



Boletín Oceanográfico de BCS, mayo de 2024

Elaborado por: Dr. Eduardo González Rodríguez¹, Dr. Armando Trasviña Castro², Dr. Romeo Saldívar-Lucio², Dr. Jorge Cortés Ramos³, Dr. José Denis Osuna Amador⁴, Dr(c). Cotsikayala Pacheco Ramírez⁵, Dr. Hugo Herrera Cervantes², Dr. Luis Manuel Farfán Molina⁶ y Dr. Carlos Robinson M.⁷

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

PUBLICADO EN JUNIO DE 2024, No. 10

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)	23
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	
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

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.

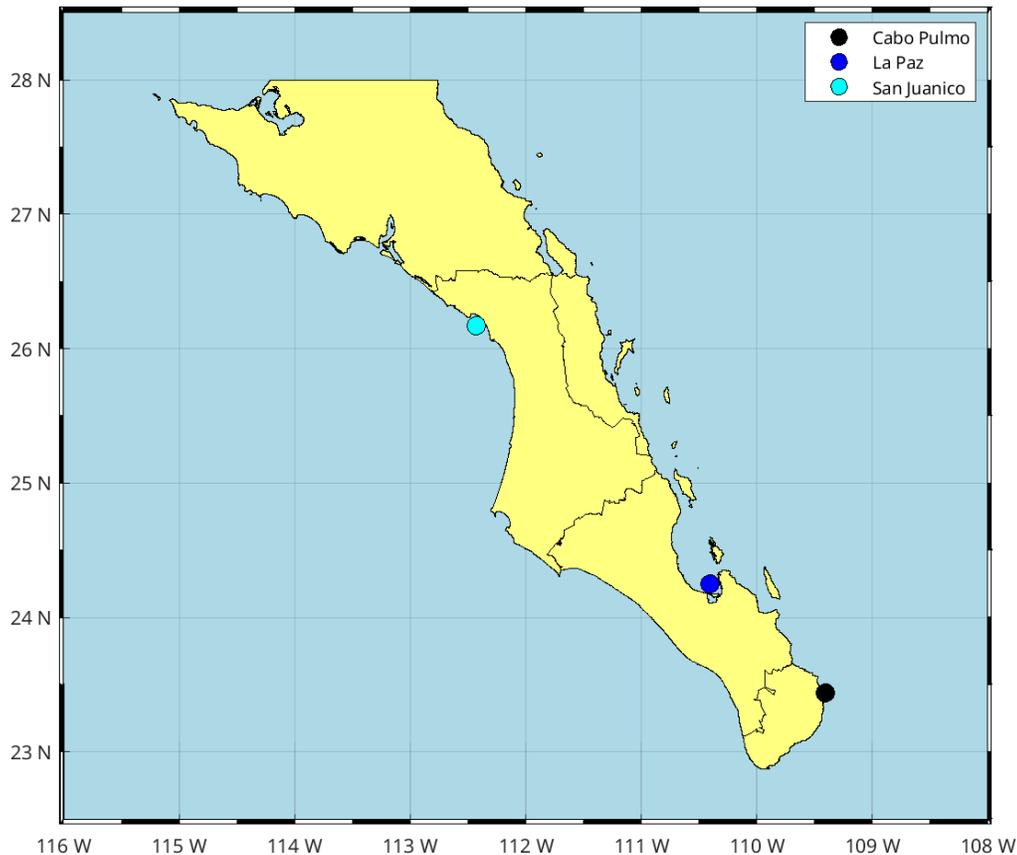


Figura 1: Zona de interés, región oceanográfica de Baja California Sur. Los círculos de colores marcan sitios para el análisis de series de tiempo.

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_a 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 μm . 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 4×4 km (Garnesson *et al.*, 2019) (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).

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 μm . 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).

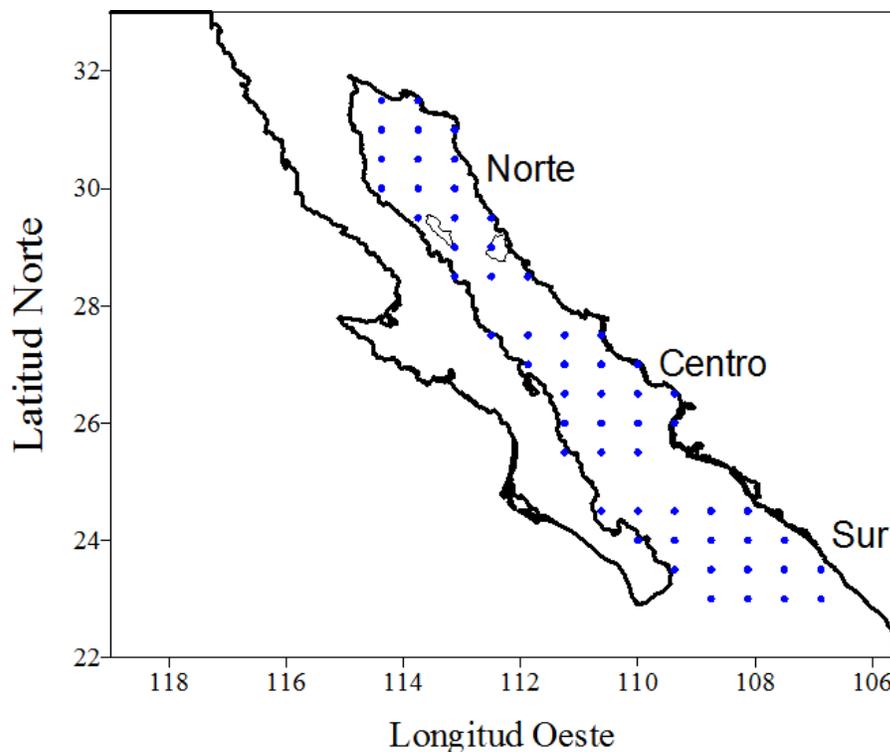


Figura 2: Posición de las celdas en la zona norte, centro y sur provenientes de MERRAS para el cálculo de temperatura del aire a 10 m de altura.

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.

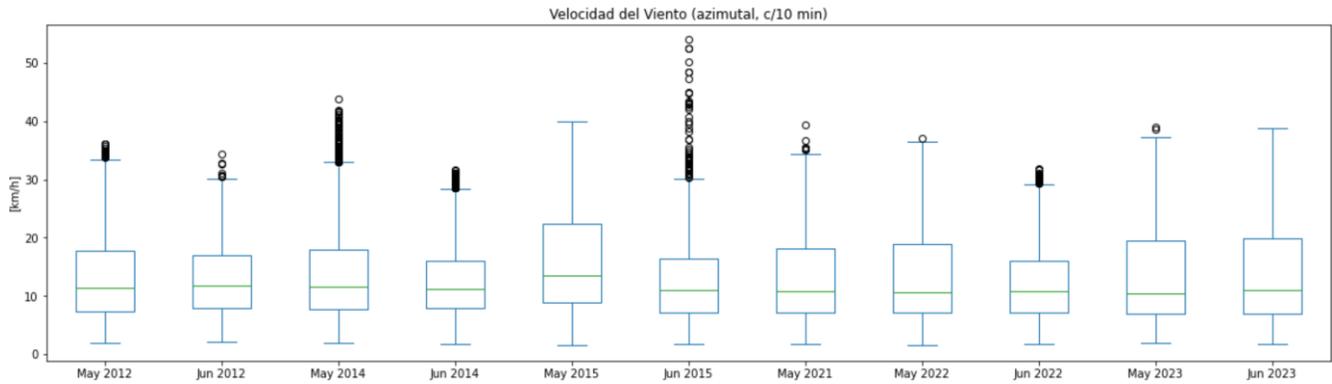


Figura 3: Ejemplo de un gráfico de cajas para los meses de mayo y junio en años selectos del periodo 2012-2023 en la EMA San Juanico. Durante el mes de junio de 2015 el número de valores considerados como *outliers* o valores atípicos aumentó considerablemente debido a la influencia de la tormenta tropical 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° de latitud norte y los 108° y 116° 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) 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 km². Las categorías o hábitats pelágicos dominantes fueron identificadas como aquellas con la mayor extensión total (km²) 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)

