



## Boletín Oceanográfico de BCS noviembre de 2023

Elaborado por: Dr. Eduardo González Rodríguez<sup>1</sup>, Dr. Armando Trasviña Castro<sup>2</sup>, Dr. Romeo Saldívar-Lucio<sup>2</sup>, Dr. Jorge Cortes Ramos<sup>3</sup>, Dr(c). José Denis Osuna Amador<sup>4</sup>, Dr(c). Cotsikayala Pacheco Ramírez<sup>5</sup>, Dr. Hugo Herrera Cervantes<sup>2</sup> y Dr. Luis Manuel Farfán Molina<sup>6</sup>.

<sup>1</sup>CICESE-UT3, <sup>2</sup>Laboratorio SERVANT-CICESE-ULP, <sup>3</sup>Investigador Cátedra CONAHCYT-CICESE-ULP, <sup>4</sup>Estudiante Programa Doctorado en Ciencias de La Vida CICESE e Investigador Campo Experimental Todos Santos del INIFAP, <sup>5</sup>Estudiante Programa Doctorado en Ciencias de La Vida-CICESE, <sup>6</sup>CICESE-ULP

DICIEMBRE DE 2023, No. 4

---

## Introducción

Este boletín incluye productos gráficos elaborados por los laboratorios de percepción remota de la Unidad UT3 en Tepic, Nayarit, y SERVANT de la Unidad La Paz (ULP) en La Paz, Baja California Sur, del CICESE.

El objetivo es mostrar el estado del océano en el mes anterior, en las costas de Baja California Sur.

Este boletín inicia con una sección de mapas regionales que corresponde a las aguas oceánicas frente a las costas del estado de Baja California Sur (figura 1).

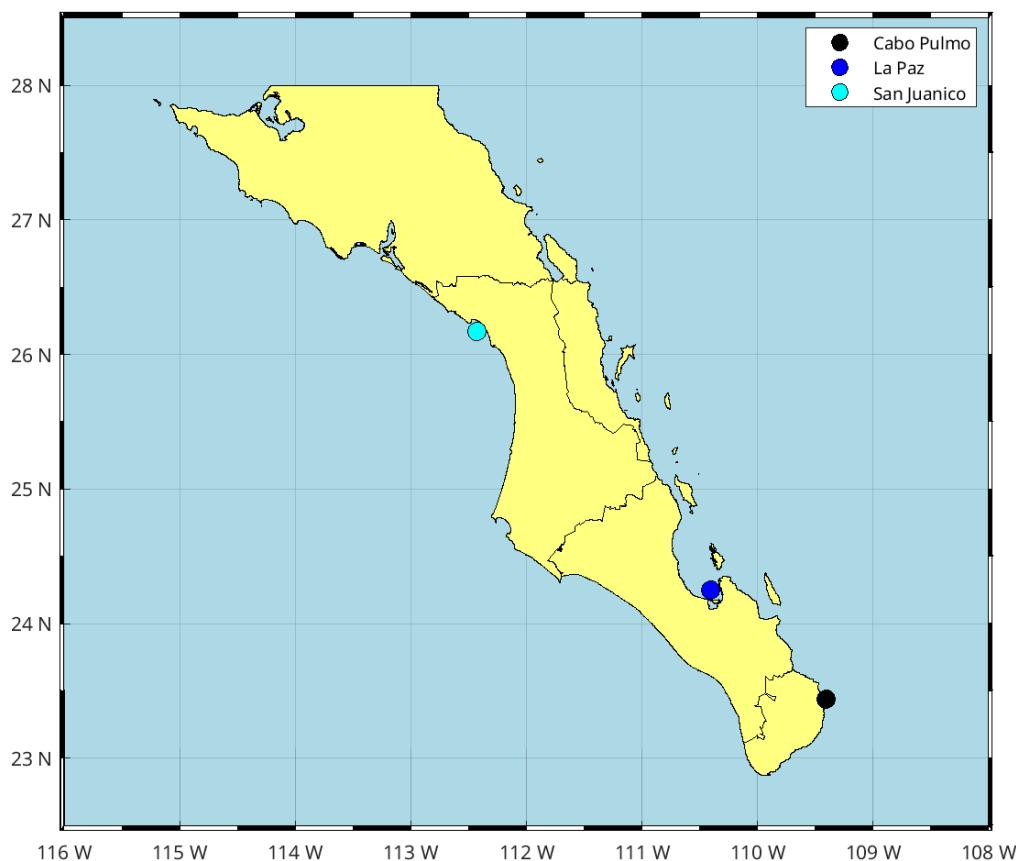
Además de estos mapas, se seleccionaron tres sitios específicos (figura 1): [San Juanico](#) (costa occidental, océano pacífico), [Bahía de La Paz](#) (costa del golfo de California) y parque nacional [Cabo Pulmo](#) (Entrada al Golfo de California). Adicionalmente, se presentan los datos del ciclón Tropical Norma (Baja California Sur) y datos sobre temperaturas terrestres en el [valle de Santo Domingo](#) región contigua al Golfo de Ulloa.

# Índice

<b>1. Área de estudio</b>	<b>3</b>
<b>2. Método</b>	<b>3</b>
2.1. Información satelital . . . . .	3
2.2. Datos <i>in situ</i> . . . . .	4
2.2.1. Viento local . . . . .	4
2.2.2. Temperatura del aire . . . . .	5
2.3. Mapas de distribución mensual . . . . .	5
2.4. Análisis de series de tiempo . . . . .	6
2.5. Paisaje pelágico . . . . .	6
<b>3. Resultados</b>	<b>6</b>
3.1. Nivel del mar Absoluto (NMA) . . . . .	6
3.2. Mapas de distribución mensual . . . . .	7
3.2.1. Anomalías de nivel del mar (ANM) . . . . .	7
3.2.2. Clorofila superficial (CLO) . . . . .	8
3.2.3. Temperatura Superficial del Mar (TSM) . . . . .	9
3.3. Cabo Pulmo . . . . .	10
3.3.1. Series de tiempo . . . . .	10
3.3.2. Viento (VTO) <i>in situ</i> . . . . .	12
3.3.3. Paisaje Pelágico (CP) . . . . .	13
3.3.4. Fitoplancton . . . . .	14
3.4. Bahía de La Paz . . . . .	15
3.4.1. Series de tiempo . . . . .	15
3.4.2. Registro meteorológico en Punta Coyote, norte de la bahía de La Paz. Del 01 al 30 de noviembre de 2023 . . . . .	17
3.4.3. Temperatura del aire (Tair) y Humedad Relativa (Hr) . . . . .	17
3.4.4. Velocidad, Rachas y Dirección predominante del viento. Punta Coyote, norte de la bahía de La Paz . . . . .	17
3.4.5. Paisaje Pelágico (BLP) . . . . .	19
3.4.6. Fitoplancton . . . . .	19
3.5. San Juanico, Golfo de Ulloa . . . . .	20
3.5.1. Series de tiempo . . . . .	20
3.5.2. Viento (VTO) <i>in situ</i> . . . . .	22
3.5.3. Paisaje Pelágico (GU) . . . . .	23
3.5.4. Fitoplancton . . . . .	24
3.5.5. Temperatura en el Valle de Santo Domingo, área contigua, región San Juanico-Golfo de Ulloa . . . . .	26
<b>4. Glosario</b>	<b>28</b>
<b>5. Referencias</b>	<b>29</b>

# 1. Área de estudio

El área de estudio corresponde a las aguas oceánicas frente a las costas del estado de BCS (figura 1). Los círculos de colores en la figura 1 indican los sitios de interés en donde se hicieron análisis de series de tiempo para las variables TSM, CLO y ANM (ver sección de variación temporal en método), de sur a norte, parque nacional Cabo Pulmo, La Paz y en San Juanico.



**Figura 1:** Zona de interés, región oceanográfica de Baja California Sur. Los círculos de colores marcan sitios para el análisis de series de tiempo.

# 2. Método

Las variables de interés seleccionadas para el presente reporte incluyen las derivadas de satélites, modeladas e información *in situ*, y se describen a continuación:

## 2.1. Información satelital

**Nivel de Mar Absoluto (NMA).** El NMA se refiere al nivel del mar determinado por múltiples misiones de altimetría satelital, pero a diferencia de las anomalías, la referencia es el geoide. El NMA incluye la tendencia de largo período debida al calentamiento global. Es un producto global, libre de huecos y cuenta con una resolución temporal diaria y espacial de 25x25 km. ([https://data.marine.copernicus.eu/product/SEALEVEL\\_GLO\\_PHY\\_L4\\_MY\\_008\\_047/description](https://data.marine.copernicus.eu/product/SEALEVEL_GLO_PHY_L4_MY_008_047/description)) y también ([https://data.marine.copernicus.eu/product/SEALEVEL\\_GLO\\_PHY\\_L4\\_NRT\\_OBSERV](https://data.marine.copernicus.eu/product/SEALEVEL_GLO_PHY_L4_NRT_OBSERV)

ATIONS\_008\_046/description).

**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 25x25 km.

**Clorofila superficial (CLO).** La CLO es la clorofila *a* satelital. Es un producto del denominado color del océano y corresponde a la primera profundidad óptica, que es la profundidad en donde la luz disminuye el 90 % (Cervantes-Duarte, 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 4x4 km (Garnesson *et al.*, 2019), ([https://data.marine.copernicus.eu/product/OCEANCOLOUR\\_GLO\\_BGC\\_L4\\_MY\\_009\\_104/services](https://data.marine.copernicus.eu/product/OCEANCOLOUR_GLO_BGC_L4_MY_009_104/services)).

Incluye la concentración de los principales grupos funcionales fitoplanctónicos expresada en la CLO 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-](https://data.marine.copernicus.eu/product/OCEANCOLOUR_GLO_BGC_L3_MY_009_103/download?dataset=cmems_obs-oc_glo_bgc-plankton_my_13-multi-)).

**Temperatura Superficial del Mar (TSM).** El término TSM se refiere a la capa o piel del océano y representa la temperatura de la capa sub 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>).

## 2.2. *Datos in situ*

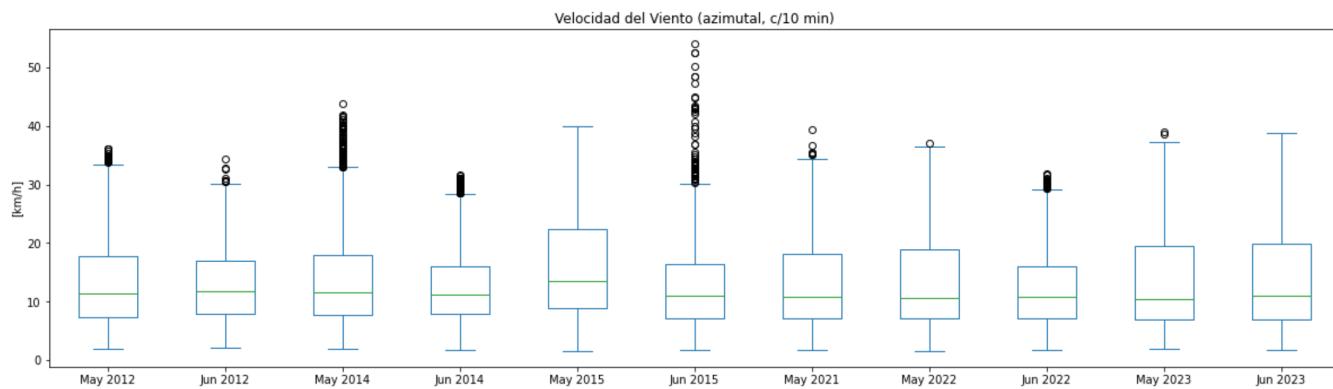
### 2.2.1. Viento local

**Viento in situ o local (VTO).** Los datos de viento fueron obtenidos por medio de una Estación Meteorológica Automática (EMA) del servicio meteorológico nacional. Su registro es cada 10 minutos y la forma de almacenamiento es en centrales de observación con comunicación satelital, internet o vía radio. (véase: <https://smn.conagua.gob.mx/es/observando-el-tiempo/estaciones-meteorologicas-automaticas-ema-s>).

Los datos se pre-procesaron de forma manual para identificar los valores espurios contenidos en la serie de tiempo. De igual forma, se dejaron en blanco los huecos en la serie de tiempo que ocasionó que algunos casos tuvieran un periodo de cero observaciones mayor a un año.

Con los datos de velocidad y dirección del viento sostenido medido en las EMA se calcularon las normales climatológicas de la dirección e intensidad del viento mediante el método gráfico de la rosa de los vientos. Con este método podemos observar alguna distribución de valores atípicos del viento (magnitud y dirección) sin la necesidad de realizar algún filtrado para remover la variabilidad de alta frecuencia.

Con un análisis de cajas (boxplots) se despliegan los valores anómalos (outliers) correspondientes a la intensidad del viento sostenido en cada mes (figura 2). Con este análisis de cajas se pueden resaltar algunos fenómenos meteorológicos que promueven el aumento atípico en la intensidad de los vientos, tales como los ciclones tropicales.



**Figura 2:** Ejemplo de un gráfico de cajas para los meses de mayo y junio en años selectos dentro del periodo 2012-2023 en la EMA San Juanico. Durante el mes de junio de 2015 el número de valores considerados como *outliers* o valores atípicos aumentó considerablemente debido a la influencia de la tormenta tropical Blanca (31 may - 9 jun) que cruzó por la estación de San Juanico.

### 2.2.2. Temperatura del aire

Adicionalmente, se hicieron estimaciones de la temperatura del aire (Tair) para la Bahía de La Paz por medio de una estación meteorológica Vantage Pro2 de la marca Davis Instruments ubicada en la barra arenosa conocida como El Mogote ( $24^{\circ} 10' 29''$  N y  $110^{\circ} 19' 36''$  W). Los datos se registran cada 2 horas y posteriormente son promediados por día, la información se almacena en archivos de acceso libre y están disponibles en <https://ulp.cicese.mx/condiciones-ambientales-observadas-en-la-bahia-de-la-paz/>.

