0.5 \text{ mg m}^{-3}$ , con un mínimo relativo ( $\sim 0.2 \text{ mg m}^{-3}$ ) en la parte central.

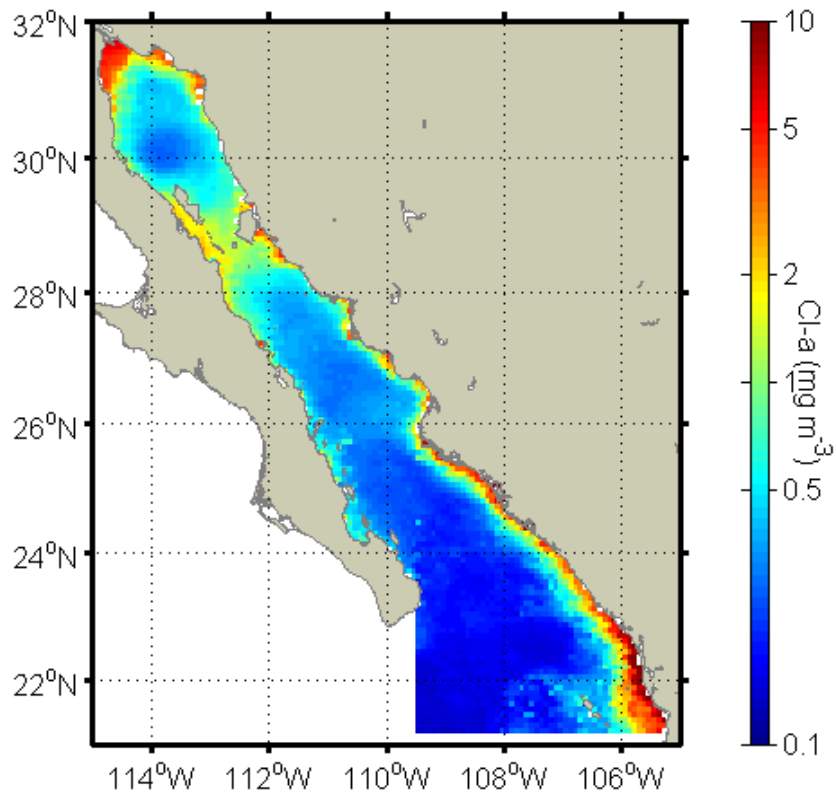


En agosto se mantuvieron valores bajos ( $\leq 0.5 \text{ mg m}^{-3}$ ) de clorofila acompañados de varios núcleos de mínimos relativos, los que parecen evidenciar una respuesta del fitoplancton al sistema de circulación superficial. En ambas costas del golfo se presentaron valores relativamente mayores a  $0.5 \text{ mg m}^{-3}$  y una delgada franja de  $2.0 \text{ mg m}^{-3}$  en el lado oriental. En las inmediaciones de las grandes islas se presentó un núcleo muy restringido con altos valores relativos de clorofila (entre  $2.0$  a  $5.0 \text{ mg m}^{-3}$ ). En el Golfo Norte de nuevo fue evidente el descenso en la concentración de clorofila, con un mínimo ( $\sim 0.2 \text{ mg m}^{-3}$ ) relativo en la parte central. En general se destacan las altas concentraciones ( $\sim 5.0 \text{ mg m}^{-3}$ ) en el Alto Golfo ( $32^\circ\text{N}$ ).



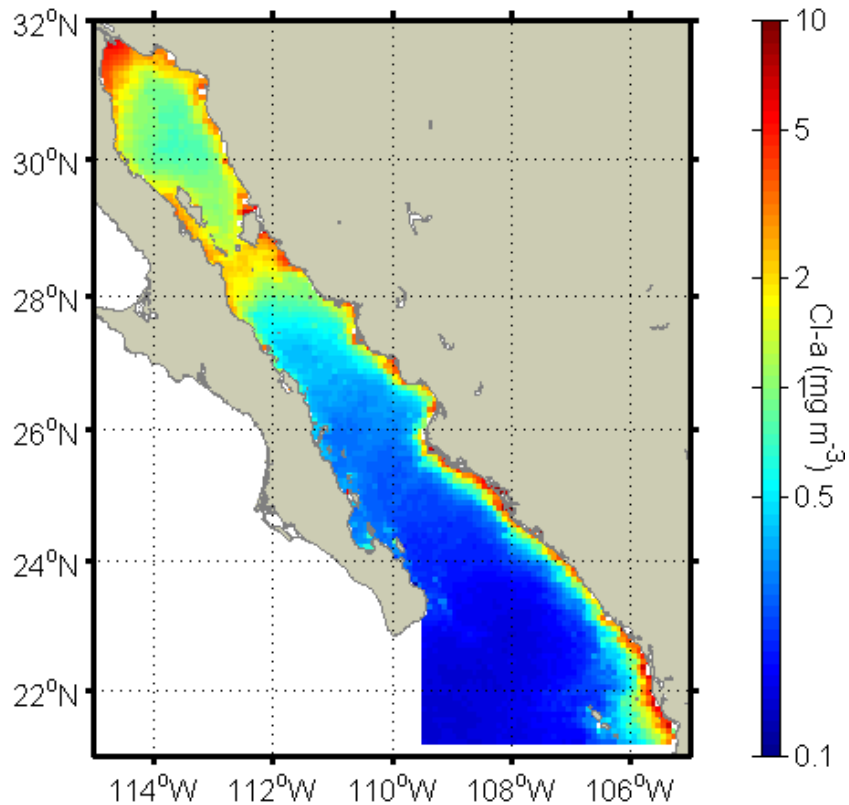
Durante septiembre la concentración de clorofila a lo largo del eje central del Golfo de California se mantuvo con valores bajos ( $\leq 0.3 \text{ mg m}^{-3}$ ). En ambas costas del golfo se presentaron concentraciones relativamente más altas ( $0.5 \text{ mg m}^{-3}$ ) y una delgada franja de  $2.0 \text{ mg m}^{-3}$  en la región oriental al sur de  $26^{\circ}\text{N}$ . En las inmediaciones de las grandes islas se presentaron altos valores relativos de clorofila ( $\sim 2.0 \text{ mg m}^{-3}$ ).

En el Golfo Norte se mostró un descenso de la concentración de clorofila, con un mínimo ( $\sim 0.2 \text{ mg m}^{-3}$ ) relativo en la parte central y valores de  $0.5 \text{ mg m}^{-3}$  en las costas. De nuevo se observaron altas concentraciones ( $\sim 5.0 \text{ mg m}^{-3}$ ) de clorofila en el Alto Golfo ( $32^{\circ}\text{N}$ ).

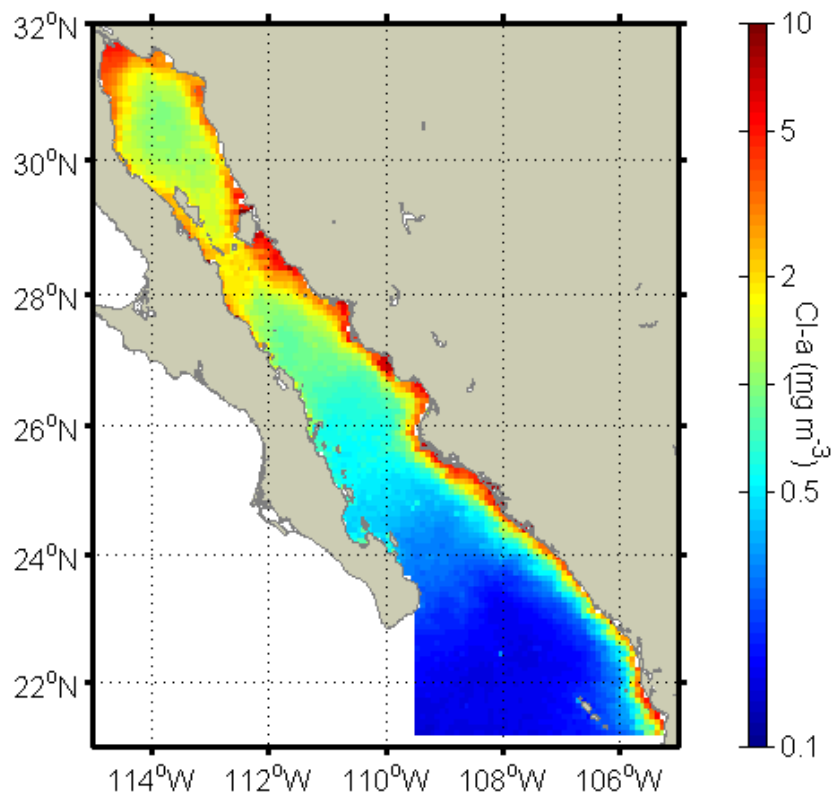


En octubre la concentración de clorofila mostró un incremento general respecto a los meses anteriores. La distribución de clorofila separó a dos grandes regiones cuyo límite estuvo alrededor de 28°N. Al norte de esta zona se presentaron altas concentraciones de clorofila ( $\sim 2.0 \text{ mg m}^{-3}$ ), mientras que hacia el sur ocurrieron bajas concentraciones ( $\leq 0.5 \text{ mg m}^{-3}$ ) que llegaron a valores mínimos de  $0.2 \text{ mg m}^{-3}$  en la entrada del golfo. En la región al sur de 28°N a lo largo de la costa oriental se presentó una delgada franja de  $\sim 3.0 \text{ mg m}^{-3}$ . En las inmediaciones de las grandes islas se observaron altos valores relativos de clorofila ( $\sim 2.0 \text{ mg m}^{-3}$ ). Mientras que en el Golfo Norte se presentó una estructura caracterizada por un mínimo relativo en la parte central, con valores de  $1.0 \text{ mg m}^{-3}$ . Destacó la continuación de las altas concentraciones ( $\sim 5.0 \text{ mg m}^{-3}$ ) en el Alto Golfo (32°N).



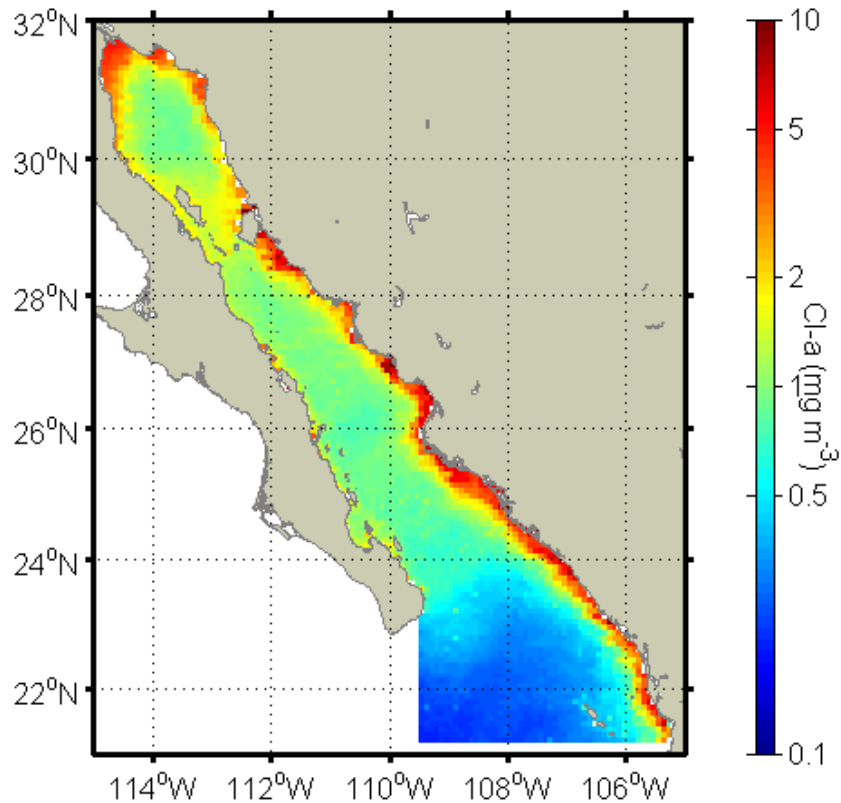


La imagen promedio de noviembre mostró que la concentración de clorofila en el Golfo de California mantuvo la tendencia al incremento general respecto a los meses anteriores. De nuevo se presentó una división en dos grandes regiones cuyo límite estuvo alrededor de los 28°N. Al norte de esta zona se presentaron altas concentraciones de clorofila (2.0 a 5.0 mg m<sup>-3</sup>), mientras que hacia el sur ocurrieron bajas concentraciones ( $\leq 1.0$  mg m<sup>-3</sup>) que llegaron a valores mínimos (0.5 mg m<sup>-3</sup>) en la entrada del golfo. Durante este mes reaparece a lo largo de toda la costa oriental una delgada franja con altas concentraciones de clorofila de  $\sim 3.0$  mg m<sup>-3</sup>. En las inmediaciones de las grandes islas se presentaron altos valores relativos de clorofila ( $\sim 2.0$  mg m<sup>-3</sup>). El Golfo Norte mantuvo la distribución de clorofila en forma de una estructura caracterizada por el mínimo relativo en la parte central con valores de 1.0 mg m<sup>-3</sup> y altos valores en las zonas costeras ( $\sim 2.0$  mg m<sup>-3</sup>).



