

Seasonal variability of satellite derived chlorophyll and sea surface temperature on the continental shelf of Nayarit, Mexico.

Variabilidad estacional de clorofila y temperatura superficial del mar satelital en la plataforma continental de Nayarit, México.

Cepeda-Morales, J.^{1,3}, Hernández-Vásquez, F.², Rivera-Caicedo, J.¹,
Romero-Bañuelos, C.⁴, Inda-Díaz, E.³, Hernández-Almeida O.³.

Universidad Autónoma de Nayarit

¹Laboratorio de Percepción Remota Satelital de Ecosistemas Costeros y Oceánicos. Centro Nayarita de Innovación y Transferencia de Tecnología. Ciudad de la Cultura Amado Nervo, C.P.: 63150, Tepic, Nayarit, México.

²Licenciatura en Biología, Unidad Académica de Agricultura. Km 9 Carretera Tepic – Compostela. Xalisco, Nayarit, México;

³Laboratorio de Oceanografía Biológica; ⁴Secretaría de Investigación y Posgrado, Ciudad de la Cultura Amado Nervo, C.P.: 63150, Tepic, Nayarit, México.

ABSTRACT

Oceanographic conditions of the continental shelf in front of the State of Nayarit were analyzed, based on the satellite information of chlorophyll (CLO) concentration and sea surface temperature (SST). Combined data from different remote sensors were used to achieve long series of time, which were previously compared. For CLO, data of the missions SEAWIFS (1997-2009) and MODIS-AQUA (2002-2013) were combined, while for TSM, data from AVHRR (1985-2009) and MODIS AQUA (2002-2013) were combined. To analyze the variability within the annual scale, two techniques were analyzed, the harmonic adjustment method and the climatological averages for both temporal series. Our results indicate that temporal series of CLO on the continental shelf cannot be analyzed by harmonic adjustment. Hence seasonal variability must be calculated through climatological averages. While for SST, harmonic adjustment for the study region presented values higher than 90 % of the variance explained, therefore it is a good estimate of the seasonal variability. Our results set methodological basis for interannual variability studies and tendencies associated to long period processes in the oceanographic conditions of the continental shelf in front of the state of Nayarit.

Article Info/Información del artículo

Received/Recibido: April 21st 2016.

Accepted/Aceptado: April 28th 2017.

RESUMEN

Se analizaron las condiciones oceanográficas de la plataforma continental frente al estado de Nayarit, basado en información satelital de la concentración de clorofila (CLO) y temperatura superficial del mar (TSM). Para lograr series de tiempo largas se utilizaron datos combinados de diferentes sensores remotos, los cuales fueron previamente comparados. Para CLO se combinaron datos de las misiones SEAWIFS (1997-2009) y MODIS-AQUA (2002-2013), mientras que para TSM se combinaron los datos del AVHRR (1985-2009) y del MODIS-AQUA (2002-2013). Para analizar la variabilidad dentro de la escala anual se analizaron dos técnicas, el método del ajuste armónico y los promedios climatológicos para ambas series temporales. Nuestros resultados indicaron que las series temporales de CLO sobre la plataforma continental no pueden ser analizadas por medio de un ajuste armónico, por lo que la variabilidad estacional debe ser calculada por medio de los promedios climatológicos. Mientras que, para la TSM, el ajuste armónico para la región de estudio presentó valores mayores al 90 % de la varianza explicada, por lo consiguiente, es un buen estimador de la variabilidad del ciclo estacional. Nuestros resultados proporcionan bases metodológicas para estudios de variabilidad interanual y tendencias asociadas a procesos de largo periodo en las condiciones oceanográficas de la plataforma continental frente al estado de Nayarit.

*Corresponding Author:

Cepeda-Morales, Jushiro. Universidad Autónoma de Nayarit, Laboratorio de Percepción Remota Satelital de Ecosistemas Costeros y Oceánicos. Centro Nayarita de Innovación y Transferencia de Tecnología, Ciudad de la Cultura Amado Nervo, C.P.: 63150, Tepic, Nayarit, México. Phone: +52(311)1174 948 E-mail.: jushiro.cepeda@uan.edu.mx

KEY WORDS

Chlorophyll; sea surface temperature; remote sensing; continental shelf.

Introduction

The Eastern Tropical Pacific (ETP) covers a wide range of the Mexican coasts, from the 14 to the 23 °N, and it is found under the influence of the general circulation system of the Northeast Pacific (Kessler, 2006; Godínez *et al.*, 2010). In the coasts of ETP, diverse studies in regions such as the California Current (CC), California Gulf (CG), Tehuantepec Gulf and Papagayo Gulf. CC and CG are the two best characterized regions. CC belongs to currents from the oriental margins, characterized by having high values of biological productions due to the intense coastal upwelling processes. On the other hand, the CG is also a region with highly productive ecosystems due to the intensity of their diverse dynamic processes (Kahru *et al.*, 2004) forced by the tides, the intake of water from the Pacific Ocean, the wind effort on the surface and the heat fluxes and humidity exchange with the atmosphere (Beier, 1997; Ripa, 1997).

Oceanographic conditions in the tropical Pacific in front of the entrance of the California Gulf have been described as a highly complex region from the dynamic, chemical and biological point of view due to its transitional character (Fiedler and Talley, 2006; Pennington *et al.*, 2006). This region is characterized by a complex coastal circulation system, influenced by the Coastal Mexican Current that flows towards north during summer (Lavín *et al.*, 2006; Godínez *et al.*, 2010). It is also characterized for being the generation and propagation center of mesoscale swirls (Kurczyn *et al.*, 2013), which is an important dynamic mechanism for the exchange of both horizontal and vertical physicochemical properties. Same as in all the Pacific basin, ETP receives interannual influence of the ENSO event (El Niño Southern Oscillation) and La Niña (Strub and James, 2002; Godínez *et al.*, 2010) which modify the productivity of the pelagic ecosystem along all Oriental Pacific.

There is a complex relaxation between the biological productivity and the dynamic processes, since the latter control the vertical flux of nutrients, which are indispensable for maintain the metabolic masses of the

PALABRAS CLAVE

Clorofila; temperatura superficial; sensores remotos; plataforma continental.

Introducción

El Pacífico Oriental Tropical (POT) abarca una amplia porción de las costas de México, de los 14 a los 23 °N, y se encuentra bajo la influencia del sistema de circulación general del Pacífico Nororiental (Kessler, 2006; Godínez *et al.*, 2010). En las costas del POT se han desarrollado diversos estudios en regiones como la Corriente de California (CC), Golfo de California (GC), Golfo de Tehuantepec y Golfo de Papagayo. Las dos regiones mejor caracterizadas son la CC y el GC. La CC pertenece a las corrientes de los márgenes orientales, caracterizadas por tener altos valores de producción biológica debido a los intensos procesos de surgencias costeras. Por su parte, el GC también es una región con ecosistemas altamente productivos debido a la intensidad de sus diversos procesos dinámicos (Kahru *et al.*, 2004) forzados por las mareas, el ingreso de agua desde el Océano Pacífico, el esfuerzo del viento en la superficie y los flujos de calor e intercambio de humedad con la atmósfera (Beier, 1997; Ripa, 1997).

Las condiciones oceanográficas en el Pacífico tropical frente a la boca del Golfo de California han sido descritas como una región altamente compleja desde el punto de vista dinámico, químico y biológico debido a su carácter transicional (Fiedler y Talley, 2006; Pennington *et al.*, 2006). Esta región es caracterizada por un complejo sistema de circulación costera, influenciada por la Corriente Costera Mexicana que fluye en dirección norte durante el verano (Lavín *et al.*, 2006; Godínez *et al.*, 2010). Un aspecto sobresaliente de esta región es que se caracteriza por ser centro de generación y propagación de remolinos de mesoescala (Kurczyn *et al.*, 2013) los cuales son un mecanismo dinámico importante para el intercambio tanto horizontal como vertical de propiedades físico-químicas. Al igual que toda la cuenca del Pacífico, el POT recibe la influencia interanual del evento del ENSO (de su acrónimo del inglés El Niño Southern Oscillation) y la Niña (Strub y James, 2002; Godínez *et al.*, 2010) los cuales modifican la productividad del ecosistema pelágico a lo largo de todo el Pacífico Oriental.

