



## Boletín Oceanográfico de BCS diciembre 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>, 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>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, <sup>7</sup>Instituto de Ciencias del Mar y Limnología UNAM

ENERO DE 2024, No. 5

---

### 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 (BCS).

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 datos de [precipitación](#) para diversas poblaciones de BCS colectados por estaciones climatológicas de la Comisión Nacional del Agua; 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.

## RESUMEN de 2023

**NIVEL DEL MAR ABSOLUTO:** El nivel del mar absoluto a lo largo de las costas de la Península (Figura 4) coloca el año 2023 entre los que experimentaron una de los niveles mas altos en todo el registro. La diferencia entre la costa occidental de BC y el interior del Golfo de California es que la elevación de nivel del mar alcanza el norte en el interior del golfo de manera mucho mas frecuente que en la costa occidental. Esto es evidente en los tonos amarillos del extremo norte del diagrama de la costa del Golfo. En la costa occidental solo hay tonos amarillos en el norte durante 1997 y 2015. En la entrada al Golfo de California (Figura 10) el registro de Cabo Pulmo también destaca el año de 2023 con valores extremos. Por esta razón se mantiene la tendencia a la elevación del nivel del mar que en este sitio alcanza 2.9 mm/año. Lo mismo sucede en la Bahía de La Paz (Figura 16), aunque menos pronunciado, y aquí la tendencia de largo período es de solo 2.7 mm/año. El sitio que representa el Golfo de Ulloa en San Juanico (Figura 23) se comporta distinto a los del Golfo de California. En este caso el año 2023 no alcanza valores claramente anómalos, sin embargo la tendencia de largo período es la mayor de los 3 sitios evaluados (3 mm/año).

**SERIES DE TIEMPO DE DATOS SATELITALES:** De acuerdo a los valores del MEI, en 2023 se presentó el fenómeno de El Niño. En la región su presencia se hizo evidente en las imágenes de satélite, especialmente en los valores mensuales superiores a los valores climatológicos mensuales de TSM en el mes de mayo en Cabo Pulmo, en junio en La Paz y en julio en San Juanico (figuras, 9A, 15A y 22A) y que continuaron durante 2024. En las series de anomalías de las zonas (figuras, 9B, 15B y 22B), se nota el inicio de un periodo de anomalías positivas en los meses de junio, julio y agosto para Cabo Pulmo, La Paz y San Juanico, con picos máximos de +2 °C, +1.9 °C y +1.8 °C, respectivamente. El aumento en la TSM tuvo efecto en la disminución de la clorofila con anomalías negativas en 2023 hasta agosto en Cabo Pulmo, septiembre en La Paz y de julio a noviembre en San Juanico (figuras, 9D, 15D y 22D). Sin embargo, en octubre, en Cabo Pulmo y La Paz se presenta el valor máximo, muy por encima de sus valores climatológicos, mientras que en San Juanico el valor máximo se presentó en junio (figuras, 9C, 15C y 22C). Respecto a las anomalías del nivel del mar en las tres zonas, durante todo el 2023 se presentaron anomalías positivas (figuras, 9F, 15F y 22F), de hecho viendo la serie completa se nota un periodo de largo plazo desde 2014 dominado por anomalías positivas en las tres zonas. Al parecer esta variable está afectada por algún fenómeno de mayor escala temporal.

**PAISAJE PELÁGICO:** El paisaje pelágico en 2023 presentó un comportamiento notoriamente anómalo. En el sur del Golfo de California (La Paz y Cabo Pulmo), se observa el colapso de la categoría H15, que suele ser dominante y abarcar entre el 70 y 90 % en condiciones promedio (figura 13, figura 20). Hacia el verano hubo una ligera expansión de H15, pero rápidamente se volvió a contraer hacia finales del año, mientras que categorías tales como H11 y H3, se expandieron más allá de sus respectivos valores promedio. En la Costa Occidental, en el Golfo de Ulloa también se presentaron condiciones anómalas, apreciables en la contracción sin precedentes de H17 y H21, acompañadas por la inusual expansión del 80 % de H3, que suele cubrir menos del 10 % (figura 26).

**COMPOSICIÓN DEL FITOPLANCTON:** Con respecto a la concentración de los principales grupos funcionales fitoplanctónicos, expresada en la CLO en el agua de mar observada desde el espacio, el año 2023 se caracterizó por experimentar aumentos significativos en la zona de San

Juanico en el Pacífico durante el verano. Aunque eventos de mayor escala influyeron en el comportamiento del fitoplancton en el Pacífico durante el 2023 (figura 27), no se observó una tendencia similar en el Golfo de California (figura 14, figura 21). En octubre, se registró un aumento drástico en los grupos fitoplanctónicos en Cabo Pulmo y de diatomeas en la Bahía de La Paz, fenómeno que podría atribuirse a la influencia del Huracán Norma.

**INTENSIDAD, DIRECCIÓN Y PATRONES DOMINANTES DEL VIENTO:** En relación con las variables de dirección, intensidad y predominancia de los vientos, 2023 fue un año normal en la localidad de San Juanico BCS. Algunos patrones atípicos de viento proveniente del Sureste fueron percibidos durante el mes de junio, así como una disminución en la recurrencia de vientos provenientes de dicha dirección durante el mes de julio. Agosto de 2023 mostró un patrón anómalo en la configuración dominante de los vientos en San Juanico debido al efecto del huracán Hilary. En la estación de Cabo Pulmo se pudieron observar cambios importantes en la predominancia de los vientos durante los meses de mayo y junio de 2023, volviendo a su patrón normal hacia julio del mismo año. Durante agosto se nota también el efecto del huracán Hilary en la intensidad de los vientos provenientes del S-SE. Un efecto similar ocurre durante el mes de octubre debido al paso cercano del huracán Norma, intensificando los vientos provenientes de la misma dirección S-SE. En términos de la intensidad del viento, agosto de 2023 (huracán Hilary) se destacó de los años previos por la recurrencia de los vientos fuertes que no llegaron a superar los observados en agosto de 2017. Septiembre de 2023 fue un mes con pocos eventos extraordinarios observados en Cabo Pulmo en comparación con los ocurridos en 2014, 2016 y 2017. Caso contrario el efecto del huracán Norma en los fuertes vientos registrados en la estación de Cabo Pulmo durante el mes de octubre de 2023; comparado con años previos, en este mes se registraron velocidades cercanas a los 80 km/h que fueron las más altas desde 2014 después de las observadas en 2016 (50 km/h).

**VALLE SANTO DOMINGO:** Las temperaturas en la región del Valle de Santo Domingo presentaron sus mayores anomalías, en este caso positivas, en los meses de julio, agosto, octubre, noviembre y diciembre 2023 con valores de 1.3, 1.6, 3.6, 2.4 y 1.7 °C, respectivamente, lo que puede ser observado en las figura (figura 29). En lo que respecta al mes de septiembre, este presentó una anomalía negativa de -2.7 °C. Las anomalías positivas detectadas en la región agrícola del Valle de Santo Domingo, en cierto grado concuerdan también con tendencias de las anomalías suscitadas en la Temperatura Superficial del Mar (TSM) descritas para la región del Golfo de Ulloa-San Juanico presentado en la sección 3.5 de este boletín.

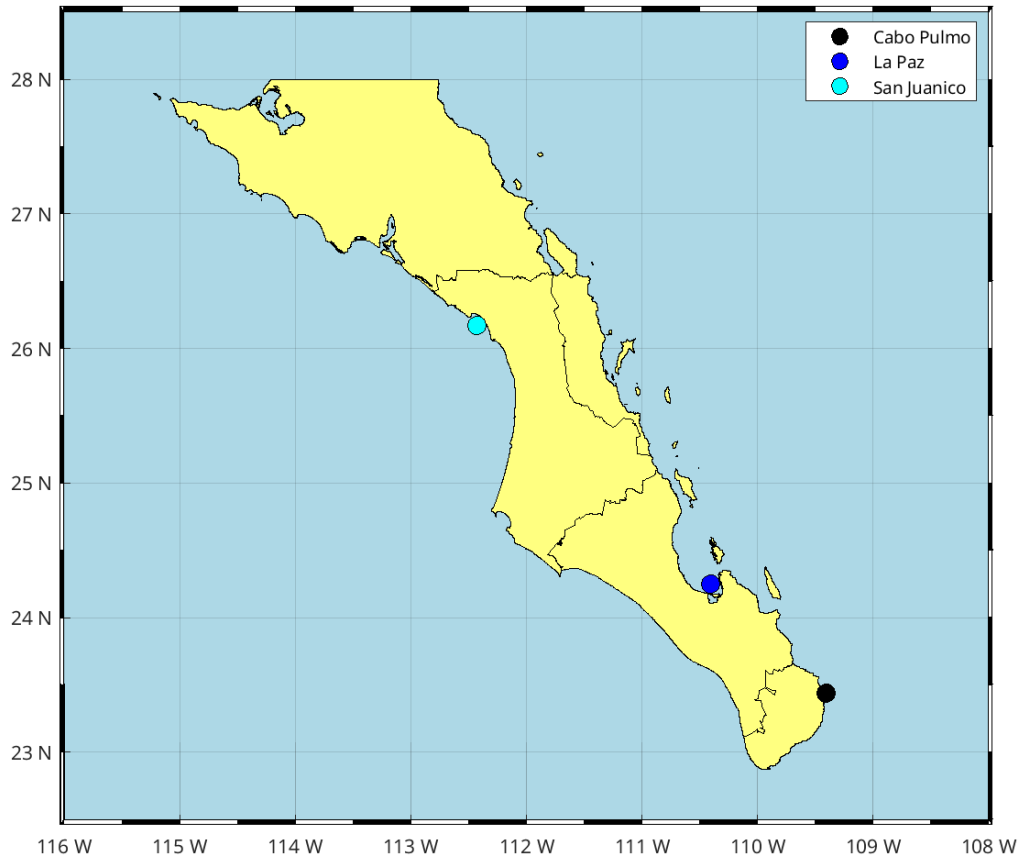
# Índice

<b>1. Área de estudio</b>	<b>5</b>
<b>2. Método</b>	<b>5</b>
2.1. Información satelital	5
2.2. Temperatura del aire (REANÁLISIS) del Golfo de California	6
2.3. Datos <i>in situ</i>	7
2.3.1. Viento local	7
2.3.2. Temperatura del aire	8
2.4. Mapas de distribución mensual	8
2.5. Análisis de series de tiempo	9
2.6. Paisaje pelágico	9
2.7. Precipitación en Baja California Sur en 2023	9
<b>3. Resultados</b>	<b>9</b>
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	13
3.4. Cabo Pulmo	15
3.4.1. Series de tiempo	15
3.4.2. Viento (VTO) <i>in situ</i>	16
3.4.3. Paisaje Pelágico (CP)	17
3.4.4. Fitoplancton	18
3.5. Bahía de La Paz	19
3.5.1. Series de tiempo	19
3.5.2. Resumen de las condiciones meteorológicas en la bahía de La Paz registradas en la estación el Mogote durante 2023	21
3.5.3. Paisaje Pelágico (BLP)	23
3.5.4. Fitoplancton	24
3.6. San Juanico, Golfo de Ulloa	25
3.6.1. Series de tiempo	25
3.6.2. Viento (VTO) <i>in situ</i>	27
3.6.3. Paisaje Pelágico (GU)	28
3.6.4. Fitoplancton	29
3.6.5. Precipitación en Baja California Sur en 2023	30
3.6.6. Temperatura en el Valle de Santo Domingo, área contigua, región San Juanico-Golfo de Ulloa	32
<b>4. Glosario</b>	<b>36</b>
<b>5. Referencias</b>	<b>37</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 geode. 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\\_OBSERVATIONS\\_008\\_047/description](https://data.marine.copernicus.eu/product/SEALEVEL_GLO_PHY_L4_NRT_OBSERVATIONS_008_047/description))

[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.

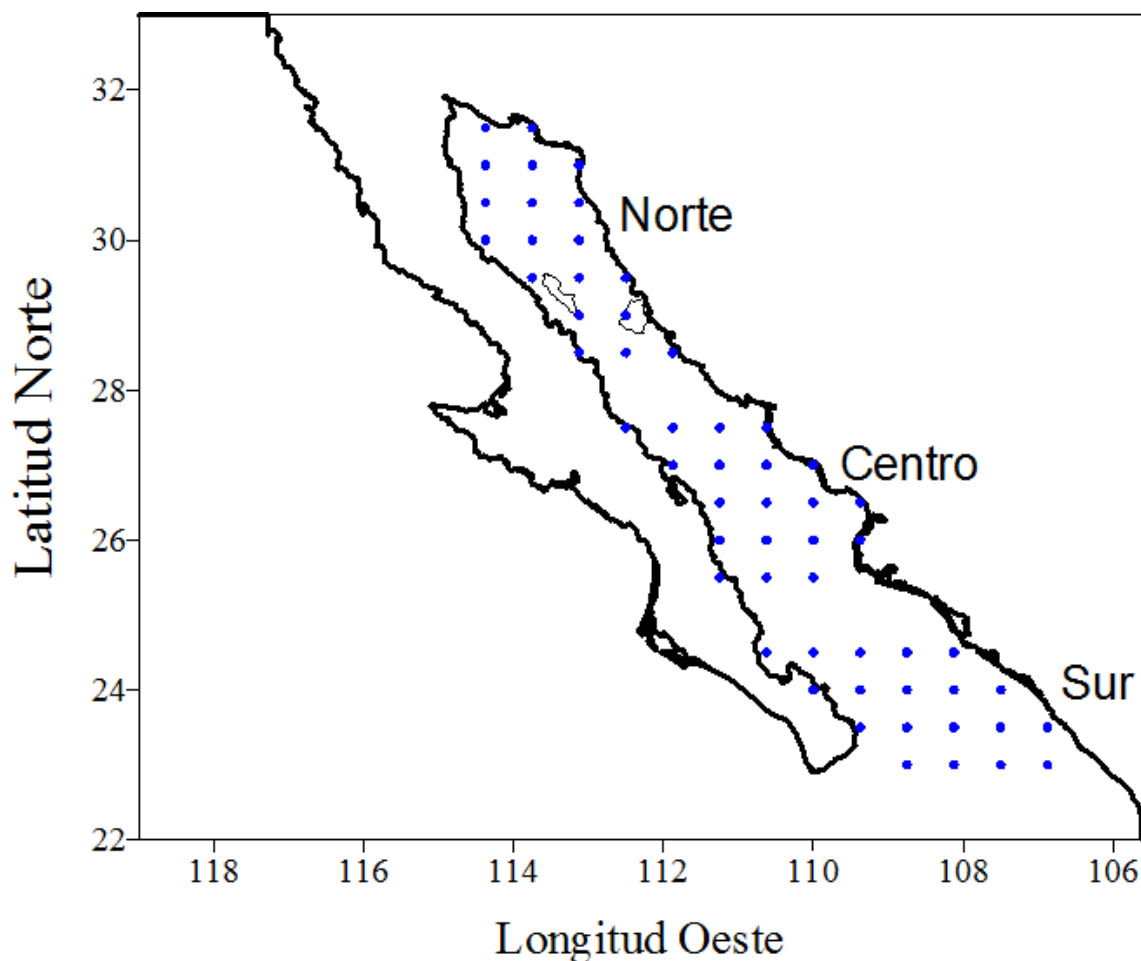
**Clorofila superficial (CLO).** La CLO es la clorofila<sub>a</sub> satelital. Es un producto del denominado color del océano y corresponde a la primera profundidad óptica, que es la profundidad en donde la luz disminuye el 90% (Cervantes-Duarte, 2004). Esta profundidad varía con la materia suspendida 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 su 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\\_l3-multi-](https://data.marine.copernicus.eu/product/OCEANCOLOUR_GLO_BGC_L3_MY_009_103/download?dataset=cmems_obs-oc_glo_bgc-plankton_my_l3-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. 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 diciembre de 2023 provenientes de MERRAS-2 (The second Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications) ([http://goldsmr4.gesdisc.eosdis.nasa.gov/opensdap/MERRA2\\_MONTHLY/M2TMNXSLV.5.12.4/contents.html](http://goldsmr4.gesdisc.eosdis.nasa.gov/opensdap/MERRA2_MONTHLY/M2TMNXSLV.5.12.4/contents.html)). 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° - 28.5° (19 celdas), Centro: 27.5° - 25.5° (19 celdas) y Sur: 24.5° - 23° (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.