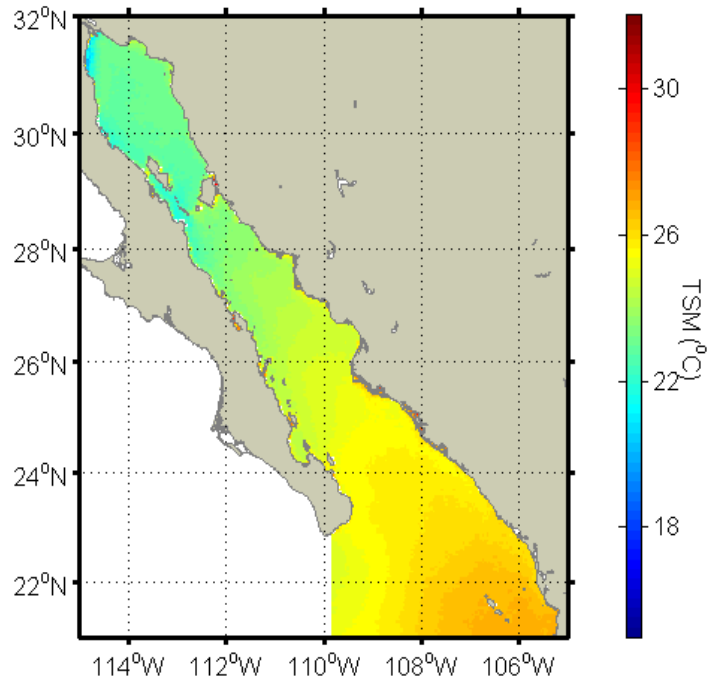
Durante diciembre la concentración de clorofila mantuvo la tendencia al incremento con concentraciones  $\geq 1.0 \text{ mg m}^{-3}$  en toda la región. Los mínimos valores de clorofila del orden de  $0.5 \text{ mg m}^{-3}$  se observaron en la boca del golfo. Los máximos se presentaron a lo largo de toda la costa oriental con altas concentraciones de  $\sim 3.0 \text{ mg m}^{-3}$ .

En las inmediaciones de las grandes islas se presentaron altos valores relativos de clorofila ( $\sim 2.0 \text{ mg m}^{-3}$ ). En el Golfo Norte se mantuvo la distribución de clorofila en forma de una estructura caracterizada por el mínimo relativo en la parte central, con valores de  $1.0 \text{ mg m}^{-3}$  y altos valores cerca de las costas ( $\sim 2.0 \text{ mg m}^{-3}$ ).

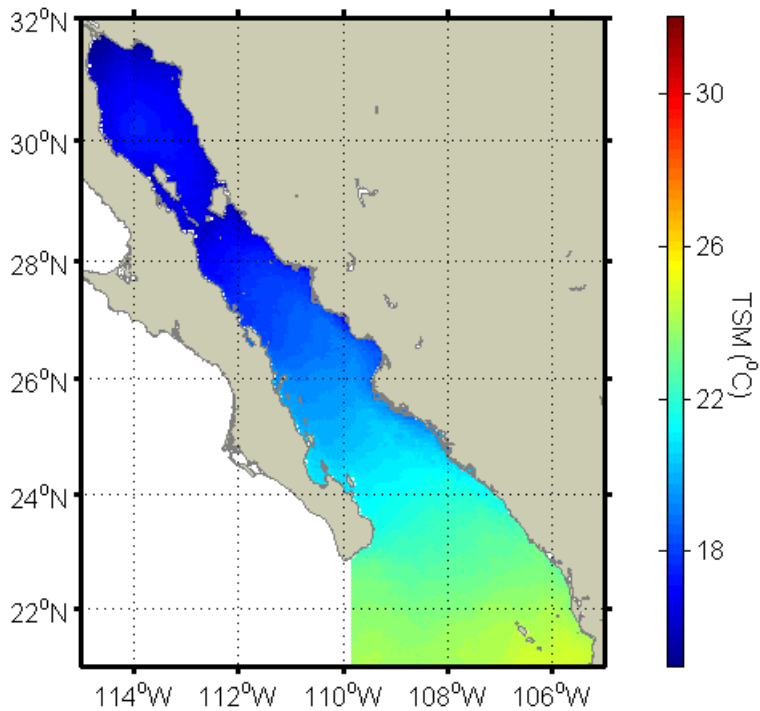


### TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL MAR: GOLFO DE CALIFORNIA

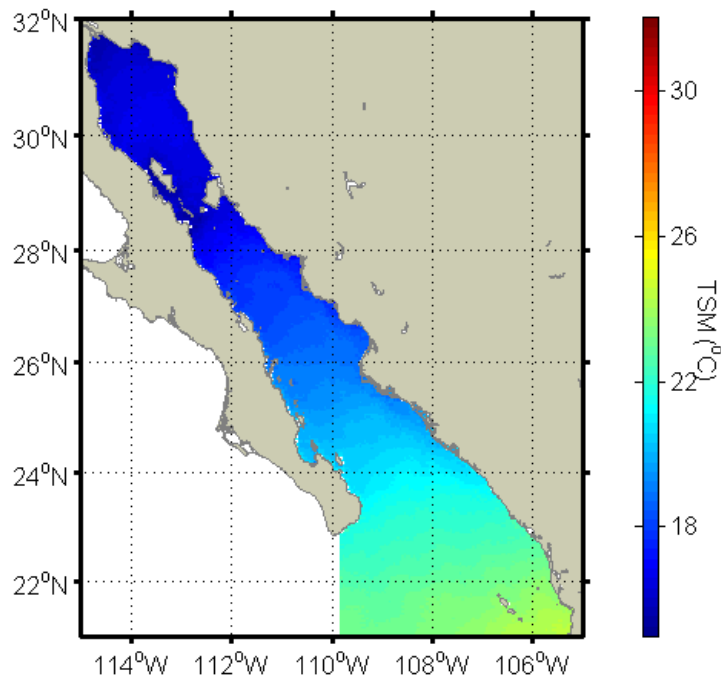
Para mostrar el promedio de largo periodo de la temperatura superficial del mar en el Golfo de California se presentan imágenes de los datos colectados por el sensor AVHRR de los años 1985 a 2009. La temperatura superficial presentó un patrón latitudinal descendente, con valores de 25°C desde la entrada hasta los 26°N y una disminución paulatina hasta ~23°C hacia la zona de las grandes islas, mientras que en el Alto Golfo la temperatura superficial fue de 23°C. Se puede apreciar en la región de las grandes islas en el margen occidental un área muy restringida en las inmediaciones de la Isla Ángel de la Guarda, con valores de 22°C al igual que en el extremo norteño del golfo.



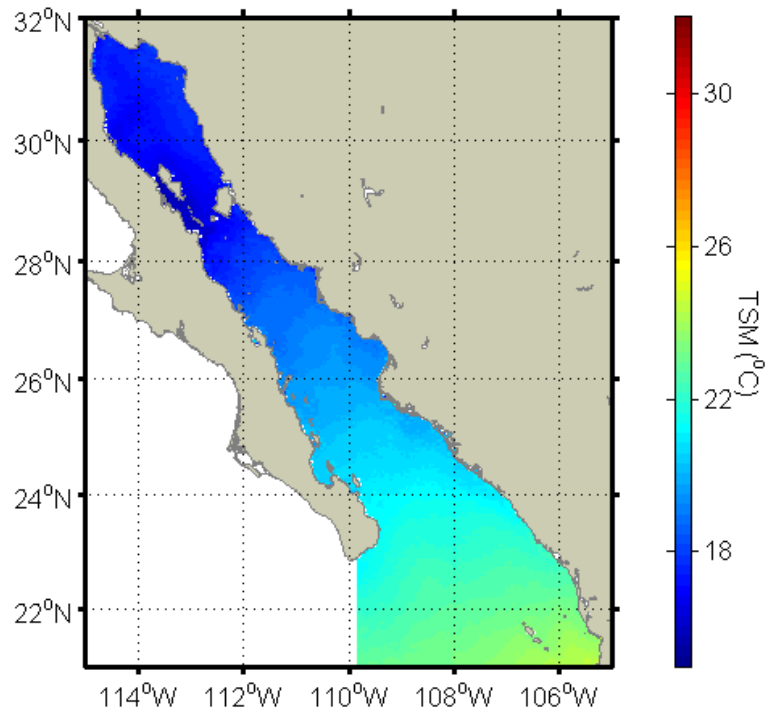
En enero la temperatura superficial promedio presentó un patrón latitudinal descendente desde la entrada hacia el Alto Golfo, con valores de 22°C que fueron disminuyendo gradualmente hasta ~17°C.



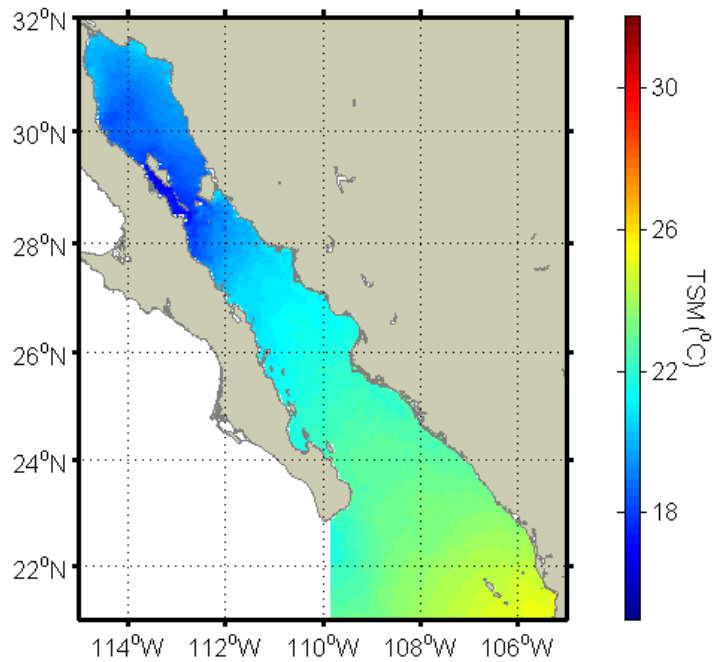
En la serie de tiempo climatológica, enero pertenece al periodo frío para esta región. Durante febrero continuó la tendencia hacia el descenso respecto a enero. Se mantuvo el mismo patrón latitudinal en la distribución, con los valores mayores en la entrada (~22°C) los cuales fueron descendiendo hacia el interior del golfo (14°C). Febrero pertenece al período frío para esta región.



Durante marzo, la temperatura superficial promedio presentó un cambio en la tendencia observada en febrero. Durante este mes se inició el ascenso de la temperatura en el interior del golfo, lo cual se hizo notorio con el ingreso de agua de 20°C que llegó a la latitud de 26°N. Se mantuvo el mismo patrón latitudinal en la distribución de la temperatura superficial con los valores más altos en la entrada (~22°C), los que fueron descendiendo a medida que ingresó hacia el interior del golfo (16°C). Dentro de la serie de tiempo marzo sigue dentro del período frío.