Existe una compleja relación entre la producción biológica y los procesos dinámicos, ya que estos últimos controlan el flujo vertical de nutrientes, los cuales son indispensables para mantener las tasas metabólicas del fitoplancton, y mantiene la pro-

phytoplankton, and maintains the biological production of the ecosystems along time. In the continental margins, oceanographic conditions are characterized for being highly dynamic, where intense vertical fluxes of nutrients are generated, which favor the high maintenance of primary productivity. Specially, currents of the oriental margins of the oceans are the most productive regions of the planet (California Current, Humboldt C., Canarian C. and Benguela C.), it is also associated with the intensity of the coastal upwellings (Carr and Kearns, 2003).

Oceanographic conditions on the continental shelf in front of Nayarit sustain a high biological productivity, which is reflected in an important contribution of fishing resources at a regional level (CONAPESCA, 2013). Studies made in the continental shelf between Mazatlán and Bahía de Banderas evidence high concentrations of total chlorophyll in the euphotic zone (Cepeda-Morales *et al.*, 2009; López-Sandoval *et al.*, 2009a). Nevertheless, an adequate characterization of the seasonal cycle on the biomass variation of primary producers and its interaction of oceanographic conditions that run variations in minor scales in this region has not been performed.

The continental shelf in front of Nayarit presents unique morphological characteristics that turn it into an exceptionally dynamic environment. It presents a sharp increase in the surface with respect to its surroundings, projecting near 100 km of the coast towards the Islas Marias. In addition, the coastal zone receives important intakes from rivers such as Ameca, Grande de Santiago, San Pedro and Acaponeta. The contribution of terrigenous materials towards the coastal zone forms important fronts where high biological production is developed. The influence on the introduction of nutrients from fluvial intakes on the variation of primary producers of the coastal region has not yet been solved. On the other hand, in Nayarit coasts an important connection soil-ocean and weather has been documented (Palacios-Hernández *et al.*, 2012), which along with the presence of rivers in the zone, it would make possible that signals referring the change of precipitation regime associated to modifications in the climate regimes are affecting the fluvial contribution to the coastal zone and, therefore, alter the normal patterns of variability of the primary producers on the continental shelf.

Identifying the main variability scales on the oceanographic conditions is fundamental in order to establish

ducción biológica de los ecosistemas a lo largo del tiempo. En los márgenes continentales, las condiciones oceanográficas se caracterizan por ser altamente dinámicas, donde se generan intensos flujos verticales de nutrientes que favorecen a la mantención de elevada productividad primaria. En especial, las corrientes de los márgenes orientales de los océanos son las regiones más productivas del planeta (C. de California, C. de Humboldt, C. de las Canarias y C. de Benguela), de igual manera está asociado con la intensidad de las surgencias costeras (Carr y Kearns, 2003).

Las condiciones oceanográficas sobre la plataforma continental frente a Nayarit sustentan una alta productividad biológica, lo que se refleja en una importante contribución de recursos pesqueros a nivel regional (CONAPESCA, 2013). Estudios realizados en la plataforma continental entre Mazatlán y Bahía de Banderas, evidencian altas concentraciones de clorofila total en la zona eufótica (Cepeda-Morales *et al.*, 2009; López-Sandoval *et al.*, 2009a). Sin embargo, no se ha hecho una caracterización adecuada del ciclo estacional de la variación en biomasa de los productores primarios y su interacción con las condiciones oceanográficas que gobiernan las variaciones en escalas menores al ciclo estacional de esta región.

La plataforma continental frente a Nayarit presenta características morfológicas únicas que la convierten en un ambiente excepcionalmente dinámico. Presenta un abrupto incremento en su superficie respecto a sus inmediaciones, proyectándose a cerca de 100 km de la costa hasta las Islas Marias. Aunado a lo anterior, en la zona costera recibe importantes aportes de los ríos como el Ameca, Grande de Santiago, San Pedro y Acaponeta. La contribución de material terrígeno hacia la zona costera forma importantes frentes donde se desarrolla alta producción biológica. La influencia de la introducción de nutrientes producto de aportes fluviales sobre las variaciones de los productores primarios de la región costera aún no ha sido resuelta. Por otro lado, en las costas de Nayarit se ha documentado una importante conexión tierra-océano y clima (Palacios-Hernández *et al.*, 2012), que, junto a la presencia de ríos en la zona, haría posible que señales referentes al cambio del régimen de precipitaciones asociadas a modificaciones en los regímenes climáticos estén afectando la contribución fluvial a la zona costera y por consecuencia alterando los patrones normales de variabilidad de los productores primarios sobre la plataforma continental.

Identificar las principales escalas de variabilidad de las condiciones oceanográficas es fundamental para poder establecer las contribuciones relativas de cada proceso sobre las varia-

the relative contributions in each process on the oceanographic variables. Godínez *et al.*, (2010) determined that the dynamic of the Oriental Tropical Pacific in front of Mexico receives the influence of these three processes: seasonality, interannual variables associated to ENSO and mesoscale swirls. Palacios-Hernández *et al.*, (2010) identify that the annual signal on the superficial temperature variations is predominant on the semi-annual in the same region of study. Based on combined information of different remote sensors, long temporary series were generated, for total chlorophyll data from the missions SeaWiFS (1997-2010) and MODIS-AQUA (2002-2014) were used, and for superficial temperature of the sea, monthly data from AVHRR (1985-2009) and recent measures from MODIS-AQUA (2002-2014) were used. Combinations from different remote sensors allow to generate temporal series of long periods, making it possible to extract signs associated to interannual exchanges. Seasonal variations are characterized from primary products and their relation to oceanographic conditions from the continental shelf in front of the state of Nayarit are analyzed.

Materials and Methods

Study area

The continental shelf in front of the state of Nayarit is located at the entrance of the Gulf of California, and is characterized by an increase in the surface regarding the surrounding zones relative to distance of the isobaths of 500 m (Figure 1). In Bahía de Banderas, the isobaths of 500 m is located 10 km from the coast towards, north it distances from the coast near 100 km in the vicinities of the Islas Marias.

Satellite data

For the area that covers the continental platform, monthly data of the chlorophyll concentration (CLO) and the superficial temperature of the sea (SST) estimated from satellite data were analyzed. In order to generate long temporal series of CLO, available data from the sensor SeaWiFS (Sea viewing Wide Field of view Sensor) were combined for the period October 1997 to December 2002; from January 2003 to December 2014, data from the sensor MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometre) were taken on the AQUA platform. All data were downloaded from the portal *OceanColor Web* managed by the *Ocean Biology Distributed*

bles oceanográficas. Godínez *et al.*, (2010) determinaron que la dinámica del Pacífico Oriental Tropical frente a México recibe la influencia de tres procesos: la estacionalidad, variaciones interanuales asociadas con el ENSO, y remolinos de mesoescala. Palacios-Hernández *et al.*, (2010) identifican en las variaciones de la temperatura superficial del mar que la señal anual es predominante sobre la semi-anual en la misma región de estudio. Basado en información combinada de diferentes sensores remotos se generaron series temporales largas, para clorofila total se utilizaron datos de las misiones SeaWiFS (1997-2010) y MODIS-AQUA (2002-2014) y para la temperatura superficial del mar, se utilizaron datos mensuales del AVHRR (1985-2009) y mediciones recientes del MODIS-AQUA (2002-2014). Las combinaciones de diferentes sensores remotos permiten generar series temporales de largo periodo, con las cuales es posible extraer señales asociadas con cambios interanuales. Se caracterizan las variaciones estacionales de los productores primarios y se analiza su relación con las condiciones oceanográficas de la plataforma continental frente al estado de Nayarit.

Materiales y Métodos

Zona de estudio

La plataforma continental frente al estado de Nayarit se localiza en la entrada del Golfo de California, y se caracteriza por un incremento en la superficie respecto a las zonas circundantes relativo a la distancia de la isobata de 500 m (Figura 1). En Bahía de Banderas la isobata de 500 m se ubica a 10 km de la costa, hacia el norte se distancia de la costa hasta cerca de 100 km en las inmediaciones de las Islas Marias.

