

Tlamati Sabiduría



Comportamiento de la temperatura superficial del mar y la clorofila-a bajo condiciones El Niño y La Niña frente a las costas de Guerrero, México

Jesús Guadalupe Padilla-Serrato^{1,2*}

Carlos Valencia-Cayetano²

Rafael Flores-Garza²

Pedro Flores-Rodríguez²

Carmina Torreblanca-Ramírez²

¹Investigadoras e Investigadores por México-SECIHTI. Av. Insurgentes Sur 1582, Col. Crédito Constructor, Demarcación Territorial Benito Juárez, 03940, Ciudad de México, México.

²Facultad de Ecología Marina, Universidad Autónoma de Guerrero. Gran Vía Tropical No. 20, Fraccionamiento Las Playas, 39390, Acapulco, Guerrero, México.

*Autor de correspondencia

jgpaddillaserrato@gmail.com

Resumen

Se evaluaron los efectos de los eventos La Niña y El Niño sobre la temperatura superficial del mar (TSM) y la concentración de clorofila (Chl-a) frente a las costas de Guerrero. Para ello, se emplearon imágenes de satélites obtenidas de la página de la NASA (Ocean color) para obtener series históricas de dichas variables. Se realizó una reconstrucción histórica (2003 a 2015) de la TSM y Chl-a para observar sus fluctuaciones en el tiempo. De esta serie de tiempo, se eligieron los años 2011 (La Niña), 2013 (Normal) y 2015 (El Niño) para determinar el comportamiento de las anomalías TSM y la concentración de Chl-a. Utilizando el método de Kriging se realizó una interpolación para determinar de manera espacial las anomalías de la TSM y concentración de Chl-a frente a las costas de Guerrero. Así mismo, un análisis de correlación de Spearman fue realizado para determinar si la concentración de Chl-a se relaciona con la TSM y su anomalía. La TSM mostró un aumento sostenido del 2003 al 2015 en las costas de Guerrero. La Chl-a presentó fluctuaciones entre los años con picos mayores y menores como respuesta a los eventos de El Niño y La Niña. De manera espacial fue evidente que las anomalías negativas de TSM durante La Niña fueron mayores en los primeros meses del año en la porción noroeste de las costas de Guerrero, mientras que durante el evento El Niño las anomalías positivas mayores a los 0.5° C se observaron en la mayor parte de las costas de Guerrero. La concentración de Chl-a fue mayor durante el evento La Niña y disminuyeron significativamente durante El Niño. Los análisis de correlación de Spearman mostraron una relación negativa con la TSM y sus anomalías. En este estudio se reportan por primera vez los efectos que tienen los eventos de La Niña y El Niño en la productividad primaria de las costas de Guerrero.

Palabras clave: El Niño, La Niña, Clorofila-a, Temperatura superficial del mar, Costa de Guerrero.

Información del Artículo

Cómo citar el artículo:

Padilla-Serrato, J.G., Valencia-Cayetano, C., Flores-Garza, R., Flores-Rodríguez, P., Torreblanca-Ramírez, C. (2025). Comportamiento de la temperatura superficial del mar y la clorofila-a bajo condiciones El Niño y La Niña frente a las costas de Guerrero, México. *Tlamati Sabiduría*, 22, 27-38.

Editores invitados: Dr. Rufino Morales-Azpetia y Dr. Carlos Rábago-Quiroz



© 2025 Universidad Autónoma de Guerrero

Abstract

The effects of La Niña and El Niño events on sea surface temperature (SST) and chlorophyll concentration (Chl-a) were evaluated off the coast of Guerrero. For this purpose, satellite images obtained from NASA's web page (Ocean color) were used to obtain historical series of these variables. A historical reconstruction (2003 to 2015) of SST and Chl-a was performed to observe their fluctuations over time. From this time series, the years 2011 (La Niña), 2013 (Normal) and 2015 (El Niño) were chosen to determine the behavior of SST anomalies and Chl-a concentration. Using the Kriging method, an interpolation was performed to determine spatially the SST anomalies and Chl-a concentration off the coast of Guerrero. Likewise, a Spearman correlation analysis was performed to determine if Chl-a concentration is related to SST and its anomaly. SST showed a sustained increase from 2003 to 2015 along the coast of Guerrero. Chl-a fluctuated between years with higher and lower peaks in response to El Niño and La Niña events. Spatially, it was evident that the negative SST anomalies during La Niña were greater during the first months of the year in the northwestern portion of the coasts of Guerrero, while during the El Niño event, positive anomalies greater than 0.5° C were observed along most of the coasts of Guerrero. The concentration of Chl-a was higher during the La Niña event and decreased significantly during El Niño. Spearman correlation analyses showed a negative relationship with SST and its anomalies. This study reports for the first time the effects of La Niña and El Niño events on the primary productivity of the coasts of Guerrero.

Keywords: El Niño, La Niña, Chlorophyll-a, Sea surface temperature, Coast of Guerrero.

Introducción

El ciclo de El Niño y La Niña son los componentes más conocidos en la variabilidad climática natural interanual, cuya señal se percibe en diferentes regiones del planeta. Se destacan por generar marcadas oscilaciones en las variables climatológicas, por ejemplo, en la temperatura del aire, precipitación, cambios en las corrientes oceánicas, etc. (Pabón-Caicedo y Montealegre-Bocanegra, 2017; Hidayat *et al.*, 2025; Morley *et al.*, 2025). El Niño (EN) se caracteriza por causar un aumento de la temperatura superficial del mar (TSM) en la región del Pacífico ecuatorial (Gajardo *et al.*, 2013), afectando las costas de Chile, Perú, Ecuador, Colombia, Centro América y México (Rodríguez, 2004; Gaxiola-Castro *et al.*, 2008); en cambio, La Niña (LN) provoca una disminución de la TSM en las mismas áreas (Escalante *et al.*, 2013; Gajardo *et al.*, 2013).

Los efectos de El Niño incluyen cambios ambientales como: calentamiento de la capa de mezcla, aumento del nivel medio del mar, aumento del flujo geostrófico hacia los polos, cambios en los patrones de circulación, vientos más débiles, hundimiento de la termoclina, disminución en el enriquecimiento del agua y disminución en la productividad primaria (fitoplancton) (Escalante *et al.*, 2013; Gajardo *et al.*, 2013). Por otro lado, durante La Niña afloran aguas subsuperficiales más frías de lo normal (García-Díaz *et al.*, 2008; Calvo-Vargas *et al.*, 2014), provocando que la corriente fría de Humboldt fluya a lo largo de la costa sudamericana, transportando aguas ricas en nutrientes que propician un aumento de la producción primaria (Gajardo *et al.*, 2013). Los efectos de La Niña son los menos estudiados, sin embargo, esta fase se caracteriza por una intensificación de los vientos alisios, un enfriamiento de la capa superficial del mar en el Pacífico Oriental Tropical-Subtropical, una presión atmosférica muy baja cerca de Darwin (Australia) y una presión muy alta cerca de las Islas Tahití (García-Morales *et al.*, 2017; Holbrook *et al.*, 2020; Lehodey *et al.*, 2020).

La productividad primaria en los océanos es generada por diminutos organismos autótrofos que conforman el fitoplancton y son un elemento fundamental para la entrada de energía en los ecosistemas marinos (Montecino y Pizarro, 2006), debido a que la producción primaria proviene del proceso de fotosíntesis. La importancia del fitoplancton radica en que son la base principal de las redes tróficas de los ecosistemas pelágicos del océano y son el alimento para los siguientes eslabones de la trama trófica (Pérez-Arvizu *et al.*, 2013). En zonas con altas concentraciones de fitoplancton se ven beneficiadas, por ejemplo, las comunidades de invertebrados, peces, aves y mamíferos (Uitz *et al.*, 2015), provocando la presencia de recursos con importancia para la pesca.

