

Boletín ambiental del estado de Nayarit primavera (abril-junio) de 2025

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, Dr. Oscar Reséndiz Pacheco⁷.

¹CICESE-UAT, ²CIBNOR Unidad Nayarit, ³ENIP-UAN, ⁴CENITT, ⁵TecNM/Instituto Tecnológico de Bahía de Banderas, ⁶CICESE-UALP, ⁷UABCS.

OCTUBRE DE 2025, AÑO 2, No. 6

Introducción

Este boletín es el resultado del esfuerzo interinstitucional, que ha 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 el CICESE-UAT 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-UAT. 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.

En la Reserva de la Biosfera Marismas Nacionales, los manglares —vegetación halotolerante situada en la interfase mar-tierra— cumplen un papel clave por los servicios ecosistémicos, las funciones ecológicas y los beneficios económicos que proveen. Entre sus atributos, sobresale la alta capacidad de captura y almacenamiento de carbono, superior a la de otros ecosistemas tropicales. En este contexto, se propone la instauración de un sistema de monitoreo basado en tecnología satelital para evaluar el estado de los manglares y sus coberturas asociadas. La puesta en marcha de dicho sistema resulta crucial para sustentar la toma de decisiones en gestión y conservación de estos ecosistemas.

Finalmente, con los datos *in situ*, se construyen gráficas diarias con la información recolectada 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.

Asimismo se presenta información de la temporada de ciclones tropicales.

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. Cobertura de mangles	7
2.2. Datos <i>in situ</i>	7
2.2.1. Estaciones meteorológicas	7
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).	8
3.1.1.4. Temperatura Superficial del Mar (TSM).	9
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.	16
3.1.2.4. Punta de Mita	17
3.1.3. Cobertura de mangles	18
3.2. Datos <i>in situ</i>	21
3.2.1. Estaciones meteorológicas	21
3.2.1.1. Tepic.	21
3.2.1.2. Matanchén.	21
3.2.2. Termistores (TSM)	24
3.2.2.1. Boya de Chacala, Compostela.	24
3.2.2.2. Estero El Poso, San Blas.	24
3.3. Agradecimientos	26

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.

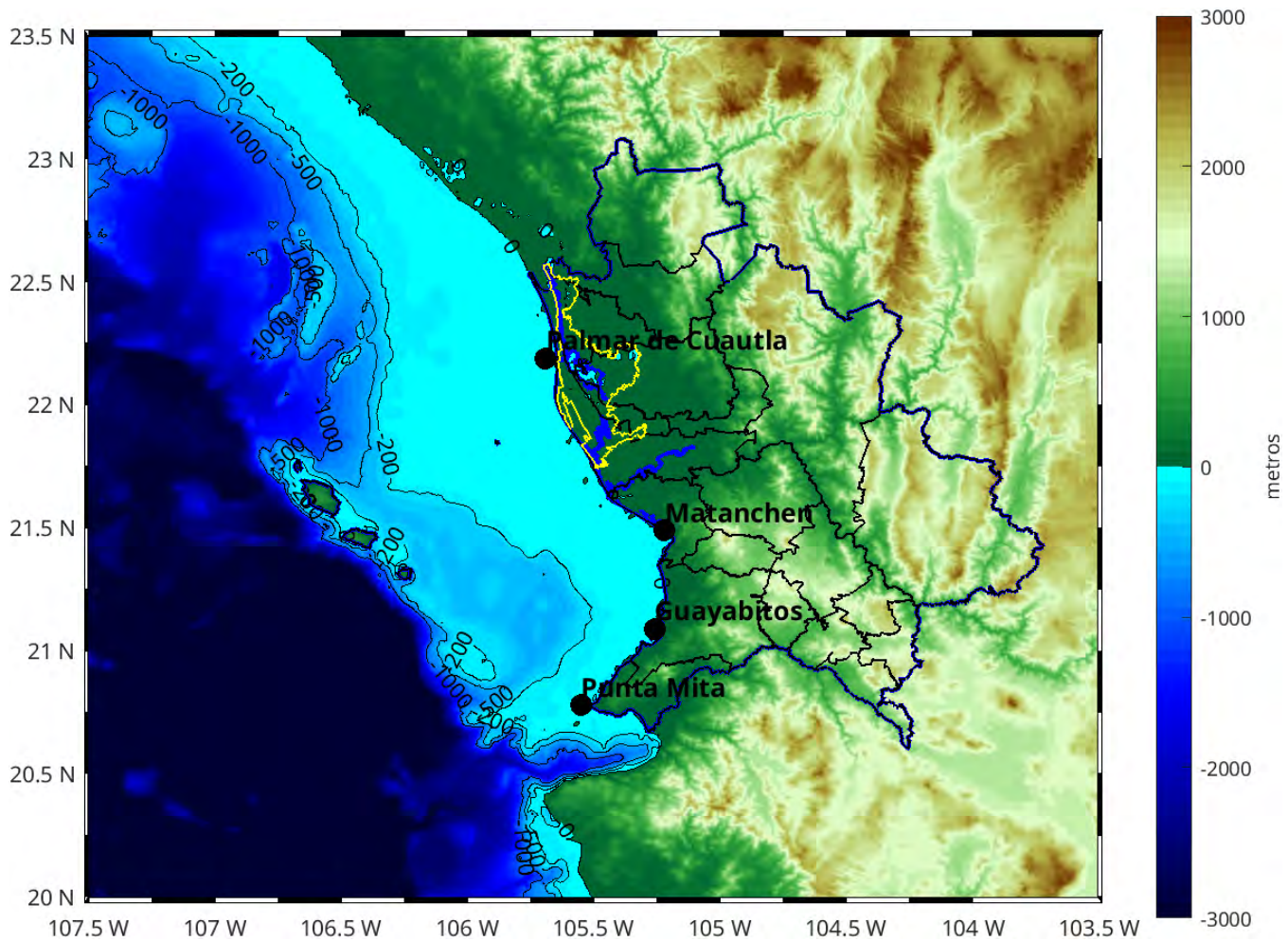


Figura 1: Batimetría de la zona de interés, en azul la zona oceánica, en verde y café la zona terrestre. La línea de contorno azul delimita el estado de Nayarit, los contornos negros dentro de ella delimitan los 20 municipios del estado. Los círculos negros marcan los sitios seleccionados para el análisis 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 abril a junio de 2025 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 contienen la descripción o metadatos 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 espaciales. 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 2025-07-21.

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% (Cervantes Duarte et al., 2004). 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 (Garneisson et al., 2019) (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_l3-multi-, accesado el 2025-07-21).

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 2025-07-12). 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 1x1 km (Chin et al., 2017) (<https://doi.org/10.5067/GHGMR-4FJ04>), accesado el 2025-07-21.

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 (abril-junio) para 2025). A partir de estos dos promedios, se utilizó el cálculo propuesto por Kushnir (1994) y Ramos-Rodríguez et al. (2012), el cual consiste en restar el promedio de primavera de 2025 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 junio de 2025; la **SAL** de enero de 1993 a junio de 2025; la **TSM** corresponde al período de enero de 2003 a junio de 2025; para el caso específico de la **ANM**, esta variable ya es proporcionada como una anomalía por CMEMS, la base para este cálculo cubre el período de 1993 a 2012.

La paleta de color utilizada en los mapas de SAL proviene del cmocean (Thyng et al., 2016), 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 abril a junio de 2025. 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. Cobertura de mangles

Datos satelitales. Entre 2001 y 2025 se evaluó el vigor de los manglares empleando el índice NDVI del producto MOD13Q1 V6.1, derivado del sensor MODIS a bordo de la misión Terra de la NASA (Didan, 2021). Dicho producto consiste en compuestos quincenales de índices de vegetación con resolución espacial de 250 m, generados mediante un algoritmo de selección del mejor píxel que descarta observaciones afectadas por agua, nubosidad, sombras y aerosoles. Estas características lo convierten en una fuente idónea para análisis multitemporales orientados a la evaluación de los ecosistemas de manglar en la Reserva de la Biosfera Marismas Nacionales.

Análisis. Se construyó una serie temporal de NDVI para 2001–2025 a partir de los promedios de los píxeles clasificados como manglar en cada imagen. Con dicha serie se derivaron promedios mensuales y trimestrales (climatología) del NDVI. La distribución de los valores se representó mediante histogramas de densidad y la heterogeneidad espacial se visualizó en mapas. Para estimar la anomalía del trimestre abril–junio de 2025, se empleó como periodo de referencia 2001–2024 aplicando la siguiente expresión:

$$Anomalía_{abr-jun_{2025}} = (promedio_{abr-jun_{2025}} - climatología_{abr-jun-2001-2024}) / DesvEst_{abr-jun-2001-2024} \quad (2)$$

Donde:

$promedio_{abr-jun_{2025}}$: promedio de los compuestos NDVI para el trimestre abril-junio 2025.

$climatología_{abr-jun-2001-2024}$: promedio de los compuestos NDVI para el período abril-junio de 2001 a 2024.

$DesvEst_{ene-mar-2001-2024}$: desviación estándar de los compuestos NDVI para el período abril-junio de 2001 a 2024.

El software estadístico R (R Core Team, 2023) fue empleado para llevar a cabo los análisis y la elaboración de gráficas y mapas.

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 HOB0 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 verano, de enero a junio de 2025, se pueden observar en la [Figura 2](#). El panel **A** muestra el mapa con los niveles máximos durante primavera, con un intervalo entre 0.076 y 0.34 m, un rango mayor al de invierno de 2025 (0.023 y 0.1385 m); el panel **B** muestra el mapa con los valores mínimos, ubicados entre -0.11 y -0.02 m, ligeramente mayor al de invierno con valores de -0.12 y -0.035 m; el panel **C** muestra el mapa con las anomalías promedio, con un rango entre -0.005 y 0.12 m, un rango diferente al de invierno de -0.028 y 0.032 m; el panel **D** muestra el mapa con la desviación estándar, con un valor máximo de 0.1, el doble que el de invierno de 0.05. En general, la mayoría de las diferencias fueron positivas en toda la región costera ([Figura 2 D](#)).

3.1.1.2. Clorofila superficial (CLO). Las condiciones de CLO durante el trimestre de primavera de 2025, de abril a junio, se muestran en la [Figura 3](#). El mapa del panel **A** muestra las concentraciones máximas registradas, cuyo valor se ubicó en 54.77 mg m^{-3} , menor a los 61.5 mg m^{-3} de invierno de 2025. El panel **B** muestra las concentraciones promedio, cuyo rango estuvo entre 0.14 y 14.79 mg m^{-3} , rango menor al de invierno de 0.23 y 18.41 mg m^{-3} . El panel **C** muestra la desviación estándar, su valor máximo fue 12.59 mg m^{-3} , menor a los 15.4 mg m^{-3} de invierno. 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 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 -2.79 y 9.27 mg m^{-3} , un rango mayor al de invierno (-0.36 y 11.76 mg m^{-3}), aunque con un máximo menor. En términos generales, las mayores concentraciones de CLO se ubican en toda la región costera, que presentó anomalías positivas al norte de la región de Bahía de Banderas. En esa misma bahía las anomalías fueron negativas.