Datos satelitales

Para el área que abarca la plataforma continental se analizaron datos mensuales de la concentración de clorofila (CLO) y temperatura superficial del mar (TSM) estimada a partir de datos satelitales. Con la finalidad de generar series temporales largas de CLO se combinaron los datos disponibles del sensor SeaWiFS (Sea viewing Wide Field of view Sensor) para el periodo de tiempo comprendido desde octubre de 1997 hasta diciembre de 2002; en el periodo de enero del 2003 a diciembre del 2014 se tomaron los datos del sensor MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometre) a bordo de la plataforma AQUA. Todos los datos fueron descargados del portal *OceanColor Web* administrada por el *Ocean Biology Distributed Active Archive Center* (<https://oceandata.sci.gsfc.nasa.gov/>). Los datos de SeaWiFS fueron re-escalados por interpolación lineal a 4 km de resolución espacial. Los datos mensuales

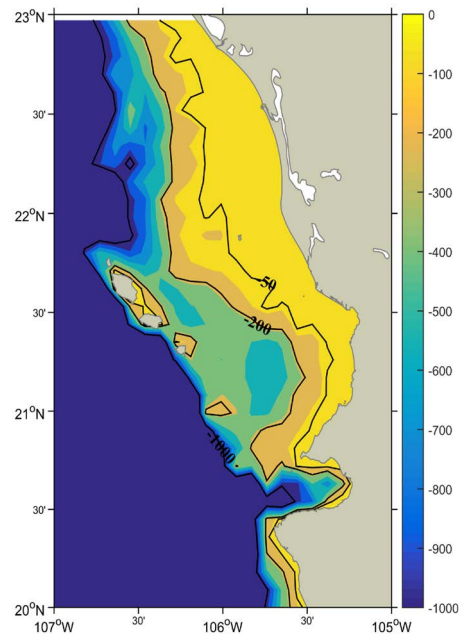


Figure 1. Bathimetry (in meters) of the continental shelf of Nayarit.

Figura 1. Batimetría (en metros) de la plataforma continental de Nayarit.

Active Archive Center (<https://oceandata.sci.gsfc.nasa.gov/>). SeaWiFS data were rescaled by lineal interpolation at 4 km of spatial resolution. Monthly data of SST were collected by the sensor AVHRR-Pathfinder (<ftp://ftp.nodc.noaa.gov/pub/data.nodc/pathfinder/>) for the period 1985 to 2009; to complete the temporal series, SST data were combined with measurements from the MODIS sensor from 2010 to 2014.

Variability estimations of CLO and SST

To describe the intraannual variability of CLO and SST in the continental platform, seasonal behavior of both variables was analyzed, which was calculated following the method of harmonic adjustment and climate average (Soto-Mardones *et al.*, 1999). Temporal variability of CLO and SST was adjusted according to the function defined by:

$$(1) F(t) = A_0 + A_1 \cos(wt - \varphi_1) + A_2 \cos(wt - \varphi_2)$$

Where A_0 is the anual average, A_1 and φ_1 are the wide-ness and the anual signal phase, while A_2 , and φ_2 are

de TSM fueron colectados por el sensor AVHRR-Pathfinder (<ftp://ftp.nodc.noaa.gov/pub/data.nodc/pathfinder/>) para el periodo desde 1985 a 2009; para completar la serie temporal, los datos de TSM fueron combinados con mediciones del sensor MODIS para el periodo desde 2010 a 2014.

Estimaciones de la variabilidad de CLO y TSM

Para describir la variabilidad intra anual de CLO y TSM en la plataforma continental, se analizó el comportamiento estacional de ambas variables el cual fue calculado siguiendo el método de ajuste armónico y el promedio climatológico (Soto-Mardones *et al.*, 1999). La variabilidad temporal de CLO y del TSM fue ajustada la función definida por:

$$(1) F(t) = A_0 + A_1 \cos(wt - \varphi_1) + A_2 \cos(wt - \varphi_2)$$

Donde A_0 es la media anual, A_1 y φ_1 son la amplitud y la fase de la señal anual, mientras que A_2 , y φ_2 son el equivalente en la señal semianual. Para la frecuencia angular, w se define como $2\pi/365.25$ y t es el tiempo. La suma de los primeros tres términos de la ecuación 1 representan el ciclo estacional.

the equivalent in the semiannual signal. Angular frequency w is defined as $2\pi/365.25$ and t is time. The sum of the first three terms of the equation 1 represent the seasonal cycle. Seasonal cycle parameters were calculated by minimal squared adjustments following Ripa (2002). Errors of the adjustment were calculated following Berón-Vera and Ripa (2002).

The harmonic adjustment grade was evaluated based on the variance explained and its spatial distribution. When the variance percentage was low 30 %, the seasonal cycle would estimate under the climate method described by Soto-Mardones *et al.*, (1999). This method is based in calculating the average year, for which the average value of each month calculated with data from all seasonal series is used.

Results

Average spatial distribution of CLO presented a marked division in three zones (Figure 2a), with high chlorophyll values (2.0 to 10.0 mg m^{-3}) distributed in the zone adjacent to the coast, a zone of intermediate concentration that extends to the islands (0.5 to 2.0 mg/m^3), and an oceanic zone that presents minor values (<0.5 mg/m^3). Spatial variations of the average (Figure 2b) evidenced that in first 20 km of the continental shelf, approximately on the isobaths of 50 m higher variations (2.0 a 6.0 mg/m^3) were presented, while in the most distant part variations were lower than 1.0 mg/m^3 .

Average spatial distribution of SST (Figure 2b) was almost homogenous within the study area, with a latitude gradient with lower values for northeast (25.0 °C) and higher towards south (27.0 °C). The presence of a warmer water nucleus (27.5 °C) over the continental shelf in front of the Bahía de Matanchén highlights. While in Bahía de Banderas it is showed as a coastal body of minor temperature (26.0 °C) in comparison to surrounding areas. Spatial variations of the average (Figure 2d) presented a latitudinal gradient, with higher variations (~ 4.0 °C) in the northern part regarding the south (~ 20.5 °C).

Temporary variations were analyzed with the average value of the quadrant located on the continental shelf of Nayarit. Temporal variations of CLO (1997-2014) presented irregular seasonal variations and marked

Los parámetros del ciclo estacional fueron calculados por ajuste de mínimos cuadrados siguiendo a Ripa (2002). Los errores del ajuste se calcularon siguiendo a Berón-Vera y Ripa (2002). Se evaluó el grado del ajuste armónico basado en la variancia explicada y su distribución espacial. Cuando el porcentaje de varianza fuese bajo 30 %, el ciclo estacional se estimaría por medio del método climatológico descrito por Soto-Mardones *et al.*, (1999). Este método se basa en calcular el año promedio, para el cual se utiliza el valor promedio de cada mes calculado con los datos de toda la serie temporal.

Resultados

La distribución espacial promedio de la CLO presentó una marcada división en tres zonas (Figura 2a), con altos valores de clorofila (2.0 a 10.0 mg m^{-3}) distribuidos en la zona adyacente a la costa, una zona de concentración intermedia que se extiende hasta las islas (0.5 a 2.0 mg/m^3), y una zona oceánica que presenta los menores valores (<0.5 mg/m^3). Las variaciones espaciales de la media (Figura 2b) evidenciaron que en los primeros 20 km de la plataforma continental, aproximadamente sobre la isobata de 50 m, se presentaron las mayores variaciones (2.0 a 6.0 mg/m^3), mientras que en la parte más alejada sus variaciones fueron menores a 1.0 mg/m^3 .

La distribución espacial promedio de TSM (Figura 2b), fue casi homogénea dentro del área de estudio, con un gradiente latitudinal con valores menores por el noroeste (25.0 °C) y mayores hacia el sur (27.0 °C). Destaca la presencia de un núcleo de agua más cálida (27.5 °C) sobre la plataforma continental frente a Bahía de Matanchén. Mientras que en Bahía de Banderas se muestra como un cuerpo costero con menor temperatura (26.0 °C) en comparación con las áreas circundantes. Las variaciones espaciales de la media (Figura 2d) presentaron un gradiente latitudinal, con mayores variaciones (~ 4.0 °C) en la parte norte respecto a la sur (~ 20.5 °C).

Las variaciones temporales se analizaron con el valor promedio del cuadrante localizado sobre la plataforma continental de Nayarit. Las variaciones temporales de CLO (1997-2014) presentaron variaciones estacionales irregulares y marcados eventos interanuales (Figura 3a), Con una amplitud que varió entre 0.7 a 11.5 mg/m^3 . Por su parte la TSM presentó un marcado patrón de variación estacional con una amplitud de variabilidad que oscilo entre los 21 y 30 °C (Figura 3b) el cual es modificado por variaciones interanuales.

