



# Boletín Oceanográfico de BCS, Abril de 2024

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 Cortés Ramos<sup>3</sup>, Dr. José Denis Osuna Amador<sup>4</sup>, Dr(c). Cotsikayala Pacheco Ramírez<sup>5</sup>, Dr. Hugo Herrera Cervantes<sup>2</sup>, Dr. Luis Manuel Farfán Molina<sup>6</sup> y Dr. Carlos Robinson M.<sup>7</sup>

<sup>1</sup>CICESE-UT3, <sup>2</sup>Laboratorio SERVANT-CICESE-ULP, <sup>3</sup>Investigador Cátedra CONAHCYT-CICESE-ULP, <sup>4</sup>Investigador Campo Experimental Todos Santos INIFAP, <sup>5</sup>Estudiante Programa Doctorado en Ciencias de La Vida-CICESE, <sup>6</sup>CICESE-ULP, <sup>7</sup>Instituto de Ciencias del Mar y Limnología UNAM

PUBLICADO EN MAYO DE 2024, No. 9

---

## Introducción

Este boletín incluye productos gráficos elaborados por los laboratorios de manejo de imágenes 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 (BCS).

Este boletín inicia con una sección de mapas regionales que corresponde a las aguas oceánicas frente a las costas del estado de BCS (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). En estas localidades se hacen análisis de series de tiempo con datos satelitales de altimetría, clorofila superficial y temperatura superficial del mar. Se incluyen datos *in-situ* de viento colectados a partir de estaciones meteorológicas ubicadas en la zona costera de cada sitio.

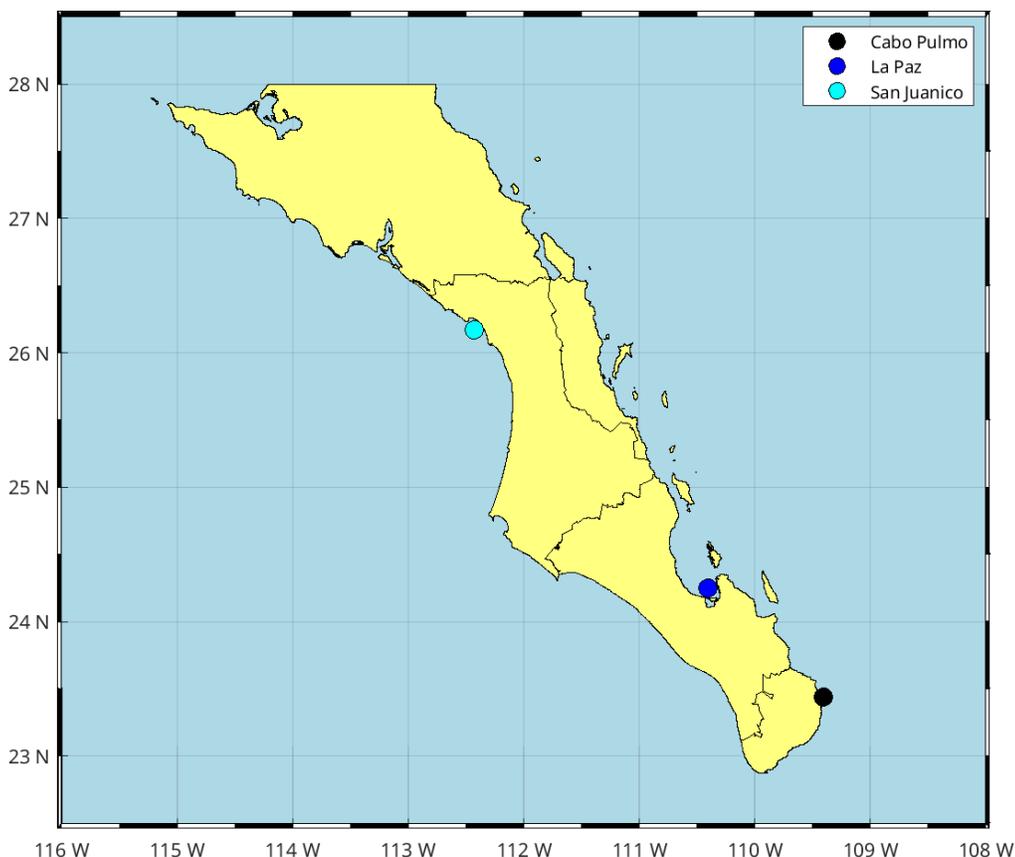
Adicionalmente, se presentan datos de temperatura del aire de los aeropuertos de BCS, datos sobre temperaturas terrestres en el [valle de Santo Domingo](#), región contigua al Golfo de Ulloa; y un análisis sobre la [temperatura del aire a 10 m sobre el nivel del mar](#) para la región del Golfo de California.

# Índice

Introducción	1
Índice	2
1. Área de estudio	3
2. Método	3
2.1. Información satelital	3
2.2. Temperatura del aire (REANÁLISIS) del Golfo de California	5
2.3. Datos in situ	6
2.3.1. Viento local	6
2.3.2. Temperatura del aire	7
2.4. Mapas de distribución mensual	7
2.5. Análisis de series de tiempo	8
2.6. Paisaje pelágico	8
2.7. Temperaturas mínimas y máximas del aire en los aeropuertos de BCS	9
3. Resultados	9
3.1. Nivel del mar Absoluto (NMA)	9
3.2. Mapas de distribución mensual	10
3.2.1. Anomalías de nivel del mar (ANM)	10
3.2.2. Clorofila superficial (CLO)	11
3.2.3. Temperatura Superficial del Mar (TSM)	12
3.3. Temperatura del aire en el Golfo de California	14
3.4. Cabo Pulmo	15
3.4.1. Series de tiempo	15
3.4.2. Viento (VTO) in situ	17
3.4.3. Paisaje Pelágico (CP)	19
3.4.4. Fitoplancton	20
3.5. Bahía de La Paz	20
3.5.1. Series de tiempo	20
3.5.2. Condiciones meteorológicas en la Bahía de La Paz. Período: Marzo - Abril, 2024.	22
Temperatura del aire (Tair)	22
Humedad Relativa (Hr)	22
Velocidad y Rachas de viento ( $m s^{-1}$ )	23
Dirección del vector viento ( $m s^{-1}$ )	23
3.5.3. Viento (VTO) in situ en la ciudad de La Paz, BCS	24
3.5.4. Paisaje Pelágico (BLP)	26
3.5.5. Fitoplancton	26
3.6. San Juanico, Golfo de Ulloa	27
3.6.1. Series de tiempo	27
3.6.2. Viento (VTO) in situ	29
3.6.3. Paisaje Pelágico (GU)	29
3.6.4. Fitoplancton	30
3.6.5. Temperatura en el Valle de Santo Domingo, área contigua, región San Juanico-Golfo de Ulloa	31
3.7. Temperaturas mínimas y máximas en los aeropuertos de BCS	33
4. Glosario	36
5. Referencias	37

# 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 informe incluyen las derivadas de satélites, modeladas e información *in situ*. A continuación, se describen:

### 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  $\sim 25 \times 25$  km.

Global Ocean Gridded L 4 Sea Surface Heights And Derived Variables Reprocessed 1993 Ongoing, DOI: (<https://doi.org/10.48670/moi-00148>).

Global Ocean Gridded L 4 Sea Surface Heights And Derived Variables Nrt DOI (<https://doi.org/10.48670/moi-00149>).

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

**Clorofila superficial (CLO).** La CLO es la clorofila<sub>a</sub> satelital y es un producto del denominado "color del océano", que abarca la longitud de onda del espectro visible, generalmente entre los 400 y 700  $\mu\text{m}$ . Corresponde a la primera profundidad óptica, donde la luz disminuye el 90 % (Cervantes-Duarte, 2004). Esta profundidad varía según la cantidad de materia suspendida en el agua y generalmente no supera los 6 metros de profundidad. La CLO es proporcionada por el Copernicus Marine Environment Monitoring Service (CMEMS) de la agencia espacial europea (ESA, por su siglas en inglés). Es un producto global libre de nubes, con una resolución temporal diaria y una resolución espacial de  $4 \times 4$  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)).

**Grupos funcionales fitoplanctónicos.** Las características espectrales permiten diferenciar entre diatomeas, dinoflagelados y cocolitofóridos, brindando información detallada sobre su distribución y abundancia. Basándose en estas capacidades, el Copernicus Marine Service (CMEMS) ha generado modelos de reanálisis validados con datos *in situ*. El producto Global Ocean Colour (Copernicus-GlobColour), Bio-Geo-Chemical, L3 a escala diaria incluye la concentración de los principales grupos funcionales del fitoplancton: diatomeas, dinoflagelados y cocolitofóridos, expresada en la CLO en el agua de mar (IOCCG, 2014)

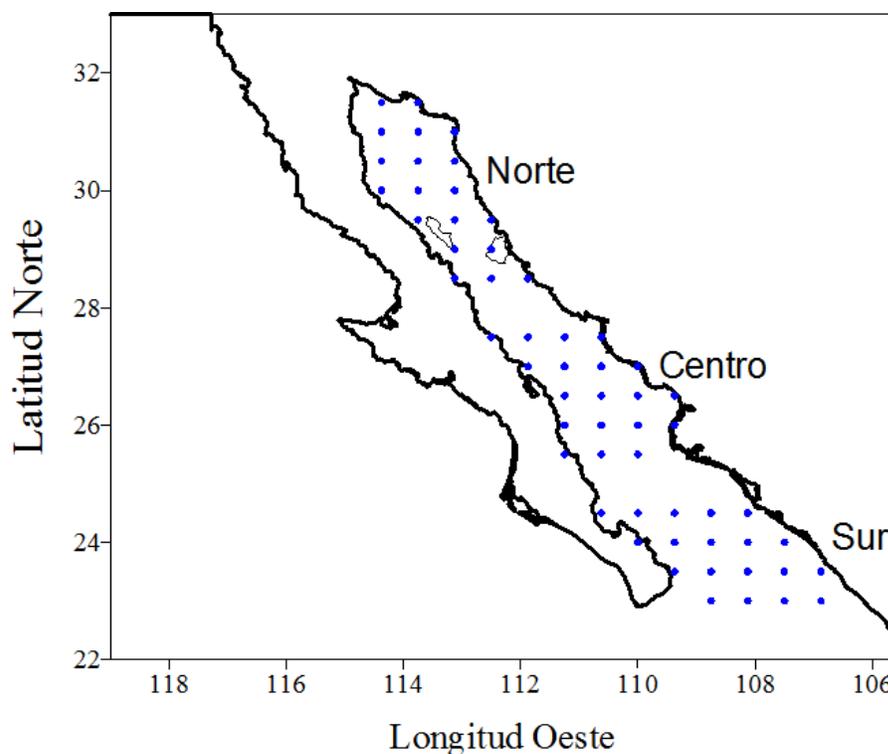
([https://data.marine.copernicus.eu/product/OCEANCOLOUR\\_GLO\\_BGC\\_L3\\_MY\\_009\\_103/services](https://data.marine.copernicus.eu/product/OCEANCOLOUR_GLO_BGC_L3_MY_009_103/services)).

**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>).

## 2.2. Temperatura del aire (REANÁLISIS) del Golfo de California

Se analiza la temperatura mensual del aire a 10 m de altura en el Golfo de California (GC) de enero de 1980 a febrero de 2024 provenientes de MERRAS-2 (The second Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications).

([http://goldsmr4.gesdisc.eosdis.nasa.gov/opensdap/MERRA2\\_MONTHLY/M2TMN\\_XSLV.5.12.4/contents.html](http://goldsmr4.gesdisc.eosdis.nasa.gov/opensdap/MERRA2_MONTHLY/M2TMN_XSLV.5.12.4/contents.html)).



**Figura 2:** Posición de las celdas en la zona norte, centro y sur provenientes de MERRAS para el cálculo de temperatura del aire a 10 m de altura.

Los datos provienen de 57 celdas con una resolución de 0.5 x 0.625 de grado localizadas a lo largo del GC. Los datos de temperatura en grados Kelvin fueron

convertidos a grados Celsius ( $^{\circ}\text{C} = ^{\circ}\text{K} - 273.15$ ). El área de estudio se dividió en tres zonas: norte  $31.5^{\circ} - 28.5^{\circ}$  (19 celdas), Centro:  $27.5^{\circ} - 25.5^{\circ}$  (19 celdas) y Sur:  $24.5^{\circ} - 23^{\circ}$  (19 celdas) (figura 2). Para cada celda se estimó la anomalía mensual de la temperatura (anomalía mensual = valor observado - promedio mensual). Posteriormente se calculó la suma parcial de las anomalías que se refiere a la acumulación de las anomalías a lo largo del período de estudio. La suma parcial proporciona una medida acumulativa de las desviaciones con respecto al promedio mensual a lo largo del tiempo. Es una técnica útil para analizar tendencias a largo plazo y entender la variabilidad acumulativa en una serie de tiempo.

## 2.3. Datos *in situ*

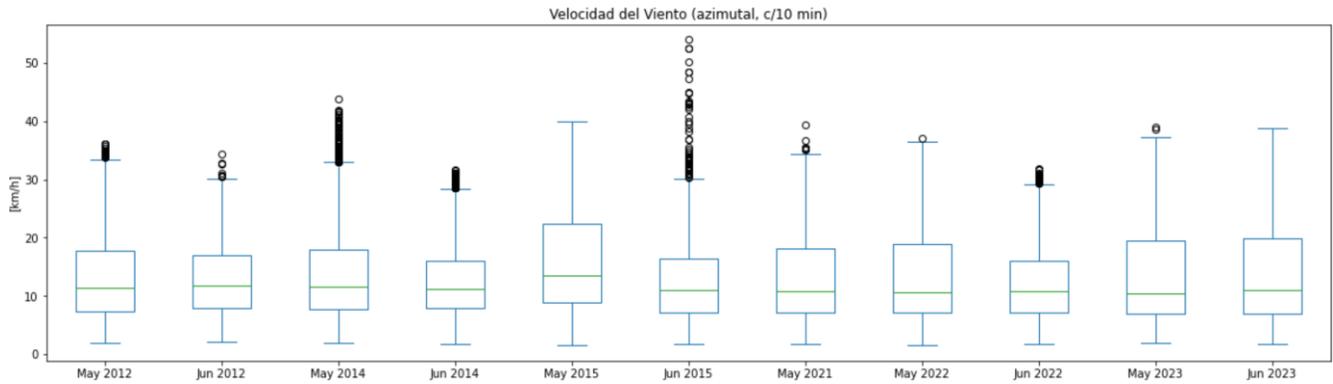
### 2.3.1. Viento local

**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 tiempo 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 3). 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 3:** Ejemplo de un gráfico de cajas para los meses de mayo y junio en años selectos 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 mayo - 9 junio) que cruzó por la estación de San Juanico.

### 2.3.2. Temperatura del aire

Adicionalmente, se hicieron estimaciones de la temperatura del aire ( $T_{air}$ ) 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/>.

## 2.4. Mapas de distribución mensual

Para la elaboración de los mapas de distribución del mes se promediaron las imágenes diarias de enero de 2024 para el área comprendida entre los  $22$  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 píxel, 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.

## 2.5. 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, en BCS. 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 estimadas de la misma forma que para los mapas de distribución.

Para explorar visualmente si existe una relación entre la CLO y la TSM se descargaron los datos mensuales para el periodo 2002-2024 del índice oceánico de El Niño (ONI, por sus siglas en inglés, [https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ONI\\_v5.php](https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php)) y se superpusieron a las series de CLO, TSM y ANM.

Adicionalmente, se analizan datos mensuales del nivel del mar absoluto (NMA), tanto en la costa occidental como en la costa del golfo de la península (de enero de 1993 a enero de 2024), esto con la idea de mostrar la tendencia de largo periodo del nivel del mar en dicha costa.