3.1.1.3. Salinidad superficial (SAL). Las condiciones de SAL durante el trimestre de primavera (abril a junio) de 2025 se muestran en la [Figura 4](#). El mapa del panel **A** muestra las salinidades máximas registradas, su valor fue de 36, ligeramente mayor respecto al de invierno (35.8). El

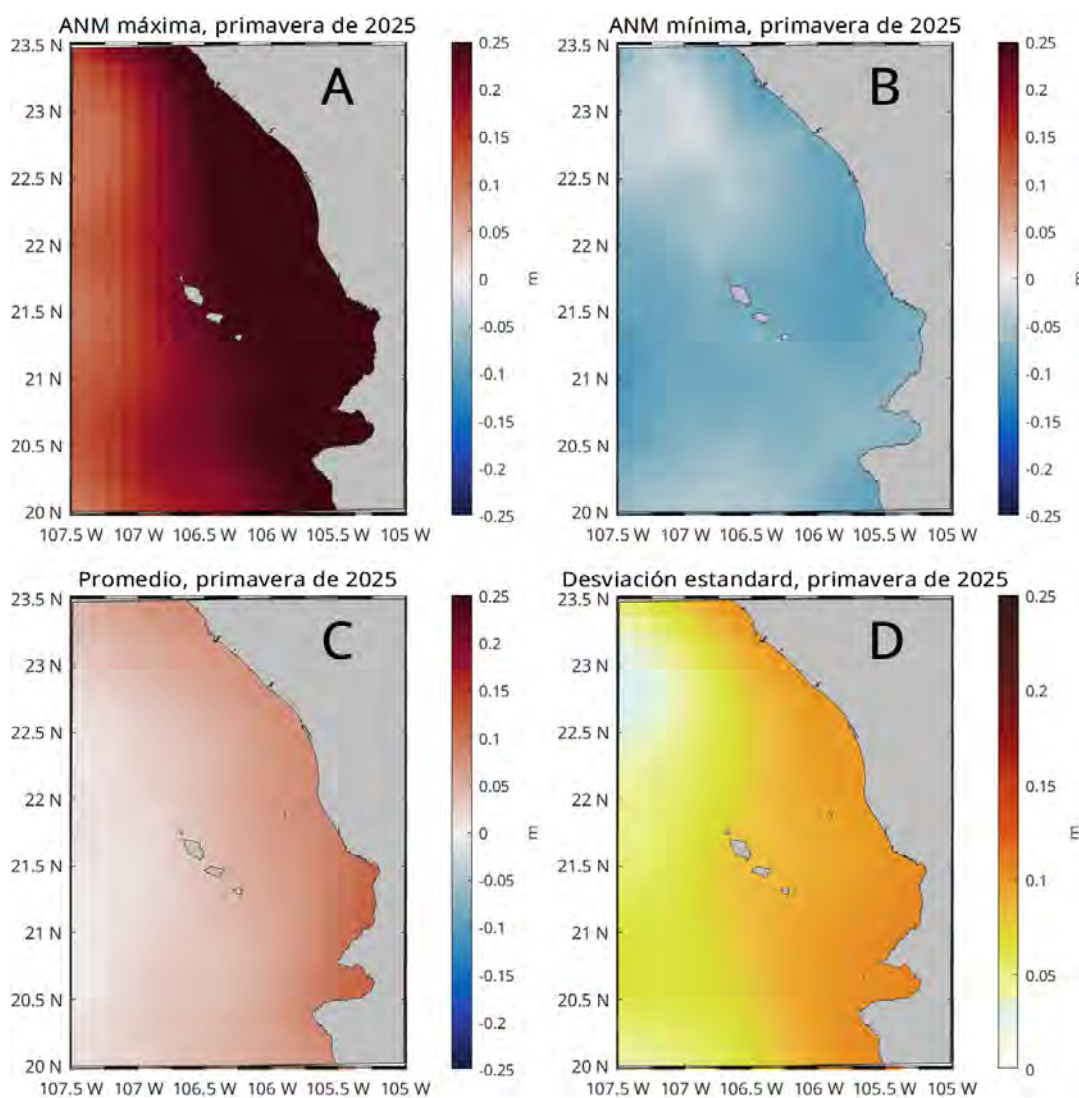


Figura 2: Condiciones de ANM durante primavera (abril a junio) de 2025. Panel A, mapa con valores máximos; B mapa con valores mínimos; C mapa con valores promedio; D mapa con la desviación estándar.

panel B muestra el promedio de salinidad, cuyo rango estuvo entre 34.56 y 34.89, prácticamente igual a los valores de invierno de 34.49 y 34.72. El panel C muestra la desviación estándar, con un valor máximo de 0.44, igual que el de invierno. El panel D muestra las anomalías con respecto al promedio histórico o climatológico de datos, el rango se ubicó entre -0.17 y 0.22, un rango ligeramente menor al de invierno de -0.19 y 0.23. En términos generales, las condiciones son relativamente constantes u homogéneas, dominadas por anomalías ligeramente positivas, principalmente al sur de los 22.5 °N, al norte de este punto las anomalías son negativas.

3.1.1.4. Temperatura Superficial del Mar (TSM). Las condiciones de TSM durante el trimestre de primavera (abril a junio) de 2025 se muestran en la [Figura 5](#). El mapa del panel A muestra las temperaturas máximas registradas, con un valor de 27.73 °C, menos de 2 °C en comparación de otoño de 2024 (29.88 °C). El panel B muestra el promedio de temperatura, cuyo rango estuvo entre 20.27 y 24.93 °C, menor en más de 2 °C en comparación de otoño (26.01 y 28.64 °C). El panel C muestra la desviación estándar, con un valor máximo de 1.63 °C, una diferencia de más

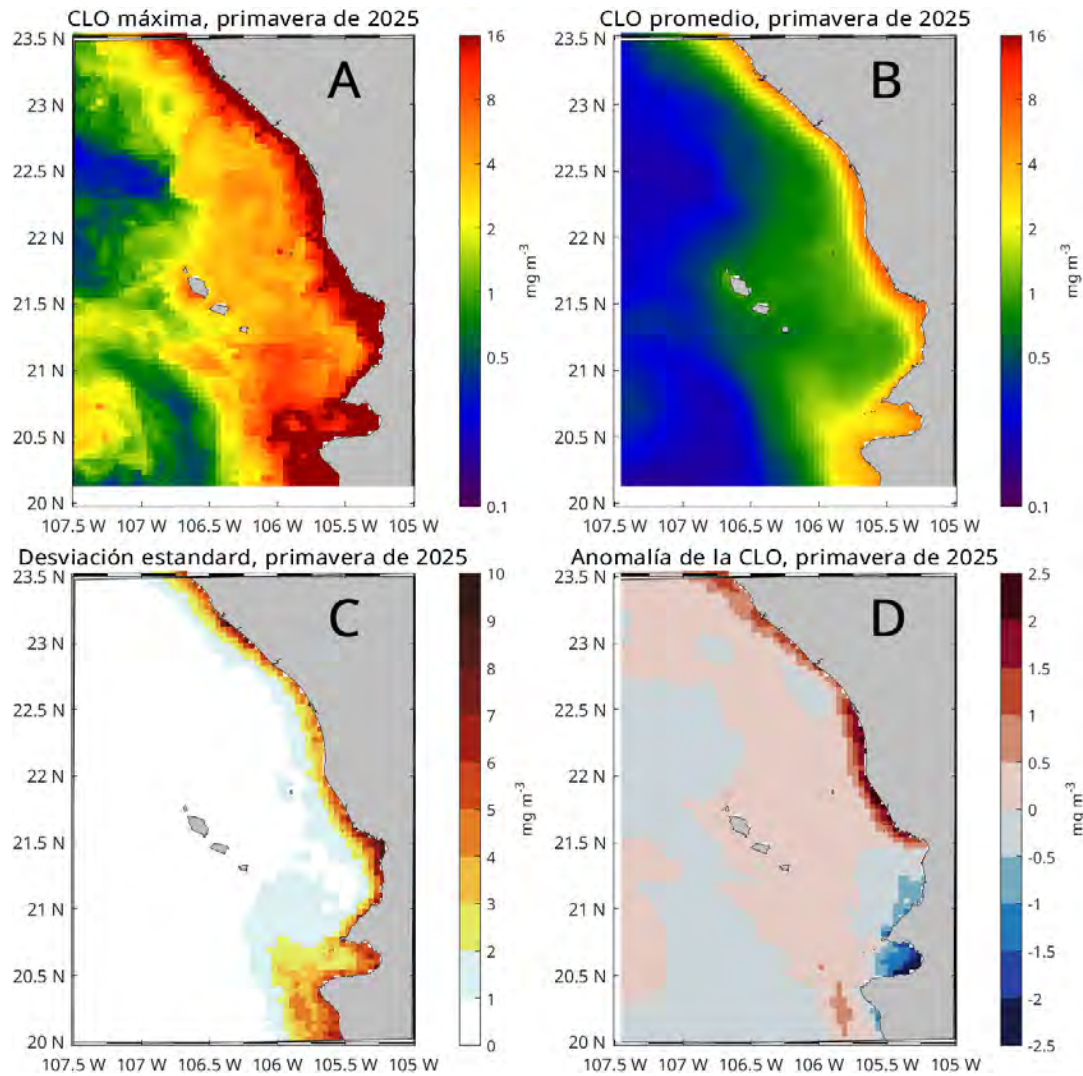


Figura 3: Concentraciones de CLO durante primavera (abril a junio) de 2025. Panel A, concentración máximas; B concentración promedio; C desviación estándar y D anomalía.