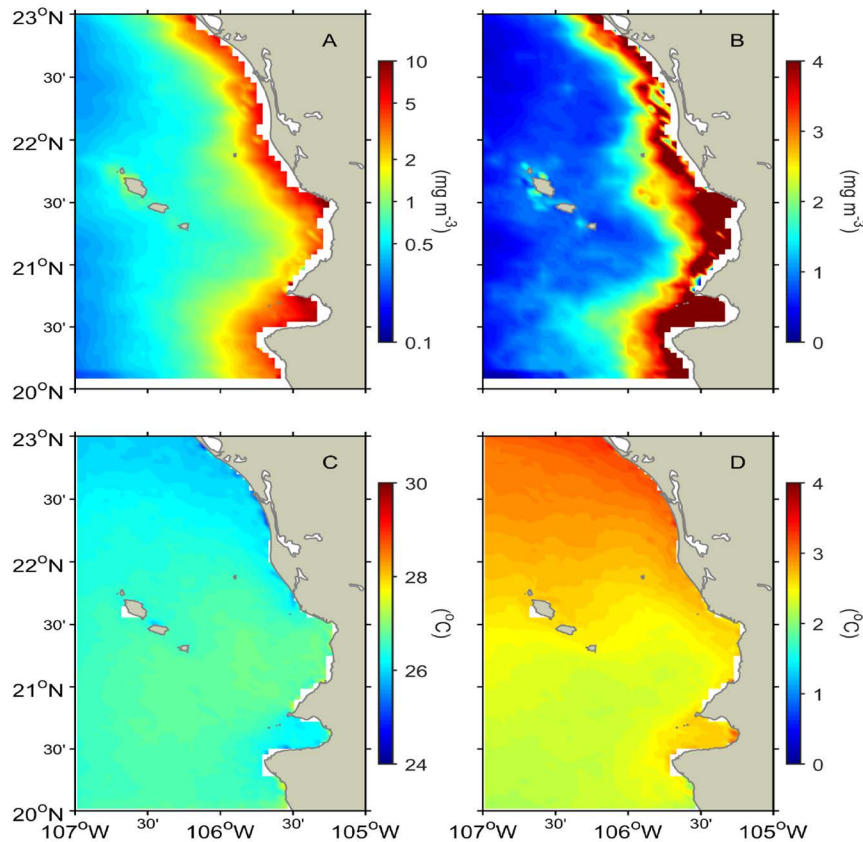


Figure 2. Spatial distribution of average values of long period of A) chlorophyll concentration (mg/m^3) of combined data of SEAWIFS and MODIS-AQUA; B) standard deviation of the chlorophyll concentration; C) Average of the superficial temperature of the sea ($^{\circ}\text{C}$) for the series of data combined of AVHRR and MODIS; and D) standard deviation of superficial temperature of the sea.

Figura 2. Distribución espacial de los valores promedios de largo periodo de A) concentración de clorofila (mg/m^3) de los datos combinados de SEAWIFS y MODIS-AQUA; B) desviación estándar de la concentración de clorofila; C) Promedio de la temperatura superficial del mar ($^{\circ}\text{C}$) para la serie de datos combinados de AVHRR y MODIS; y D) desviación estándar de la temperatura superficial del mar.

interannual events (Figure 3a), with a width that varied between 0.7 to 11.5 mg/m^3 . On the other hand, SST presented a marked pattern of seasonal variation with an amplitude of variability that oscillated between the 21 to 30 $^{\circ}\text{C}$ (Figure 3b), which is modified by interannual variations.

By evaluating the grade of harmonic adjustment for the CLO series (Figure 4a), results showed that, on the continental shelf in front of Nayarit, the seasonal cycle presented a low percentage of explained variance (<10 %), while higher values (~70 %) were found in the oceanic

Al evaluar el grado del ajuste armónico para la serie de CLO (Figura 4a), los resultados demostraron que, sobre la plataforma continental frente a Nayarit, el ciclo estacional presentó un bajo porcentaje de varianza explicada (<10 %), mientras que los valores más altos (~70 %) se encontraron en la región oceánica al noroeste. Al comparar la serie temporal del ajuste armónico del ciclo estacional con los valores observados de CLO, se evidenció la alta variabilidad observada y la baja reproducibilidad del modelo basado en los ajustes de armónicos (Figura 3b).

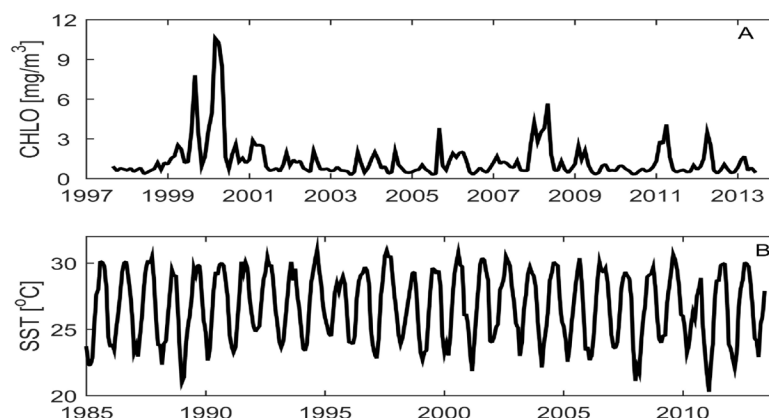


Figure 3. Temporal series of oceanographic conditions for the region between the zones of the islands and the coast in front of the Bahía de Matanchén (21 to 22 oN, -106.5 to -105.5 oW). Concentration data of chlorophyll (superior panel) correspond to the convention of SEAWIFS (1997-2002) and MODIS-AQUA (2003-2013); while in superficial temperature of the sea (inferior panel) data of AVHRR (1985-2002) and MODIS-AQUA (2003-2013) were combined.

Figura 3. Series temporales de las condiciones oceanográficas para la región comprendida entre las zonas de las islas y la costa frente a Bahía de Matanchén (21 a 22 °N, -106.5 a -105.5 °W). Los datos de la concentración de clorofila (panel superior) corresponden a la convención de SEAWIFS (1997-2002) y MODIS-AQUA (2003-2013); mientras que, temperatura superficial del mar (panel inferior), fueron combinados los datos del AVHRR (1985-2002) y MODIS-AQUA (2003-2013).

northeast region. By comparing the temporal series of the harmonic adjustment of the seasonal cycle with observed values of CLO, the high variability observed and the low reproducibility of the model based in the harmonic adjustments (Figure 3b).

Since CLO values on the continental shelf of Nayarit cannot be represented by the model of harmonic adjustment, average climate values are calculated, following Soto-Mardones *et al.*, (1999) which is based in the average values of each month along the complete temporal series (Figure 5). Values of CLO of the strip next to the coast during the year maintain high values of production. During winter and spring all continental shelf present the higher values of phytoplankton production, while in summer, the region presents low production in the oceanic zone, with high values near the coast, enhancing the increase of the biological production observed in the coastal part in August and September.

The sea surface temperature (SST) variability presents a higher percentage of variance explained by the har-

Debido a que los valores de CLO, sobre la plataforma continental de Nayarit no se pueden representar por medio del modelo de ajuste armónico, se calculan los valores promedios climatológicos, siguiendo a Soto-Mardones *et al.*, (1999), la cual se basa en los valores promedios de cada mes a lo largo de la serie temporal completa (Figura 5). Los valores de CLO de la franja pegada a la costa durante todo el año mantienen valores altos de producción. Durante invierno y primavera toda la plataforma continental presenta los valores más altos de producción del fitoplancton, mientras que, los meses de verano, la región se presenta con baja producción en la zona oceánica, con altos valores cercanos a la costa, resaltando el incremento en producción biológica observado en la parte más costera en agosto y septiembre.

