



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MEXICO

Boletín ambiental del estado de Nayarit Otoño (octubre-diciembre) de 2024

Dr. Eduardo González Rodríguez^{1,6}, Dr. Ricardo García Morales², Dr. Juan Manuel Pacheco Vega³, Dr. Juan Pablo Rivera Caicedo⁴, Dr. Julio Pastor-Guzmán⁵, Dr. Luis M. Farfán Molina⁶.

¹CICESE-UAT, ²CIBNOR Unidad Nayarit, ³ENIP-UAN, ⁴CENITT, ⁵TecNM/Instituto Tecnológico de Bahía de Banderas, ⁶CICESE-UALP

MARZO DE 2025, No. 4

Introducción

Este boletín es el resultado del esfuerzo interinstitucional, que han comprendido la necesidad de monitorear el ambiente terrestre y costero del estado de Nayarit. Las principales instituciones participantes son el CICESE-UAT, el CIBNOR, la ENIP-UAN, el laboratorio PERSEO del CENITT, el CICESE-UALP y el TecNM/Instituto Tecnológico de Bahía de Banderas.

Uno de los principales objetivos es incluir productos gráficos derivados de información satelital y elaborados por los laboratorios de manejo de imágenes del CICESE-UT3 en Tepic, Nayarit, el laboratorio PERSEO del CENITT y el TecNM/Instituto Tecnológico de Bahía de Banderas. Además de la información satelital, se colectan datos *in situ* por medio de una estación meteorológica Davis del CIBNOR, instalada dentro de la ENIP-UAN en Matanchén, Nayarit, y una ubicada en la ciudad de Tepic, en las instalaciones del CICESE-UT3. También se incluyen datos provenientes de sensores de temperatura instalados, uno en el muelle El Poso en San Blas y otro en la boya de la Bahía de Chacala.

Otro objetivo es mostrar las condiciones ambientales trimestrales de cuatro sitios de la región costera del estado de Nayarit, de norte a sur están ubicados frente a Palmar de Cuautla, Matanchén, Guayabitos y Punta de Mita. Las variables consideradas son, temperatura superficial del mar (TSM), Salinidad superficial, (SAL), clorofila superficial (CLO) y anomalías del nivel del mar (ANM), todas ellas derivadas de información satelital.

A partir de la información derivada de datos satelitales, se generan mapas de distribución trimestral, en este caso de otoño, que representan las condiciones ambientales frente a las costas de Nayarit. Adicionalmente, se construyen series de tiempo para las variables anteriormente mencionadas. A partir de estas series se construyen climatologías mensuales para comparar con los datos mensuales del trimestre de otoño.

Otro objetivo es monitorear condiciones ambientales en el estado de Nayarit, principalmente lo concerniente a incendios por municipio. Para esto se utilizaron datos proporcionados por la NOAA a partir de los satélites MODIS-Terra y MODIS-Aqua. Estos datos satelitales nos brindan información para monitorear anomalías térmicas que son asociadas a incendios, con lo cual se hace un resumen mensual del número de eventos y el área afectada por los mismos para cada municipio del estado.

En la Reserva de la Biosfera Marismas Nacionales, los manglares, ecosistemas dominados por vegetación adaptada a la salinidad, desempeñan un papel crucial al ofrecer servicios ecosistémicos, beneficios económicos y funciones ecológicas en la transición entre tierra y mar. Un aspecto destacable es su capacidad superior para capturar y almacenar carbono, en comparación con otros ecosistemas tropicales. Este boletín propone la implementación de un sistema de monitoreo basado en tecnología satelital para evaluar el estado de estos ecosistemas y sus coberturas asociadas. Dada su importancia, este sistema resulta fundamental para informar decisiones relacionadas con la gestión y conservación de estos valiosos entornos.

Finalmente, con los datos *in situ*, se construyen gráficas diarias con la información colectada por las estaciones meteorológicas y los sensores de temperatura, lo que nos da información importante de lo que sucede en dichos sitios.

Se espera en un futuro poder contar con más datos de estaciones meteorológicas en otros sitios, así como de los sensores de temperatura en la costa.

Índice

1. Área de estudio	4
2. Método	4
2.1. Datos satelitales	5
2.1.1. Mapas de distribución	6
2.1.2. Series de tiempo	6
2.1.3. Incendios	6
2.1.4. Cobertura de mangles	7
2.2. Datos <i>in situ</i>	8
2.2.1. Estaciones meteorológicas	8
2.2.2. Termistores	8
3. Resultados	8
3.1. Datos de satélite	8
3.1.1. Mapas regionales	8
3.1.1.1. Anomalía del Nivel de Mar (ANM).	8
3.1.1.2. Clorofila superficial (CLO).	8
3.1.1.3. Salinidad superficial (SAL).	9
3.1.1.4. Temperatura Superficial del Mar (TSM).	11
3.1.2. Series de tiempo	12
3.1.2.1. Palmar de Cuautla.	12
3.1.2.2. Matanchén.	14
3.1.2.3. Rincón de Guayabitos.	15
3.1.2.4. Punta de Mita	16
3.1.3. Incendios	18
3.1.4. Cobertura de mangles	20
3.2. Datos <i>in situ</i>	24
3.2.1. Estaciones meteorológicas	24
3.2.1.1. Tepic.	24
3.2.1.2. Matanchén.	24
3.2.2. Termistores (TSM)	26
3.2.2.1. Boya de Chacala, Compostela.	26
3.2.2.2. Estero El Poso, San Blas.	26
3.3. Agradecimientos	27

1. Área de estudio

Mapa batimétrico de la región costera del estado de Nayarit, delimitado por la línea de color azul (Figura 1). Los círculos negros en la Figura 1 indican los sitios de interés, Palmar de Cuautla, Matanchén, Rincón de Guayabitos y Punta de Mita, en donde se hicieron análisis de series de tiempo para las variables ANM, CLO, TSM y SAL.

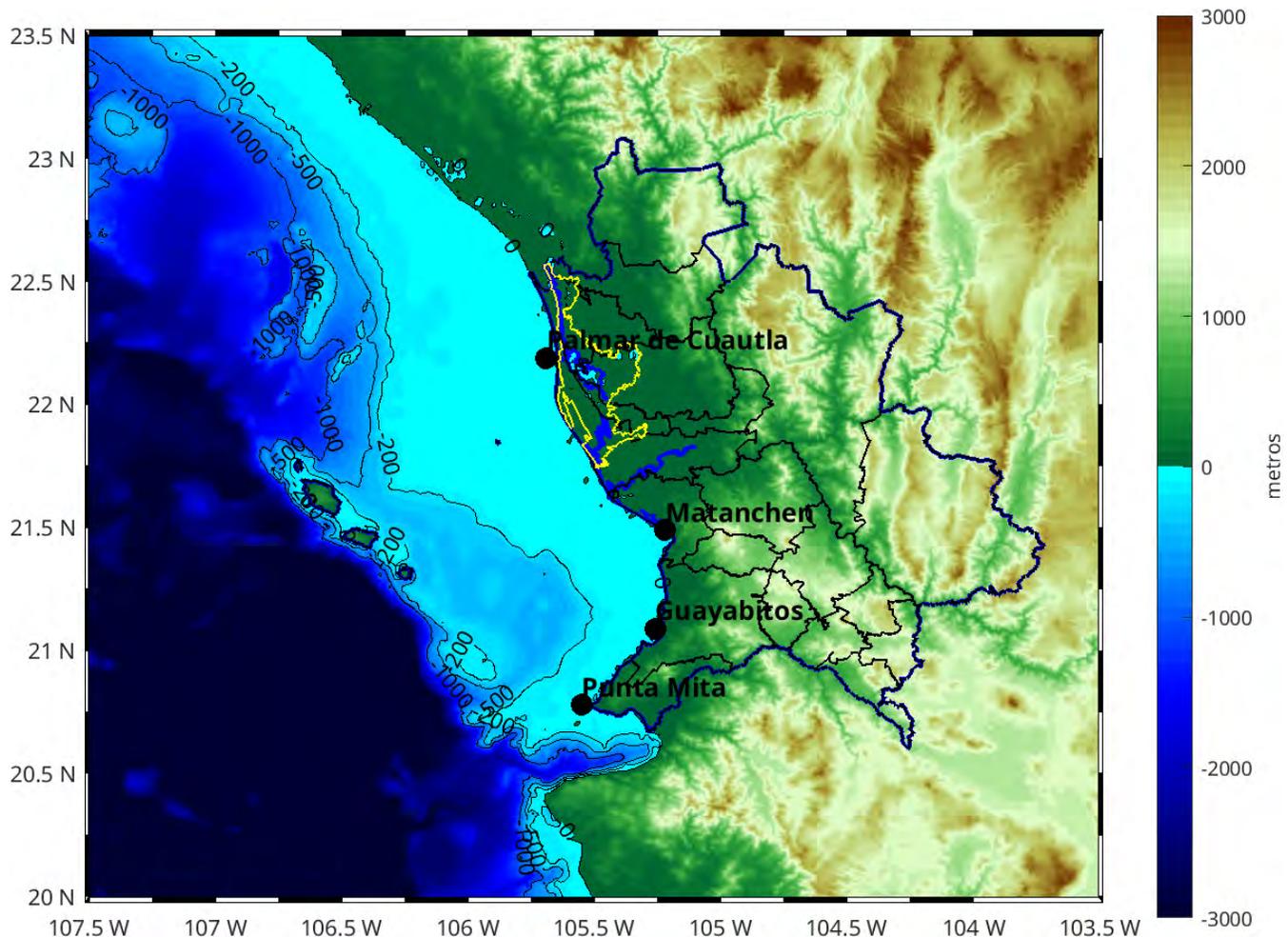


Figura 1: Batimetría de la zona de interés, en azul la zona oceánica, en verde y café la zona terrestre. La línea de contorno azul delimita el estado de Nayarit, los contornos negros dentro de ella delimitan los 20 municipios del estado. Los círculos negros marcan los sitios seleccionados para el análisis de las variables a lo largo del tiempo. El contorno en amarillo delimita el área natural protegida Marismas Nacionales

2. Método

La información se divide en dos partes, los datos provenientes de fuentes satelitales y datos colectados *in situ*, los cuales se describen a continuación:

2.1. Datos satelitales

Se descargaron los archivos diarios de octubre a diciembre de 2024 para cada una de las siguientes variables, anomalía del nivel del mar (ANM), clorofila superficial (CLO), salinidad superficial (SAL) y temperatura superficial del mar (TSM). La información para cada una de estas variables está contenida en archivos con formato netcdf, que internamente contiene la descripción o metada con los que se generó dicha información. Los datos son de un nivel de procesamiento denominado nivel 4 (L4), lo que indica que son globales, que están proyectados geográficamente en una malla regular de -180 a 180° de longitud y de -90 a 90° de latitud y que la información no presenta huecos. En vista de que los archivos son globales, fue necesario hacer una extracción de la información correspondiente al cuadrante comprendido entre las longitudes -107.5 a -103.5° O y latitudes 20 a 23.5° N (Figura 1).

Anomalía del Nivel de Mar (ANM). La ANM es un producto de la altimetría y es estimada por medio una interpolación de diversas misiones. La referencia es el promedio climatológico de 1993 a 2012 (<https://doi.org/10.48670/moi-00149>). Es un producto global, libre de huecos y cuenta con una resolución temporal diaria y espacial de $\sim 25 \times 25$ km, accesado el 2025-02-12.

Clorofila superficial (CLO). La CLO es la clorofila *a* satelital. Es un producto del denominado color del océano (comprende la longitud de onda del espectro visible, en términos generales entre los 400 y $700 \mu\text{m}$) y corresponde a la primera profundidad óptica, que es la profundidad en donde la luz disminuye el 90% (?). Esta profundidad varía con la materia suspendida en el agua y generalmente no es mayor a 6 m de profundidad. La CLO es proporcionada por el Copernicus Marine Environment Monitoring Service (CMEMS) de la agencia espacial europea (ESA, por sus siglas en inglés). Es un producto global libre de nubes, con una resolución temporal diaria y espacial de 4×4 km (?) (https://data.marine.copernicus.eu/product/OCEANCOLOUR_GLO_BGC_L4_MY_009_104/services). La CLO incluye un producto que recopila la concentración de los principales grupos funcionales fitoplanctónicos en el agua de mar desde el espacio (IOCCG, 2014), (https://data.marine.copernicus.eu/product/OCEANCOLOUR_GLO_BGC_L3_MY_009_103/download?dataset=cmems_obs-oc_glo_bgc-plankton_my_13-multi-, accesado el 2025-02-12).

Salinidad superficial (SAL). La SAL es la salinidad promedio en los 10 primeros metros de profundidad y es estimada por medio de una interpolación óptima multivariada y multidimensional que combina datos de densidad superficial de múltiples satélites de la NASA y de la ESA junto con mediciones de densidad *in situ*. Es un producto proporcionado por CMEMS. Su resolución espacial es de $\sim 13 \times 13$ km https://data.marine.copernicus.eu/product/MULTIOBS_GLO_PHY_S_SURFACE_MYNRT_015_013/description, accesado el 2025-02-12. En vista de que la SAL es estimada de forma indirecta, no se proporcionan unidades.