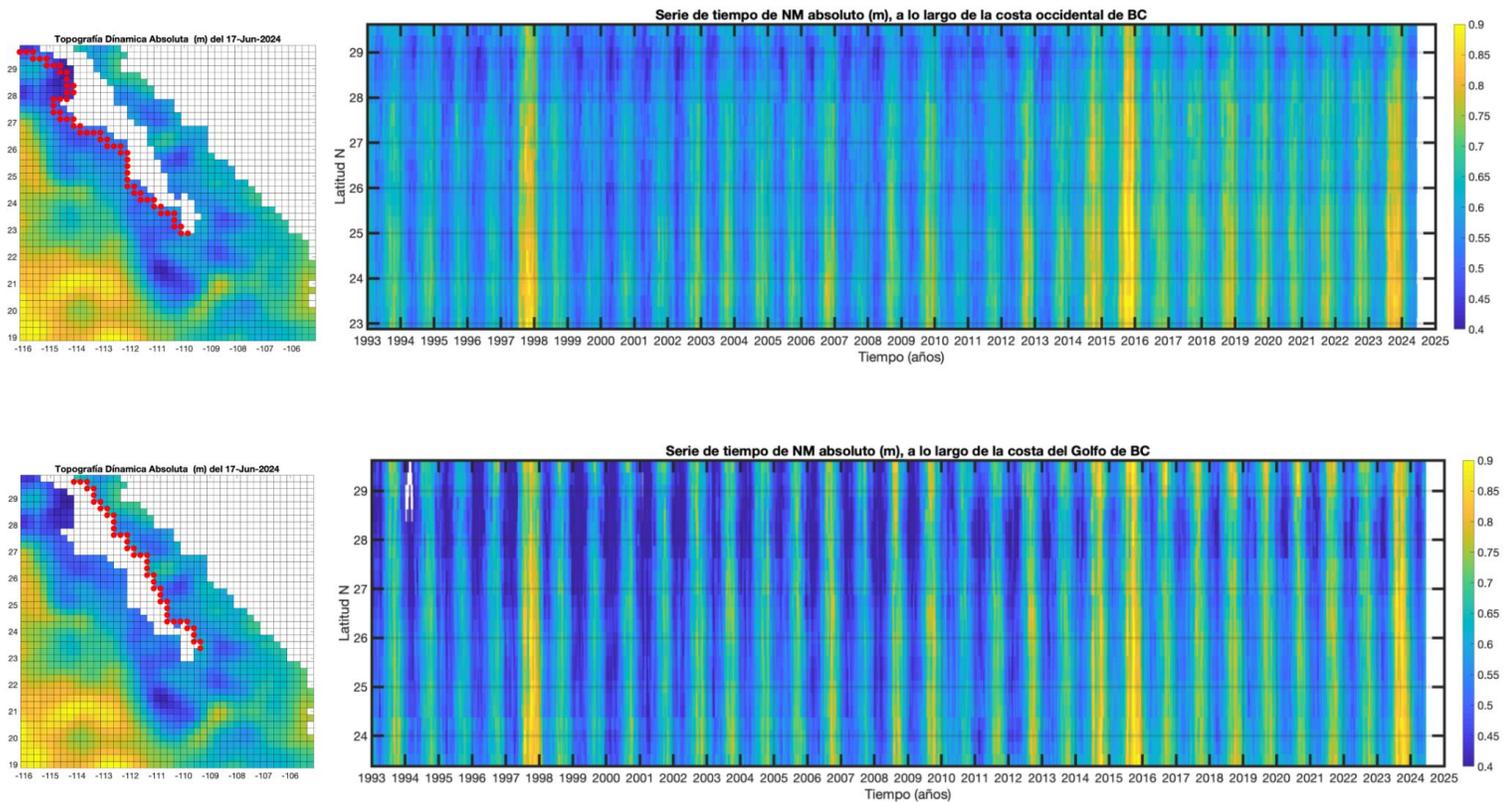


Figura 4: Evolución del nivel del mar (NM absoluto) a lo largo de las dos costas de la península de BC desde enero de 1993 hasta junio de 2024. Arriba: costa Occidental; abajo: costa del Golfo de California.

Esta sección muestra la evolución del nivel del mar absoluto (NMA) a lo largo de la costa (figura 4). Las unidades son metros (m) y destacan los máximos que corresponden a eventos cálidos, en tonos amarillos. Por ejemplo, el Niño de 1997-1998, el *Blob* cálido de 2014, el Niño de 2015 (en amarillo) y el Niño de 2023 que alcanza una elevación anómala comparable con la del 2015. Este año de 2023, es más intensa (más amarilla) en el interior del Golfo de California (panel inferior) que en la Costa Occidental (panel superior). En invierno, en la

costa del Golfo de California (panel inferior) el nivel del mar desciende más que en la Costa Occidental, por esto los tonos azules más intensos en el panel inferior. En el primer semestre de 2024, ambas costas muestran el descenso del nivel del mar que inicia en invierno (tonos azules), aún intenso en la costa del Golfo de California en junio de 2024. También es evidente que en el norte del golfo los máximos extremos (> 0.85 en amarillo) se han vuelto comunes de 2014 a la fecha. El mapa de la zona muestra el campo de nivel del mar de junio de 2024.

3.2. Mapas de distribución mensual

3.2.1. Anomalías de nivel del mar (ANM)

Las condiciones de ANM durante el mes de mayo de 2024 se muestran en la figura 5. El mapa del panel **A** muestra las anomalías máximas registradas, cuyo rango se ubicó entre -0.02 y 0.16 m. El panel **B** muestra las anomalías mínimas, cuyo rango estuvo entre -0.10 y 0.09 m. El panel **C** muestra la diferencia entre anomalías máximas y mínimas (**A** - **B**) durante este mes, el valor máximo fue de 0.18 m, ligeramente inferior respecto a abril. 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 -0.05 y 0.11 m, ligeramente inferior respecto a abril. En general, los valores de este mes indican un nivel del mar ligeramente menor (0.05 m) al de abril. Las anomalías están muy cerca del valor promedio en toda la región, lo que indica un mes muy similar al mes climatológico.

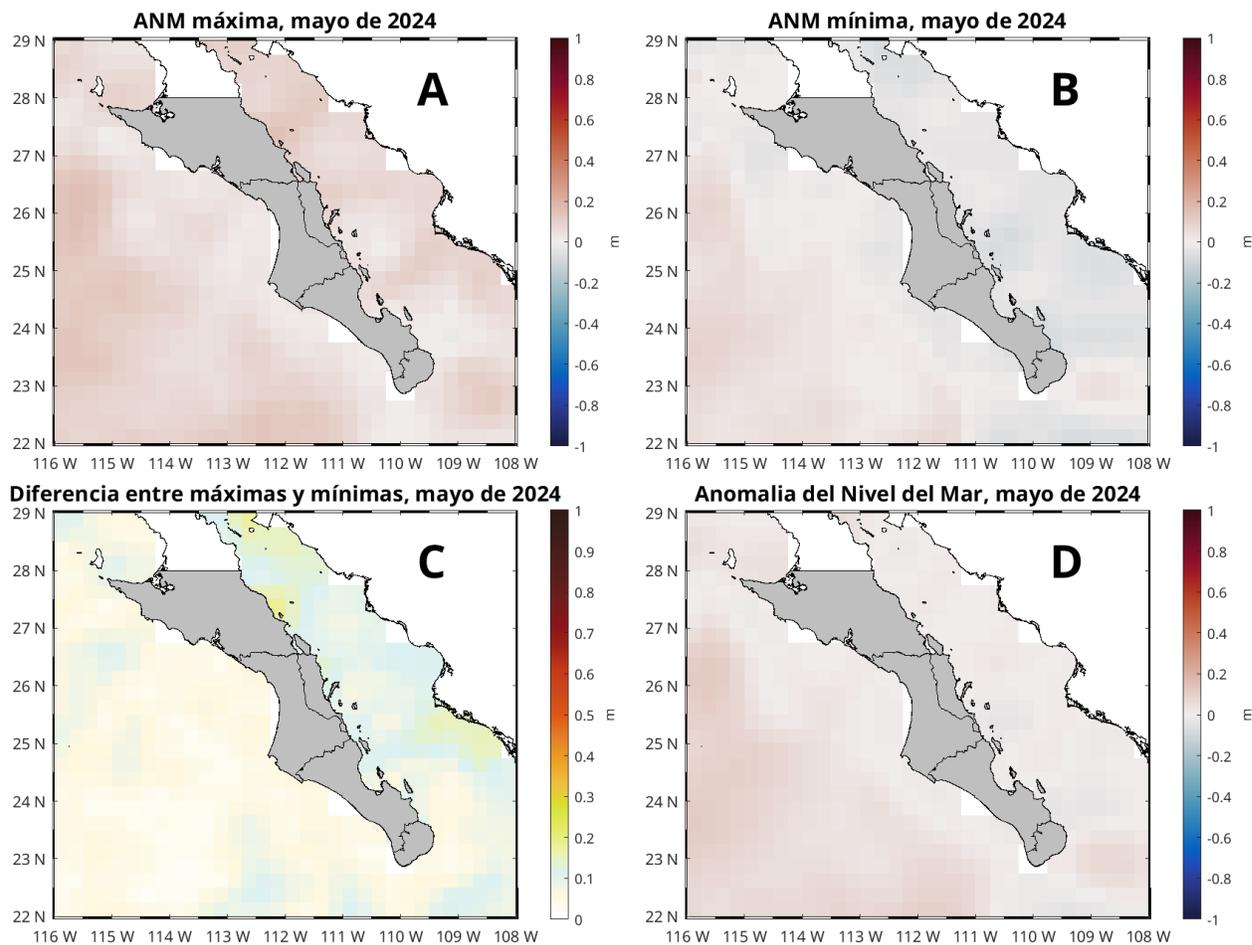


Figura 5: Condiciones de ANM durante el mes de mayo de 2024. Panel **A**, niveles máximos, **B** niveles mínimos, **C** diferencia entre máximos y mínimos y **D** anomalía.