**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

## 2.3. Datos in situ

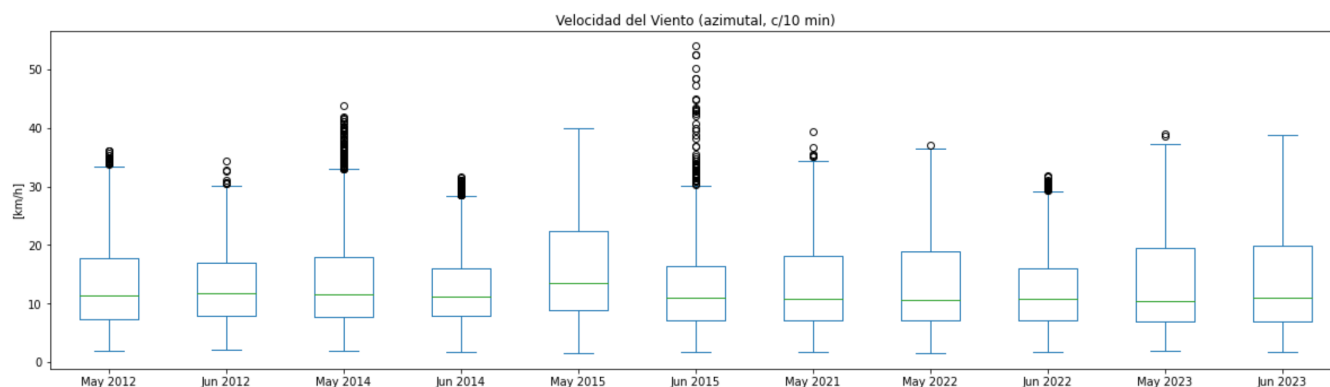
### 2.3.1. Viento local

**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 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.

### 2.3.2. 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 junio de 2023 para el área comprendida entre los  $22$  y  $29^{\circ}$  de latitud norte y los  $108$  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.

## 2.5. 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. 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.

## 2.6. 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 desde enero de 2003 hasta octubre de 2023.

## 2.7. Precipitación en Baja California Sur en 2023

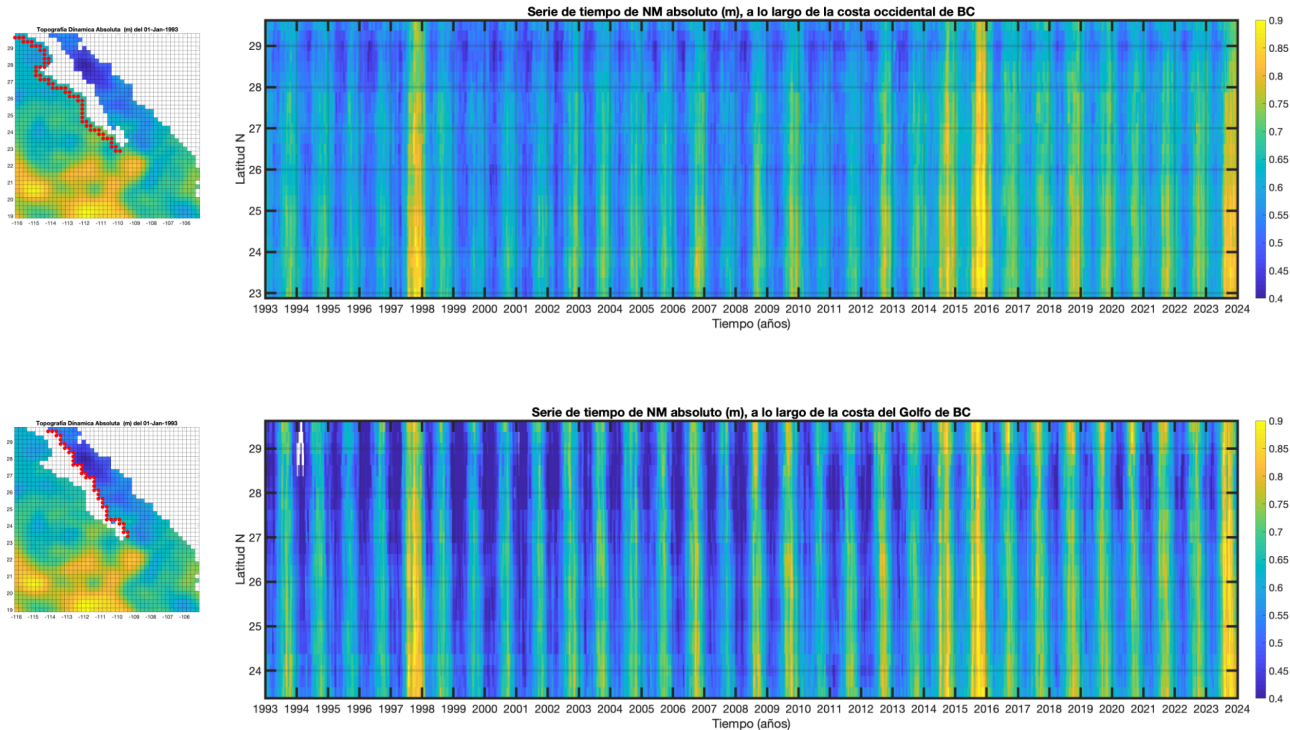
Datos sobre precipitación fueron tomados de los reportes de estaciones climatológicas de la Comisión Nacional del Agua para conocer los niveles de agua recibidos en diversas localidades de Baja California Sur.

# 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. En la Costa Occidental de Baja California ha sido

más persistente la elevación del nivel del mar que en el interior del Golfo de California. En el golfo el nivel del mar descendió más rápidamente.



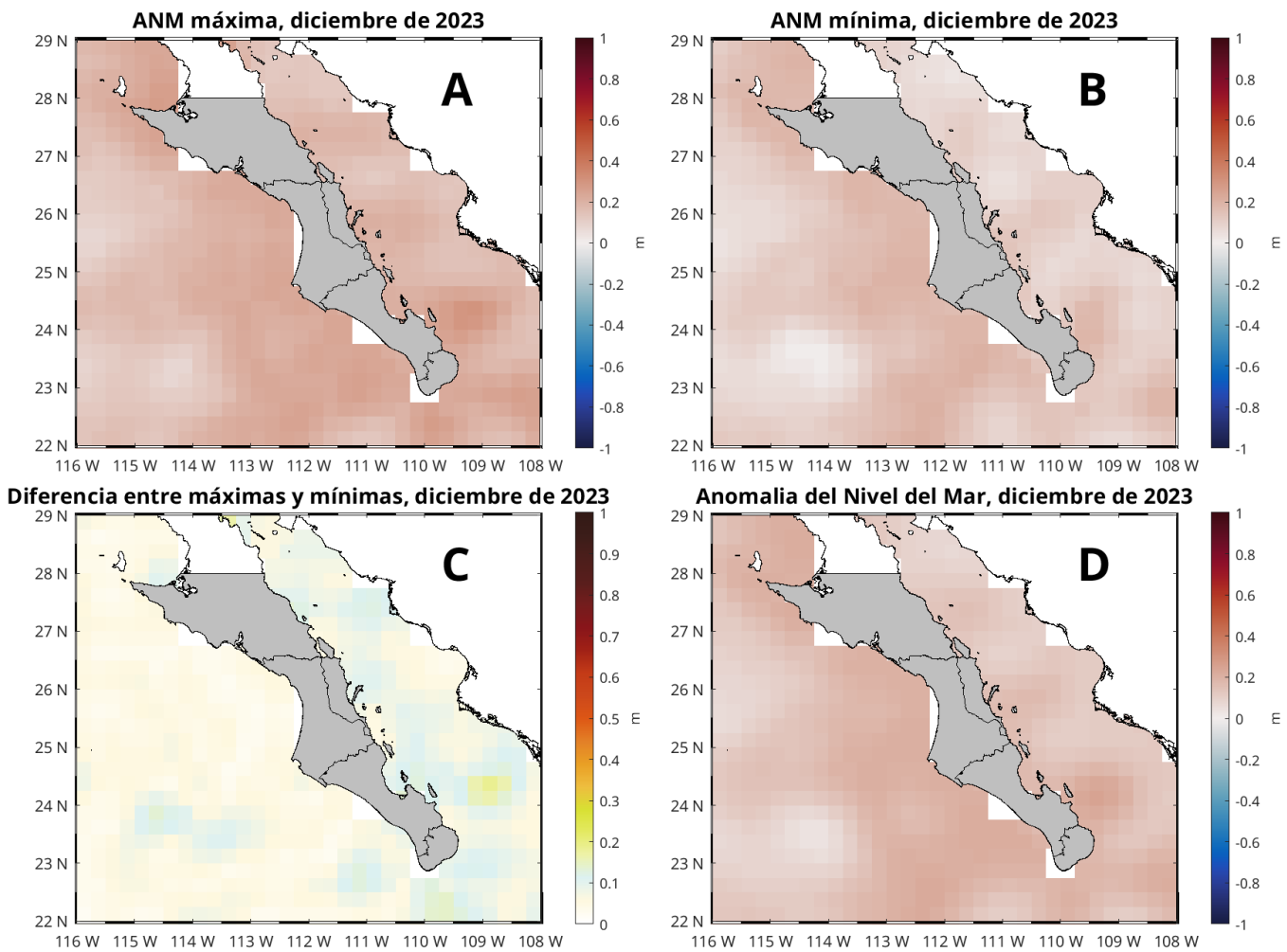
**Figura 4:** Evolución del nivel del mar (NM absoluto) a lo largo de las dos costas de la península de BC hasta enero de 2024. Arriba: costa Occidental; abajo: costa del Golfo de California

## 3.2. Mapas de distribución mensual

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

Las condiciones de ANM durante el mes de enero de 2023 se muestran en la figura 5. El mapa del panel A muestra las anomalías máximas registradas, cuyo rango se ubicó entre -0.07 y 0.29 m. El panel B muestra las anomalías mínimas, cuyo rango estuvo entre -0.006 y 0.20 m. El panel C muestra la diferencia entre anomalías máximas y mínimas ( $A - B$ ) durante este mes, el valor máximo fue de 0.19 m, inferior en 0.12 m a noviembre. 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 0.03 y 0.24 m. Estos valores representan una ligera disminución (0.01 m) comparado con noviembre.

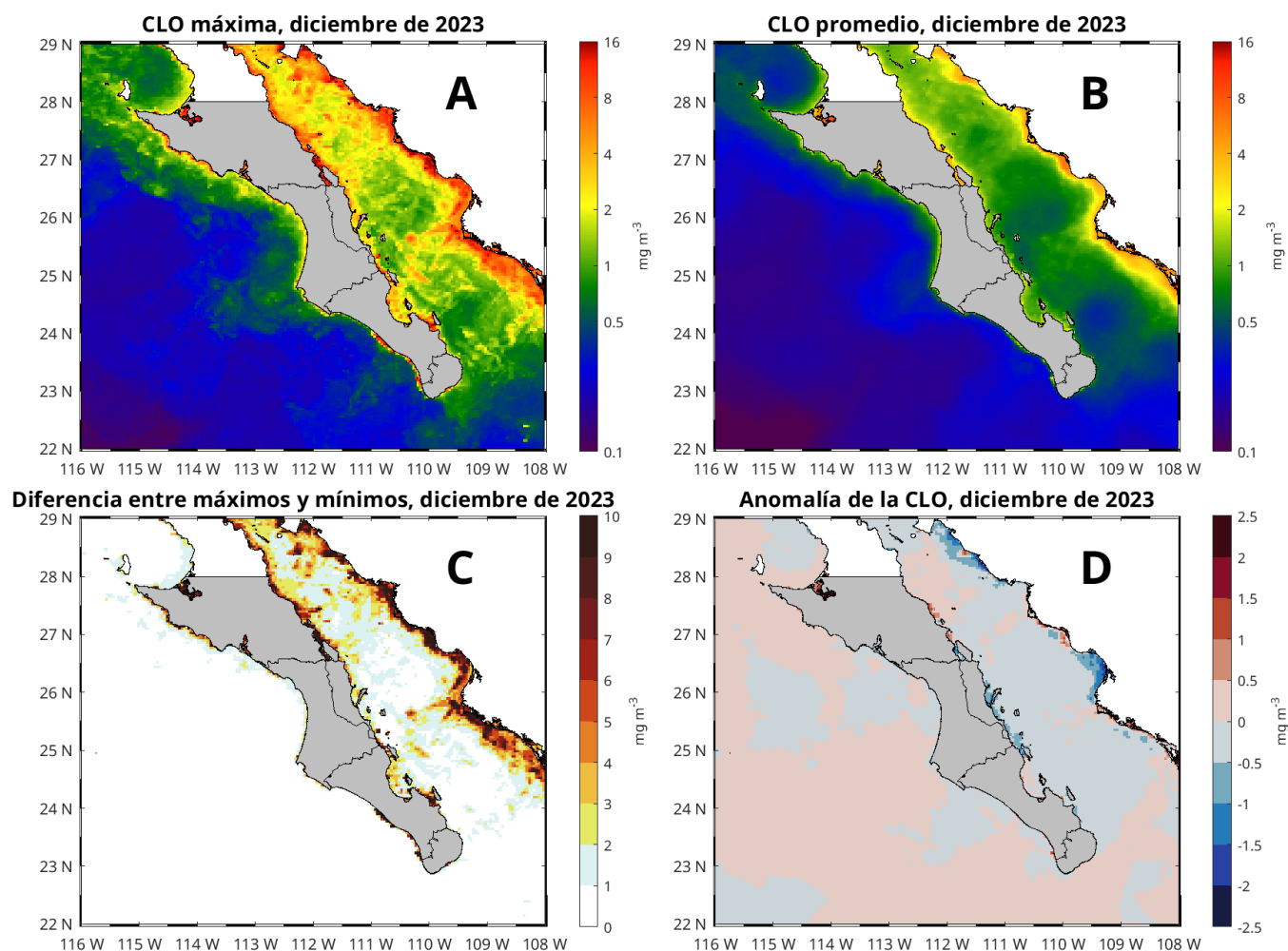




**Figura 5:** Condiciones de ANM durante el mes de enero de 2023. Panel A, niveles máximos, B niveles mínimos, C diferencia entre máximos y mínimos y D anomalía.