Temperatura Superficial del Mar (TSM). El término TSM se refiere a la capa o piel del océano y representa la temperatura de la capa subsuperficial a una profundidad entre 10 – $20 \mu\text{m}$. La TSM es un producto proporcionado por el laboratorio de oceanografía de propulsión a chorro de la agencia espacial de los Estados Unidos (JPL y NASA, respectivamente, por sus siglas en inglés). Es un producto global que no presenta huecos por nubosidad con una resolución temporal diaria y espacial de 1×1 km (?) (<https://doi.org/10.5067/GHGMR-4FJ04>), accesado el 2025-02-12.

2.1.1. Mapas de distribución

La información diaria extraída de los archivos para las variables ANM, CLO, SAL y TSM fue organizada en objetos de tres dimensiones, es decir, en forma de cubo (x, y, z), donde el eje x corresponde a la longitud, el eje y a la latitud y el eje z a los días del trimestre. A partir de estos objetos se realizaron los cálculos para determinar los valores máximos, los promedios, la desviación estándar y las anomalías para cada variable. Con esta información se generaron los mapas correspondientes.

Para la estimación de las anomalías fue necesario calcular el promedio histórico o climatología del trimestre o estación del año, para lo cual se descargaron todos los datos históricos disponibles (ver abajo). Una vez estimada la climatología estacional se determinó el promedio estacional de primavera (julio-septiembre) para 2024). A partir de estos dos promedios, se utilizó el cálculo propuesto por ? y ?, el cual consiste en restar el promedio de primavera de 2024 a la climatología general de primavera:

$$\text{Anomalía} = \text{promedio_trimestral} - \text{climatología} \quad (1)$$

Las climatologías fueron estimadas promediando todos los datos históricos disponibles, para la **CLO** de enero de 1998 a diciembre de 2024; la **SAL** de enero de 1993 a diciembre de 2024; la **TSM** corresponde al periodo de enero de 2003 a diciembre de 2024; para el caso específico de la **ANM**, esta variable ya es proporcionada como una anomalía por CMEMS, la base para este cálculo cubre el periodo de 1993 a 2012.

La paleta de color utilizada en los mapas de SAL proviene del cmocean (?), las de ANM, TSM y CLO, son elaboradas por el Dr. Eduardo González-Rodríguez, excepto los mapas de anomalías que también son del cmocean.

2.1.2. Series de tiempo

Para el análisis de series de tiempo se seleccionaron los cuatro sitios muy cercanos a la costa mostrados en la [Figura 1](#), de norte a sur son; Palmar de Cuautla (-105.70 °O y 22.18 °N), Matanchén (-105.30 °O y 21.49 °N), Rincón de Guayabitos (-105.31 °O y 21.10 °N) y Punta de Mita (-105.57 °O y 20.80 °N). Las variables para el análisis incluyen los datos satelitales de ANM, CLO, SAL y TSM.

Se construyeron climatologías mensuales de la misma forma que para las trimestrales, pero con escala mensual. A partir de estas climatologías se estimaron las anomalías mensuales de octubre a diciembre de 2024. Las series de las variables corresponden a las anomalías a lo largo del tiempo y se construyeron con los píxeles más cercanos a cada sitio.

2.1.3. Incendios

Para determinar el número de incendios y área quemada se empleó el producto denominado MCD64A1 Versión 6.1, que proporciona la NOAA (agencia atmosférica de Estados Unidos), consiste en un producto global con una resolución espacial de 500 x 500 m por pixel y de

frecuencia mensual, con datos a partir de noviembre de 2000 a diciembre de 2024 (<https://lpdaac.usgs.gov/products/mcd64a1v061/>).

Se descargaron todos los archivos mensuales disponibles (285), como los datos son globales, se recortó a la zona de la [Figura 1](#). Para determinar el número de incendios y su cobertura por municipio, se descargó el shape (archivo con información geográfica) municipal de 2022 para el estado de Nayarit del INEGI (ver división política municipal en la [Figura 1](#)).

Además de los datos para los meses de octubre a diciembre de 2024, toda la información descargada se utilizó para hacer estimaciones de climatologías y anomalías, de la misma forma que para las variables oceanográficas.

2.1.4. Cobertura de mangles

Datos satelitales. La evaluación del vigor de los ecosistemas de manglar se realizó mediante el análisis del producto satelital MOD13Q1 V6.1 NDVI, derivado de sensor Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) de la misión Terra de la NASA, abarcando un período temporal de 2001 a 2024 (?). Este conjunto de datos comprende compuestos de índices de vegetación con resolución espacial de 250 metros y una frecuencia temporal de 16 días. La generación de estos compuestos implementa un algoritmo que preserva los píxeles de calidad superior dentro del intervalo temporal establecido, excluyendo sistemáticamente aquellos afectados por cuerpos de agua, cobertura nubosa, efectos de sombras de nubes y presencia de aerosoles. Las especificaciones técnicas del producto, tanto en términos de resolución espacial como de frecuencia temporal de las imágenes NDVI, resultan óptimas para la implementación de un análisis multitemporal orientado a evaluar la condición de los ecosistemas de manglar en la Reserva de la Biosfera Marismas Nacionales.

Análisis. Se desarrolló una serie temporal de NDVI para el período 2001-2024, basada en los valores promedio de los píxeles identificados como manglar en cada imagen. A partir de estos datos, se calcularon medias mensuales y trimestrales (climatología) del NDVI. La distribución de los valores se ilustró mediante histogramas de densidad, mientras que su variación espacial se representó en mapas. Para determinar la anomalía del trimestre julio-septiembre de 2024, se utilizó como base el período 2001-2023, aplicando la siguiente fórmula:

$$Anomalía_{oto_2024} = (promedio_{oto_2024} - climatología_{oto}) / DesvEst_{oto} \quad (2)$$

Donde:

$promedio_{oto_2024}$: promedio de los compuestos NDVI para el trimestre de otoño (octubre-diciembre 2024).

$climatología_{mes}$: promedio de los compuestos NDVI para el otoño (2001-2024).

$DesvEst_{mes}$: desviación estándar de los compuestos NDVI para el otoño (2001-2024).

Tanto los análisis como las gráficas y mapas fueron elaborados con el software estadístico (?).

2.2. Datos in situ

2.2.1. Estaciones meteorológicas

Los datos de una Estación Meteorológica Automática Davis Vantage Pro 2, instalada en la ENIP de la UAN en la localidad de Matanchén son utilizados para describir la temperatura del aire, humedad, presión atmosférica, radiación solar y la velocidad y dirección del viento. Los datos son colectados cada hora y son almacenados en una memoria interna en la consola de visualización en tiempo real mediante señal de radio y a partir de ellos se hicieron cálculos diarios de las variables mencionadas.

Otra estación similar está instalada en la ciudad de Tepic, en las instalaciones del CICESE-UAT (-104.8488 °O y 21.4845 °N), en la ciudad del conocimiento. De esta estación se usaron datos de temperatura del aire y velocidad del viento. De igual forma que la anterior, se utilizaron los datos por hora para tener promedios diarios.

2.2.2. Termistores

Dos termistores marca HOBO fueron instalados, uno en el estero El Poso, en San Blas, y otro en la boya frente a la playa de Chacala, en Compostela. Los datos corresponden a la superficie del mar y son registrados cada hora. A partir de ellos se hicieron promedios diarios.

3. Resultados

3.1. Datos de satélite

3.1.1. Mapas regionales

3.1.1.1. Anomalía del Nivel de Mar (ANM). Los niveles de ANM para el trimestre de otoño, de octubre a diciembre de 2024, se pueden observar en la [Figura 2](#). El panel **A** muestra el mapa con los niveles máximos durante otoño, con un intervalo entre 0.12 y 0.25 m, un rango menor al de verano (0.14 y 0.45 m); el panel **B** muestra el mapa con los valores mínimos, ubicados entre -0.08 y 0.052 m, ligeramente diferentes a los valores de verano de -0.33 y 0.05 m; el panel **C** muestra el mapa con las anomalías promedio, con un rango entre 0.04 y 0.12 m, un rango menor que el de verano de 0.058 y 0.137 m; el panel **D** muestra el mapa con la desviación estándar, con un valor máximo de 0.074, prácticamente el mismo valor que el de verano de 0.7. En general, la mayoría de las diferencias fueron positivas en toda la región ([Figura 2 D](#)).

3.1.1.2. Clorofila superficial (CLO). Las condiciones de CLO durante el trimestre de otoño, de octubre a diciembre, de 2024, se muestran en la [Figura 3](#). El mapa del panel **A** muestra las concentraciones máximas registradas, cuyo valor se ubicó en 58.68 mg m⁻³, ligeramente menor al de verano de 59.76 mg m⁻³. El panel **B** muestra las concentraciones promedio, cuyo rango estuvo entre 0.14 y 14.25 mg m⁻³, ligeramente diferentes a los de verano de 0.12 y 14.16 mg m⁻³. El panel **C** muestra la desviación estándar, su valor máximo fue 12.85 mg m⁻³, mayor a los 11.13 mg m⁻³ de verano. Esta imagen es útil en el sentido de mostrar las zonas donde hubo las mayores variaciones de CLO a lo largo del trimestre. El panel **D** muestra las anomalías con respecto

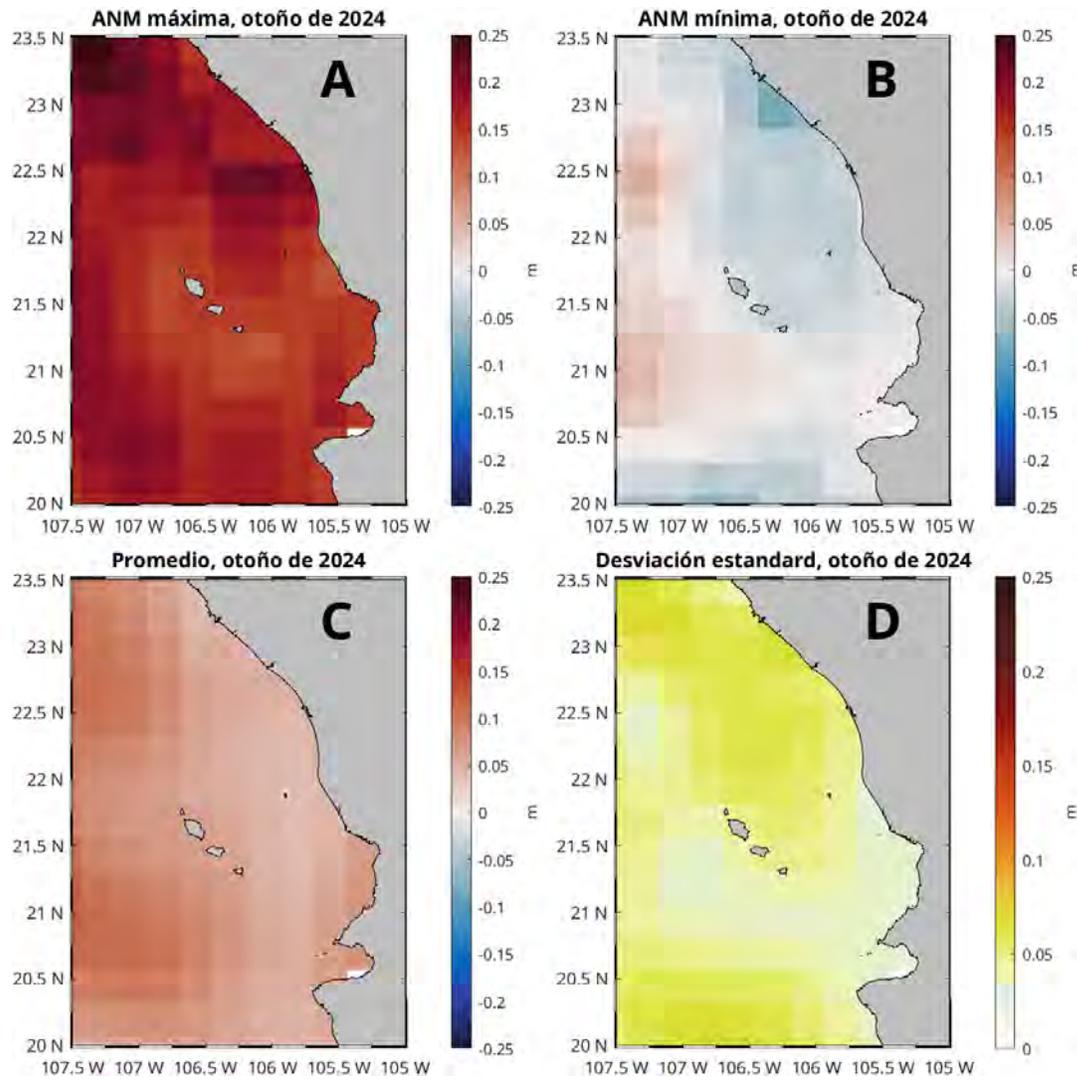


Figura 2: Condiciones de ANM durante otoño (octubre a diciembre) de 2024. Panel A, mapa con valores máximos; B mapa con valores mínimos; C mapa con valores promedio; D mapa con la desviación estándar.

al promedio histórico o climatológico de datos desde 1998, es decir, indican las variaciones de CLO en comparación con las condiciones *normales* a lo largo del tiempo. Los colores rojos indican condiciones anómalamente positivas (mayor concentración de lo normal), mientras que los colores azules indican condiciones anómalamente negativas (menores concentraciones), el rango se ubicó entre -1.99 y 6.36 mg m^{-3} , un rango mayor al de verano (-1.4 y 7.95 mg m^{-3}). En términos generales, las mayores concentraciones de CLO se ubican en toda la región costera.