## 2.6. Paisaje pelágico

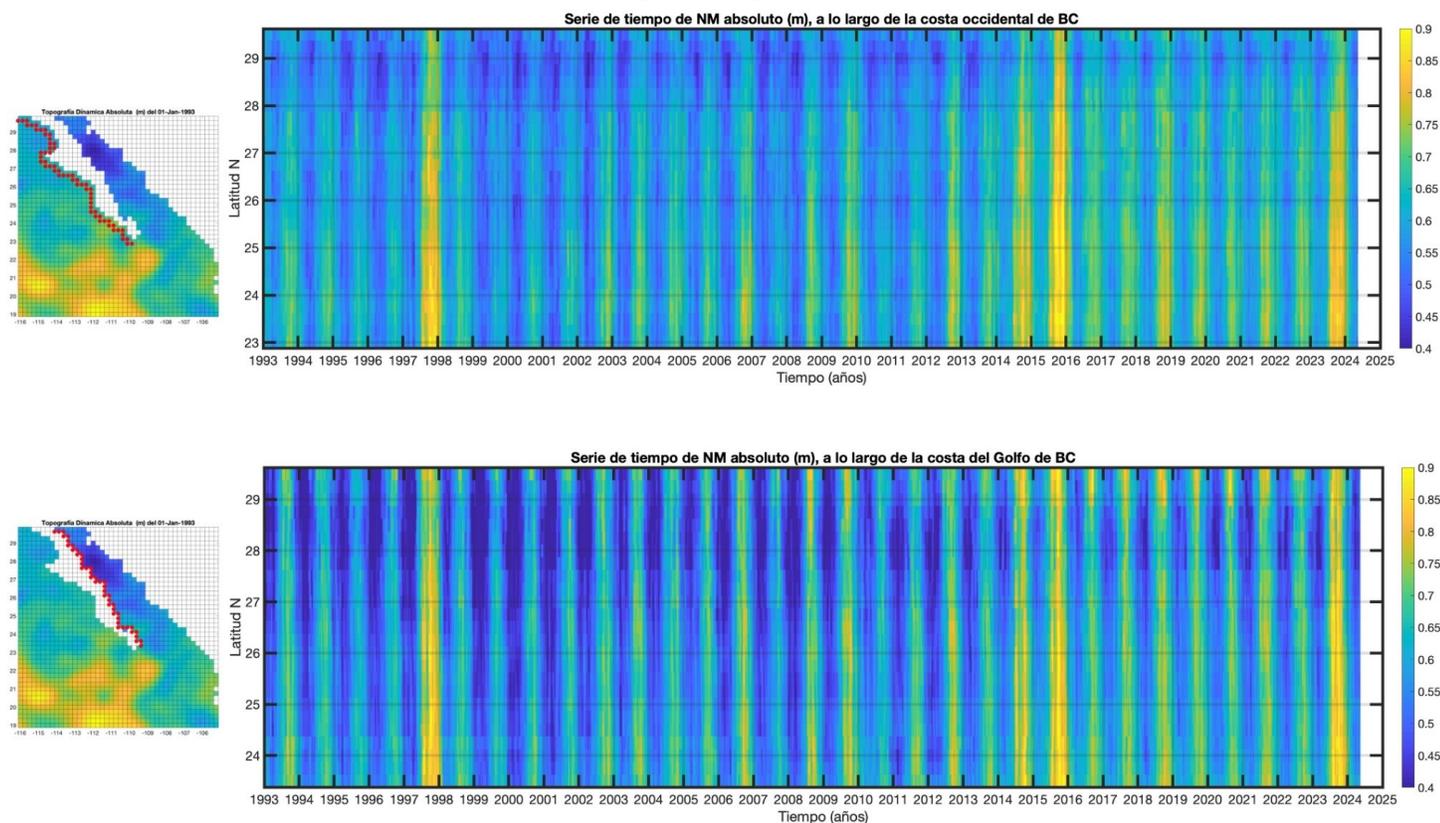
Para describir los rasgos distintivos del Paisaje Pelágico se descargaron los datos del sitio NOAA Coastwatch (<https://coastwatch.noaa.gov/cw/satellite-data-products/multi-parameter-models/seascape-pelagic-habitat-classification.html>). Una vez recortada el área de interés, se hizo un conteo de píxeles 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 hasta enero de 2024.

## 2.7. Temperaturas mínimas y máximas del aire en los aeropuertos de BCS

Con el propósito de describir las temperaturas extremas en el estado de Baja California Sur, se analizaron series de tiempo diarias con datos de la temperatura del aire y viento (magnitud y dirección) en los aeropuertos internacionales de San José del Cabo, La Paz y Loreto.

## 3. Resultados

### 3.1. Nivel del mar Absoluto (NMA)



**Figura 4:** Evolución del nivel del mar (NM absoluto) a lo largo de las dos costas de la península de BC desde enero de 1993 hasta mayo de 2024. Arriba: costa Occidental; abajo: costa del Golfo de California.

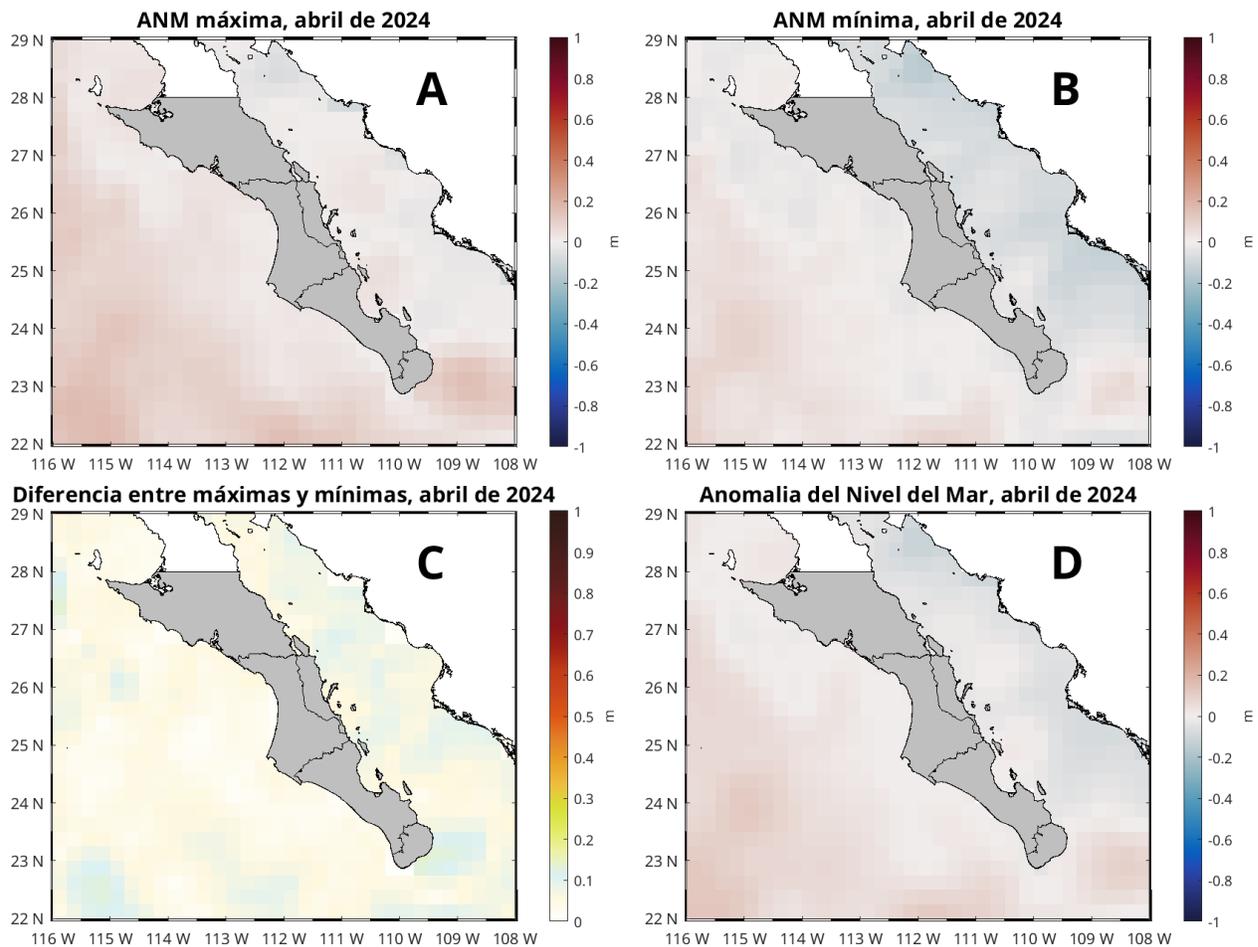
Esta sección muestra la evolución del nivel del mar absoluto (NMA) a lo largo de la costa (figura 4). El NMA incluye la tendencia de largo período. Las unidades son metros (m) y destacan los máximos que corresponden a eventos cálidos. Por ejemplo, el Niño de 1997-1998, el *Blob* cálido de 2014 y El Niño de 2015 (en amarillo). El año de 2023 muestra una elevación anómala del nivel del mar comparable con el 2015, aunque menos intensa. En la Costa Occidental de Baja California (figura 4, panel superior), el rango del nivel del mar es menor que en el interior del Golfo de California y esto se nota en tonos azules más intensos en

el panel inferior de la figura. En la costa del Golfo de California el nivel del mar para abril de 2024 muestra el descenso que ocurre cada invierno. En comparación, los eventos extremos (tonos amarillos) llegan más al norte dentro del golfo que en la costa occidental. En la costa occidental los máximos (tonos amarillos) tienden a desaparecer al norte del paralelo 28. La excepción son los años Niño (1997-1998 y 2015-2016). También, a partir de 2013 los mínimos de nivel del mar se deprimen menos en la costa occidental que en el interior del golfo (esto se visualiza como azules menos intensos de 2013 a la fecha).

## 3.2. Mapas de distribución mensual

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

Las condiciones de ANM durante el mes de abril de 2024 se muestran en la figura 5. El mapa del panel **A** muestra las anomalías máximas registradas, cuyo rango se ubicó entre -0.08 y 0.17 m. El panel **B** muestra las anomalías mínimas, cuyo rango estuvo entre -0.16 y 0.12 m. El panel **C** muestra la diferencia entre anomalías máximas y mínimas (**A** - **B**) durante este mes, el valor máximo fue de 0.2 m, ligeramente superior respecto a marzo. Esta imagen es útil en el sentido de mostrar las zonas donde se presentó el mayor rango de variación de nivel del 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 -0.11 y 0.14 m, ligeramente inferior respecto a marzo. En general, los valores de este mes indican un nivel del mar ligeramente menor (0.06 m) al de marzo. Las anomalías están muy cerca del valor promedio en toda la región, lo que indica un mes muy similar al mes climatológico.

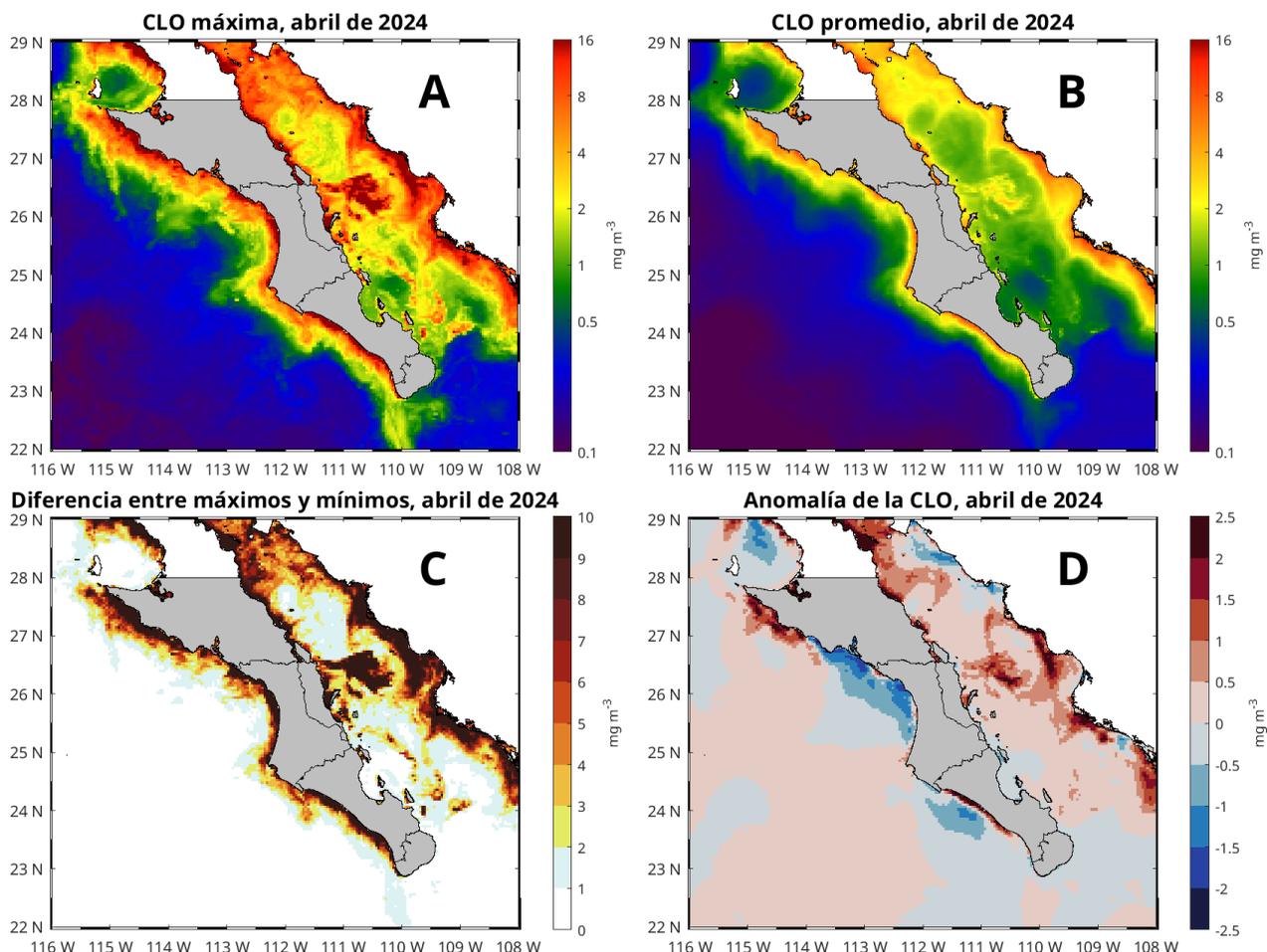


**Figura 5:** Condiciones de ANM durante el mes de abril de 2024. Panel **A**, niveles máximos, **B** niveles mínimos, **C** diferencia entre máximos y mínimos y **D** anomalía.

### 3.2.2. Clorofila superficial (CLO)

Las condiciones de CLO durante el mes de abril de 2024 se muestran en la figura 6. El mapa del panel **A** muestra las concentraciones máximas registradas, cuyo rango se ubicó entre  $0.08$  y  $59.0 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ , superior a marzo en  $6 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ . El panel **B** muestra las concentraciones promedio, cuyo rango estuvo entre  $0.06$  y  $14 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ , inferior en  $9 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$  respecto a marzo. El panel **C** muestra la diferencia entre concentraciones máximas y mínimas (imagen no mostrada) durante este mes, cuyo valor máximo es de  $58 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ , lo que representa un aumento de  $8.6 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$  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 -

8.7 y 7.69  $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ , rango inferior en 6  $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$  respecto a marzo. En general, toda la región costera tuvo valores, considerados altos, sobre todo en los valores máximos. Las aguas del golfo fueron particularmente productivas durante abril, con pocas regiones con valores cercanos a 0  $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ . En vista de que hubo valores máximos casi cercanos a los 60  $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ , la imagen de diferencia (**C**) presenta valores fuera de la escala. Aun así, hay regiones con anomalías negativas, principalmente en la región de la plataforma continental del Golfo de Ulloa y al sur de Todos Santos.