## 2.3. Mapas de distribución mensual

Para la elaboración de los mapas de distribución del mes se promediaron las imágenes diarias de junio de 2023 para el área comprendida entre los  $22^{\circ}$  y  $29^{\circ}$  de latitud norte y los  $108^{\circ}$  y  $116^{\circ}$  de longitud oeste (figura 1). Con estos datos se estimaron los valores máximos, mínimos y promedio para cada pixel, además de la diferencia entre máximos y mínimos, y la anomalía mensual. Según Kushnir (1994) y Ramos-Rodríguez *et al.* (2012), para el cálculo de la anomalía mensual se estimó la climatología o promedio histórico mensual y se restó del promedio del mes de interés:

$$\text{Anomalía} = \text{promedio\_mensual} - \text{climatología}$$

para el cálculo de la climatología fue necesario descargar toda la información histórica disponible para cada variable.

## 2.4. Análisis de series de tiempo

Para el análisis de series de tiempo se seleccionaron los sitios mostrados en la figura 1, el parque nacional Cabo Pulmo, Bahía de La Paz y San Juanico. Las variables para el análisis incluyen los datos satelitales de ANM, CLO y TSM y datos *in situ* de VTO.

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. Las series con las anomalías para cada variable fueron estimados de la misma forma que para los mapas de distribución.

Finalmente, para ver si existe una relación entre la CLO y la TSM se descargaron los datos del índice multivariado de El Niño (<https://psl.noaa.gov/enso/mei/>) y se superpusieron con los valores de CLO y TSM.

Adicionalmente, se analiza el nivel del mar absoluto (NMA) en la costa occidental de la península, esto con la idea de mostrar la tendencia de largo periodo del nivel del mar en dicha costa.

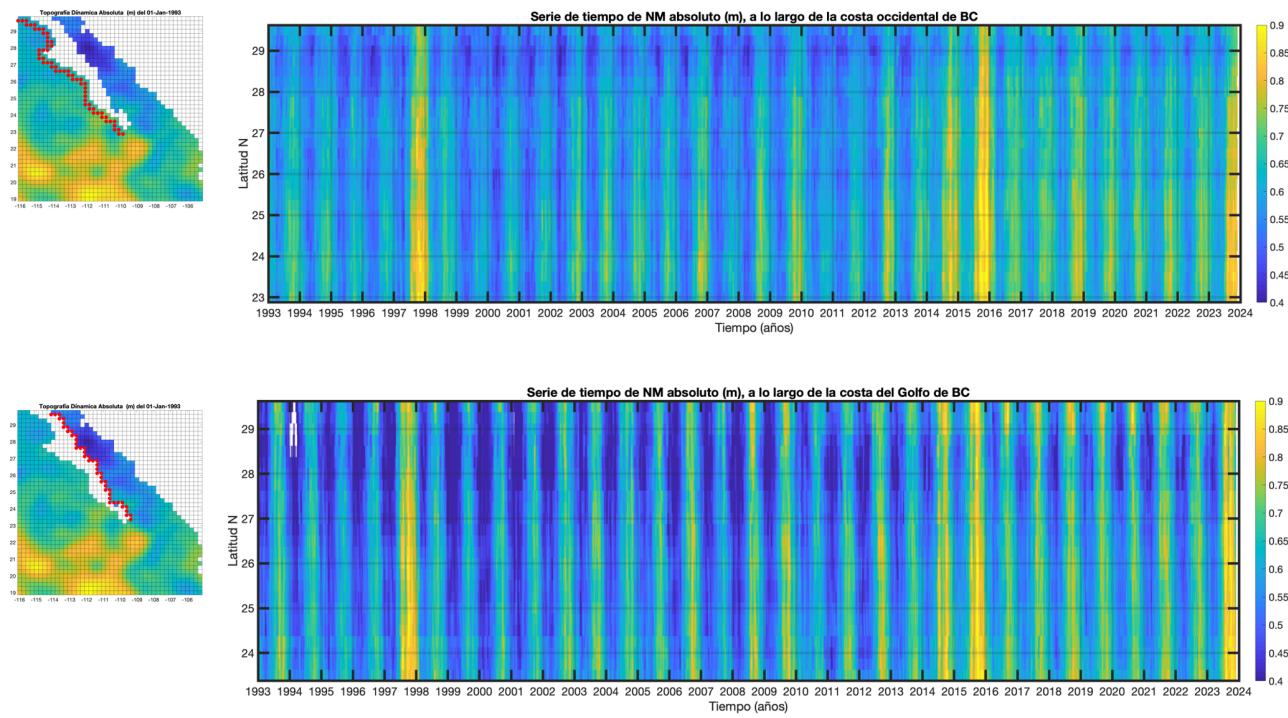
## 2.5. Paisaje pelágico

Para describir los rasgos distintivos del Paisaje Pelágico se descargaron los datos del sitio NOAA Coastwatch (<https://coastwatch.noaa.gov/cw/satellite-data-products/multi-parameter-models/seascape-pelagic-habitat-classification.html>). Una vez recortada el área de interés, se hizo un conteo de píxeles para cada categoría de paisaje pelágico, con lo que se calculó el área ocupada por categoría, considerando que: 1 píxel equivale a 5 km<sup>2</sup>. Las categorías o hábitats pelágicos dominantes fueron identificadas como aquellas con la mayor extensión total (km<sup>2</sup>) en los recortes espacial y temporal considerados. Para revelar el patrón estacional promedio del Paisaje Pelágico se calcularon las climatologías mensuales, obteniendo el promedio del mes correspondiente desde enero de 2003 hasta octubre de 2023.

# 3. Resultados

## 3.1. Nivel del mar Absoluto (NMA)

Esta sección muestra la evolución a lo largo de la costa del nivel del mar absoluto. El NMA incluye la tendencia de largo período. Las unidades son metros (m) y destacan los máximos que corresponden a eventos cálidos. Por ejemplo, el Niño de 1997-1998, el 'Blob' cálido de 2014 y El Niño de 2015. Sin embargo el año de 2023 destaca como uno de los que han registrado mayor elevación del nivel del mar en todo el registro.



**Figura 3:** Evolución del nivel del mar (NM absoluto) a lo largo de las dos costas de la península de BC hasta noviembre de 2023. Arriba: costa Occidental; abajo: costa del Golfo de California

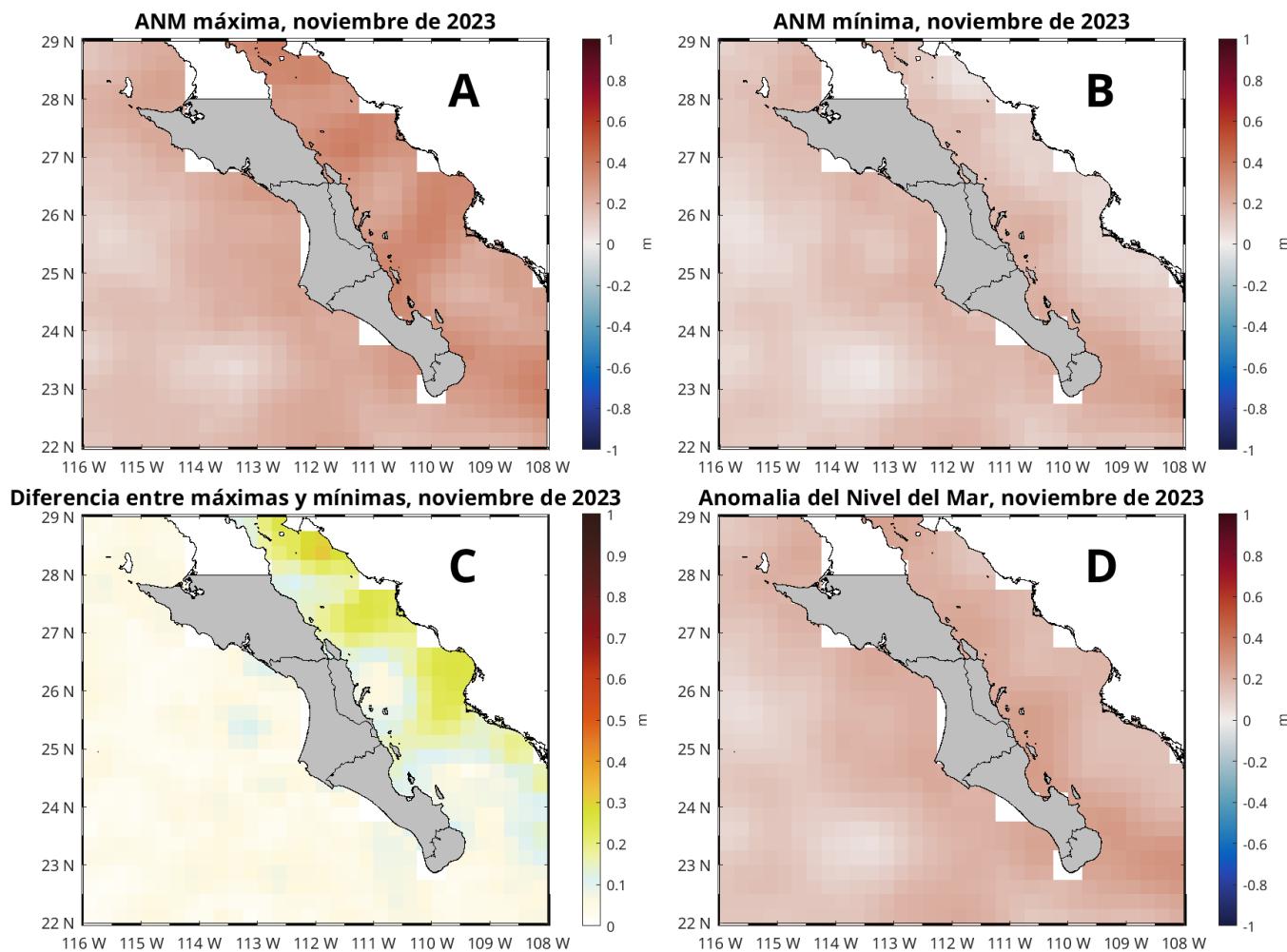
## 3.2. Mapas de distribución mensual

### 3.2.1. Anomalías de nivel del mar (ANM)

Las condiciones de ANM durante el mes de noviembre de 2023 se muestran en la figura 4. El mapa del panel A muestra las anomalías máximas registradas, cuyo rango se ubicó entre -0.06 y 0.38 m. El panel B muestra las anomalías mínimas, cuyo rango estuvo entre -0.02 y 0.27 m. El panel C muestra la diferencia entre anomalías máximas y mínimas (A - B) durante este mes, el valor máximo fue de 0.31 m, ligeramente superior a octubre. Esta imagen es útil en el sentido de mostrar las zonas donde se presentó el mayor rango de variación de nivel de mar a lo largo del mes. El panel D muestra las anomalías con respecto al promedio histórico o climatológico de datos de 1993 a 2012, es decir, indica las variaciones de ANM en comparación con las condiciones normales a lo largo del tiempo. Los colores rojos indican condiciones anómalamente positivas (mayor altura de lo normal), mientras que los colores azules indican condiciones anómalamente negativas (menor altura), el rango se ubicó entre 0.04 y 0.3 m. Estos valores representan una ligera disminución (0.01 m) comparado con octubre.

### 3.2 Mapas de distribución mensual

## 3 RESULTADOS



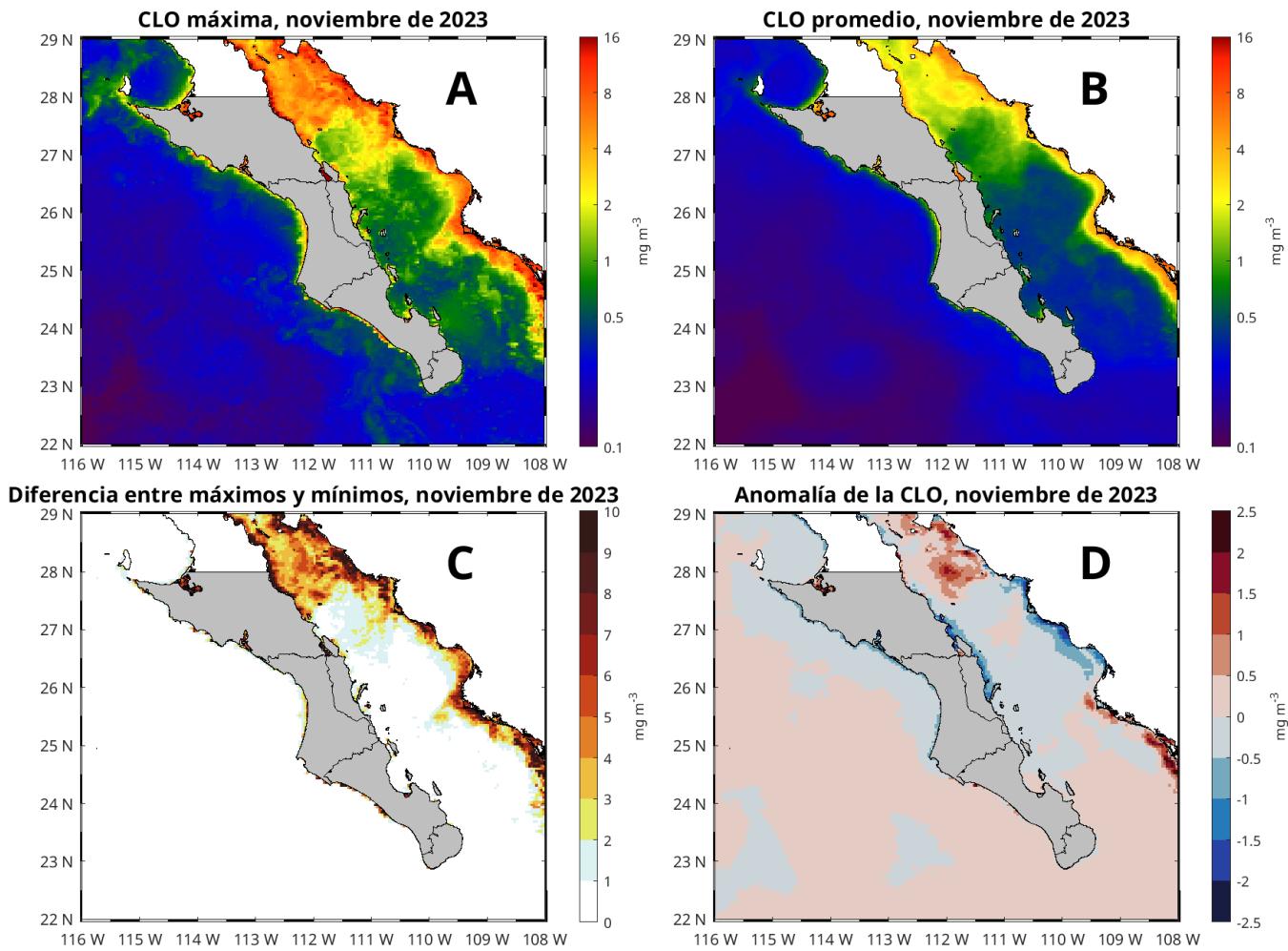
**Figura 4:** Condiciones de ANM durante el mes de noviembre de 2023. Panel A, niveles máximos, B niveles mínimos, C diferencia entre máximos y mínimos y D anomalía.