Actualmente, a partir del uso de sensores satelitales que captan el color del océano, ha sido posible estimar la TSM y la biomasa de fitoplancton (cuantificada como Clorofila-a) a grandes escalas espaciales, con base en esta información es posible conocer la variabilidad causada por patrones climáticos a gran escala como El Niño y La Niña. Los resultados de la información del color del océano han revolucionado el campo de la oceanografía biológica, con importantes contribuciones a la biogeoquímica, oceanografía física, modelos del sistema oceánico, pesquerías y manejo costero (Platt *et al.*, 2008).

El objetivo principal de este trabajo es reportar por primera vez el comportamiento de la TSM y la concentración de clorofila (productividad primaria) frente a las costas de Guerrero durante condiciones normales y durante años catalogados como eventos El Niño y La Niña, lo anterior con el fin de determinar la variabilidad en la concentración de clorofila-a y TSM de manera espacial en respuesta a estas dos condiciones.

Metodología

Para el propósito de esta investigación, se tomaron dos patrones climáticos, observados de acuerdo con el Índice Oceánico El Niño (ONI) (NOAA, 2023), La Niña durante

el año 2011 y El Niño de 2015. Para fines comparativos se utilizó el año 2013 el cual fue considerado como un año con condiciones normales. El área analizada abarcó el frente costero del estado de Guerrero hasta una distancia aproximada de los 280 km en su distancia máxima a partir de la línea de costa (Figura 1).

Se procesaron imágenes de satélite mensuales de la temperatura superficial del mar (TSM) y clorofila-a (Chl-a) del sensor Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer que navega en el satélite Aqua (Earth Observing System PM) (Aqua-MODIS). Los datos abarcaron los años de 2003 a 2015, y fueron descargados de la página con acceso gratuito de la NASA (<https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>). Estas imágenes tienen una resolución de 4x4 km², nivel 3 de procesamiento (L3), y contienen información bytes-formato valor, posición geográfica y filtros para remover la información no útil. Los datos TSM corresponden a la radiación de 11 µm en periodo diurno y se expresan en °C. Los datos de Chl-a se expresan en mg m⁻³. Las imágenes descargadas fueron importadas y procesadas en el programa R (R Core team, 2021) utilizando la librería Satin con la función read.nasaoc(). Una vez graficada y procesada la imagen los datos se guardaban y exportaban en .csv para posteriormente procesarla en Excel.

Se realizó una reconstrucción de serie de tiempo (periodo 2003-2015) de la TSM y Chl-a. Para cada variable se estimaron las anomalías estandarizadas (z), las cuales representan la separación de un valor con respecto a la media durante cierto periodo de referencia. La anomalía estandarizada z, fue calculada de la siguiente manera:

$$z = \frac{x_i - x_p}{\sigma}$$

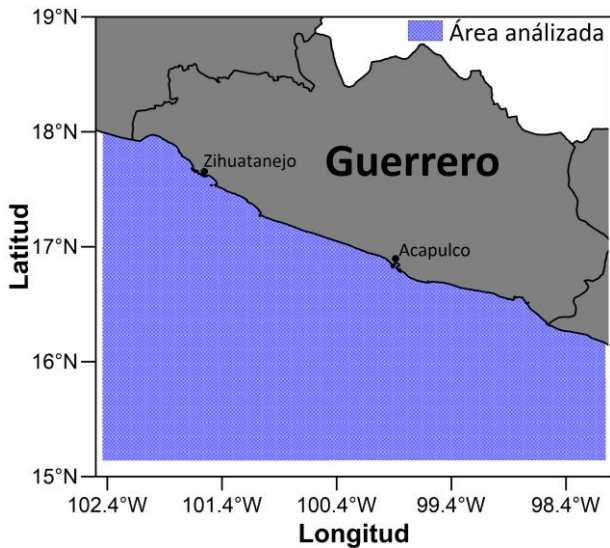


Figura 1. Área de estudio. Se muestra el área que fue analizada frente a las costas de Guerrero,

donde x_i es el dato del mes i , x_p es el promedio de todos los meses i (el promedio de un mes en todos los años de estudio) y σ es la desviación estándar.

Las TSM de 2011, 2013 y 2015 fueron representadas mensualmente con gráficos de caja y bigotes, lo que permitió determinar gráficamente la asimetría de las distribuciones con respecto a la posición de la media y la ubicación de los cuartiles 25% -75% respecto al rango de valores extremos. La Chl-a fue representada con gráficas de promedio con su desviación estándar (DE) de manera mensual. Los análisis y gráficos anteriormente mencionados fueron realizados con el software GraphPAD Prism 8.

De los datos de TSM y Chl-a se compararon los mismos meses entre los años 2011, 2013 y 2015, tomando 2013 como un año de condiciones normales, esto para determinar si el mismo mes mostraba diferencias entre los años. Debido a que la distribución de los datos de TSM y Chl-a no presentaron normalidad, la prueba de Kruskal-Wallis fue utilizada para determinar diferencias entre años y meses (Zar, 2010), posteriormente se utilizó la prueba pos hoc de U de Mann-Whitney con la corrección de Bonferroni (Zar, 2010) para hacer comparaciones entre pares, esto con la ayuda del software IBM-SPSS Statistics versión 25.

Las anomalías de TSM y los datos de concentración de Chl-a para 2011, 2013 y 2015, fueron interpolados utilizando el método de Kriging (Armstrong, 1998) con la ayuda del software Surfer 16 (Surfer® from Golden Software, LLC). El método de Kriging utilizado fue el ordinario, el cual asume que el proceso es estacionario y tiene una media constante pero desconocida, este también propone que el valor de la variable en un punto cualquiera dentro del polígono se puede predecir como una combinación lineal de las n variables aleatorias (Armstrong, 1998). Cada interpolación fue realizada de manera mensual para visualizar el comportamiento de las anomalías de TSM y la concentración de Chl-a de manera espacial y temporal.

Utilizando los promedios mensuales de TSM y Chl-a de los periodos de 2003 a 2015, y debido a que no se encontró normalidad en los datos, se aplicó un análisis de Correlación de Spearman (Daniel, 2004) para determinar si la TSM y sus anomalías estaban relacionadas con la concentración de Chl-a. El análisis se realizó de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum d^2}{n(n^2 - 1)}$$

donde ρ es el coeficiente de correlación de Spearman, d es la diferencia entre los correspondientes datos de orden $x - y$, y n es el número de pareja de datos. Para determinar la significancia del Coeficiente de Correlación de Spearman, se estandarizaron los valores de ρ a un valor de t de student, la misma que se distribuye con $n - 2$ grados

de libertad (Apaza-Zuñiga *et al.*, 2022). El estadístico t se utilizó para someter a prueba la hipótesis $H_0: \rho = 0$ (no existe correlación lineal), dado que H_0 sea cierto. El valor de probabilidad de significancia para el Coeficiente de Correlación de Spearman fue determinado a través de la siguiente ecuación:

$$t = \frac{\rho}{\sqrt{\frac{1-\rho^2}{n-2}}} \rightarrow t_{\alpha/2, n-2}$$

donde ρ es el Coeficiente de Correlación de Spearman, t fue contrastado con valores de la tabla: *Percentiles de la distribución t de Student* para infinitos grados de libertad, para una prueba bilateral. Este análisis se realizó en Microsoft Excel.