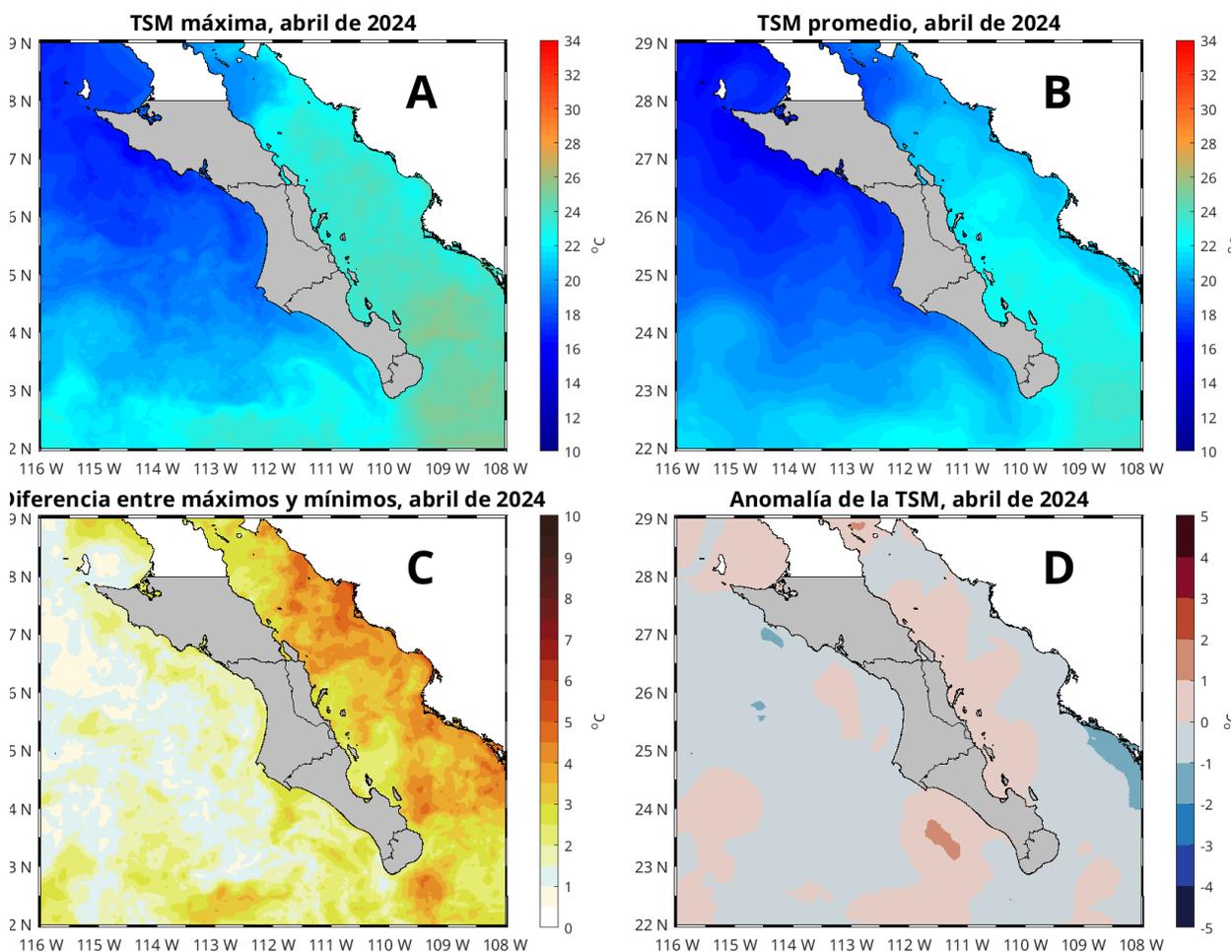


**Figura 6:** Concentraciones de CLO durante el mes de abril de 2024. Panel **A**, máximas, **B** promedio, **C** diferencia entre concentraciones máximas y mínimas y **D** anomalía.

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

Las condiciones de TSM durante el mes de abril de 2024 se muestran en la figura 7. El mapa del panel **A** muestra las temperaturas máximas registradas, cuyo rango se ubicó entre 16.1 y 25.5 °C, superior en 0.8 °C en comparación a marzo. El panel **B** muestra el promedio de temperatura, cuyo rango estuvo entre 15.3 y 23.7 °C, 0.3 °C mayor que en marzo. El panel **C** muestra la diferencia

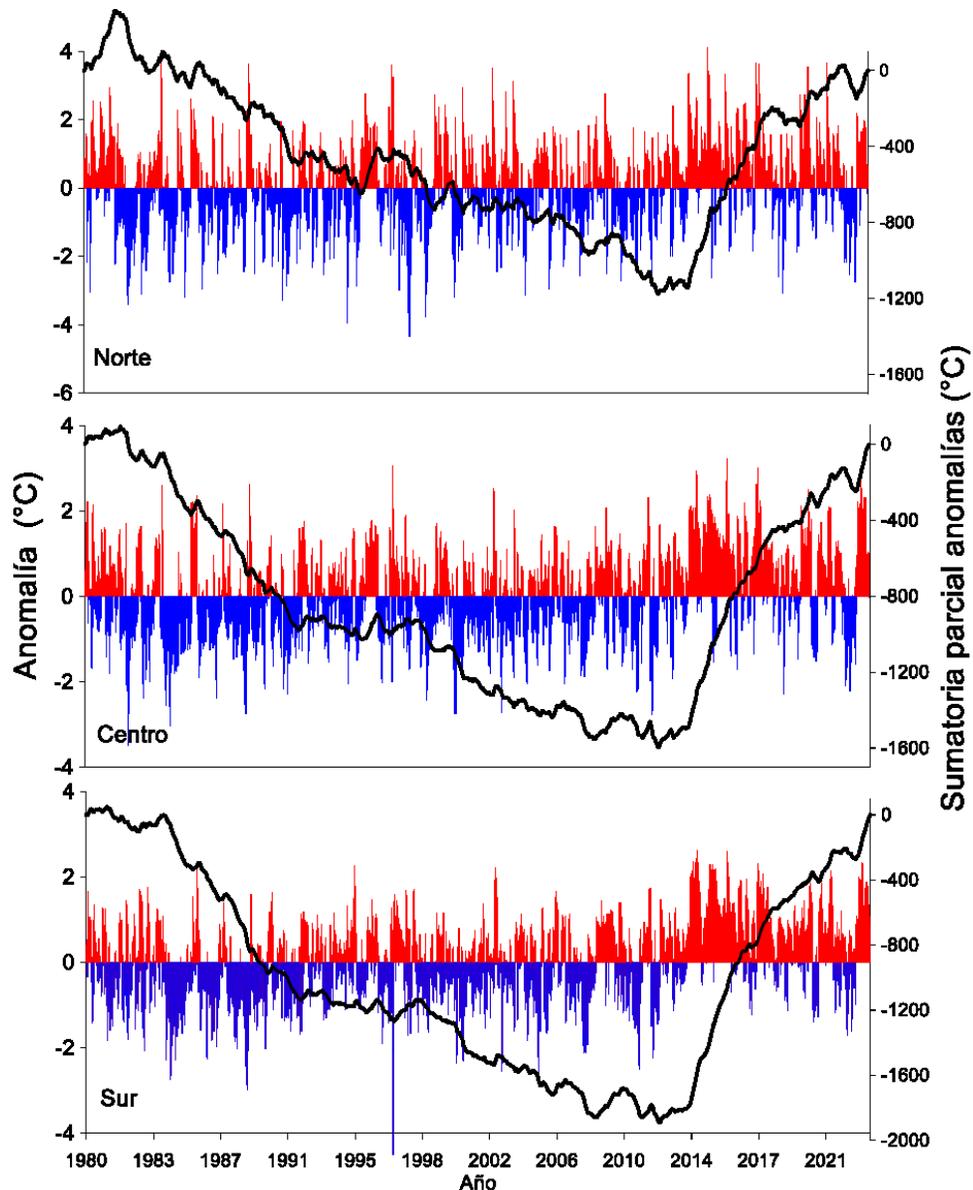
entre máximos y mínimos (imagen no mostrada) durante este mes, cuyo valor más alto fue de 2.8 °C, prácticamente dos grados más que el mes anterior. Esta imagen es útil en el sentido de mostrar las zonas donde hubo las mayores variaciones de la TSM a lo largo del mes. El panel **D** muestra las anomalías 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 -1.4 y 1.2 °C, con anomalías ligeramente inferiores al mes anterior. En términos generales, abril fue un mes ligeramente más frío que marzo en aproximadamente medio grado centígrado. Aunque las anomalías fueron  $\pm 1$  °C, prácticamente en toda la región, positivas.



**Figura 7:** Condiciones de TSM durante el mes de abril de 2024. Panel **A**, máximos, **B** promedio, **C** diferencia entre máximos y mínimos, **D** anomalía.

### 3.3. Temperatura del aire en el Golfo de California

Los resultados de las anomalías por celda y área, así como la suma parcial de las anomalías se presentan en la Figura 8.



**Figura 8:** Anomalías mensuales de temperatura a 10 m en grados Centígrados (barras) y sumatoria parcial de las anomalías (línea continua) en las zonas norte, centro y sur del Golfo de California.

Los resultados muestran que a partir de 1982 existió una tendencia negativa de la sumatoria parcial de anomalías en las tres zonas que indica la predominancia de anomalías negativas en la serie. Esta tendencia negativa tuvo un mínimo acumulado en las tres zonas en abril de 2012. Para la zona norte, después del mínimo, existió una tendencia casi horizontal de la serie hasta diciembre de 2013, cuando empieza una tendencia casi continua y positiva. La serie tuvo un periodo de estabilidad horizontal de agosto de 2018 a mayo de

2020 y posteriormente una disminución de julio de 2022 a julio de 2023. Sin embargo, la serie termina con una tendencia positiva fuerte hasta febrero de 2024.

Para la zona centro el periodo de tendencia horizontal después del mínimo se observó hasta octubre de 2013, y desde entonces la tendencia de la suma parcial ha sido casi positiva con una disminución por la presencia de anomalías negativas de septiembre de 2022 a junio de 2023 y posteriormente una tendencia positiva fuerte hasta febrero de 2024.

Para la zona sur el comportamiento es muy similar a la zona centro, con una tendencia casi horizontal después del mínimo que termina en diciembre de 2013 y una continua tendencia positiva también interrumpida por anomalías negativas en el mismo periodo que la zona centro, reiniciando con una fuerte tendencia positiva hasta febrero de 2024.

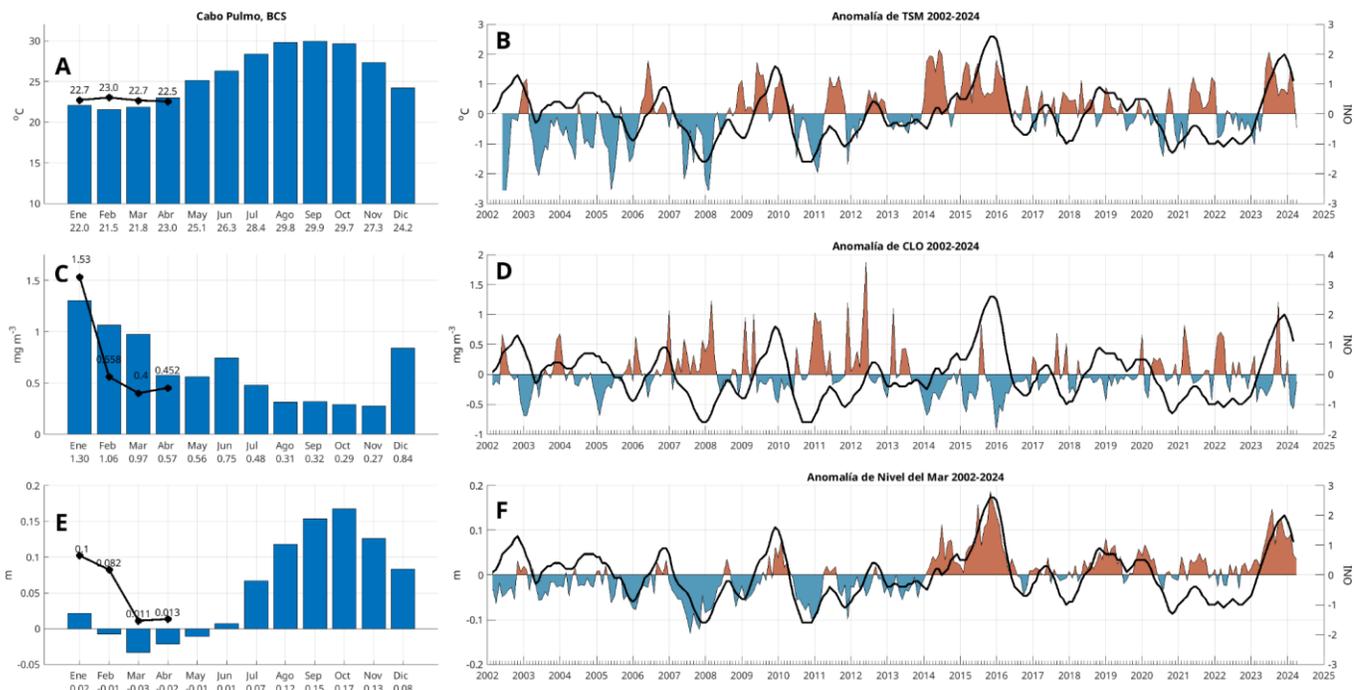
Considerando solo los datos de enero de 2014 a febrero de 2024, para la zona norte se han observado 1666 celdas con anomalías positivas y 774 celdas con anomalías negativas (media 0.84 °C y -0.50 °C). Para la zona centro en el mismo periodo se han observado 1880 celdas con anomalías positivas y 560 celdas con anomalías negativas (media 0.88 °C y -0.47 °C). Para la zona sur en el mismo periodo se han observado 2185 celdas con anomalías positivas y 499 celdas con anomalías negativas (median 0.85 °C y -0.36 °C).

En resumen, los datos indican que el Golfo de California se encuentra en un periodo de calentamiento que empezó en 2014 y continúa hasta febrero de 2024.

### **3.4. Cabo Pulmo**

#### **3.4.1. Series de tiempo**

Las condiciones climatológicas y anomalías de TSM, CLO y ANM a lo largo del tiempo (2002- 2024) para Cabo Pulmo se muestran en la figura 9. Los paneles **A**, **C** y **E**, muestran las climatologías mensuales, las líneas negras indican los valores en 2024 (hasta abril). Los paneles **B**, **D** y **F** muestran las anomalías a lo largo del tiempo, la línea negra indica los datos del ONI (Índice oceánico de El Niño).



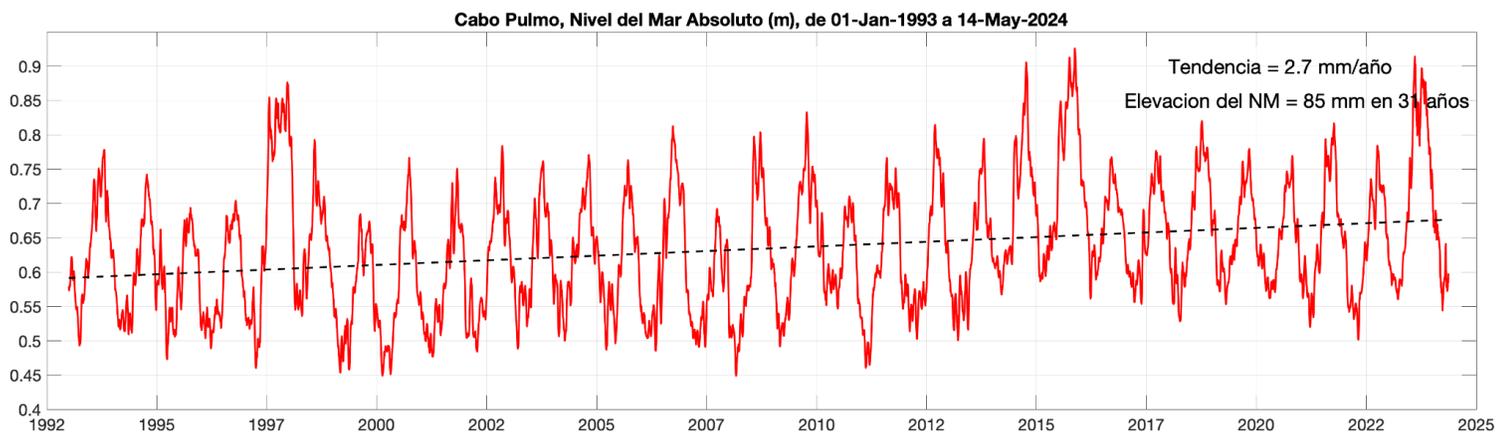
**Figura 9:** Climatologías mensuales y anomalías interanuales de TSM, CLO y ANM durante abril de 2024 para Cabo Pulmo. Las barras azules en los paneles **A**, **C** y **E** son las climatologías mensuales de cada variable. Los números en la base de las barras indican los valores de cada mes. Los círculos negros y el valor numérico indican los valores mensuales de 2024 hasta abril. Las series de tiempo de los paneles **B**, **D** y **F** representan las anomalías interanuales, la línea negra es el índice ONI.