### 3.2.2. Clorofila superficial (CLO)

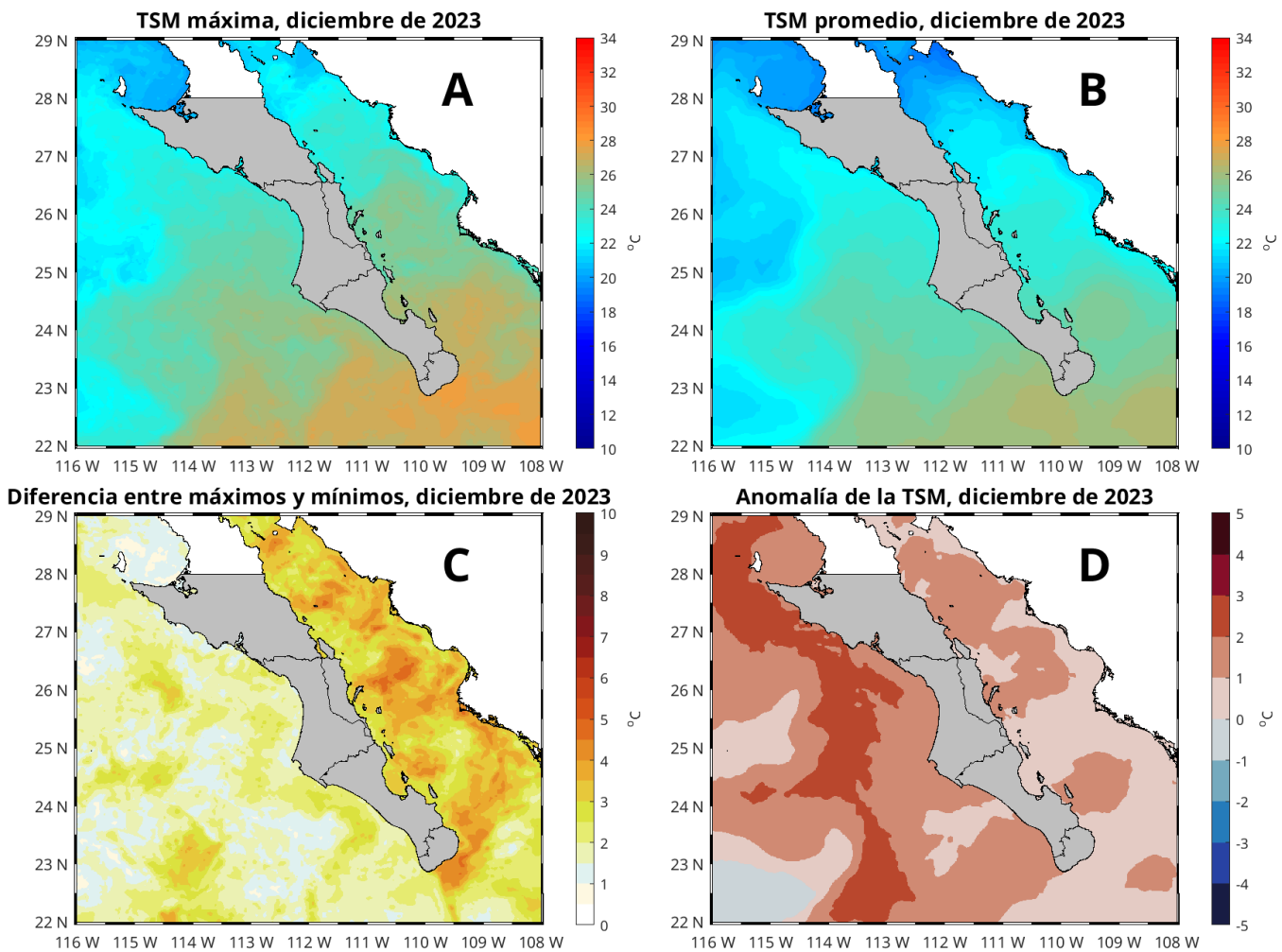
Las condiciones de CLO durante el mes de enero de 2023 se muestran en la figura 6. El mapa del panel A muestra las concentraciones máximas registradas, cuyo rango se ubicó entre  $0.10$  y  $59.0 \text{ mg m}^{-3}$ , ligeramente inferior al mes anterior. El panel B muestra las concentraciones promedio, cuyo rango estuvo entre  $0.08$  y  $18 \text{ mg m}^{-3}$ , rango prácticamente igual al de noviembre. El panel C muestra la diferencia entre concentraciones máximas y mínimas (imagen no mostrada) durante este mes, cuyo valor máximo de  $58.3 \text{ mg m}^{-3}$ , lo que representa una disminución apenas de  $2 \text{ mg m}^{-3}$  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  $-7.6$  y  $11.3 \text{ mg m}^{-3}$ , rango superior en  $3 \text{ mg m}^{-3}$  respecto a noviembre.



**Figura 6:** Concentraciones de CLO durante el mes de enero 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 enero de 2023 se muestran en la figura 7. El mapa del panel A muestra las temperaturas máximas registradas, cuyo rango se ubicó entre 19.7 y 28.0 °C, prácticamente inferior en 2 °C en comparación de noviembre. El panel B muestra el promedio de temperatura, cuyo rango estuvo entre 18.8 y 26.4 °C, 2.5 °C menor que en noviembre. El panel C muestra la diferencia entre máximos y mínimos (imagen no mostrada) durante este mes, cuyo valor más alto fue de 4.9 °C, mayor en 0.5 °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 -0.61 y 2.8 °C, con anomalías negativas muy intensas de -6 °C en comparación al mes anterior.

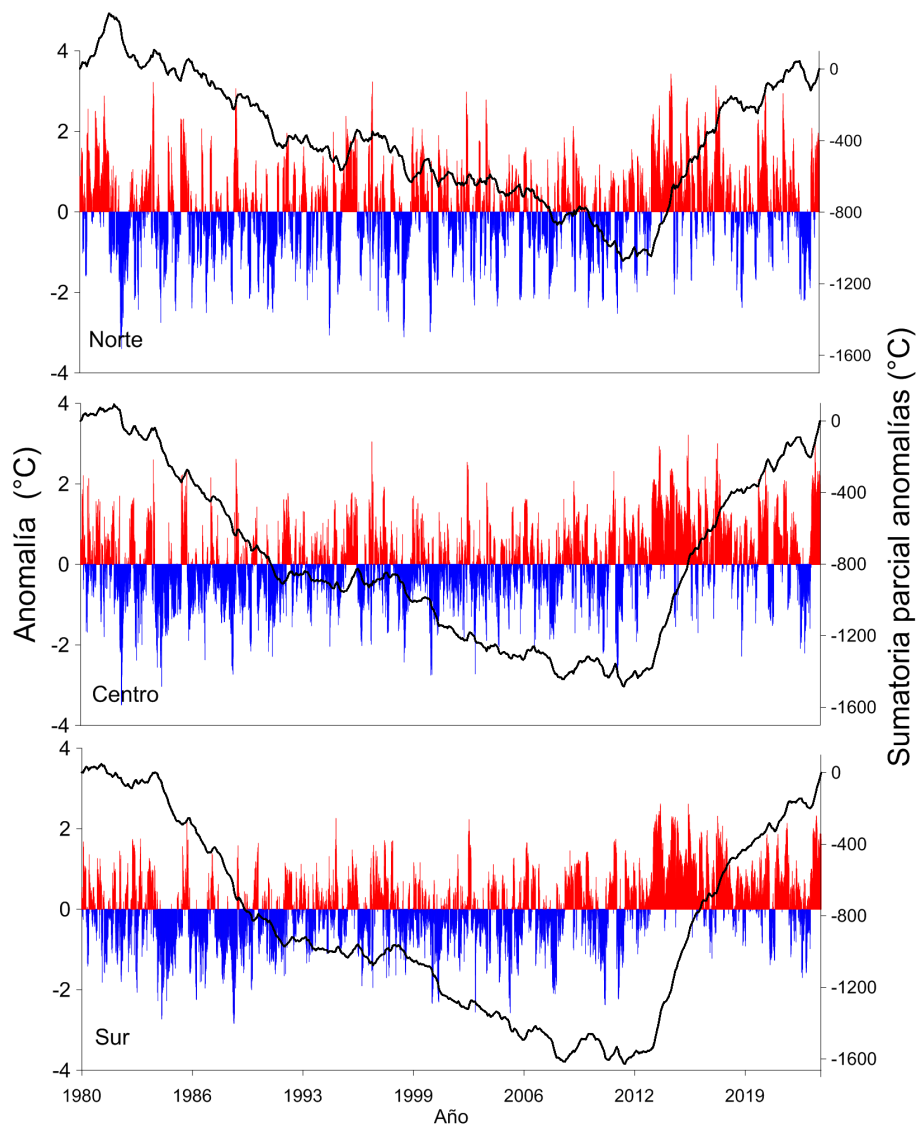


**Figura 7:** Condiciones de TSM durante el mes de enero de 2023. Panel A, máximos, B promedio, C diferencia entre máximos y mínimos, D anomalía.

### 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. 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 diciembre de 2023.

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 diciembre de 2023.



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

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, con una fuerte tendencia positiva hasta diciembre de 2023.

Considerando solo los datos de enero de 2014 a diciembre de 2023, para la zona norte se han observado 1544 celdas con anomalías positivas y 736 celdas con anomalías negativas (media  $0.84\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $-0.49\text{ }^{\circ}\text{C}$ , respectivamente). Para la zona centro, en el mismo periodo se han observado 1746 celdas con anomalías positivas y 534 con anomalías negativas (media  $0.88\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $-0.48\text{ }^{\circ}\text{C}$ , respectivamente). Para la zona sur, en el mismo periodo se han observado 1856 celdas con anomalías positivas y 424 con anomalías negativas (media  $0.87\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $-0.37\text{ }^{\circ}\text{C}$ , respectivamente).

Los datos indican que el Golfo de California se encuentra en un periodo de calentamiento que empezó en enero de 2014 y continua hasta la fecha. Este es un periodo de calentamiento no observado en la serie de tiempo que empezó en 1980.

## 3.4. Cabo Pulmo

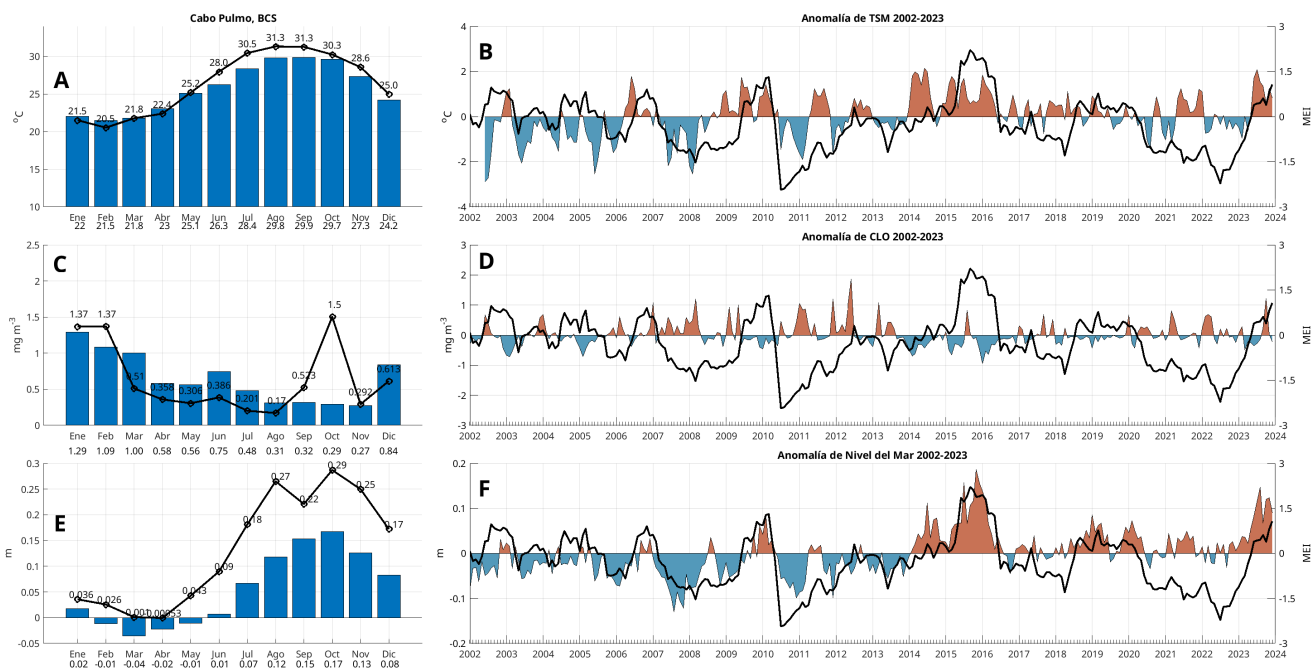
### 3.4.1. Series de tiempo

Las condiciones climatológicas y anomalías de TSM, CLO y ANM a lo largo del tiempo (2002-2023) 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 2023 (hasta enero). 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 enero la TSM se ubicó en 25.0 °C, 3 °C menos que noviembre, y con anomalía positiva de 0.8 °C respecto al valor climatológico de diciembre. Esto sigue estando en concordancia con valores positivos del MEI para este mes, aunque menor al mes pasado, lo que indica un debilitamiento en la intensidad del fenómeno de El Niño en la región (figura 9 A y B).