Resultados

La reconstrucción mensual histórica de la TSM frente a las costas de Guerrero, muestran una tendencia al aumento

a través de los años, con fluctuaciones en el tiempo debido a respuestas al ciclo de El Niño y La Niña (Figura 2a) esto explicado por las anomalías calculadas para los diferentes años (Figura 1b). En el año 2011 durante el evento La Niña, y de acuerdo con nuestros análisis, frente a las costas de Guerrero se observaron anomalías negativas que alcanzaron valores alrededor de $-1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$. En cambio, durante 2015 en el evento El Niño, los meses de abril, mayo y el periodo de agosto a diciembre presentaron anomalías positivas mayores a $1\text{ }^{\circ}\text{C}$, con el mayor valor en el mes de diciembre ($1.93\text{ }^{\circ}\text{C}$) (Figura 2b).

La reconstrucción mensual histórica de la Chl-a mostró fluctuaciones entre los años del periodo de estudio, con picos mayores durante los primeros meses de cada año. Se pudieron observar las mayores concentraciones de Chl-a durante los últimos meses de 2010, inicios de 2011 y 2012 (Figura 2c). En 2015 se observaron las concentraciones menores de Chl-a (Figura 2c). Lo anterior se ve reflejado en anomalías positivas de Chl-a durante 2011 y negativas durante 2015 (Figura 2d).

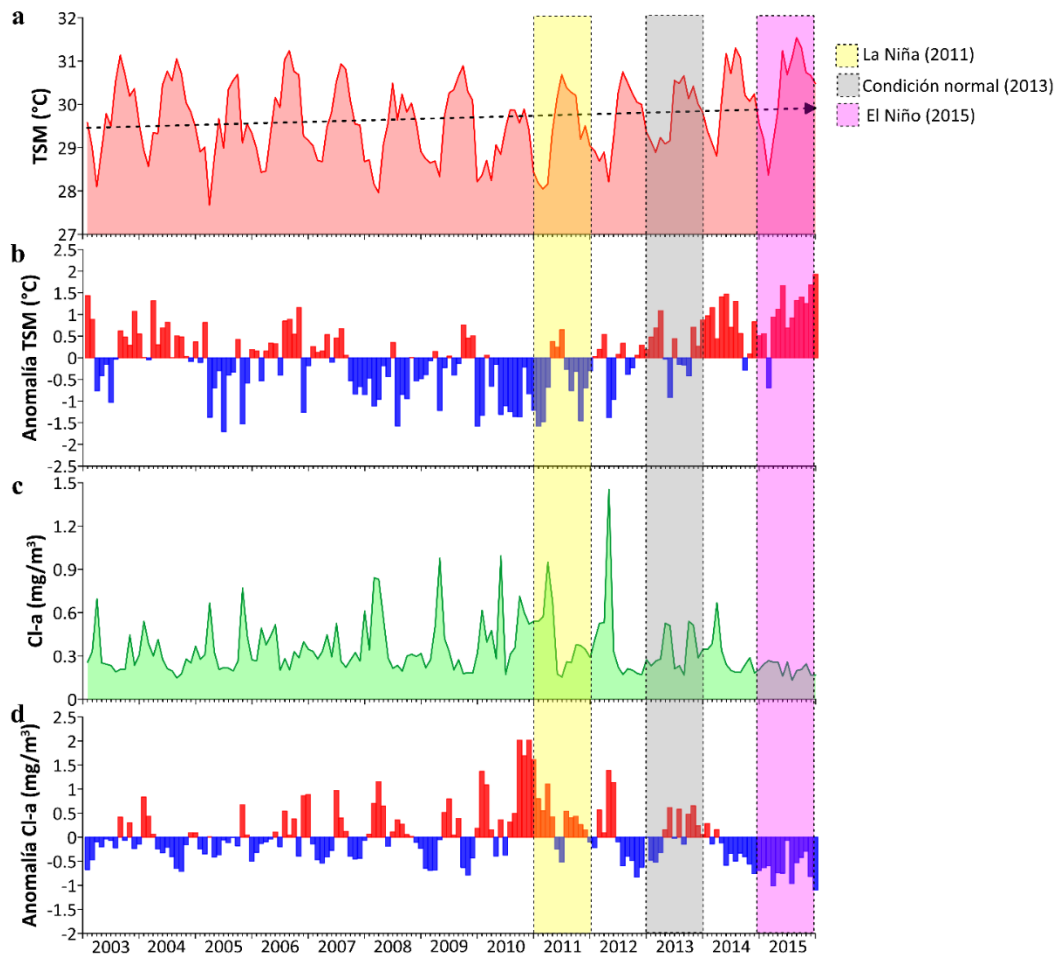


Figura 2. Comportamiento histórico (2003-2015) de la temperatura superficial del mar (TSM) (a), anomalías de la TSM (b), clorofila (Chl-a) (c) y anomalías de la Chl-a (d), en las costas de Guerrero.

El comportamiento de la temperatura en 2011, 2013 y 2015 representado por los gráficos de caja y bigote mostró diferencias. Lo anterior fue corroborado con el análisis de Kruskal-Wallis a observar diferencias significativas entre los años ($P < 0.05$). La comparación de la TSM entre los meses también mostró diferencias significativas ($P < 0.05$). Estas comparaciones por pares indicaron que enero de 2011 no mostró diferencias con febrero 2011, marzo 2011 y febrero 2015, y marzo 2011 no fue diferente a febrero 2015 ($P > 0.05$).

En 2011 los rangos de TSM de los meses de enero (25.3-28.9°C), febrero (26-29.5°C), marzo (25.7-29.3°C), octubre (28.5-30.4°C), noviembre (28.1-29.6°C) y diciembre (27.7-29.6°C), fueron menores en comparación con los mismos meses del año 2013 el cual se considera un año de condiciones normales, estas diferencias fueron entre 0.6 y 1.7°C (Figura 3a). En 2015, la mayor temperatura se registró en junio con 33.9°C, fue evidente la presencia de aguas más cálidas desde abril a diciembre en comparación con el 2013 (Figura 3a), con diferencias de 0.45 a 2.8°C.

La concentración de Chl-a entre los años (2011, 2013 y 2015), mostró diferencias significativas (Kruskal-Wallis, $P < 0.05$). En las comparaciones entre meses, solo no se observaron diferencias entre junio 2011 y mayo 2015, y entre mayo y noviembre 2015 (Kruskal-Wallis, $P > 0.05$).

La concentración de clorofila (Chl-a) fue mayor durante los primeros cuatro meses de 2011, enero mostró rangos entre 0.17 a 19.48 mg/m³ (promedio $\bar{X} = 0.54 \pm 1.0$ mg/m³ DE [Desviación estándar]), febrero de 0.14 a 18.1 mg/m³ ($\bar{X} = 0.58 \pm 1.2$ mg/m³ DE), marzo de 0.13 a 19.63 mg/m³ ($\bar{X} = 0.97 \pm 2.2$ mg/m³ DE) y abril de 0.11 a 13.52 mg/m³ ($\bar{X} = 0.68 \pm 1.3$ mg/m³ DE). Los valores promedios mostrados anteriormente durante los primeros cuatro meses son mayores en comparación con los mismos meses del año 2013, lo que sugiere una concentración mayor de Chl-a durante un evento La Niña (Figura 3b). Por otro lado, las concentraciones de Chl-a durante el evento El Niño (2015), fueron menores y menos variables en comparación con los años 2011 y 2013 (Figura 3b).