3.2.2. Clorofila superficial (CLO)

Las condiciones de CLO durante el mes de mayo 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 $64.0 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$, superior a abril en $5 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$. El panel **B** muestra las concentraciones promedio, cuyo rango estuvo entre 0.07 y $19 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$, superior en $5 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ respecto a abril. El panel **C** muestra la diferencia entre concentraciones máximas y mínimas (imagen no mostrada) durante este mes, cuyo valor máximo es de $63 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$, lo que representa un aumento de $5 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ 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 -

10.2 y 11.3 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$, rango mayor en 7 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ respecto a abril. En general, toda la región costera tuvo valores, considerados altos, sobre todo en los valores máximos. Las aguas del golfo fueron particularmente productivas en la costa continental durante mayo, con pocas regiones con valores cercanos a 0 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$. En vista de que hubo valores máximos cercanos a los 65 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$, 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.

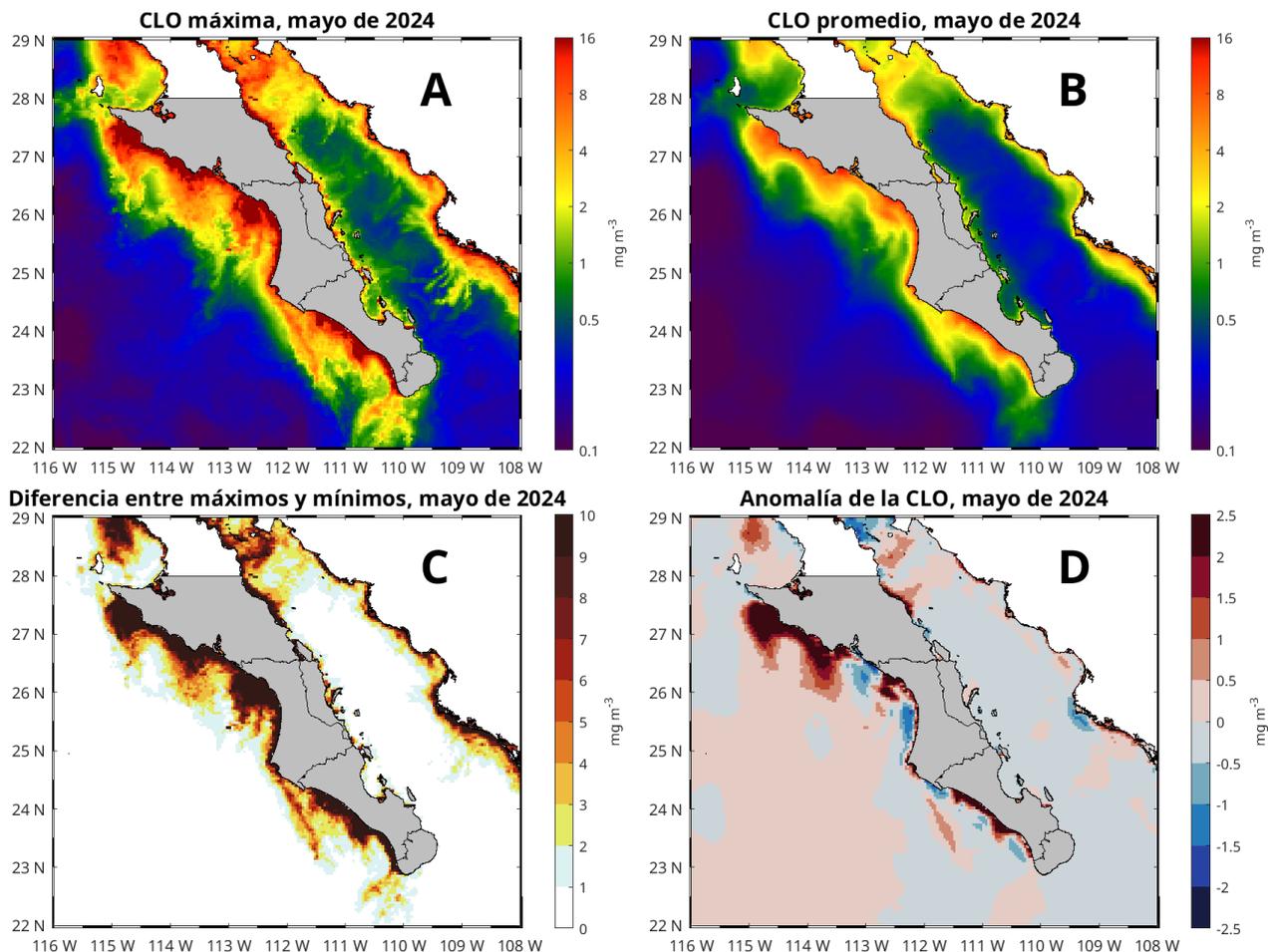


Figura 6: Concentraciones de CLO durante el mes de mayo de 2024. Panel **A**, máximas, **B** promedio, **C** diferencia entre concentraciones máximas y mínimas y **D** anomalía.

3.2.3. Temperatura Superficial del Mar (TSM)

Las condiciones de TSM durante el mes de mayo de 2024 se muestran en la figura 7. El mapa del panel **A** muestra las temperaturas máximas registradas, cuyo rango se ubicó entre 16.2 y 28.7 °C, superior en 2.8 °C en comparación a abril. El panel **B** muestra el promedio de temperatura, cuyo rango estuvo entre 15.5 y 26.4 °C, 2.8 °C mayor que en abril. El panel **C** muestra la diferencia entre

máximos y mínimos (imagen no mostrada) durante este mes, cuyo valor más alto fue de 6.4 °C, prácticamente 4 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 -1.7 y 1.6 °C, con anomalías ligeramente mayores al mes anterior. En términos generales, mayo fue un mes tres grados más cálidos que abril. Las anomalías fueron + 0.5 °C dentro del golfo y -0.5 °C en la costa occidental.