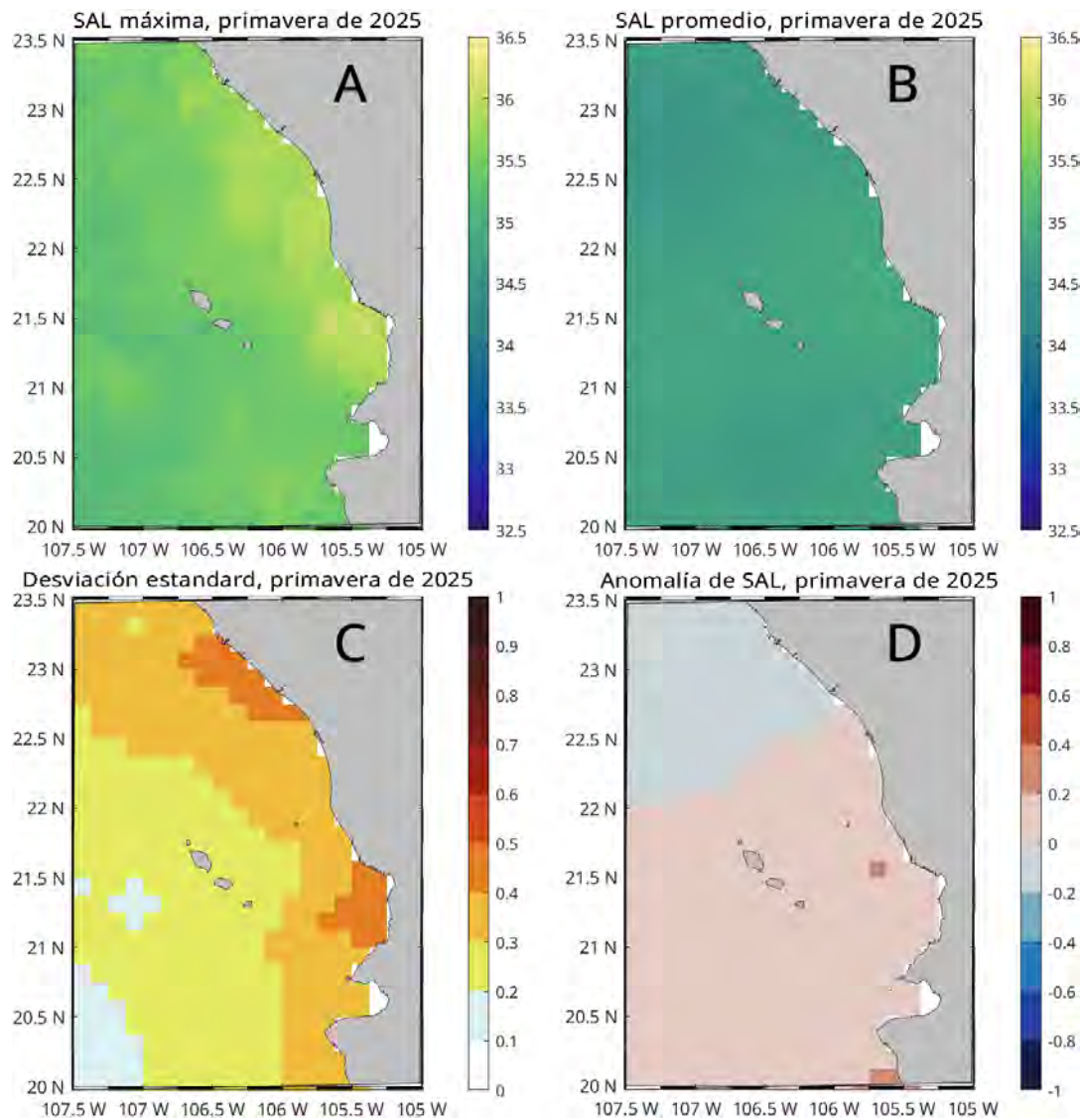


Figura 4: Concentraciones de SAL durante primavera (abril a junio) de 2025. Panel A, salinidad máxima; B salinidad promedio; C desviación estándar y D anomalía.

de 1.6 °C en comparación al valor de 3.38 °C de otoño. El panel **D** muestra las anomalías con respecto al promedio histórico o climatológico de datos desde 2003, el rango se ubicó entre -1.89 y -0.066 °C, muy diferente respecto a los valores de otoño (-0.97 y 0.29 °C). En términos generales, las condiciones de temperatura disminuyeron más de 2 °C respecto al otoño, principalmente en toda la región costera al norte.

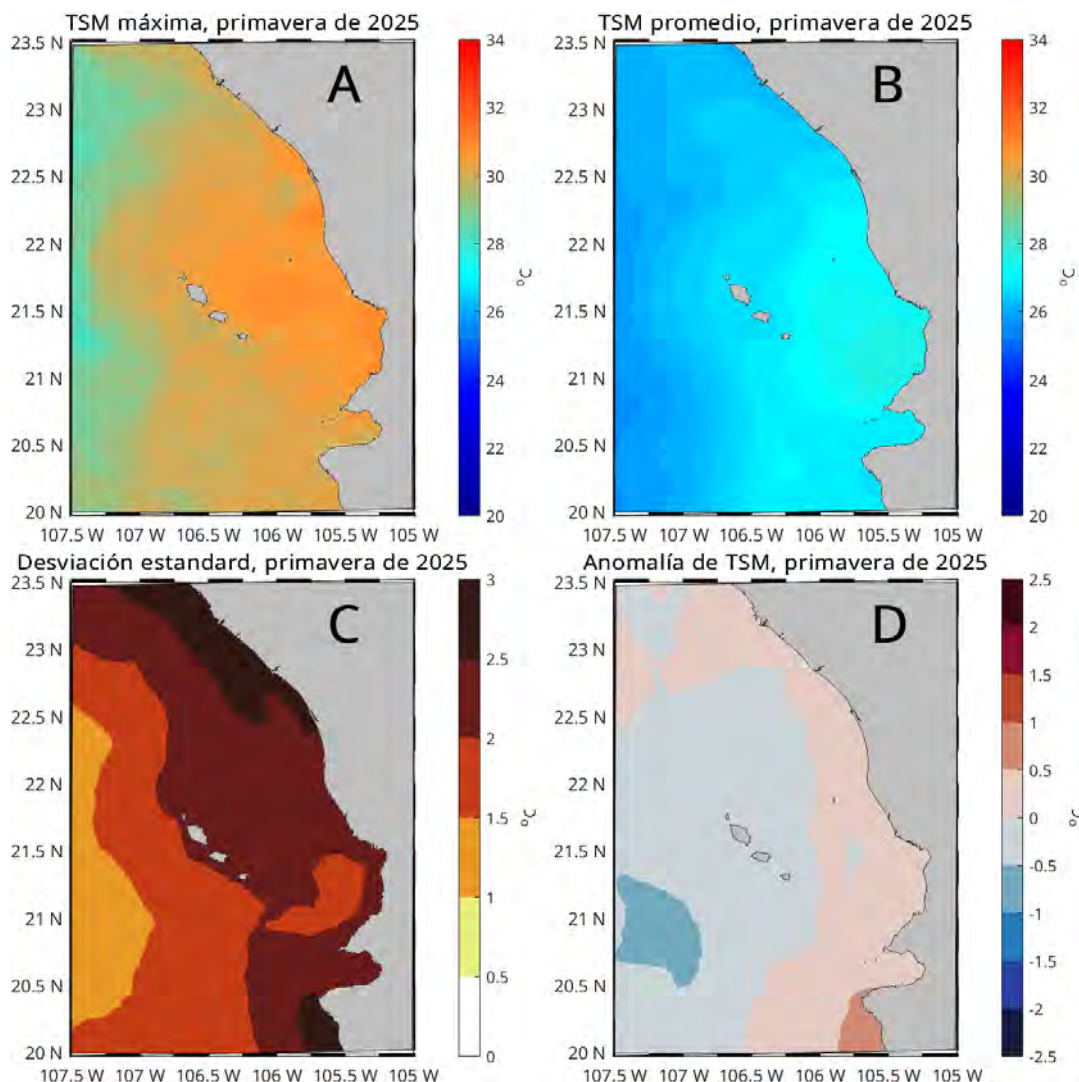


Figura 5: Condiciones de TSM durante primavera (abril a junio) de 2025. Panel **A**, temperaturas máximas; **B** temperaturas promedio; **C** desviación estándar, **D** anomalía

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 en las figuras siguientes) y anomalías, las cuales se describen a continuación para cada sitio:

3.1.2.1. Palmar de Cuautla. Las condiciones climatológicas y anomalías de ANM, CLO, SAL y TSM a lo largo del tiempo (2002-2025, hasta junio) se muestran en la [Figura 6](#). Se estimaron

los valores para cada mes a lo largo del periodo y sus correspondientes climatologías mensuales. Estos valores se representan con las barras azules en los paneles A, C, E y G. Los valores para los últimos 12 meses (julio de 2024 a junio de 2025) están representados por las líneas negras superpuestas en las barras azules; los círculos negros sobre estas líneas corresponden a esos 12 meses, mientras que los círculos verdes corresponden a los últimos 3 meses (primavera de 2025, abril a junio); sus valores correspondientes se muestran sobre los círculos.

Todos los valores mensuales disponibles desde julio de 2002 hasta junio de 2025, junto con el cálculo de las climatologías mencionadas arriba, fueron utilizados para construir las series de tiempo de anomalías, 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.