3.1.1.3. Salinidad superficial (SAL). Las condiciones de SAL durante trimestre de otoño (octubre a diciembre) de 2024 se muestran en la [Figura 4](#). El mapa del panel A muestra las salinidades máximas registradas, su valor fue de 35.9, menor respecto al de verano (36.3). El panel B muestra el promedio de salinidad, cuyo rango estuvo entre 34.5 y 34.7, similar a los valores de verano de 34.62 y 35.07. El panel C muestra la desviación estándar, con un valor máximo de 0.44, marginalmente mayor a los 0.41 de verano. El panel D muestra las anomalías con respecto al promedio histórico o climatológico de datos desde 1993, el rango se ubicó entre 0.045 y 0.39,

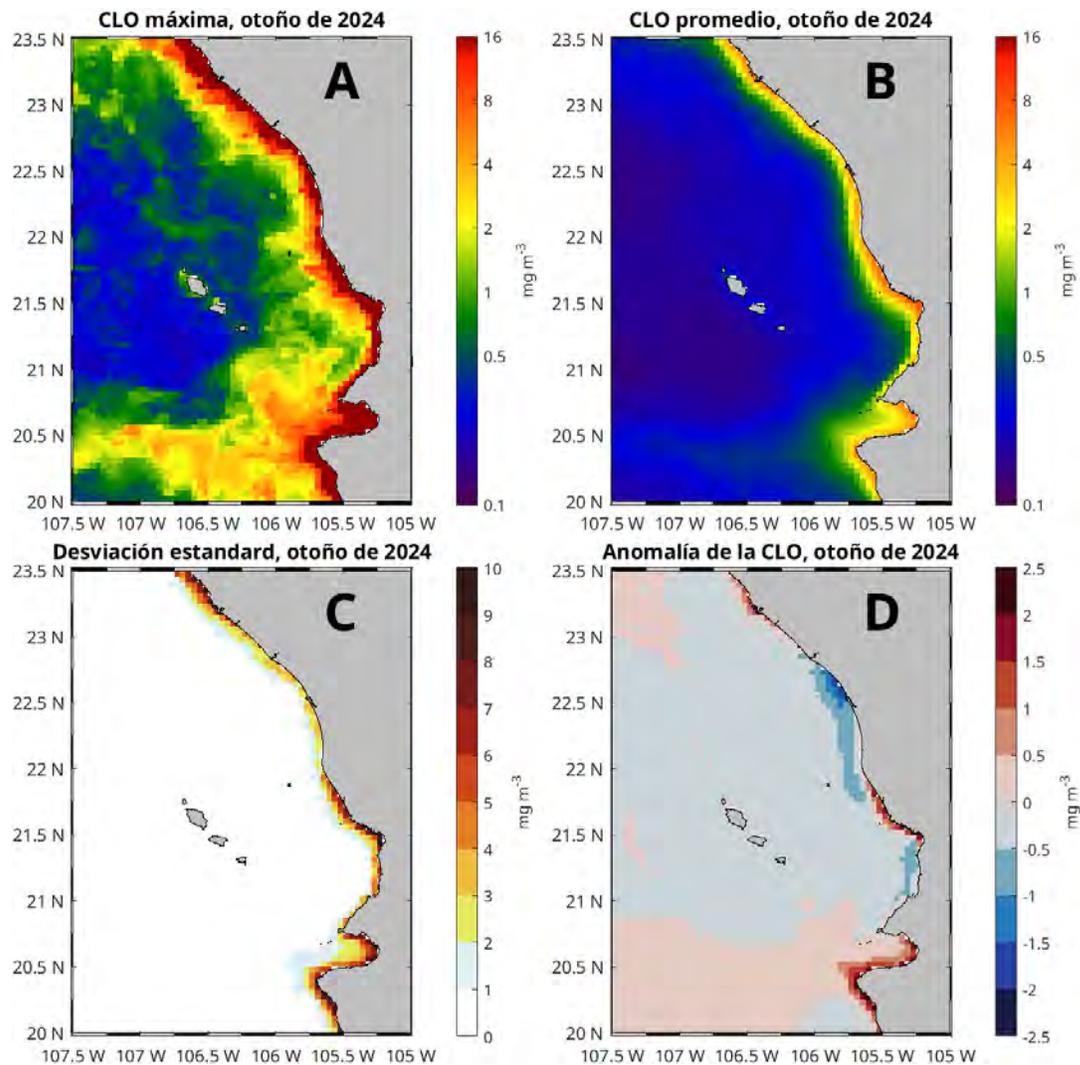


Figura 3: Concentraciones de CLO durante otoño (octubre a diciembre) de 2024. Panel A, concentración máximas; B concentración promedio; C desviación estándar y D anomalía.

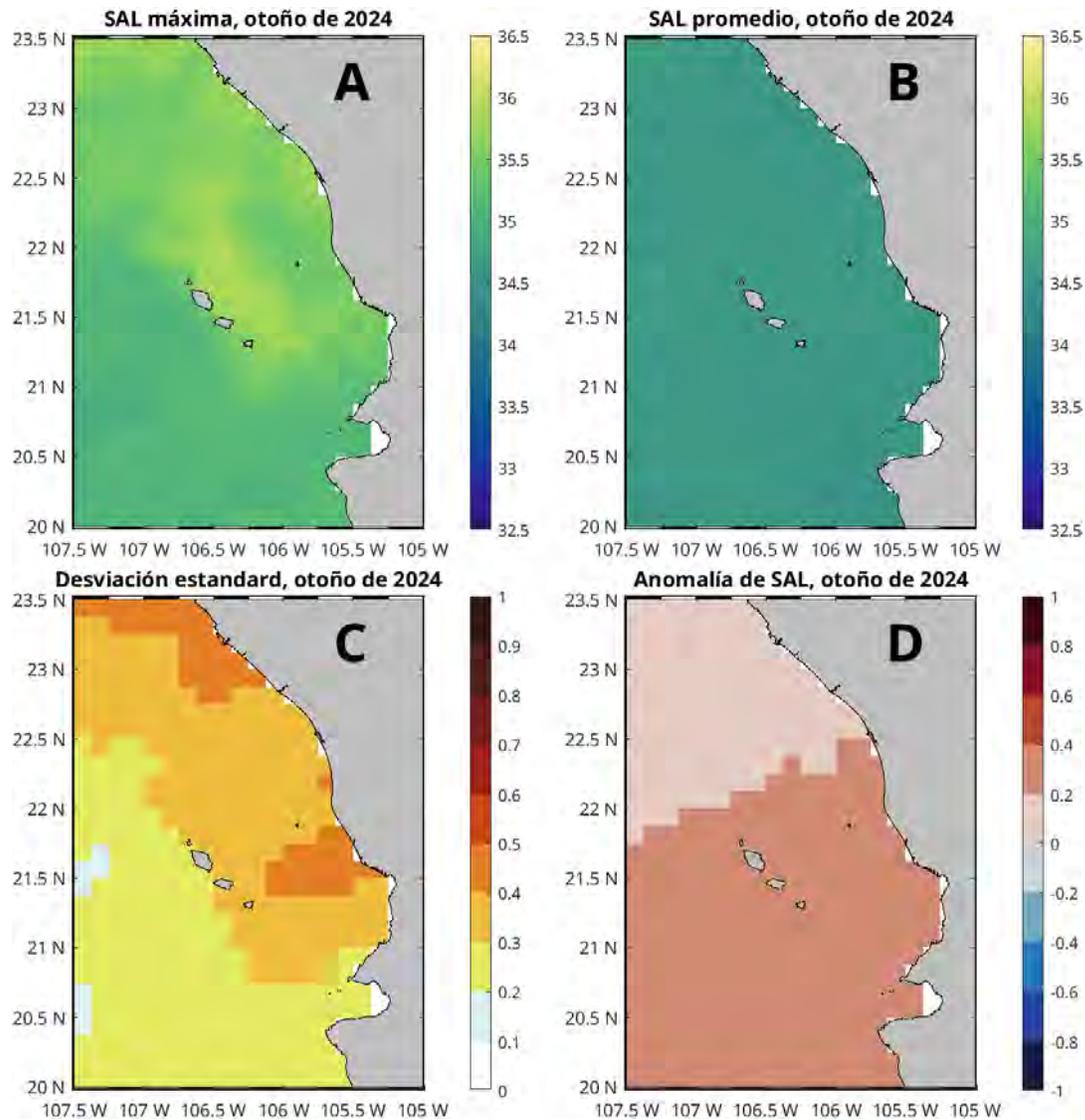


Figura 4: Concentraciones de SAL durante otoño (octubre a diciembre) de 2024. Panel A, salinidad máxima; B salinidad promedio; C desviación estándar y D anomalía.

un rango menor al de verano de 0.07 y 0.46. En términos generales, las condiciones son relativamente constantes u homogéneas, dominadas por anomalías ligeramente positivas entre 0.2 y 0.4.

3.1.1.4. Temperatura Superficial del Mar (TSM). Las condiciones de TSM durante trimestre de otoño (octubre a diciembre) de 2024 se muestran en la [Figura 5](#). El mapa del panel A muestra las temperaturas máximas registradas, con un valor de 29.88, menos de 2.5 °C en comparación de verano (32.46 °C). El panel B muestra el promedio de temperatura, cuyo rango estuvo entre 26.01 y 28.64 °C, menor en 2 °C en comparación de verano (28.77 y 30.56 °C). El panel C muestra la desviación estándar, con un valor máximo de 3.38 °C, una diferencia de más de 1 °C en comparación al valor de 1.79 °C de verano. El panel D muestra las anomalías con respecto al promedio histórico o climatológico de datos desde 2003, el rango se ubicó entre -0.97 y 0.29 °C, muy parecido a los valores de verano (-0.9 y 0.31 °C). En términos generales, las condiciones de temperatura disminuyeron 2 °C respecto al verano, las anomalías son ligeramente negativas,

menores a $-0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ en toda la región costera.

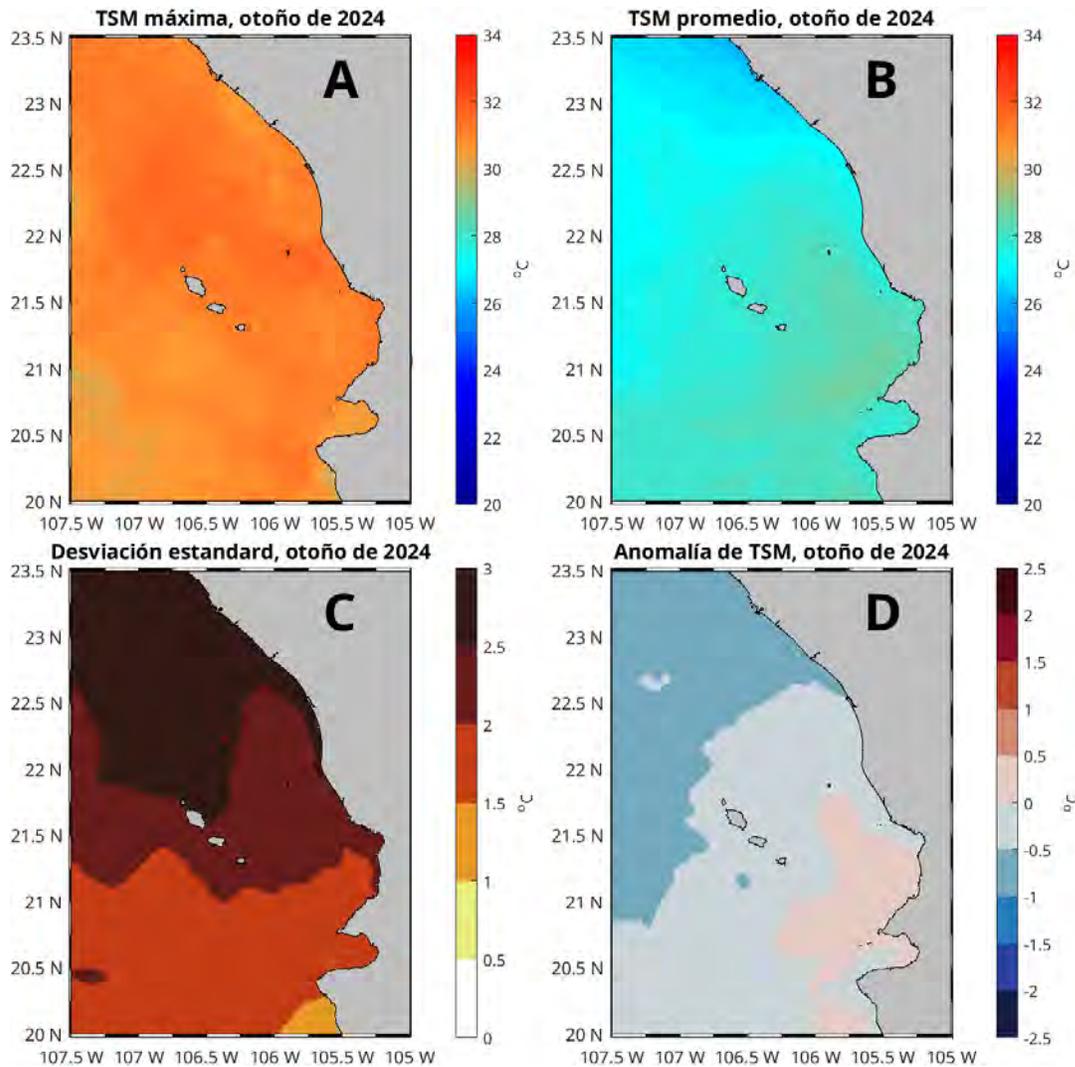


Figura 5: Condiciones de TSM durante otoño (octubre a diciembre) de 2024. Panel A, temperaturas máximas; B temperaturas promedio; C desviación estándar, D anomalía

3.1.2. Series de tiempo

Los círculos negros en la [Figura 1](#) indican los cuatro sitios de muestreo para la extracción de series de tiempo. Con la información de las series de tiempo extraídas, se construyeron climatologías mensuales (expresadas en forma de barras) y anomalías, las cuales se describen para cada sitio a continuación:

3.1.2.1. Palmar de Cuautla. Las condiciones climatológicas y anomalías de ANM, CLO, SAL y TSM a lo largo del tiempo (2002-2024, hasta diciembre) se muestran en la [Figura 6](#). Los promedios climatológicos para cada mes y para cada variable fueron estimados para todo el periodo, sus valores se representan con las barras azules en los paneles A, C, E y G. Estos valores fueron utilizados para estimar las anomalías a lo largo del tiempo, las series resultantes se muestran en los paneles B, D, F y H, los valores negativos, en azul, indican anomalías negativas, mientras que

los positivos, en rojo, corresponden a las anomalías positivas. Los valores para cada mes, así como sus tendencias, para 2024, están representados por los círculos y líneas negras en las figuras de barras, sus valores correspondientes se muestran sobre los círculos.