De acuerdo con el comportamiento espacial de las anomalías de TSM, durante los meses de enero, febrero, marzo, agosto, octubre, noviembre y diciembre de 2011, se observaron anomalías negativas mayores -0.5°C (Figura 4); es importante mencionar que, durante enero de 2011 en la porción noroeste del área de estudio se observaron las menores anomalías, con valores entre -2.4 y -3.1°C (Figura 4). Durante 2015, observamos que, durante marzo, abril, mayo, y de julio a diciembre, las anomalías estuvieron por arriba de los 0.5°C en la mayor parte de las costas de Guerrero (Figura 4). En mayo se pudo observar masas de agua con anomalías de 2 y 2.8°C

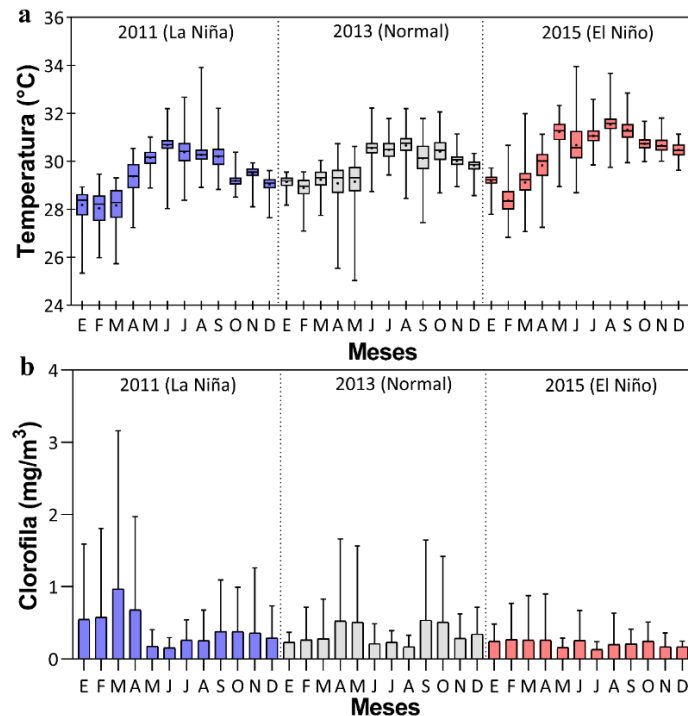


Figura 3. Comportamiento mensual de la temperatura (a) y clorofila promedio (b), durante 2011 (La Niña), 2013 (condiciones normales) y 2015 (El Niño), en las costas de Guerrero. Las barras indican valores promedios (\bar{X}) y la barrar de error representa la desviación estándar (DE).

en la porción sur, mientras que en septiembre estos mismos valores fueron observados en la parte noroeste y oeste del frente costero (Figura 4).

La distribución espacial de la Chl-a en el área de estudio mostró mayores concentraciones en las zonas cercanas a la costa (Figura 5). El comportamiento de Chl-a durante 2011 (La Niña), mostró una ampliación del área con mayores concentraciones de Chl-a frente a la costa en comparación con el año 2013 (bajo condiciones normales), esto se observó de enero a abril, los meses con los mayores valores de anomalías negativas de TSM (Figura 5). Por otro lado, en 2015 (El Niño), se pudo observar una disminución en el área de cobertura de concentración de Chl-a en comparación con 2011 y 2013, esto fue más evidente en los meses de mayo, julio, noviembre y diciembre (Figura 5). Es importante mencionar que

durante junio de 2015 se pudo observar la presencia de concentraciones entre 0.9 y 3.5 mg/m³ en la región sur a una distancia lejana de la costa central de Guerrero (Figura 5), comportamiento que no se observó durante 2011 y 2013.

El análisis de correlación de Spearman mostró una correlación negativa entre la TSM y la concentración de Chl-a ($\rho = -0.67$) y la prueba estadística t mostró que el coeficiente de relación es diferente de 0 ($t = -11.3$, $P < 0.05$) (Figura 6a). Por otro lado, la correlación entre la anomalía de TSM y la concentración de Chl-a también mostró una correlación negativa ($\rho = -0.40$), y la prueba estadística t mostró que la correlación es diferente de 0 ($t = -5.3$, $P < 0.05$) (Figura 6b).

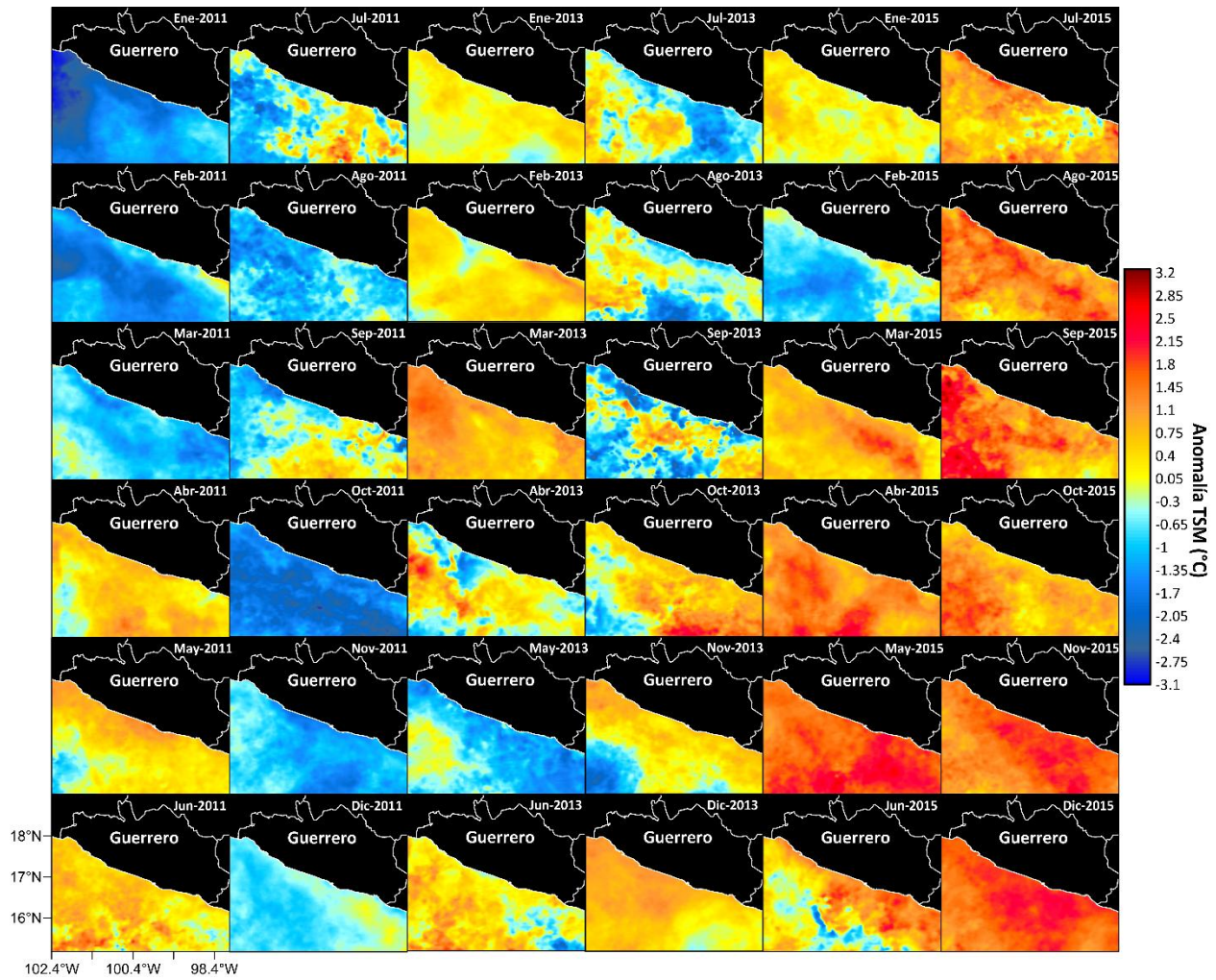


Figura 4. Distribución espacial de las anomalías de la temperatura superficial del mar (TSM) frente a las costas de Guerrero para el evento La Niña (2011), condiciones normales (2013) y evento El Niño (2015).