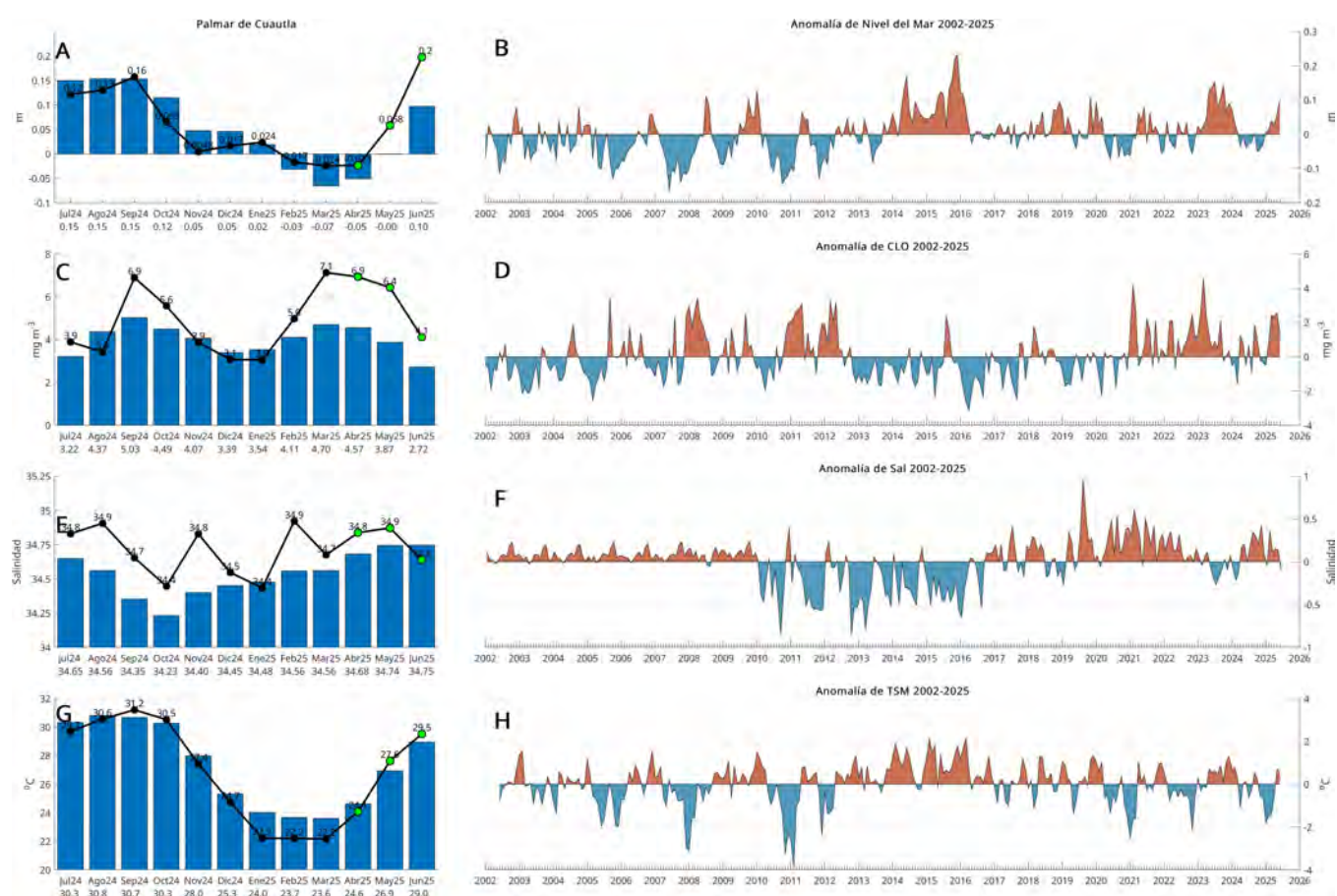


Figura 6: Climatologías mensuales y anomalías interanuales de ANM, CLO, SAL y TSM de julio de 2024 a junio de 2025 para Palmar de Cuautla. Las barras azules en los paneles A, C, E y G son las climatologías mensuales de cada variable. Los números en la base de las barras indican los valores climatológicos de cada mes. Los círculos negros y el valor numérico indican el valor registrado para cada mes. Las series de tiempo de los paneles B, D, F y H representan las anomalías mensuales interanuales desde julio de 2002 a junio de 2025.

Anomalías del Nivel del Mar (ANM). Los promedios de las ANM en primavera de 2025, de abril a junio, registraron valores de -0.023, 0.058 y 0.2 m (Figura 6A); el primero, por debajo de su valor climatológico de -0.07, los dos últimos por encima de sus valores climatológicos

de 0 y 0.1 m. Tanto mayo como junio de 2025 presentaron anomalías positivas. Ya no es posible identificar un patrón de dominio negativo o positivo durante los últimos 12 meses (Figura 6B).

Clorofila superficial (CLO). Los valores de la CLO en primavera de 2025, de abril a junio, registraron valores de 6.9, 6.4 y 41 mg m⁻³ (Figura 6C); el primero, muy a los 3.4 de su valor climatológico, todos ellos muy por encima de sus valores climatológicos de 4.57, 3.87 y 2.72 mg m⁻³ (anomalías positivas). Durante los últimos 12 meses, las anomalías no tuvieron un patrón claro, alternando entre positivas y negativas, aunque las anomalías de primavera de 2025 son las más grandes (Figura 6D).

Salinidad superficial (SAL). La SAL en primavera de 2025, de abril a junio, registró valores de 34.8, 34.9 y 34.6, los dos primeros por encima de los valores climatológicos para esos meses de 34.68 y 34.74, el tercero, de junio, tuvo un valor menor al climatológico de 2.72 (Figura 6E). Este último valor rompe una tendencia de dominio de anomalías positiva en los últimos 12 meses (Figura 6F).

Temperatura superficial del Mar (TSM). La TSM en primavera de 2025, de abril a junio, registró valores mensuales de 24.1, 27.6 y 29.5 °C, el primero por debajo de su valor climatológico de 24.6, los dos restantes por encima de sus valores climatológicos de 26.9 y 29.0 °C (Figura 6G). Los últimos 12 meses estuvieron dominados por anomalías negativas, pero en los dos últimos meses de mayo a junio cambió ese comportamiento, hacia anomalías positivas °C (Figura 6H).

3.1.2.2. Matanchén. Las condiciones climatológicas y anomalías de ANM, CLO, SAL y TSM a lo largo del tiempo (2002-2025, hasta marzo) se muestran en la Figura 7. Se estimaron los valores para cada mes a lo largo del periodo y sus correspondientes climatologías mensuales. Estos valores se representan con las barras azules en los paneles A, C, E y G. Los valores para los últimos 12 meses (julio 2004 a junio de 2005) están representados por las líneas negras superpuestas en las barras azules; los círculos negros sobre estas líneas corresponden a los últimos 12 meses, mientras que los círculos verdes corresponden a los 3 meses de primavera (abril a junio); sus valores correspondientes se muestran sobre los círculos.

Anomalías del Nivel del Mar (ANM). Los promedios de las ANM registrados en primavera de 2025, de abril a junio de 2025, fueron de -0.007, 0.084 y 0.22 m (Figura 7A), el primero por debajo de su valor climatológico de -0.05 m, mientras que los dos restantes (mayo y junio) presentaron valores por encima de los valores climatológicos de 0.00001 y 0.09, es decir, anomalías positivas. Mayo y junio de 2025 rompieron la tendencia de anomalías negativas que se venía presentando desde julio de 2024 (Figura 7B).

Clorofila superficial (CLO). Los promedios de la CLO en primavera de 2025, de abril a junio, registraron valores de 9.6, 5.7 y 4 mg m⁻³ (Figura 7C), con abril y junio con valores superiores a sus correspondientes valores climatológicos de 7, 2.64 mg m⁻³; mientras que el valor de mayo apenas estuvo por debajo del valor climatológico de 5.98. Esta anomalía negativa de mayo, rompe la tendencia de los últimos 6 meses con anomalías positivas. Aunque en términos generales, desde abril de 2024 dominan las anomalías positivas (Figura 7D).

Salinidad superficial (SAL). La SAL en primavera de 2025, de abril a junio, registró valores de 34.7, 34.8 y 34.6, los dos primeros (abril y mayo) por encima de los valores climatológicos para esos meses de 34.58 y 34.69, respectivamente (Figura 7E); junio tuvo una anomalía negativa apenas marginal de 0.09. Como resultado, se rompe el patrón de más de 12 meses con anomalías positivas que inició en abril de 2024 (Figura 7F).

Temperatura superficial del Mar (TSM). La TSM en primavera de 2025, de abril a junio, registró valores mensuales de 24.7, 28.1 y 29.5 °C; el primero (abril) por debajo de su valor climatológico de 25.5 °C; continuando una tendencia de anomalías negativas que inicio en noviembre de 2024. Mientras que en mayo y junio de 2025 se presentaron anomalías positivas de 0.06 y 0.4 °C, respectivamente. Estos dos últimos meses rompieron el patrón de anomalías negativas iniciado en noviembre de 2024 (Figura 7G). En términos generales 2025 no presenta un patrón claro de tendencia o dominio de anomalías (Figura 7H).

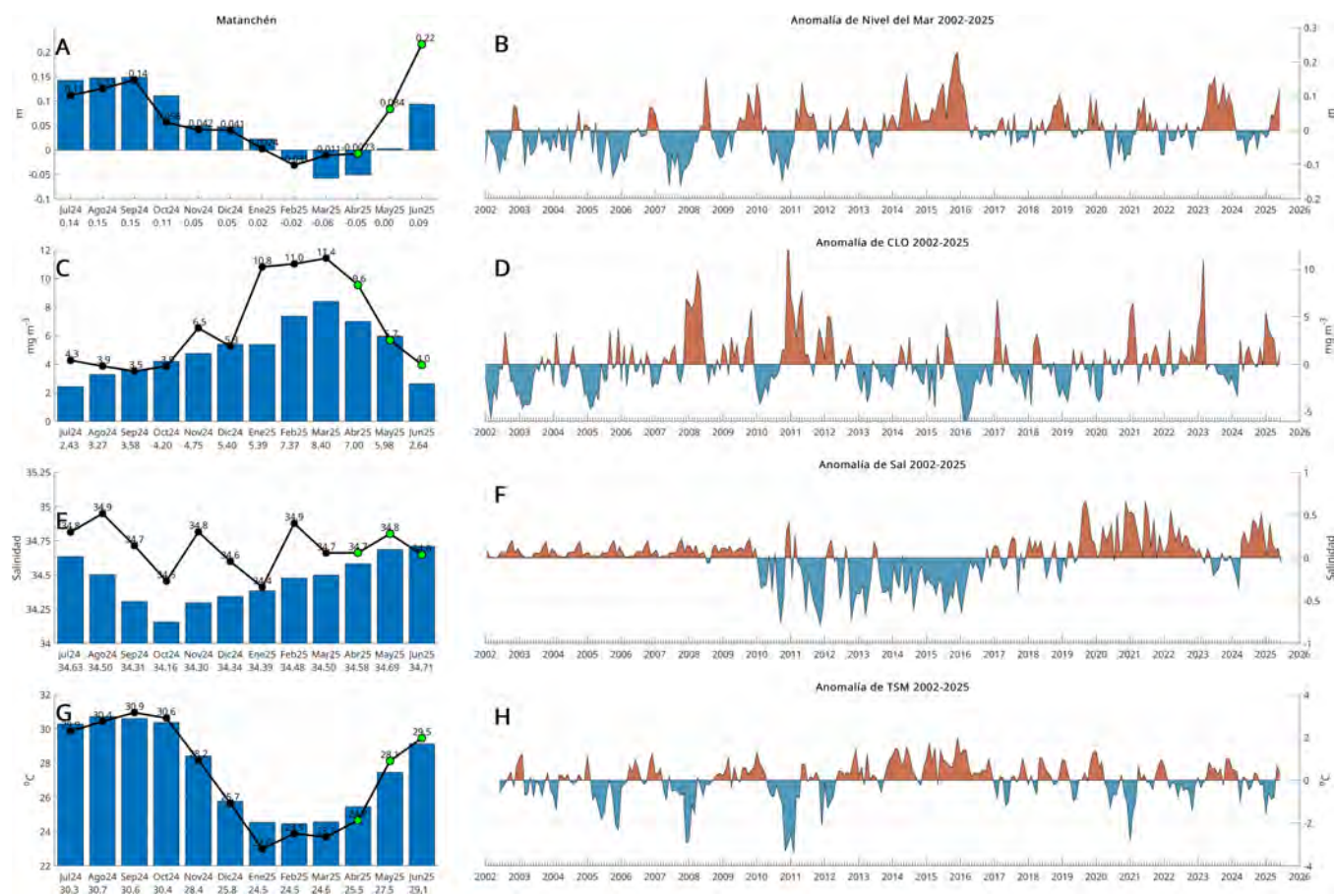


Figura 7: Climatologías mensuales y anomalías interanuales de ANM, CLO, SAL y TSM de abril de julio de 2024 a junio de 2025 para Matanchén. Las barras azules en los paneles A, C, E y G son las climatologías mensuales de cada variable. Los números en la base de las barras indican los valores climatológicos de cada mes. Los círculos negros y el valor numérico indican el valor de registrado para cada mes. Las series de tiempo de los paneles B, D, F y H representan las anomalías mensuales interanuales desde julio de 2002 a junio de 2025.