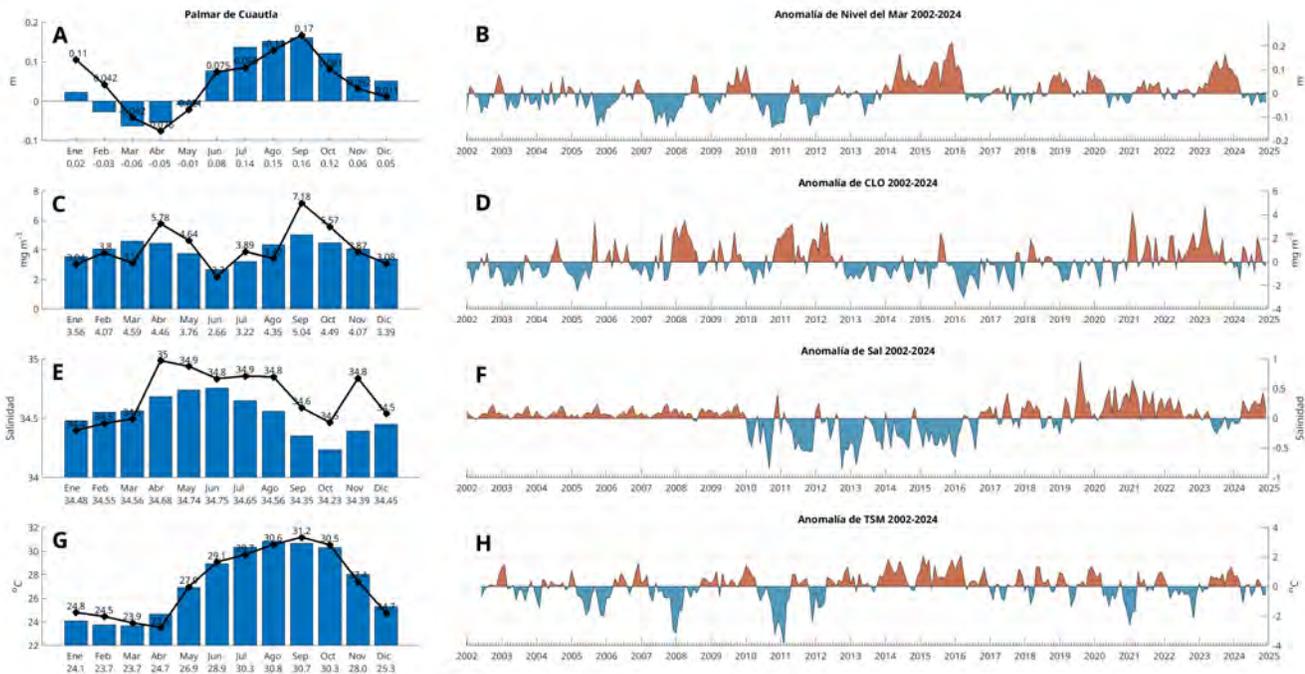


Figura 6: Climatologías mensuales y anomalías interanuales de ANM, CLO, SAL y TSM de enero a diciembre de 2024 para Palmar de Cuautla. Las barras azules en los paneles A, C, E y G son las climatologías mensuales de cada variable. Los números en la base de las barras indican los valores climatológicos de cada mes. Los círculos negros y el valor numérico indican el valor registrado para cada mes de 2024. Las series de tiempo de los paneles B, D, F y H representan las anomalías mensuales interanuales.

Anomalías del Nivel del Mar (ANM). Los promedios de las ANM en otoño, de octubre a diciembre de 2024, registraron valores de 0.081, 0.032 y 0.01 m (Figura 6A); los tres inferiores a sus valores climatológicos de 0.12, 0.06 y 0.05. Como consecuencia, las anomalías para los meses de otoño fueron negativas, rompiendo el dominio de anomalías positivas que se presentó desde diciembre de 2023 (Figura 6B).

Clorofila superficial (CLO). Los valores de la CLO en otoño, de octubre a diciembre de 2024, registraron valores de 5.57, 3.87 y 3.08 mg m⁻³ (Figura 6C); el valor de octubre estuvo por encima del valor climatológico de 4.49 mg m⁻³ (anomalía positiva), noviembre y diciembre presentaron valores por debajo del promedio climatológico de 4.07 y 3.39 mg m⁻³ respectivamente (anomalías negativas). En 2024 las anomalías no tuvieron un patrón claro, alternando entre positivas y negativas (Figura 6D).

Salinidad superficial (SAL). La SAL en otoño, de octubre a diciembre de 2024, registró valores de 34.5, 34.8 y 34.5, todos ellos por encima de los valores climatológicos para esos meses de 34.23, 34.39 y 34.45, respectivamente (Figura 6E). Esto continúa la tendencia de anomalías positivas que inicio desde abril (primavera) Figura 6F.

Temperatura superficial del Mar (TSM). La TSM en otoño, de octubre a diciembre de 2024, registró valores mensuales de 30.5, 27.4 y 24.7 °C, el primero por encima de su valor climatológico de 30.3 °C (Figura 6G), mientras que noviembre y diciembre presentaron valores por debajo de sus valores climatológicos de 28 y 25.3 respectivamente °C (Figura 6H).

3.1.2.2. Matanchén. Las condiciones climatológicas y anomalías de ANM, CLO, SAL y TSM a lo largo del tiempo (2002-2024, hasta diciembre) se muestran en la Figura 7. Los promedios climatológicos para cada mes y para cada variable fueron estimados para todo el periodo, sus valores se representan con las barras azules en los paneles A, C, E y G. Estos valores fueron utilizados para estimar las anomalías a lo largo del tiempo, las series resultantes se muestran en los paneles B, D, F y H, los valores negativos, en azul, indican anomalías negativas, mientras que los positivos, en rojo, corresponden a las anomalías positivas. Los valores para cada mes, así como sus tendencias, para 2024, están representados por los círculos y líneas negras en las figuras de barras, sus valores correspondientes se muestran sobre los círculos.

Anomalías del Nivel del Mar (ANM). Los promedios de las ANM registrado en otoño, de octubre a diciembre de 2024, fueron de 0.088, 0.045 y 0.041 m (Figura 7A), los tres por debajo de sus valores climatológicos de 0.0.11, 0.06 y 0.05 m, respectivamente, como resultado, las anomalías fueron negativas para todo el otoño. Excepto por el mes de septiembre, las anomalías negativas dominan la series desde abril Figura 7B.

Clorofila superficial (CLO). Los promedios de la CLO en otoño, de octubre a diciembre de 2024, registraron valores de 3.86, 6.51 y 5.26 mg m⁻³ (Figura 7C), tanto octubre como diciembre, con valores por debajo de los valores climatológicos para esos meses de 4.2 y 5.26 mg m⁻³ respectivamente, dando como resultado, anomalías negativas. Mientras que noviembre presentó una anomalía positiva con respecto al valor climatológico de 4.75 (Figura 7D).

Salinidad superficial (SAL). La SAL en otoño, de octubre a diciembre de 2024, registró valores de 34.5, 34.8 y 34.5, todos ellos por encima de los valores climatológicos para esos meses de 34.16, 34.29 y 34.34, respectivamente (Figura 7E). El resultado de esto, es que las anomalías para estos meses fueran positivas, continuando con una tendencia que inició en abril (Figura 7F).

Temperatura superficial del Mar (TSM). La TSM en otoño, de octubre a diciembre de 2024, registró valores mensuales de 30.6, 28.2 y 25.7 °C; el primero de ellos, ligeramente por encima de su valor climatológico de 30.4 °C, Mientras que noviembre y diciembre presentaron valores marginalmente por debajo de sus valores climatológicos de 28.4 y 25.7 (Figura 7G). Durante 2024 hubo una alternancia entre anomalías positivas y negativas, aunque todas ellas muy cercanas a sus valores climatológicos (Figura 7H).

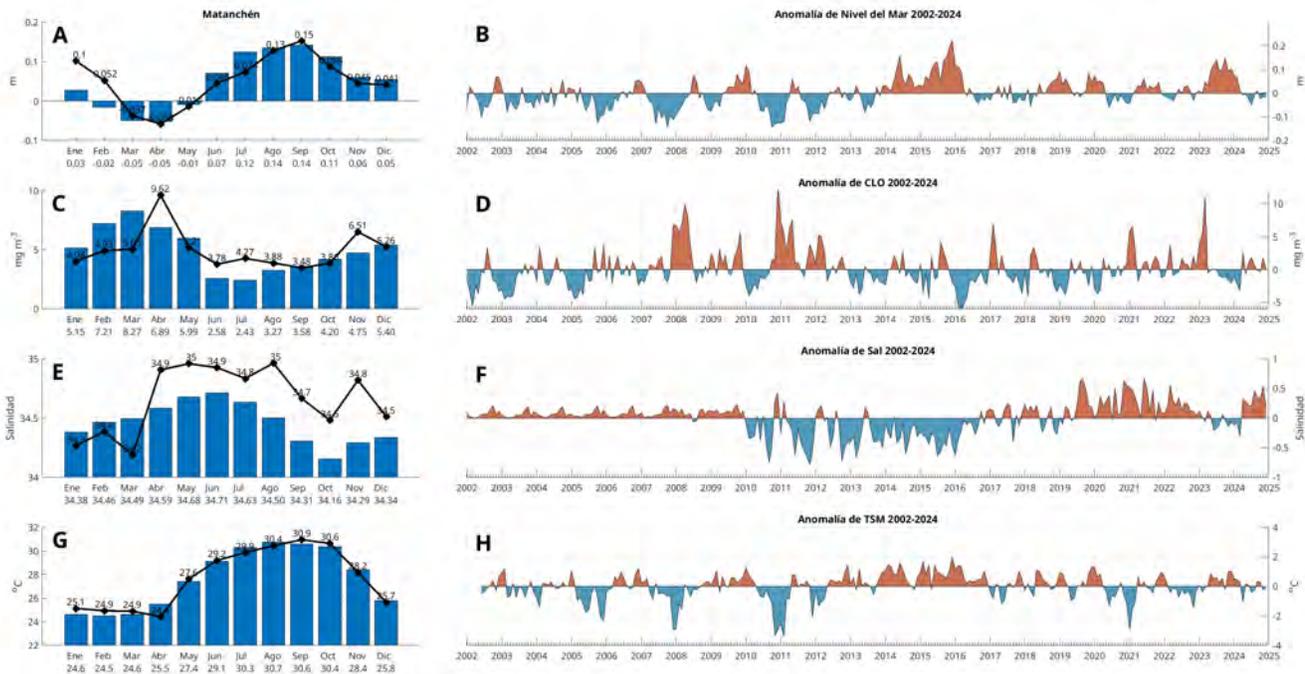


Figura 7: Climatologías mensuales y anomalías interanuales de ANM, CLO, SAL y TSM de enero a diciembre de 2024 para Matanchén. Las barras azules en los paneles A, C, E y G son las climatologías mensuales de cada variable. Los números en la base de las barras indican los valores climatológicos de cada mes. Los círculos negros y el valor numérico indican el valor de registrado para cada mes de 2024. Las series de tiempo de los paneles B, D, F y H representan las anomalías mensuales interanuales.

3.1.2.3. Rincón de Guayabitos. Las condiciones climatológicas y anomalías de ANM, CLO, SAL y TSM a lo largo del tiempo (2002-2024, hasta diciembre) se muestran en la Figura 8. Los promedios climatológicos para cada mes y para cada variable fueron estimados para todo el periodo, sus valores se representan con las barras azules en los paneles A, C, E y G. Estos valores fueron utilizados para estimar las anomalías a lo largo del tiempo, las series resultantes se muestran en los paneles B, D, F y H, los valores negativos, en azul, indican anomalías negativas, mientras que los positivos, en rojo, corresponden a las anomalías positivas. Los valores para cada mes, así como sus tendencias, para 2024, están representados por los círculos y líneas negras en las figuras de barras, sus valores correspondientes se muestran sobre los círculos.