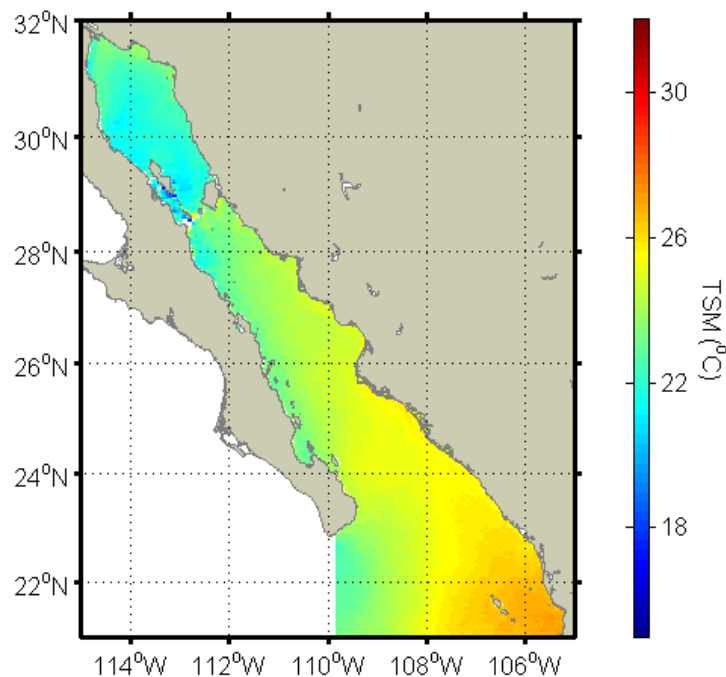


En abril la temperatura superficial promedio tuvo un marcado incremento ( $\sim 4^{\circ}\text{C}$ ) respecto al período de enero a marzo.



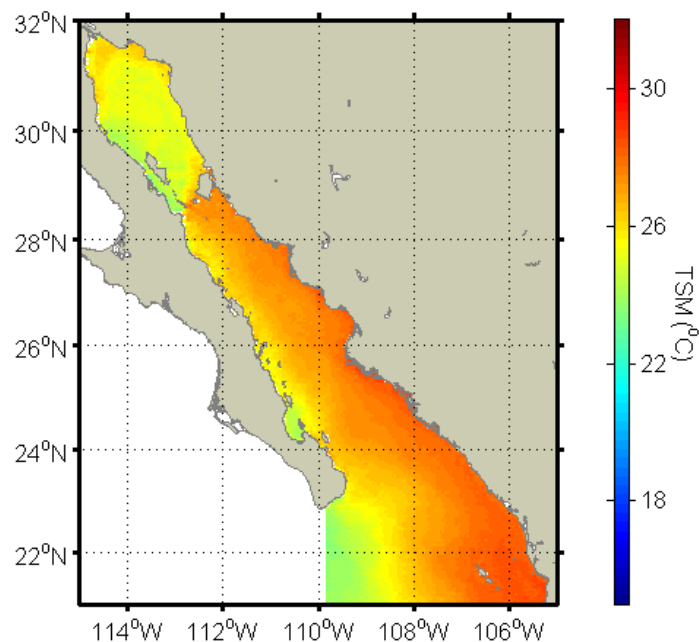
Durante este mes se observó el ascenso en la temperatura del interior del golfo, lo cual se asoció con el ingreso de agua de 22°C que alcanzó 27°N. Se mantuvo el mismo patrón latitudinal en la distribución de la temperatura superficial con los valores más altos en la entrada (~24°C), los cuales presentaron un descenso a medida que ingresó hacia el interior del golfo (18°C). Con respecto a la climatología, abril marcó el inicio del ascenso en la temperatura superficial del golfo.

En mayo, la temperatura superficial promedio mantuvo la tendencia al incremento observado en abril. En este mes se observó el ingreso de agua con alta temperatura (25°C) que alcanzó a observarse hasta la zona de las grandes islas. En general, el patrón latitudinal en la distribución de temperatura fue similar a los meses anteriores, con altos valores (26°C) en la boca del golfo y bajos relativos (22°C) en la zona del Alto Golfo. Además se presentó una diferencia de temperatura entre ambas costas al sur de la zona de las grandes islas.



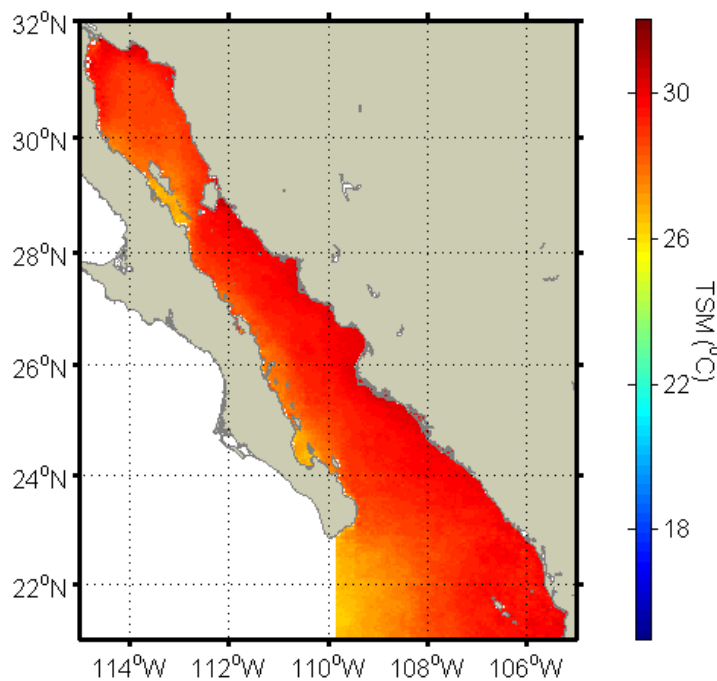
Se observaron patrones de agua con temperatura más alta (24 a 26°C) en la costa Este con respecto a la costa Oeste (22 a 24°C), lo cual tiene una estrecha relación con la

circulación superficial media dentro del golfo, debido a que el agua más cálida se encontró en la costa Este y se observó agua menos cálida en la costa Oeste. En la serie de tiempo climatológica, mayo representó la transición hacia el período cálido del golfo. Junio tuvo un marcado incremento respecto a la temperatura superficial observada en mayo. Durante este mes se observó el ingreso de agua con alta temperatura, lo cual se evidenció con la presencia de temperatura de 28°C, que se observó cercana a las grandes islas. El patrón en la distribución de temperatura presentó altos valores (28°C) desde la boca del golfo hasta la zona de las grandes islas, con bajos valores hacia el norte de esta zona (26°C). Además, se presentó también una diferencia de la temperatura entre ambas costas al sur de las grandes islas. Se observaron temperaturas mayores (~28°C) en la costa Este respecto a la costa Oeste (26°C), lo cual tiene una estrecha relación con el patrón de circulación superficial dentro del golfo, debido a que generalmente el agua más cálida ingresa por la costa Este ya que además se detectó agua menos cálida en la costa Oeste. Dentro de la serie de tiempo climatológica, junio es parte de la transición hacia el período cálido en el Golfo de California.

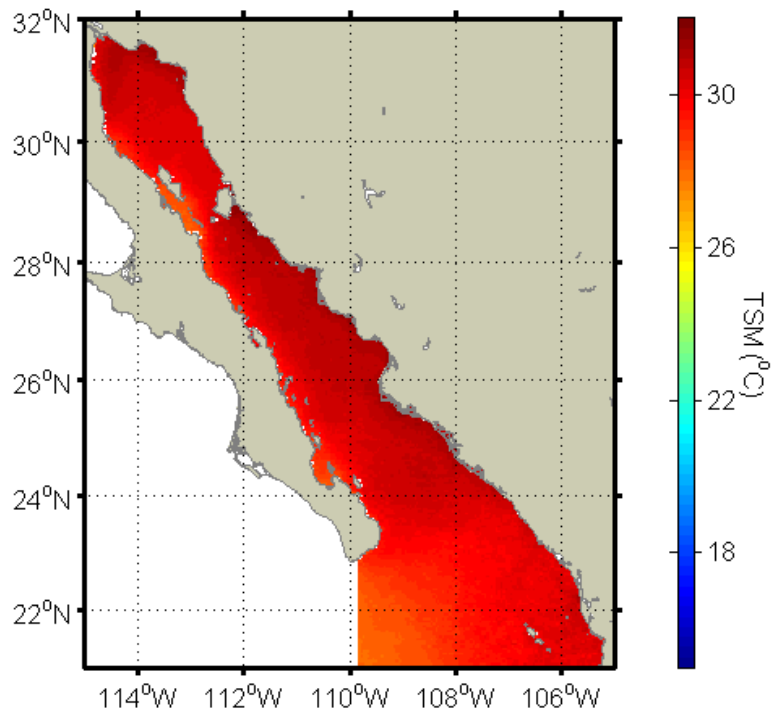




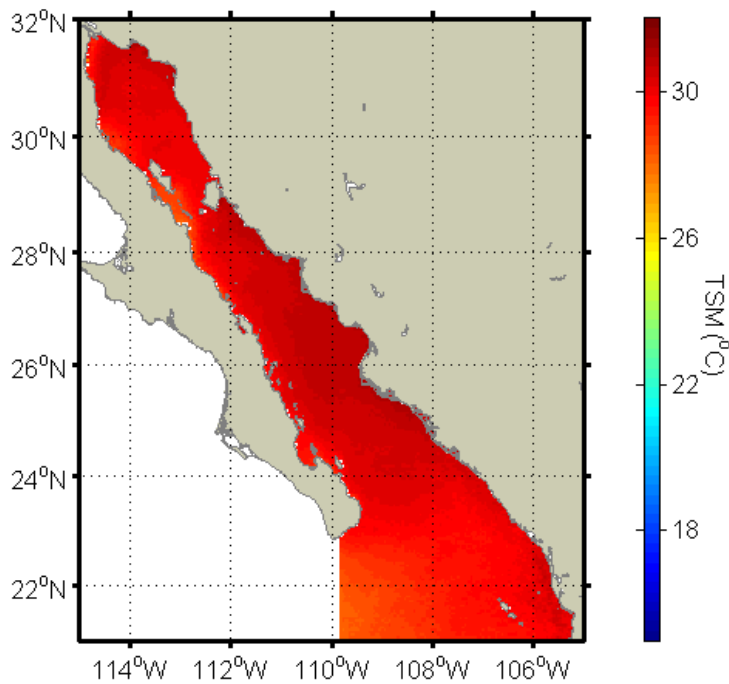
En julio la temperatura superficial promedio presentó un marcado incremento respecto a la temperatura observada en junio. Durante este mes se observó la presencia de agua con alta temperatura ( $28^{\circ}\text{C}$ ) en todo el golfo. A pesar de la distribución homogénea en los altos valores e temperatura superficial, se alcanzó a distinguir que en la franja costera del oeste se presenta una franja con temperatura menor ( $26^{\circ}\text{C}$ ). Dentro de la serie de tiempo julio forma parte del periodo cálido en la temperatura superficial del golfo.



Durante agosto, la temperatura superficial promedio tuvo un incremento con respecto a la observada en julio. En este mes se observó la presencia de agua con mayor temperatura ( $\sim 31^{\circ}\text{C}$ ) en todo el golfo. Fue posible diferenciar en la costa Oeste dos zonas con temperatura menor ( $28^{\circ}\text{C}$ ). Una ubicada en la Bahía de La Paz y la otra en las inmediaciones de la Isla Ángel de la Guarda. Agosto fue parte del periodo cálido en la temperatura superficial, siendo el mes con la mayor temperatura promedio en la serie de imágenes climatológicas.

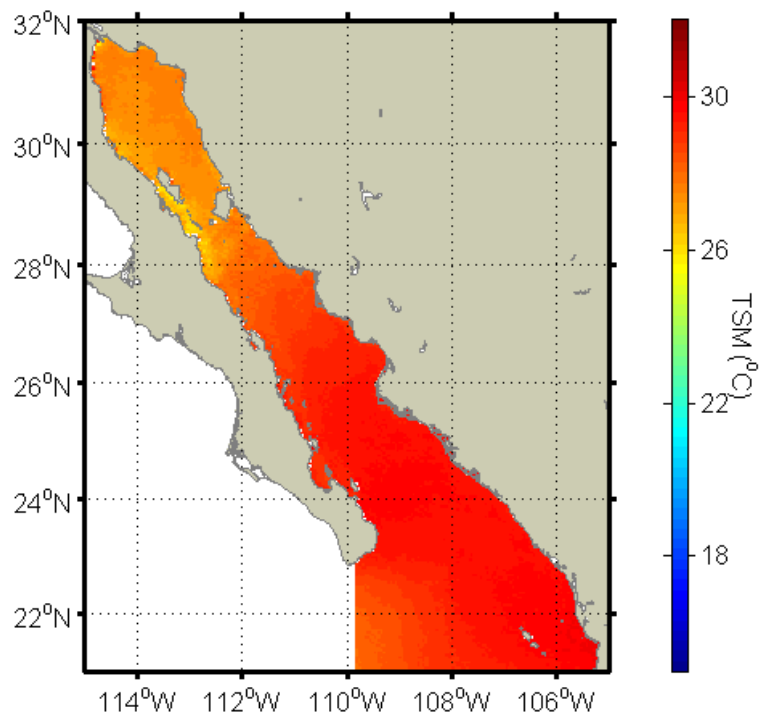


En septiembre la temperatura superficial promedio presentó un ligero descenso respecto a la temperatura observada en agosto.