### 3.2.2. Clorofila superficial (CLO)

Las condiciones de CLO durante el mes de noviembre de 2023 se muestran en la figura 5. El mapa del panel A muestra las concentraciones máximas registradas, cuyo rango se ubicó entre 0.09 y 62.0 mg m<sup>-3</sup>. El panel B muestra las concentraciones promedio, cuyo rango estuvo entre 0.08 y 18 mg m<sup>-3</sup>, una diferencia de 18 mg m<sup>-3</sup> menos en comparación de octubre. El panel C muestra la diferencia entre concentraciones máximas y mínimas (imagen no mostrada) durante este mes, cuyo valor máximo de 60.5 mg m<sup>-3</sup>, lo que representa una disminución de 4 mg m<sup>-3</sup> en comparación con el mes anterior. Esta imagen es útil en el sentido de mostrar las zonas donde hubo las mayores variaciones de CLO a lo largo del mes. El panel D muestra las anomalías con respecto al promedio histórico o climatológico de datos desde 1997, 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 -7.5 y 8 mg m<sup>-3</sup>, rango inferior en 8 mg m<sup>-3</sup> al de octubre.

### 3.2 Mapas de distribución mensual

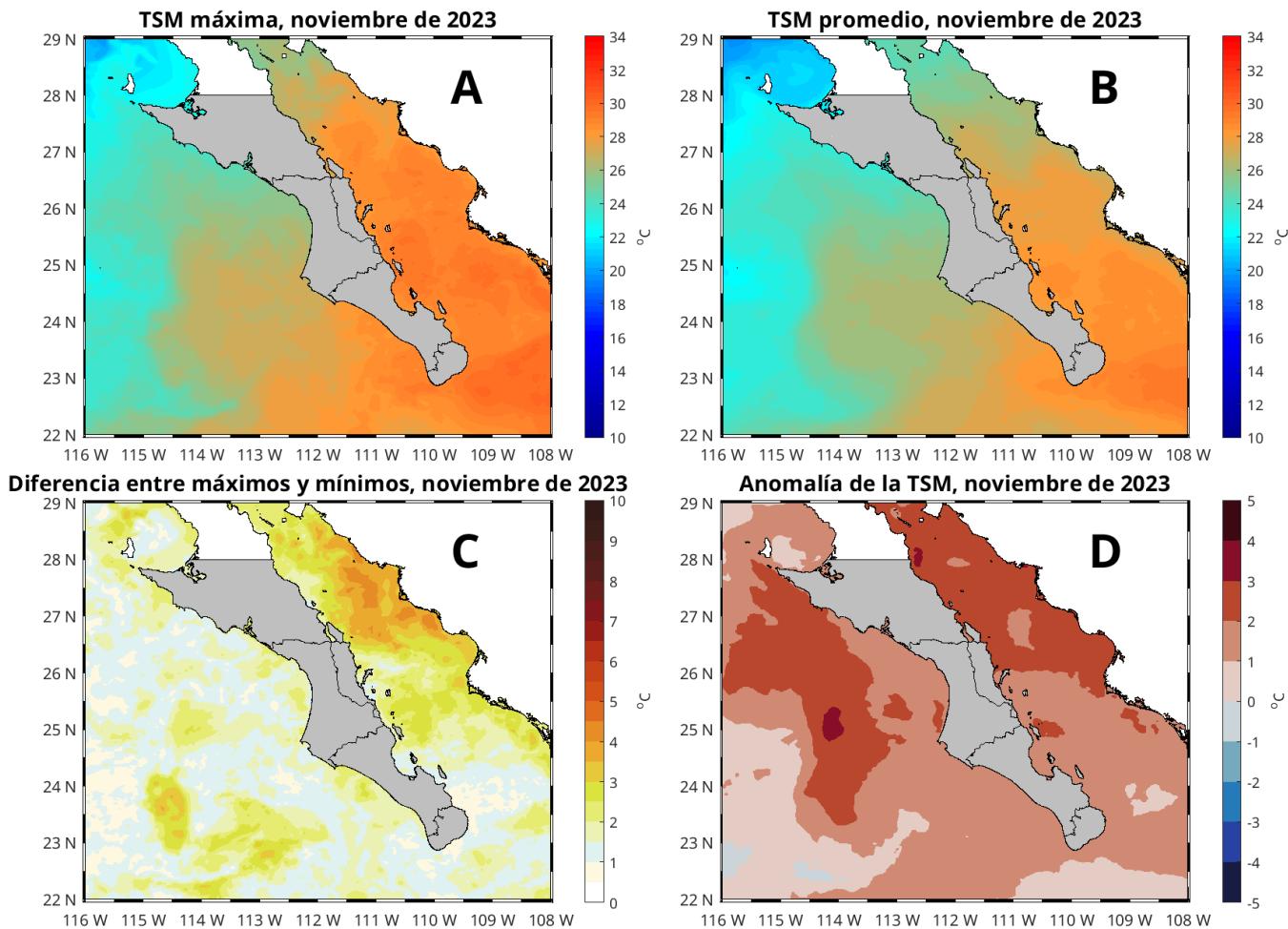
## 3 RESULTADOS



**Figura 5:** Concentraciones de CLO durante el mes de noviembre de 2023. Panel A, máximas, B promedio, C diferencia entre concentraciones máximas y mínimas y D anomalía.

### 3.2.3. Temperatura Superficial del Mar (TSM)

Las condiciones de TSM durante el mes de noviembre de 2023 se muestran en la figura 6. El mapa del panel A muestra las temperaturas máximas registradas, cuyo rango se ubicó entre 20.4 y 30.0 °C, prácticamente inferior en 2 °C en comparación de octubre. El panel B muestra el promedio de temperatura, cuyo rango estuvo entre 19.5 y 29.9 °C, 1 °C menor que en octubre. El panel C muestra la diferencia entre máximos y mínimos (imagen no mostrada) durante este mes, cuyo valor más alto fue de 4.5 °C, menor en 1 °C en comparación del mes anterior. Esta imagen es útil en el sentido de mostrar las zonas donde hubo las mayores variaciones de la TSM a lo largo del mes. El panel D muestra las anomalías con respecto al promedio histórico o climatológico de datos desde 2002, es decir, indican las variaciones de TSM en comparación con las condiciones *normales* a lo largo del tiempo. Los colores rojos indican condiciones anómalamente positivas (mayor o más caliente de lo normal), mientras que los colores azules indican condiciones anómalamente negativas (menores o más frías de lo normal), el rango se ubicó entre -0.16 y 3.2 °C, rango superior por 3 °C en comparación del mes anterior.



**Figura 6:** Condiciones de TSM durante el mes de noviembre de 2023. Panel A, máximos, B promedio, C diferencia entre máximos y mínimos, D anomalía.

### 3.3. Cabo Pulmo

#### 3.3.1. Series de tiempo

Las condiciones climatológicas y anomalías de TSM, CLO y ANM a lo largo del tiempo (2002-2023) para Cabo Pulmo se muestran en la figura 7. Los paneles A, C y E, muestran las climatologías mensuales, las líneas negras indican los valores en 2023 (hasta noviembre). Los paneles B, D y F muestran las anomalías a lo largo del tiempo, la línea negra indica los datos del MEI.

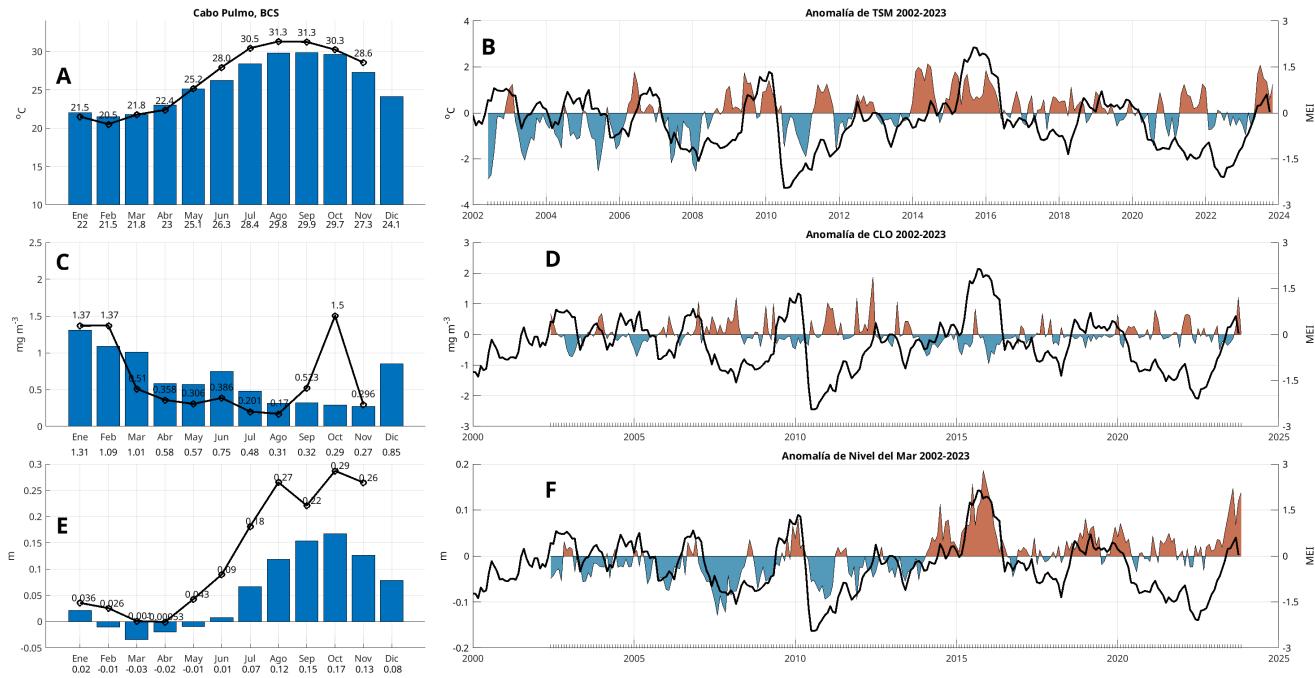
La TSM desde mayo ha estado por encima de sus valores climatológicos, en noviembre la TSM se ubicó en 28.6 °C, lo que representa una diferencia o anomalía positiva de 1.3 °C. Esto coincide con anomalías positivas del MEI para este periodo, pero mayor al mes pasado, lo que indica un aumento de la intensidad del fenómeno de El Niño en la región (figura 7 A y B).

La CLO desde mayo hasta agosto tuvo valores por debajo de los promedios climatológicos, en septiembre y octubre los valores estuvieron por encima del promedio, ahora en noviembre se presenta un valor de 0.29 mg m<sup>-3</sup>, prácticamente igual al de la climatología de 0.27 mg m<sup>-3</sup> (figura 7 C y D).

### 3.3 Cabo Pulmo

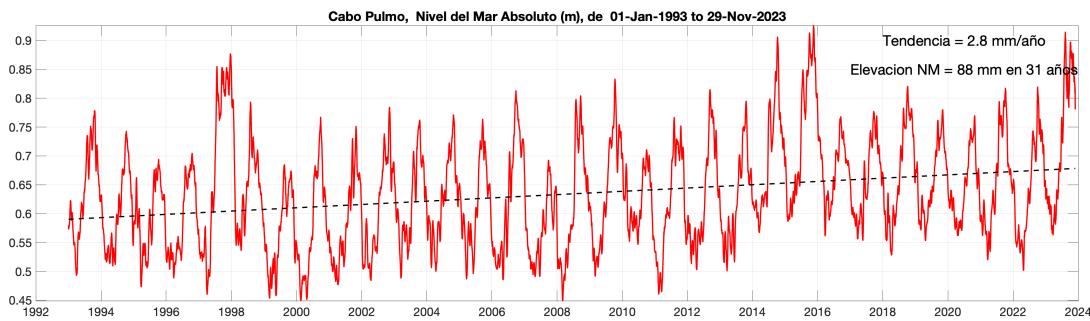
### 3 RESULTADOS

Las ANM han sido positivas desde mayo, con valores muy superiores a los climatológicos. noviembre presenta el tercer valor mensual más alto en 2023 con 0.26 m, superior a su valor climatológico de 0.13 m (figura 7 E y F).