Anomalías del Nivel del Mar (ANM). Los promedios de las ANM registrado en otoño, de octubre a diciembre de 2024, fueron de 0.088, 0.045 y 0.017 m (Figura 8A); todos ellos inferiores a sus valores climatológicos de 0.11, 0.06 y 0.05 m, respectivamente, como resultado, las anomalías para estos meses fueron negativas. Excepto por septiembre, los valores climatológicos desde mayo son negativos Figura 8B.

Clorofila superficial (CLO). Los promedios de la CLO en otoño, de octubre a diciembre de 2024, registraron valores de 2.05, 2.49 y 3.81 mg m⁻³ (Figura 8C); el primero (octubre) por debajo del valor climatológico de 2.39 mg m⁻³; mientras que noviembre y diciembre presentaron anomalías positivas (valores climatológicos de 1.96 y 3.0 mg m⁻³ respectivamente) (Figura 8D).

Salinidad superficial (SAL). La SAL en otoño, de octubre a diciembre de 2024, registró valores de 34.5, 34.8 y 34.5 respectivamente, todos ellos por encima de los valores climatológicos para esos meses de 34.13, 34.26 y 34.31, respectivamente (Figura 8E). Como resultado de esto, continúan las anomalías positivas que iniciaron en abril (Figura 8F).

Temperatura superficial del Mar (TSM). La TSM en otoño, de octubre a diciembre de 2024, registró valores mensuales de 30.7, 28.4 y 26.1 °C. Los tres presentaron valores ligeramente por encima de su valor climatológico de 30.3, 28.4 y 26.0 °C respectivamente (Figura 8G); durante 2024 las anomalías de temperatura se alternaron entre positivas y negativas, pero todas ellas muy cercanas a sus valores climatológicos (Figura 8H).

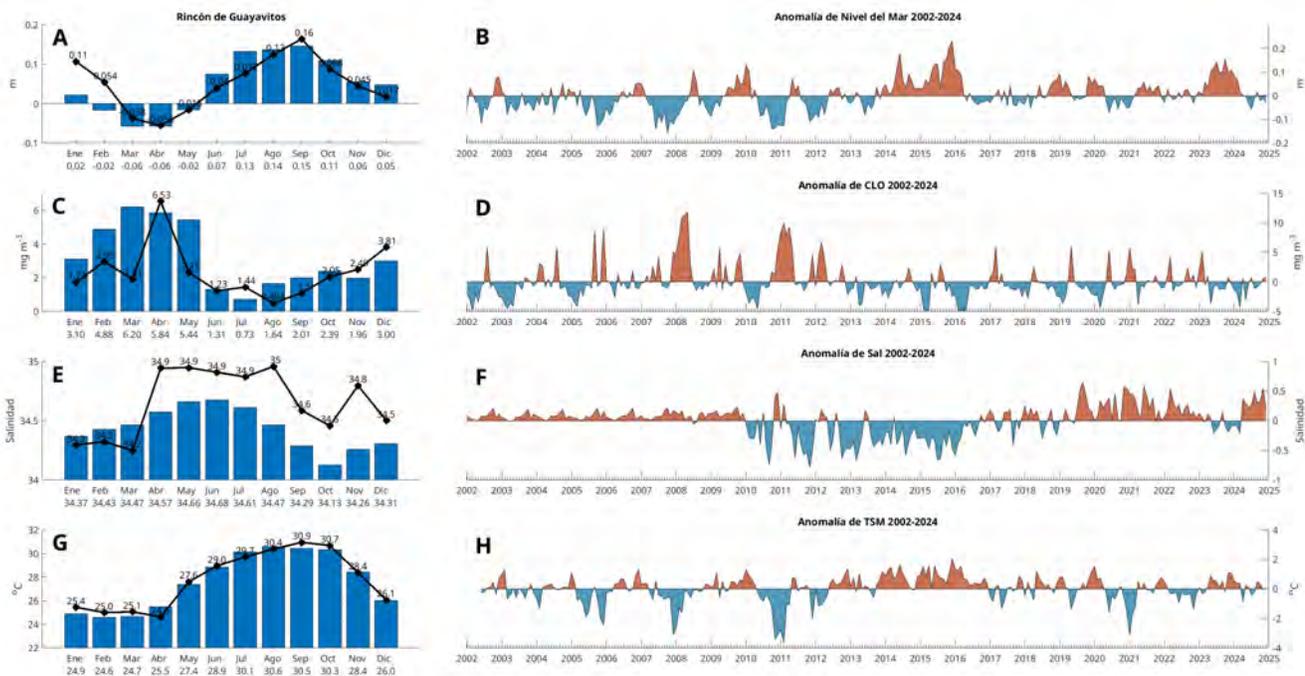


Figura 8: Climatologías mensuales y anomalías interanuales de ANM, CLO, SAL y TSM de octubre a diciembre de 2024 para Rincón de Guayabitos. Las barras azules en los paneles A, C, E y G son las climatologías mensuales de cada variable. Los números en la base de las barras indican los valores climatológicos de cada mes. Los círculos negros y el valor numérico indican el valor de registrado para cada mes de 2024. Las series de tiempo de los paneles B, D, F y H representan las anomalías mensuales interanuales.

3.1.2.4. Punta de Mita Las condiciones climatológicas y anomalías de ANM, CLO, SAL y TSM a lo largo del tiempo (2002-2024, hasta diciembre) se muestran en la Figura 9. Los promedios climatológicos para cada mes y para cada variable fueron estimados para todo el periodo, sus valores se representan con las barras azules en los paneles A, C, E y G. Estos valores fueron utilizados para estimar las anomalías a lo largo del tiempo, las series resultantes se muestran en los paneles B, D, F y H, los valores negativos, en azul, indican anomalías negativas, mientras que los positivos, en rojo, corresponden a las anomalías positivas. Los valores para cada mes, así como sus tendencias, para 2024, están representados por los círculos y líneas negras en las figuras de barras, sus valores correspondientes se muestran sobre los círculos.

Anomalías del Nivel del Mar (ANM). Los promedios de las ANM registrado en otoño, de octubre a diciembre de 2024, fueron de 0.1, 0.049 y 0.034 m, todos ellos por debajo de su valor climatológico de 0.11, 0.06 y 0.05, respectivamente (Figura 9A). Como resultado, todo el otoño presentó anomalías negativas. Desde mayo las anomalías negativas dominaron, excepto por septiembre, que tuvo anomalía positiva (Figura 9B).

Clorofila superficial (CLO). Los promedios de la CLO en otoño, de octubre a diciembre de 2024, registraron valores de 0.503, 0.906 y 2.68 mg m^{-3} (Figura 9C); los dos primeros con anomalías negativas al estar por debajo de sus valores climatológicos de 0.84 y 1.08 mg m^{-3} respectivamente; el tercero (diciembre) presentó un valor por encima de su valor climatológico de 2.14 mg m^{-3} (Figura 9D). Es destacado señalar que desde junio a noviembre de 2024 los valores de CLO han sido muy bajos respecto a los registrados de enero a mayo, mientras que diciembre tuvo un valor considerablemente alto (Figura 9D)

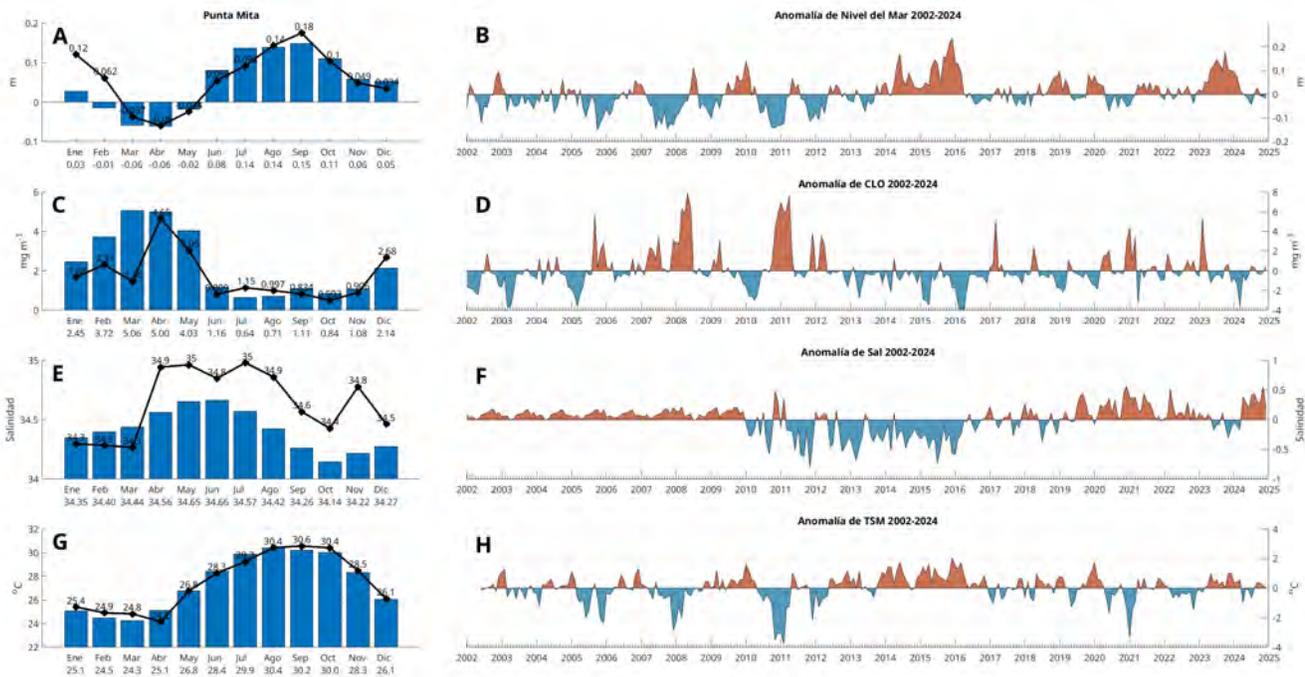


Figura 9: Climatologías mensuales y anomalías interanuales de ANM, CLO, SAL y TSM de enero a diciembre de 2024 para Punta de Mita. Las barras azules en los paneles A, C, E y G son las climatologías mensuales de cada variable. Los números en la base de las barras indican los valores climatológicos de cada mes. Los círculos negros y el valor numérico indican el valor de registrado para cada mes de 2024. Las series de tiempo de los paneles B, D, F y H representan las anomalías mensuales interanuales.

Salinidad superficial (SAL). La SAL en otoño, de octubre a diciembre de 2024, registró valores de 34.5, 34.8, y 34.5, todos ellos muy por encima de los valores climatológicos para esos meses de 34.14, 34.22 y 34.27, respectivamente (Figura 9E). Estas anomalías positivas continúan la tendencia que inició en abril (Figura 9F).

Temperatura superficial del Mar (TSM). La TSM en otoño, de octubre a diciembre, de 2024, registró valores mensuales de 30.4, 28.5 y 26.1 $^{\circ}\text{C}$ respectivamente; los tres por encima de sus valores climatológicos de 30.0, 28.3 y 26.11. (Figura 9G). Durante 2024 se han registrado ano-

malías positivas y negativas, sin un patrón definido (Figura 9H).

3.1.3. Incendios

La climatología del número de incendios mensuales por municipio, para el periodo 2001 a 2024 (hasta diciembre) se muestra en la Figura 10. Los promedios para los meses de otoño, octubre a diciembre son muy bajos, con un promedio de 1.5, 5.5 y 0.6 incendios por mes respectivamente. El análisis a nivel de municipios muestra que San Pedro Lagunillas es, por mucho, el municipio con mayor incidencia de incendios en otoño con 2.2, el resto de los municipios no llegan a uno.

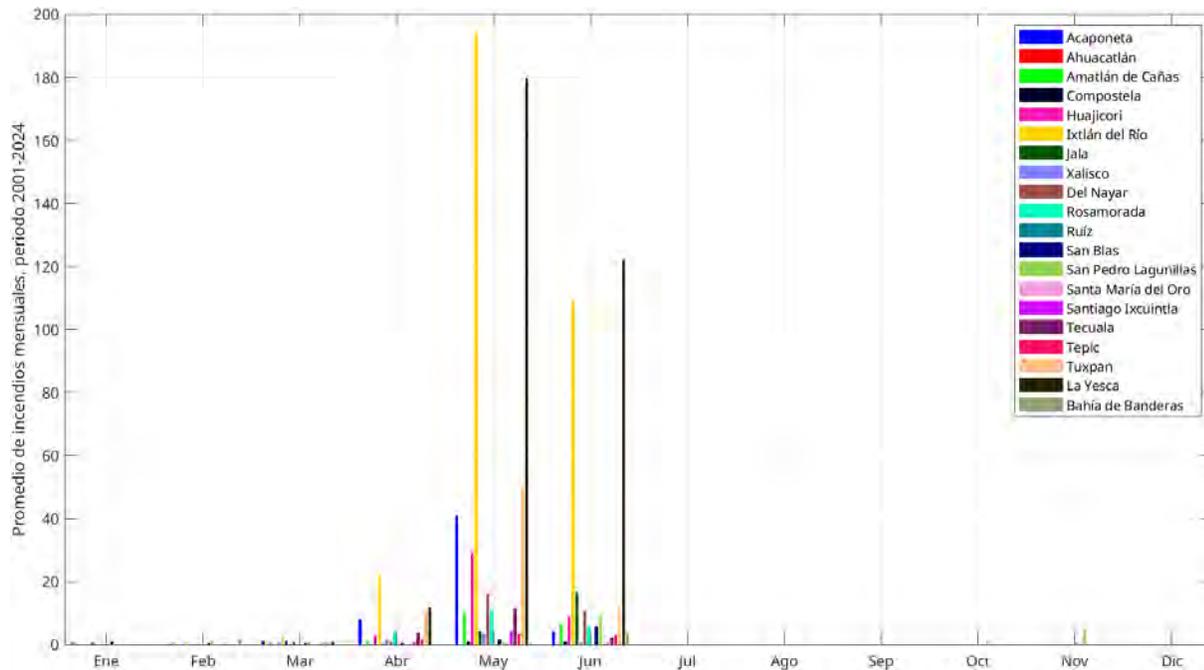


Figura 10: Climatología mensual del número de incendios para el periodo 2001-2024 (hasta diciembre) por municipio

La climatología del número de hectáreas (Ha) mensuales consumidas por los incendios por municipio, para el periodo 2001 a 2024 (hasta diciembre) se muestra en la Figura 11. El análisis mensual de octubre a diciembre indica que noviembre es donde más área es afectada, con un promedio de 277 Ha, seguido de octubre con 72 Ha y diciembre con 51 Ha. Respecto al trimestre de otoño, en estos meses se queman 133 Ha, que corresponde al 0.64% del promedio total de área quemada. En términos de los municipios que presentan mayor área quemada, al igual que con el número de incendios, San Pedro Lagunillas presenta la mayor cantidad con 109 Ha, seguido de Ruiz con 8.7 y Amatlán de Caña con 6.9 Ha.