3.1.2.3. Rincón de Guayabitos. Las condiciones climatológicas y anomalías de ANM, CLO, SAL y TSM a lo largo del tiempo (2002-2025, hasta junio) se muestran en la **Figura 8**. Se estimaron los valores para cada mes a lo largo del periodo y sus correspondientes climatologías mensuales. Estos valores se representan con las barras azules en los paneles A, C, E y G. Los valores para los últimos 12 meses (julio 2004 a junio de 2005) están representados por las líneas negras superpuestas en las barras azules; los círculos negros sobre estas líneas corresponden a los últimos 12 meses, mientras que los círculos verdes corresponden a los 3 meses de primavera (abril a junio); sus valores correspondientes se muestran sobre los círculos.

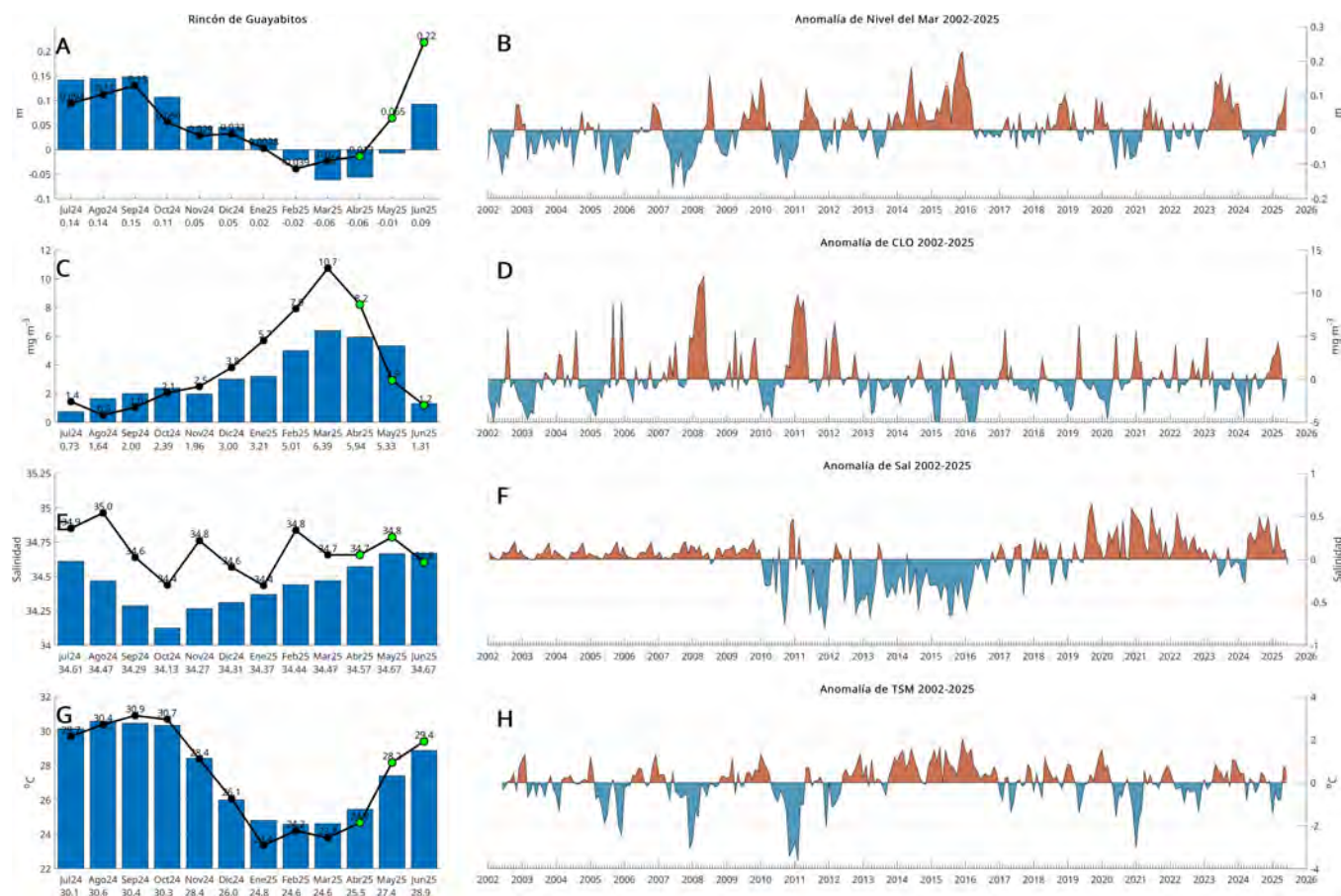


Figura 8: Climatologías mensuales y anomalías interanuales de ANM, CLO, SAL y TSM de julio de 2002 a junio de 2025 para Rincón de Guayabitos. Las barras azules en los paneles A, C, E y G son las climatologías mensuales de cada variable. Los números en la base de las barras indican los valores climatológicos de cada mes. Los círculos negros y el valor numérico indican el valor de registrado para cada mes. Las series de tiempo de los paneles B, D, F y H representan las anomalías mensuales interanuales desde julio de 2002 a junio de 2025.

Anomalías del Nivel del Mar (ANM). Los promedios de las ANM en primavera de 2025, de abril a junio, registraron valores de -0.013, 0.065 y 0.22 m; el primero (abril) inferior a su valor climatológico de -0.06, los dos siguientes (mayo y junio) por encima de sus valores climatológicos de -0.01 y 0.09 m (**Figura 8A**). Estos dos últimos meses rompieron el dominio de anomalías negativas presente desde febrero de 2024 **Figura 8B**.

Clorofila superficial (CLO). Los promedios de la CLO en primavera de 2025, de abril a junio, registraron valores de 8.2, 2.9 y 1.2 mg m⁻³; el primero de ellos (abril) por encima de sus valor climatológico de 5.94 mg m⁻³; mientras que los valores de mayo y junio estuvieron por debajo de sus valores climatológicos de 5.33 y 1.31 mg m⁻³, respectivamente (Figura 8C). Los dos últimos meses rompieron la tendencia de anomalías positivas que inició en noviembre de 2024 (Figura 8D).

Salinidad superficial (SAL). La SAL en primavera de 2025, de abril a junio, registró valores de 34.7, 34.8 y 34.6 respectivamente, los dos primeros (abril y mayo) por encima de los valores climatológicos para esos meses de 34.57 y 34.67, respectivamente; mientras que junio presentó un valor por debajo de la climatología de 34.67 (Figura 8E). Como resultado de esto, se rompió el dominio de las anomalías positivas que inició en abril de 2024 (Figura 8F).

Temperatura superficial del Mar (TSM). La TSM en primavera de 2025, de abril a junio, registró valores mensuales de 24.7, 28.2 y 29.4 °C. El primero (abril) por debajo de su valor climatológico de 25.5 °C; mientras que mayo y junio presentaron valores por encima de sus climatologías de 27.4 y 28.9 °C, respectivamente (Figura 8G). Estos dos últimos meses rompieron el dominio de anomalías negativa que estaba presente desde diciembre de 2024 (Figura 8H).

3.1.2.4. Punta de Mita Las condiciones climatológicas y anomalías de ANM, CLO, SAL y TSM a lo largo del tiempo (2002-2025, hasta junio) se muestran en la Figura 8. Se estimaron los valores para cada mes a lo largo del periodo y sus correspondientes climatologías mensuales. Estos valores se representan con las barras azules en los paneles A, C, E y G. Los valores para los últimos 12 meses (julio 2004 a junio de 2005) están representados por las líneas negras superpuestas en las barras azules; los círculos negros sobre estas líneas corresponden a los últimos 12 meses, mientras que los círculos verdes corresponden a los 3 meses de primavera (abril a junio); sus valores correspondientes se muestran sobre los círculos.

Anomalías del Nivel del Mar (ANM). Los promedios de las ANM registrados en primavera de 2025, de abril a junio, fueron de -0.22, 0.063 y 0.21 m; el primero (abril) inferior a su valor climatológico de -0.06; mientras que mayo y junio tuvieron valores superiores a los valores climatológicos de -0.01 y 0.10 m (Figura 9A). Estas dos últimas anomalías positivas rompieron el dominio de anomalías negativas que dominaron la serie desde febrero de 2024 (Figura 9B).

Clorofila superficial (CLO). Los promedios de la CLO en primavera de 2025, de abril a junio, registraron valores de 6.9, 3 y 0.5 mg m⁻³; el primero (abril) por encima de sus valor climatológico de 5.08 mg m⁻³, mientras que mayo y junio presentaron valores por debajo de sus valores climatológicos de 3.99 y 1.14 mg m⁻³, respectivamente (Figura 9C). La anomalía positiva de abril fue la tercera más alta en más de 12 meses, mientras que las anomalías negativas de mayo y junio rompieron el patrón de dominio de anomalías positivas que inició en diciembre de 2024 (Figura 9D).

Salinidad superficial (SAL). La SAL en primavera de 2025, de abril a junio, registró valores de 34.6, 34.7, y 34.6, los dos primeros (mayo y junio) por encima de los valores climatológicos para esos meses de 34.56 y 34.66, respectivamente; mientras que el valor de junio estuvo por debajo de su climatología de 34.66 (Figura 9E). Este último valor de anomalía negativa rompió

la tendencia de anomalías positivas que inició en abril de 2024 (Figura 9F).

Temperatura superficial del Mar (TSM). La TSM en primavera de 2025, de abril a junio, registró valores mensuales de 24.0, 27.9 y 29.3 °C respectivamente; el primer valor (abril) por debajo de su valor climatológico de 25.1; mientras que mayo y junio estuvieron por encima de sus climatologías de 26.8 y 28.5 °C, respectivamente (Figura 9G). Durante los últimos 12 meses se han registrado anomalías positivas y negativas, sin un patrón definido (Figura 9H).