**Figura 7:** Climatologías mensuales y anomalías interanuales de TSM, CLO y ANM durante 2023 para Cabo Pulmo. Las barras azules en los paneles A, C y E son las climatologías mensuales de cada variable. Los números en la base de las barras indican los valores de cada mes. Las líneas negras con círculos muestran los valores de enero a noviembre de 2023, sus valores se indican encima de cada círculo. Las series de tiempo de los paneles B, D y F representan las anomalías interanuales, la línea negra es el índice MEI.

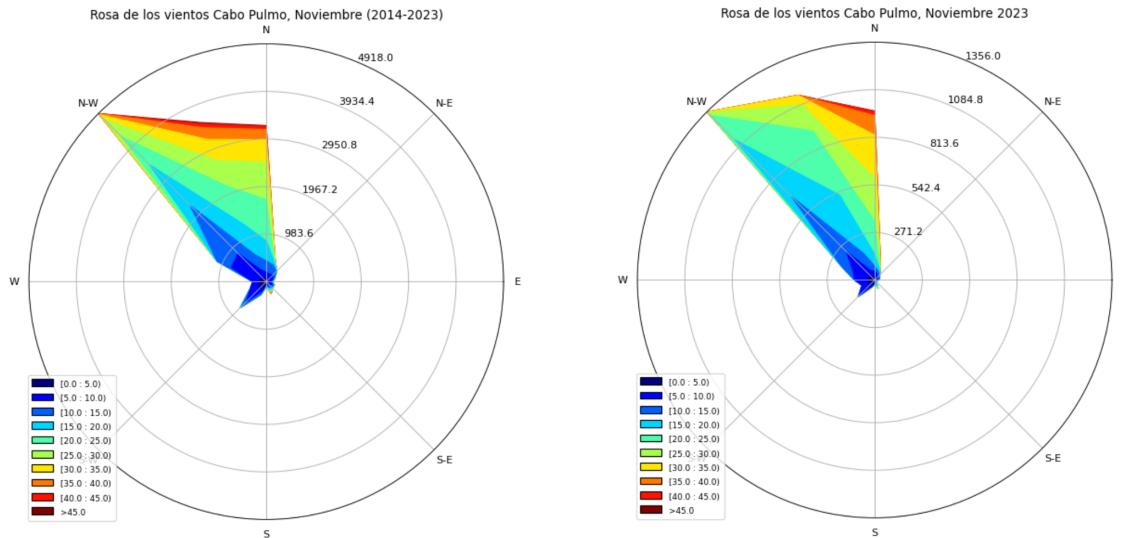
La figura 8 contiene la serie de tiempo del nivel del mar absoluto (m) en Cabo Pulmo, desde el 1 de enero de 1993 hasta noviembre de 2023. Destacan los máximos de 1997-1998, asociado a un evento de El Niño, 2014 debido al Blob cálido, y 2015 debido al evento de El Niño más reciente. El año 2023 se encuentra también entre los máximos del registro. Esta variable contiene el incremento del nivel del mar debido al calentamiento global. En esta localidad la tendencia es de 2.8 mm/año y de 88 mm en los 30+ años de este registro.



**Figura 8:** Nivel del mar absoluto (m) en Cabo Pulmo, BCS. Inicia el 1 de enero de 1993 y termina en noviembre de 2023. Incluye el nivel del mar con referencia al Geoide. Incluye la tendencia de largo período debida a calentamiento global.

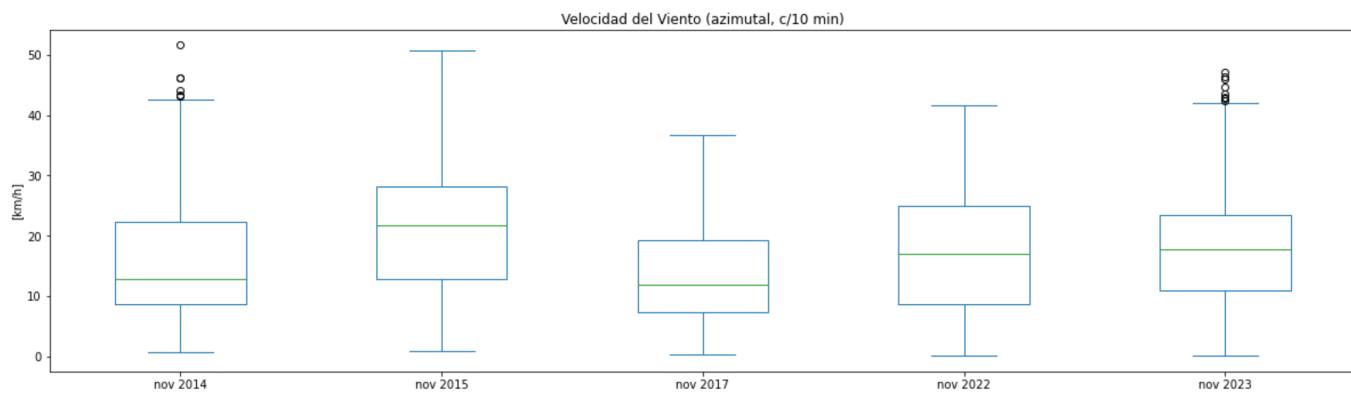
### 3.3.2. Viento (VTO) *in situ*

Durante el mes de noviembre de 2023 el patrón característico de los vientos, en la región de Cabo Pulmo, corresponde con la climatología de los vientos para dicho mes (2014-2023). Un ligero aumento en los vientos provenientes del N-NW se puede observar junto con una ligera disminución de los vientos provenientes del SW. (Fig. 9). De la figura no se observan intensidades de viento mayores a los 40 km/h durante el mes.



**Figura 9:** Climatología vs. observaciones de la dirección e intensidad de los vientos en la estación Cabo Pulmo durante noviembre de 2023.

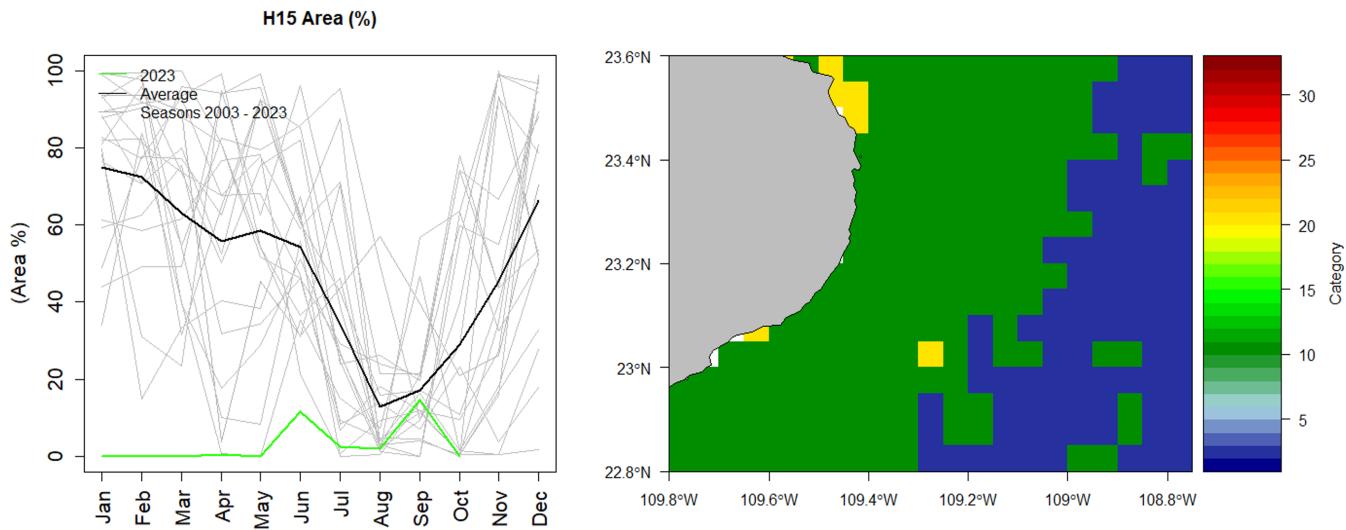
La intensidad del viento *in situ* registrada durante el mes de noviembre de 2023 en Cabo Pulmo no muestra eventos relevantes (Fig. 10). Visto desde el gráfico de cajas, los valores extremos, mejor conocidos como *outliers* (círculos en negro), muestran muy pocos eventos de viento intenso que no alcanzan los 50 km/h.



**Figura 10:** Análisis de caja de la intensidad de los vientos en la estación Cabo Pulmo durante el mes de noviembre. Se puede notar que durante el mes no se presentaron eventos aislados de intensidad superior a los 50 km/h. Los bigotes superiores de cada caja nos definen el umbral donde parte de los vientos, persistentes durante el mes, fueron más intensos con respecto a la media. Los valores superiores a este umbral (círculos en negro) representan los valores de viento atípico más intenso ocurridos en el mes (*outliers*).

### 3.3.3. Paisaje Pelágico (CP)

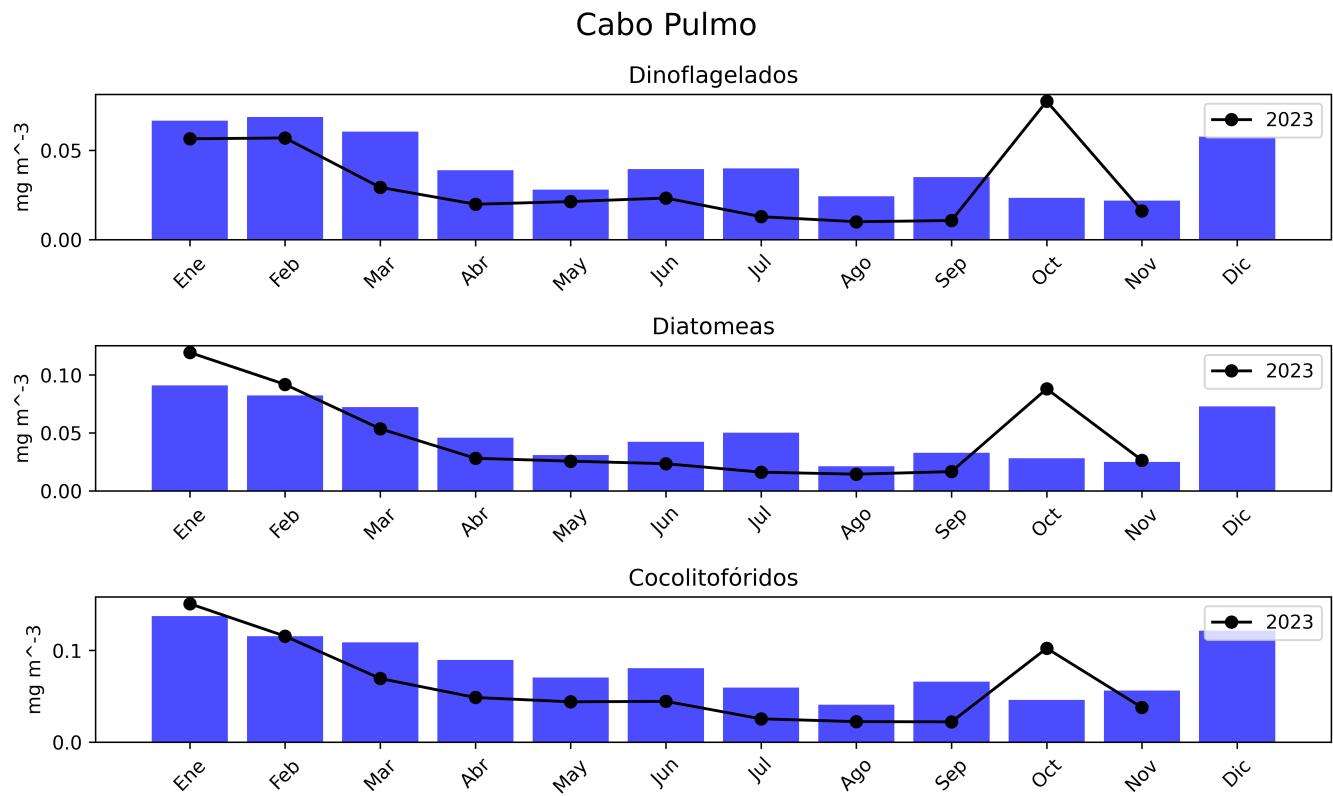
El paisaje pelágico en Cabo Pulmo y zonas adyacentes, muestran una estacionalidad bien definida. De enero a agosto, la categoría H15 suele disminuir del 80 al 16 %, para volver a extenderse hasta casi el 70 % hacia diciembre. El predominio de H15 indica temperatura superficial de 25.35 °C, salinidad de 35.4 ups, y concentración de clorofila de  $0.32 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ . En sentido opuesto, H3 se expande de febrero (<5 %) a agosto (60 %); H3 se define por una temperatura superficial de 24.12 °C, salinidad de 35.34 ups y  $0.15 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$  de clorofila. Lo que se observa en el periodo enero-julio de 2023 en la zona de Cabo Pulmo, es el colapso de H15, la expansión anómala de H11 a inicios de año (95 %) y posteriormente H3 que creció a partir de febrero y cubrió más del 80 % del área considerada en mayo y junio. Estas anomalías implican la presencia de aguas con menor temperatura y menor concentración de clorofila respecto a las condiciones promedio (figura 11a)). De agosto a octubre de 2023, H15 continuó con una inusual cobertura baja, mientras que H11 se expandió hasta ocupar el 60 %, mientras que H3 disminuyó para acercarse a sus promedios climatológicos entre agosto y octubre (figura 11).