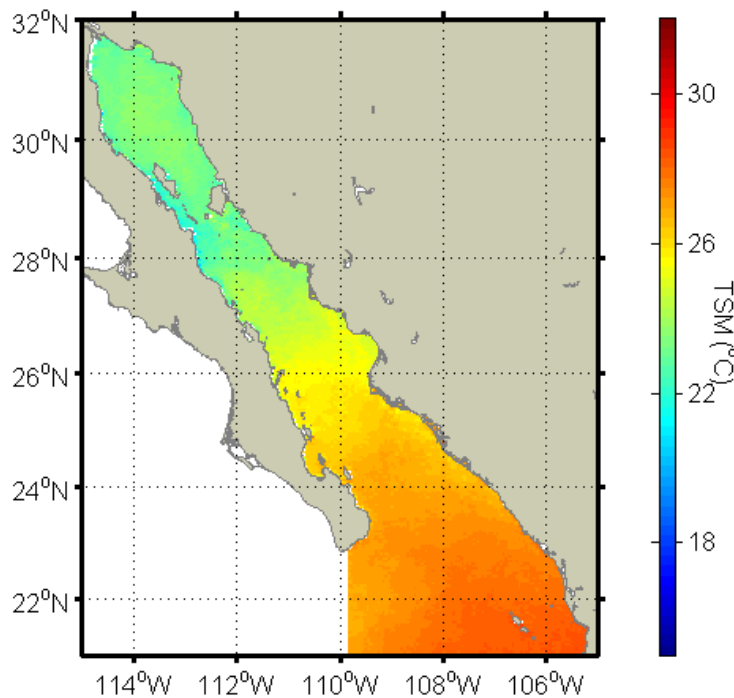
Durante este mes se observó la presencia de agua con alta temperatura ( $\sim 30^{\circ}\text{C}$ ) en todo el golfo. A pesar de la distribución homogénea de los altos valores de temperatura superficial, se alcanzó a distinguir en la costa Oeste una zona con temperatura menor ( $\sim 28^{\circ}\text{C}$ ) en las inmediaciones de la Isla Ángel de la Guarda. Septiembre estuvo dentro del periodo cálido, siendo uno de los meses con promedio alto en la temperatura superficial.

Octubre tuvo un descenso en la temperatura superficial promedio, con un descenso respecto a la temperatura de septiembre. Durante este mes ocurrió una diferenciación en la temperatura superficial desde la zona de las grandes islas hasta el Alto Golfo, con temperatura entre  $26$  a  $28^{\circ}\text{C}$  al sur de la zona de las grandes islas y de  $28$  a  $30^{\circ}\text{C}$  en la boca del golfo.

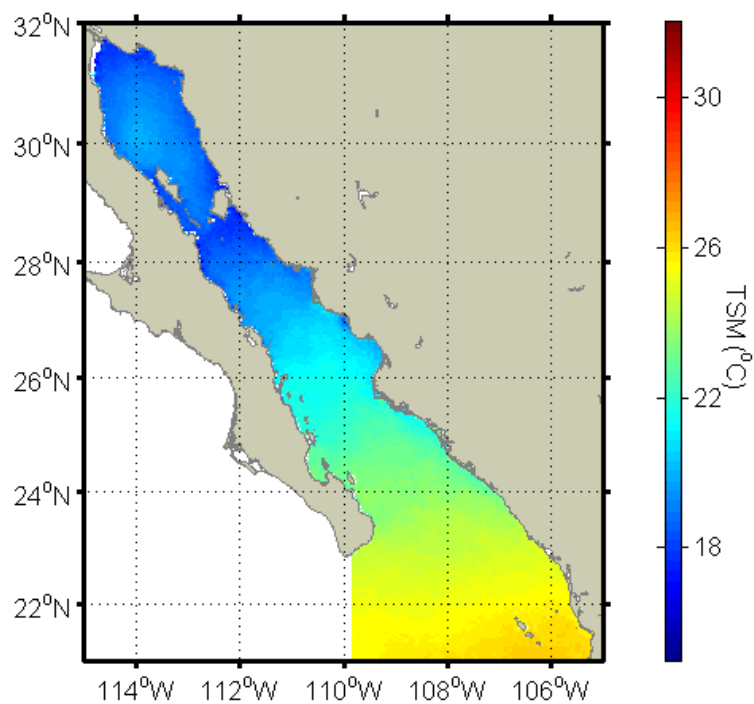


Nuevamente se alcanzó a distinguir que en la costa Oeste se presentó una zona con temperatura menor ( $\sim 26^{\circ}\text{C}$ ), la cual estuvo ubicada en las inmediaciones de la Isla Ángel de la Guarda. Octubre continúa formando parte del periodo cálido, marcando el inicio en la disminución de temperatura dentro de la serie de imágenes de la temperatura superficial del golfo.

Durante noviembre, la temperatura superficial promedio presentó un marcado descenso respecto a la observada en octubre. Se observó un patrón latitudinal en la distribución de la temperatura superficial, con los valores más altos en la entrada del golfo de  $28^{\circ}\text{C}$ , que descendió a  $24^{\circ}\text{C}$  desde  $28^{\circ}\text{N}$  hasta el Alto Golfo. Se presentaron bajas temperaturas relativas ( $22^{\circ}\text{C}$ ) en el Canal de Ballenas entre la Península de Baja California y la Isla Ángel de la Guarda. Noviembre representó la transición hacia la etapa fría, continuando con la disminución de la temperatura superficial en el golfo.



En diciembre, la temperatura superficial promedio presentó un descenso respecto a noviembre. Reaparece el patrón latitudinal en la distribución de la temperatura superficial, con los valores más altos en la entrada del golfo (~24°C) los cuales fueron descendiendo a medida que ingresó hacia el interior, hasta 18°C en el Alto Golfo. Se destaca la presencia de un máximo en el centro del Golfo Norte, con temperatura de 22°C. Diciembre es característico del periodo frío para esta región.



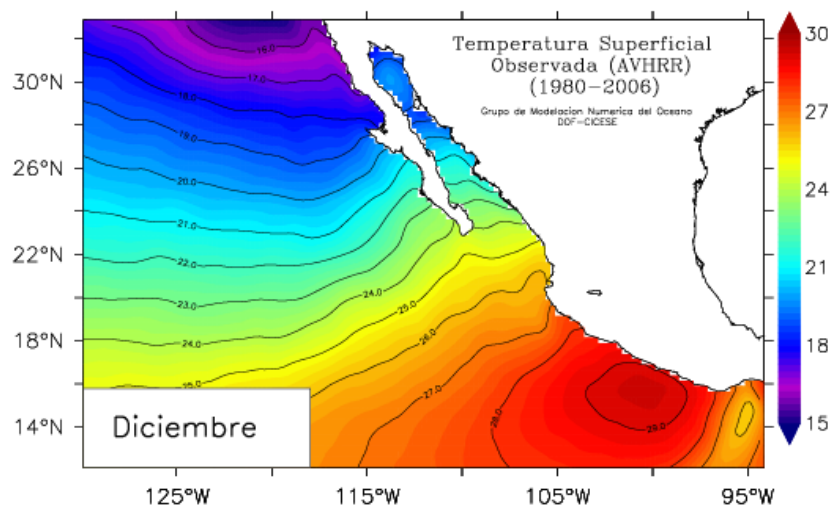
## RESULTADOS DE OBSERVACIONES

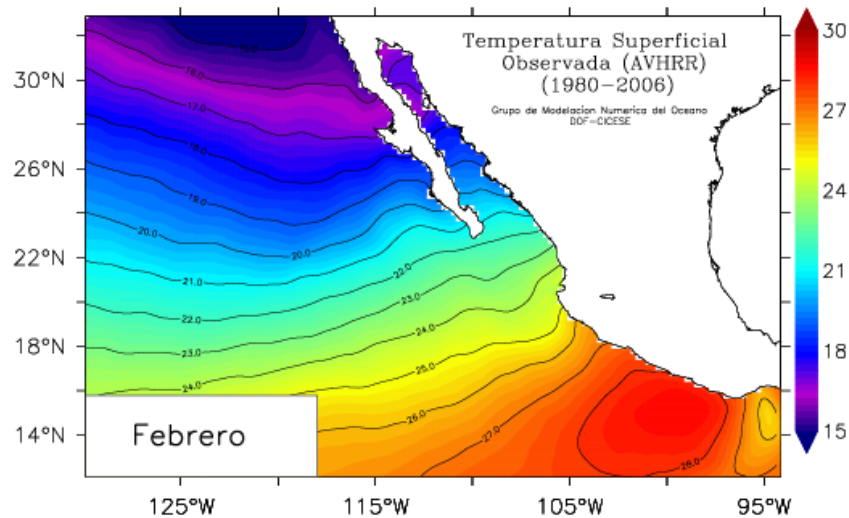
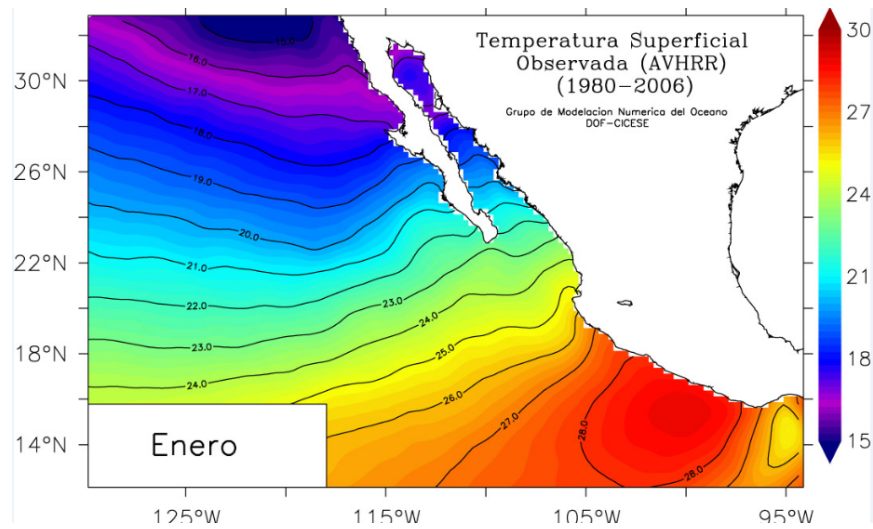
Las imágenes de temperatura superficial del mar del Pacífico Mexicano provienen de la base de datos satelitales Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR). Los datos se interpolaron objetivamente a una resolución espacial de 0.25 grados y temporal de un día (Reynolds *et al.*, 2007).