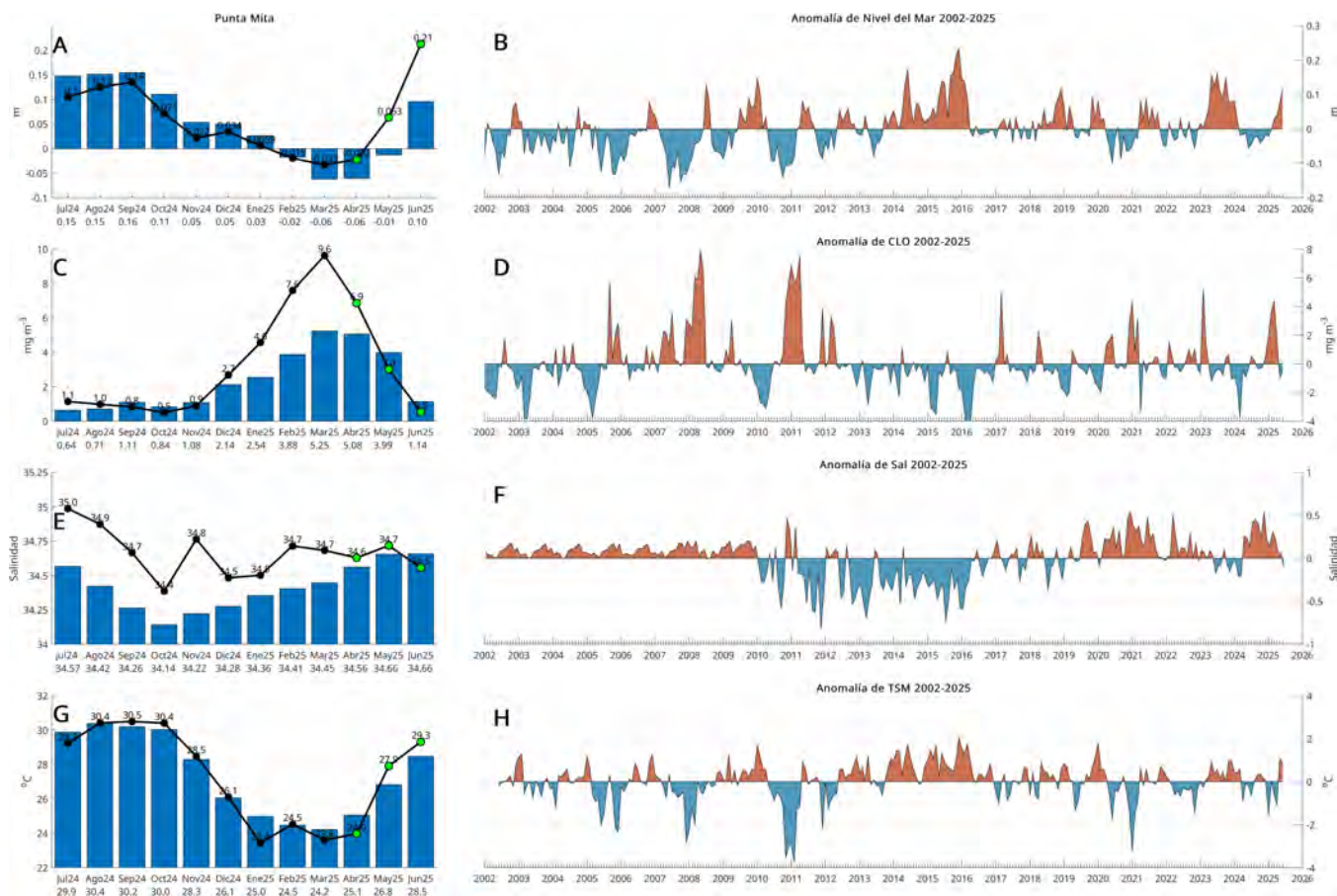


Figura 9: Climatologías mensuales y anomalías interanuales de ANM, CLO, SAL y TSM de julio de 2024 a junio de 2025 para Punta Mita. Las barras azules en los paneles A, C, E y G son las climatologías mensuales de cada variable. Los números en la base de las barras indican los valores climatológicos de cada mes. Los círculos negros y el valor numérico indican el valor de registrado para cada mes. Las series de tiempo de los paneles B, D, F y H representan las anomalías mensuales interanuales de julio de 2002 a junio de 2025.

3.1.3. Cobertura de mangles

Perfil temporal. El análisis temporal del NDVI revela tres componentes dominantes (Figura 10A). En primer lugar, el ciclo estacional anual, con máximos entre octubre y noviembre y mínimos alrededor de mayo. En segundo término, las tendencias interanuales: entre 2000 y 2008 el NDVI mostró una relación negativa con el tiempo ($r=0.42$); de 2008 a 2019 se observó una fase de aumento ($r=0.59$); y de 2019 a 2025 el manglar de Marismas presentó una disminución pronunciada ($r=0.88$). Adicionalmente, en octubre de 2022 se detecta un descenso notable del

NDVI que coincide con el paso del huracán Roselyn ocurrido el día 22 de ese mes. La [Figura 10B](#) detalla la trayectoria del NDVI en los dos años más recientes, con énfasis en el segundo trimestre de 2025 (abril–junio), cuando los valores se incrementan y se sitúan en torno a 0.5.

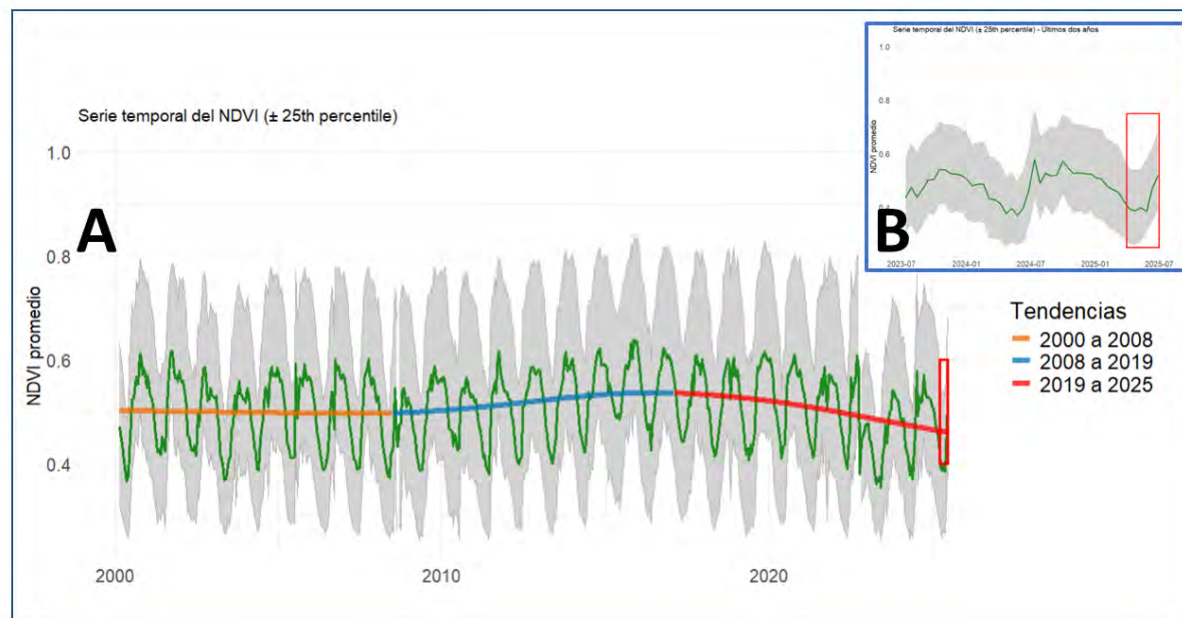


Figura 10: Panel A: Perfil temporal del NDVI promedio de los píxeles de manglar de Marismas Nacionales. Las curvas de tendencia corresponden a un suavizado de splines. El área sombreada representa el rango inter cuartil. Panel B: Acercamiento a la serie temporal para el trimestre abril–junio 2025.

Promedio trimestral. La [Figura 11A](#) presenta la distribución espacial del NDVI para el periodo abril–junio de 2025. En contraste con la climatología, se identifican decrementos, especialmente en áreas de vegetación asociada al manglar: perímetros de granjas acuícolas, parches de manglar inundados y sectores con baja densidad de cobertura. El histograma de densidad muestra una acumulación en rangos intermedios y altos: cerca del 45 % de la superficie de manglar se sitúa entre 0.25 y 0.5, y aproximadamente el 33 % supera 0.5. En términos de variabilidad, la desviación estándar del NDVI fue 0.07, ligeramente superior a la del trimestre precedente. Se aprecia con mayor nitidez que tanto la vegetación de manglar como los píxeles mixtos influenciados por cuerpos de agua exhiben valores de NDVI más reducidos ([Figura 11B](#)).

Anomalía. La [Figura 11C](#) evidencia que, en el trimestre abril–junio, el 3.2 % de los manglares presentó píxeles con valores-*z* inferiores a 2, concentrados principalmente en zonas de manglar perturbado próximas al sistema lagunar Agua Brava, dentro y en el entorno del estero El Gavilán, así como en el sector centro-norte de la laguna. Se identificaron anomalías positivas en el sureste, abarcando alrededor del 1 % del manglar. Respecto a la dinámica temporal de las anomalías ([Figura 11B](#)), entre 2000 y 2013 se alternaron valores positivos y negativos; de 2014 a 2022 prevalecieron las positivas; y desde 2023 comenzaron a predominar las negativas. En junio del presente año se registra una anomalía positiva ([Figura 11A](#)).

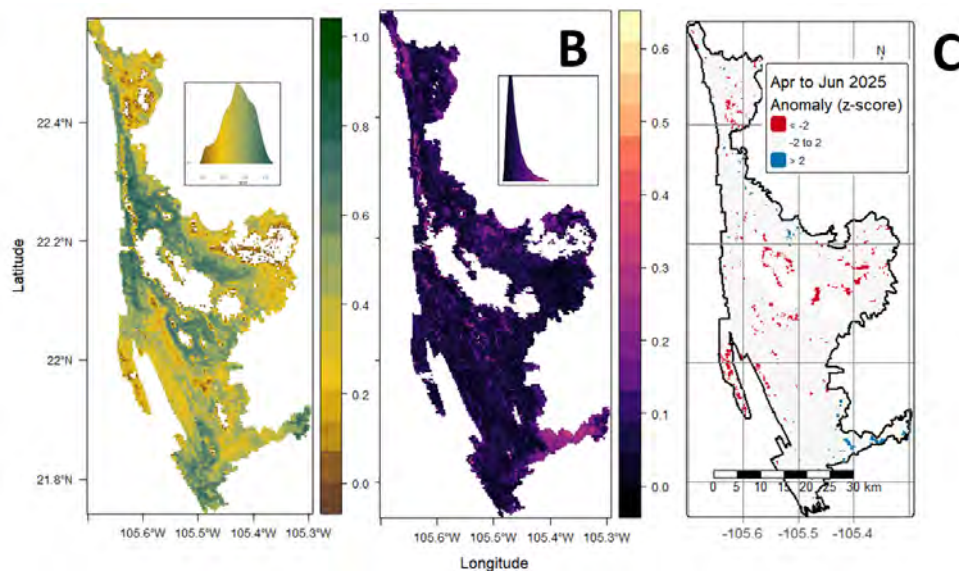


Figura 11: Panel A: Distribución espacial e histograma del promedio trimestral del NDVI. Panel B: Distribución espacial de la variabilidad (desviación estándar) del NDVI para el trimestre abril-junio 2025. Panel C: Distribución espacial de la anomalía trimestral (valores-z).