La variabilidad de la temperatura superficial del mar (TSM) presenta un alto porcentaje de varianza explicada por el ajuste armónico (>80 %) en la mayor parte de la región, con máximos valores en la zona oceánica localizada al noroeste (Figura 6a). La plataforma continental frente a Nayarit presentó de 70 a 80 % de varianza explicada para la serie de TSM. La comparación de la serie temporal de los valores promedio ejemplifican el alto

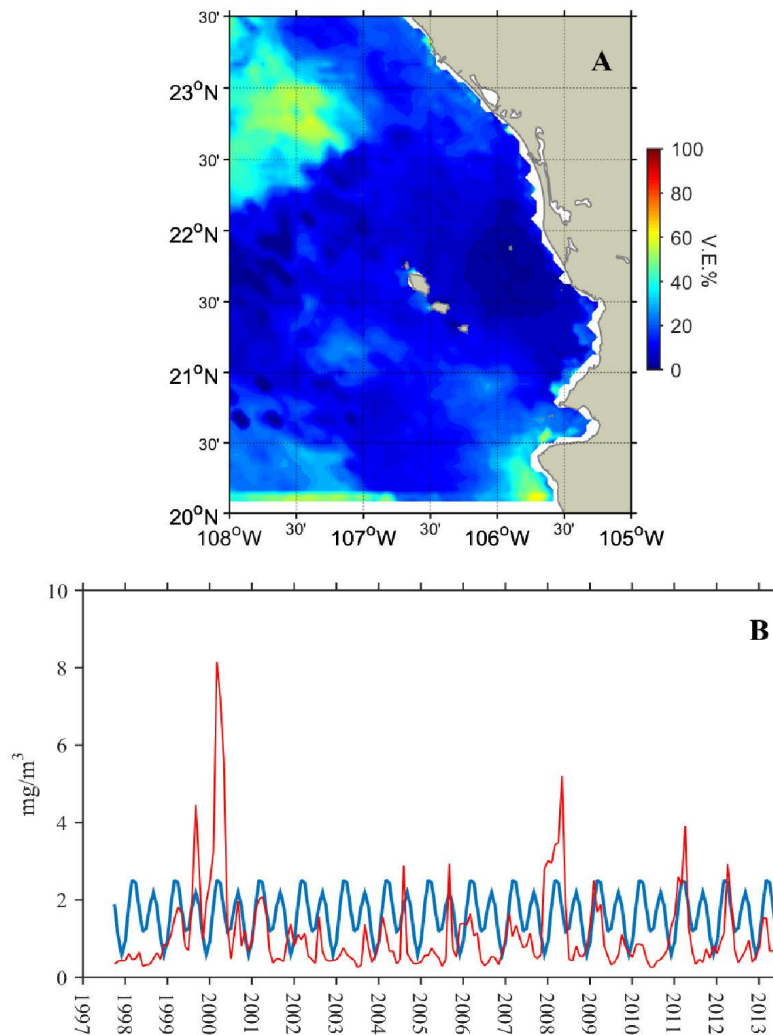


Figure 4. A) Spatial distribution of the variance percentage explained by the harmonic adjustment of the seasonal cycle for the series of time of chlorophyll (1997 – 2013); **B)** comparison of the series of time of observed value of chlorophyll (red line) with the modeling value for the harmonic adjustment of the seasonal cycle (blue line) for the region of the continental platform between the Islas Marias and the Bahía de Matanchén.

Figura 4. A) Distribución espacial del porcentaje de varianza explicada por el ajuste armónico del ciclo estacional para la serie de tiempo de clorofila (1997-2013); **B)** comparación de las series de tiempo del valor observado de clorofila (línea roja) con el valor modelado por el ajuste armónico del ciclo estacional (línea azul) para la región de la plataforma continental entre las islas Marias y Bahía de Matanchén.

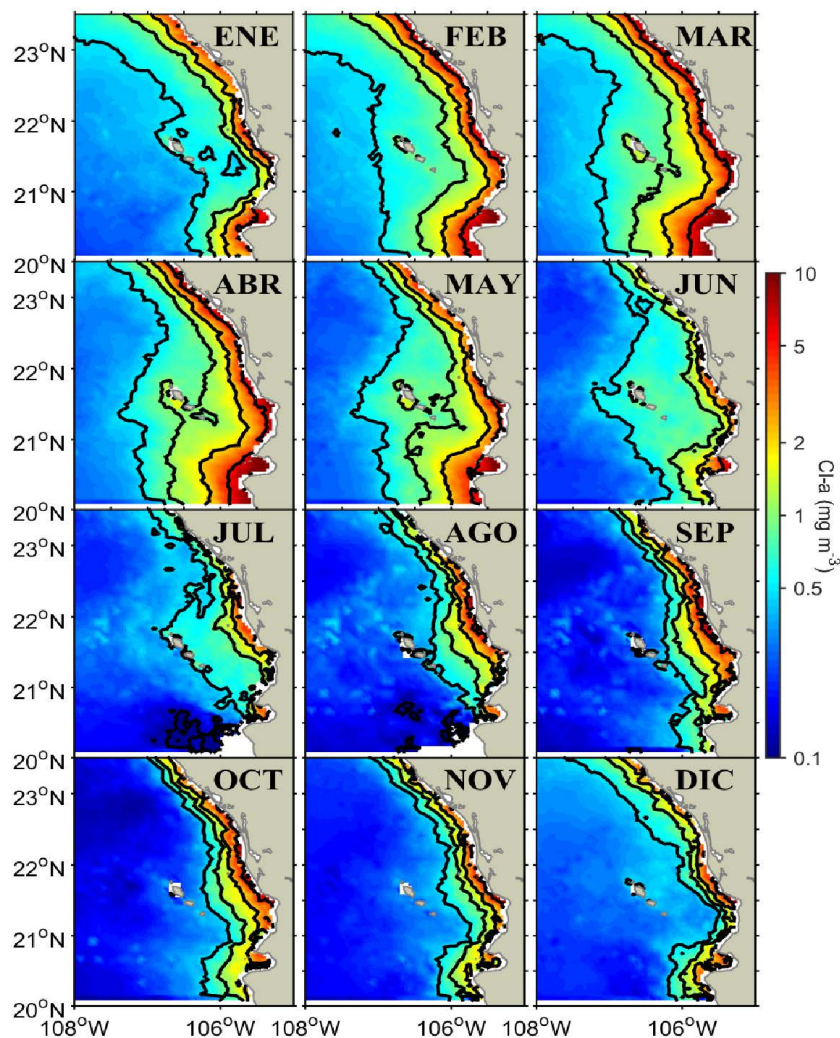


Figure 5. Monthly chlorophyll climatology (mg/m^3) for the series of time during 1997-2013. It begins in January and ends in December.

Figura 5. Climatología mensual de clorofila (mg/m^3) para la serie de tiempo entre 1997-2013. Inicia en enero y termina en diciembre.

monic adjustment ($>80\%$) in the high part of the region, with maximum values in the oceanic zone located northeast (Figure 6a). The continental shelf in front of Nayarit presented from 70 to 80 % of variance explained for the series of the SST. The comparison of the temporal series of the average values exemplify the high grade of adjustment between the harmonic of the seasonal cycle with observed values in SST (Figure 6b).

grado de ajuste entre el armónico del ciclo estacional con los valores observados en TSM (Figura 6b).

Finalmente, debido al alto grado de varianza explicada ($>80\%$) calculado para el ajuste armónico sobre la variabilidad espacio temporal de la TSM de la plataforma continental de Nayarit, se calcularon los valores promedios climatológicos para cada mes utilizando el modelo

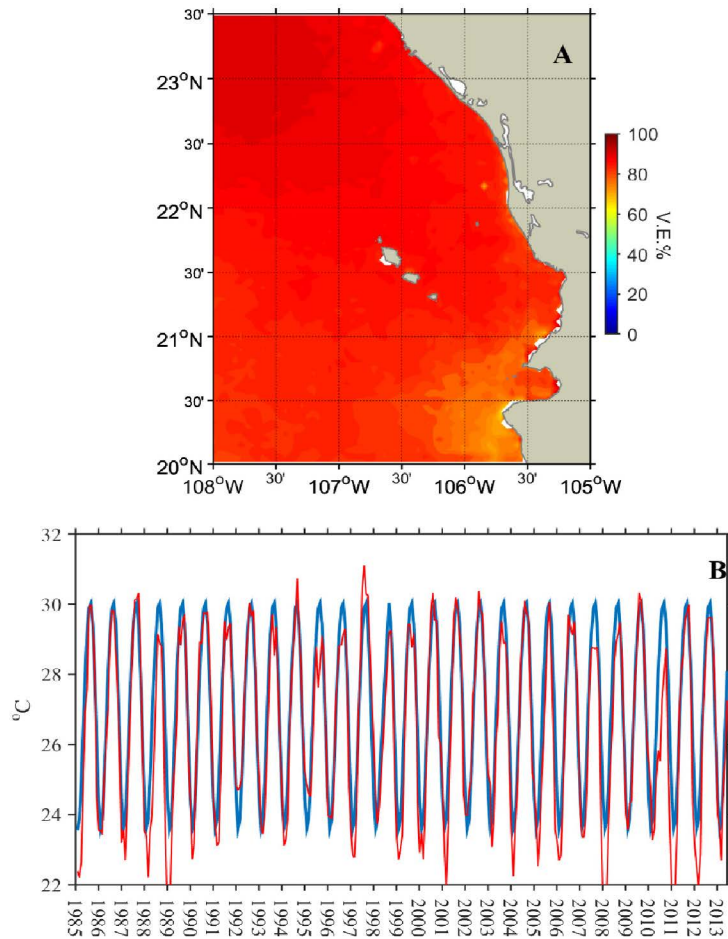


Figure 6. A) Spatial distribution of the variance percentage explained by the harmonic adjustment of the seasonal cycle on data about superficial temperature of the sea (1985-2013). B) Comparison of the series to time on observed value (red line) with the value modeled by the harmonic adjustment of the seasonal cycle (blue line).