## Temperatura superficial del Océano Pacífico Mexicano (1980-2006)

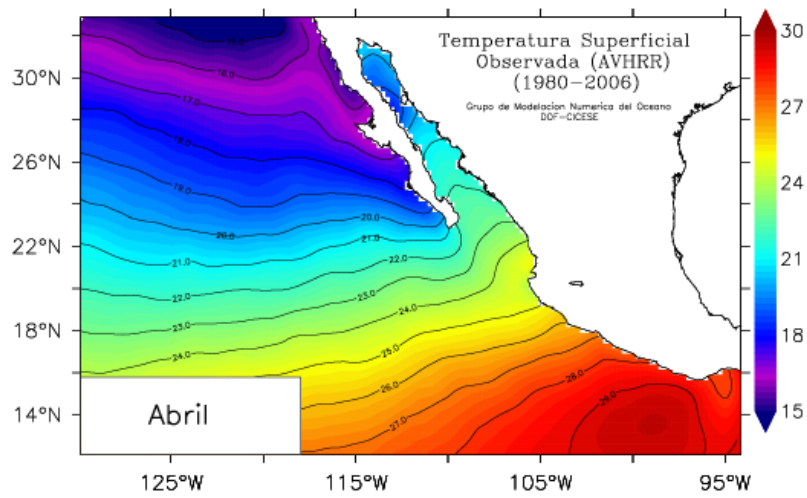
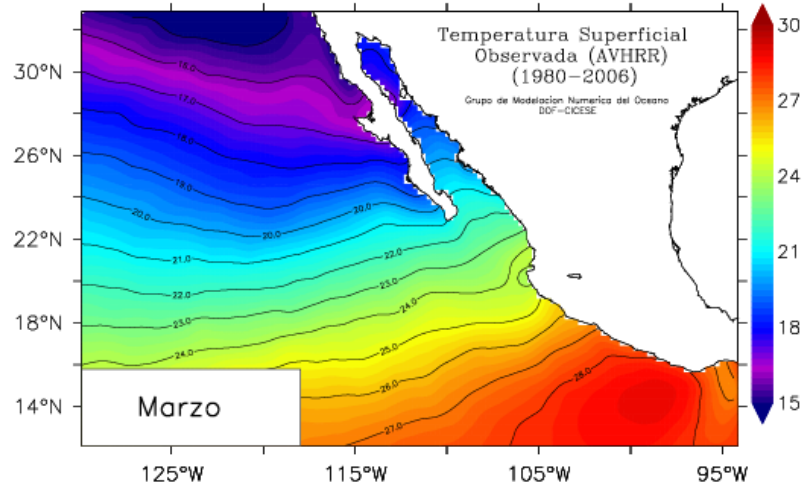
Las imágenes son promedios climatológicos mensuales de observaciones de la temperatura superficial del mar (TSM) provenientes del AVHRR, considerando de 1980 a 2006.

Durante diciembre, enero y febrero se observó que la TSM frente a las costas de Baja California fluctuó entre los 15 y 21°C, mientras que para el Golfo de California se registraron TSM del orden del 15.5 a 23°C. Para la zona entre Cabo Corrientes y el Golfo de Tehuantepec la TSM varió de 26 a 29°C, mientras que en el Golfo de Tehuantepec se observó un mínimo local de ~25°C.

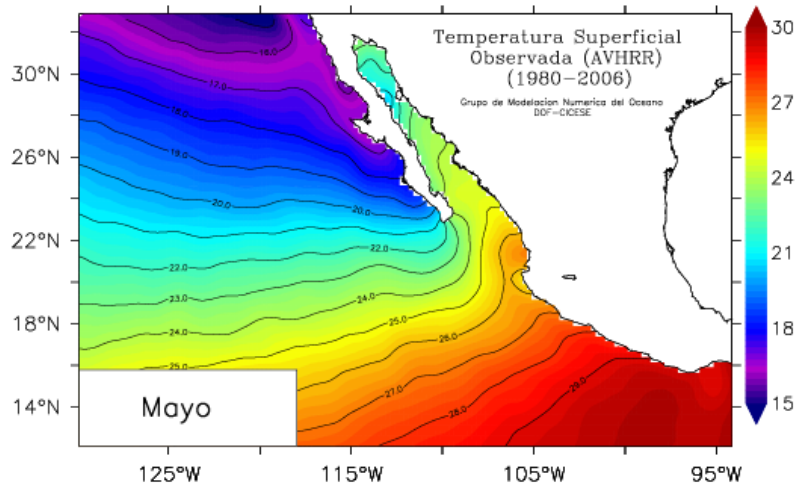




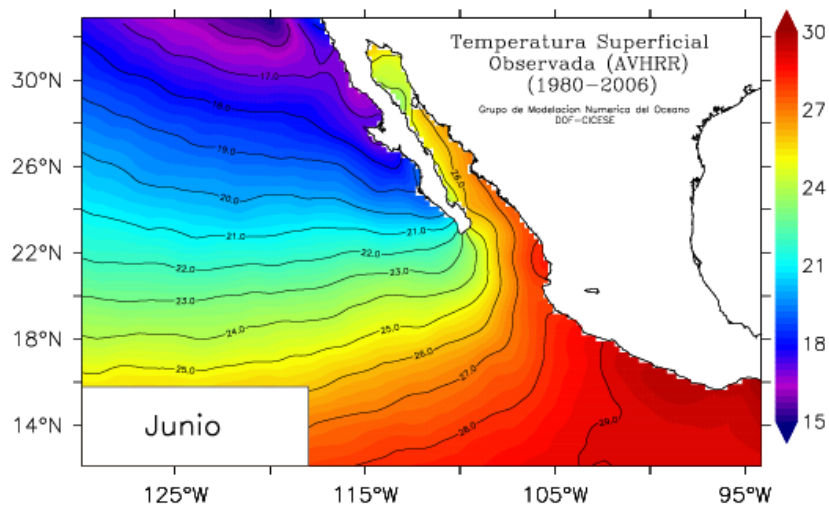
Para marzo, abril y mayo se observó que en el Golfo de California la TSM osciló entre los 20 y 24°C a diferencia de la zona del Océano Pacífico frente a Baja California donde la TSM se mantuvo entre 15 y 20°C. En la zona ubicada entre Cabo Corrientes y el Golfo de Tehuantepec durante el mes de abril aparece una zona con temperatura mayor a 28.5°C, la cual es conocida como la "alberca de agua cálida del Pacífico Tropical Oriental".

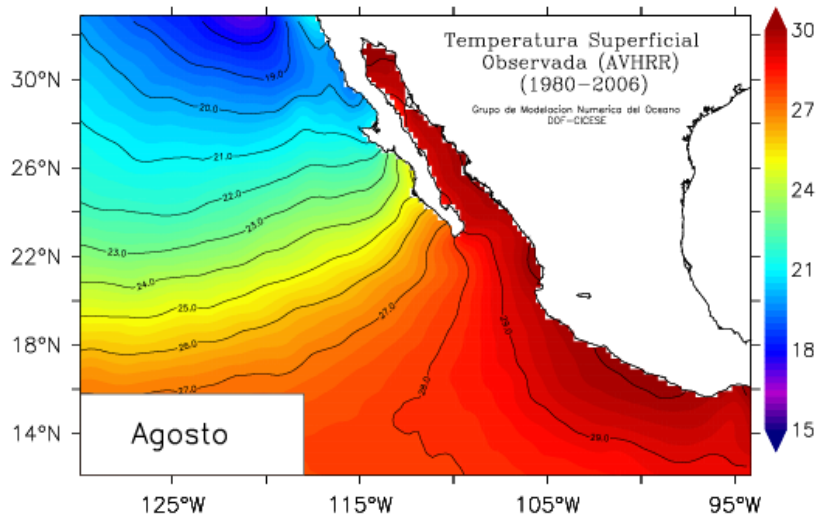
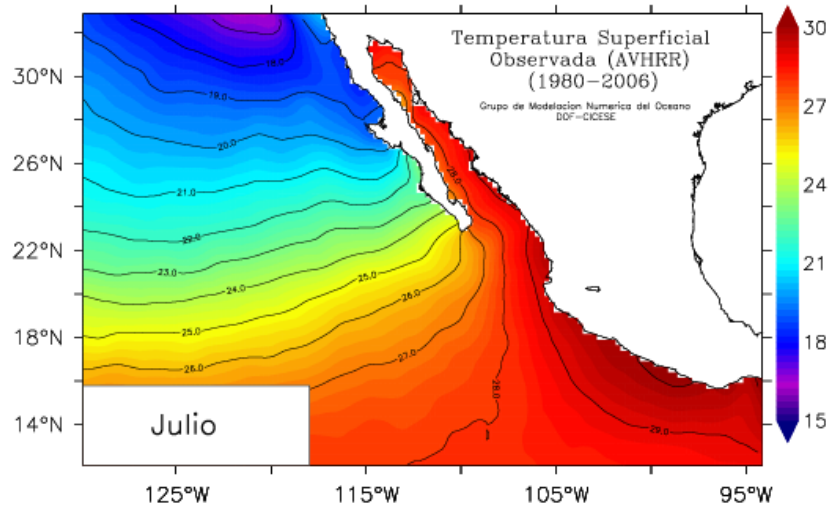




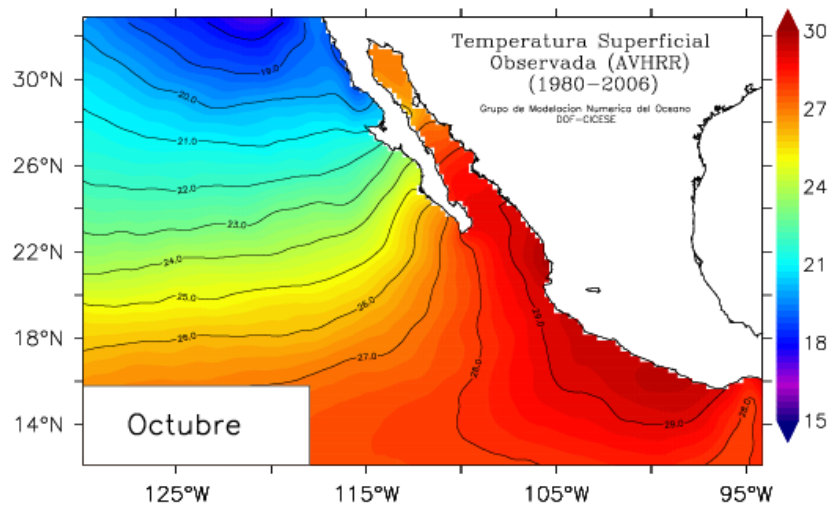
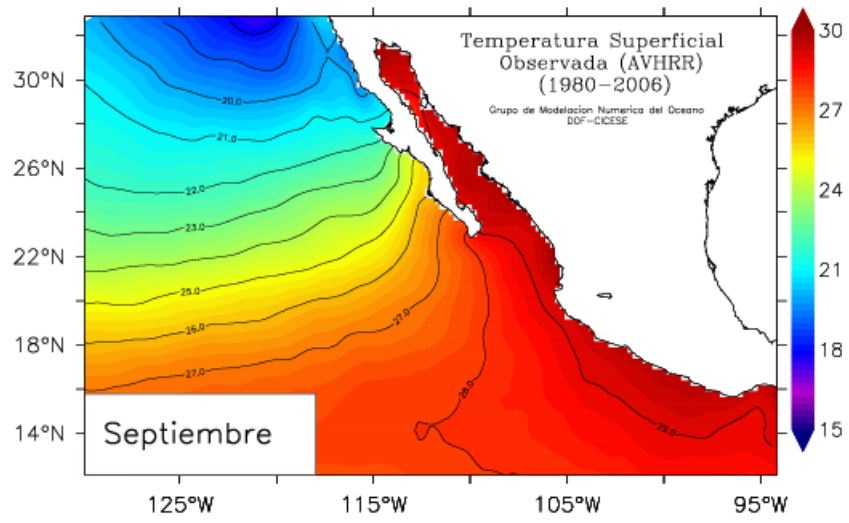


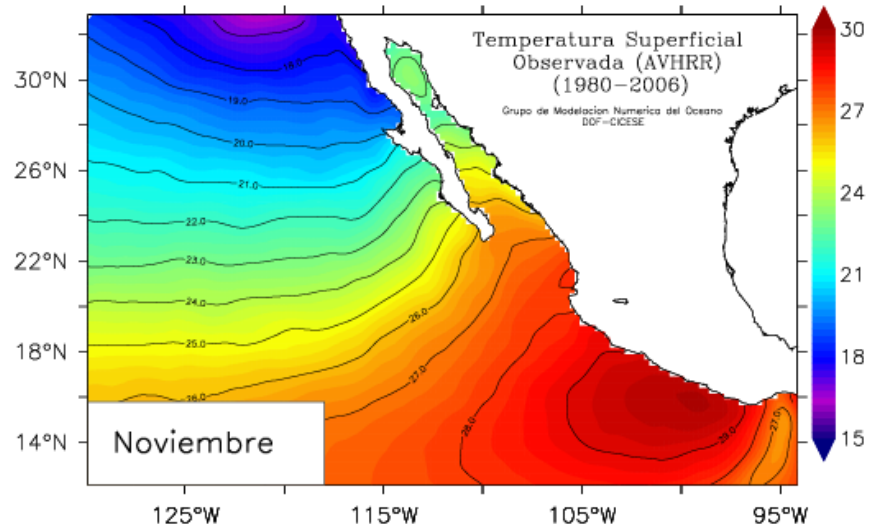
En junio, julio y agosto se observó un importante aumento en la TSM para toda la región del Pacífico Mexicano. La alberca de agua cálida se desplazó hacia el norte alcanzando el Golfo de California. En gran parte de las costas de la región del Pacífico Mexicano la TSM fue mayor a 28.5°C, excepto frente a las costas de Baja California.