**Figura 11:** Paisaje Pelágico frente a Cabo Pulmo. a) Panel izquierdo: Comportamiento estacional del hábitat dominante H15 (2003-2023). b) Panel derecho: Distribución espacial de los hábitats pelágicos en Cabo Pulmo y zonas adyacentes durante octubre de 2023.

### 3.3.4. Fitoplancton

Las climatologías de los grupos fitoplanctónicos representativos, diatomeas, dinoflagelados y cocolitofóridos a lo largo del periodo 2002-2023, se presentan en la figura 12. Los datos diarios han sido recopilados del Servicio de Vigilancia Marina Copernicus (CMEMS). Las barras azules indican las climatologías, mientras que las líneas negras muestran los promedios mensuales de enero a noviembre de 2023. Estos datos revelan un ciclo estacional con dos incrementos: el primero más intenso en invierno, de diciembre hasta marzo, y el segundo débil en verano, con máximos promedios en junio. Diatomeas, dinoflagelados y cocolitofóridos tuvieron un incremento en sus concentraciones respecto a sus climatologías el mes de octubre de 2023.



**Figura 12:** Climatologías de la concentración de grupos fitoplanctónicos expresada en CLO en el agua de mar en Cabo pulmo.

### 3.4. Bahía de La Paz

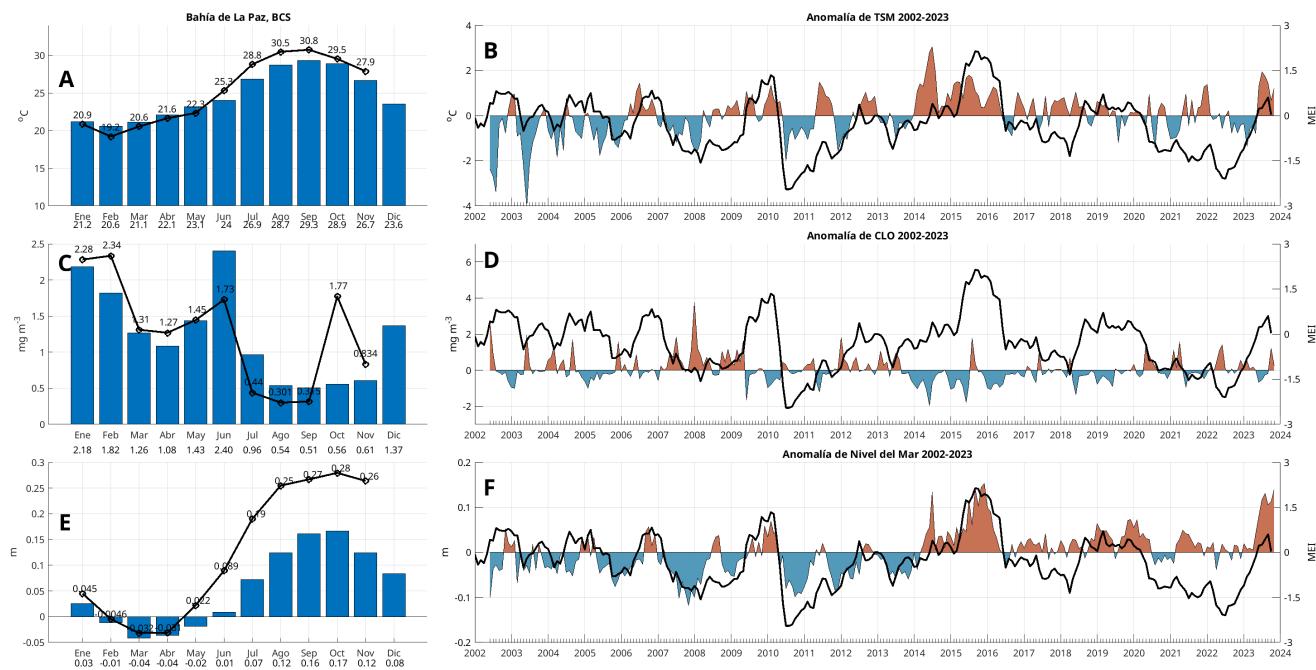
#### 3.4.1. Series de tiempo

Las condiciones climatológicas y anomalías de TSM, CLO y ANM a lo largo del tiempo (2002-2023) para La Paz se muestran en la figura 13. Los paneles A, C y E, muestran las climatologías mensuales, las líneas negras indican los valores en 2023 (hasta noviembre). Los paneles B, D y F muestran las anomalías a lo largo del tiempo, la línea negra indica los datos del MEI.

La TSM desde junio ha estado por encima de sus valores climatológicos, en noviembre su valor fue de 27.9, es decir, +1.2 °C respecto a su valor climatológico. Esto coincide con anomalías positivas del MEI, que desde el bimestre agosto-septiembre están presentes e indica la presencia del fenómeno de El Niño en la región (figura 13 A y B).

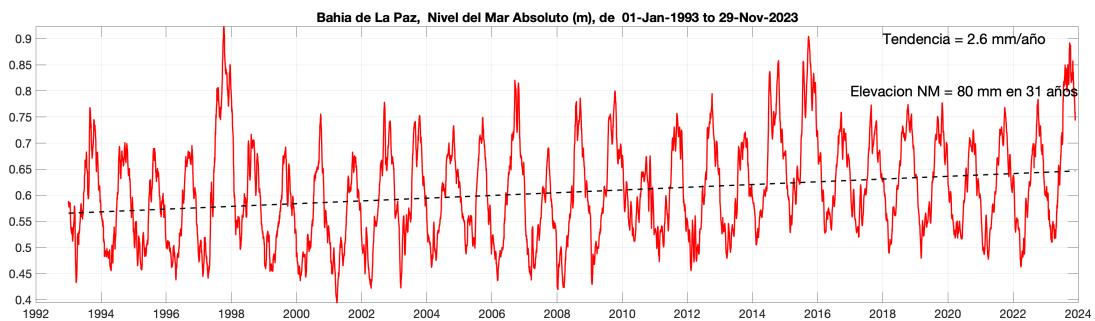
Prácticamente, a lo largo del año, la CLO ha estado por debajo de los promedios climatológicos. Especialmente de junio a septiembre, sin embargo, desde octubre los valores registrados son superiores a su promedio climatológico, para noviembre se registró un valor de 0.83  $\text{mg m}^{-3}$ , mientras que el valor climatológico del mes es de 0.61  $\text{mg m}^{-3}$  (figura 13 C y D).

Las ANM han sido positivamente anómala desde mayo. Específicamente de junio a noviembre con anómalamente positivos por más de 0.1 m. El valor registrado en noviembre fue de 0.26 m, muy por encima de su valor climatológico de 0.12 m (figura 13 E y F).



**Figura 13:** Climatologías mensuales y anomalías interanuales de TSM, CLO y ANM durante 2023 para La Paz. Las barras azules en los paneles A, C y E son las climatologías mensuales de cada variable. Los números en la base de las barras indican los valores de cada mes. Las líneas negras con círculos muestran los valores de enero a septiembre de 2023, sus valores se indican encima de cada círculo. Las series de tiempo de los paneles B, D y F representan las anomalías interanuales, la línea negra es el índice MEI.

La figura 14 contiene la serie de tiempo del nivel del mar absoluto (m) en Bahía de La Paz, BCS, desde el 1 de enero de 1993 hasta noviembre de 2023. Destacan los máximos de 1997-1998, asociado a un evento del Niño, 2014 debido al Blob cálido, y 2015 debido al evento del Niño más reciente. El año 2023 es uno de los que alcanza valores máximos en todo el registro. Esta variable contiene el incremento del nivel del mar debido al calentamiento global. En esta localidad la tendencia es de 2.6 mm/año y de 80 mm en los 30+ años de este registro.

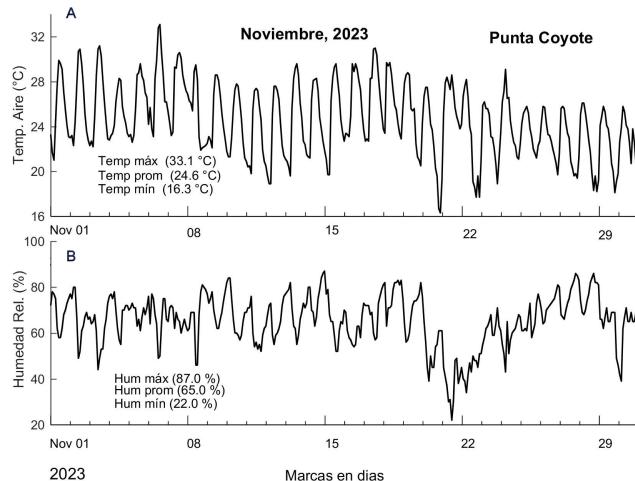


**Figura 14:** Nivel del mar absoluto (m) en Bahía de La Paz, BCS. Inicia el 1 de enero de 1993 y termina en noviembre de 2023. Incluye el nivel del mar con referencia al Geoide. Incluye la tendencia de largo período debida a calentamiento global.

### 3.4.2. Registro meteorológico en Punta Coyote, norte de la bahía de La Paz. Del 01 al 30 de noviembre de 2023

#### 3.4.3. Temperatura del aire (Tair) y Humedad Relativa (Hr)

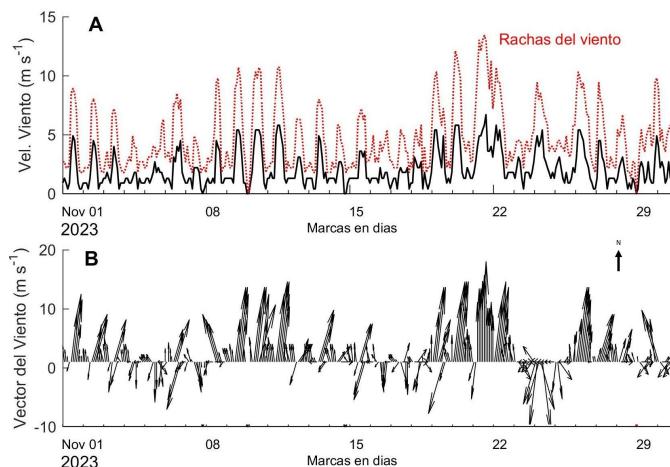
La figura 15, muestran las series de tiempo de (A) la temperatura del aire (Tair) y (B) humedad relativa (Hr) durante el período del 01 al 30 de noviembre de 2023. Los valores máximos de Tair ( $33.1^{\circ}\text{C}$ ) se observaron al inicio del mes de noviembre con un valor promedio de  $24.6^{\circ}\text{C}$  y temperaturas mínimas de  $16.3^{\circ}\text{C}$  (finales de noviembre), cuando una tendencia descendente de la temperatura se hace evidente al final del otoño. Punta Coyote se ubica en la zona norte de la bahía ( $24.7^{\circ}$  Latitud norte y  $110.7^{\circ}$  Longitud oeste) frente a la boca grande de la bahía. La humedad relativa (Hr) mostró valores máximos de 87, valores promedio de 65 y mínimos de 22 por ciento durante los días 21 y 22 de noviembre asociados al paso del primer frente frío fuerte de la temporada. Previo a este evento se observó un frente frío moderado los días 9 al 11 de noviembre.



**Figura 15:** Series de tiempo de: (A) Temperatura del aire y (B) Humedad Relativa registrados en la Estación meteorológica Punta Coyote ubicada en el norte de la bahía de La Paz durante el período del 01 al 30 de noviembre del 2023.

#### 3.4.4. Velocidad, Rachas y Dirección predominante del viento. Punta Coyote, norte de la bahía de La Paz

La figura 16, muestra los valores de (A) velocidad (en negro), rachas de viento (línea punteada en rojo). En (B) se muestra la dirección del viento en forma vectorial correspondientes al período del 01 al 30 de noviembre del 2023. Los valores de velocidad y rachas de viento mostraron valores del orden de  $\sim 4.0\text{-}8.0\text{ m/s}$  y rachas  $>12\text{ m/s}$  con dirección nor-noreste durante los primeros eventos de frentes fríos de la temporada (del 9 al 11 y del 19 al 21 de noviembre). Las velocidades y rachas mayores se observaron el 19 al 21 de noviembre cuando se presentó el primer frente frío fuerte de la temporada. La dirección predominante del viento durante noviembre fue del nornoreste, con valores débiles y moderados de 2 a 4 m/s, con algunos episodios con valores de moderados a fuertes los días 8- 11, 19 -21 y 26-27 de noviembre con dirección predominante del norte y noreste.



**Figura 16:** Series de tiempo de (A) Velocidad (en negro) y Rachas (línea punteada en rojo) del viento. (B) Vectores (dirección predominante) del viento registrado en la Estación meteorológica ubicada en Punta Coyote al norte de la Bahía de La Paz durante el período 01 al 30 de noviembre, 2023.