La TSM tuvo en abril de 2024 un valor promedio de 22.5 °C, inferior en 0.5 °C en comparación con su valor climatológico de 23.0 °C, menor en 0.2 °C respecto a marzo. El valor mensual más reciente del ONI es el de marzo, con un valor de +1.1, lo que indica la continuidad del fenómeno de El Niño, presente desde junio de 2023, en la región (figura 9 **A** y **B**). Las anomalías positivas que iniciaron en julio de 2023 se mantuvieron hasta marzo, en abril se registró el primer valor negativo de -0.46 en 10 meses.

La CLO presentó en abril de 2024 un valor de 0.452 mg·m<sup>-3</sup>, inferior en -0.5 mg·m<sup>-3</sup> al promedio climatológico de 0.57 mg·m<sup>-3</sup> (figura 9 **C** y **D**), en comparación con marzo el valor mensual aumentó 0.05 mg·m<sup>-3</sup>, lo cual es consistente con condiciones poco favorables para el crecimiento del fitoplancton.

La ANM registró un valor de 0.013 m para abril de 2024, superior a su valor climatológico de -0.02 m (figura 9 **E** y **F**), ligeramente mayor en comparación con marzo (0.4 m). Desde octubre de 2022, las anomalías positivas han dominado la serie.

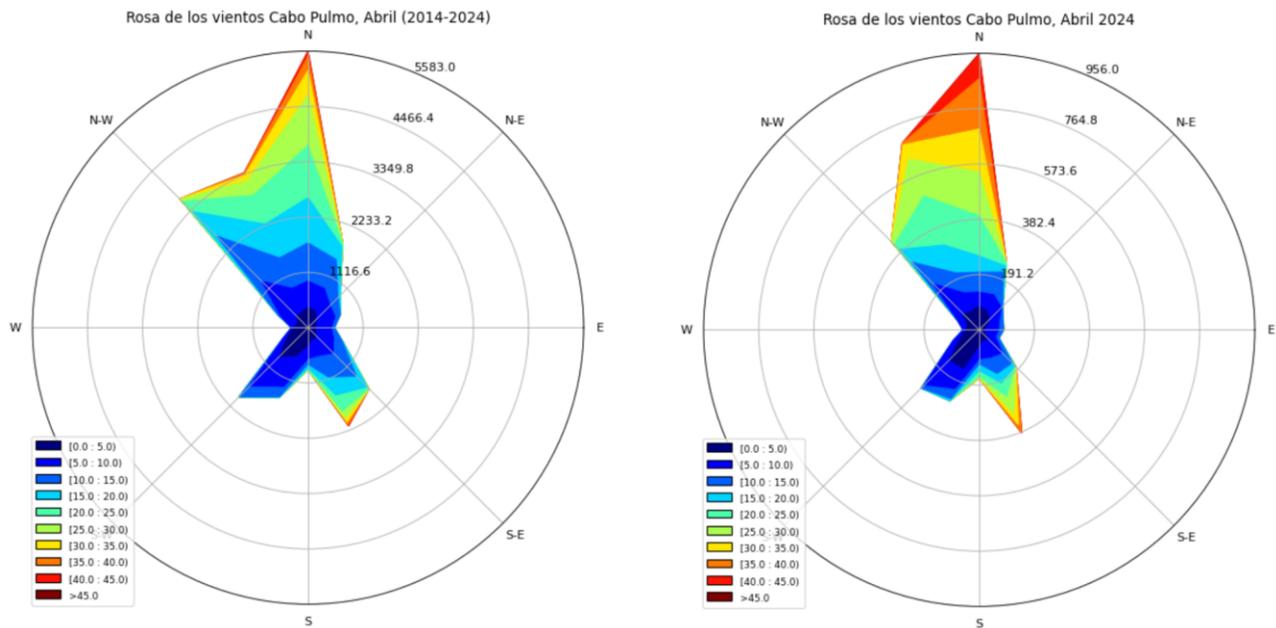
La figura 10 contiene la serie de tiempo del nivel del mar absoluto (m) en Cabo Pulmo, desde enero de 1993 hasta mayo de 2024. La variación estacional consiste en la elevación del nivel del mar en verano y el descenso en invierno. Sin embargo, destacan los máximos de 1997-1998, asociado a un evento de El Niño, el de 2014 debido al Blob cálido, y el de 2015 debido a otro evento El Niño. El año 2023 se encuentra entre los máximos del registro por 2 razones: a) el evento El Niño que calentó el Pacífico Tropical Oriental y, b) el incremento del nivel del mar por calentamiento global. Ambos fenómenos contribuyen a la elevación del nivel del mar que se reporta aquí. El incremento del nivel del mar debido al calentamiento global en esta localidad tiene una tendencia de 2.7 mm/año, para un total de 85 mm en los 31 años de registro.



**Figura 10:** Nivel del mar absoluto (m) en Cabo Pulmo, BCS. Inicia en enero de 1993 y termina en mayo de 2024. Incluye el nivel del mar con referencia al geode y la tendencia de largo período debida al calentamiento global.

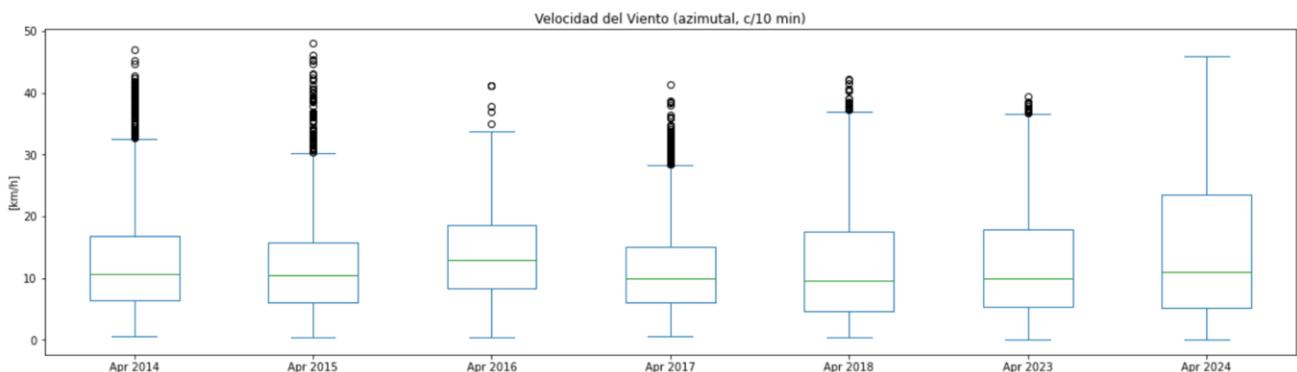
### 3.4.2. Viento (VTO) *in situ*

Durante el mes de abril de 2024 el patrón característico de los vientos, en la región de Cabo Pulmo, muestra una diferencia notable entre el patrón normal de los vientos (climatología) y lo ocurrido durante este año. La componente Noroeste-Sureste de los vientos desapareció y los vientos mayores a 35 km/h provenientes del Norte se incrementaron (figura 11). El resto de las componentes del viento se mantuvieron de acuerdo a la climatología definida por los últimos 10 años (2014-2024).



**Figura 11:** Climatología vs. observaciones de la dirección e intensidad de los vientos en la estación Cabo Pulmo durante el mes de abril de 2024.

La intensidad del viento *in situ* registrada durante el mes de abril de 2024, en Cabo Pulmo, muestra como los vientos por arriba de los 30 km/h se volvieron persistentes durante el transcurso del mes en comparación con años previos (2014–2023) donde estos valores representaban a los valores extremos de la distribución de intensidades (figura 12, *outliers*). Se aprecia cómo en abril de 2024 el rango intercuartil cubre episodios de viento intenso cercanos a los 50 km/h, valores que están por arriba de la mediana de la distribución (aprox. 10 km/h).

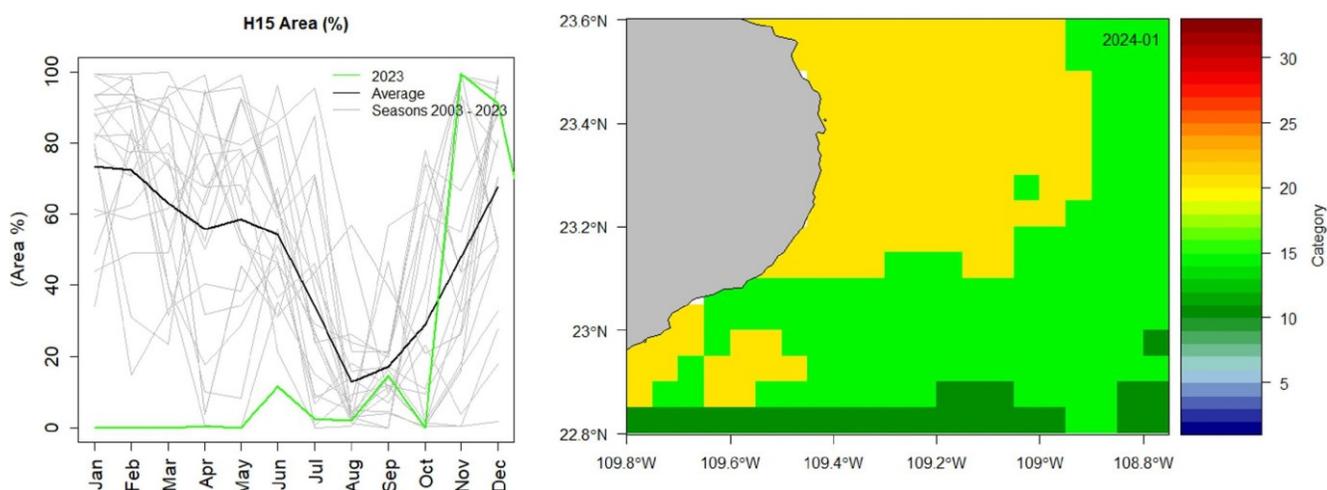


**Figura 12:** Análisis de cajas de la intensidad de los vientos en la estación Cabo Pulmo durante el mes de abril de 2024. Se puede notar que la distribución estadística de la intensidad del viento tiende a ser una distribución normal con una mediana alrededor de los 10 km/h. Los valores de viento atípico están dados en el gráfico de cajas por los *outliers* (círculos en negro).

### 3.4.3. Paisaje Pelágico (CP)

El paisaje pelágico en Cabo Pulmo y zonas adyacentes, muestran una estacionalidad bien definida (figura 13a). 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 promedio cercana a 25.35 °C, salinidad de 35.4 ups, y concentración de clorofila de 0.32 mg·m<sup>-3</sup>. 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 mg·m<sup>-3</sup> de clorofila.

Lo que se observa en el periodo enero-octubre 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. Posteriormente, entre octubre 2023 y diciembre 2023, se presentó la expansión rápida de H15, pasando de 0 % a casi el 100 %, sin embargo el cambio no fue duradero y comenzó a disminuir hacia valores promedio (figura 13a). Otros hábitats pelágicos menos dominantes también presentaron comportamientos anómalos durante 2023, H11 se extendió por encima de sus valores promedio durante los primeros 4 meses del año y de nueva cuenta en septiembre y octubre. Por su parte, H3 se expandió de manera anómala entre marzo y julio de 2023, pero regresó a sus valores promedio a partir de agosto. En el mapa de Cabo Pulmo y zona adyacente, se aprecia que H21 cubre la porción más norteña y pegada a la costa, mientras que H15 se mantiene en áreas más oceánicas hacia el sur (figura 13b).

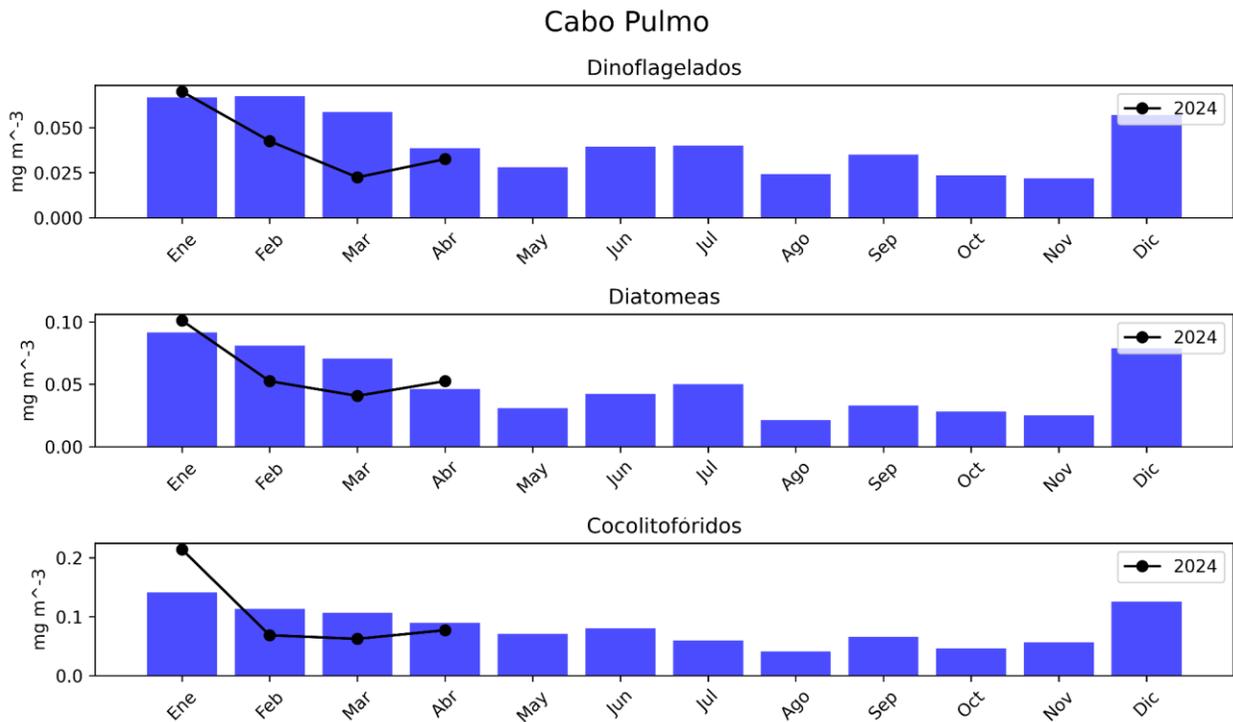


**Figura 13:** Paisaje Pelágico frente a Cabo Pulmo. a) Panel izquierdo: Comportamiento estacional del hábitat dominante H15 (2003-2023). b) Panel derecho: Distribución espacial de los hábitats pelágicos en Cabo Pulmo y zonas

adyacentes durante enero de 2024.

### 3.4.4. Fitoplancton

Las climatologías de los grupos fitoplanctónicos representativos, diatomeas, dinoflagelados y cocolitofóridos, se presentan en la figura 14. Los datos diarios han sido recopilados del Servicio de Vigilancia Marina Copernicus (CMEMS). Las barras azules indican las climatologías de enero a diciembre del periodo 2002-2023, mientras que los puntos negros muestra el promedio mensual de enero a abril de 2024. Los resultados indican que el promedio mensual de las concentraciones de diatomeas, dinoflagelados y cocolitofóridos han incrementado igualando el promedio climatológico.



**Figura 14:** Climatologías de la concentración de grupos fitoplanctónicos expresada en CLO en el agua de mar en Cabo Pulmo durante abril de 2024.