La CLO de septiembre a noviembre presentó valores superiores a los promedios climatológicos, ahora en enero se presenta un valor de 0.61 mg m<sup>-3</sup>, por debajo de los 0.84 mg m<sup>-3</sup> que es valor climatológico de este mes (figura 9 C y D).

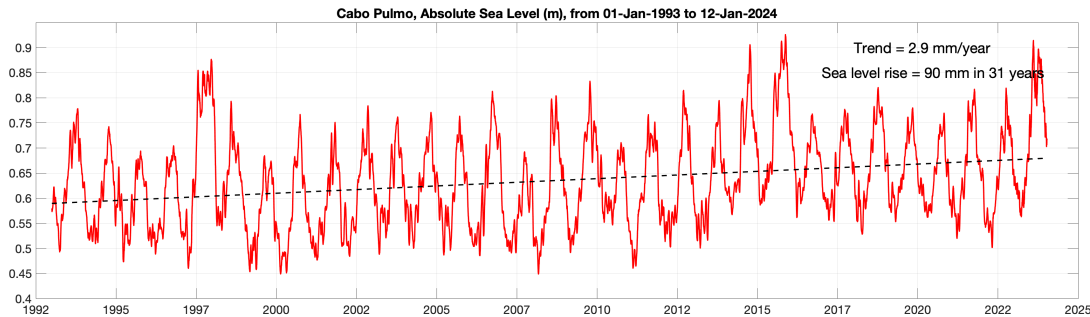
Las ANM han sido positivas desde mayo, con valores muy superiores a los climatológicos. enero registró un valor mensual de 0.17 m, muy superior a su valor climatológico de 0.08 m (figura 9 E y F).



**Figura 9:** 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 enero 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.



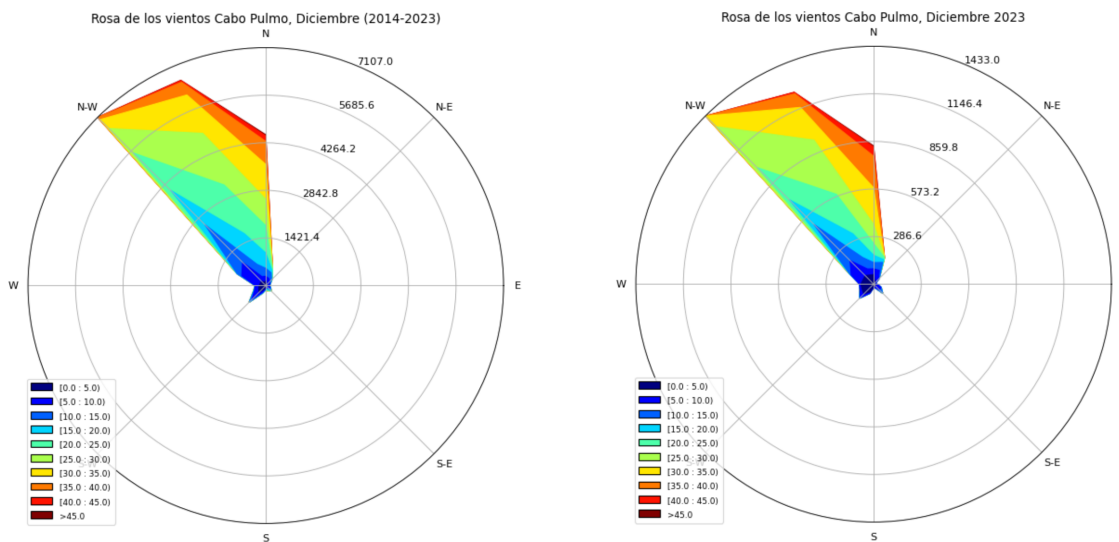
La figura 10 contiene la serie de tiempo del nivel del mar absoluto (m) en Cabo Pulmo, desde enero de 1993 hasta enero de 2024. La variación estacional consiste en la elevación del nivel del mar en el verano y el descenso en invierno. Sin embargo destacan los máximos de 1997-1998, asociado a un evento 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 también entre los máximos del registro por el evento El Niño más reciente que calentó la mayor parte del Pacífico Ecuatorial y Pacífico Tropical Tropical, causando la elevación del nivel del mar que se reporta aquí. Esta variable también contiene el incremento del nivel del mar debido al calentamiento global que, en esta localidad tiene una tendencia de 2.9 mm/año, para un total de 90 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 enero de 2024. Incluye el nivel del mar con referencia al Geoide. Incluye la tendencia de largo período debida a calentamiento global.

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

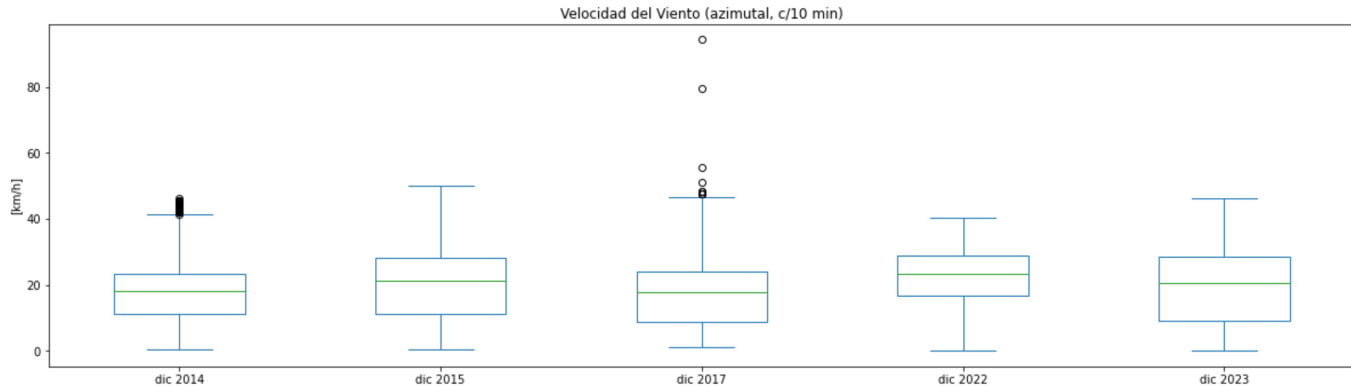
Durante el mes de diciembre de 2023 el patrón característico de los vientos, en la región de Cabo Pulmo, corresponde muy similar a la climatología de los vientos en dicho mes (2014-2023). Se puede observar una dominancia de los vientos provenientes del NW (Fig. 11). De la figura no se observan, de forma marcada, intensidades de viento mayores a los 40 km/h.



**Figura 11:** Climatología vs. observaciones de la dirección e intensidad de los vientos en la estación Cabo Pulmo durante diciembre de 2023.



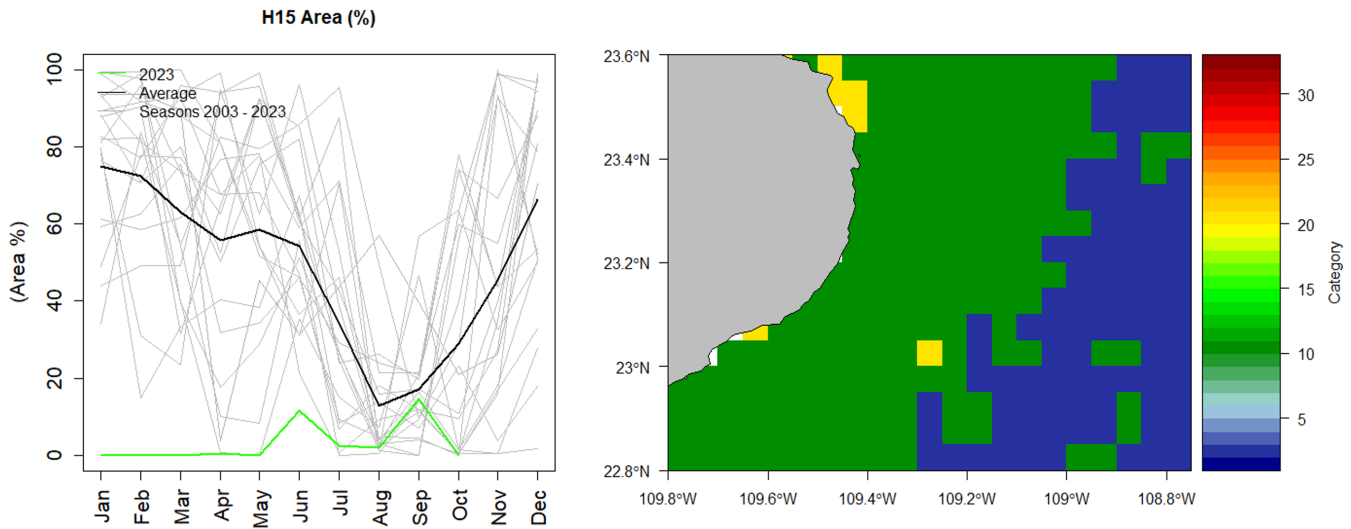
La intensidad del viento *in situ* registrada durante el mes de diciembre de 2023 en Cabo Pulmo no muestra eventos relevantes, la distribución de intensidades se asemeja a una distribución normal dada la forma de la caja con una mediana al rededor de los 20 km/h (Fig. 12). Visto desde el gráfico de cajas, no hay valores extremos, mejor conocidos como *outliers* (círculos en negro).



**Figura 12:** Análisis de cajas de la intensidad de los vientos en la estación Cabo Pulmo durante el mes de diciembre. Se puede notar que la distribución estadística de la intensidad del viento tiende a ser una distribución normal con una mediana al rededor de los 20 km/h. De acuerdo con los bigotes de la caja, el umbral donde los vientos intensos son persistentes durante el mes está cercano a los 40 km/h. Para este mes no se presentan valores de viento atípico u *outliers* (círculos en negro).

### 3.4.3. Paisaje Pelágico (CP)

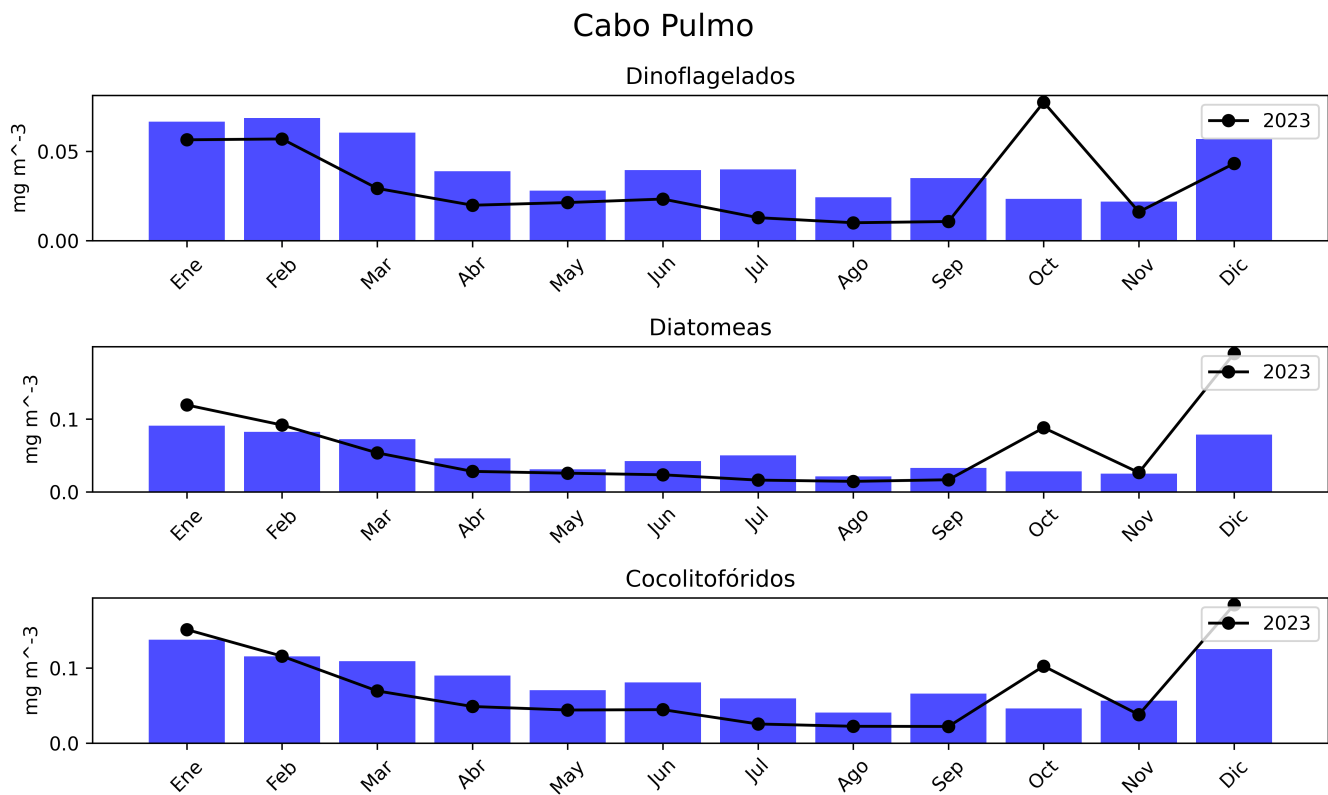
El paisaje pelágico en Cabo Pulmo y zonas adyacentes, muestran una estacionalidad bien definida. De enero a agosto, la categoría H15 suele disminuir del 80 al 16 %, para volver a extenderse hasta casi el 70 % hacia diciembre. El predominio de H15 indica temperatura superficial de 25.35 °C, salinidad de 35.4 ups, y concentración de clorofila de 0.32 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-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 13a). 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 13).