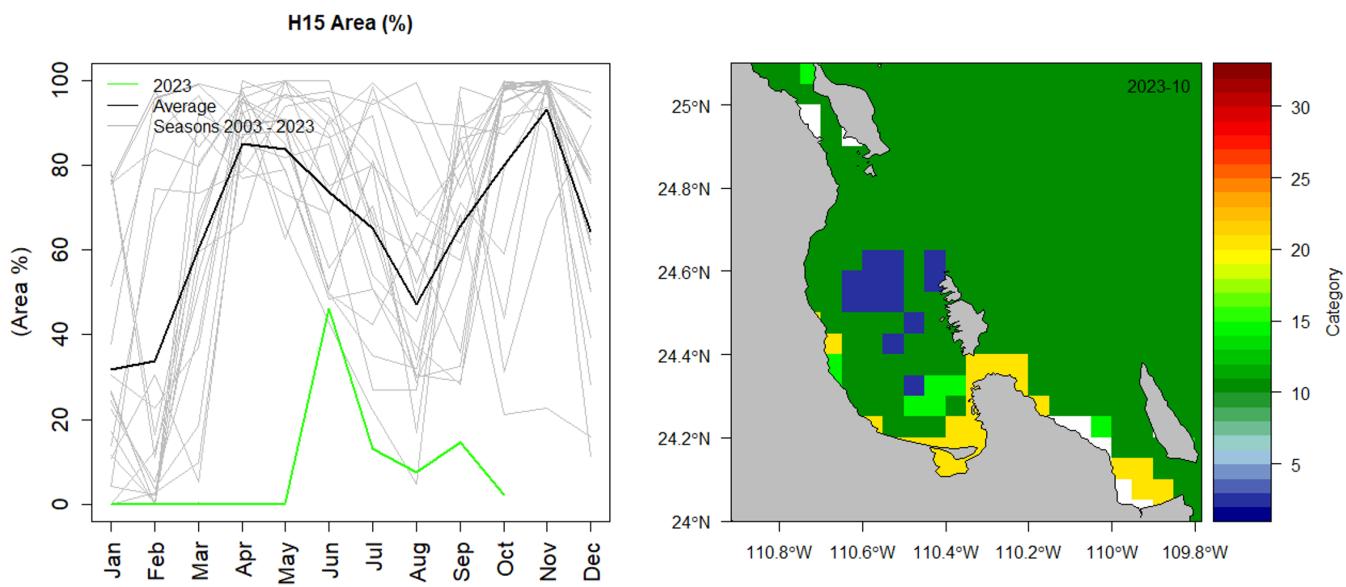
La figura 17, muestra la dirección del viento en forma de rosa de vectores utilizando los valores de dirección y velocidad registrados del 01 al 30 de noviembre del 2023 en Punta Coyote, Bahía de La Paz. Se muestra el número de vectores de acuerdo con su dirección predominante, que fueron del 4to. y 1er. cuadrante, esto último asociado al paso de los primeros frentes fríos de la temporada. Los vectores en rojo indican los ejes principales del vector (la dirección de máxima y mínima varianza).



**Figura 17:** Dirección predominante del viento durante el período 01 al 30 de noviembre, 2023 en Punta Coyote, Bahía de La Paz, mostrada en forma de rosa de vectores. El número en el círculo indica el número de vectores (cada 2 horas) y la dirección predominante (cuadrantes). Los vectores en rojo indican los ejes principales del vector (máxima y mínima varianza del viento promedio).

### 3.4.5. Paisaje Pelágico (BLP)

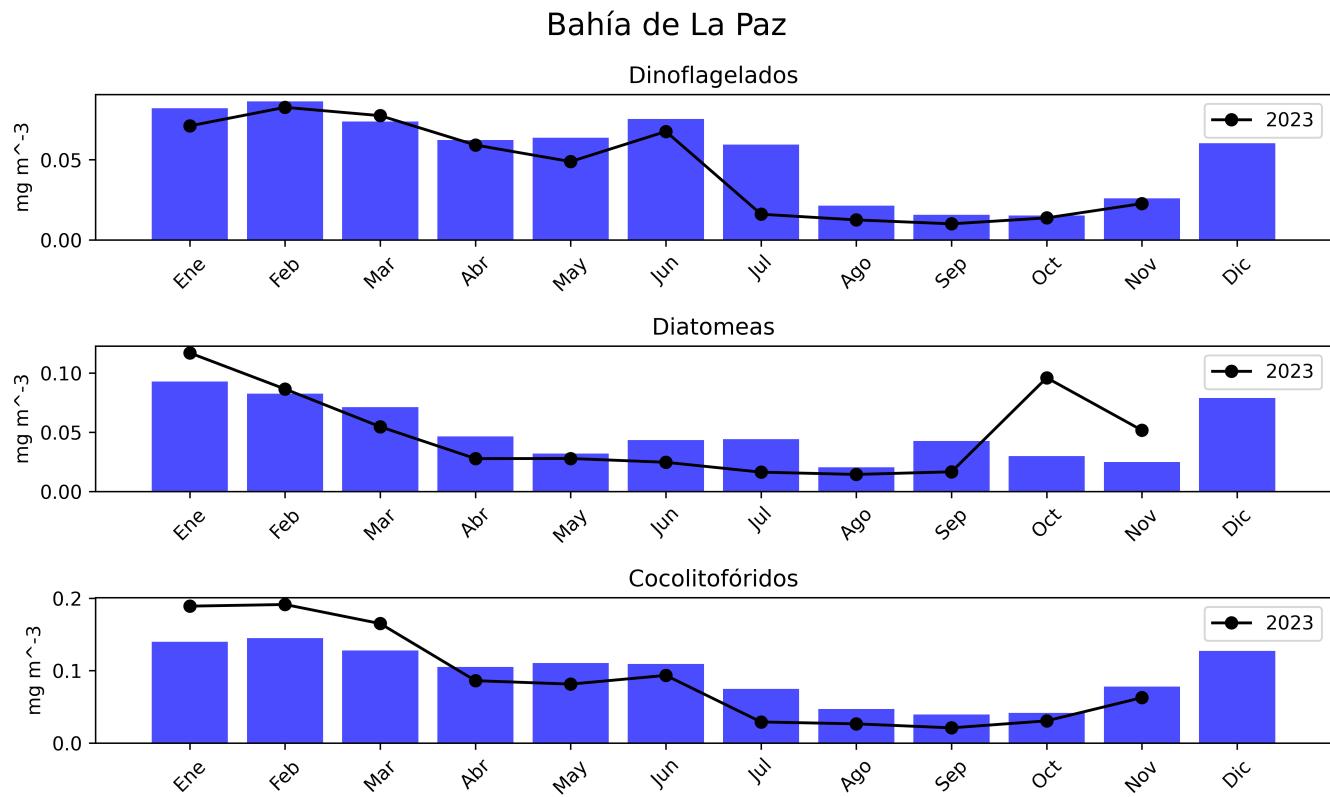
El hábitat pelágico H15 es dominante en la Bahía de La Paz, particularmente entre abril y octubre, cuando llega a ocupar el 90 % del área de la bahía y la zona adyacente (figura 18a). La categoría H15 se conforma en torno a condiciones de temperatura superficial de  $25.35^{\circ}\text{C}$ , salinidad de 35.4 ups, y concentración de clorofila de  $0.32 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ . La primera mitad de 2023 muestra un colapso de H15, ya que solo se presentó hasta el mes de junio (40 %), aunque aún muy por debajo del área que ha ocupado históricamente en promedio durante el mismo mes (78 %). La contracción de H15 en lo que va de 2023 implica la presencia de aguas más frías y menor concentración de clorofila (figura 18). En octubre de 2023 H15 continúa colapsado, observándose un amplio predominio de H11 (>80 %), caracterizado por temperatura superficial en torno a  $22.94^{\circ}\text{C}$ , 34.79 ups y clorofila  $0.27 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ . En la franja costera del centro al sur se observan áreas ocupadas por H21, dentro y fuera de la bahía, además de parches de H3 en el centro-norte (figura 18b).



**Figura 18:** Paisaje Pelágico en la Bahía de La Paz. a) Panel izquierdo: Comportamiento estacional del hábitat dominante H15 (2003 - 2023). b) Panel derecho: Distribución espacial de los hábitats pelágicos en Bahía de La Paz y zona adyacente durante octubre de 2023.

### 3.4.6. Fitoplancton

Las concentraciones climatológicas de los grupos fitoplanctónicos representativos, diatomeas, dinoflagelados y cocolitofóridos a lo largo del periodo 2002-2023, se presentan en la figura 19. Los datos diarios han sido recopilados del Servicio de Vigilancia Marina Copernicus (CMEMS). Las barras azules indican las climatologías, mientras que las líneas negras muestran los promedios mensuales de enero a noviembre de 2023. Estos datos exhiben dos ciclos estacionales: el primero en invierno, de diciembre hasta marzo, con máximos promedios en febrero, y el segundo en verano, con máximos promedios en junio. Las diatomeas incrementaron sus concentraciones respecto a las climatologías el mes de octubre de 2023.



**Figura 19:** Climatologías de la concentración de grupos fitoplanctónicos expresada en CLO en el agua de mar en Bahía de La Paz.

### 3.5. San Juanico, Golfo de Ulloa

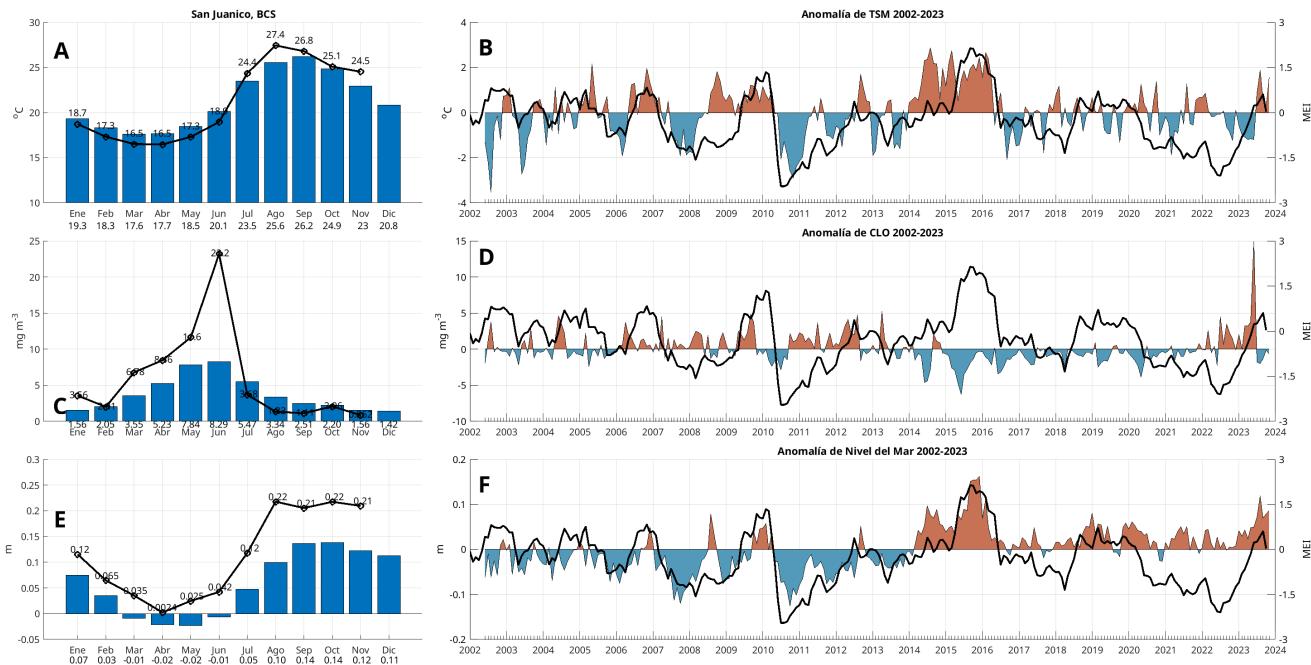
#### 3.5.1. Series de tiempo

Las condiciones climatológicas y anomalías de TSM, CLO y ANM a lo largo del tiempo (2002-2023) para San Juanico se muestran en la figura 20. Los paneles A, C y E, muestran las climatologías mensuales, las líneas negras indican los valores en 2023 (hasta noviembre). Los paneles B, D y F muestran las anomalías a lo largo del tiempo, la línea negra indica los datos del MEI.

La TSM de julio a noviembre ha estado por encima de sus valores climatológicos, aunque el valor de octubre fue acercando a su valor climatológico, mientras que para noviembre la diferencia entre el registro mensual ( $24.5^{\circ}\text{C}$ ) y el valor climatológico ( $24.9^{\circ}\text{C}$ ) aumento nuevamente. Aunque la temperatura es menor que en octubre, el aumento en las anomalías positivas parece indicar la presencia de El Niño en la región del Golfo de Ulloa (figura 20 A y B).

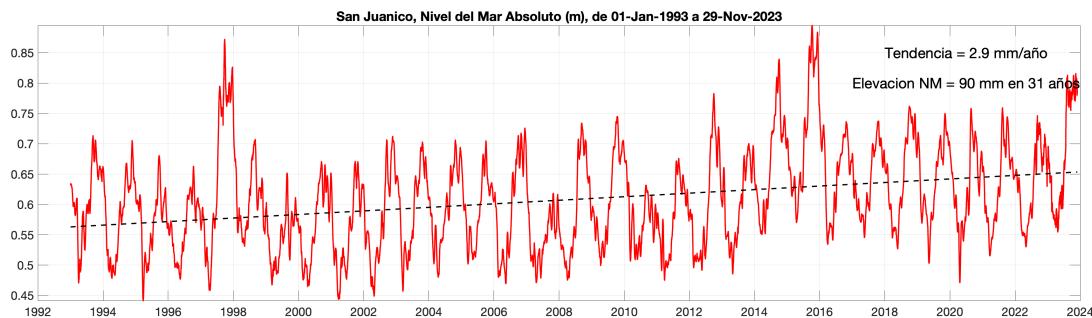
De marzo a junio, la CLO tuvo valores por encima de sus climatologías mensuales, pero desde julio y hasta octubre tuvo valores por debajo de los promedios climatológicos. En específico, en noviembre el promedio fue de  $2.06 \text{ mg m}^{-3}$ , ligeramente por debajo de su valor climatológico de  $2.20 \text{ mg m}^{-3}$  (figura 20 C y D).