Figura 6. A) Distribución espacial del porcentaje de varianza explicado por el ajuste armónico del ciclo estacional sobre los datos de temperatura superficial del mar (1985-2013). B) comparación de las series de tiempo del valor observado (línea roja) con el valor modelado por el ajuste armónico de ciclo estacional (línea azul).

Finally, due to the high grade of variance explained (>80 %) calculated for the harmonic adjustment on the temporal space variability of the SST of the continental shelf in Nayarit, average climate values were calculated using the model of harmonic adjustments (Figure 7). The variation of the climatological averages of SST presents

de los ajustes armónicos (Figura 7). La variación de las medias climatológicas de la TSM presenta en la región costera un periodo frío en invierno-primavera, (22 a 25 °C) el cual se incrementa durante los meses de mayo a junio para llegar a un periodo cálido en verano con los valores más altos (~30 °C) que se extiende de julio a octubre. Durante

a cold period in the coastal region in winter-spring (22 a 25 °C), which increases during May to June to reach a warm period in the summer with the higher values (~30 °C) which extends from July to October. During November, a rapid coldness in the continental shelf occurs to low near 25 °C in December.

Discussion

Primary producers cover a complex organization of phytoplankton groups responsible for maintaining marine ecosystems by being responsible for giving the

noviembre ocurre un rápido enfriamiento de la plataforma continental para bajar a cerca de 25 °C en diciembre.

Discusión

Los productores primarios, comprenden una compleja organización de grupos del fitoplancton responsables de mantener a los ecosistemas marinos, al ser los responsables de aportar la energía necesaria para su existencia. Es por ello que, es de vital importancia caracterizar y entender sus principales escalas de variabilidad espacio temporal. La biomasa del fitoplancton, estimada como

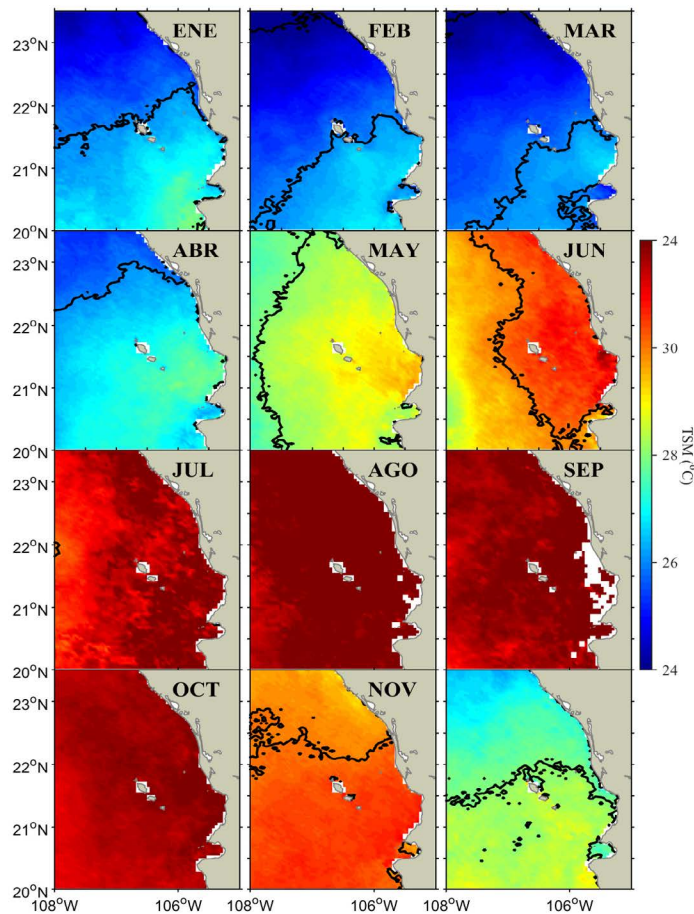


Figure 7. Monthly climatology of superficial temperature of the sea (°C) for the series of time during 1985-2013, calculated through the method of harmonic adjustment.

Figura 7. Climatología mensual de temperatura superficial del mar (°C) para la serie de tiempo entre 1985-2013, calculado por medio del método de ajuste armónico.

necessary energy for their existence. Hence, it is vital to characterize and understand their main scales of temporal space variability. The biomass of phytoplankton, estimated as total chlorophyll (CLO) is one of the most important biological indicators in oceanography, due to its strong bonding with dynamic processes in the oceans. The latter due to phytoplankton response in terms of biomass to environmental conditions is almost immediate.

Despite the fact that the oceanic region at the entrance of the California Gulf has been identified as a high oceanographic activity region by its dynamic, chemical and biological processes (Zamudio *et al.*, 2007; Godínez *et al.*, 2010; Cepeda-Morales *et al.*, 2013; León-Chávez *et al.*, 2010), it remains unstudied. The continental shelf in front of the coast of Nayarit is considered an area of high economic importance because of the production of fishing resources (CONAPESCA, 2013). Inda-Díaz *et al.*, (2013) evidences that spatial distribution in the zooplankton biomass is influenced by local processes associated to morphology of the continental shelf and the formation of fronts product of river influences.

In the average value of long period for CLO, spatial distribution maintains general patterns of a parallel gradients to the coast high values (2.0 to 5.0 mg/m³) which decreases as the distance to the coast increases (<0.5 mg/m³). Unlike adjacent regions, Nayarit presents a wide mesotrophic zone (0.5-1.0 mg/m³), which extends offshore to the surroundings of the Islas Marias. This feature in the distribution of CLO coincides with the bathymetry of the continental shelf that extends through this zone near 100 km from the Bahía de Matanchén to the Islas Marias. In the average of long period of SST, the presence of a warm nucleus located in front of the Bahía de Matanchén, which does not modify the spatial distribution of CLO. A minimum relative in SST enhances in Bahía de Banderas, which coincides with the submarine canyon with a depth near the 800 m, which could generate a lifting mechanism of the isopícnas, taking subsuperficial water with low temperature, with a similar effect to the upwellings on the primary producers. Plata and Filonov (2007) evidence the presence of internal waves associated to the change in bathymetry, which could explain the high values of productivity identified in the concentration of chlorophyll, measured *in situ* (López-Sandoval *et al.*, 2009b; Cepeda-Morales *et al.*, 2009). Temporal variability of the oceanographic conditions CLO and SST show different patterns. While CLO presents high

clorofila total (CLO), es uno de los indicadores biológicos más importantes en oceanografía, debido a su fuerte vinculación con los procesos dinámicos en los océanos. Lo anterior es debido a que la respuesta del fitoplancton en términos de biomasa a las condiciones ambientales es casi inmediata. A pesar que la región oceánica de la entrada del Golfo de California ha sido identificada como una región de alta actividad oceanográfica, por sus procesos dinámicos, químicos y biológicos (Zamudio *et al.*, 2007; Godínez *et al.*, 2010; Cepeda-Morales *et al.*, 2013; León-Chávez *et al.*, 2010), aún permanece poco estudiada. La plataforma continental frente a las costas de Nayarit es considerada como un área de alta importancia económica por la producción de recursos pesqueros (CONAPESCA, 2013). Inda-Díaz *et al.*, (2013) evidencia que la distribución espacial en la biomasa de zooplancton es influenciada por procesos locales asociados a la morfología de la plataforma continental y a la formación de frentes producto de la influencia de ríos.