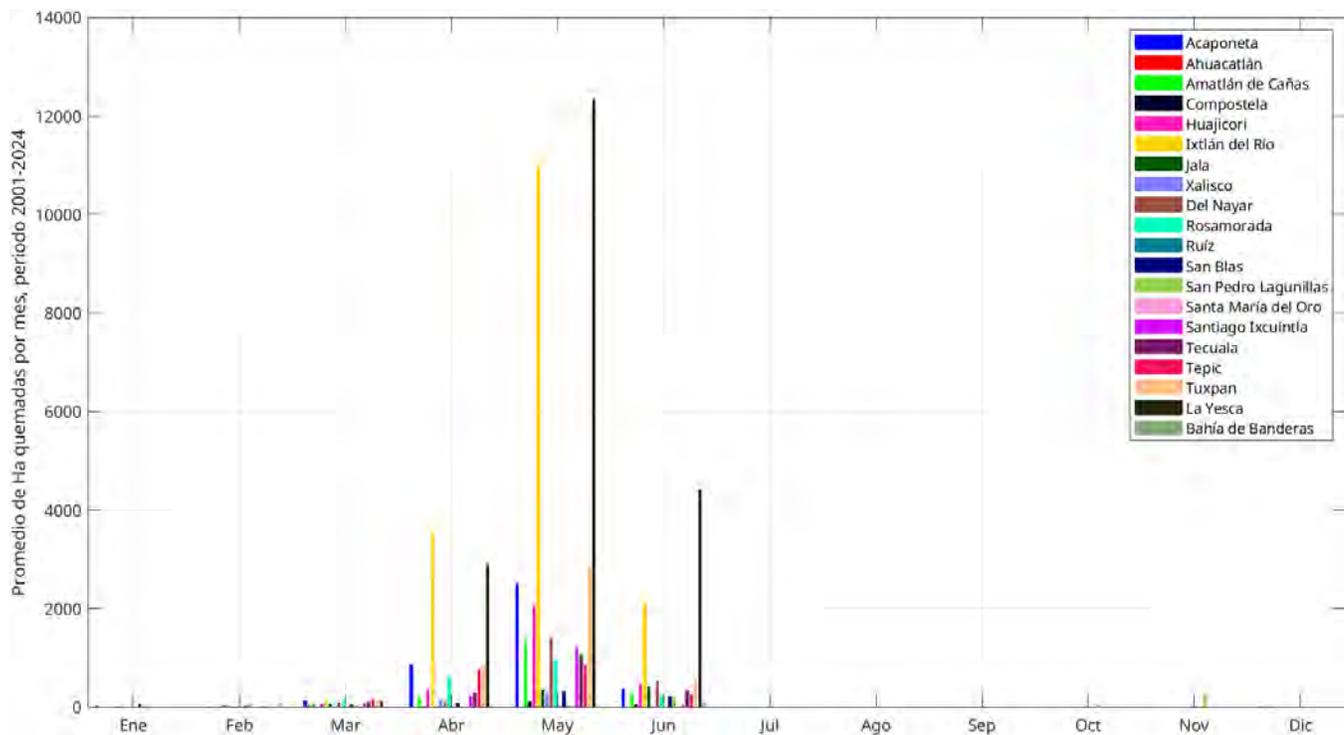


Figura 11: Climatología mensual del número de hectáreas (Ha) quemadas por municipio para el periodo 2001-2024 (hasta diciembre).

Las climatologías mensuales del número de incendios y Ha quemadas para todo el estado de Nayarit se muestran en la [Figura 12](#). Las barras azules en el panel superior muestran la climatología del número de incendios para cada mes, mientras que la línea negra con círculos negros indica los valores mensuales para 2024. En enero no hubo ningún incendio, en febrero hubo 5, en marzo 3, en abril 108, en mayo 525, en junio 152, de julio a diciembre no hubo incendios. Durante 2024, solo abril (108) estuvo por encima de su valor climatológico (70.71). Las barras azules en el panel inferior muestran la climatología del número de hectáreas quemadas para cada mes y la línea negra con círculos negros indica los valores mensuales para 2024. En enero no hubo ninguna Ha quemada, en febrero hubo 350, en marzo 225, en abril 22700, en mayo 54125 y en junio 9875, de julio a diciembre nada. Los meses de abril y mayo estuvieron por encima de su valor climatológico (ver valores abajo de la etiqueta del mes en el eje x). Mayo, en particular, presenta la mayor anomalía positiva (54125, respecto a 38822 de su valor climatológico), a pesar de que el número de incendios fue menor que su promedio.

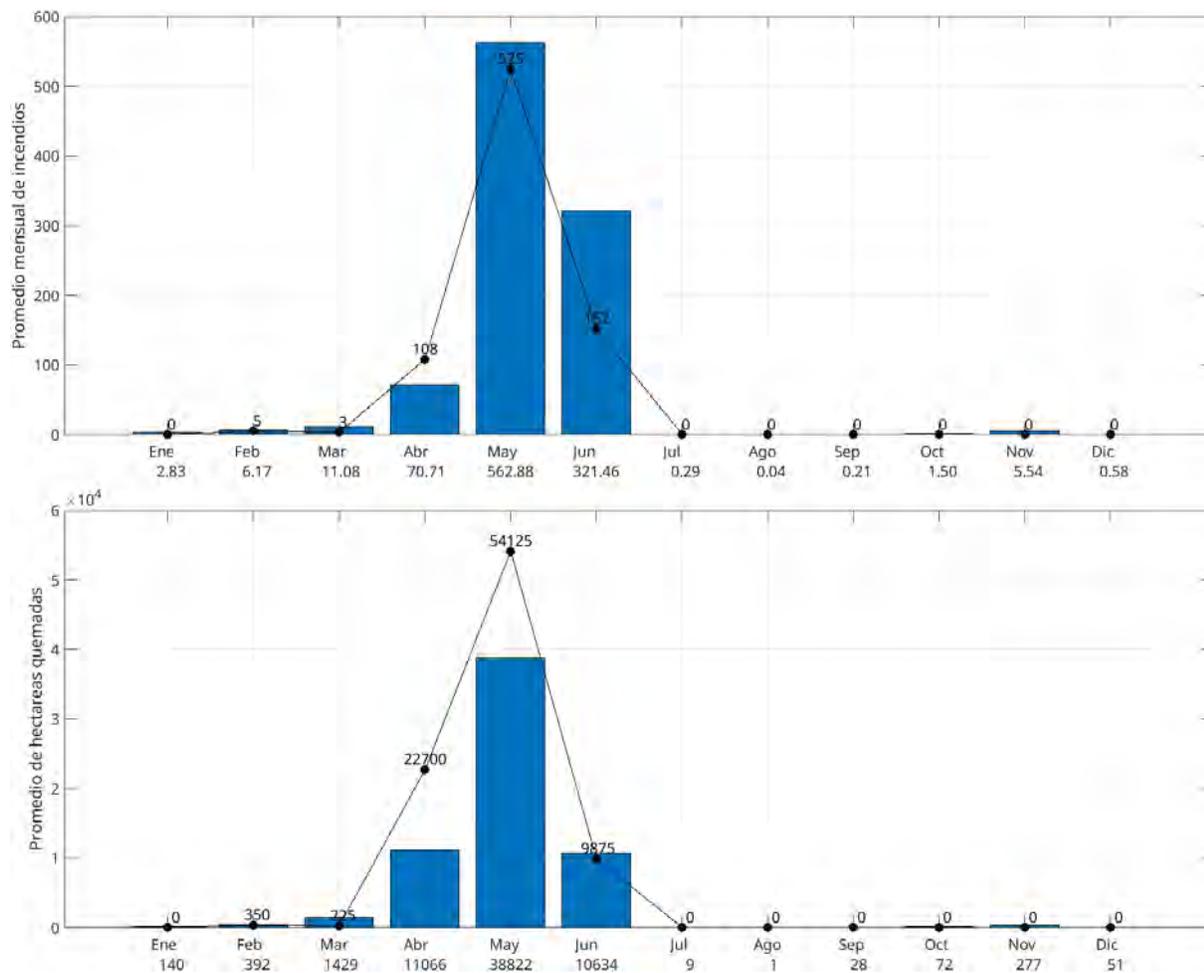


Figura 12: Las barras azules indican la Climatología mensual (2001-2024) del número de incendios A y hectáreas (Has) quemadas A para el estado de Nayarit. Las líneas negras y los círculos negros indican los valores mensuales de 2024 (hasta diciembre).

3.1.4. Cobertura de mangles

Perfil temporal. El análisis temporal del NDVI revela tres componentes principales (Figura 13A). El primero corresponde al patrón estacional anual, con valores máximos entre octubre y noviembre y mínimos en mayo. El segundo componente son las tendencias interanuales, donde se observa que, entre 2002 y 2010, el NDVI se mantiene prácticamente estable con una leve tendencia negativa (-0.001); entre 2010 y 2015, presenta una tendencia positiva (0.012); y entre 2015 y 2024, muestra una tendencia negativa más acentuada (-0.018). Por último, destaca una disminución significativa del NDVI en octubre de 2022, coincidiendo con el impacto del huracán Roselyn en la región el 22 de ese mes. La Figura 13B detalla la serie temporal de los últimos tres años, enfocándose en la trayectoria del NDVI durante el último trimestre reportado (octubre-diciembre 2024). En este periodo, se observa que los valores del NDVI comienzan a estabilizarse en diciembre.

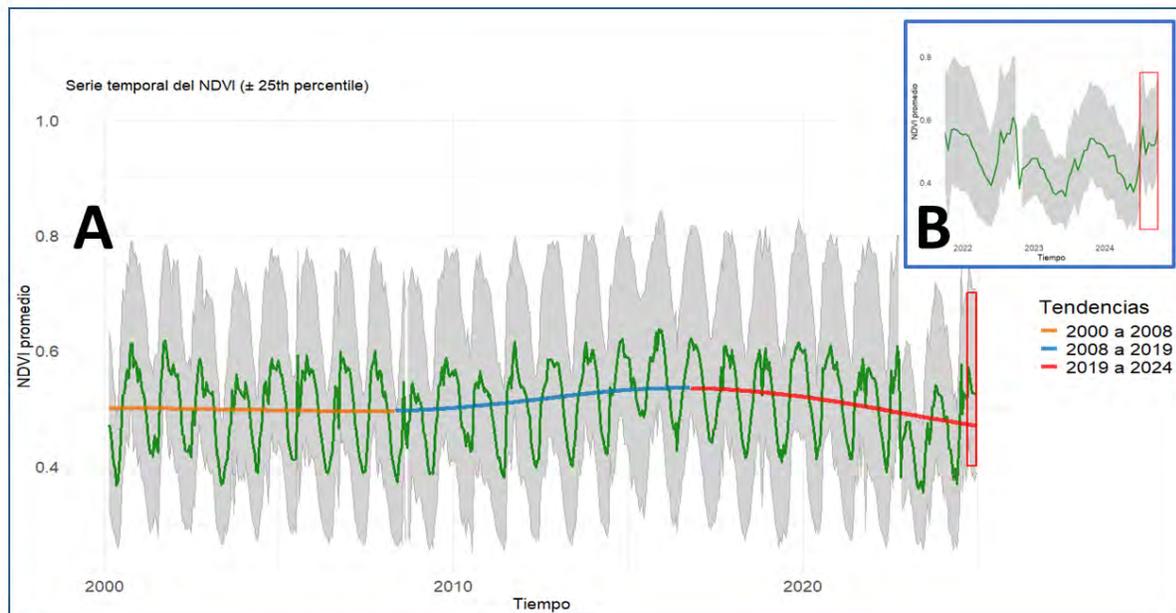


Figura 13: Panel A: Perfil temporal del NDVI promedio de los píxeles de manglar de Marismas Nacionales. Las curvas de tendencia corresponden a un suavizado de splines. El área sombreada representa el rango inter cuartil. Panel B: Acercamiento a la serie temporal para el trimestre de otoño octubre-diciembre 2024.