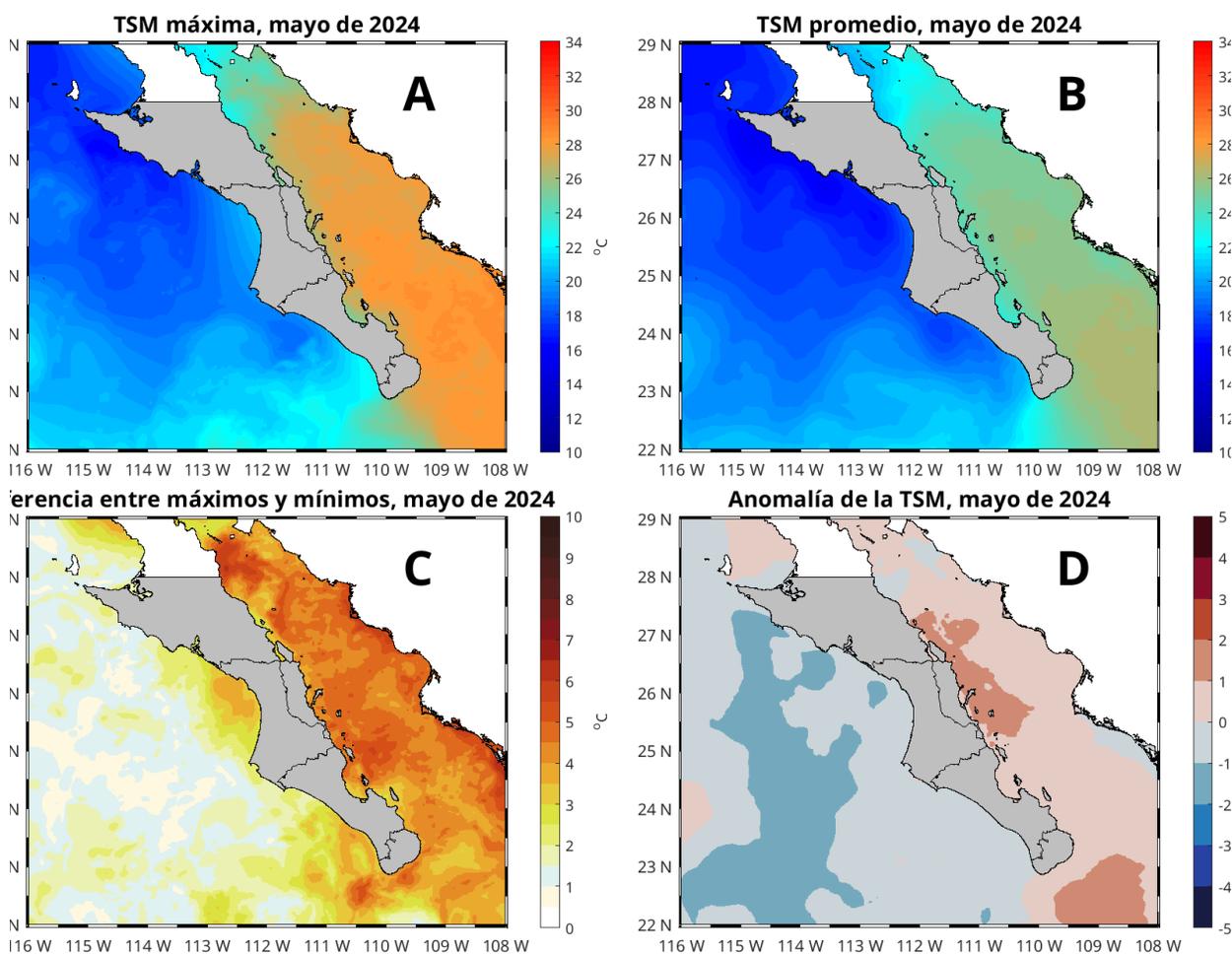


Figura 7: Condiciones de TSM durante el mes de mayo de 2024. Panel **A**, máximos, **B** promedio, **C** diferencia entre máximos y mínimos, **D** anomalía.

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.

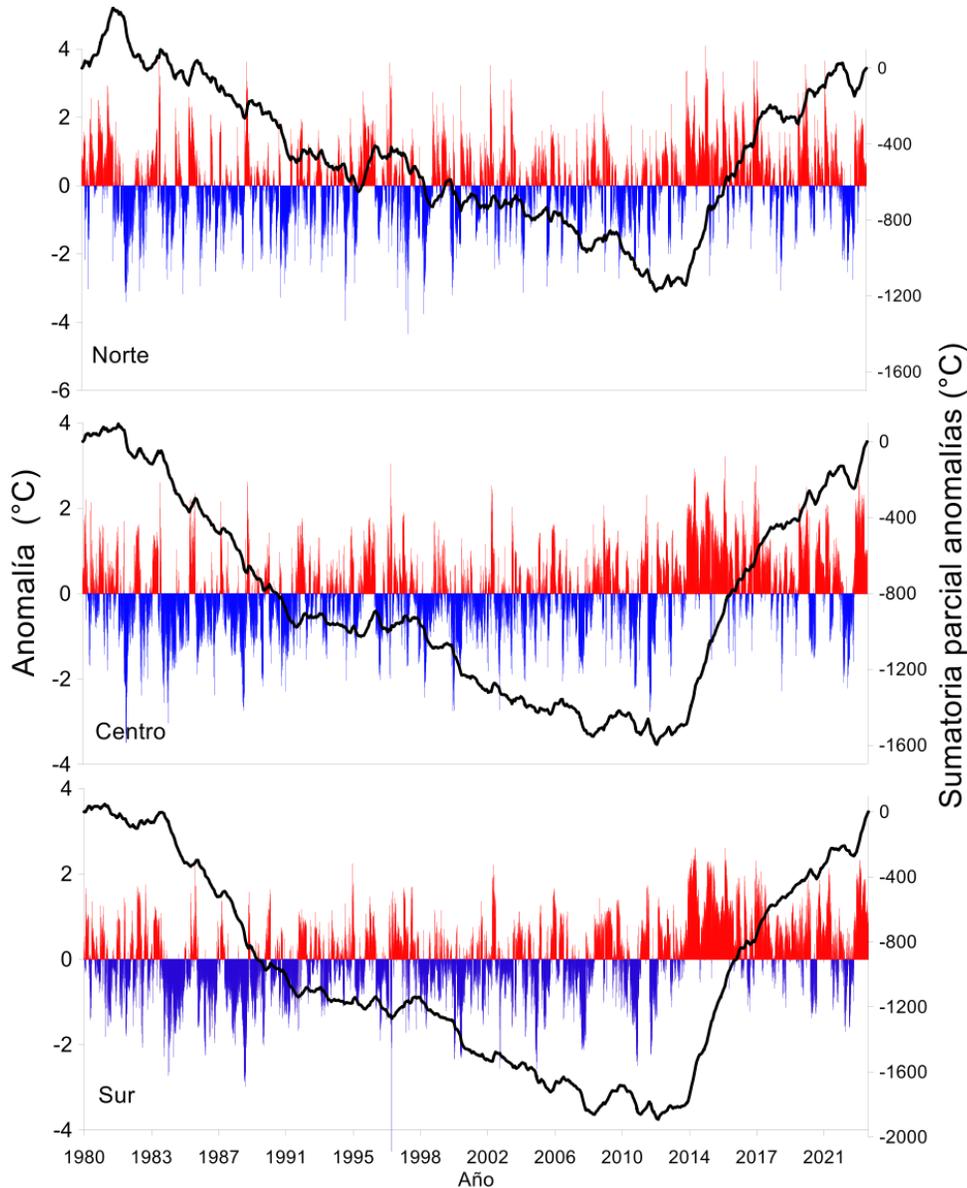


Figura 8: Anomalías mensuales de temperatura a 10 m en grados Centígrados (barras) y sumatoria parcial de las anomalías (línea continua) en las zonas norte, centro y sur del Golfo de California.

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 mayo). 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).

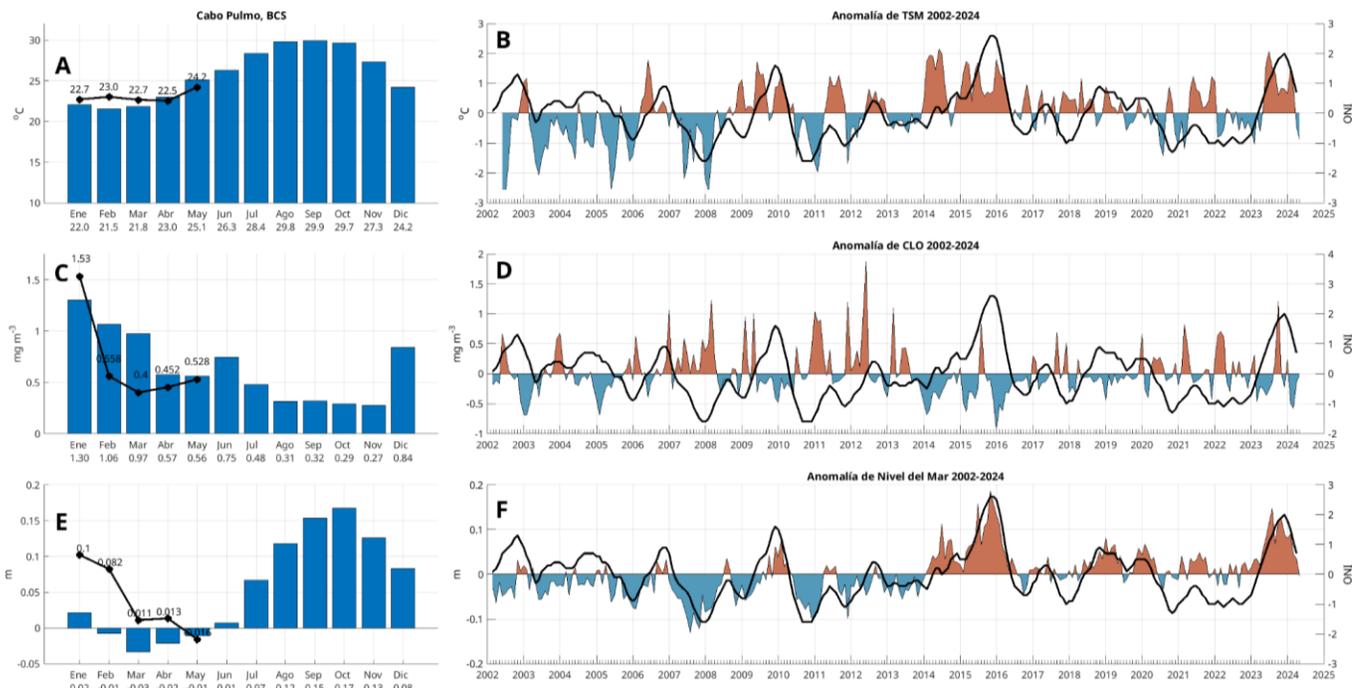


Figura 9: Climatologías mensuales y anomalías interanuales de TSM, CLO y ANM durante mayo de 2024 para Cabo Pulmo. Las barras azules en los paneles **A**, **C** y **E** son las climatologías mensuales de cada variable. Los números en la base de las barras indican los valores de cada mes. Los círculos negros y el valor numérico indican los valores mensuales de 2024 hasta mayo. 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 mayo de 2024 un valor promedio de 24.2 °C, inferior en 0.9 °C en comparación con su valor climatológico de 25.1 °C, mayor en 1.7 °C respecto a abril. El valor mensual más reciente del ONI es el de abril, con un valor de +0.7, lo que indica la continuidad del fenómeno de El Niño, presente desde junio de 2023, aunque ya muy debilitado en la región (figura 9 **A** y **B**). Las anomalías positivas que iniciaron en julio de 2023 se mantuvieron hasta marzo, en abril y mayo se registran valores negativos de -0.46 y -0.87 °C respectivamente.