En el valor promedio de largo periodo para CLO, la distribución espacial mantiene los patrones generales de un gradiente paralelo a la costa con altos valores (2.0 a 5.0 mg/m³) que disminuyen conforme aumenta la distancia de la costa (<0.5 mg/m³). A diferencia de las regiones adyacentes, Nayarit presenta una amplia zona mesotrófica (0.5-1.0 mg/m³), la cual se extiende mar adentro hasta las inmediaciones de las Islas Marias. Este rasgo en la distribución de CLO coincide con la batimetría de la plataforma continental que se extiende por esta zona a cerca de 100 km desde Bahía de Matanchén hasta las Islas Marias. En el promedio de largo periodo de TSM se observa la presencia de un núcleo cálido localizado frente a Bahía de Matanchén, el cual no modifica la distribución espacial de CLO. En la bahía de Banderas destaca un mínimo relativo en TSM, el cual coincide con el cañón submarino con una profundidad cercana a los 800 m, lo que podría estar generando un mecanismo de levantamiento de las isopícnas, llevando agua subsuperficial con baja temperatura, con un efecto similar a las surgencias sobre los productores primarios. Plata y Filonov (2007) evidencian la presencia de ondas internas asociadas al cambio en la batimetría, lo que podría explicar los altos valores de productividad identificados en la concentración de clorofila, medida *in situ* (López-Sandoval *et al.*, 2009b; Cepeda-Morales *et al.*, 2009).

La variabilidad temporal de las condiciones oceanográficas de CLO y TSM muestran patrones diferentes. Mientras que CLO presenta alta variabilidad temporal con un patrón estacional que no se refleja claramente, posee una marcada

temporal variability with a seasonal pattern that does not reflect clearly, it possesses an interannual influenced evidenced by the high values, which are present during favorable periods in conditions of La Niña reported for the years 2000, 2008 and 2012 (data from Multivariate ENSO Index, NOAA); on the other hand, SST presented a marked seasonal pattern joint of variability in the interannual scale that coincide with the events El Niño/La Niña. The high percentage of variability (near 90 %) explained on the seasonal adjustment on the SST is higher to the reported by Godínez *et al.*, (2010) for the oceanic region of the ETP (near 30 %). This evidences the marked difference between the coastal and oceanic ecosystems. In the continental shelf of Bahía Vizcaino (Baja California), a high influence of the ENSO event on the SST (78 %) and CLO (45 %) was calculated. Nevertheless, oceanographic conditions are dominated by the California Current, which possesses an important seasonal component, and the identification of the presence of the Coastal Mexican Current with a circulation that changes sense seasonally (Lavín *et al.*, 2006; Godínez *et al.*, 2010). However, the grade of influence on the continental shelf of Nayarit is unknown.

Interannual variations of the CLO for the Pacific coasts have been attributed to the effect of the events of El Niño/La Niña (Escribano *et al.*, 2004), processes that modify the response of the primary producers in the coasts of Nayarit, however, since the response of coastal ecosystems vary according to the particular characteristics of each region, which must be carefully analyzed.

Within the intraannual scales, the seasonal cycle is one of the scales of higher influence in the variations of the biomass of the phytoplankton (Venegas *et al.*, 2008). The variability of CLO associated to the seasonal cycle show high activity during winter and spring, which is reflected with high concentrations of CLO in all continental shelf in Nayarit. During summer, biological production is restricted towards the zone near the coast, where depths are minor 100 m. Followed by an increase in the signal of the CLO in the coast during fall. The period of high production coincides with the cold stage of the region that starts in January and ends in April (SST < 21 °C). While in the stage of low production of CLO observed in summer, it coincides with the maximum period of SST associated to the seasonal cycle in all the region. Nevertheless, in the coastal strip over the isobaths of 50 m during warm stage, they present high

influencia interanual evidenciada por valores altos, los cuales se presentan durante periodos favorables a condiciones de La Niña reportados para los años 2000, 2008 y 2012 (datos del Multivariate ENSO Index, NOAA); por su parte, TSM presentó un marcado patrón estacional, acompañado de variabilidad en la escala interanual que coinciden con los eventos El Niño/La Niña. El alto porcentaje de variabilidad (cercano al 90 %) explicada del ajuste estacional sobre la TSM es mayor a lo reportado por Godínez *et al.*, (2010) para la región oceánica del POT (cercano al 30 %). Lo que evidencia la marcada diferencia entre los ecosistemas costeros y oceánicos. En la plataforma continental de Bahía Vizcaino (Baja California), se calculó una alta influencia del evento ENSO sobre TSM (78 %) y CLO (45 %). Sin embargo, las condiciones oceanográficas son dominadas por la Corriente de California la cual posee un importante componente estacional, así como la presencia de eventos de surgencias costeros. En la parte más oceánica de la región de Nayarit se identifica la presencia de la Corriente Costera Mexicana con una circulación que cambia de sentido estacionalmente (Lavín *et al.*, 2006; Godínez *et al.*, 2010). Sin embargo, se desconoce su grado de influencia sobre la plataforma continental de Nayarit.

Las variaciones interanuales de CLO para las costas del Pacifico han sido atribuidas al efecto de los eventos del El Niño/La Niña (Escribano *et al.*, 2004), procesos que modifican la respuesta de los productores primarios en las costas de Nayarit, sin embargo, debido a que las respuestas de los ecosistemas costeros varían según características particulares de cada región, las cuales deben analizarse cuidadosamente.

Dentro de escalas intra-anales, el ciclo estacional es una de las escalas de mayor influencia en las variaciones de la biomasa del fitoplancton (Venegas *et al.*, 2008). La variabilidad de CLO asociada con el ciclo estacional demuestra alta actividad durante invierno y primavera, que se refleja con altas concentraciones de CLO en toda la plataforma continental de Nayarit. Durante el verano, la producción biológica se ve restringida hacia la zona pegada a la costa donde las profundidades son menores a 100 m. Seguido de un incremento en la señal de CLO en la costa durante el otoño. El periodo de alta producción coincide con la etapa fría de la región que inicia en enero y termina en abril (TSM < 21°C). Mientras que, la etapa de baja producción de CLO observada en verano coincide con el periodo del máximo de TSM asociado al ciclo estacional en toda la región. Sin embargo, en la franja costera por encima de la isobata de 50 m durante la etapa cálida, se presentan altas

concentrations of CLO within Bahía de Matanchén and its surroundings, which must be associated to local processes and the coastal dynamic.

concentraciones de CLO dentro de Bahía de Matanchén y en sus inmediaciones, lo cual debe estar asociado a procesos locales y la dinámica costera.

Conclusion

Based on the results of this work, we can conclude that in order to characterize the seasonal variability of the CLO concentration of the continental shelf in front of Nayarit, the method of climatological averages of long climate periods for each month must be used, since the harmonic adjustment of seasonal cycle does not represent an adequate variation on the biomass of the primary products. Nevertheless, in the case of the oceanographic conditions represented by the variations of SST, seasonality is adequately represented by the harmonic adjustment (>90 % of explained variance). Average climatological values of CLO present a high production of phytoplankton during the cold period of the region, while during summer, low concentrations of CLO are present. However, for the most defined coastal strip on the isobaths of 50 m, high concentrations of CLO are observed all year, this corresponds to local processes and high dynamics of the coastal region, which must be studied to understand the mechanisms responsible of maintaining this high biological production.

Conclusión

Con base a los resultados del presente trabajo, se puede concluir que para caracterizar la variabilidad estacional en la concentración de CLO de la plataforma continental frente a Nayarit, se debe utilizar el método de los promedios climatológicos de largo periodo para cada mes, debido a que, el ajuste armónico del ciclo estacional no representa adecuadamente las variaciones en la biomasa de los productores primarios. Sin embargo, en el caso de las condiciones oceanográficas representadas por las variaciones en la TSM, la estacionalidad está adecuadamente representada por el ajuste armónico (>90 % de la varianza explicada). Los valores promedio climatológicos de CLO, presentan una alta producción del fitoplancton durante el periodo frío de la región, mientras que, durante el verano se presentan bajas concentraciones de CLO. Sin embargo, para la franja más costera definida por la isobata de 50 m, se observan altas concentraciones de CLO durante todo el año, esto corresponde a procesos locales y a la alta dinámica de la región costera, la cual debe ser estudiada para entender los mecanismos responsables de mantener esta alta producción biológica.