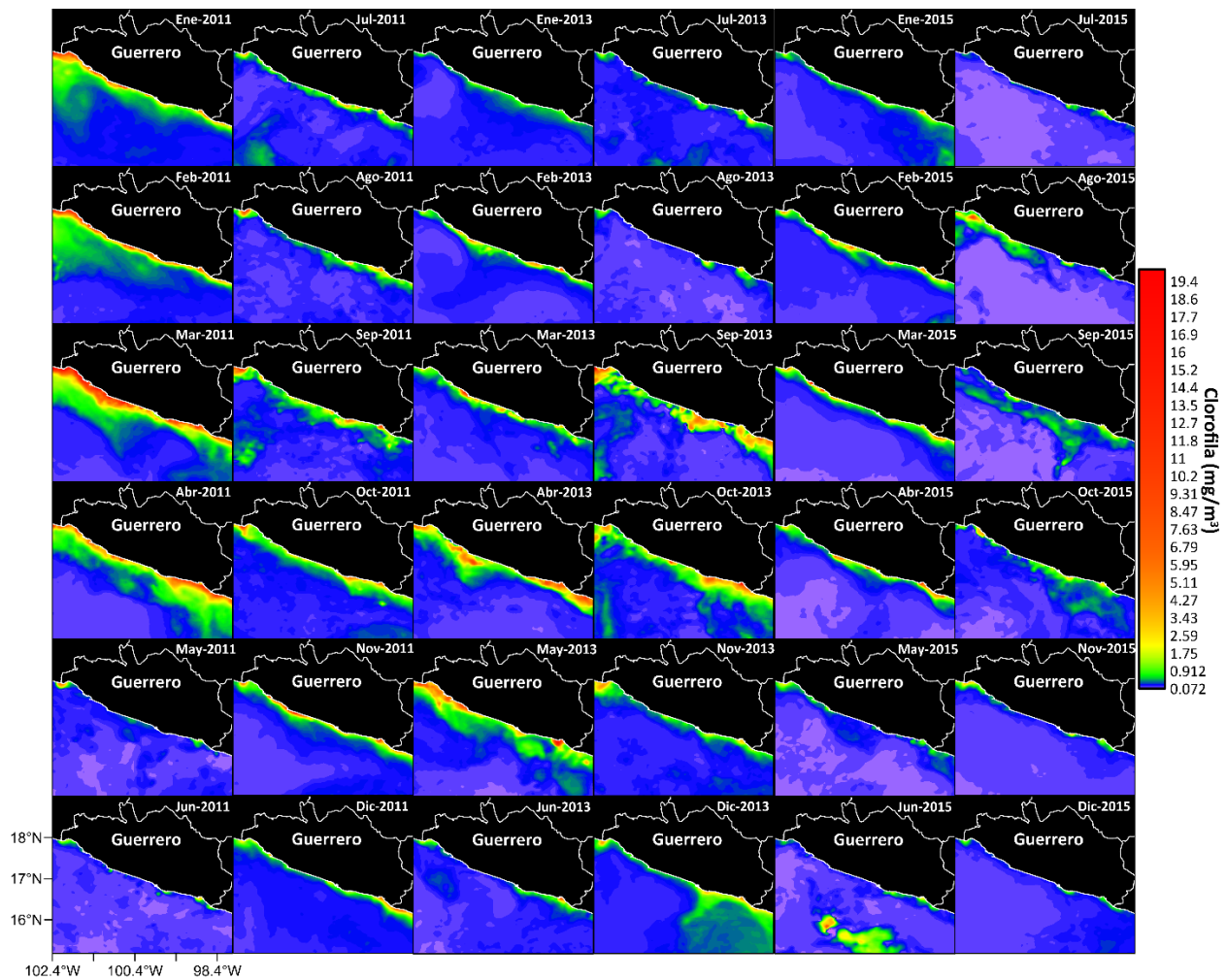


Figura 5. Distribución espacial de la concentración de clorofila-a (Chl-a) en el frente costero de Guerrero durante el evento La Niña (2011) condiciones normales (2013) y evento El Niño (2015).

Discusión

El comportamiento histórico de la TSM frente a las costas de Guerrero muestra un aumento sostenido, que al parecer es monótonico. Sin embargo, existen fluctuaciones bien definidas, creando diferencias entre los años como respuesta a los eventos ENSO. La tendencia histórica de un aumento de la TSM a través de los años ha sido proyectada, [Hidalgo et al. \(2021\)](#) realizaron una proyección de la TSM desde los años de 1979 a 2099 en La Cruz Guanacaste, Costa Rica, ellos observaron una tendencia de un aumento gradual de manera monótonica de la TSM, que muy probablemente es lo que sucede frente a las costas de Guerrero.

El conocimiento de la concentración, distribución espacial y temporal de la Chl-a, es una forma de entender y conocer los sitios con mayores concentraciones de fitoplancton, lo que resulta de suma importancia debido a que son los responsables de aportar la energía necesaria

para los ecosistemas ([Cepeda-Morales et al., 2017](#); [Domínguez-Hernández et al., 2020](#)). En este trabajo, durante 2013 (condiciones normales) pudimos ubicar que las zonas con mayor concentración de Chl-a ocurren en las partes cerca de la costa de la porción noroeste y sureste de la costa de Guerrero. Por otro lado, el comportamiento histórico de las concentraciones de Chl-a frente a las costas de Guerrero, se mantiene fluctuante con variaciones a través del tiempo, también se pudo definir que las mayores concentraciones se relacionan con los eventos fríos (La Niña), y las menores responden a eventos cálidos (El Niño). Durante los eventos El Niño se ha evidenciado que decrece el volumen de fitoplancton (que define la concentración de Chl-a), [Cervantes-Duarte et al. \(2021\)](#) en la Bahía de La Paz BCS, [Farach-Espinoza et al. \(2021\)](#) y [López-Martínez et al. \(2023\)](#) en Golfo de California, observaron que la Chl-a durante los eventos El Niño disminuye su concentración. Si observamos la figura 2c, durante 2015 la Chl-a mostró sus valores más bajos en

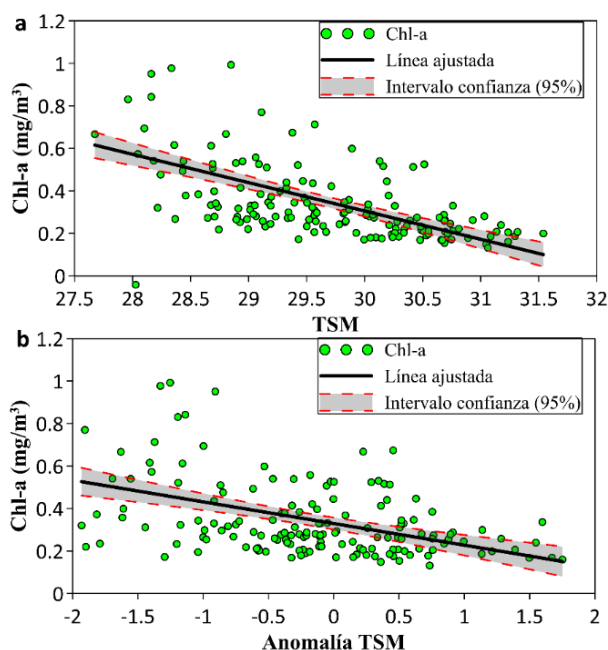


Figura 6. Análisis de correlación de Spearman entre la temperatura superficial del mar (TSM) y sus anomalías contra la concentración de clorofila-a (Chl-a).

durante todo el periodo histórico, esto debido a que durante ese año el evento El Niño fue el más intenso registrados en las últimas décadas (Coria-Monter *et al.*, 2018). Recientemente el comportamiento de las mayores concentraciones de Chl-a durante los eventos La Niña han sido documentados frente a las costas de Sonora, Sinaloa (Espinosa-Carreón y Valdez-Holguín, 2007), Nayarit (Cepeda-Morales *et al.*, 2017) y el Golfo de California (Farach-Espinoza *et al.*, 2021; López-Martínez *et al.*, 2023), por lo que existe una influencia interanual de valores altos que son favorecidos por este evento.