## 3.5. Bahía de La Paz

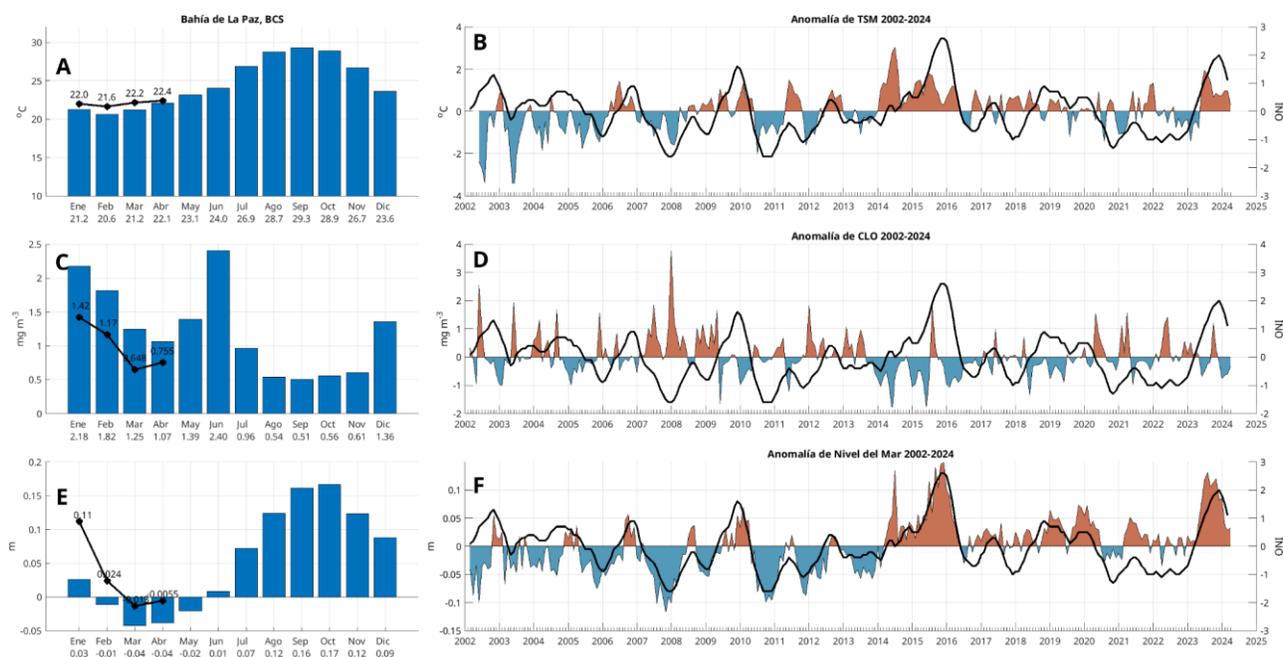
### 3.5.1. Series de tiempo

Las condiciones climatológicas y anomalías de TSM, CLO y ANM a lo largo del tiempo (2002-2024) para La Paz se muestran en la figura 15. Los paneles **A**, **C** y **E**, muestran las climatologías mensuales, las líneas negras indican los valores en 2024 (hasta abril). Los paneles **B**, **D** y **F** muestran las anomalías a lo largo del tiempo, la línea negra indica los datos del ONI.

La TSM, desde julio de 2023 ha estado por encima de sus valores climatológicos, en abril de 2024 su valor fue de 22.4 °C, +0.3 °C respecto a su valor climatológico de 22.1 °C y +0.2 °C en comparación de marzo. Este periodo, anómalamente cálido, coincide con anomalías positivas del ONI desde julio de 2023, lo que indica la presencia del fenómeno de El Niño en la región (figura 15 A y B).

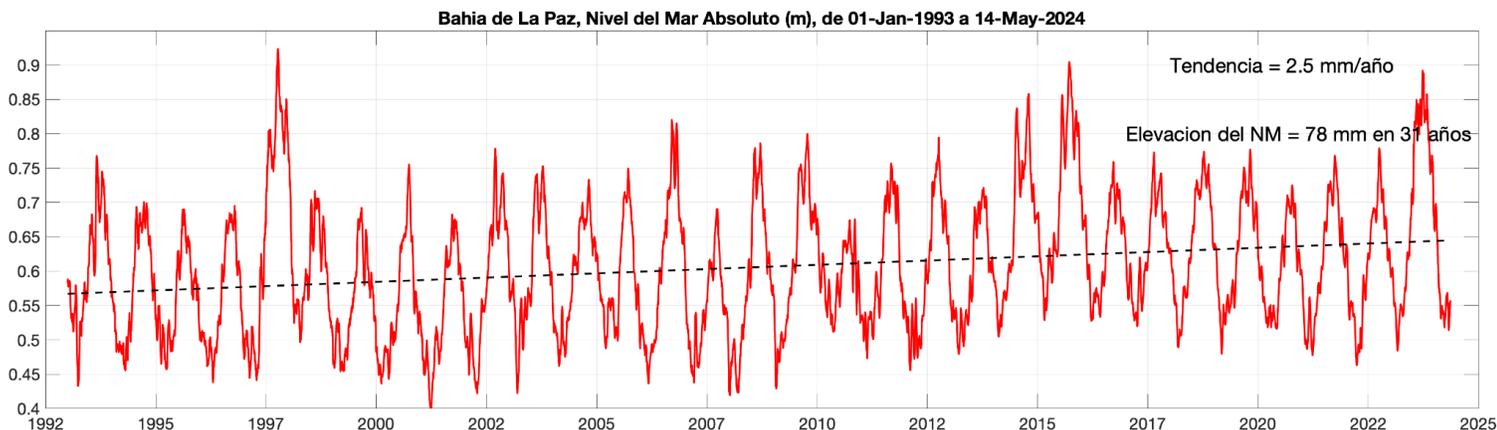
En abril de 2024 la CLO registró un valor de 0.755 mg·m<sup>-3</sup>, inferior respecto a 1.07 mg·m<sup>-3</sup> de su valor climatológico, pero mayor por 0.11 mg·m<sup>-3</sup> en comparación de marzo. Este es el quinto mes consecutivo con anomalías negativas (-0.31 mg·m<sup>-3</sup>). Al parecer, la presencia de El Niño se sigue manifestando en la región y está afectando negativamente los valores de clorofila (figura 15 C y D).

Al igual que la TSM, las ANM han sido anómalas positivamente desde 2023. En abril de 2024 el valor registrado fue de -0.005 m, por encima de su valor climatológico de -0.04 m, es decir, una anomalía mínima de +0.01 m (figura 15 E y F), lo que es coincidente con los indicios de la presencia de El Niño en la región.



**Figura 15:** Climatologías mensuales y anomalías interanuales de TSM, CLO y ANM durante abril de 2024 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. Los círculos negros y el valor numérico indican los valores mensuales de 2024 hasta abril. Las series de tiempo de los paneles B, D y F representan las anomalías interanuales, la línea negra es el índice ONI.

La figura 16 contiene la serie de tiempo del nivel del mar absoluto (m) en Bahía de la Paz, desde enero de 1993 hasta mayo de 2024. La variación estacional consiste en la elevación del nivel del mar en verano y el descenso en invierno. Sin embargo, destacan los máximos de 1997- 1998, asociado a un evento de El Niño, el de 2014 debido al Blob cálido, y el de 2015 debido a otro evento El Niño. El año 2023 se encuentra entre los máximos del registro por 2 razones: a) el evento El Niño que calentó el Pacífico Tropical Oriental y, b) el incremento del nivel del mar por calentamiento global. Ambos fenómenos contribuyen a la elevación del nivel del mar que se reporta aquí. El incremento del nivel del mar debido al calentamiento global en esta localidad tiene una tendencia de 2.5 mm/año, para un total de 78 mm en los 31 años de registro.



**Figura 16:** Nivel del mar absoluto (m) en Bahía de La Paz, BCS. Inicia en enero de 1993 y termina en mayo de 2024. Incluye el nivel del mar con referencia al Geoide. Incluye la tendencia de largo período debida al calentamiento global.

### 3.5.2. Condiciones meteorológicas en la Bahía de La Paz. Período: Marzo - Abril, 2024.

#### Temperatura del aire (Tair)

La figura 17, muestra en (A) la serie de tiempo de la temperatura del aire (Tair) registradas en la Estación La Paz cada 2 horas durante el período del 01 marzo al 04 de mayo de 2024. El incremento de la temperatura del aire superó los 30° C (valores máximos, 35.2° C) se observaron durante la última semana de abril (20 y 28 de abril), valores promedio de 22.9° y temperaturas mínimas de 13.3 ° C a principios de abril (10-12 de abril), asociados al ingreso de aire húmedo y fresco del Pacífico.

#### Humedad Relativa (Hr)

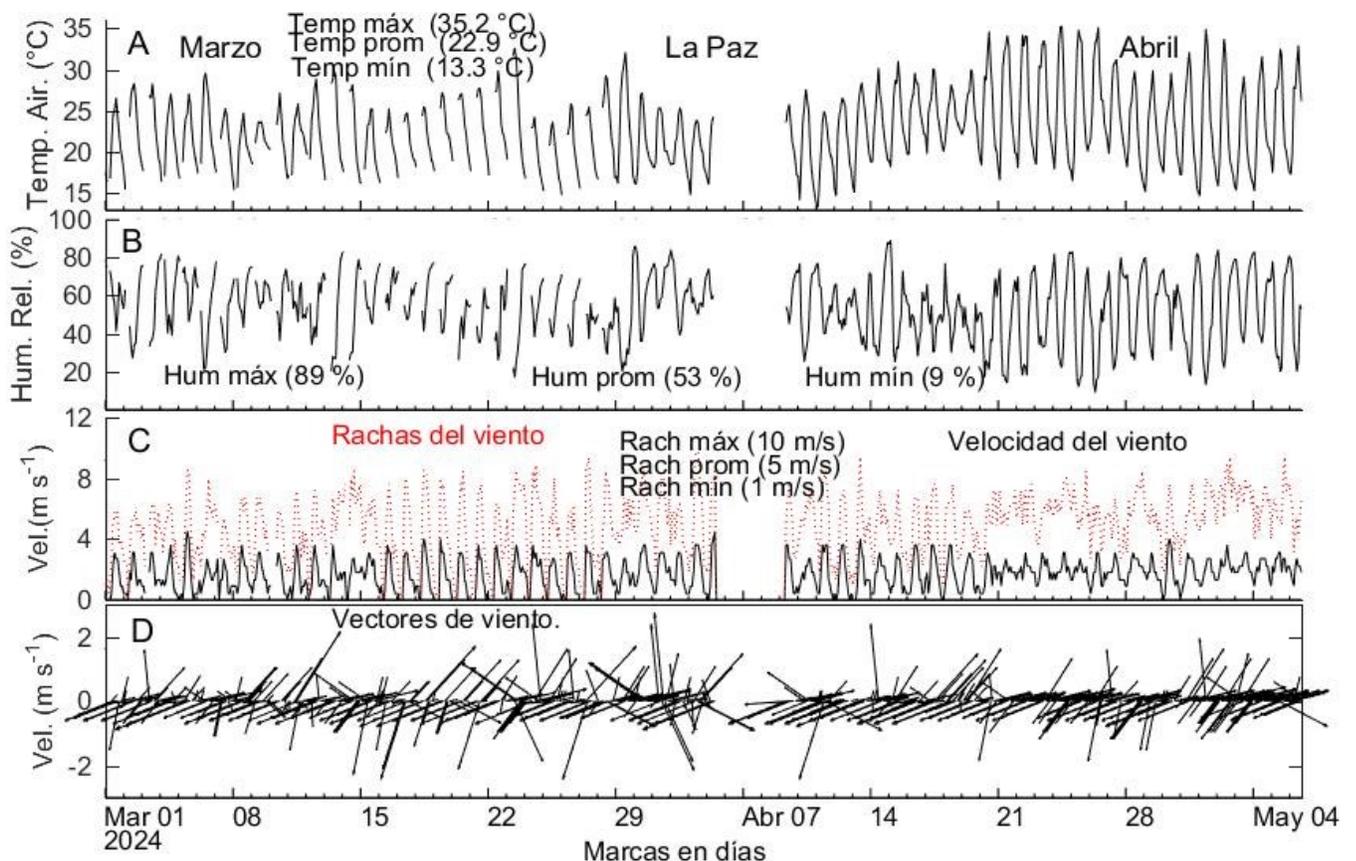
La figura 17, muestra en (B) la serie de la humedad relativa (Hr) registrada en la Estación Met. La Paz con valores máximos de 89, valores promedio de 53 y mínimos de 9 por ciento el 26 y 27 de abril, asociado a un periodo de calmas, característica observada durante la época de primavera y verano.

### Velocidad y Rachas de viento ( $m s^{-1}$ )

La figura 17, muestra en (C) los valores de velocidad (línea en negro) y rachas (línea punteada en rojo) del viento registrados en la Estación Met. La Paz, donde se muestran valores máximos de rachas de viento de  $10 m s^{-1}$  asociados a eventos débiles y moderados de rachas de viento del suroeste en marzo y abril (22 de marzo, 13 de abril) propios de la temporada de primavera. Se observan periodos constantes de eventos débiles y moderados de rachas de viento del suroeste ( $\sim 5-10 m s^{-1}$ ) asociados al ingreso de aire húmedo y fresco proveniente del Pacífico.

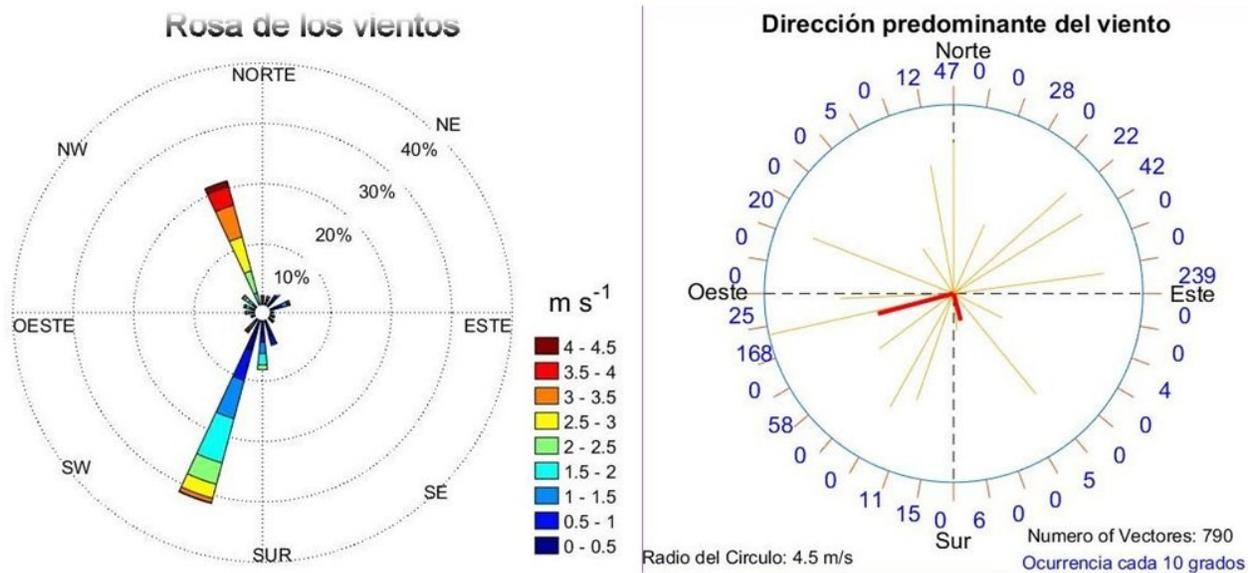
### Dirección del vector viento ( $m s^{-1}$ )

La figura 17, muestra en (D) la dirección del viento en forma de vectores registrados en la Estación Met. La Paz correspondientes al período 01 marzo al 04 de mayo de 2024. La dirección predominante del viento fue alternada entre noreste y suroeste asociada con el ingreso de aire húmedo y fresco proveniente del Pacífico, característicos de la temporada de primavera y algunos eventos de Noroeste asociado a frentes fríos.



**Figura 17:** Series de tiempo de: (A) Temperatura del aire, (B) Humedad Relativa, (C) Velocidad (en negro) y Rachas (línea punteada en rojo) del viento y (D) la dirección del vector del viento registrado en la Estación Met. La Paz, cubriendo el período del 01 marzo al 04 de mayo de 2024.