**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 octubre de 2023.

#### 3.4.4. Fitoplancton

Las climatologías de los grupos fitoplanctónicos representativos, diatomeas, dinoflagelados y cocolitofóridos a lo largo del periodo 2002-2023, se presentan en la figura 14. 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 diciembre 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 14:** Climatologías de la concentración de grupos fitoplanctónicos expresada en CLO en el agua de mar en Cabo pulmo.

## 3.5. Bahía de La Paz

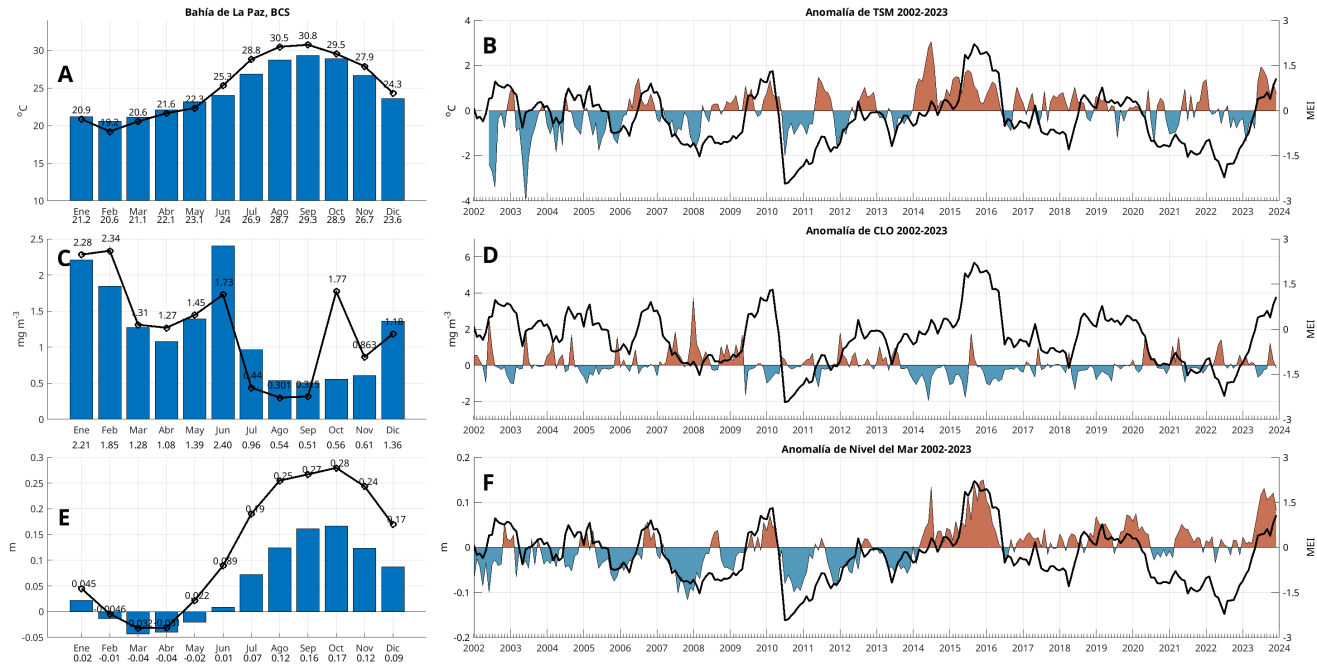
### 3.5.1. Series de tiempo

Las condiciones climatológicas y anomalías de TSM, CLO y ANM a lo largo del tiempo (2002-2023) 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 2023 (hasta enero). 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 enero su valor fue de 24.3, es decir, +0.7 °C respecto a su valor climatológico de 23.6 °C. Esto coincide con anomalías positivas del MEI, que desde junio están presentes e indica la presencia del fenómeno de El Niño en la región (figura 15 A y B).

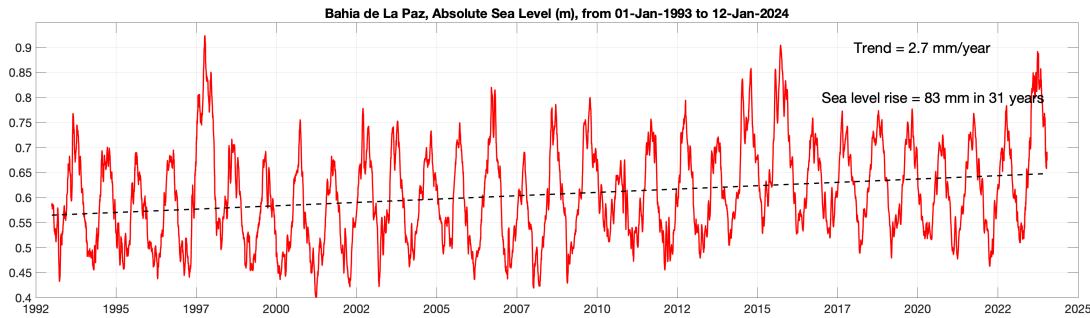
Durante octubre y noviembre la CLO registró valores muy por encima de los valores climatológicos para esos meses, sin embargo, para enero se registró un valor de 1.18 mg m<sup>-3</sup>, mientras que el valor climatológico del mes es de 1.36 mg m<sup>-3</sup> una diferencia de -0.18 mg m<sup>-3</sup> (figura 15 C y D).

Las ANM han sido positivamente anómala desde mayo. El valor registrado en enero confirma esta tendencia el valor registrado fue de 0.17 m, muy por encima de su valor climatológico de 0.09 m (figura 15 E y F).



**Figura 15:** 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 enero 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 16 contiene la serie de tiempo del nivel del mar absoluto (m) en Bahía de la Paz, desde enero de 1993 hasta enero de 2024. La variación estacional consiste en la elevación del nivel del mar en el 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 también entre los máximos del registro por el evento El Niño más reciente que calentó la mayor parte del Pacífico Ecuatorial y Pacífico Tropical, causando la elevación del nivel del mar que se reporta aquí. Esta variable también contiene el incremento del nivel del mar debido al calentamiento global que, en esta localidad tiene una tendencia de 2.7 mm/año, para un total de 83 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 enero de 2024. Incluye el nivel del mar con referencia al Geoide. Incluye la tendencia de largo período debida a calentamiento global.

### 3.5.2. Resumen de las condiciones meteorológicas en la bahía de La Paz registradas en la estación el Mogote durante 2023

#### Temperatura del aire (Tair)

La figura 17, muestra en (A) la serie de tiempo de la temperatura diaria del aire (Tair) registradas en la Estación El Mogote durante el período 01 octubre, 2022 – 25 octubre, 2023. Los valores máximos de Tair (32.7° C) se observaron durante el verano (agosto) con un valor promedio de 24.4° y temperaturas mínimas de 15.8 ° C durante enero del 2023, mostrando un aumento pronunciado de la temperatura durante junio y una tendencia descendente durante octubre y noviembre (otoño).

#### Humedad Relativa (Hr)

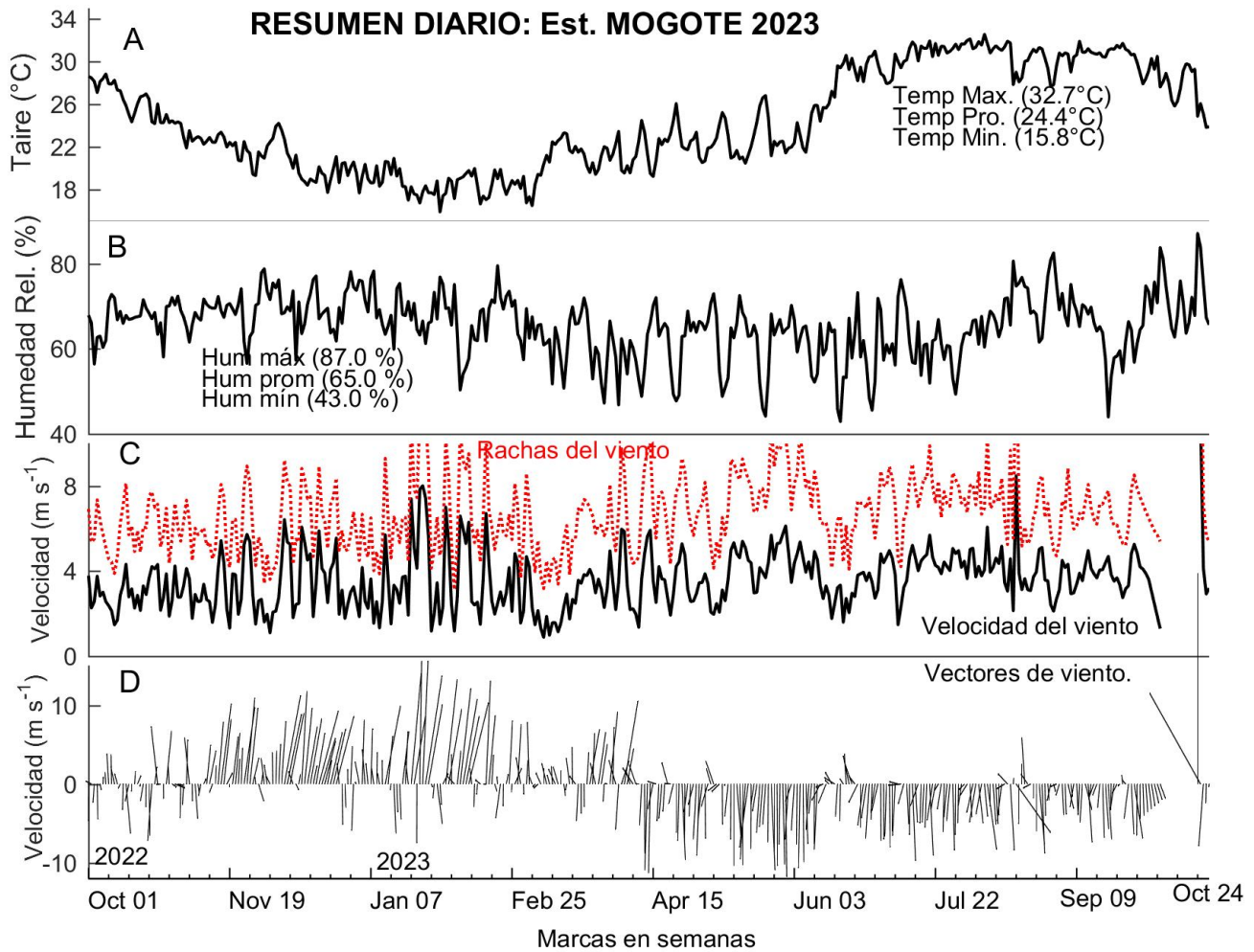
La figura 17, muestra en (B) la serie anual de la humedad relativa (Hr) donde se observaron valores máximos de 87, durante el verano, valores promedio de 65 y mínimos de 43 por ciento durante la primavera (abril-mayo) asociados a la temporada de secas posterior a la temporada fría de invierno.

#### Velocidad y Rachas de viento (m/s)

La figura 17, muestra en (C) los valores de velocidad (en negro) y rachas de viento (línea punteada en rojo) donde se muestran valores máximos de rachas de viento durante invierno (10-12 m s-1) y verano (8-10 m s-1). Al final de la serie (23-25 de octubre) se observaron valores máximos de velocidad del viento asociados al Huracán Norma (Boletín No. 3).

#### Dirección del vector viento (m/s)

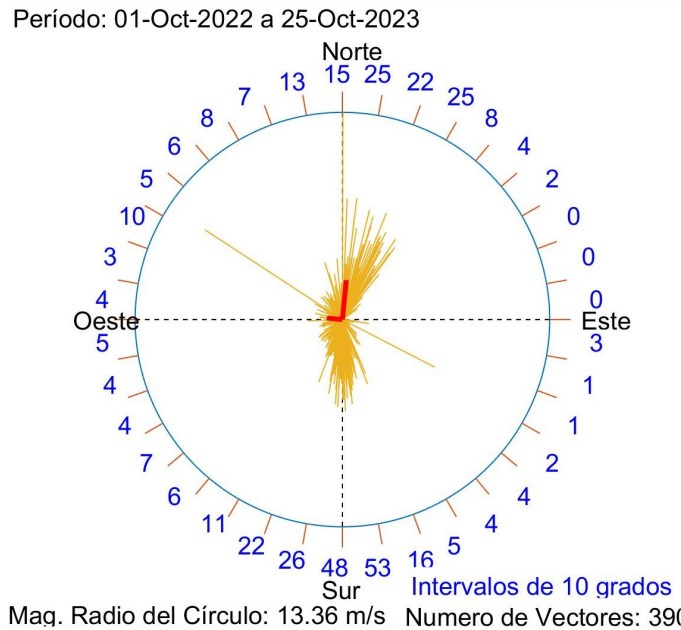
La figura 17, muestra en (D) la dirección del viento en forma vectorial correspondientes a 2023. La dirección predominante del viento durante 2023 fue del norte y noreste durante el otoño e invierno, cambiando al sur y suroeste durante la primavera y verano.



**Figura 17:** Series de tiempo diarias 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 el Mogote en la Bahía de La Paz, cubriendo el período 01 de octubre, 2022 al 26 de octubre, 2023.

La figura 18, muestra la dirección del viento usando los datos diarios de 2023 en forma de rosa de vectores registrados en la estación el Mogote. La dirección predominante, fue del 4to y 1er cuadrante durante el invierno y del 2do. y 3er. cuadrante durante el verano, esto último asociado al cambio en la dirección del viento del monzón de Norteamérica. Los vectores en rojo indican los ejes principales promedio de los vectores diarios analizados (la dirección de máxima y mínima varianza).





**Figura 18:** Dirección predominante del viento durante el período del 01 de octubre de 2022 al 26 de octubre de 2023, mostrada en forma de rosa de vectores registrada en la Estación meteorológica ubicada en El Mogote en la bahía de La Paz. El número en el círculo indica el número de vectores (diarios) y la dirección predominante (cuadrantes). Los vectores en rojo indican los ejes principales promedio (máxima y mínima varianza del viento promedio).

El Promedio mensual de los parámetros climáticos medidos en la Estación Meteorológica ubicada en El Mogote, al sur de la bahía de La Paz durante 2023, se muestra en la figura 19. Los colores realzan los meses con los valores máximos de cada parámetro.