Climatología trimestral. La Figura 14 muestra la climatología trimestral del NDVI entre 2000 y 2024. El análisis espacial indica que los valores más altos de NDVI (superiores a 0.5) se registran entre octubre y diciembre, mientras que los más bajos (inferiores a 0.4) ocurren entre abril y junio. En contraste, la vegetación circundante al manglar presenta un patrón fenológico distinto, caracterizado por una mayor variabilidad estacional y valores de NDVI generalmente más bajos. Estas diferencias se evidencian en histogramas bimodales durante los trimestres de octubre-diciembre y enero-marzo, así como en distribuciones con picos marcados en los periodos de enero-marzo y abril-junio. Durante el primer trimestre, el NDVI muestra una distribución más amplia, mientras que en el segundo trimestre los valores se concentran en rangos intermedios por debajo de 0.5. En el último trimestre, la distribución es asimétrica, predominando los valores altos de NDVI.

La distribución espacial del NDVI durante el último trimestre del año (octubre-diciembre 2024) se presenta en la Figura 15A. En comparación con la climatología, se observan valores más bajos, especialmente en áreas de vegetación asociada al manglar, como los alrededores de granjas acuícolas, parches de manglar inundados y zonas con cobertura escasa de manglar. El histograma de densidad muestra un sesgo hacia valores más altos de NDVI, concentrados entre 0.54 y 0.58. Por otro lado, la variabilidad de los valores de NDVI, medida como desviación estándar, se mantuvo baja durante este trimestre (promedio ≈ 0.047), aunque se registraron valores más altos en áreas con píxeles mixtos de cobertura de manglar y cuerpos de agua (Figura 15B).

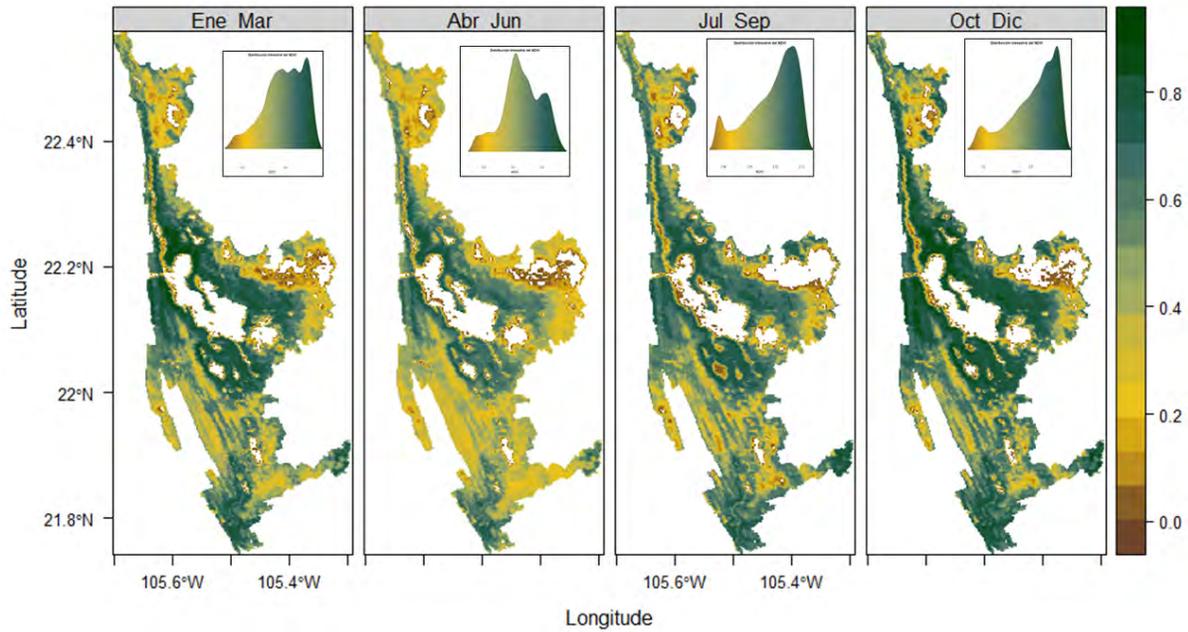


Figura 14: Distribución espacial e histogramas de densidad de la climatología trimestral del NDVI para el polígono de Marismas Nacionales.

La [Figura 15A](#), muestra la distribución espacial del promedio trimestral de julio-septiembre 2024. Se aprecian en general valores más bajos que la climatología, principalmente en la vegetación asociada al manglar. El histograma de densidad está sesgado hacia valores más altos de NDVI que se concentran alrededor de 0.55. Adicionalmente, la variabilidad de los valores NDVI (desviación estándar) para el trimestre julio-septiembre se mantuvo baja (promedio 0.08), mostrando valores elevados en zonas de píxeles mixtos de cobertura de manglar y espejo de agua ([Figura 15B](#)).

Anomalía. La [Figura 15C](#) ilustra la distribución espacial de las anomalías del NDVI durante el periodo de octubre a diciembre. Se identificaron píxeles con valores-z inferiores a 2, posiblemente relacionados con áreas de manglar perturbado, en las cercanías del complejo lagunar Agua Brava, dentro y alrededor del estero El Gavilán, así como en la zona central norte de la laguna. Por otro lado, el análisis temporal de las anomalías ([Figura 16B](#)) muestra una alternancia entre valores positivos y negativos entre 2000 y 2013. A partir de 2014 y hasta 2022, las anomalías positivas fueron predominantes, mientras que desde 2023 comenzaron a prevalecer las negativas. Aunque en julio de 2024 los valores de NDVI superaron la media climatológica, durante el trimestre octubre-diciembre se registraron valores por debajo del promedio histórico ([Figura 16A](#)).

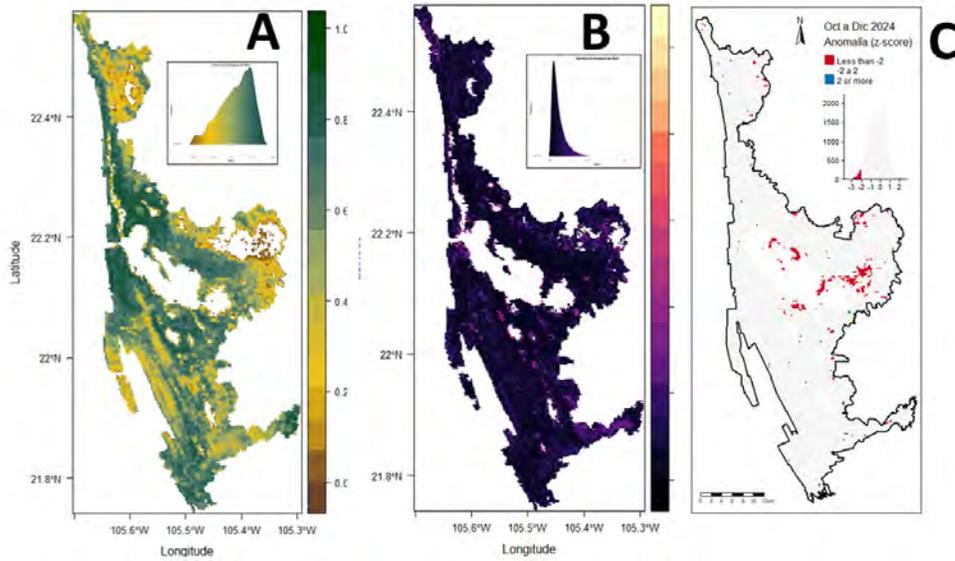


Figura 15: Panel A: Distribución espacial e histograma del promedio trimestral del NDVI. Panel B: Distribución espacial de la variabilidad (desviación estándar) del NDVI para el trimestre octubre-diciembre 2024. Panel C: Distribución espacial de la anomalía trimestral (valores-z).

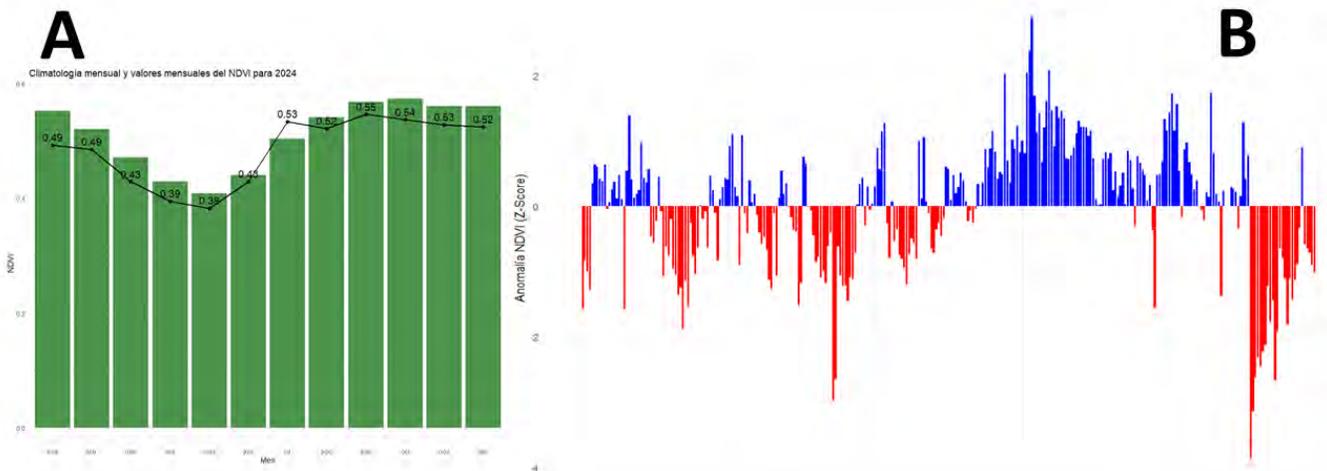


Figura 16: Panel A: Las barras verdes representan la climatología mensual (promedio mensual de largo plazo), las líneas representan el promedio mensual del año 2024. Panel B: Serie temporal de las anomalías mensuales (valores-z).

3.2. Datos in situ

3.2.1. Estaciones meteorológicas

3.2.1.1. Tepic. Los datos registrados la estación meteorológica de CICESE en Tepic, Nayarit, incluyen registros del periodo de 92 días a partir del 1 de octubre hasta el 31 de diciembre de 2024 [Figura 17](#). Esta figura muestra una serie de tiempo con las observaciones diarias de temperaturas extremas (mínima y máxima) así como la magnitud de viento máximo. La temperatura máxima promedio, en el periodo, fue 31.5 °C mientras que 15.0 °C la mínima.

Las temperaturas máximas oscilaron entre 30-35 °C durante el primer mes del periodo completo con un mínimo absoluto de 35 °C el 2 y 20 de octubre mientras que las mínimas estuvieron entre 15-22 °C. En contraste, las temperaturas durante noviembre estuvieron disminuyendo principalmente durante los últimos 10 días del mes. En diciembre, las temperaturas mínimas estuvieron en el rango de 10-15 °C con mínimas entre 5-10 °C a partir del 24 de diciembre.

La magnitud del viento máximo tuvo un valor de 35.5 km/h el 20 de octubre y 33.8 km/h el 11 de diciembre, los que son mayores que las oscilaciones dentro del rango 15-30 km/h que ocurrieron durante la mayor parte del periodo. Además, el valor del viento máximo promedio (diario) fue de 20.1 km/h".

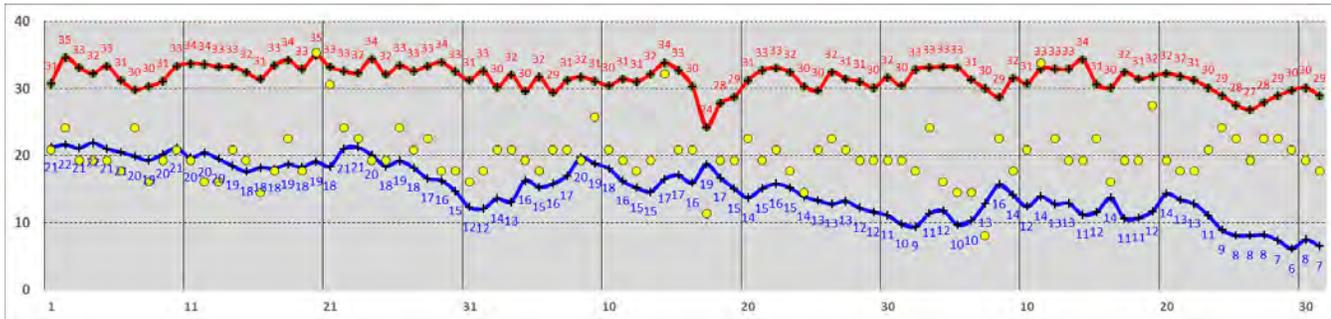


Figura 17: Datos diarios de la estación meteorológica de CICESE en Tepic, Nayarit. La línea roja indica la temperatura máxima (°C); línea azul representa temperatura mínima (°C); el círculo amarillo representa la velocidad del viento (km/h). El periodo de observación es de 1 de octubre al 31 de diciembre de 2024, con actualización cada 24 horas. Las líneas punteadas indican el promedio del periodo para temperaturas máximas (31.5°C) y mínimas (20.1°C).

3.2.1.2. Matanchén. Los datos registrados para la estación incluyen datos para el otoño, del 1 de octubre al 31 de diciembre. Se muestran datos de temperatura del aire (T_{air} , [Figura 18A](#)), humedad (Hum, [Figura 18B](#)) promedio, máxima y mínima por día, promedio de la presión atmosférica (Patm, [Figura 18C](#)), radiación solar (Rs, [Figura 18D](#)) y la intensidad y dirección del viento (Wnd, [Figura 18E](#)).