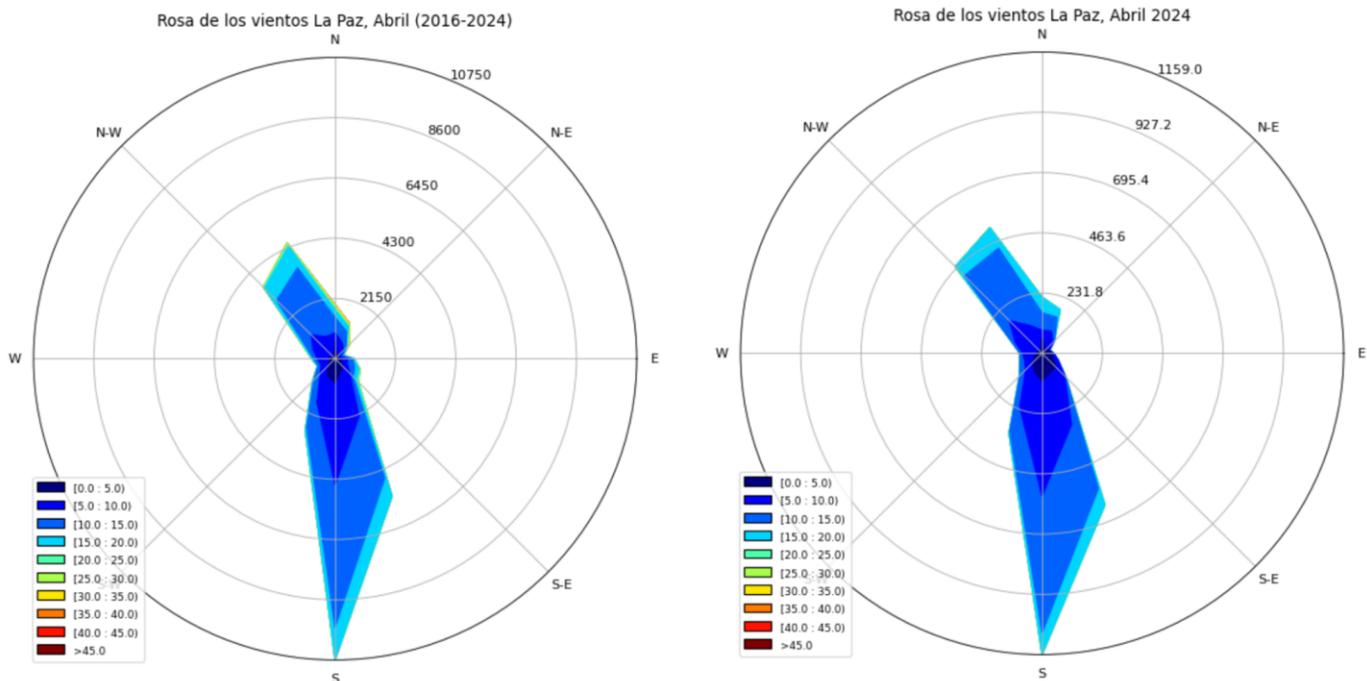
La figura 18, muestra en forma de rosas de los vientos en: (A) la dirección predominante y en (B) la frecuencia de ocurrencia en la dirección del viento (medido cada 10 grados) medido cada 2 horas en la estación La Paz durante el período del 01 marzo al 04 de mayo, 2024. La dirección predominante, fue del 3er. y 4to. cuadrante asociada al viento característico de la temporada primaveral, asociado al ingreso de aire fresco y húmedo del Pacífico (del sur y suroeste) y los últimos frentes fríos de la temporada. Los vectores en rojo (en B), indican los ejes principales de la dirección de máxima y mínima varianza en los datos de velocidad y dirección del viento promedio.



**Figura 18:** Velocidad y dirección predominante del viento mostrada en forma de: A) Rosa y (B) Vectores del viento registrado (cada 2 horas) en la Estación meteorológica ubicada en La Paz durante el período del 01 marzo al 04 de mayo de 2024. El círculo del lado derecho indica la frecuencia y el número de vectores calculados (709 registros) y su dirección predominante (cada 10 grados). Los vectores en rojo indican los ejes principales promedio de la máxima y mínima varianza del viento promedio registrado durante este período.

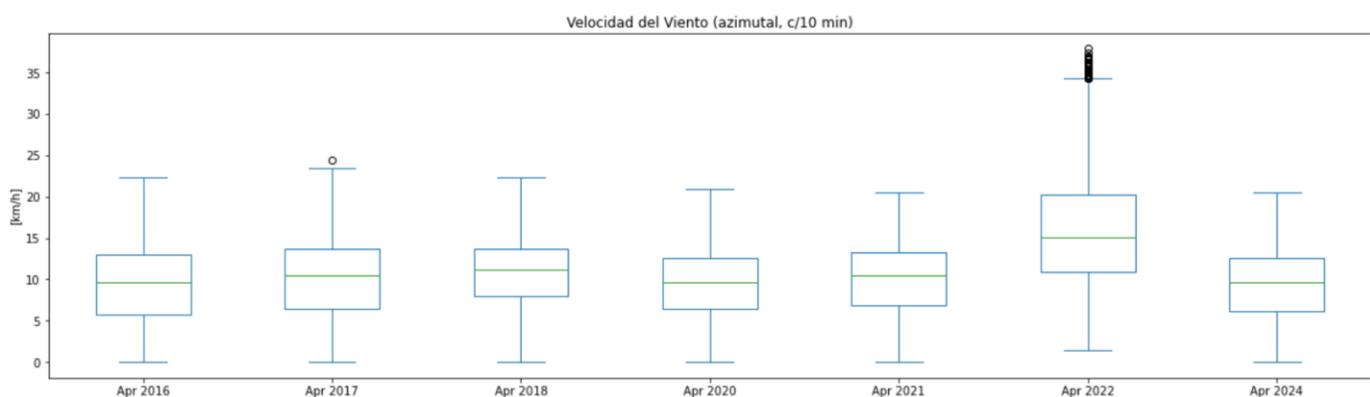
### 3.5.3. Viento (VTO) *in situ* en la ciudad de La Paz, BCS

Se observa que durante el mes de abril de 2024 el patrón característico de los vientos dentro de la ciudad de La Paz (figura 19) no cambió en comparación con su climatología correspondiente a dicho mes (patrón normal). De la figura también se destaca la baja regularidad de vientos superiores a los 20 km/h.



**Figura 19:** Climatología vs. observaciones de la dirección e intensidad de los vientos en la estación ESIME de La Paz durante abril de 2024.

La intensidad del viento registrada *in situ* en este punto de la ciudad de La Paz durante el mes de abril de 2024 no muestra eventos relevantes en comparación con aquellos ocurridos durante el mes de abril de 2022 (figura 20, *outliers*). De acuerdo con la mediana de los datos, la intensidad del viento para este mes es cercana a los 10 km/h y el 75 % de los valores apenas alcanzan los 20 km/h, patrón que es regular en lo observado en este sitio entre 2016 y 2024 (figura 20).

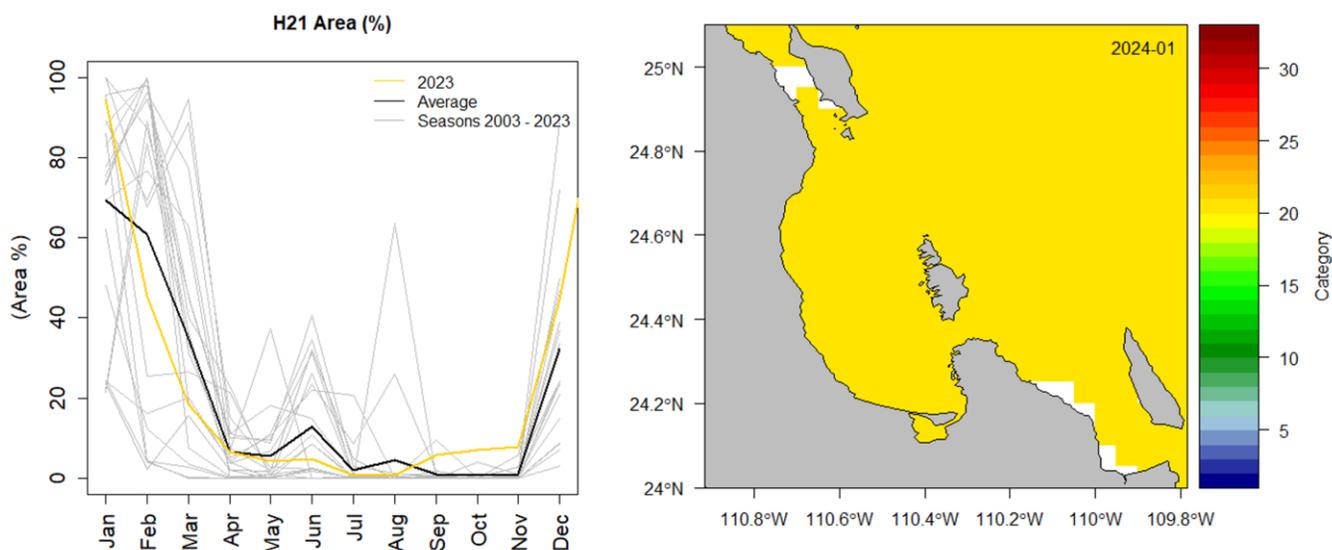


**Figura 20:** Análisis de cajas de la intensidad de los vientos en la ciudad de La Paz, BCS, durante el mes de abril de 2024. No se presentaron valores de viento atípico u *outliers* (círculos en negro).

### 3.5.4. 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 21a). La categoría H15 se conforma en torno a condiciones de temperatura superficial de 25.35 °C, salinidad de 35.4 ups, y concentración de clorofila de 0.32 mg·m<sup>-3</sup>.

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 en promedio históricamente durante el mismo mes (78 %) (figura 21). En octubre de 2023 H15 continúa colapsado, observándose un amplio predominio de H11 (>80 %), caracterizado por temperatura superficial en torno a 22.94°C, 34.79 ups y clorofila 0.27 mg·m<sup>-3</sup>. A partir de octubre se colapsaron los hábitats pelágicos H11, H15 y H3, mientras que H21 se extendió ligeramente por encima de su promedio climatológico (figura 21b).

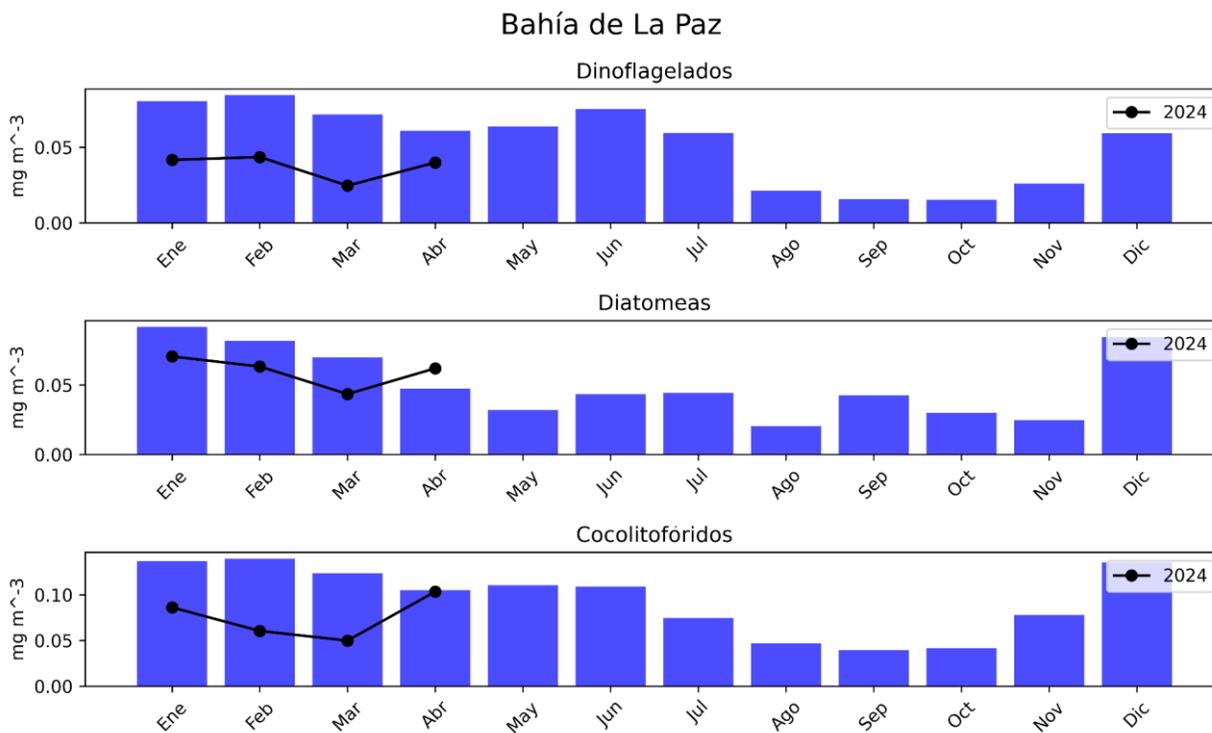


**Figura 21:** Paisaje Pelágico en la Bahía de La Paz. a) Panel izquierdo: Comportamiento estacional del hábitat dominante H15 (2003 - 2023). b) Panel derecho: Distribución espacial de los hábitats pelágicos en Bahía de La Paz y zona adyacente durante enero de 2024.

### 3.5.5. Fitoplancton

Las concentraciones climatológicas de los grupos fitoplanctónicos representativos, diatomeas, dinoflagelados y cocolitofóridos, se presentan en la figura 22. Los datos diarios han sido recopilados del Servicio de Vigilancia Marina

Copernicus (CMEMS). Las barras azules indican las climatologías de enero a diciembre del periodo 2002-2023, mientras que los puntos negros muestra el promedio mensual de enero a abril de 2024. Los resultados indican que el promedio mensual en las concentraciones de diatomeas, dinoflagelados y cocolitofóridos se incrementó, en particular para diatomeas sobrepasa el máximo del promedio climatológico .



**Figura 22:** Climatologías de la concentración de grupos fitoplanctónicos expresada en CLO en el agua de mar en Bahía de La Paz durante abril de 2024.

### 3.6. San Juanico, Golfo de Ulloa

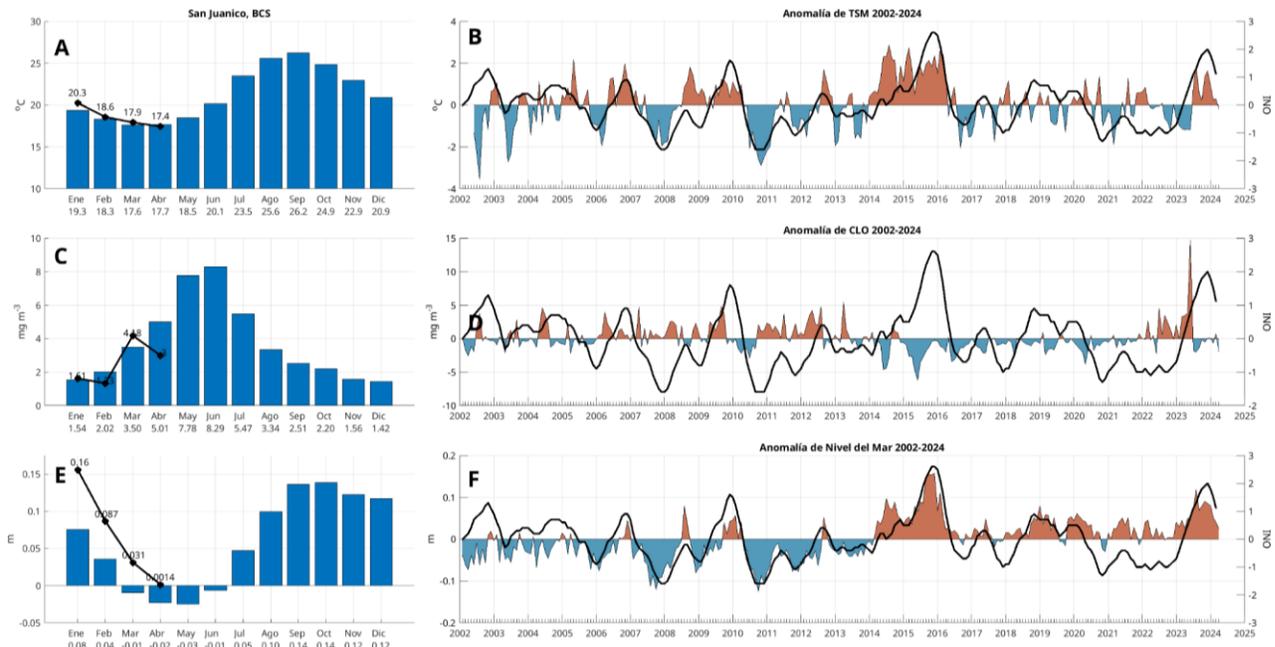
#### 3.6.1. Series de tiempo

Las condiciones climatológicas y anomalías de TSM, CLO y ANM a lo largo del tiempo (2002- 2024) para San Juanico se muestran en la figura 23. Los paneles **A**, **C** y **E**, muestran las climatologías mensuales, las líneas negras indican los valores en 2024 (hasta abril). Los paneles **B**, **D** y **F** muestran las anomalías a lo largo del tiempo, la línea negra indica los datos del ONI.