Para el periodo de marzo a mayo las concentraciones de Chl-a son respuesta a las altas concentraciones influenciadas por las surgencias costeras, que suceden con una mayor intensidad durante el periodo de primavera, esto también se ha observado en las costas de Sonora y Sinaloa (Badan-Dagon *et al.*, 1985; Espinosa-Carreón y Valdez-Holguín, 2007). También el comportamiento de los picos de Chl-a en primavera y verano-otoño observados en las costas de Guerrero, coincide con lo reportado por Domínguez-Hernández *et al.* (2020) para las costas del Pacífico Oriental Tropical (POT). Consideramos que las altas concentraciones de Chl-a frente a las costas de Guerrero en verano-otoño, responden a la influencia de las temporadas de lluvia que ocurren entre junio y septiembre, estas precipitaciones pueden ocasionar descargas pluviales que influyen en la alta productividad en las zonas costeras (Domínguez-Hernández *et al.*, 2020). Meave-del Castillo *et al.* (2012)

mencionan que, la eutrofización de la Bahía de Acapulco y Puerto Marqués en Guerrero ocurre principalmente por la descarga de arroyos temporales que bajan de las montañas durante la época de precipitaciones.

Durán-Campos *et al.* (2023) observaron que durante los eventos El Niño los eventos de las surgencias disminuyen, pero durante La Niña estas son más intensas; este comportamiento fue evidente al estimar el índice de surgencia costera (ISC). Lo anterior explicaría las diferencias de concentraciones de Chl-a entre los años 2011 (La Niña) y 2015 (El Niño) observadas en el frente costero de Guerrero. Los valores bajos de Chl-a se han asociado con el aumento de la TSM durante los fenómenos El Niño (Durán-Campos *et al.*, 2023), lo que fue evidente para el año 2015 en las costas de Guerrero. Huyer y Smith (1985) mencionan que, durante El Niño la termoclina se hunde, al suceder esto la temperatura de la capa superficial aumenta, lo que ocasiona que durante este periodo las surgencias transporten agua cálida a la superficie y con baja concentración de nutrientes provocando una disminución de la productividad primaria.

En uno de los eventos El Niño más fuertes registrado en el océano Pacífico en el periodo 1997-98, las aguas cálidas provocaron una baja productividad primaria (Lynn *et al.*, 1998). Posterior a este evento, se presentó un periodo de transición hacia aguas frías (evento La Niña), esto incrementó la productividad primaria (Hayward *et al.*, 1999). Según nuestros resultados fue evidente que, frente a las costas de Guerrero el aumento de la TSM (durante El Niño) provocó baja productividad primaria, y en contraparte el aumento de la productividad primaria respondió al evento de La Niña.

En una evaluación del impacto de El Niño durante 2015-2016, evento apodado El Niño “Godzilla” debido a su gran magnitud, se observó un impacto reducido en el sur del Golfo de California, donde se identificó que en febrero de 2015 las concentraciones de Chl-a fueron mayores que las de 2014 (Coria-Monter *et al.*, 2018). Sánchez-Velasco *et al.* (2017), observaron que las concentraciones de larvas de peces fueron altas en el Pacífico Oriental Tropical frente a México durante El Niño “Godzilla”, sin embargo, este resultado inesperado lo asocian a que algunas de las especies de afinidad tropical tienen una alta tolerancia a una TSM más cálidas. No obstante, se ha registrado que durante los eventos cálidos del ENSO puede existir cambios en la composición y abundancia de la biomasa zooplanctónica (Sánchez-Velasco *et al.*, 2000; Lavaniegos *et al.*, 2002). De acuerdo con Lavaniegos *et al.* (2002), esta disminución se debe a que los componentes del zooplancton reducen o inhiben sus tasas de reproducción bajo estrés térmico y condiciones tróficas cambiantes como la disponibilidad de alimento, lo que afectaría directamente las redes tróficas marinas. Con base en lo anterior y nuestros resultados, fue evidente una menor concentración de Chl-a durante el evento del año 2015 (El Niño “Godzilla”), lo que podría estar afectando la biomasa zooplanctónica y el resto de la estructura trófica.

Los efectos de El Niño y La Niña afectan indirectamente el nivel del mar, esto como una respuesta a cambios en la aparición e intensidad de tormentas como ciclones tropicales (Chand *et al.*, 2013). Otro de los impactos del ENSO en zonas tropicales, es la afectación de los sistemas de manglares; Drexler y Ewel (2007) demostraron en Micronesia que los manglares respondieron negativamente a una sequía ocasionada por El Niño de 1997-1998, esta sequía ocasionó un aumento de la salinidad del mar, afectando de manera parcial la estructura y funcionamiento de los bosques de manglares, demostrando que estos sistemas son vulnerables a los impactos de tales fluctuaciones a corto plazo. Por otro lado, en los impactos biológicos existen impactos negativos en la abundancia y distribución de los peces (Kumar *et al.*, 2014). El resultado de los análisis de las variables pesqueras y medioambientales han demostrado que la distribución y abundancia del atún están estrechamente relacionadas con los cambios físicos del océano (Kumar *et al.*, 2014). En nuestro trabajo encontramos que el cambio de la biomasa fitoplanctónica (expresada en concentración de Chl-a) responde significativamente a los eventos El Niño frente a la zona costera de Guerrero. Por otro lado, existe evidencia científica que los fenómenos ENSO o el cambio climático ya está alterando los ecosistemas marinos (Lehodey *et al.*, 1997, 2003; Nicol *et al.*, 2013; Amelia, 2022; islam, 2025). Como observamos en nuestro estudio, la producción primaria es afectada por el aumento de la temperatura oceánica, y este aumento asociado a la mayor estratificación de la columna de agua y cambios de intensidad y momento de las surgencias costeras, también afectan la producción secundaria, esta serie de cambios físicos repercutirá en la migración de peces, el reclutamiento, crecimiento, distribución, abundancia y relación entre depredadores y presas (Sissener y Bjorndal, 2005; McIlgorm *et al.*, 2010; Castrejón *et al.*, 2024).

Conclusiones

Es muy importante que se profundice en los estudios de la respuesta de las TSM y Chl-a frente a las costas del Pacífico Sur Mexicano. En este sentido, este estudio es uno de los primeros que se realiza para las costas de Guerrero, y su importancia radica en que se reportan por primera vez en esta zona los efectos que tienen los eventos de La Niña y El Niño en las concentraciones de Chl-a. Nuestros resultados demuestran, que en eventos con anomalías negativas (eventos fríos-La Niña) las concentraciones de Chl-a son mayores, caso contrario a lo observado durante los eventos con anomalías positivas (eventos cálidos-El Niño), esto fue comprobado con el análisis de correlación (figura 5). Los eventos El Niño y La Niña traen efectos físicos y biológicos en los ecosistemas marinos, y los frentes costeros del estado de Guerrero no son la excepción, por lo que pudiera estar teniendo efectos en la flora y fauna marina que integran sus ecosistemas. El aumento sostenido de la TSM

provocará un calentamiento de las aguas de los frentes costeros de Guerrero. De acuerdo con nuestros resultados que demuestran que durante los eventos El Niño la concentración de Chl-a disminuye, a un futuro el calentamiento de las aguas oceánicas por efecto del calentamiento global ocasionaría disminución de la productividad primaria provocando un impacto significativo en las redes tróficas marinas. Esto provocaría cambios en la abundancia y distribución de especies de importancia ecológica y pesquera.