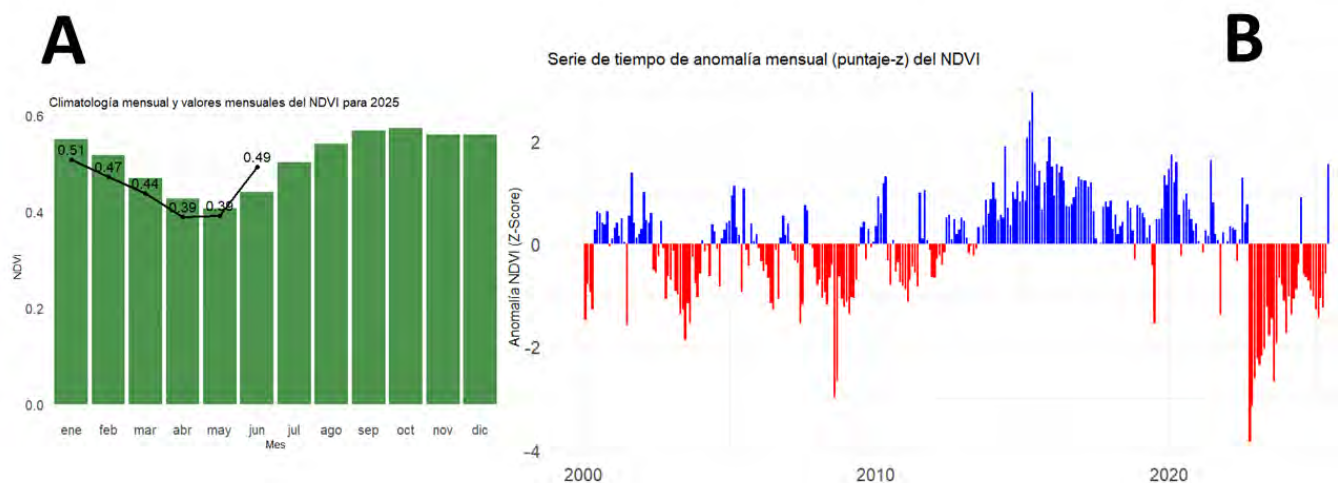


Figura 12: Panel A: Las barras verdes representan la climatología mensual (promedio mensual de largo plazo), las líneas representan el promedio mensual del año 2025. Panel B: Serie temporal de las anomalías mensuales (valores-z).

3.2. Datos in situ

3.2.1. Estaciones meteorológicas

3.2.1.1. Tepic. Los datos registrados por la estación meteorológica de CICESE en Tepic, Nayarit, incluyen registros del periodo de 90 días a partir del 1 de abril hasta el 30 de junio de 2025 [Figura 13](#). Esta figura muestra una serie de tiempo con las observaciones diarias de temperaturas extremas (mínima y máxima) para todo el período.

De forma individual, los meses de abril, mayo y junio se mantuvieron con temperatura máxima (promedio) de 21.5, 23.8 y 24.1°C respectivamente; la temperatura mínima fue 11.6, 14.5 y 19.5°C en promedio. El 15 de mayo la temperatura máxima más alta de todo el periodo (37.4°C), mientras que la mínima más baja fue el 22 de abril (8.7°C). Como referencia, en el aeropuerto de Tepic, se reportó una mínima de 4°C el 22 de abril y una máxima de 37°C el 15 de mayo.

Durante los tres meses, en la estación, se registraron las siguientes acumulaciones totales de lluvia: 0.3 mm en abril; 2.3 mm en mayo y 399.3 mm en junio. La acumulación anual (enero-junio) fue de 429.8 mm, mientras que el número de días con lluvia acumulada mayor a 0.2 mm fue de un día en abril, dos en mayo y quince en junio. En mayo (el día 20) se presentó un evento con 102.6 mm de lluvia; mientras que los días 24 y 25 de mayo se reportaron lluvias que en total acumularon 58.2 mm y 46.5 mm respectivamente.

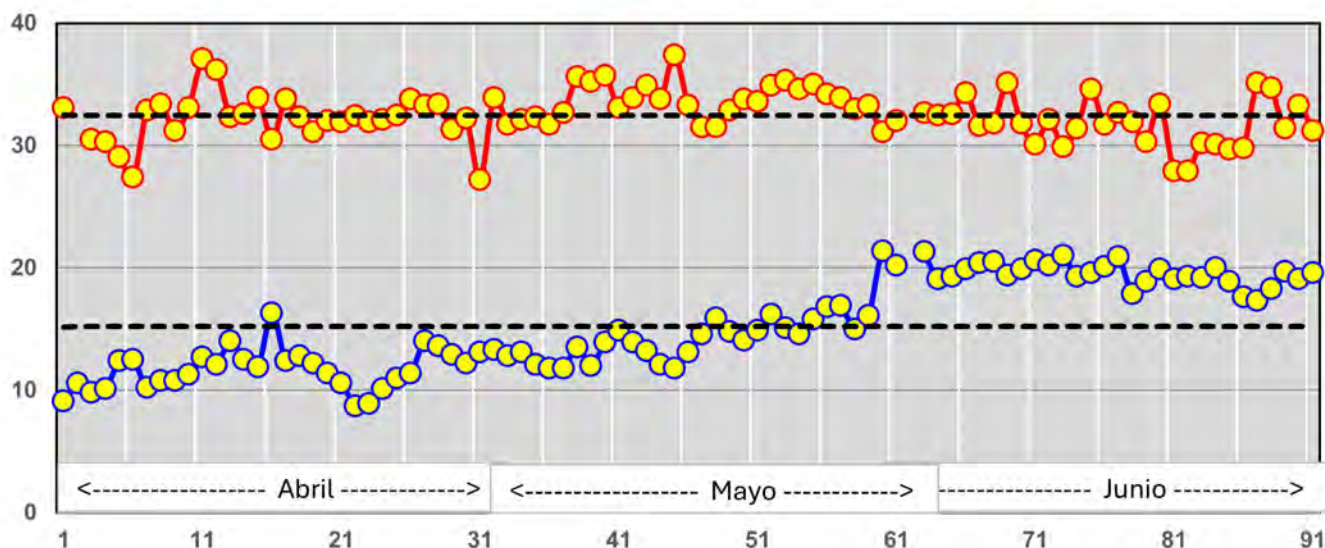


Figura 13: Datos diarios de temperatura (°C) la estación meteorológica de CICESE en Tepic, Nayarit. La línea roja indica la temperatura máxima mientras que la línea azul representa temperatura mínima. El periodo de observación es de 1 de abril de al 30 de junio de 2025 con actualizaciones cada 24 horas. Las líneas punteadas indican el promedio del periodo tanto para temperaturas máximas (32.5°C) como mínimas (15.2°C).

3.2.1.2. Matanchén. Para el trimestre abril-junio no se registraron datos de la estación meteorológica por fallas en los sensores y memoria de datos, por lo tanto se seguirán presentando los datos registrados para el invierno, del 1 de enero al 30 de marzo. Se muestran datos

de temperatura del aire (T_{air} , Figura 14A), humedad (Hum , Figura 14B) promedio, máxima y mínima por día, promedio de la presión atmosférica ($Patm$, Figura 14C), radiación solar (Rs , Figura 14D) y la intensidad y dirección del viento (Wnd , Figura 14E).

Temperatura del aire (T_{air}). Los datos diarios de la T_{air} (Figura 14A) registrados durante el invierno, mostraron un promedio de 20.54 °C; los valores máximos y mínimos fueron de 28 y 12.9 °C, respectivamente. En el mes de enero se observaron valores promedio, máximos y mínimos de 20.4, 28 y 14.5 °C respectivamente; para febrero fueron de 21.02, 27.2 y 14.5 °C; para marzo de 20.11, 27.6 y 12.9 °C. Para este trimestre no se observa una tendencia en los valores de temperaturas, con los valores máximos presentándose en el mes de enero con 28 °C y las mínimas en marzo con 12.9 °C.

Humedad (H). La H (Figura 14B) promedio registrada en invierno fue de 47.4 %, con máximo y mínimo de 84 y 13 %. En el mes de enero se observaron valores promedio, máximo y mínimo de 79.99, 84 y 48 %; en febrero los valores fueron de 44.9, 83 y 13 %; mientras que en marzo no se obtuvieron valores por falla en el sensor.

Presión atmosférica ($Patm$). La $Patm$ (Figura 14C) registró valores promedio, máximos y mínimos que fueron de 1014, 1020 y 1009 mb, respectivamente, durante el invierno. Los valores promedio, máximo y mínimos para enero fueron de 1015.44, 1020.2 y 1011.2 mb respectivamente; para febrero fueron de 1013.9, 1018 y 1009.6 mb; en marzo fueron de 1014.25, 1018.6 y 1010.7 mb.

Radiación solar (Rs). Durante el invierno no se registró por falla en el sensor de radiación solar.

Dirección y velocidad del viento (Wnd). El Wnd (Figura 14E) registrado en invierno por el anemómetro, indicó un promedio de velocidad de 0.22 m s⁻¹. Las velocidades promedio, máximas y mínimas para enero, fueron de 0.16, 4 y 0 m s⁻¹ respectivamente; para febrero fueron de 0.13, 2.7 y 0 m s⁻¹; en marzo fueron de 0.42, 3.6 y 0 m s⁻¹.