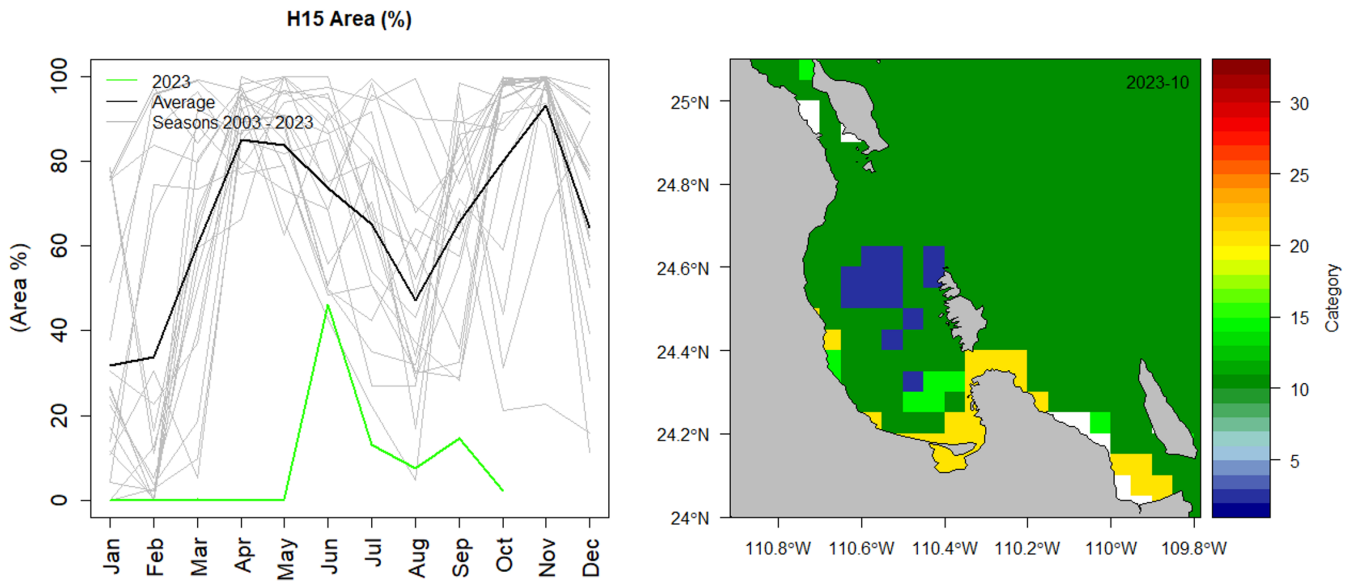
Parámetros climáticos promedio medidos en El Mogote, Bahía de La Paz, 2023													
Variables	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
T. Max. °C	20.9	19.9	23.3	26.0	26.8	30.6	31.9	32.6	32.6	32.7	30.1	24.5	27.7
T. Prom. °C	18.6	18.5	20.7	22.0	22.6	26.6	30.5	30.7	30.7	27.3	24.6	22.7	24.7
T. Min. °C	15.8	16.6	16.5	19.2	20.4	21.5	27.9	27.7	27.8	24.7	25.3	19.7	20.1
Hum. Max. %	78.0	79.5	72.0	72.0	73.0	73.2	76.3	80.9	82.5	87.0	78.0	74.0	79.0
Hum. Prom. %	69.0	66.8	61.7	60.0	62.1	59.4	61.2	68.8	64.9	69.0	68.0	67.0	64.0
Hum. Min. %	59.0	50.0	47.0	46.0	44.0	42.0	49.0	60.0	44.0	57.0	50.0	30.0	44.0
Vel. Viento Max. ms <sup>-1</sup>	8.2	7.2	4.0	5.3	6.0	5.6	5.5	8.4	5.1	6.9	2.0	2.5	5.5
Vel. Viento Prom. ms <sup>-1</sup>	3.6	3.6	2.6	3.5	4.0	3.5	4.2	4.1	3.8	2.6	1.2	1.3	3.2
Vel. Viento Min. ms <sup>-1</sup>	1.2	1.2	1.0	1.3	2.0	1.6	1.5	2.1	2.1	1.0	0.6	0.5	2.0

**Figura 19:** Parámetros climáticos promedio medidos en Estación El Mogote durante 2023.

### 3.5.3. 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 20a). 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

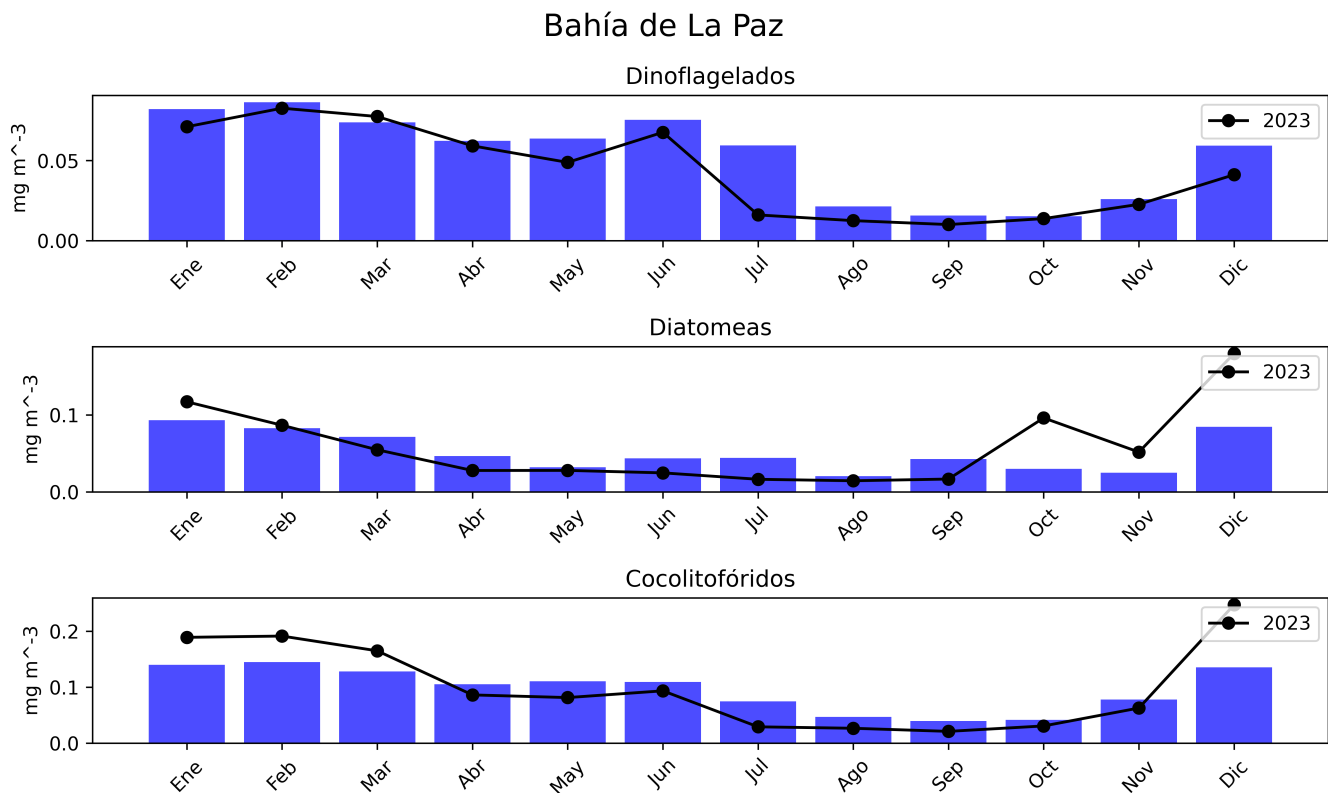
debajo del área que ha ocupado históricamente en promedio durante el mismo mes (78%). La contracción de H15 en lo que va de 2023 implica la presencia de aguas más frías y menor concentración de clorofila (figura 20). En octubre de 2023 H15 continúa colapsado, observándose un amplio predominio de H11 (>80%), caracterizado por temperatura superficial en torno a 22.94°C, 34.79 ups y clorofila 0.27 mg·m<sup>-3</sup>. 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 20b).



**Figura 20:** 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.

#### 3.5.4. 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 21. 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 diciembre 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 21:** Climatologías de la concentración de grupos fitoplanctónicos expresada en CLO en el agua de mar en Bahía de La Paz.

## 3.6. San Juanico, Golfo de Ulloa

### 3.6.1. Series de tiempo

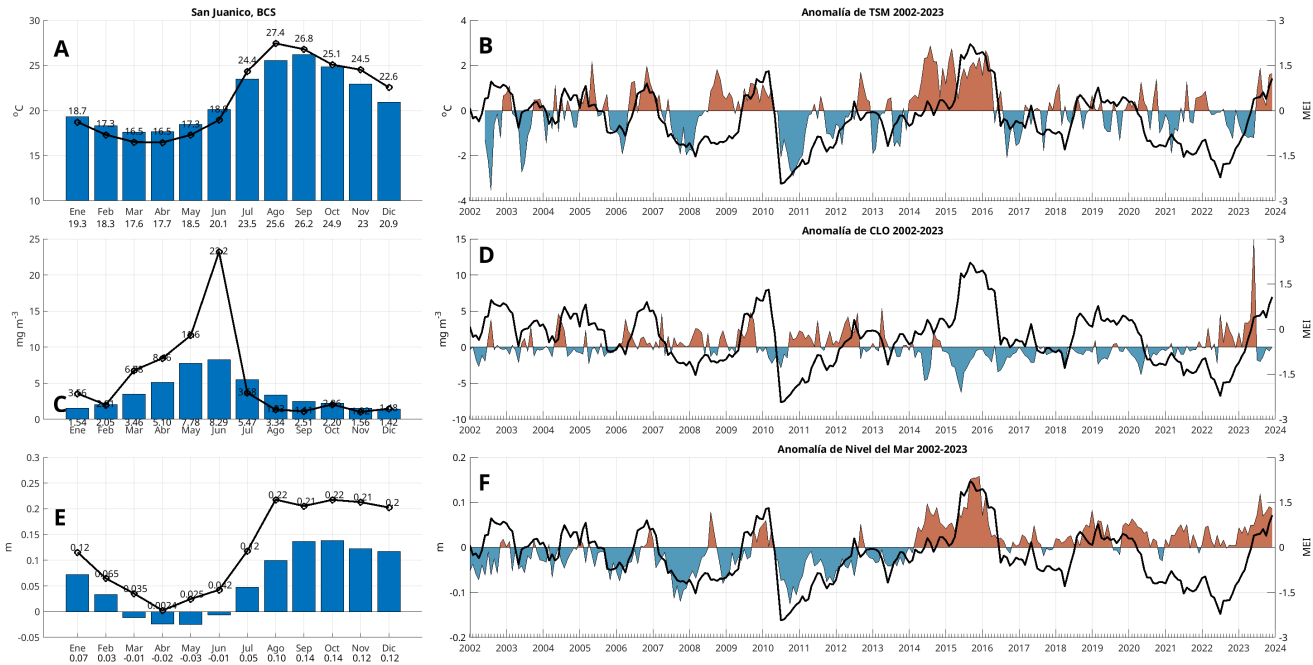
Las condiciones climatológicas y anomalías de TSM, CLO y ANM a lo largo del tiempo (2002-2023) para San Juanico se muestran en la figura 22. Los paneles A, C y E, muestran las climatologías mensuales, las líneas negras indican los valores en 2023 (hasta enero). Los paneles B, D y F muestran las anomalías a lo largo del tiempo, la línea negra indica los datos del MEI.

La TSM de julio a diciembre ha estado por encima de sus valores climatológicos, el valor registrado para enero fue de 22.6 °C, mientras que el valor climatológico para este mes es de 20.9 °C, es decir, una diferencia de +1.7 °C. Aunque la temperatura es menor que en noviembre, el mayor valor de anomalía registrado parece indicar la presencia de El Niño en la región del Golfo de Ulloa (figura 22 A y B).

De marzo a junio, la CLO tuvo valores por encima de sus climatologías mensuales, pero de julio a octubre tuvo valores por debajo de los promedios climatológicos. En enero el promedio fue de 1.48 mg m<sup>-3</sup>, ligeramente por encima de su valor climatológico de 1.42 mg m<sup>-3</sup> (figura 22 C y D).

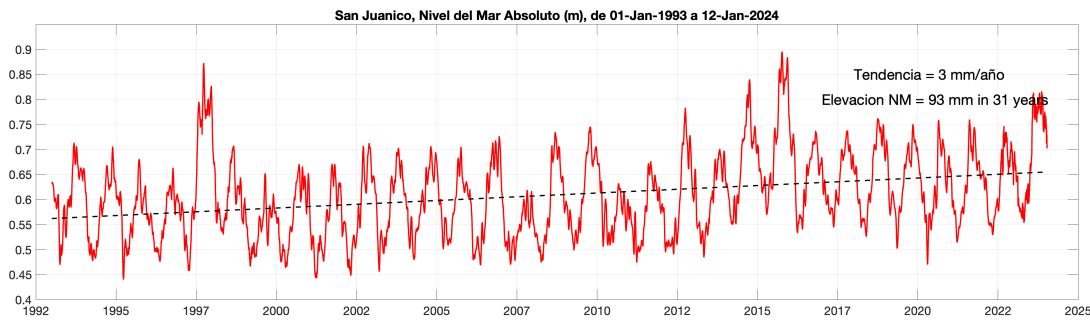
Los valores de la ANM han sido positivas durante todo el año. Particularmente de julio a diciembre presentan las anomalías positivas más grandes por encima de 0.05 m. En enero el valor

registrado es de 0.20 m, muy superior a al valor climatológico de 0.12 m (figura 22 E y F).



**Figura 22:** 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 enero 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 23 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 enero de 2024. La variación estacional consiste en la elevación del nivel del mar en el 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 también entre los máximos del registro por el evento El Niño más reciente que calentó la mayor parte del Pacífico Ecuatorial y Pacífico Tropical Tropical, causando la elevación del nivel del mar que se reporta aquí. Esta variable también contiene el incremento del nivel del mar debido al calentamiento global que, en esta localidad tiene una tendencia de 3 mm/año, para un total de 93 mm en los 31 años de registro. Esta es la tendencia más pronunciada de los 3 sitios que reportamos aquí.