Temperatura del aire (T_{air}). Los datos diarios de la T_{air} ([Figura 18A](#)) registrados durante el otoño, mostraron un promedio de 25.54 °C; los valores máximos y mínimos fueron de 36.9 y 14.6°C, respectivamente. En el mes de octubre se observaron valores promedio, máximos y mínimos de 28.66, 36.9 y 22.8 °C respectivamente; para noviembre fueron de 25.22, 30.9 y 18.7 °C; para diciembre de 22.71, 31.6 y 14.6 °C. Es clara la tendencia hacia menos temperaturas, con

los valores máximos en otoño.

Humedad (H). La H (Figura 18B) promedio registrada en otoño osciló fue de 80 %, con máximo y mínimo de 85 y 44 %. En el mes de octubre se observaron valores promedio, máximo y mínimos, de 79, 83 y 44 %; en noviembre los valores fueron de 80, 55 y 57 %; mientras que para diciembre fueron de 80.9, 85 y 52 % respectivamente.

Presión atmosférica (Patm). La Patm (Figura 18C) registro valores promedio de 1012 mb durante el otoño. Los valores promedio, máximo y mínimos para octubre fueron de 1011.17, 1016.8 y 1006.7 mb respectivamente; para noviembre fueron de 1011.6, 1016.8 y 1006.7 mb; en diciembre fueron de 1014.25, 1017.5 y 1010.2 mb.

Radiación solar (Rs). durante otoño no se registró por falla en sensor de radiación solar.

Dirección y velocidad del viento (Wnd). El Wnd (Figura 18E) registrado en otoño por el anemómetro, indico un promedio de velocidad de 15 m s^{-1} . Las velocidades promedio, máximo y mínimos para octubre, fueron de 0.24, 3.1 y 0 m s^{-1} respectivamente; para noviembre fueron de 0.13, 2.7 y 0 m s^{-1} ; en septiembre fueron de 0.08, 2.7 y 0 m s^{-1} .

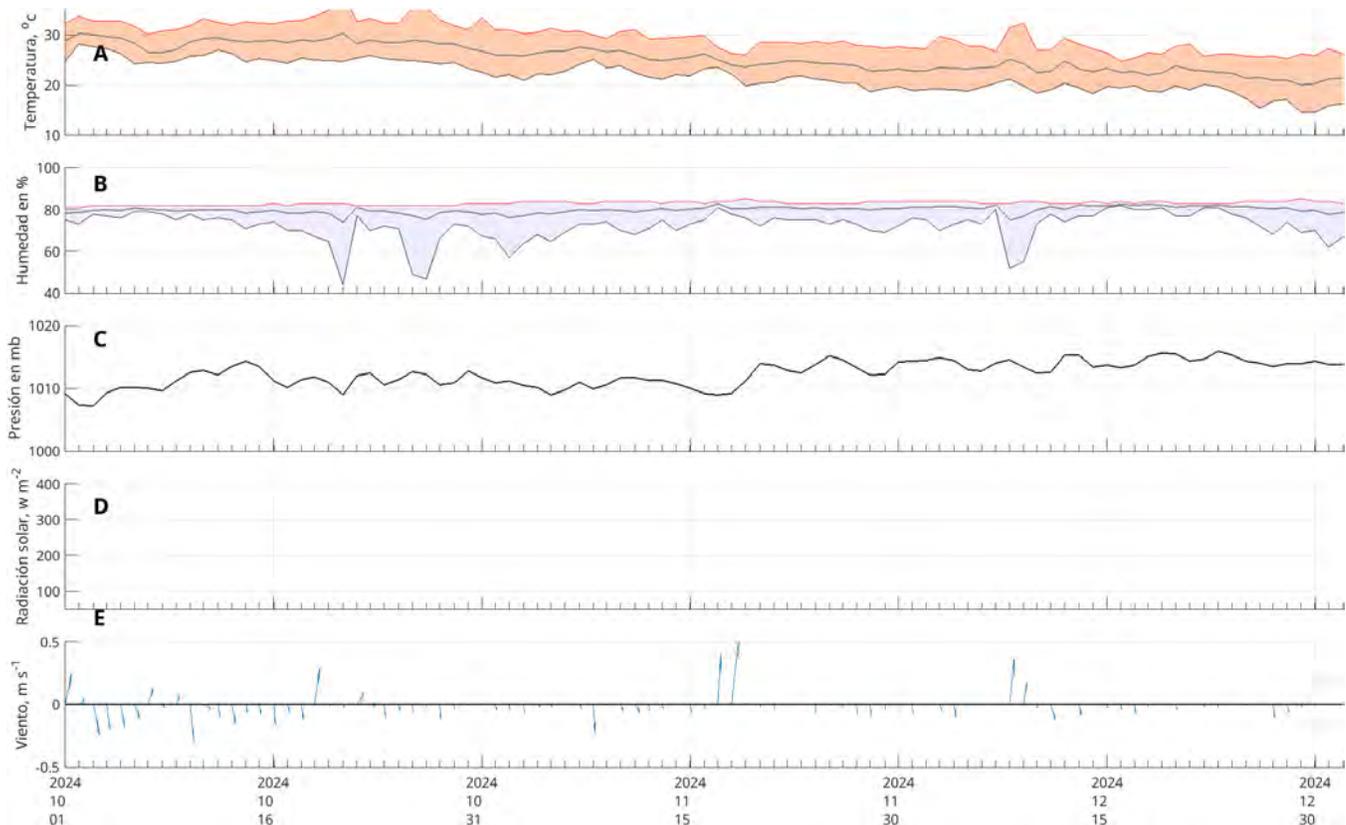


Figura 18: Datos de la estación meteorológica de Matanchén. La línea roja indica las temperaturas del aire (T_{air}) máximas; la azul las temperaturas mínimas; la negra representa la velocidad del viento. Periodo de octubre a diciembre de 2024.

Con los datos de Wnd, adicionalmente se construyó una figura de rosa de los vientos, para dar una idea de la dirección dominante del viento Figura 19 durante los meses de octubre a diciembre

de 2024. La [Figura 19](#), muestra la dirección predominante (medido cada 30 grados). La dirección predominante fue del suroeste.

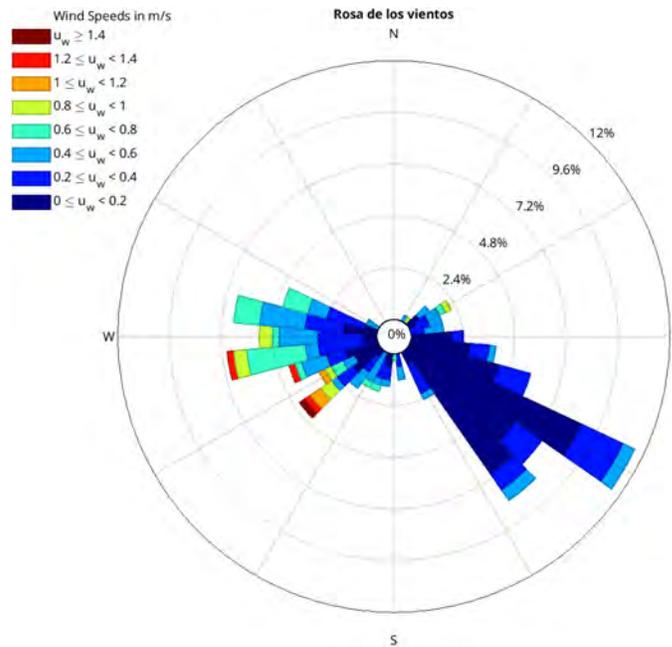


Figura 19: Rosa de los vientos a partir de la estación meteorológica de Matanchen. Los vientos indican su origen. Periodo del 1 de octubre al 31 de diciembre

3.2.2. Termistores (TSM)

3.2.2.1. Boya de Chacala, Compostela. En el HOBO de este sitio se registró un periodo de temperaturas que cubre la última semana de noviembre y el mes de diciembre. En el periodo de la última semana del mes de noviembre al mes de diciembre se observó una temperatura constante con un promedio de 25.96 °C, máxima de 32.1 °C y una mínima 18.4 °C. En la última semana de noviembre se presentó la temperatura más alta de 32.1 °C, así como la temperatura mínima de 18.4 °C ([Figura 20A](#)).

3.2.2.2. Estero El Poso, San Blas. En este sitio se instalaron 2 termistores. En el primer dispositivo (San Blas 1 muelle), se registró un periodo de temperaturas del mes de octubre a diciembre, con temperaturas promedio de 27.01 °C, máxima de 34 °C y mínima de 23 °C ([Figura 20B](#)). El segundo dispositivo registró un periodo del mes de octubre a diciembre en la Boya de San Blas la cual presento temperaturas con promedio de 28.2 °C, máxima de 32.9 °C y una mínima de 25.5 °C ([Figura 20C](#)).

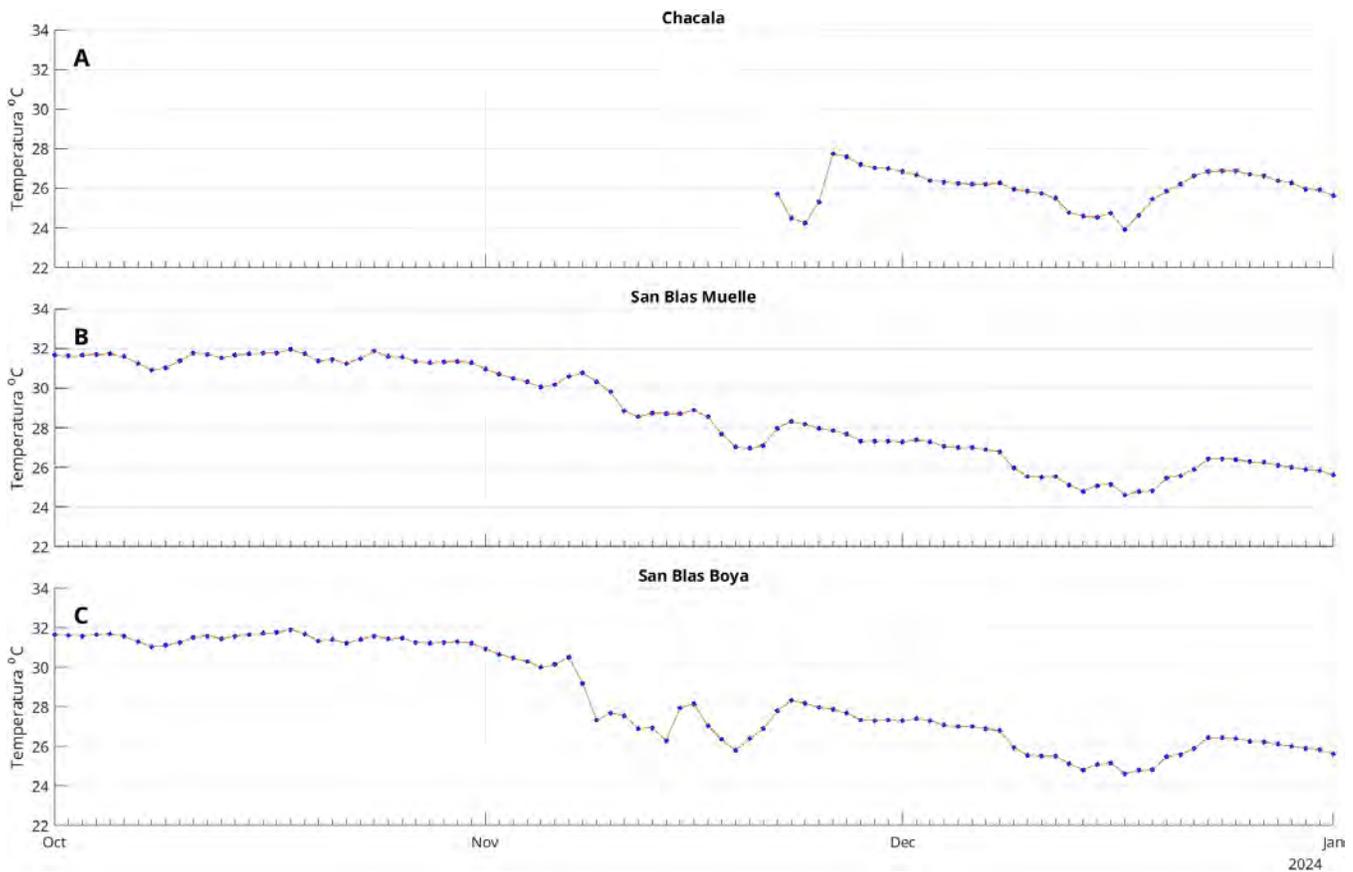


Figura 20: Series de tiempo de temperatura superficial del mar (aproximadamente a 1 m) obtenida en Chacala y Estero El Poso (San Blas). La línea marrón representa los valores registrados por hora para el periodo de otoño (octubre a diciembre), la línea azul es el promedio por día.

Referencias

3.3. Agradecimientos

Al director de Pesca y Acuicultura del ayuntamiento de Compostela, C. Abelardo Bustos Oreón Director de Pesca y Acuicultura del XLI Ayuntamiento de Compostela, Nayarit, quien brindó las facilidades para la instalación de un termógrafo en la playa de Chacala. Al Ing. Ricardo Murillo de PILAS TOURS por su apoyo para la recolección de datos de dicho termógrafo.