Agradecimientos

Este trabajo forma parte del proyecto del programa Investigadoras e Investigadores por México No. 402. Diversidad, distribución y ecología reproductiva de moluscos en el Pacífico Transicional Mexicano. CVC agradece al SECIHTI por la beca otorgada para realizar sus estudios de posgrado. A la página de Ocean Color (NASA) por dar acceso a las imágenes de satélite para realizar la presente investigación. A los dos revisores anónimos por sus observaciones y sugerencias que fueron importantes para mejorar este manuscrito.

Referencias

- Amelia, J. (2022). Effects of climate change on oceans. *Journal of Climatology and Weather Forecasting*, 10, 001-003.
- Apaza-Zuñiga, E., Cazorla-Chambi, S., Condori-Carbajal, C., Arpasi-Meléndez, F.R., Tumi-Figueroa, I., Yana-Viveros, W., Quispe-Coaquira, J.E. (2022). La Correlación de Pearson o de Spearman en caracteres físicos y textiles de la fibra de alpacas. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Peru*, 33, e22908. <https://doi.org/10.15381/rivep.v33i3.22908>
- Armstrong, M. (1998). *Basic Linear Geostatistics*. Springer Berlin, Heidelberg. 155p.
- Badan-Dangon, A., Koblinsky, D.J., Baumgartner, T. (1985). Spring and summer in the Gulf of California: observations of surface thermal patterns. *Oceanologica Acta*, 8, 13-22.
- Calvo-Vargas, E., Boza-Abarca, J., Berrocal-Artavia, K. (2014). Efecto de El Niño y La Niña sobre el comportamiento del microfitoplancton marino y las variables fisicoquímicas durante el 2008 a 2010 en el Golfo de Nicoya, Costa Rica. *Revista de Ciencias Marinas y Costeras*, 6, 115-133. <http://dx.doi.org/10.15359/revmar.6.8>
- Castrejón, M., Pittman, J., Ramírez-González, J., Defeo, O. (2024). An overview of social-ecological impacts of the El Niño-Southern Oscillation and climate change on Galapagos small-scale fisheries. *Ocean and Coastal Management*, 259, 107436. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2024.107436>
- 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, 1-17.
<https://doi.org/10.15741/revbio.04.06.07>
- Cervantes-Duarte, R., González-Rodríguez, E., Funes-Rodríguez, R., Ramos-Rodríguez, A., Torres-Hernández, M.Y., Aguirre-Bahena, F. (2021). Variability of Net Primary Productivity and Associated Biophysical Drivers in Bahía de La Paz (Mexico). *Remote Sensing*, 13, 1644.
<https://doi.org/10.3390/rs13091644>
- Chand, S.S., McBride, J.L., Tory, K.J., Wheeler, M.C., Walsh, K.J.E. (2013). Impact of Different ENSO regimes on southwest Pacific tropical cyclones. *Journal of Climate*, 26, 600-608.
<https://doi.org/10.1175/JCLI-D-12-00114.1>
- Coria-Monter E., Monreal-Gómez, M.A., Salas de León, D.A., Durán-Campos, E. (2018). Impact of the “Godzilla El Niño” Event of 2015–2016 on Sea-Surface Temperature and Chlorophyll-a in the Southern Gulf of California, Mexico, as Evidenced by Satellite and In Situ Data. *Pacific Science*, 72, 411-422.
<https://doi.org/10.2984/72.4.2>
- Daniel, W.W. (2004). *Bioestadística, bases para el análisis de las ciencias de la salud*. Limusa Wiley, México. 755p.
- Domínguez-Hernández, G., Cepeda-Morales, J., Soto-Mardones, L., Rivera-Caicedo, J.P., Romero-Rodríguez, D.A., Inda-Díaz, E.A., Hernández-Almeida, O.U., Romero-Bañuelos, C. (2020). Semi-annual variations of chlorophyll concentration on the Eastern Tropical Pacific coast of Mexico. *Advances in Space Research*, 65, 2595-2607.
<https://doi.org/10.1016/j.asr.2020.02.019>
- Drexler, J.Z., Ewel, K.C. (2007). Effect of the 1997-1998 ENSO-related drought on hydrology and salinity in a Micronesian wetland complex. *Estuaries*, 24, 347.
<https://doi.org/10.2307/1353237>
- Durán-Campos, E., Salas-de-León, D.A., Coria-Monter, E., Monreal-Gómez, M.A., Aldeco-Ramírez, J., Quiroz-Martínez, B. (2023). ENSO effects in the southern Gulf of California estimated from satellite data. *Continental Shelf Research*, 266, 105084.
<https://doi.org/10.1016/j.csr.2023.105084>
- Escalante, F., Valdez-Holguín, J.E., Álvarez-Borrego, S., Lara-Lara, J.R. (2013). Temporal and spatial variation of sea surface temperature, chlorophyll *a*, and primary productivity in the Gulf of California. *Ciencias Marinas*, 39, 203-215.
<http://dx.doi.org/10.7773/cm.v39i2.2233>
- Espinosa-Carreón, T.L., Valdez-Holguín, J.E. (2007). Variabilidad interanual de clorofila en el Golfo de California. *Ecología Aplicada*, 6, 83-92.
- Farach-Espinoza, E.B., López-Martínez, J., García-Morales, R., Nevárez-Martínez, M.O., Lluch-Cota, D.B., Ortega-García, S. (2021). Temporal Variability of Oceanic Mesoscale Events in the Gulf of California. *Remote Sensing*, 13, 1774.
<https://doi.org/10.3390/rs13091774>
- Gajardo, N., González, H.E., Merchant, M. (2013). Characterization of El Niño, La Niña and normal condition through planktonic foraminifera (2006-2007) in the southeastern Pacific. *Ciencias Marinas*, 39, 253-264.
<https://doi.org/10.7773/cm.v39i3.2177>
- García-Díaz, X.F., Gusmão, L.M., Herrera, Y. (2008). Influencia de los eventos climáticos El Niño y La Niña en la comunidad de Chaetognatha de las aguas superficiales del océano Pacífico colombiano. *Revista Brasileira de Engenharia de Pesca*, 3, 30-50.
<https://doi.org/10.18817/repesca.v3i1.62>
- García-Morales, R., López-Martínez, J., Valdez-Holguín, J.E., Herrera-Cervantes, H., Espinosa-Chaurand, L.D. (2017). Environmental Variability and Oceanographic Dynamics of the Central and Southern Coastal Zone of Sonora in the Gulf of California. *Remote Sensing*, 9, 925.
<https://doi.org/10.3390/rs9090925>
- Gaxiola-Castro, G., Durazno, R., Lavaniegos, B., De la Cruz-Orozco, M.E., Millán-Núñez, E., Soto-Mardones, L., Cepeda-Morales, J. (2008). Pelagic ecosystem response to interannual variability off Baja California. *Ciencias Marinas*, 34, 263-270.
<http://dx.doi.org/10.7773/cm.v34i2.1413>
- Hayward T.L., Baumgartner, T.R., Checkley, D.M., Durazo, R., Gaxiola-Castro, G., Hyrenbach, K.D., Mantyla, A.W., Mullin, M.M., Murphree, T., Schwing, F.B., Smith, P.E., Tegner, M. (1999). The State of the California Current, 1998-1999: transition to cool-water conditions. *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Report*, 40, 29-62.
- Hidalgo, H.G., Alfaro, E.J., Pérez-Briceño, P.M. (2021). Cambios climáticos proyectados de modelos CMIP5 en La Cruz, Guacacaste, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 69, S60-S73.
<https://doi.org/10.15517/rbt.v69iS2.48307>
- Hidayat, R., Zainuddin, M., Safruddin, Sriktoviana, S.K., Yuniar, A., Damayanti, A.D., Riskiani, I., Rachman, S.H. 2025. ENSO and IOD Effects on Sea Surface Temperature and Chlorophyll-a in the Semi-Enclosed Waters: Case Study of Bone Bay, Indonesia. *Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries*, 29, 63-76.
- Holbrook, N.J. Claar, D.C., Hobday, A.J., McInnes, K.L., Oliver, E.C.J., Gupta, A.S., Widlansky, M.J., Zhang, X. (2020). ENSO-Driven Ocean Extremes and Their Ecosystem Impacts. *In: McPhaden, M.J., Santoso, A., Cai, W. El Niño Southern Oscillation in a Changing Climate* (409-428 pp). Wiley.
- Huyer A., Smith, R.L. (1985). The signature of El Niño off Oregon in 1982-83. *Journal Geophysical Research*, 90, 7133-7142.
- Islam, F.A.S. (2025). Assessment of the Global Climatic Impacts due to El Nino and La Nina Events. *Journal of Global Ecology and Environment*, 21, 1-26.