La CLO presentó en mayo de 2024 un valor de 0.528 mg·m⁻³, inferior en -0.032 mg·m⁻³ al promedio climatológico de 0.56 mg·m⁻³ (figura 9 **C** y **D**), en comparación con abril el valor mensual aumentó 1 mg·m⁻³, lo que es consistente con condiciones menos adversas ocasionadas por el debilitamiento de la presencia de El Niño en la región.

La ANM registró un valor de 0.013 m para abril de 2024, ligeramente superior a su valor climatológico de -0.01 m (figura 9 **E** y **F**), menor en comparación con abril (0.013 m). Desde octubre de 2022, las anomalías positivas dominaron la

serie, este es el primer mes con anomalía positiva en más de un año y medio.

La figura 10 contiene la serie de tiempo del nivel del mar absoluto (m) en Cabo Pulmo, desde enero de 1993 hasta junio 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 2.6 mm/año, para un total de 83 mm en los 31 años de registro. Durante el mes de junio ha empezado a aumentar el nivel del mar rumbo al verano.

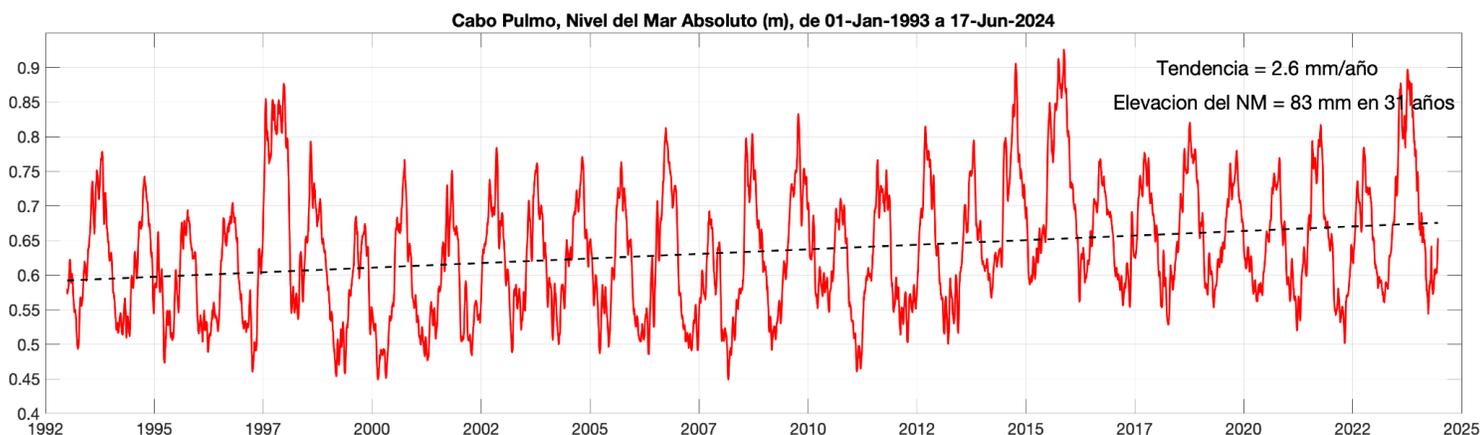


Figura 10: Nivel del mar absoluto (m) en Cabo Pulmo, BCS. Inicia en enero de 1993 y termina en junio de 2024. Incluye el nivel del mar con referencia al geoide y la tendencia de largo período debida al calentamiento global.

3.4.2. Viento (VTO) *in situ*

Durante el mes de mayo 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. Las componentes Norte y Noroeste se vieron atenuadas, mientras que las componentes Suroeste y Sur-Sureste se destacaron en comparación con la climatología definida por los últimos 10 años (2014-2024). Vientos superiores a los 35 km/h se distinguen únicamente de las direcciones Sur-Sureste y Norte (figura 11).

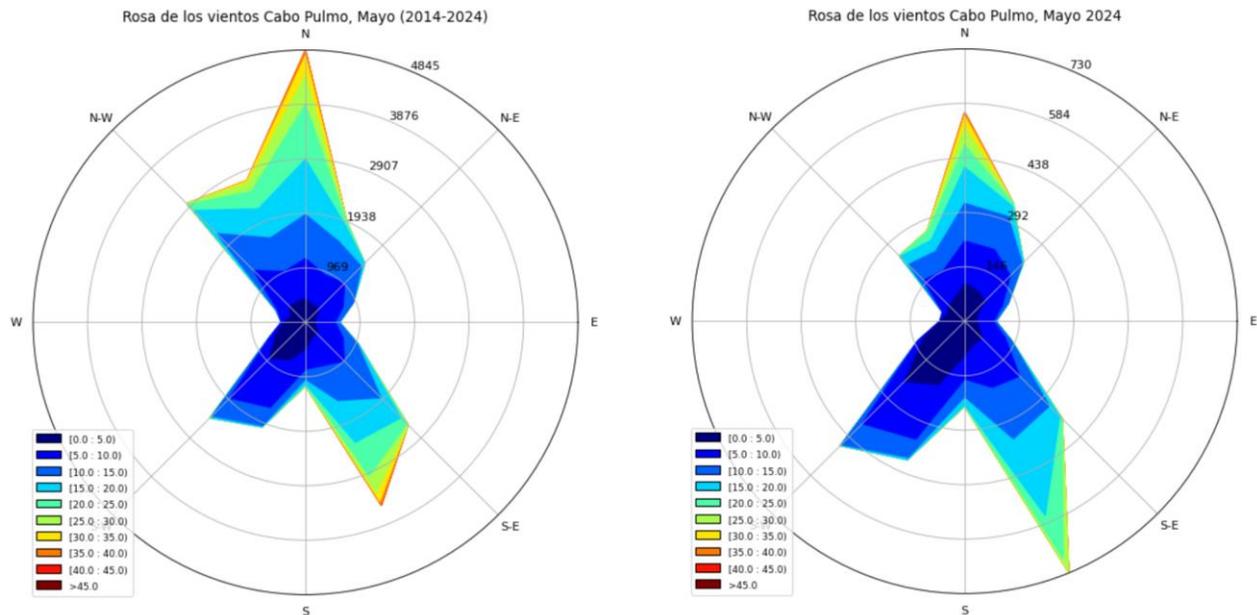


Figura 11: Climatología vs. observaciones de la dirección e intensidad de los vientos en la estación Cabo Pulmo durante el mes de mayo de 2024.

La intensidad del viento *in situ* registrada durante el mes de mayo de 2024, en Cabo Pulmo, muestra cómo los vientos por arriba de los 25 km/h formaron parte de los valores extremos de la distribución en comparación con años previos (2014–2023). Se destaca que estos valores extremos son menos intensos y atípicos en comparación con años como 2014 y 2023 (figura 12, *outliers*). Se aprecia cómo durante mayo de 2024 el rango intercuartil es menor al ocurrido el año previo, esto se visualiza en el rango intercuartil mayor de 2023 y pocos valores extremos.