Los valores de la ANM han sido positivas durante todo el año. Particularmente de julio a octubre presentan las anomalías positivas más grandes por encima de 0.05 m. En noviembre el valor registrado es de 0.22 m, muy superior a al valor climatológico de 0.14 m (figura 20 E y F).



**Figura 20:** Climatologías mensuales y anomalías interanuales de TSM, CLO y ANM durante 2023 para San Juanico. Las barras azules en los paneles A, C y E son las climatologías mensuales de cada variable. Los números en la base de las barras indican los valores de cada mes. Las líneas negras con círculos muestran los valores de enero a septiembre de 2023, sus valores se indican encima de cada círculo. Las series de tiempo de los paneles B, D y F representan las anomalías interanuales, la línea negra es el índice MEI.

La figura 21 contiene la serie de tiempo del nivel del mar absoluto (m) en San Juanico, costa pacífico norte de BCS, desde el 1 de enero de 1993 hasta noviembre de 2023. Destacan los máximos de 1997-1998, asociado al un evento del Niño, 2014 debido al Blob cálido, y 2015 debido al evento del Niño más reciente. A diferencia de Cabo Pulmo y la Bahía de La Paz en esta región no ha afectado el Niño de 2023 el nivel del mar. Aquí no alcanza valores extraordinarios como en los otros dos sitios. Esta variable contiene el incremento del nivel del mar debido al calentamiento global. En esta localidad la tendencia es de 2.9 mm/año y de 90 mm en los 30+ años de este registro. Esta es la tendencia más elevada en los 3 sitios evaluados.

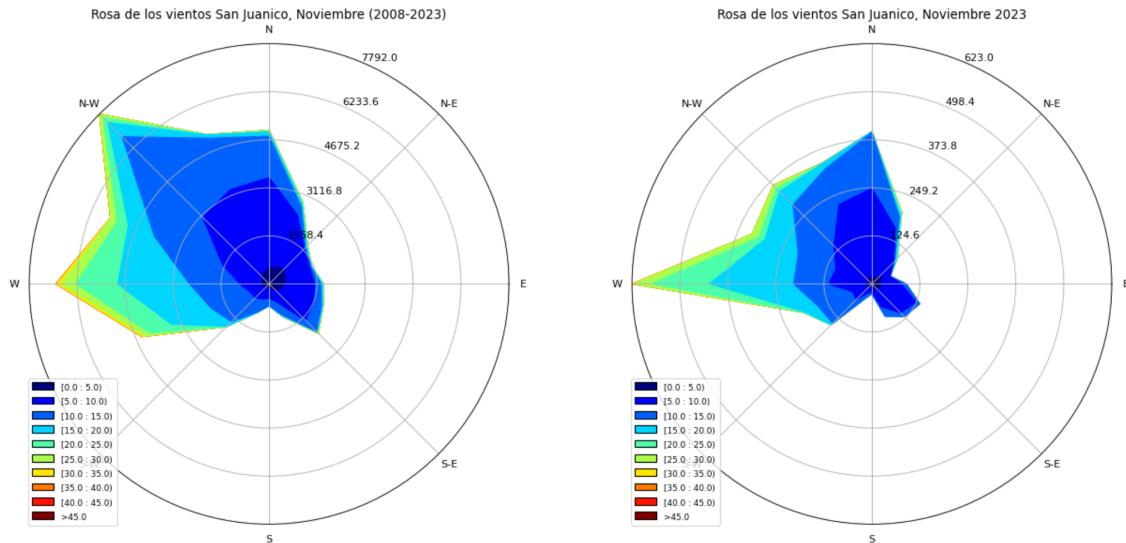


**Figura 21:** Nivel del mar absoluto (m) en San Juanico, costa pacífico norte de BCS. Inicia el 1 de enero de 1993 y termina en noviembre de 2023. Incluye el nivel del mar con referencia al Geoide. Incluye la tendencia de largo período debida a calentamiento global.

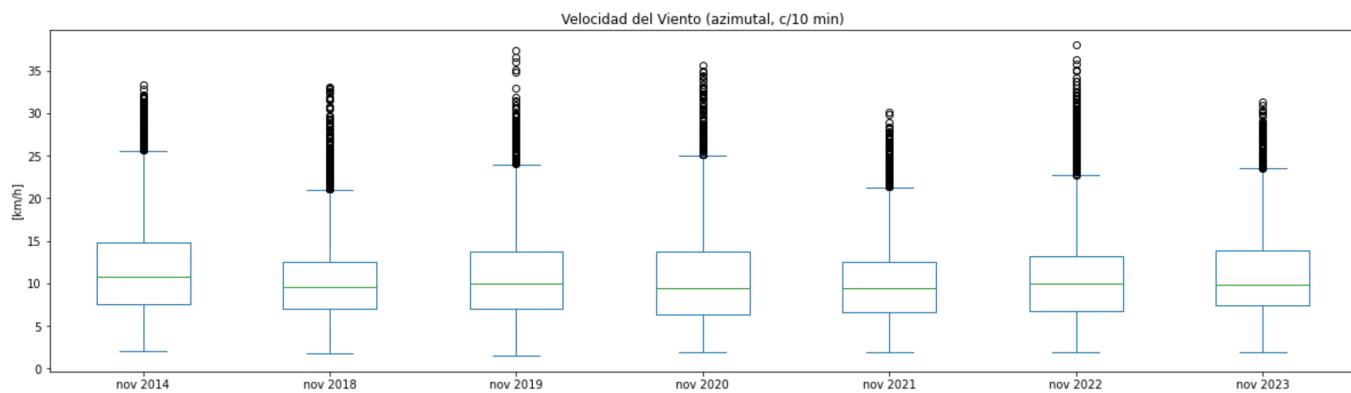
### 3.5.2. Viento (VTO) *in situ*

Las observaciones del viento *in situ* registradas durante el mes de noviembre de 2023 muestran una mayor frecuencia de los vientos provenientes del oeste (W) que aquellos vientos del noroeste (N-W), según la climatología 2008-2023 (figura 22). Esta distribución no representa la presencia de algún evento extraordinario ocurrido en la estación San Juanico durante el mes. En términos generales, el patrón de los vientos durante noviembre de 2023 queda definido dentro de la climatología (2008-2023).

Los gráficos de caja muestran que la intensidad del viento *in situ* durante noviembre en la estación San Juanico no presenta valores extremos (figura 23, *outliers*) representativos. En comparación a años anteriores, noviembre de 2023 fue un mes donde los valores atípicos en la intensidad del viento (*outliers*) no superó los 35 km/h.



**Figura 22:** Climatología vs. observaciones de la dirección e intensidad de los vientos en la estación San Juanico durante el mes de noviembre de 2023.

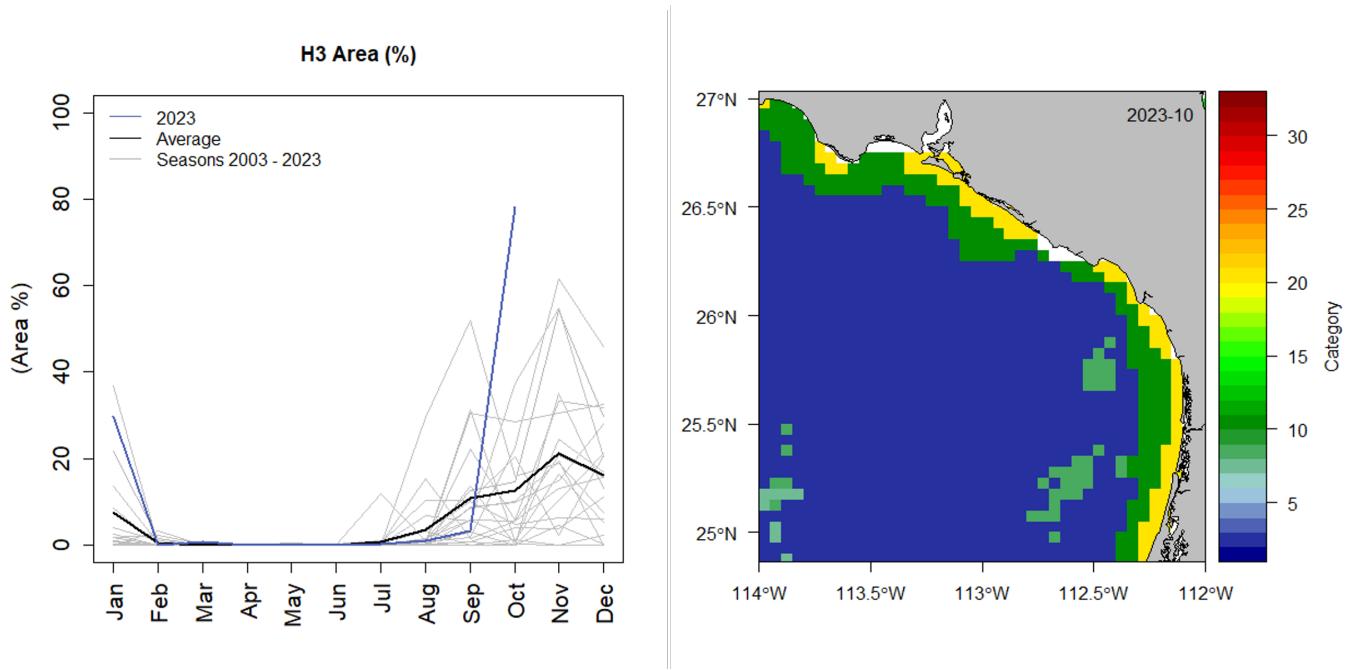


**Figura 23:** Análisis de caja de la intensidad de los vientos en la estación San Juanico durante noviembre 2023. Los bigotes superiores de cada caja nos definen el umbral donde parte de los vientos, persistentes durante el mes, fueron más intensos con respecto a la media. Los valores superiores a este umbral (círculos en negro) representan los valores de viento atípico más intenso ocurridos en el mes (*outliers*).

### 3.5.3. Paisaje Pelágico (GU)

El paisaje pelágico del Golfo de Ulloa se caracteriza por su diversidad de hábitats a lo largo del año. La categoría H17, ocupa la mayor área entre enero y abril (35-40 %); se define por una temperatura superficial de  $20.89^{\circ}\text{C}$ , salinidad de 33.59 ups y una concentración de clorofila de  $0.17 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ . Por su parte, H21 crece gradualmente de menos del 10 % hasta el 30-40 % en junio-julio. La transición de H17 a H21 conlleva un ligero incremento en temperatura ( $22.54^{\circ}\text{C}$ ), salinidad (34.46 ups) y clorofila ( $2.09 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ). En condiciones promedio, H15 se expande del 16 % en mayo-junio, al 40 % en septiembre-octubre (figura 24a).

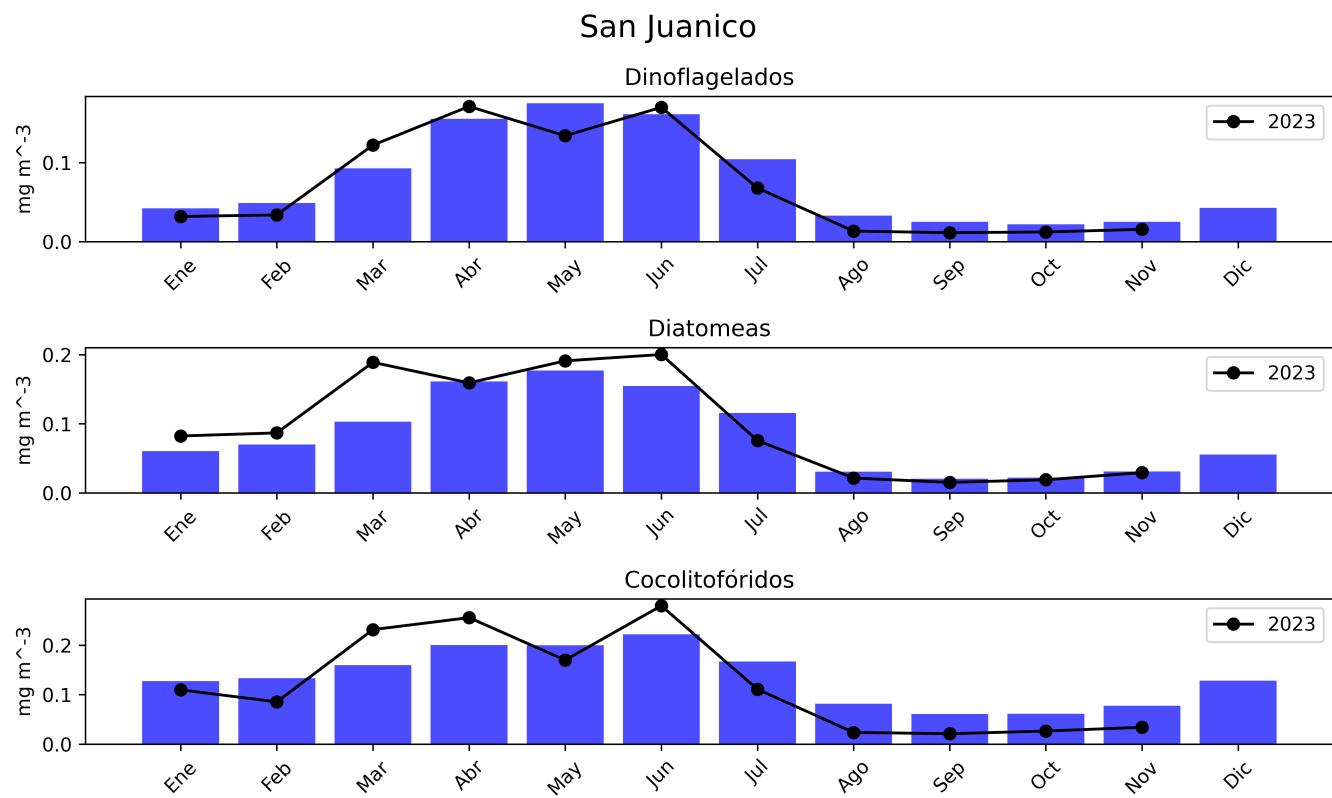
Las bajas porciones de área ocupadas por H17, entre enero y mayo de 2023, no tienen precedentes en el periodo observado (2003-2023). Esto significa una contracción del típico 35-40 % a menos del 5 % ocupado por H17 en los primeros cinco meses del año (figura 24a). Las variaciones históricas de H17 indican que en el pasado ya se han presentado otros colapsos del área cubierta por este hábitat pelágico, un tanto similares en porcentaje a los de 2006-2007, 2014-2015 y 2015-2016 cuando incluso llegó a desaparecer brevemente, aunque en ninguno de esos casos se presentó el desfase fenológico tan duradero de 2023. Aunque se observa la expansión ligera de H17 en junio de 2023, este se mantuvo por debajo de los mínimos históricos (figura 24). El conjunto de cambios observados en la primera mitad del 2023 indican que, casi todo el Golfo de Ulloa experimentó una disminución de temperatura ( $<13^{\circ}\text{C}$ ) y clorofila ( $<0.84 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ). El mapa muestra como H21 y H11 se encuentran restringidos a la costa, sugiriendo mayor concentración de clorofila ( $\sim 2.09 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ), en contraste con casi el 80 % cubierto por H3 con bajas concentraciones ( $\sim 0.15 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ; figura 24b).