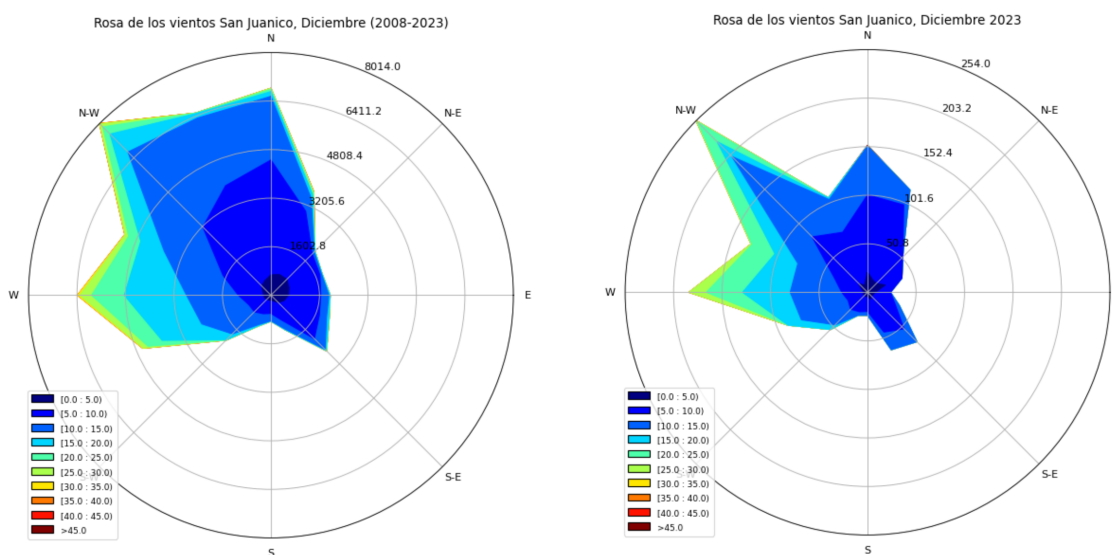


**Figura 23:** Nivel del mar absoluto (m) en San Juanico, costa pacífico norte de BCS. Inicia en enero de 1993 y termina en enero de 2024. Incluye el nivel del mar con referencia al Geoid. Incluye la tendencia de largo período debida a calentamiento global.

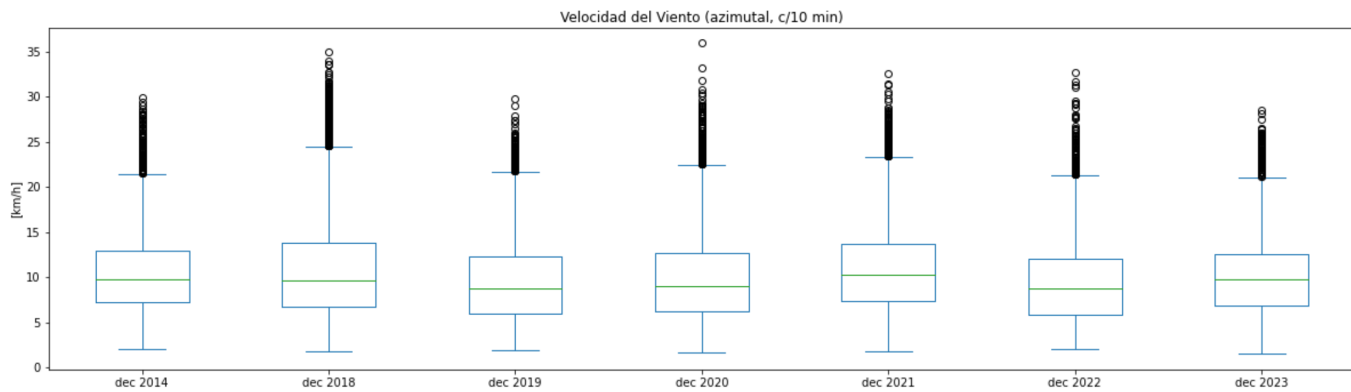
### 3.6.2. Viento (VTO) *in situ*

En San Juanico, las observaciones del viento *in situ* registradas durante el mes de diciembre de 2023 muestran una distribución más definida, en comparación con climatología (2008-2023), de los vientos provenientes del oeste (W), noroeste (NW) y norte (N) (figura 24). Podemos observar que los vientos provenientes del NW fueron los más dominantes durante el transcurso del mes y las intensidades no rebasaron los 30 km/h de acuerdo con este gráfico.

Los gráficos de caja muestran que la intensidad del viento *in situ* durante diciembre en la estación San Juanico tiene una distribución de valores muy próxima a una distribución normal con mediana cercana a los 10 km/h y valores extremos recurrentes durante la última década (figura 25, *outliers*). En general, estos valores atípicos en la intensidad del viento (*outliers*) no superan los 35 km/h, y para 2023, los valores son menores a los 30 km/h tal y como se mencionó anteriormente.



**Figura 24:** Climatología vs. observaciones de la dirección e intensidad de los vientos en la estación San Juanico durante el mes de diciembre de 2023.



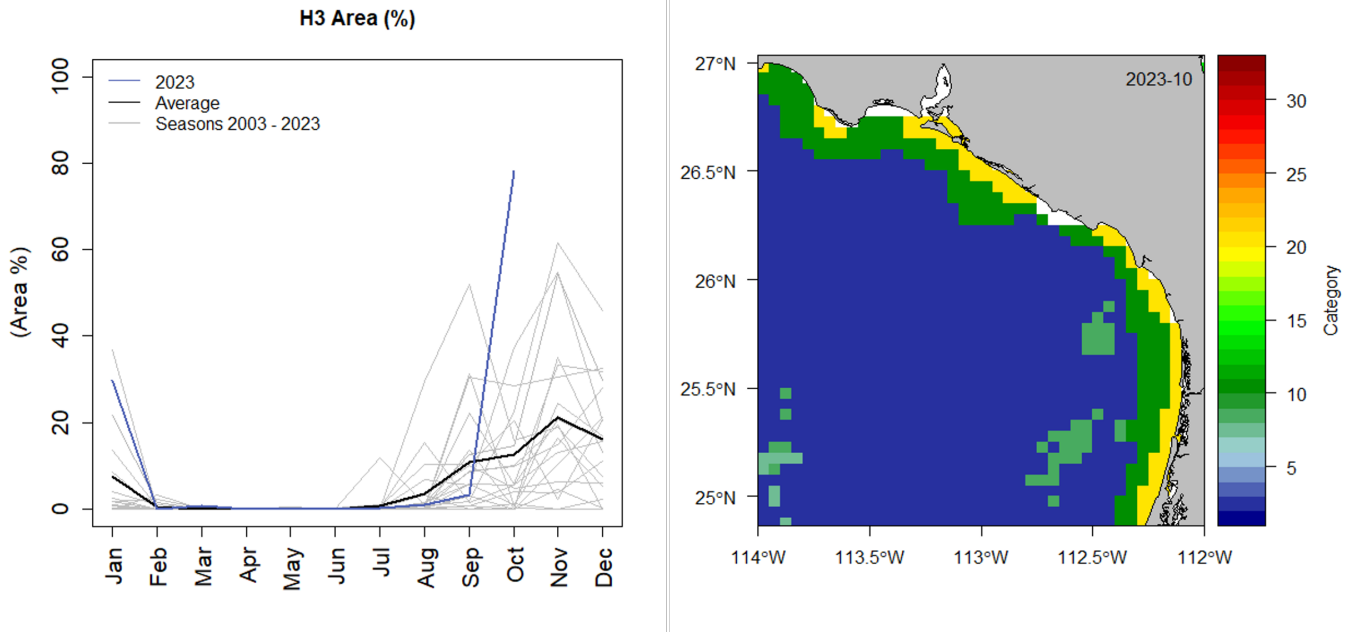
**Figura 25:** Análisis de caja de la intensidad de los vientos en la estación San Juanico durante diciembre 2023. Los círculos en negro representan los valores de viento atípico, generalmente más intensos que el promedio, ocurridos durante el mes (*outliers*). Es de notarse que durante la última década, diciembre es un mes con valores atípicos recurrentes entre los 20 y 35 km/h.

### 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. La transición de H17 a H21 conlleva un ligero incremento en temperatura (22.54°C), salinidad (34.46 ups) y clorofila (2.09 mg·m<sup>-3</sup>). En condiciones promedio, H15 se expande del 16% en mayo-junio, al 40% en septiembre-octubre (figura 26a).

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 26a). 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 26). 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°C) y clorofila (<0.84 mg·m<sup>-3</sup>). El mapa muestra como H21 y H11 se encuentran restringidos a la costa, sugiriendo mayor concentración de clorofila (~2.09 mg·m<sup>-3</sup>), en contraste con casi el 80% cubierto por H3 con bajas concentraciones (~0.15 mg·m<sup>-3</sup>; figura 26b).

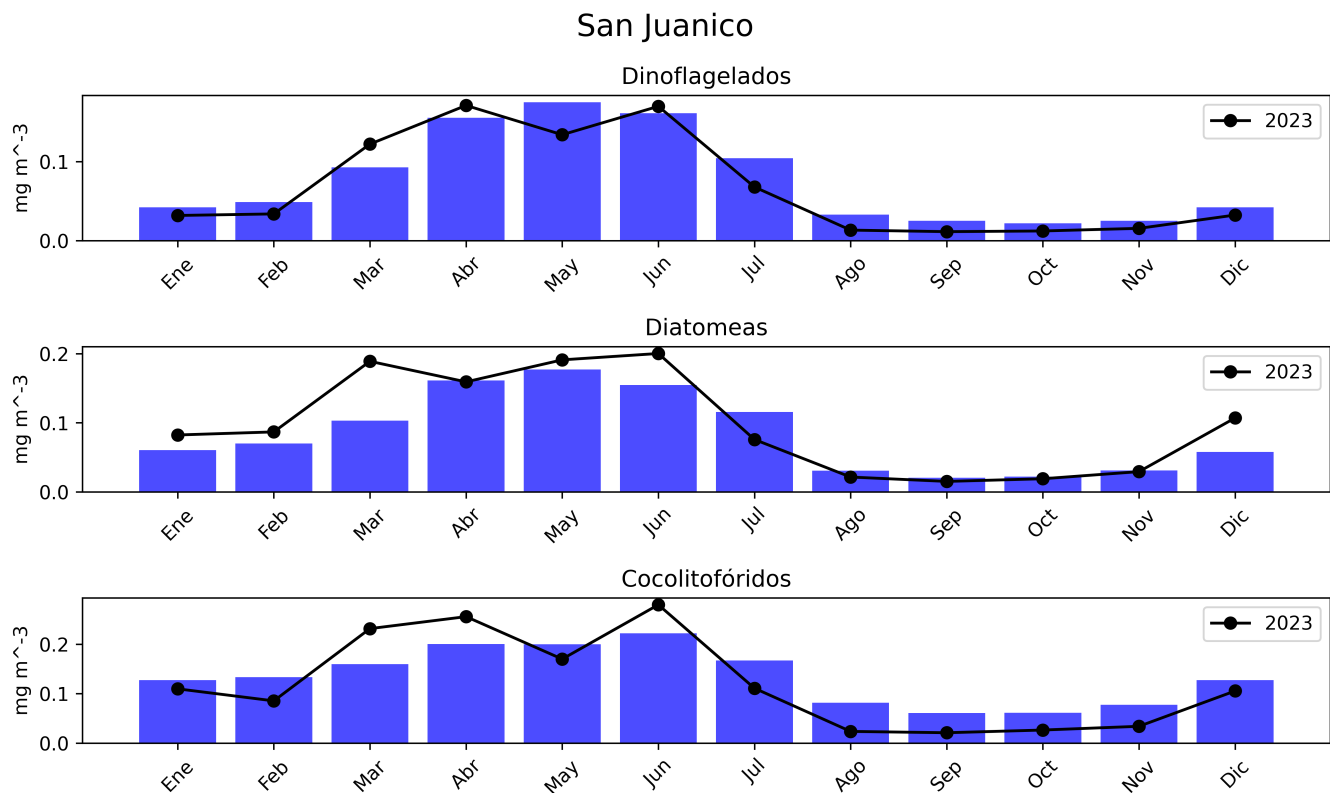




**Figura 26:** Paisaje Pelágico en el Golfo de Ulloa. a) Panel izquierdo: Comportamiento estacional (2003-2023) del hábitat dominante H17 en el Golfo de Ulloa. b) Panel derecho: Distribución espacial de los hábitats pelágicos en el Golfo de Ulloa durante octubre de 2023.

### 3.6.4. 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 27. 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 diciembre de 2023. Estos datos revelan un ciclo estacional pronunciado en verano, abarcando desde abril hasta julio.



**Figura 27:** Climatologías de la concentración de grupos fitoplanctónicos expresada en CLO en el agua de mar en San Juanico.

### 3.6.5. Precipitación en Baja California Sur en 2023

La lluvia o precipitación acumulada reportada durante el 1 de enero a 31 de diciembre de 2023 se muestra en el cuadro 1. Dependiendo de la localidad en el estado, la lluvia se ubicó con un mínimo de 59.2 mm (Gustavo Diaz Ordaz) hasta un máximo de 660.8 mm (San Bartolo). Tomando en cuenta los reportes de estaciones climatológicas de la Comisión Nacional del Agua y de sus datos históricos, es posible determinar los patrones que siguieron las estaciones. Por ejemplo, Gustavo Díaz Ordaz, Loreto, Ciudad Constitución y San José del Cabo recibieron menos lluvia comparado con lo normal (cuadro 1 valores en rojo), mientras que estaciones en y alrededor de La Paz recibieron cantidades entre 199–250 mm mayores a lo normal. Esto se debió a la contribución de los ciclones tropicales Hilary (18–20 de agosto) y Norma (21–23 de octubre) (figura 28), además de eventos individuales donde sistemas convectivos intensos se desarrollaron durante los meses de verano. Hilary fue un huracán categoría 4 (231 km/h su viento máximo) que pasó por la costa cerca de Guerrero Negro, mientras que Norma (categoría 4 también, 213 km/h) entró a tierra, alrededor de Todos Santos, mientras se desplazaba hacia el Golfo de California. En ambos casos hubo daños a la infraestructura de comunicaciones y poblaciones del estado por lluvia intensa, además del impacto del viento moderado a intenso. Asociado a estos factores, se emitió una declaratoria de desastre por inundación, lluvia severa y viento fuerte en dos municipios (La Paz y Los Cabos) por Norma. [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?odigo=5707833&fecha=07/11/2023#gsc.tab=0](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?odigo=5707833&fecha=07/11/2023#gsc.tab=0).