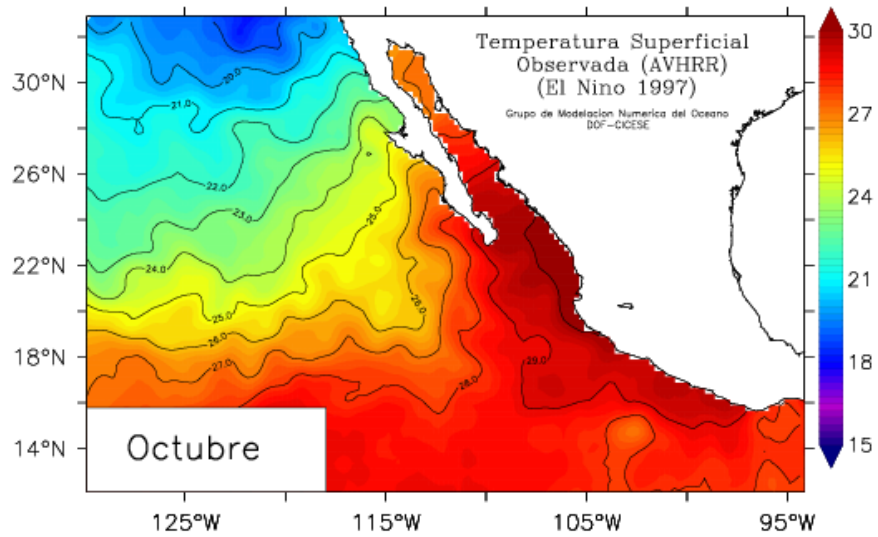
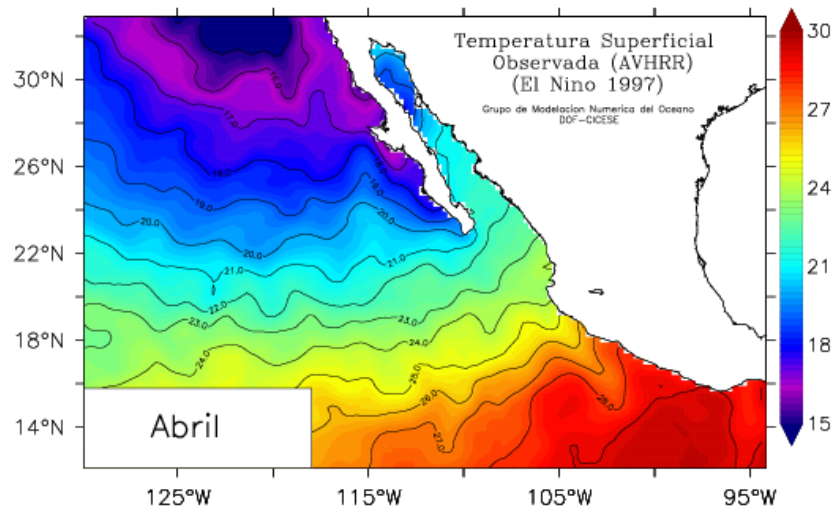
En los meses de septiembre, octubre y noviembre se observó un ligero descenso en la TSM en toda la región. La isoterma de 28.5°C comenzó a desplazarse hacia el sur hasta 18°N y disminuyó la TSM en el Golfo de California.





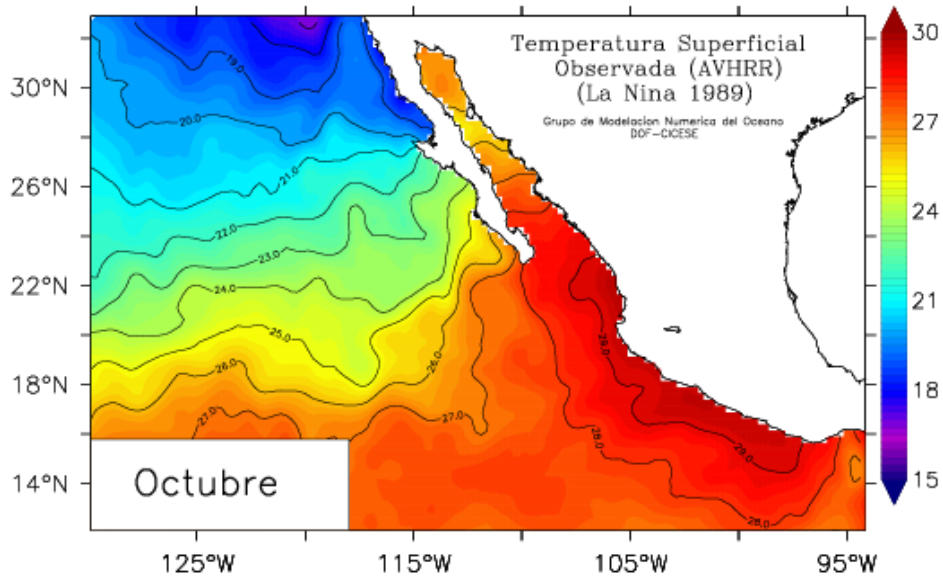
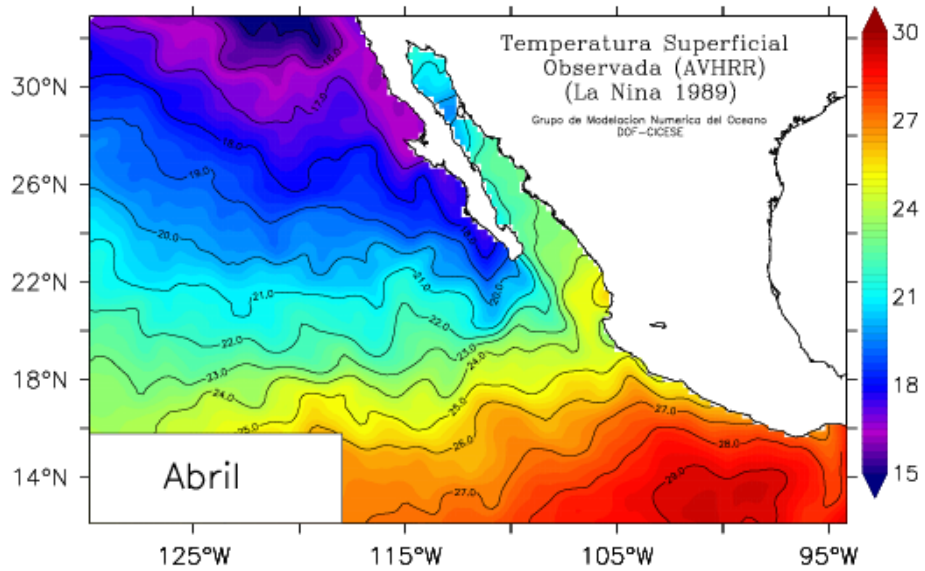
**Temperatura superficial en el Océano Pacífico Mexicano durante eventos El Niño 1997 y La Niña 1989.**

Estas imágenes muestran la climatología mensual del año 1997, las cuales representan un típico año El Niño. A grandes rasgos se puede observar un considerable aumento en la TSM en toda la región. Dicho aumento fue más pronunciado durante los meses de junio, julio, agosto y septiembre, en el Golfo de California y la zona entre Cabo Corrientes y Golfo de Tehuantepec, en donde la TSM alcanzó valores mayores a 30°C.



Además, frente a las costas de Baja California la TSM también aumentó durante estos meses a valores entre 18 y 26°C.

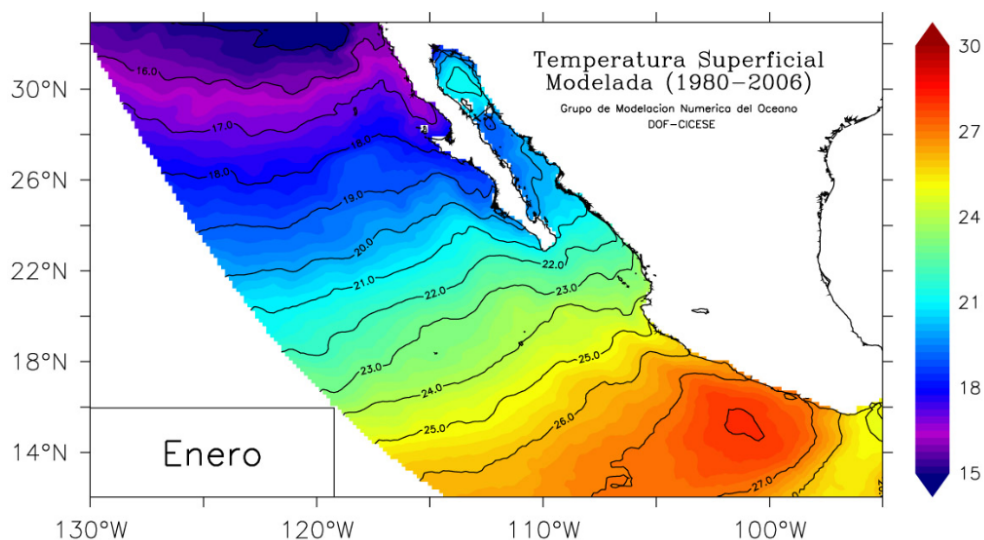
Se seleccionaron los datos de AVHRR de 1989, por representar las condiciones típicas de un año La Niña en el Pacífico Mexicano.



## MODELACION NUMERICA

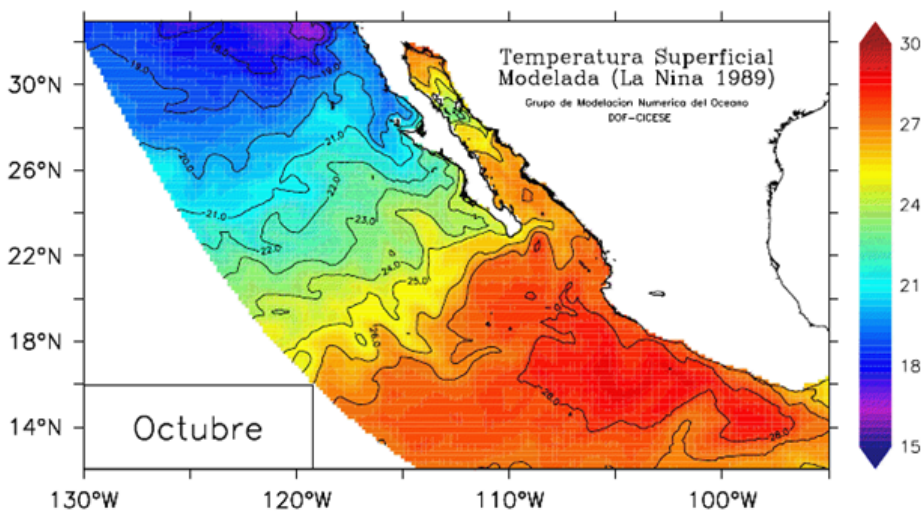
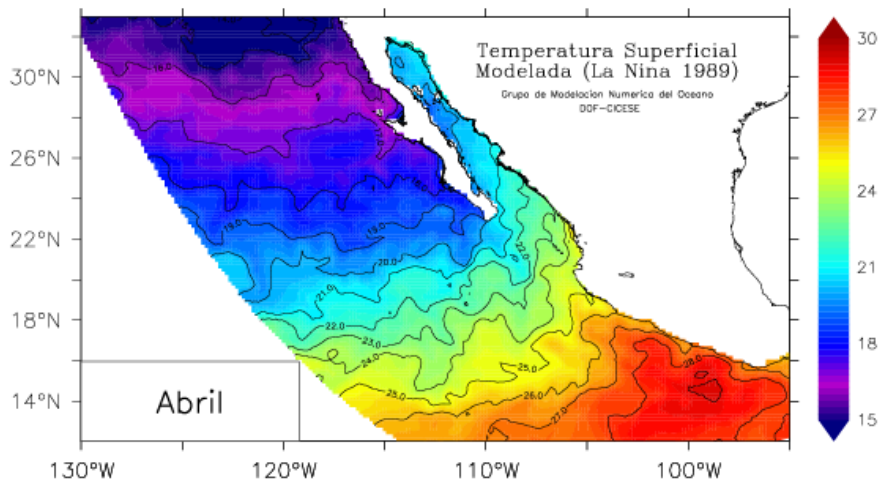
### Temperatura superficial del Océano Pacífico Mexicano (1980-2006)

La información que se presenta corresponde a promedios climatológicos de la temperatura superficial del mar (TSM) para el periodo 1980-2006, obtenida a partir de la implementación del modelo ROMS para la región de interés. Comparando con los promedios derivados de observaciones satelitales tipo AVHRR, mostradas en la sección de observaciones, es claro que el modelo reproduce la TSM observada, con la ventaja de contar con mejor definición de las regiones costeras gracias a una mayor resolución espacial. Esta región del Océano Pacífico mostró variaciones temporales y patrones espaciales de gran interés. Resalta la presencia de una porción de la denominada “alberca de agua cálida del Pacífico Tropical”. Esta determina la distribución espacial de TSM entre 12°N y 18°N, principalmente en el periodo de abril a agosto. La variación latitudinal de la TSM entre 20°N y 32°N fue más marcada fuera del Golfo de California. En general, la distribución de TSM fue latitudinalmente más homogénea dentro del golfo, con valores mínimos en la región de las grandes islas, entre 28°N y 30°N.