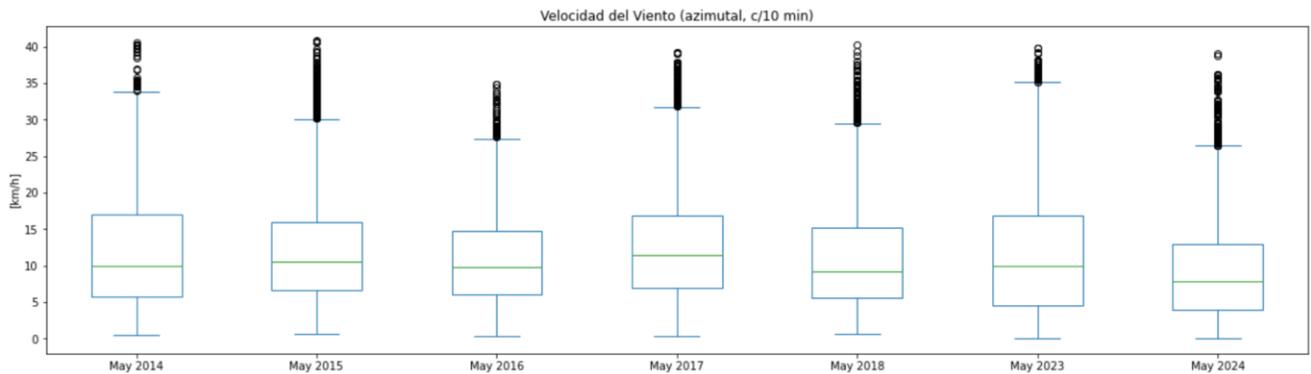


Figura 12: Análisis de cajas de la intensidad de los vientos en la estación Cabo Pulmo durante el mes de mayo de 2024. Se puede notar que la distribución estadística de la intensidad del viento tiende a ser una distribución normal con una mediana alrededor de los 10 km/h. Los valores de viento atípico 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⁻³. En sentido opuesto, H3 se expande de febrero (<5 %) a agosto (60 %); H3 se define por una temperatura superficial de 24.12 °C, salinidad de 35.34 ups y 0.15 mg·m⁻³ de clorofila.

En el periodo enero-marzo de 2024, se observa una contracción de H15 mucho mayor a la disminución promedio, cubriendo menos del 15% en marzo cuando suele abarcar poco menos del 60%. El colapso de H15 ha sido acompañado por la expansión de H3, del 5 al 60% (figura 13a). Otros hábitats pelágicos menos dominantes también presentaron comportamientos anómalos entre enero y marzo de 2024. La figura 13b muestra el predominio de H3 en la porción oceánica y una mayor diversidad de hábitats pelágicos (ej. H11, H14, H7) hacia la costa.

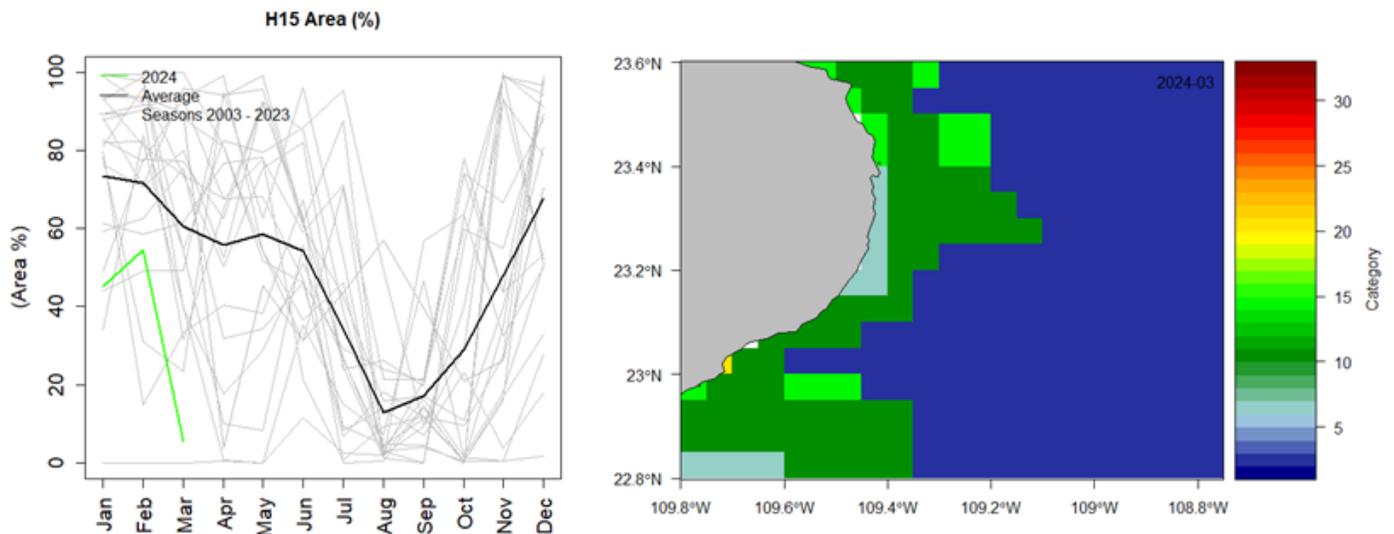


Figura 13: Paisaje Pelágico frente a Cabo Pulmo. a) Panel izquierdo: Comportamiento estacional del hábitat dominante H15 (2003-2024). b) Panel derecho: Distribución espacial de los hábitats pelágicos en Cabo Pulmo y zonas adyacentes durante marzo de 2024.

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 mayo de 2024. Los resultados indican que el promedio mensual de las concentraciones de diatomeas, dinoflagelados y cocolitofóridos han incrementado igualando el promedio climatológico.

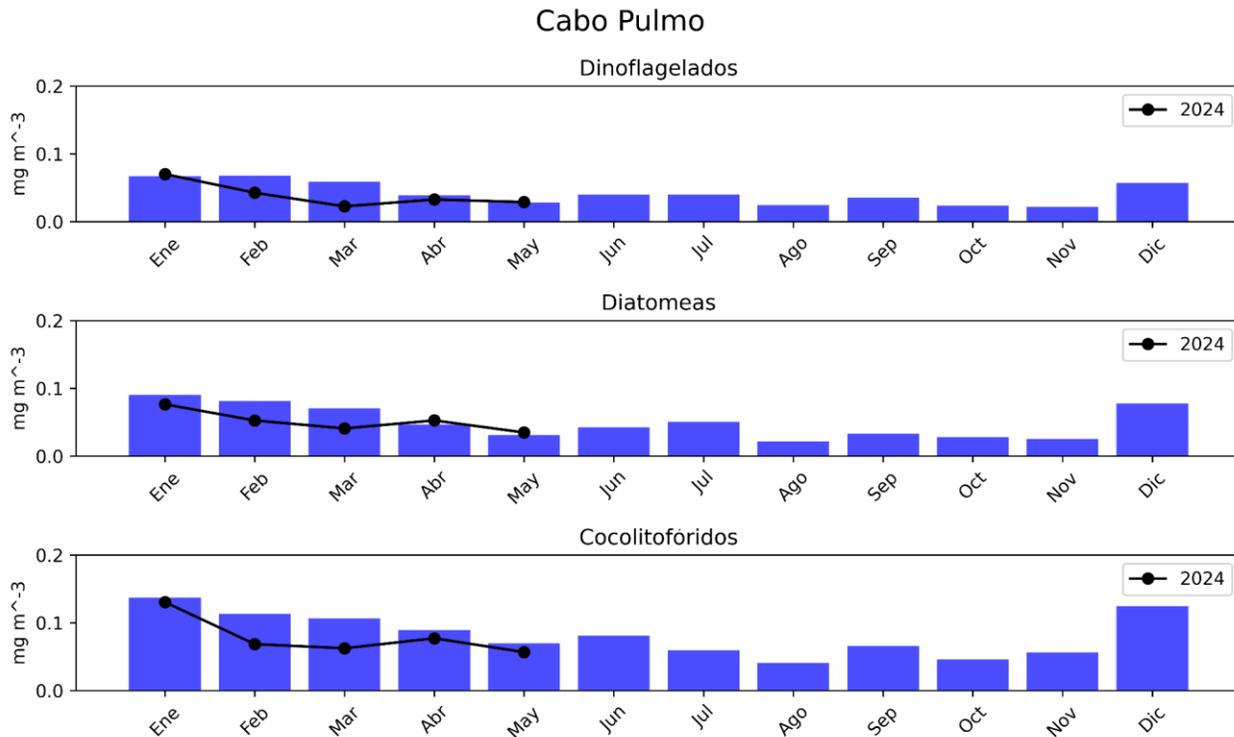


Figura 14: Climatologías de la concentración de grupos fitoplanctónicos expresada en CLO en el agua de mar en Cabo Pulmo durante mayo de 2024.

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 mayo). 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, sin embargo, en mayo de 2024 se registró el primer valor anómalamente negativo. Su valor mensual fue de 23.0 °C, -0.1 °C respecto a su valor climatológico de 23.1 °C y +0.6 °C en comparación de abril. El primer registro de una anomalía negativa en casi un año refuerza el debilitamiento de El Niño en la región, pero no se puede corroborar con el ONI, ya que el valor más reciente es el de abril de 2024 (figura 15 A y B).