Localidad	Latitud	Acumulado (mm)	Histórico anual (mm)	Diferencia (mm)
Guerrero Negro	28.0	100.5	77.9	22.6
Gustavo Díaz Ordaz	27.6	59.2	104.4	-45.2
Santa Rosalía	27.3	270.0	110.8	159.2
Mulegé	26.9	155.4	115.6	39.8
Loreto	26.0	78.4	163.1	-84.7
Ciudad Constitución	25.0	146.2	155.8	-9.6
La Paz	24.1	523.3	174.9	348.4
El Sargento	24.1	353.0	153.5	199.5
Los Planes	24.0	405	178.0	227.0
San Antonio	23.8	715.6	450.8	264.8
Todos Santos	23.4	276.3	174.5	101.8
San Bartolo	23.7	660.8	358.4	302.4
Los Barriles	23.6	383.0	294.2	88.8
La Ribera	23.6	300.5	233.2	67.3
Santiago	23.5	335.8	335.0	0.8
San José del Cabo	23.1	219	223.8	-4.8
Cabo San Lucas	22.9	379.5	208.4	171.1

**Cuadro 1:** Precipitación acumulada en diversas localidades de Baja California Sur durante 2023 (A partir de estaciones climatológicas de la Comisión Nacional del Agua)



**Figura 28:** Trayectoria de los ciclones tropicales Hilary (18–20 de agosto) y Norma (21–23 de octubre) de 2023.

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

El mes de diciembre de 2023 presentó una temperatura promedio de 19.8 °C (figura 29), valor que se ubicó por arriba del promedio histórico (datos 1981-2017) del mismo mes. Asimismo, al comparar los promedios mensuales de las temperaturas máximas y mínimas registradas en diciembre con respecto a los promedios históricos, se observaron anomalías positivas (figura 30); en el caso de la temperatura mínima la anomalía fue de 0.5 °C, mientras que en la temperatura máxima el valor de la anomalía fue de 3.0 °C.

Con la visión completa del comportamiento de las medias de la temperatura en el año 2023 mostrados en las figuras 29 y 30, resaltan las anomalías positivas de julio y agosto, el descenso pronunciado que presentaron las temperaturas en septiembre y los valores por arriba de los promedios para los meses de octubre, noviembre y diciembre.

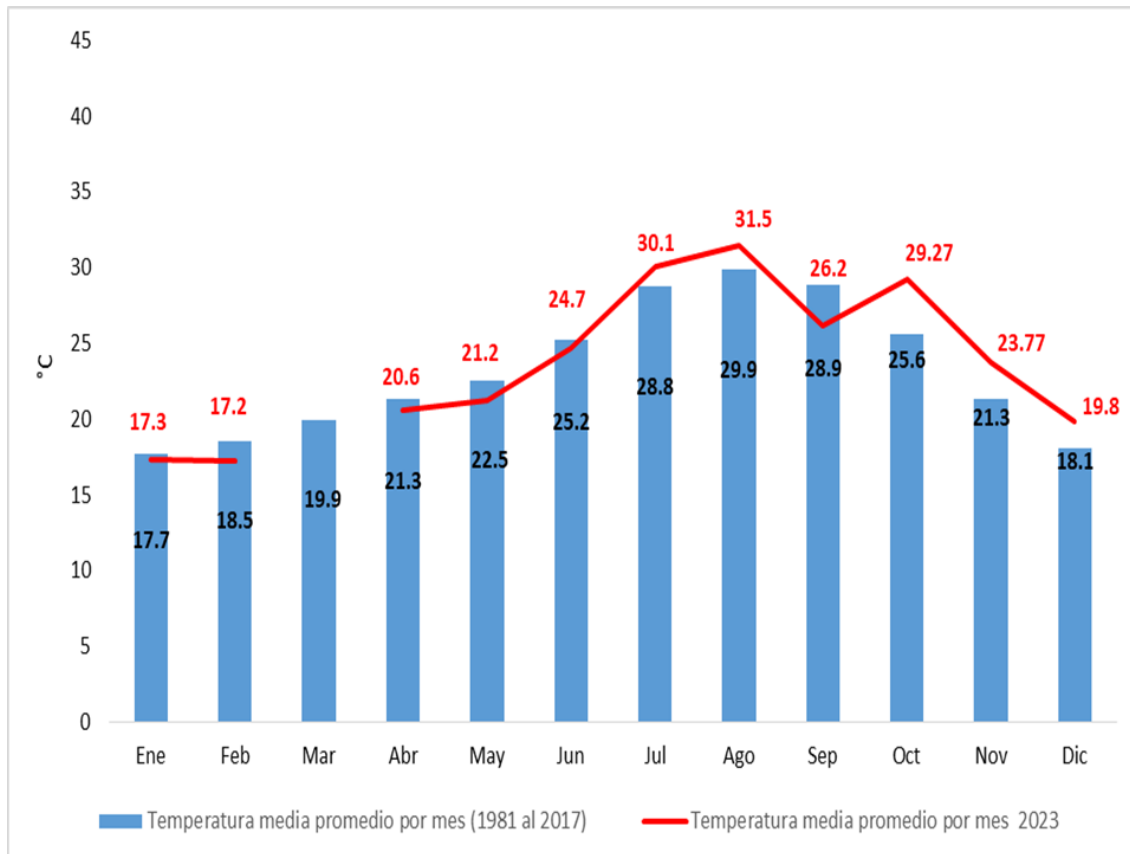
Por otra parte, monitorear las temperaturas en las que se desarrollan los cultivos resulta de gran relevancia, ya que el comportamiento de esta variable incidirá sobre el crecimiento vegetal y la producción final del cultivo de interés. Adicionalmente, recopilar información de temperatura, procesarla y analizarla de manera conjunta con datos espacios-temporales de cultivos, permite soportar decisiones de manejo que favorecen la productividad y la eficiencia en la utilización de recursos naturales limitados como el agua utilizada en la agricultura.

Para ejemplificar lo anterior, a continuación compartimos resultados que obtuvo el Laboratorio de Sensores Remotos y Vehículos Autónomos no Tripulados (SERVANT) de CICESE-ULP en conjunto con el Campo Experimental Todos Santos del INIFAP, derivado del monitoreo de la temperatura ambiental en parcela experimental del cultivo de garbanzo y de la determinación a la vez de la temperatura del dosel de plantas sometidas a diferentes tratamientos de riego utilizando cinta de goteo (figura 31).

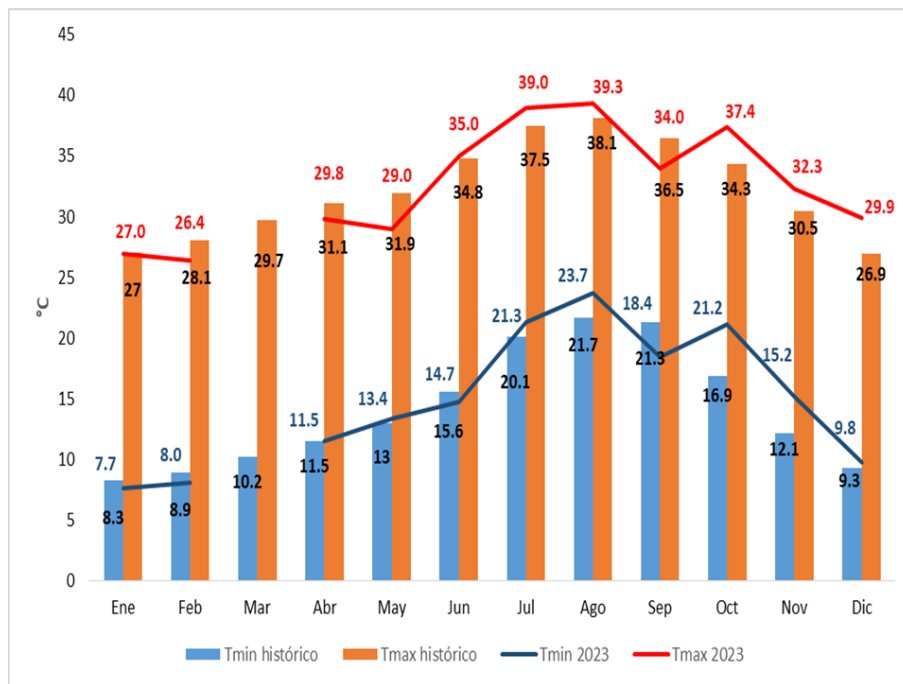
Con los datos temperatura de dosel de plantas bajo tratamientos variantes de riego (óptimo y deficitario) y restando la de temperatura ambiental se determinaron valores de la depresión de la temperatura del dosel (DTD) (Kumar et al., 2017) por etapa de desarrollo del cultivo en el año 2022. Cabe señalar que la DTD es un indicador que se relaciona con nivel hídrico del cultivo, donde valores altos se relacionan a plantas con condiciones deficientes de humedad con sus correspondientes consecuencias productivas (Hou et al., 2019). A la cosecha, aquellas plantas de garbanzo que presentaron valores bajos en DTD, como promedio de tres muestreos realizados en el ciclo de vida del cultivo, resultaron con un mejor rendimiento de grano (figura 32); se determinó que por cada grado centígrado de aumento en la DTD el rendimiento de grano se redujo en 220 kg ha<sup>-1</sup>. Asimismo, se identificaron aquellos tratamientos que ahorraron hasta un 14 por ciento de agua con respecto al nivel de riego de óptimo utilizado (28.3 cm) y sin cambios significativos en el rendimiento de grano.

La implementación de estas evaluaciones busca contar con elementos para la toma oportuna de decisiones de manejo agronómico para mejorar la productividad del cultivo y el uso eficiente del recurso agua.

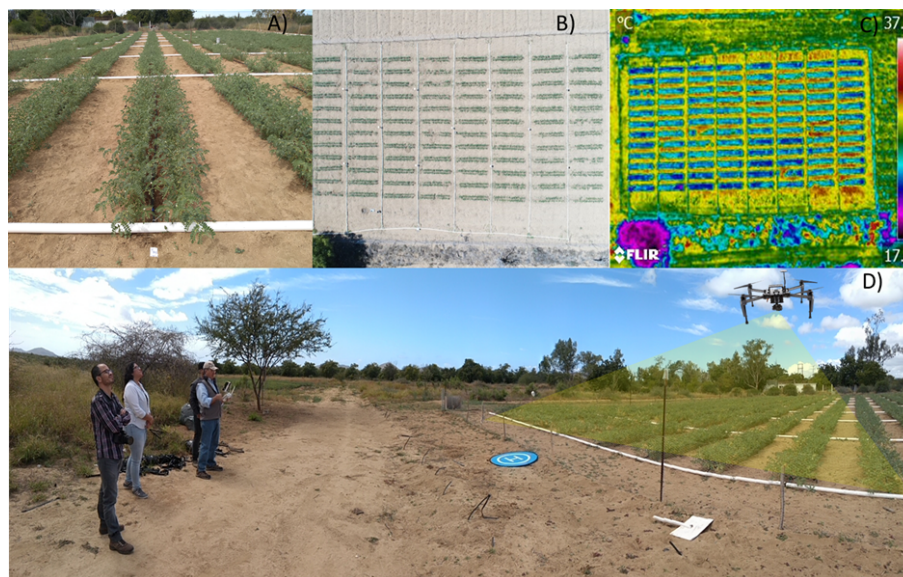
Si te interesa conocer más detalles de esta evaluación, contáctanos.



**Figura 29:** Comparativo de los promedios mensuales de la temperatura media (periodo 1981-2017) con respecto a los registrados en 2023. Registros 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. Marzo de 2023 sin datos.

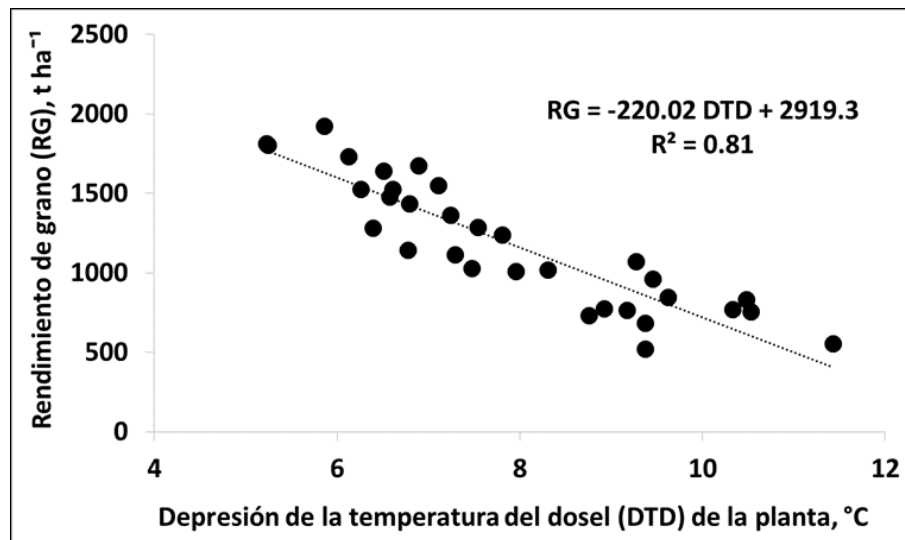


**Figura 30:** Comparativo entre los promedios de temperaturas máximas y mínimas históricas (1981-2017) con respecto a los promedios presentados en 2023. Registros proporcionados por el observatorio meteorológico no. 3132 del Servicio Meteorológico Nacional - Comisión Nacional del Agua localizado en el Valle de Santo Domingo (25.00° Latitud N, -111.64° Longitud Oeste), Ciudad Constitución, Comondú, México. Marzo de 2023 sin datos.



**Figura 31:** A) Parcela experimental de evaluación de tratamientos de irrigación en el cultivo de garbanzo. B) Vista aérea de la parcela. C). Imagen térmica obtenida con cámara Zenmuse XT FLIR system montada en dron Matrice 100 de DJI. D). Personal investigador realizando vuelo de drones para captura de imágenes.





**Figura 32:** El rendimiento de grano del cultivo de garbanzo se ve afectado por el aumento en la depresión de la temperatura del dosel de plantas.

## 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 geode 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>.

Hou, M., Tian, F., Zhang, T., and Huang, M. 2019. Evaluation of canopy temperature depression, transpiration, and canopy greenness in relation to yield of soybean at reproductive stage based on remote sensing imagery. *Agricultural Water Management*, 222, 182-192. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.06.005>.

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.

Kumar, M., Govindasamy, V., Rane, J., Singh, A., Choudhary, R., Raina, S., George, P., Aher, L., and Singh, N. 2017. Canopy temperature depression (CTD) and canopy greenness associated with variation in seed yield of soybean genotypes grown in semi-arid environment. *South African Journal of Botany*, 113, 230-238. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2017.08.016>.

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>.