### Temperatura superficial del Océano Pacífico Mexicano (1989)

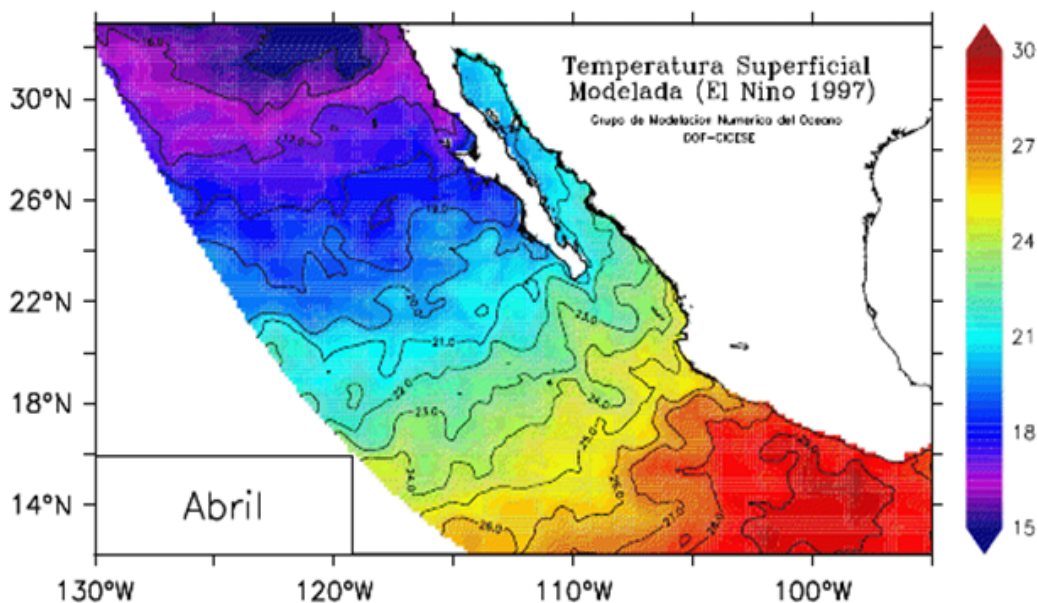
Este año se caracterizó por la presencia del fenómeno La Niña, el cual generó temperaturas superficiales menores a lo usual. En la parte norte, los meses de febrero, marzo, y abril mostraron un desplazamiento hacia el sur de las isotermas de 16°C, 17°C y 18°C, con la presencia de agua más fría a lo usual frente a las costas de Baja California. Dentro del Golfo de California, el efecto térmico de La Niña fue más evidente en la boca, sobre todo en verano. Al sur, la extensión de agua por arriba de 29°C fue claramente limitada por este fenómeno, especialmente a finales de mayo a septiembre.

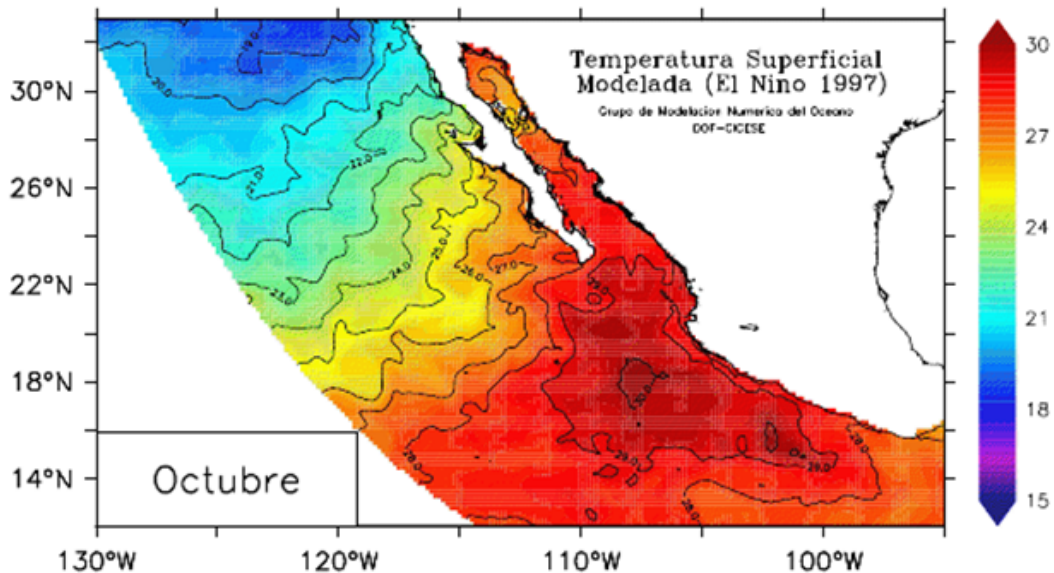




## Temperatura superficial del Océano Pacífico Mexicano (1997)

Este año se caracterizó por la manifestación de una de las fases positivas más intensa del fenómeno termorregulador de gran escala denominado ENSO (El Niño-South Oscillation). Esta manifestación generó un aumento considerable en la temperatura superficial del mar (TSM). Dentro del Golfo de California, el efecto de este fenómeno fue más intenso en el periodo julio-noviembre, y sobre todo en el sur y boca del golfo con valores de TSM mayores de  $30^{\circ}\text{C}$ . En agosto, resalta la gran extensión de agua con temperatura por arriba de  $29^{\circ}\text{C}$  en todo el dominio. En los meses de octubre, noviembre y diciembre las costas de Baja California, entre Punta Eugenia y Bahía Magdalena, mostraron temperaturas hasta  $3^{\circ}\text{C}$  por arriba de lo usual, y resalta la ausencia de la isoterma de  $16^{\circ}\text{C}$  en los meses de noviembre y diciembre.



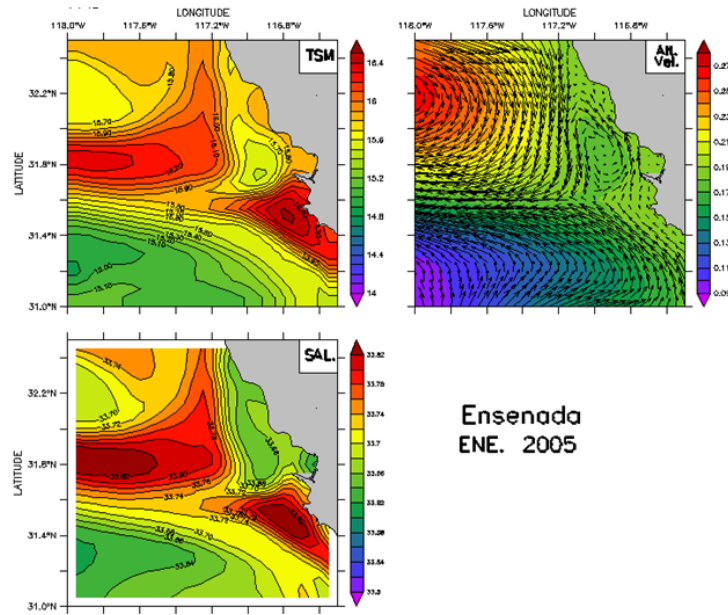


## ESCENARIOS AMBIENTALES DE LOS MARES MEXICANOS

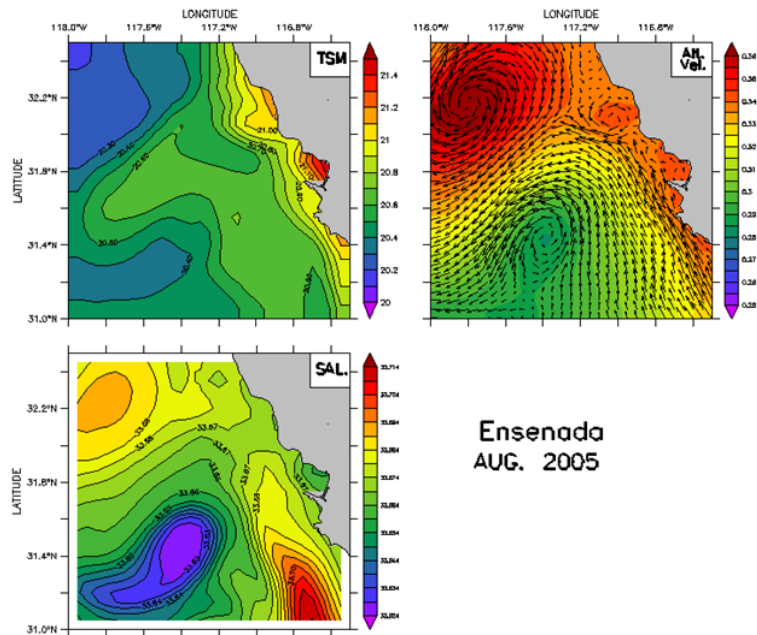
### Región frente a Ensenada, Baja California

A continuación se muestra la climatología de la temperatura, salinidad, altura del mar y corrientes modeladas para la zona cercana a Ensenada, utilizando 28 años de datos.

La forma de la corriente en esta zona estuvo caracterizada por un persistente flujo hacia el Este alrededor de los 32°N, que se ramificó al acercarse a la costa. La mayor parte de esta corriente fluyó hacia el sureste, siguiendo la dirección general de la costa, en lo que se podría considerar una continuación de la Corriente de California. El brazo norte de esta bifurcación fluyó hacia el norte siguiendo la costa en dirección noroeste.



Otra característica importante de la circulación es la presencia de una contracorriente costera también persistente durante todo el año pero que varía en intensidad siendo más débil en diciembre-febrero y más intensa en los meses de abril a julio.



Las isolíneas de temperatura y salinidad fuera de la costa tuvieron una distribución mayormente Este-Oeste en diciembre y enero, representando un gradiente fuerte hacia el norte, caracterizada por una condición más oceánica. Mientras que en julio y agosto la distribución de la temperatura fue mayormente Norte-Sur, con un gradiente hacia el Este.

Dos fenómenos parecen determinar esta distribución: la aparición de una lengüeta de agua más fría y menos salada entrando a la zona por la región noroeste durante marzo-abril, al parecer asociada al flujo de agua de la Corriente de California predominante en la región. El otro proceso fue un comportamiento asociado a la dinámica costera, donde la contra-corriente inyecta agua más cálida y salina desde sur hacia la zona costera.