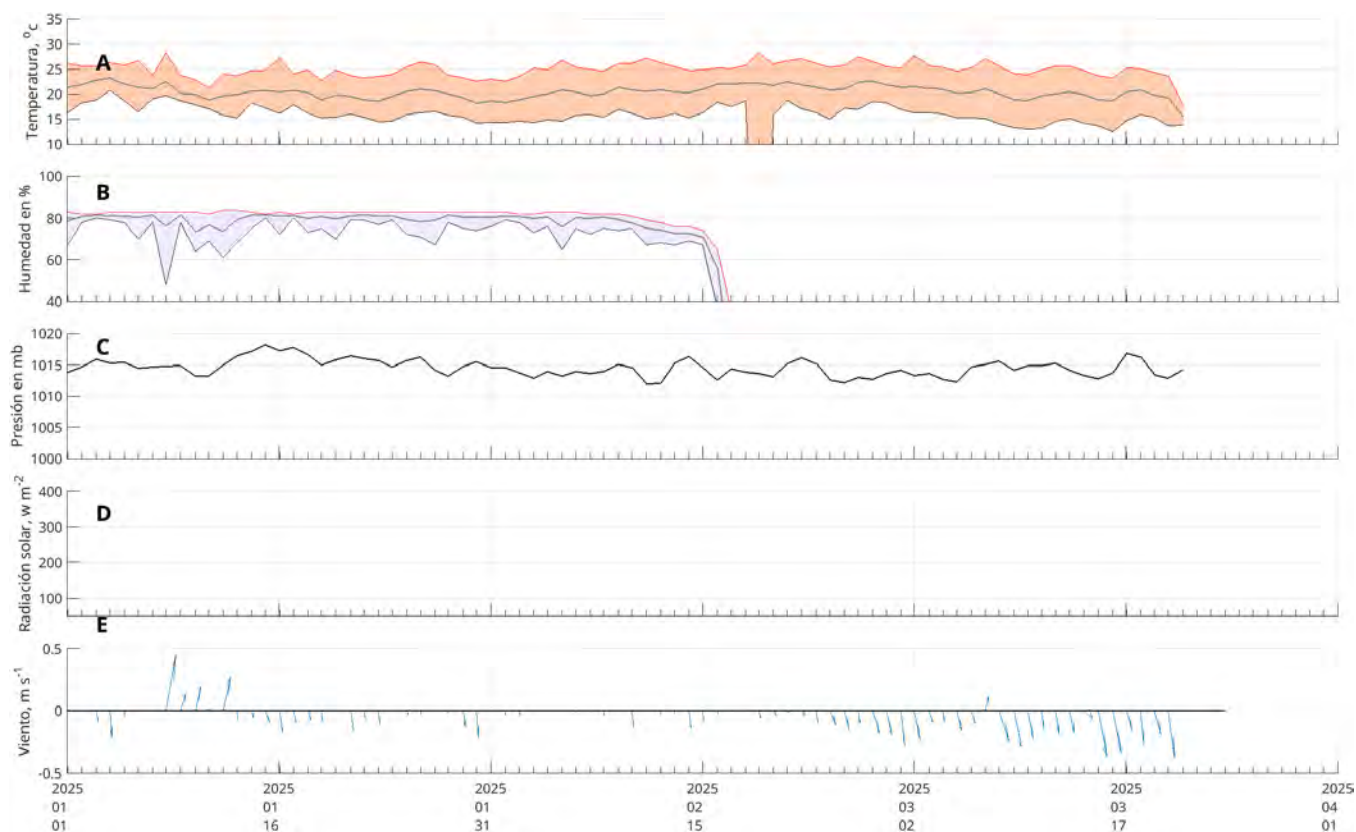


Figura 14: Datos de la estación meteorológica de Matanchén. La línea roja indica las temperaturas del aire (T_{air}) máximas; la azul las temperaturas mínimas; la negra representa la velocidad del viento. Periodo de abril a junio de 2025.

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 15](#) durante los meses de abril a junio de 2025. La [Figura 15](#), muestra la dirección predominante (medido cada 30 grados). La dirección predominante fue del suroeste.

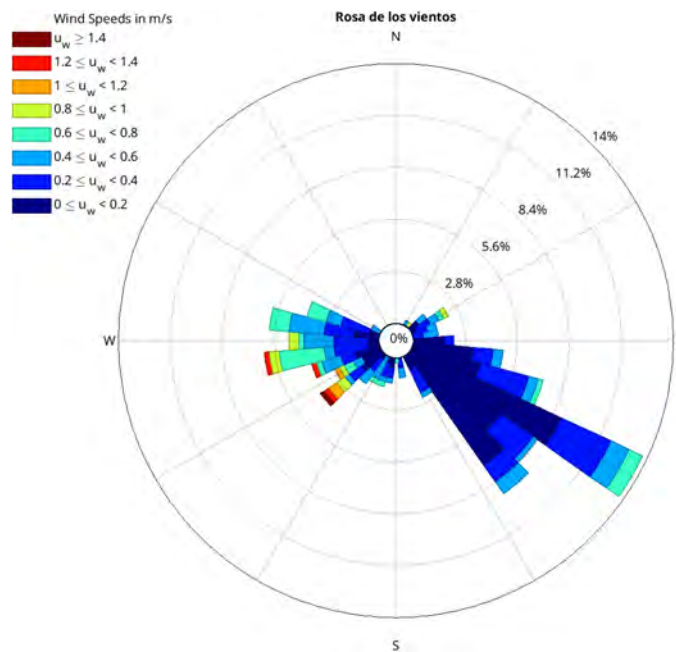


Figura 15: Rosa de los vientos a partir de la estación meteorológica de Matanchen. Los vientos indican su origen. Periodo del 1 de enero al 30 de marzo de 2025.

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 el mes de abril hasta el mes de junio. En este periodo se observó una temperatura promedio de 27.7 °C, máxima de 31.9 °C y una mínima de 23.2 °C. En la última semana de junio se presentó la temperatura más alta de 31.9 °C, la temperatura mínima de 23.2 °C se presentó en la primera semana del mes de abril (Figura 16A).

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 abril hasta el mes de junio, con temperaturas promedio de 27.9 °C, máxima de 31.9 °C y mínima de 23.8 °C (Figura 16B). En la última semana de junio se presentó la temperatura máxima de 31.9 °C, la temperatura mínima de 23.8 °C se observó en el mes de abril. El segundo dispositivo registró un periodo del mes de abril hasta el 13 de junio en la Boya de San Blas la cual presentó temperaturas con promedio de 25.5°C, máxima de 28.8°C y una mínima de 23.2°C (Figura 16C).

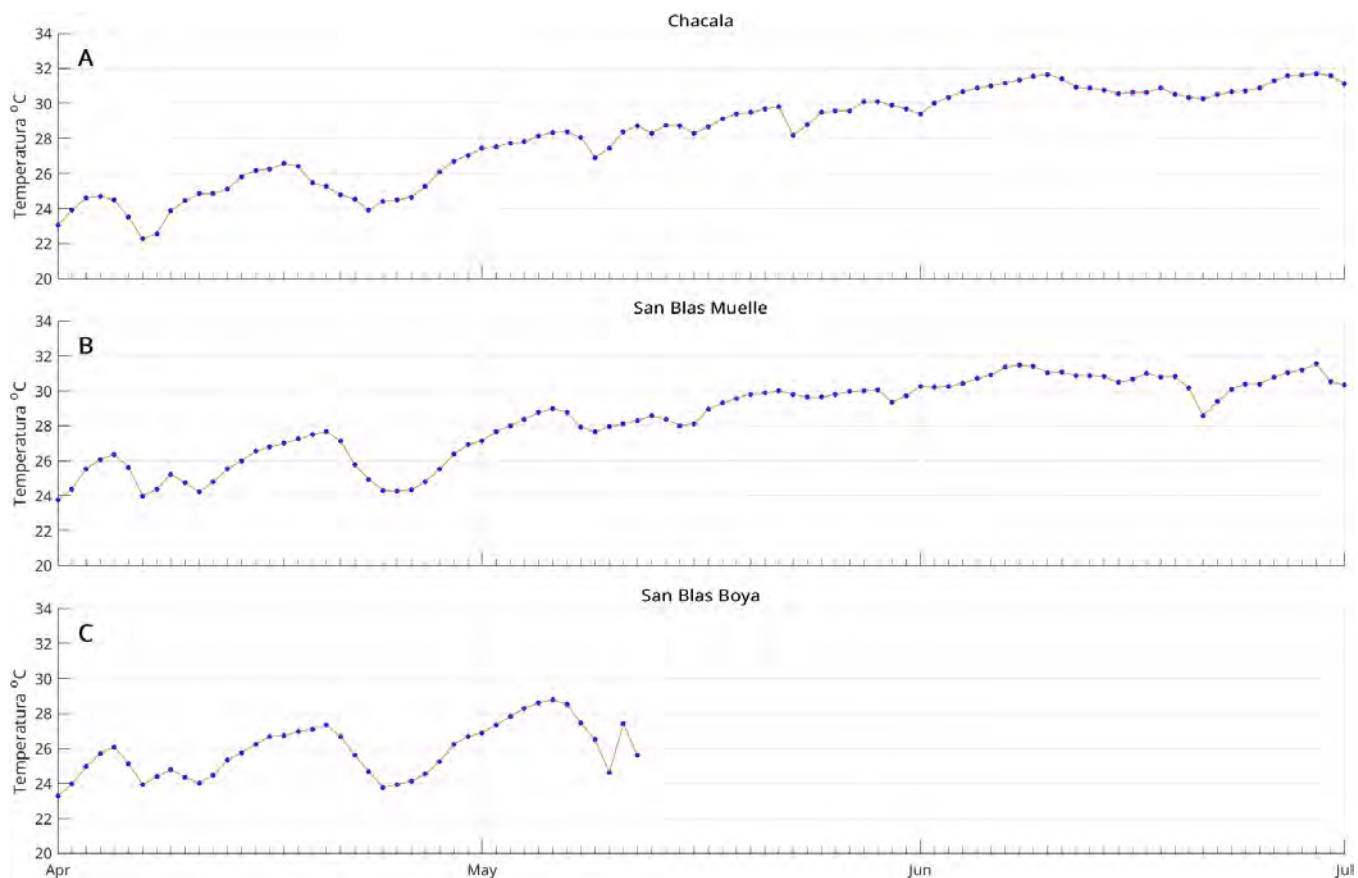


Figura 16: Series de tiempo de temperatura superficial del mar (aproximadamente a 1 m) obtenida en Chacala y Estero El Poso (San Blas). La línea marrón representa los valores registrados por hora para el periodo de invierno (abril a junio), la línea azul es el promedio por día.

Referencias

- Cervantes Duarte, R., Valdez Holguín, J. E., and Reyes Salinas, A. (2004). Comparación de reflectancia in situ 443/555 y 490/555 con clorofila *a* y materia suspendida total en bahía de la paz, b.c.s., México. *Hidrobiológica*, 1(14).
- Chin, T. M., Vazquez-Cuervo, J., and Armstrong, E. M. (2017). A multi-scale high-resolution analysis of global sea surface temperature. *Remote Sensing of Environment*, 200:154–169.
- Didan (2021). Modis/terra vegetation indices 16-day l3 global 250m sin grid v061 [dataset]. nasa eosdis land processes distributed active archive center. *Catálogo de metadatos geográficos*.
- Garnesson, P., Mangin, A., Fanton d'Andon, O., Demaria, J., and Bretagnon, M. (2019). The cmems globcolour chlorophyll *a* product based on satellite observation: multi-sensor merging and flagging strategies. *Ocean Science*, 15(3):819–830.
- Kushnir, Y. (1994). Interdecadal variations in north atlantic sea surface temperature and associated atmospheric conditions. *Journal of Climate*, 7(1):141 – 157.
- R Core Team (2023). R: A language and environment for statistical computing. *R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria*.

- Ramos-Rodríguez, A., Lluch-Cota, D., Lluch-Cota, S., and Trasviña Castro, A. (2012). Sea surface temperature anomalies, seasonal cycle and trend regimes in the eastern pacific coast. *Ocean Science*, 8(1):81–90.
- Thyng, K. M., Greene, C. A., Hetland, R. D., Zimmerle, H. M., and DiMarco, S. F. (2016). True colors of oceanography: Guidelines for effective and accurate colormap selection. *Oceanography*, 29(3).

3.3. Agradecimientos

Al director de Pesca y Acuacultura del ayuntamiento de Compostela, C. Abelardo Bustos Oregón Director de Pesca y Acuacultura 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.