References

- Beier, E. (1997). A numerical investigation of the annual variability in the Gulf of California. *Journal of Physical Oceanography*, 27(5): 615–632. DOI: [10.1175/1520-0485\(1997\)027<0615:ANIOTA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0485(1997)027<0615:ANIOTA>2.0.CO;2)
- Beron-Vera, F. J. and Ripa, P. (2002). Seasonal salinity balance in the Gulf of California. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 107(C8): 1-15. DOI: [10.1029/2000JC000769](https://doi.org/10.1029/2000JC000769)
- Carr, M. E. and Kearns, E. J. (2003). Production regimes in four Eastern Boundary Current systems. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 50(22-26): 3199-3221. DOI: [10.1016/j.dsr2.2003.07.001](https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2003.07.001)
- Cepeda-Morales, J., Beier, E., Gaxiola-Castro, G., Lavín, M. F. and Godínez, V. M. (2009). Effect of the oxygen minimum zone on the second chlorophyll maximum in the Eastern Tropical Pacific off Mexico. *Ciencias Marinas*, 35(4): 389–403. <http://scielo.unam.mx/pdf/ciemar/v35n4/v35n4a6.pdf>
- Cepeda-Morales, J., Gaxiola-Castro, G., Beier, E. and Godínez, V. (2013). The mechanisms involved in defining the northern boundary of the shallow oxygen minimum zone in the eastern tropical Pacific Ocean off Mexico. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 76: 1-12. DOI: [10.1016/j.dsr.2013.02.004](https://doi.org/10.1016/j.dsr.2013.02.004)
- CONAPESCA. Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca. (2013). Anuario estadístico de Acuicultura y Pesca. 295 pp. Mazatlán, Sinaloa, México. <https://www.gob.mx/conapesca/documentos/anuario-estadistico-de-acuicultura-y-pesca>
- Escribano, R., Daneri, G., Farías, L., Gallardo, V. A., González, H. E., Gutiérrez, D., Lange, C. B., Morales, C. E., Pizarro, O., Ulloa, O. and Braun, M. (2004). Biological and chemical consequences of the 1997-1998 El Niño in the Chilean coastal upwelling system: a synthesis. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 51(20-21): 2389–2411. DOI: [10.1016/j.dsr2.2004.08.011](https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2004.08.011)

- Fiedler, P. C. and Talley, L. D. (2006). Hydrography of the eastern tropical Pacific: A review. *Progress in Oceanography*, 69(2-4):143-180. DOI: [10.1016/j.pocean.2006.03.008](https://doi.org/10.1016/j.pocean.2006.03.008)
- Godínez, V. M., Beier, E., Lavín, M. F. and Kurczyn, J. A. (2010). Circulation at the entrance of the Gulf of California from satellite altimeter and hydrographic observations. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 115(C4): C04007. DOI: [10.1029/2009JC005705](https://doi.org/10.1029/2009JC005705)
- Inda-Díaz, E. A., Domínguez-Ojeda, D., Romero-Bañuelos, C. A., Nieto-Navarro, J. T. and Cepeda-Morales, J. (2013). El zooplancton marino de la costa de Nayarit, México. *Revista Fuente nueva época*, 4(14): 45-57. <http://www.revistafuente.com.mx/images/dmdocuments/14-No.%204%20Zooplancton.pdf>
- Kahru, M., Marinone, S. G., Lluch-Cota, S. E., Pares-Sierra, A. and Greg-Mitchell, B. (2004) Ocean-color variability in the Gulf of California: Scales from days to ENSO. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 51(1-3): 139–146. DOI: [10.1016/j.dsr2.2003.04.001](https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2003.04.001)
- Kessler, W. (2006). The circulation of the eastern tropical Pacific: A review. *Progress in Oceanography*, 69(2-4): 181-217. DOI: [10.1016/j.pocean.2006.03.009](https://doi.org/10.1016/j.pocean.2006.03.009)
- Kurczyn, J. A., Beier, E., Lavn, M., Chaigneau, A. and Godínez, V. M. (2013). Anatomy and evolution of a cyclonic mesoscale eddy observed in the northeastern Pacific tropical-subtropical transition zone. *Journal of Geophysical Research, American Geophysical Union*, 118: 1-20. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00951621>
- Lavín M. F., Beier, E., Gómez-Valdés, J., Godínez, V. M. and Garcia, J. (2006). On the summer poleward coastal current off SW Mexico. *Geophysical Research Letters*, 33(2): L02601. DOI: [10.1029/2005GL024686](https://doi.org/10.1029/2005GL024686)
- León-Chávez C. A., Sánchez-Velasco, L., Beier, E., Lavín, M. F., Godínez, V. M. and Färber-Lorda, J. (2010). Larval fish assemblages and circulation in the Eastern Tropical Pacific in Autumn and Winter. *Journal of Plankton Research*, 32(4): 397-410. DOI: [10.1093/plankt/fbp138](https://doi.org/10.1093/plankt/fbp138)
- López-Sandoval, Daffne C., Lara-Lara, José Rubén, & Álvarez-Borrego, Saúl. (2009a). Phytoplankton production by remote sensing in the region off Cabo Corrientes, Mexico. *Hidrobiológica*, 19(3), 185-192. ISBN 2448-7333. <http://hidrobiologica.izt.uam.mx/index.php/revHidro/article/view/849>
- López-Sandoval, D. C., Lara-Lara, J. R., Lavín, M. F., Álvarez-Borrego, S. and Gaxiola-Castro, G. (2009b). Primary productivity in the eastern tropical Pacific off Cabo Corrientes, Mexico. *Ciencias Marinas*, 35(2): 169-182. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=48013186004>
- Palacios-Hernández, E., Carrillo, L. E., Filonov, A., Brito-Castillo, L. and Cabrera-Ramos, C. E. (2010). Seasonality and anomalies of sea surface temperature off the coast of Nayarit, Mexico. *Ocean Dynamics*, 60(1): 81-91. DOI: [10.1007/s10236-009-0244-z](https://doi.org/10.1007/s10236-009-0244-z)
- Palacios-Hernández, E., Brito-Castillo, L., Carrillo, L. and Tereshchenko, I. (2012). Interannual deviations of long-term data from observations and contrasting with reanalysis data from the oceanic station at Islas Marías, Nayarit, Mexico. *Atmósfera*, 25(4): 355-370. <http://www.revistascca.unam.mx/atm/index.php/atm/article/view/33695/30757>
- Plata, L. and Filonov, A. (2007). Marea interna en la parte noreste de la Bahía de Banderas, México. *Ciencias Marinas*, 33(2): 197-215. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-38802007000200007&lng=es&nrm=iso
- Ripa, P. (1997). Toward a physical explanation of the seasonal dynamics and thermodynamics of the Gulf of California. *Journal of Physical Oceanography*, 27(5): 597–614. DOI: [10.1175/1520-0485\(1997\)027<0597:Tapeot>2.0.co;2](https://doi.org/10.1175/1520-0485(1997)027<0597:Tapeot>2.0.co;2)
- Ripa, P. (2002). Ajuste de datos por cuadrados mínimos. *Ciencias Marinas*, 28(1): 79-105. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=48028107>
- Strub, P. T. and James, C. (2002). Altimeter-derived surface circulation in the large-scale NE Pacific Gyres. Part 1. Seasonal variability. *Progress in Oceanography*, 53(2-4): 163-183. DOI: [10.1016/S0079-6611\(02\)00029-0](https://doi.org/10.1016/S0079-6611(02)00029-0)
- Soto-Mardones, L., Marinoni, S. and Pares-Sierra, A. (1999). Variabilidad espaciotemporal de la temperatura superficial del mar en el Golfo de California. *Ciencias Marinas*, 25(1): 1-30. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=48025101>
- Venegas, R. M., Strub, P. T., Beier, E., Letelier, R., Thomas, A. C., Cowles, T., James, C., Soto-Mardones, L. and Cabrera, C. (2008). Satellite-derived variability in chlorophyll, wind stress, sea surface height, and temperature in the northern California Current System. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 113(C3): C03015. DOI: [10.1029/2007JC004481](https://doi.org/10.1029/2007JC004481)

Zamudio, L., Hurlburt, E. H., Metzger, E. J. and Tilburg, C. E. (2007). Tropical wave-induced oceanic eddies at Cabo Corrientes and the Maria Islands, Mexico. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 112(C5): C05048. DOI: [10.1029/2006JC004018](https://doi.org/10.1029/2006JC004018)

Cite this paper/Como citar este artículo: Cepeda-Morales, J. Hernández-Vásquez, F., Rivera-Caicedo, J., Romero-Bañuelos, C., Inda-Díaz, E., Hernández-Almeida, O. (2017). Seasonal variability of satellite derived *chlorophyll* and sea surface temperature on the continental shelf of Nayarit, Mexico. *Revista Bio Ciencias* 4(6), 17 pages, Article ID: 04.06.07. <http://revistabiociencias.uan.mx/index.php/BIOCIENCIAS/article/view/ID%3A04.06.07>