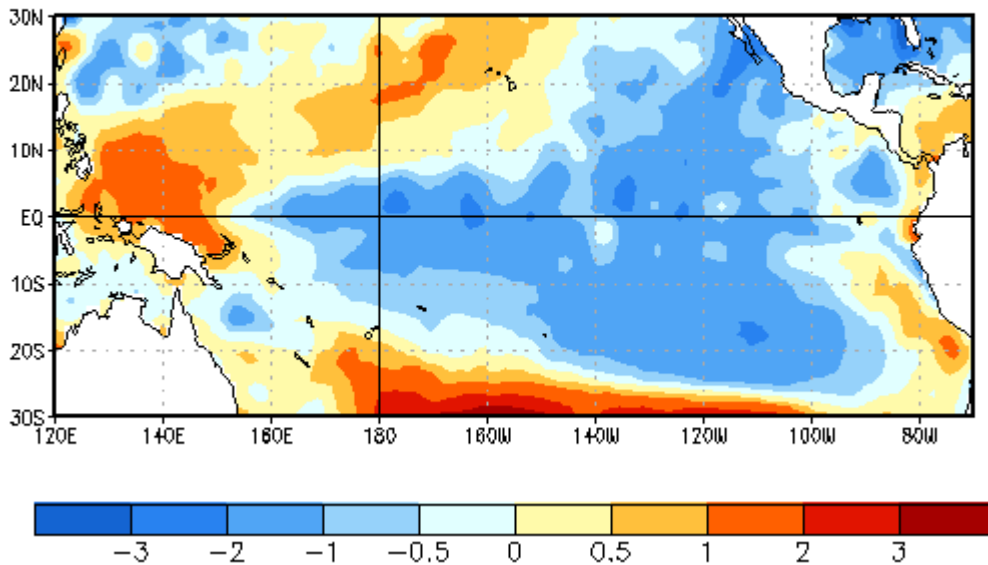
### **Breve sinopsis del ciclo El Niño-La Niña frente a Baja California**

A manera de ejemplo se presenta una breve sinopsis sobre las condiciones del ENSO (El Niño-Oscilación del Sur) en la región del Pacífico mexicano, con un mayor énfasis en algunos resultados recientes obtenidos para la región de la Corriente de California y frente a la Península de Baja California.

Las condiciones oceanográficas de aguas mayormente frías como resultado del fenómeno La Niña persistieron durante el mes de enero de 2011. Esto se reflejó mayormente en las bajas temperaturas de la superficie del mar (TSM), las cuales estuvieron muy por debajo del promedio en la mayor parte del Océano Pacífico.

## SST Anomalies (°C)

02 FEB 2011



Una gran porción de los índices de El Niño estuvieron entre el promedio y entre uno a un grado y medio por debajo del promedio, como se muestra en la página de la NOAA: [http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/enso\\_advisory/index.shtml](http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/enso_advisory/index.shtml). Bajo estas situaciones, se extiende la probabilidad de que estos escenarios ambientales permanezcan (ENSO neutral y La Niña) hasta al menos los meses de mayo y junio de 2011. Sin embargo, de acuerdo con las tendencias en los índices, se considera que La Niña ha iniciado su debilitamiento (ENSO-neutral), con una propensión hacia valores ambientales equilibrados, con un escenario hacia una débil La Niña al finalizar el verano de 2011. Posterior al verano de 2011, no existe todavía una predicción aproximada acerca del predominio en los escenarios ambientales para el Océano Pacífico.

Con respecto a la condiciones oceanográficas en la Corriente de California y en la región de la Baja California, durante la primavera de 2009 hasta la primavera de 2010 los cambios ambientales reflejaron la transición de una condición fría debido a La Niña hacia un corto período de un El Niño débil (Bjorkstedt *et al.*, 2010). Esto se evidenció en

afloramientos costeros por debajo de lo usual, lo que contribuyó a un calentamiento de las aguas superficiales en el verano de 2009, especialmente en la región norte de California. Las respuestas ambientales a El Niño presentes en el otoño de 2009 y en el invierno de 2009-2010 fueron muy variadas con respecto a la latitud, con valores cercanos a las medias climatológicas en las regiones del sur de California y frente a Baja California. Las condiciones derivadas de El Niño 2009-2010 desaparecieron rápidamente a principios de 2010, y los procesos de fuertes afloramientos costeros frente a Baja California resurgieron al inicio de la primavera. La Niña 2010-2011 transportó condiciones de agua fría a la región, las cuales se espera permanezcan al menos hasta mayo-junio de 2011.

## CONCLUSIONES

Las condiciones oceanográficas de los mares mexicanos son principalmente determinadas por la variabilidad climática propia de regiones de transición entre subtropical y templada. El Océano Pacífico está influenciado por las corrientes tropical y subtropical en el sur y por la Corriente de California en la región noroeste frente a la costa occidental de la Península de Baja California. Destaca en forma importante la variabilidad climática propia del Golfo de California, con condiciones templadas durante invierno y primavera, las cuales se transforman a cálidas durante el verano y el otoño. Otra región con alta variabilidad estacional es el Golfo de Tehuantepec, el cual muestra agua superficial con condiciones templadas y frías durante el invierno y la primavera, debido a la influencia de los vientos tehuanos en esa zona.

En contraste el Golfo de México y el Mar Caribe presentaron variabilidad relacionada con las estaciones de año, mostrando el verano (julio, agosto y septiembre) la mayor temperatura superficial en ambas regiones.

Esta variabilidad determina los cambios en la producción biológica de los mares mexicanos, la cual está influenciada por las condiciones de estratificación y de mezcla de la columna de agua. Las zonas con mayor concentración de clorofila estuvieron localizadas donde la dinámica oceánica fue alta, como son las zonas costeras y aquellas cercanas a regiones con altas corrientes superficiales y surgencias costeras. El Golfo de California es una de las regiones con altas concentraciones de clorofila, principalmente en las estaciones de primavera y otoño.

Las menores concentraciones de clorofila se estimaron para el Golfo de México y el Mar Caribe, lo que las cataloga como las regiones de menor abundancia biológica de los mares mexicanos.

La utilización de modelos numéricos como el ROMS ofrece una alternativa para describir escenarios con una alta resolución temporal y espacial, lo cual no es posible lograr para algunas de las regiones donde no existe suficiente información oceanográfica. También, la utilización de estos modelos nos muestra de una forma más fina la variabilidad de las zonas del Océano Pacífico influenciadas por procesos de gran escala temporal y espacial como son los fenómenos derivados del ciclo El Niño-La Niña. La generación de escenarios de la variabilidad oceanográfica por medio de imágenes de satélite y de modelos como el ROMS para algunas zonas específicas, muestra la utilidad al describir características oceanográficas (temperatura, corrientes, salinidad, clorofila) que actualmente no sería posible determinar de otra forma. Esto fue mayormente útil para ciertas regiones de interés para la pesca y la acuicultura del Océano Pacífico.

La caracterización de las regiones con alta producción biológica de los mares mexicanos ofrece la oportunidad para un adecuado manejo y su utilización en la generación de técnicas de pesca y acuicultura que proveen una utilidad pública. Esto también es necesario conocer en relación a los factores físicos del ambiente (temperatura, salinidad y corrientes), ya que determina el tipo y las características de los organismos que pueden desarrollarse bajo estas condiciones ambientales. En este trabajo se muestran los

principales procesos del Océano Pacífico, Golfo de México y Mar Caribe, como son la temperatura superficial del mar y la concentración de clorofila del fitoplancton. En el caso del Océano Pacífico se presenta además información de la salinidad y de las corrientes superficiales, la cuales son de gran utilidad como información complementaria del ambiente marino.

Una descripción más completa de la variabilidad climática de los mares de México se presenta en la página web (<http://omm.cicese.mx>) generada para este proyecto.

## REFERENCIAS

- Bjorkstedt, E., R. Goericke, S. McClatchie, E. Weber, W. Watson, N. Lo, B. Peterson, B. Emmett, J. Peterson, R. Durazo, G. Gaxiola-Castro, F. Chavez, J.T. Pennington, C.A. Collins, J. Field, S. Raltson, K. Sakuma, S.J. Bograd, F.B. Schwing, Y. Xue, W.J. Sydeman, S. Thompson, J.A. Santora, J. Largier, C. Halle, S. Morgan, S.Y. Kim, K.P.B. Merkens, J.A. Hildebrand, L.M. Munger. 2010. State of the California Current 2009-2010: regional variation persists through transition from La Niña to El Niño (and back?). California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Report, 51: 39-69.
- Bograd, S.J., W.J. Sydeman, J. Barlow, A. Booth, R.D. Brodeur, J. Calambokidis, F. Chavez, W.R. Crawford, E. Di Lorenzo, R. Durazo, R. Emmett, J. Field, G. Gaxiola-Castro, W. Gilly, R. Goericke, J. Hildebrand, J.E. Irvine, M. Kahru, J.A. Koslow, B. Lavaniegos, M. Lowry, D.L. Mackas, M. Manzano-Sarabia, S.M. McKinnell, B.G. Mitchell, L. Munger, R.I. Perry, W.T. Peterson, S. Ralston, J. Schweigert, A. Suntov, R. Tanasichuk, A.C. Thomas, T. Withney. 2010. Status and trends of the California Current region, 2003-2008. Pp. 106-141. En: S.M. McKinell, M.J. Dagg (editores). Marine Ecosystem of the North Pacific Ocean, 2003-2008.
- Carton J.A., B.S. Giese. 2008. A Reanalysis of Ocean Climate Using Simple Ocean Data Assimilation (SODA). Monthly Weather Review, 136:2999-3017.
- Chávez Ortiz E. A., J.L. Castro Ortiz. 2008. El impacto del cambio climático sobre las pesquerías de la zona de transición templado-cálida del Pacífico oriental mexicano. Variabilidad Ambiental y Pesquera. Cap. Sección II. Pesquería y Ambiente: 71-84.



- Gaxiola Castro, G., R. Durazo (Editores). 2010. Dinámica del Ecosistema Pelágico frente a Baja California 1997-2007. Diez años de investigaciones mexicanas en la Corriente de California. INE, CICESE, UBAC. <http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/>
- Gaxiola Castro, G., B.E. Lavaniegos, A. Martínez, R. Castro, T.L. Espinosa-Carreón. 2010. Pelagic ecosystem response to climate variability in the Pacific Ocean off Baja California. En: *Climate Change and Variability*. S.W. Simrad, M.E. Austin (eds). Sciyo, Croacia. 163-182 p.
- Haidvogel, D.B., Arango H.G., Hedstrom, K., Beckmann, A., Malanotte-Rizzoli, P., Shchepetkin, A.F., 2000. Model evaluation experiments in the North Atlantic Basin: Simulations in nonlinear terrain-following coordinates. *Dynamics of Atmosphere and Oceans*. Elsevier. 32: 239-281.
- López-Martínez. J. (Ed.). 2008. *Variabilidad Ambiental y Pesquerías de México*. Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca, México. 216p.
- Lluch Cota, S.E., M.V. Morales-Zárata, D.B. Lluch Cota. 2009. Variabilidad del clima y pesquerías del noroeste mexicano. En: Urciaga, J., Beltrán, L.F., D. Lluch Belda (Eds). *Recursos marinos y servicios ambientales en el desarrollo regional*. CIB-UABCS-CICIMAR IPN. Mexico, 111-118.
- Mesinger F., DiMego G., Kalnay E., Mitchell K., Shafran P.C., Ebisuzaki W., Jovi' D., Woollen J., Rogers E., Bebery E.H., Ek M.B., Yun F., Grumbine R., Higgins W., Hong L., Ying L., Manikin G., Parrish D., Wei S. 2006. North American Regional Reanalysis. *Bulletin of the American Meteorology Society*, 87: 343-360.
- Marchesiello, P., J.C. McWilliams, A. Shchepetkin. 2003. Equilibrium structure and dynamics of the California Current System. *Journal of Physical Oceanography*, 33: 753-783.
- NOAA. El Niño/Southern Oscillation (ENSO) Diagnostic Discussion. [http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/enso\\_advisory/index.shtml](http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/enso_advisory/index.shtml).

Ramos, A.J., A. Coca, A. Redondo, M. Petit. 2006. La red SeasNET: servicio de oceanografía operacional para la gestión de los recursos pesqueros de regiones ultra periféricas Europeas. *Revista de Teledetección*. 100-104 p. España.

Reynolds R. W., T. M. Smith, C. Liu, D. B. Chelton, K. S. Casey, M. G. Schlax. 2007. Daily High-Resolution-Blended Analyses for Sea Surface Temperature. *Journal of Climate*, 20: 5473-5496.

Smith W., D. Sandwell. 1997. Global Sea Floor Topography from Satellite Altimeter and Ship Depth Soundings. *Science*, 277: 1956-1962.

Song, Y., D.B. Haidvogel. 1994. A semi-implicit ocean circulation model using a generalized topography-following coordinate. *J. Comput. Phys.*, 115: 228-244.

## PARTICIPANTES

Dr. Gilberto Gaxiola Castro

Dr. Alejandro Parés Sierra

L.I. Sila Nájera Martínez

Dr. Jushiro Cepeda Morales

L.D. Genaro Nájera Ocegueda

M. en C. Felipe Gómez Valdivia

M. en C. Ana Laura Flores Morales