**Figura 24:** Paisaje Pelágico en el Golfo de Ulloa. a) Panel izquierdo: Comportamiento estacional (2003-2023) del hábitat dominante H17 en el Golfo de Ulloa. b) Panel derecho: Distribución espacial de los hábitats pelágicos en el Golfo de Ulloa durante octubre de 2023.

### 3.5.4. Fitoplancton

Las concentraciones climatológicas de los grupos fitoplanctónicos representantes diatomeas, dinoflagelados y cocolitofóridos a lo largo del tiempo (2002-2023) se ilustran en la figura 25. Los datos diarios han sido obtenidos del CMEMS. Las barras azules reflejan las climatologías, mientras que las líneas negras representan los promedios mensuales de enero a noviembre de 2023. Estos datos revelan un ciclo estacional pronunciado en verano, abarcando desde abril hasta julio.

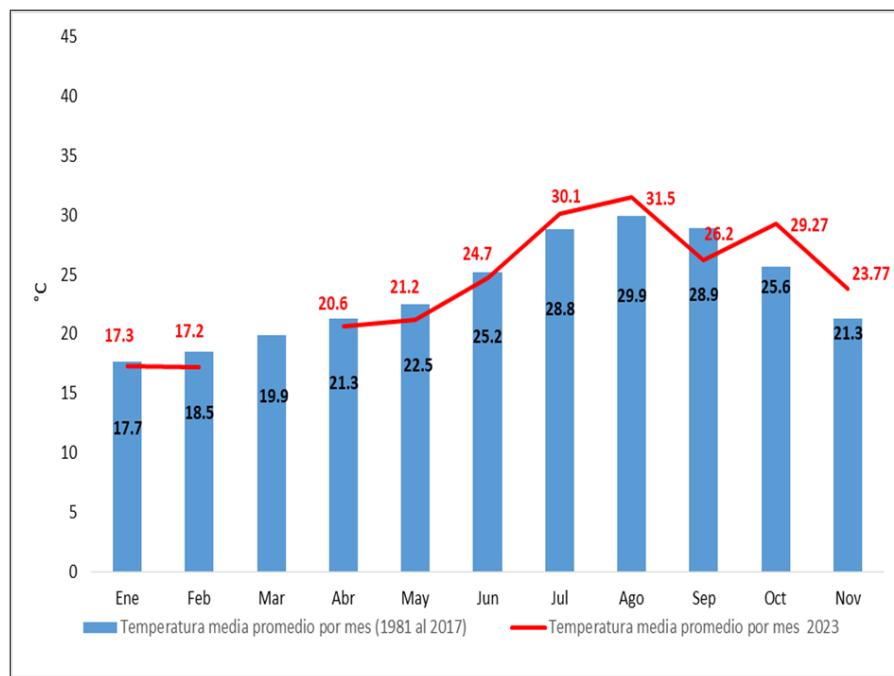


**Figura 25:** Climatologías de la concentración de grupos fitoplanctónicos expresada en CLO en el agua de mar en San Juanico.

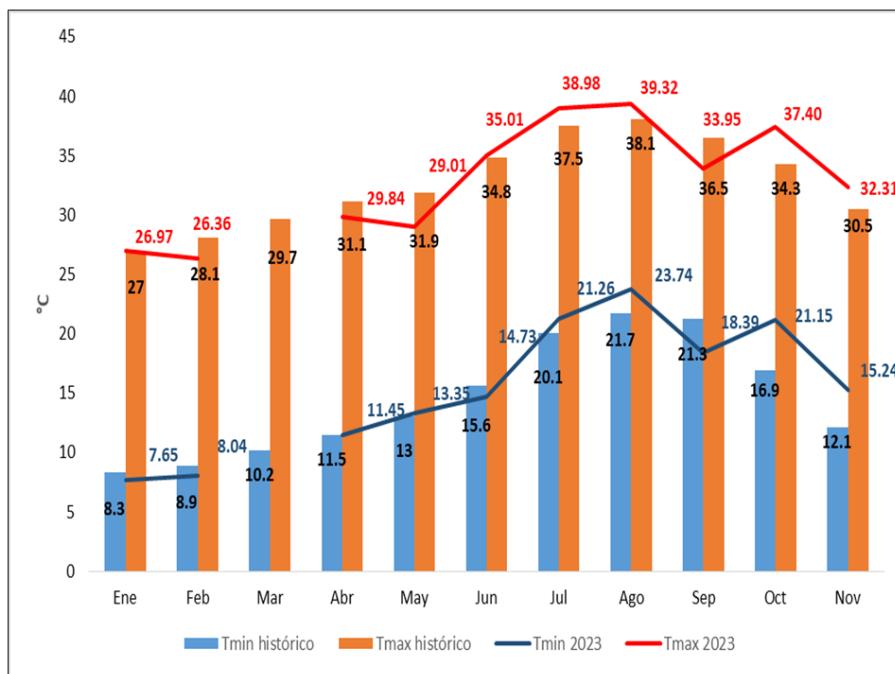
### 3.5.5. Temperatura en el Valle de Santo Domingo, área contigua, región San Juanico-Golfo de Ulloa

Con base en los datos de temperatura proporcionados por el Observatorio Meteorológico no. 3132 de la Comisión Nacional del Agua ( $25.00^{\circ}$  Latitud N,  $-111.64^{\circ}$  Longitud Oeste) localizado en el Valle de Santo Domingo en Ciudad Constitución, Comondú, México, se determinó para el mes de noviembre de 2023 una temperatura promedio de  $23.77^{\circ}\text{C}$  (figura 26), valor que se ubica por arriba del promedio histórico (datos 1981-2017) para este mismo mes. Asimismo, al comparar los promedios mensuales de las temperaturas máximas y mínimas registradas en noviembre con respecto a los promedios históricos del mes, se observaron anomalías positivas (figura 27); en el caso de la temperatura mínima la anomalía fue de  $3.14^{\circ}\text{C}$ , mientras que en la temperatura máxima el valor de la anomalía fue de  $1.81^{\circ}\text{C}$ .

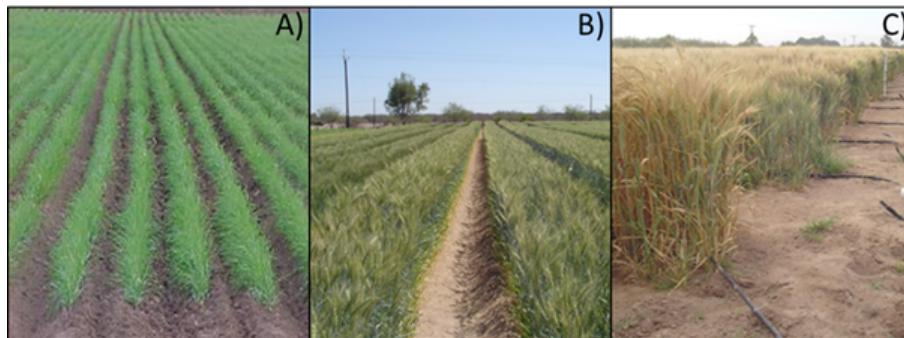
Los datos de temperatura para el mes de noviembre hogaño, refleja un descenso marcado de las temperaturas con respecto a las suscitadas en el mes de octubre de 2023. Con el descenso de las temperaturas se presenta la posibilidad de siembra de cultivos de ciclo otoño-invierno tal como el trigo harinero (*Triticum aestivum L.*; Figura 28), cuya fecha de siembra recomendada comprende del 25 de noviembre al 25 de diciembre (INIFAP, 2010). El cultivo de trigo se establece anualmente en el Valle de Santo Domingo en una superficie promedio de 3,500 ha (SIAP, 2022) bajo condiciones de riego. Este cultivo rinde en promedio  $6.1\text{ t ha}^{-1}$  y se cosechan un promedio de 21,300 t de grano al año.



**Figura 26:** Comparativo de los promedios mensuales de la temperatura media (periodo 1981-2017 vs 2023) registrados en el observatorio meteorológico no. 3132 del Servicio Meteorológico Nacional - Comisión Nacional del Agua. marzo de 2023 sin datos.



**Figura 27:** Comparativo entre los promedios de temperaturas máximas y mínimas históricas (1981-2017) con respecto a los promedios presentados en 2023. marzo de 2023 sin datos.



**Figura 28:** Desarrollo del cultivo de trigo: A) etapa de amacollamiento, B) llenado de grano, y C) próximo a madurez fisiológica.

## 4. Glosario

- **ANM.** La Anomalía del Nivel del Mar son las desviaciones de la altura del océano con respecto a una climatología de nivel del mar. Es un producto derivado de altimetría satelital y es proporcionada por el CMEMS.
- **CLO.** La CLO se refiere a la estimación de la concentración de clorofila *a* superficial del océano, determinada por sensores ópticos satelitales.
- **CMEMS.** CMEMS son las siglas en inglés del Copernicus Marine Environmental Monitoring Service de la Unión Europea. Es un servicio que se dedica a proporcionar información del medio marino.
- **EMA.** Una EMA es una Estación Meteorológica Automática que registra de forma automática los parámetros meteorológicos de temperatura del aire, humedad, presión barométrica, velocidad y dirección del viento/ráfaga, precipitación y radiación neta.
- **NMA.** El nivel del mar absoluto (NMA) es parecido a las ANM pero en este caso la referencia es el geoide terrestre. Es un producto derivado de altimetría satelital y es proporcionada por CMEMS.
- **PP.** El paisaje pelágico se puede entender como la composición dinámica de parches o hábitats pelágicos que se reconfiguran en el espacio y el tiempo en función de la hidrología, la turbulencia y la respuesta primaria de los microorganismos fotosintetizadores.
- **Tair.** Temperatura del aire registrada por una estación meteorológica Vantage Pro2 de Davis Instruments.
- **TSM.** El término TSM se refiere a la temperatura superficial del océano. Se basa en la temperatura de la capa delgada superficial hasta una profundidad entre 10–20  $\mu\text{m}$ ., calibrada para hacerla equivalente a la capa superficial del océano.
- **VTO.** Los datos de VTO se refiere a los datos de magnitud y dirección del viento registrados por una EMA.

## 5. Referencias

Cervantes-Duarte, R. Valdez-Holguin, J. E. y Reyes-Salinas. 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, vol.14, No. 1, ISSN 0188-8897. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0188-88972004000100002&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-88972004000100002&lng=es&nrm=iso).

Chin, T.M, J. Vazquez-Cuervo, and E.M. Armstrong. 2017. A multi-scale high-resolution analysis of global sea surface temperature, Remote Sensing of Environment , 200. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.07.029> ..

Garnesson, P. Mangin, A. Fanton d'Andon, O. Demaria, J. and Bretagnon, M. 2019. The CMEMS GlobColour CLOrophyll a product based on satellite observation: multi-sensor merging and flagging strategies. OS, 15, 819–830, 2019. <https://doi.org/10.5194/os-15-819-2019>.

IOCCG, 2014. Phytoplankton Functional Types from Space. Pp: 100-120 In: Sathyendranath, S. (ed.), Reports of the International Ocean-Colour Coordinating Group, No. 15, IOCCG, Dartmouth, Canada.

INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias). 2010. Guía técnica para el área de influencia del Campo Experimental Todos Santos. Campo Experimental Todos Santos-INIFAP. 254 p.

Kushnir, Y., 1994. Interdecadal variations in North Atlantic sea surface temperature and associated atmospheric conditions. J. Clim. 7 (1), 141–157, [10.1175/1520-0442\(1994\)007%3C0141:IVINAS%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1994)007%3C0141:IVINAS%3E2.0.CO;2).

Ramos-Rodríguez, A., Lluch-Cota, D.B., Lluch-Cota, S.E., Trasviña-Castro, A., 2012. Sea surface temperature anomalies, seasonal cycle and trend regimes in the Eastern Pacific coast. Ocean Sci. 8 (1), 81–90. [http://dx.doi.org/10.5194/osd-8-1215-2011](https://dx.doi.org/10.5194/osd-8-1215-2011).

SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2023. Avance de siembras y cosechas de trigo en los últimos seis años. [https://nube.siap.gob.mx/avance\\_agricola/](https://nube.siap.gob.mx/avance_agricola/).