En mayo de 2024, la CLO registró un valor de 1.25 mg·m⁻³, inferior respecto a los 1.38 mg·m⁻³ de su valor climatológico, pero mayor por 0.5 mg·m⁻³ en comparación de abril. Este es el quinto mes consecutivo con anomalías negativas (-0.31 mg·m⁻³). Al parecer, el debilitamiento de El Niño registrado en la TSM no ha sido lo suficientemente importante para tener un efecto en el crecimiento de las algas y por ende en un aumento en los valores de clorofila (figura 15 C y D).

Al igual que la TSM, las ANM habían sido anómalas positivamente desde 2023, sin embargo, ahora ye mayo de 2024 el valor registrado fue de -0.022 m, por debajo de su valor climatológico de -0.02 m, es decir, la primera anomalía negativa en casi un año (figura 15 E y F), lo que es coincidente con los indicios del debilitamiento de El Niño en la región.

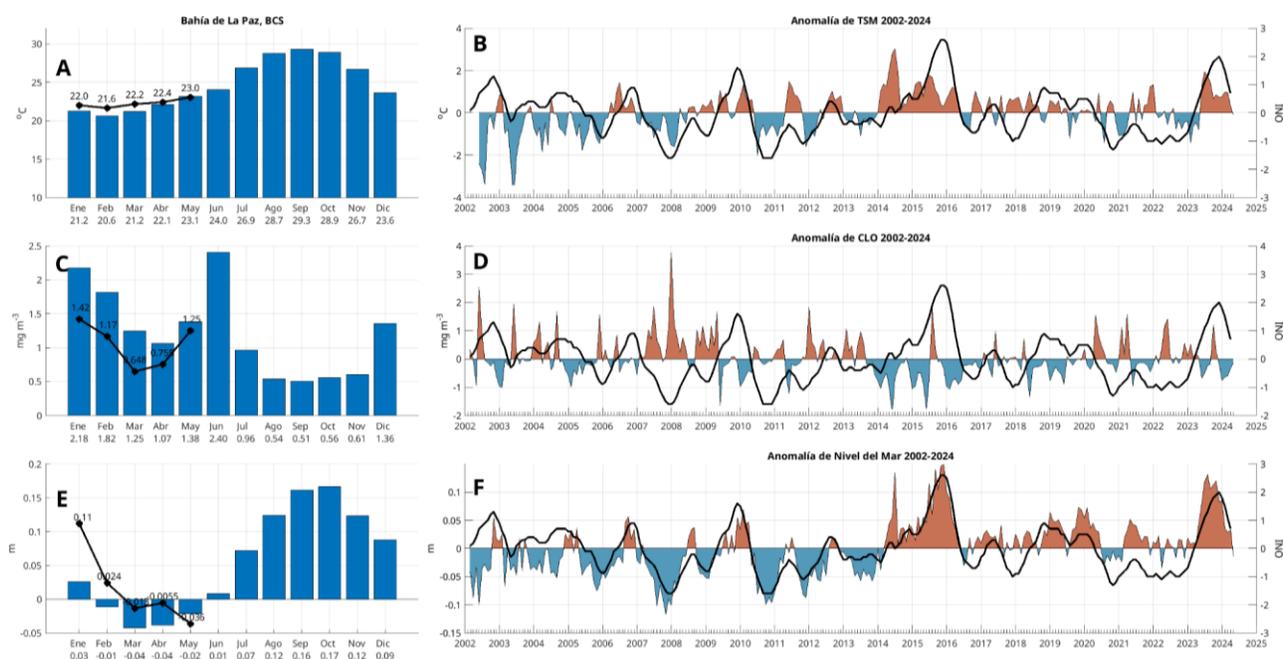


Figura 15: Climatologías mensuales y anomalías interanuales de TSM, CLO y ANM durante mayo de 2024 para La Paz. Las barras azules en los paneles A, C y E son las climatologías mensuales de cada variable. Los números en la base de las barras indican los valores de cada mes. Los círculos negros y el valor numérico indican los valores mensuales de 2024 hasta mayo. 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 junio 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 2.4 mm/año, para un total de 77 mm en los 31 años de registro. En junio de 2024 el nivel del mar empieza a aumentar hacia el máximo de verano.

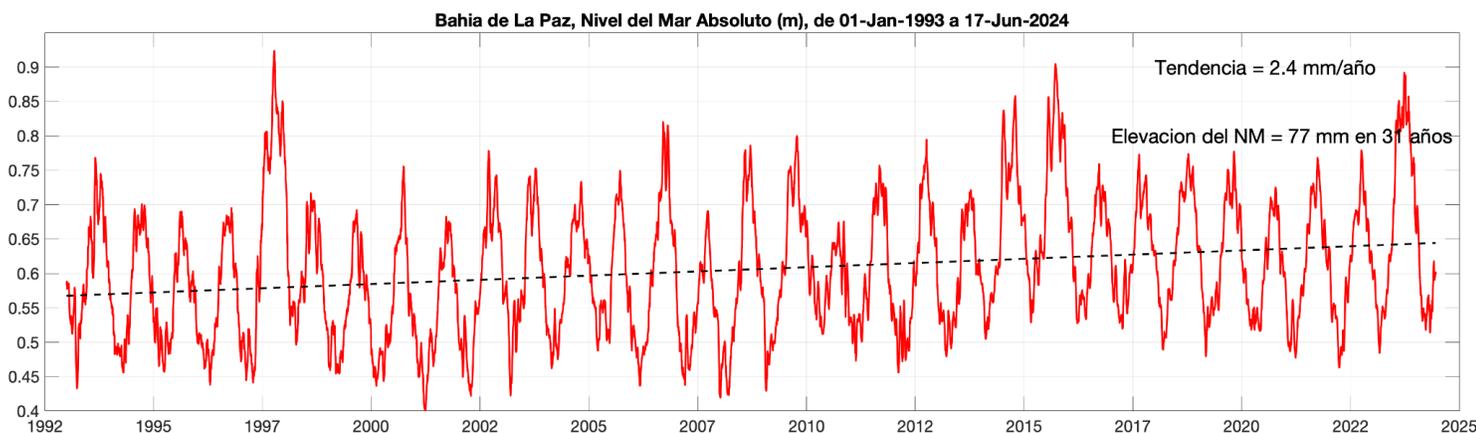


Figura 16: Nivel del mar absoluto (m) en Bahía de La Paz, BCS. Inicia en enero de 1993 y termina en junio de 2024. Incluye el nivel del mar con referencia al Geoide. Incluye la tendencia de largo período debida al calentamiento global.

3.5.2. Condiciones meteorológicas en la Bahía de La Paz. Período: Abril-Mayo, 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 San Evaristo al norte de la bahía de La Paz cada 2 horas durante el período 01 abril al 31 de mayo de 2024. Se continúa observando un incremento de la temperatura del aire, superando los 35° C (valores máximos, 35.7° C) durante la última semana de mayo (20 y 31 de mayo) y valores promedio de 24.7° con temperaturas mínimas de 16.3 ° C a principios de abril (8-12 de abril), asociados al ingreso de los últimos frentes fríos de la temporada.

Humedad Relativa (Hr)

La figura 17, muestra en (B) la serie de la humedad relativa (Hr) registrada en la Estación San Evaristo presenta valores máximos de 85, valores promedio

de 53 y mínimos de 13 por ciento (22 y 27 de mayo), asociado a períodos de calmas (pausas) en el ingreso de aire húmedo y fresco proveniente del Pacífico, característica principal observada durante la primavera.

Velocidad y Rachas de viento (m s⁻¹)

La figura 17, los valores de velocidad (línea en negro) y rachas (línea punteada en rojo) del viento registrados en la Estación San Evaristo, donde se muestran valores máximos de rachas de viento de 15 m s⁻¹ asociados a eventos de moderados a fuertes con rachas de viento del noreste en abril principalmente (5 al 20 de abril) y algunos observados en mayo (20-25 de mayo) característicos de la primavera. Se observan periodos constantes de eventos débiles y moderados de rachas de viento del suroeste (~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 San Evaristo correspondientes al período 01 abril al 31 de mayo de 2024. La dirección predominante del viento fue alternada entre noreste, sureste, suroeste asociada con la temporada de finales de primavera con la presencia de algunos frentes fríos (del noreste) y el inicio del verano cuando el viento presenta su carácter monzónico (del sur y suroeste) asociado con el ingreso de aire húmedo y fresco proveniente del Pacífico.