En abril de 2024 la TSM registrada fue de 17.4 °C, apenas -0.3 °C por debajo de su valor climatológico de 17.7 °C y menor que los 17.9 °C de marzo. Hasta antes de abril, las anomalías de TSM desde julio de 2023 habían estado en una fase positiva, lo que parece indicar el final de la presencia de El Niño en la región del Golfo de Ulloa, (figura 23 **A** y **B**).

El valor registrado de CLO para abril de 2024 fue de  $3.0 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ , lo que representa una anomalía negativa de  $-2.1 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$  respecto a su valor climatológico de  $5.01 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$  (figura 23 C y D). Marzo fue el primer mes de 2024 con anomalías positivas del año; sin embargo, abril vuelve a presentar una anomalía negativa. Esta es la región de muestreo más al norte de BCS, al parecer la presencia de El Niño en la región sigue teniendo algún efecto.

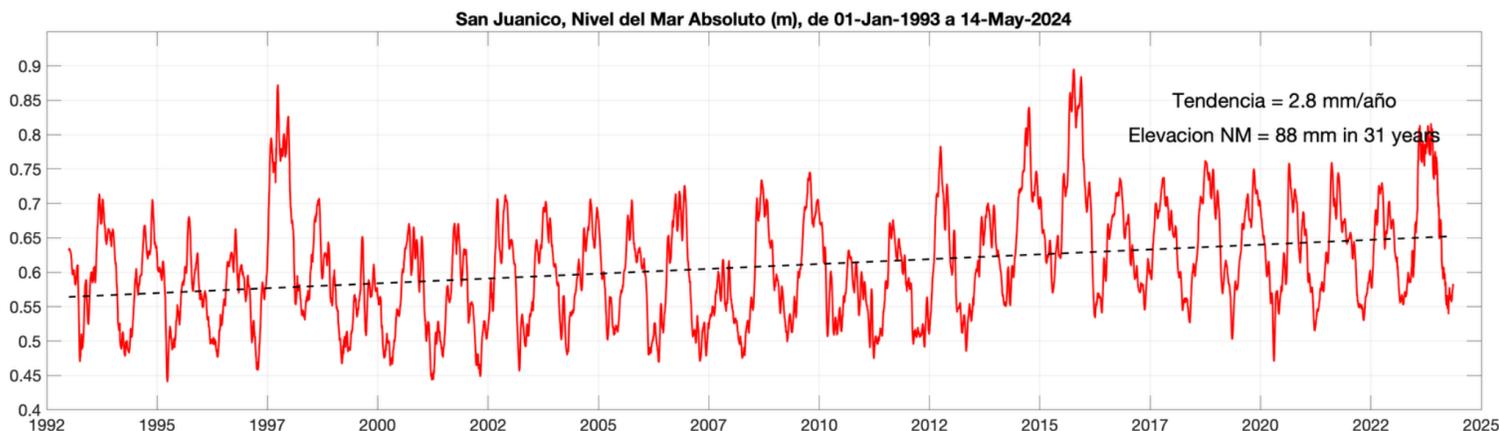
El valor de la ANM durante el mes abril de 2024 fue de  $0.001 \text{ m}$ , superior a su valor climatológico de  $-0.2 \text{ m}$ , lo que indica una anomalía positiva de  $+0.12 \text{ m}$ , pero una disminución de  $0.17 \text{ m}$  respecto a marzo. Las anomalías positivas en esta región están presentes desde inicios de 2022 (figura 23 E y F).



**Figura 23:** Climatologías mensuales y anomalías interanuales de TSM, CLO y ANM durante abril de 2024 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. Los círculos negros y el valor numérico indican los valores mensuales de 2024 hasta abril. Las series de tiempo de los paneles B, D y F representan las anomalías interanuales, la línea negra es el índice ONI.

La figura 24 contiene la serie de tiempo del nivel del mar absoluto (m) en San Juanico, en la costa del Pacífico de Baja California, desde enero de 1993 hasta mayo de 2024. La variación estacional consiste en la elevación del nivel del mar en verano y el descenso en invierno. Sin embargo, destacan los máximos de 1997-1998, asociado a un evento de El Niño, el de 2014 debido al Blob cálido, y el de 2015 debido a otro evento El Niño. En esta localidad el año 2023 no se encuentra entre los máximos del registro. Esto se debe a que el evento El Niño que calentó el Pacífico Tropical Oriental no ejerce tanta influencia en la costa

occidental de Baja California. En contraste, el incremento del nivel del mar debido al calentamiento global en esta localidad tiene una tendencia de 2.8 mm/año, para un total de 88 mm en los 31 años de registro. Esta es la tendencia más pronunciada de los 3 sitios que reportamos aquí.



**Figura 24:** Nivel del mar absoluto (m) en San Juanico, costa pacífico norte de BCS. Inicia en enero de 1993 y termina en mayo de 2024. Incluye el nivel del mar con referencia al Geoide. Incluye la tendencia de largo período debida al calentamiento global.

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

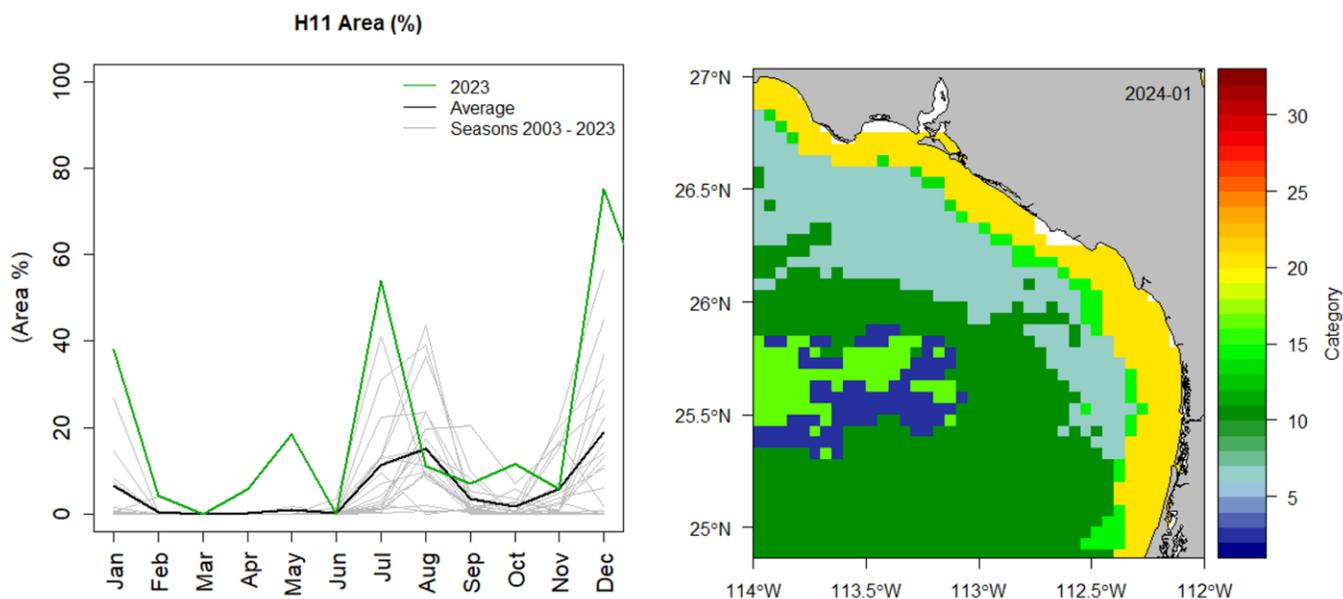
En San Juanico, las observaciones del viento *in situ* registradas durante el mes de febrero del 2024 no están disponibles en línea, por lo que no fue posible mostrar este material. Los gráficos de caja tampoco lograron calcularse dada la falta de información de los datos en el sitio web del Servicio Meteorológico Nacional.

### 3.6.3. 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 °C, salinidad de 33.59 ups y una concentración de clorofila de 0.17 mg·m<sup>-3</sup>. Por su parte, H21 crece gradualmente de menos del 10% hasta el 30-40% en junio-julio. En condiciones promedio, H15 se expande del 16% en mayo-junio, al 40% en septiembre-octubre (figura 25a).

Las bajas porciones de área ocupadas por H17, entre enero y junio de 2023, tienen poco precedente en el periodo observado (2003-2023). Esto significa una contracción del típico 35-40% a menos del 5% ocupado por H17 en los primeros

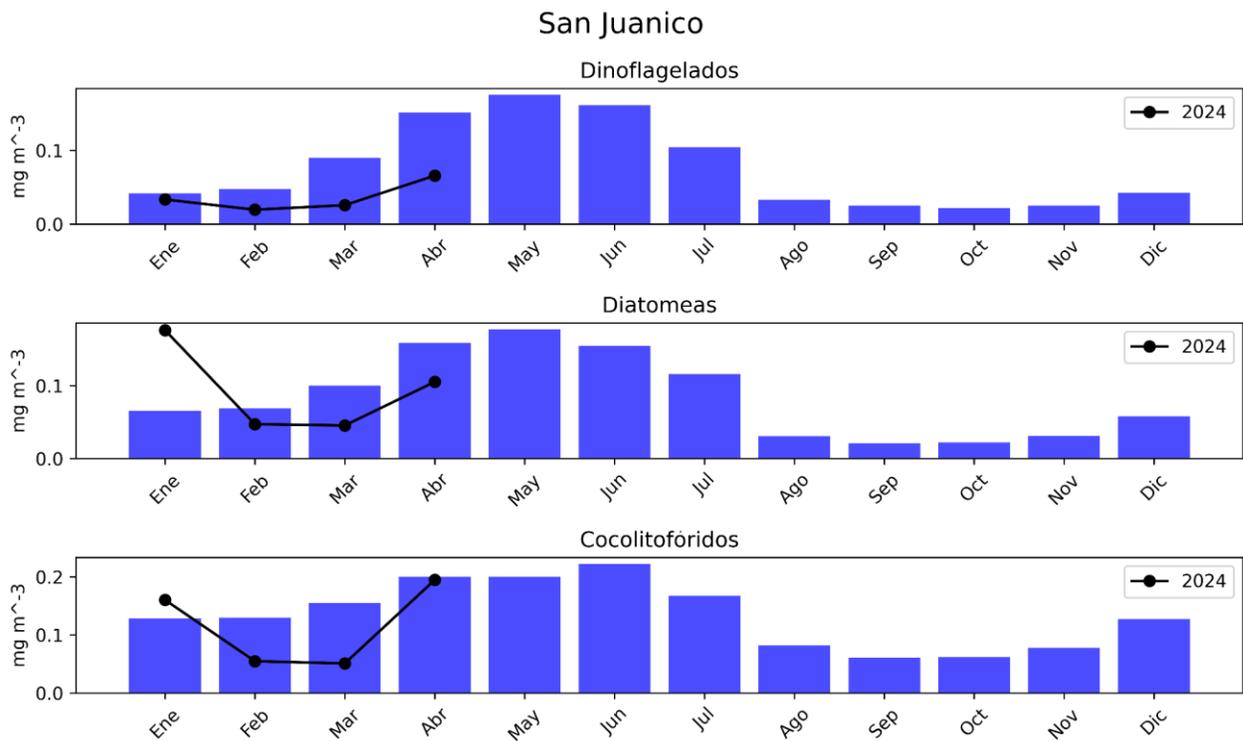
cinco meses del año (figura 25a). Las variaciones históricas de H17 indican que en el pasado ya se han presentado otros colapsos del área cubierta por este hábitat pelágico, un tanto similares en porcentaje a los de 2006-2007, 2014-2015 y 2015-2016 cuando incluso llegó a desaparecer brevemente, aunque 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 hasta finales del año (figura 25). El mapa muestra cómo H21 bordea la costa, sugiriendo mayor concentración de clorofila ( $\sim 2.09 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ), mientras H7, H11 y H3 caracterizados por concentraciones inferiores de clorofila- cubren zonas más oceánicas (figura 25b).



**Figura 25:** Paisaje Pelágico en el Golfo de Ulloa. a) Panel izquierdo: Comportamiento estacional (2003-2023) del hábitat H11 en el Golfo de Ulloa. b) Panel derecho: Distribución espacial de los hábitats pelágicos en el Golfo de Ulloa durante enero de 2024.

### 3.6.4. Fitoplancton

Las concentraciones climatológicas de los grupos fitoplanctónicos representativos, diatomeas, dinoflagelados y cocolitofóridos, se presentan en la figura 26. Los datos diarios han sido recopilados del Servicio de Vigilancia Marina Copernicus (CMEMS). Las barras azules indican las climatologías de enero a diciembre del periodo 2002-2023, mientras que los puntos negros muestra el promedio mensual de enero a abril de 2024. Los resultados indican que el promedio mensual en las concentraciones de diatomeas, dinoflagelados y cocolitofóridos se incrementó, en particular para cocolitofóridos es igual que el promedio climatológico.

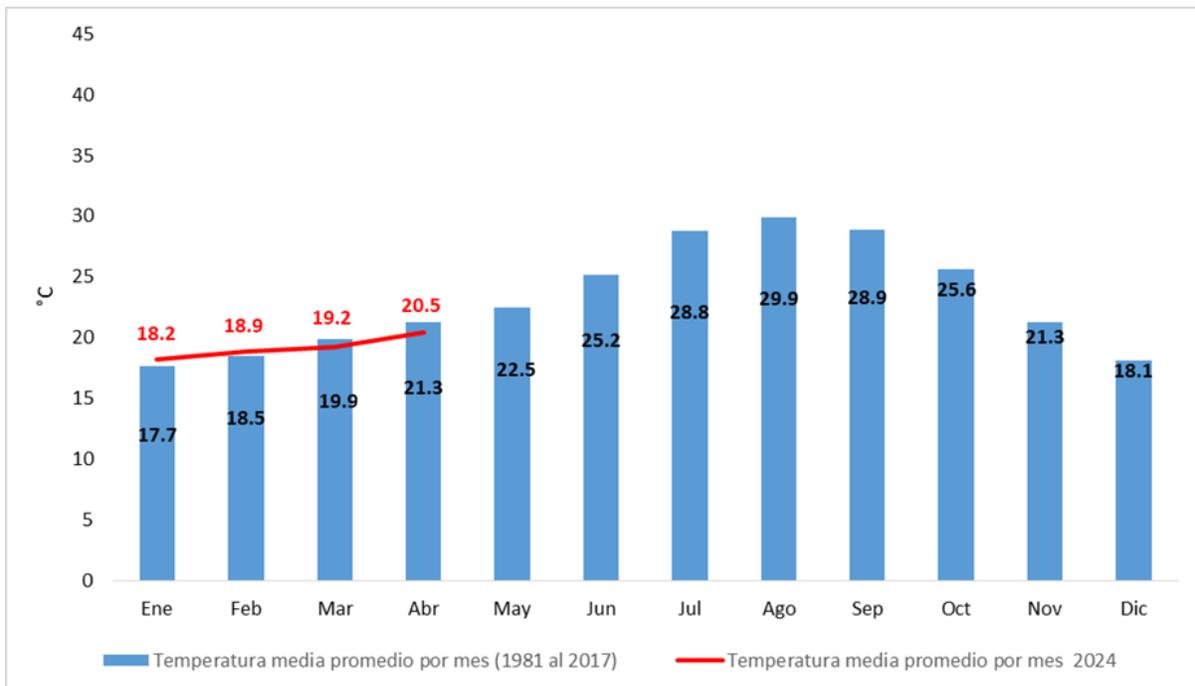


**Figura 26:** Climatologías de la concentración de grupos fitoplanctónicos expresada en CLO en el agua de mar en San Juanico en abril de 2024.