- Kumar, P.S., Pillai, G., Manjusha, U. (2014). El Niño Southern Oscillation (ENSO) impact on tuna fisheries in Indian Ocean. SpringerPlus, 3, 591.
- Lavaniegos, B., Jiménez-Pérez, L., Gaxiola-Castro, G. (2002). Plankton response to El Niño 1997-1998 and La Niña 1999 in the southern region of the California Current. Progress in Oceanography, 54, 33-58. [https://doi.org/10.1016/S0079-6611\(02\)00042-3](https://doi.org/10.1016/S0079-6611(02)00042-3)
- Lehodey P., Bertignac, M., Hampton, J., Lewis, A., Picaut, J. (1997). El Niño southern oscillation and tuna in the western Pacific. Nature, 389, 715-718.
- Lehodey P., Chai, F., Hampton, J. (2003). Modelling climate-related variability of tuna populations from a coupled ocean-biogeochemical-populations dynamics model. Fisheries Oceanography, 12, 483-494.
- Lehodey, P., Bertrand, A., Hobday, A.J., Kiyofuji, H., McClatchie, S., Menkes, C.E., Pilling, G., Polovina, J., Tommasi, D. (2020). ENSO Impact on Marine Fisheries and Ecosystems. In: McPhaden, M.J., Santoso, A. & Cai, W. El Niño Southern Oscillation in a Changing Climate (409-428 pp). Wiley.
- López-Martínez, J., Farach-Espinoza, E.B., Herrera-Cervantes, H., García-Morales, R. (2023). Long-Term Variability in Sea Surface Temperature and Chlorophyll a Concentration in the Gulf of California. Remote Sensing, 15, 4088. <https://doi.org/10.3390/rs15164088>
- Lynn, R.J., Baumgartner, T.R., García-Córdova, J., Collins, C., Hayward, T., Hyrenbach, D., Mantyla, A., Murphree, T., Shankle, A., Schwing, F., Sakuma, K., Tegner, M. (1998). The State of California Current, 1997-1998: Transition to El Niño conditions. California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Reports, 39, 25-49.
- McIlgorm, A., Hanna, S., Knapp, G., Le Floch, P., Millerd, F., Pan, M. (2010). How will climate change alter fishery governance Insights from seven international case studies. Marine Policy, 34, 170-177.
- Meave-del Castillo, M.E., Zamudio-Resendiz, M.E., Castillo-Rivera, M. (2012). Riqueza fitoplanctónica de la Bahía de Acapulco y zona costera aledaña, Guerrero, México. Acta Botánica Mexicana, 100, 405-487.
- Montecino, V., Pizarro, G. (2006). Productividad primaria, biomasa y tamaño de fitoplancton en canales y fiordos australes: patrones primavera-verano. In: Silva, N. y S. Palma (eds). Avances en el conocimiento oceanográfico de las aguas interiores chilenas, Puerto Montt a cabo Hornos. Comité Oceanográfico Nacional-Pontificia Universidad Católica del Valparaíso, Valparaíso, 93-97.
- Morley, S.A., Campanella, F., Young, E.F., Baylis, A.M.M., Barnes, D.K.A., Bell, J.B., Bennison, A., Collins, M.A., Glass, T., Martin, S.M., Whomersley, P., Schofield, A. (2025). Dramatic ENSO related Southwestern Atlantic ecosystem shifts. Scientific Reports, 15, 7917.
- Nicol, S.J., Allain, V., Pilling, G.M., Polovina, J., Coll, M., Bell, J., Williams, P. (2013). An ocean observation system for monitoring the affects of climate change on the ecology and sustainability of pelagic fisheries in the Pacific Ocean. Climatic Change, 11, 139-145. <https://doi.org/10.1007/s10584-012-0598-y>
- NOAA (2023). Historical El Niño/La Niña episodes (1950–present) – Cold & Warm Episodes by Season. Accessed through: NOAA/National Weather Service Climate Prediction Centre. [Climate Prediction Center - ONI](https://climatepredictioncenter.noaa.gov/)
- Pabón-Caicedo, J.D., Montealegre-Bocanegra, J.E. (2017). Los fenómenos El Niño y de La Niña, su efecto climático e impactos socioeconómicos. Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Bogota, Colombia, 168p. [Los fenómenos de El Niño y de La Niña, su efecto climático e impactos socioeconómicos](https://doi.org/10.15446/la.niña.2017.168)
- Pérez-Arvizu, E.M., Aragón-Noriega, E.A., Espinosa-Carreón, T.L. (2013). Variabilidad estacional de la clorofila *a* y su respuesta a condiciones El Niño y La Niña en el Norte del Golfo de California. Revista de Biología Marina y Oceanografía, 48, 131-141.
- Platt, T., Hoepffner, N., Stuart, V., Brown, C. (2008). Why Ocean Colour?. The Societal Benefits of Ocean-Colour Technology. IOCCG. Reports of the International Ocean- Colour Coordinating Group. No. 7, IOCCG. Dartmouth, Canadá. 141p. [Why Ocean Colour? The Societal Benefits of Ocean-Colour Technology.](https://www.ioccg.org/IOCCG-7/IOCCG-7-WhyOceanColour.pdf)
- R Core Team (2021). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>
- Rodríguez, L. (2004). Observaciones sobre efectos de El Niño 1997-1998 en el fitoplancton de bahía Antofagasta y durante un fenómeno de surgencia en bahía Mejillones del Sur, Antofagasta, Chile. In: Avaria, S., Carrasco, J., Rutllant, J., Yáñez, E. (Eds.). El Niño - La Niña 1997-2000. Sus efectos en Chile, 97-118. Valparaíso, Chile: CONA.
- Sánchez-Velasco, L., Godínez, V.M., Barton, E.D., Santamaría-del-Angel, E., Jiménez-Rosemberg, S.P.A., Marinone, S.G. (2017). Hydrographic and fish larvae distribution during the “Godzilla” El Niño 2015-2016 in the northern end of the shallow oxygen minimum zone of the Eastern Tropical Pacific Ocean. Journal of Geophysical Research: Oceans, 122, 2156-2170.
- Sánchez-Velasco, L., Shirasago, B., Cisneros-Mata, M.A., Avalos-García, C. (2000). Spatial distribution of small pelagic fish larvae in the Gulf of California and its relation to the El Niño 1997-1998. Journal of Plankton Research, 22, 1611-1618. <https://doi.org/10.1093/plankt/22.8.1611>
- Sissener E.H., Bjørndal, T. (2005). Climate change and the migratory pattern for Norwegian spring spawning herring-implications for management. Marine Policy, 29, 299-305.

Uitz, J., Stramski, D., Reynolds, R., Dubrama, J. (2015). Assessing phytoplankton community composition from hyperspectral measurements of phytoplankton absorption coefficient and remote-sensing reflectance in open-ocean environments. *Remote Sensing of Environment*, 171, 58-74.

<https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.09.027>
Zar, J.H. (2010). *Bioestatistical analysis*. Pearson Prentice Hall, New Jersey.