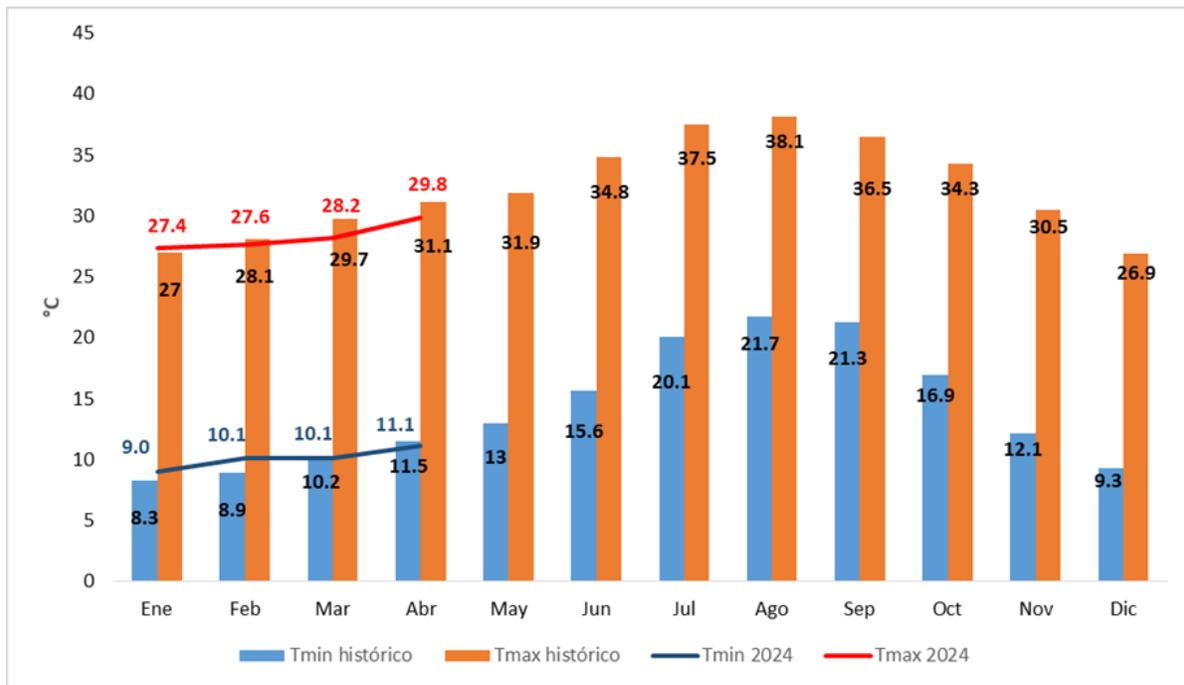
### 3.6.5. Temperatura en el Valle de Santo Domingo, área contigua, región San Juanico-Golfo de Ulloa

De acuerdo con los datos proporcionados por el observatorio meteorológico no. 3132 del Servicio Meteorológico Nacional - Comisión Nacional del Agua localizado en el Valle de Santo Domingo (25.00° Latitud N, -111.64° Longitud Oeste), Ciudad Constitución, Comondú, México, el mes de abril de 2024 presentó una temperatura promedio de 20.5 °C (figura 27), valor que se ubicó por debajo del promedio histórico (datos 1981-2017) del mismo mes. Asimismo, al comparar los promedios mensuales de las temperaturas máximas y mínimas registradas en abril de 2024 con respecto a los promedios históricos, se observó una anomalía negativa de 1.3 °C en el promedio mensual de la temperatura máxima, asimismo, la temperatura mínima promedio del mes presentó una anomalía negativa de 0.4 °C (figura 28).

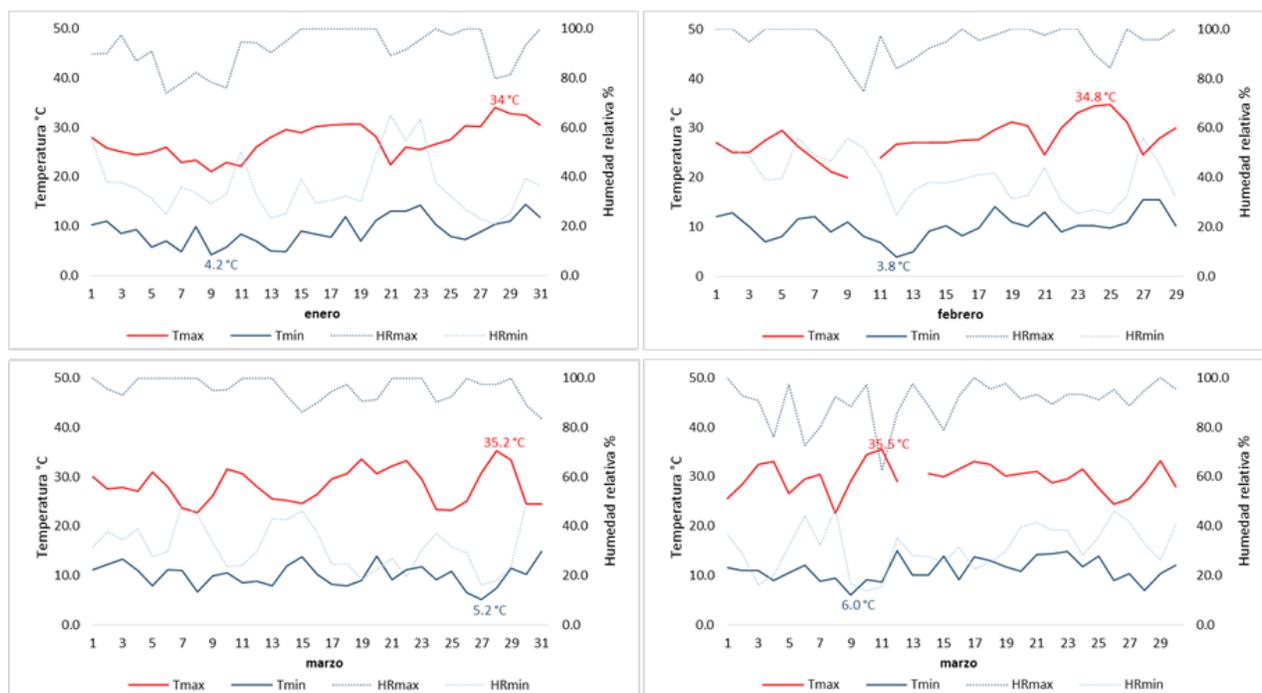
La figura 29 muestra el comportamiento diario de la temperatura y humedad relativa durante el 2024. En el análisis específico del mes de abril de 2024, se observó que el día 09 del mes se registró la temperatura más baja, con 6.0 °C, mientras que el 11 de abril se presentó la temperatura más alta, alcanzando un registro de 35.5 °C. En cuanto a la humedad relativa máxima, el promedio mensual fue de 90.5 %, mientras que el valor promedio de la humedad relativa mínima, fue de 31.2 %.



**Figura 27:** Comparativo de los promedios mensuales de la temperatura media (periodo 1981- 2017) con respecto a los registrados al mes abril de 2024.



**Figura 28:** Comparativo entre los promedios de temperaturas máximas y mínimas históricas (1981-2017) con respecto a los promedios presentados al mes de abril de 2024.



**Figura 29:** Comportamiento de la temperatura y humedad relativa al mes de abril de 2024. Tmax= Temperatura máxima. Tmin= Temperatura mínima. HRmax= Humedad relativa máxima. HRmin= Humedad relativa mínima. El día 09 de abril se presentó la temperatura más baja (6.0 °C) y la más alta el 11 de abril (35.5 °C).

### 3.7. Temperaturas mínimas y máximas en los aeropuertos de BCS

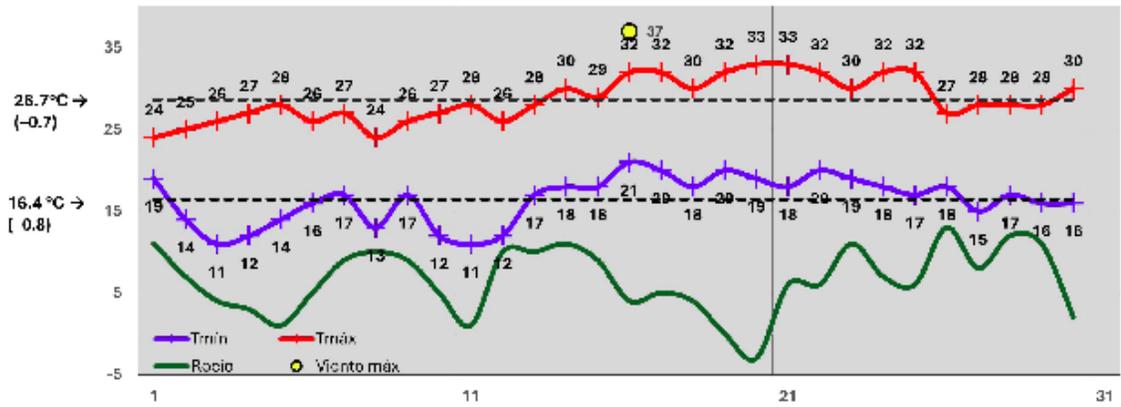
En esta sección se ilustran los patrones y cambios en temperatura del aire (figura 30) en los tres aeropuertos internacionales en Baja California Sur. Durante los primeros 12 días del mes, en San José del Cabo hubo mañanas frescas (11–12 °C), mientras que en La Paz las temperaturas mínimas oscilaron entre 8–11 °C con un promedio mensual de 13.5 °C. En Loreto, el promedio de temperaturas mínimas fue de 21.2 °C con valores mayores o igual a 19 °C a partir del día 10. Esto, en parte, por la menor frecuencia de sistemas frontales, aumento de las horas de radiación solar y disminución de la humedad que acompañan a la presencia de la primavera. Comparando los promedios de enero (16.2 °C), febrero (17.1) y marzo (21.2) de 2024, las temperaturas mínimas diarias de abril alcanzaron valores cada vez más cálidos principalmente durante la segunda quincena del mes.

Desde una perspectiva histórica, con respecto a los reportes de temperatura diaria de

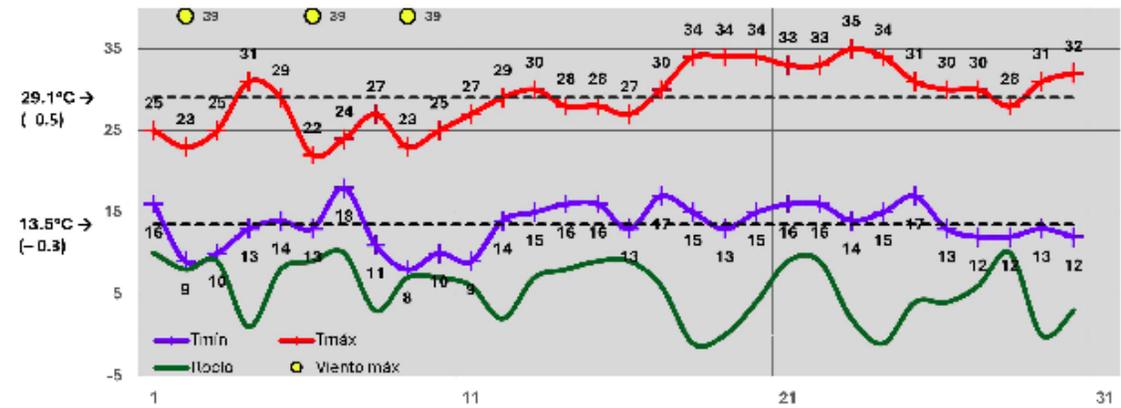
abril de los cuatro años anteriores, las anomalías del promedio de las temperaturas mínimas estuvieron cerca a lo normal en La Paz ( $-0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) y Loreto ( $+0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). En San José del Cabo, la anomalía de temperatura mínima fue un poco más amplia ( $-0.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) mientras que la anomalía de temperaturas máximas fue también relativamente alta ( $-0.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). En este aeropuerto, durante los primeros 13 días del mes se presentaron máximas menores a  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ , mientras que ninguno de los reportes de la segunda mitad del mes logró rebasar los  $33\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Adicionalmente, en cuatro ocasiones, este aeropuerto reportó una temperatura máxima mayor a  $33\text{ }^{\circ}\text{C}$  durante abril de 2020, dos veces en 2021, ninguna vez en 2022 y dos veces en 2023. Entonces, se puede afirmar que San José del Cabo tuvo un ambiente ligeramente fresco en abril de 2024.

En los reportes de viento máximo, Loreto destaca por haber sobrepasado  $30\text{ km/h}$  durante 15 días; en dos de ellos se alcanzaron  $46\text{ km/h}$  (2 y 6 de abril), mientras que los aeropuertos de La Paz y San José del Cabo superaron  $30\text{ km/h}$  en solamente tres y once veces, respectivamente. Otro parámetro que tiende a modificarse durante la primavera es la humedad del aire, que en la figura 30 está representado por la temperatura de punto de rocío (líneas verdes,  $^{\circ}\text{C}$ ). Comparada con el mes de marzo, en promedio, la humedad logró disminuir significativamente durante casi todo abril, en los tres aeropuertos del estado se mantuvo relativamente baja.

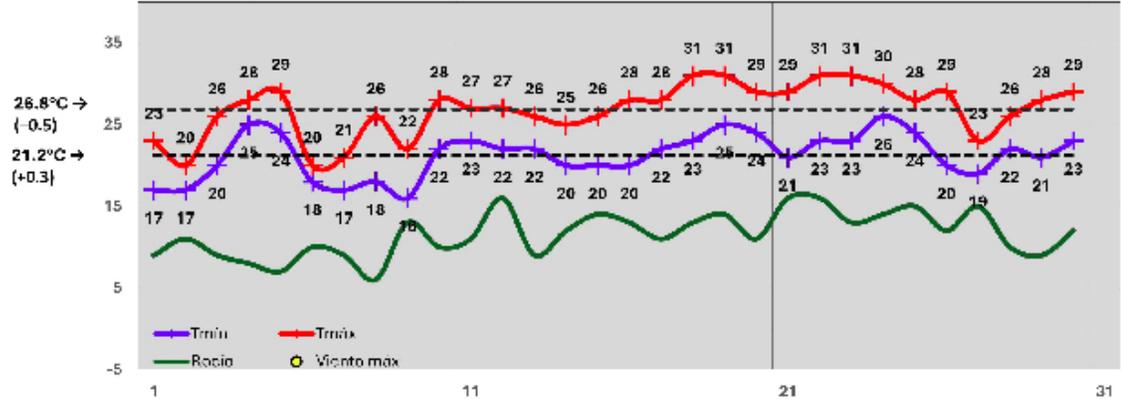
### San José del Cabo, abril 1–30 2024



### La Paz, abril 1–30 2024



### Loreto, abril 1–30 2024



**Figura 30:** Temperaturas (°C) mínimas y máximas en tres aeropuertos internacionales de Baja California Sur: San José del Cabo, La Paz y Loreto. Se incluyen los promedios diarios de temperatura de punto de rocío (°C) y la magnitud del viento máximo (km/h). La línea punteada representa el promedio de los valores diarios. Los valores a la izquierda de cada eje vertical son promedios del mes, mientras que sus anomalías (respecto a 2020-2023) se indican en paréntesis.

## 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 proporcionado 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 proporcionado 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.
- **ONI.** Oceanic Niño Index o índice oceánico de El Niño. El ONI, es el principal indicador de la NOAA para el seguimiento de la parte oceánica del patrón climático estacional denominado El Niño-Oscilación del Sur (ENSO). <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-variability-oceanic-nino-index>.
- **VTO.** Los datos de VTO se refieren 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.

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>