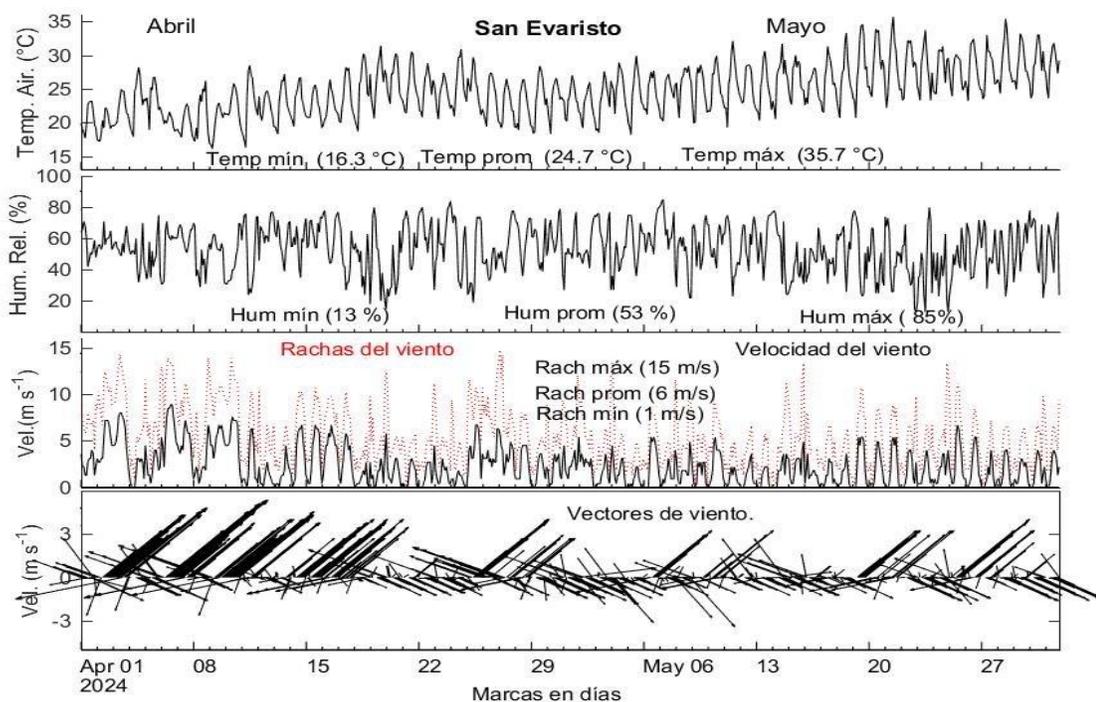


Figura 17: Series de tiempo de: (A) Temperatura del aire, (B) Humedad Relativa, (C) Velocidad (en negro) y Rachas (línea punteada en rojo) del viento y (D) la dirección del vector del viento registrado en la Estación San Evaristo,

frente al norte de la bahía de La Paz y cubriendo el período del 01 abril al 31 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 San Evaristo durante el período del 01 abril al 31 de mayo de 2024. La dirección predominante, fue del 3er. y 1er. cuadrante asociada al viento característico de la temporada al final de la primavera, asociado con remanentes de frentes fríos y el ingreso de aire fresco y húmedo del Pacífico (del sur y suroeste) relacionado con la corriente de chorro subtropical de la atmósfera y el cambio paulatino a condiciones monzónicas de verano. Los vectores en rojo (B) indican los ejes principales promedio de la máxima y mínima varianza del viento promedio registrado durante este período.

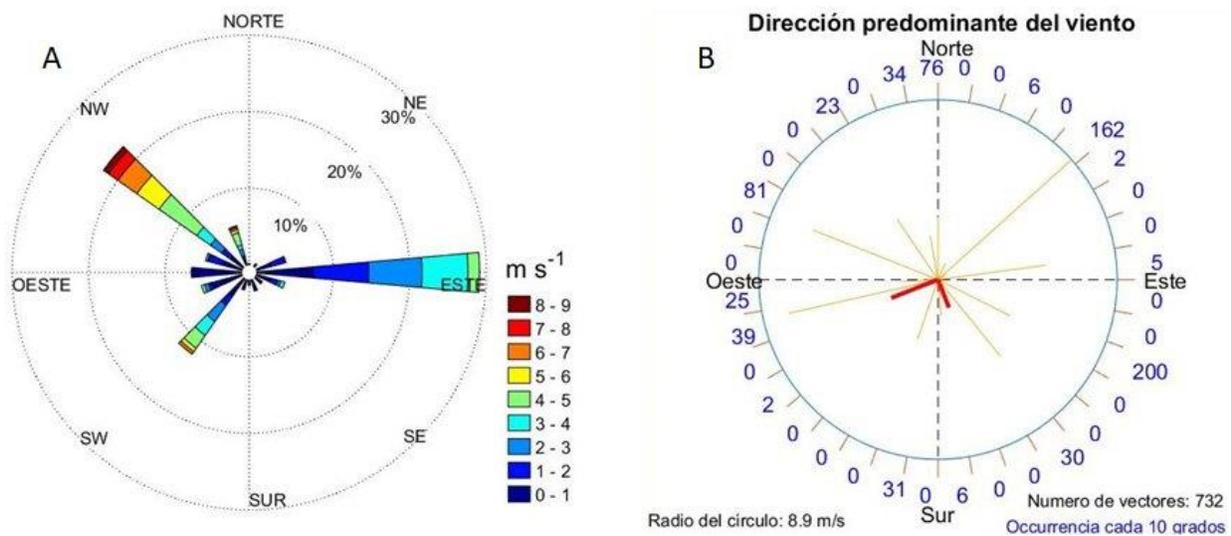


Figura 18: Velocidad y dirección predominante del viento en forma de: A) Rosa y (B) Vectores del viento registrado en la Estación Meteorológica ubicada en San Evaristo (medidos cada/2hrs) durante el período del 01 abril al 31 de mayo, 2024. El círculo del lado derecho indica la frecuencia y el número de vectores calculados (732 registros) y su dirección predominante (cada 10 grados).

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

Se observa que durante el mes de mayo 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.

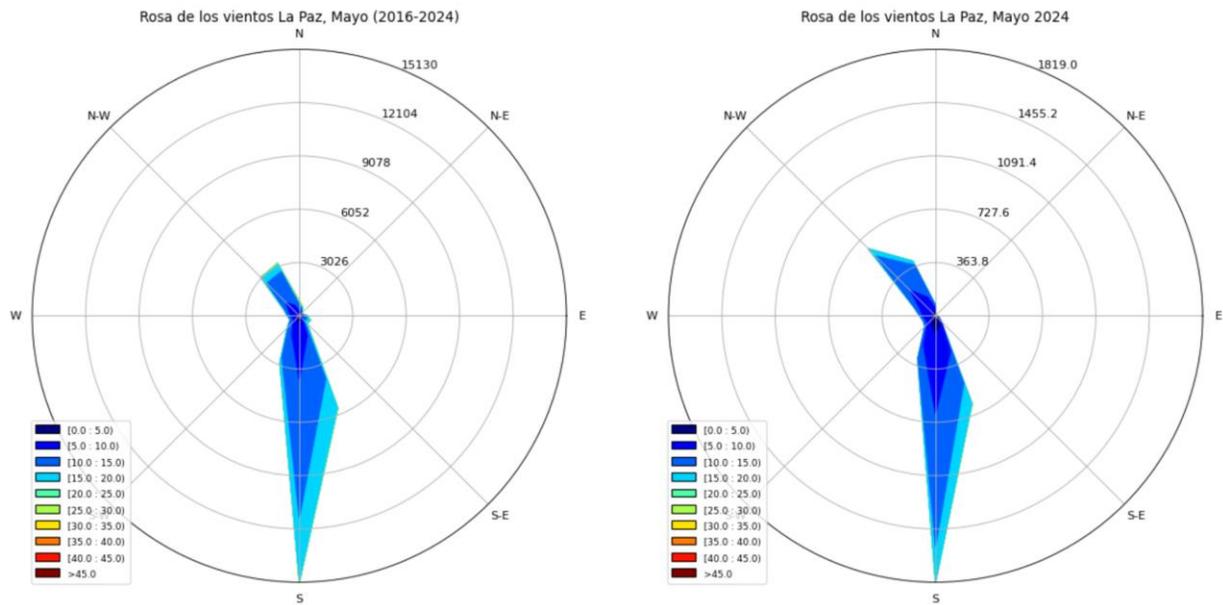


Figura 19: Climatología vs. observaciones de la dirección e intensidad de los vientos en la estación ESIME de La Paz durante mayo de 2024.

La intensidad del viento registrada *in situ* en este punto de la ciudad de La Paz durante el mes de mayo de 2024 no muestra eventos relevantes en comparación con aquellos ocurridos durante el mes de mayo 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 supera los 20 km/h, patrón que es regular en lo observado en este sitio entre 2016 y 2024, con excepción de lo ocurrido en 2022 (figura 20).

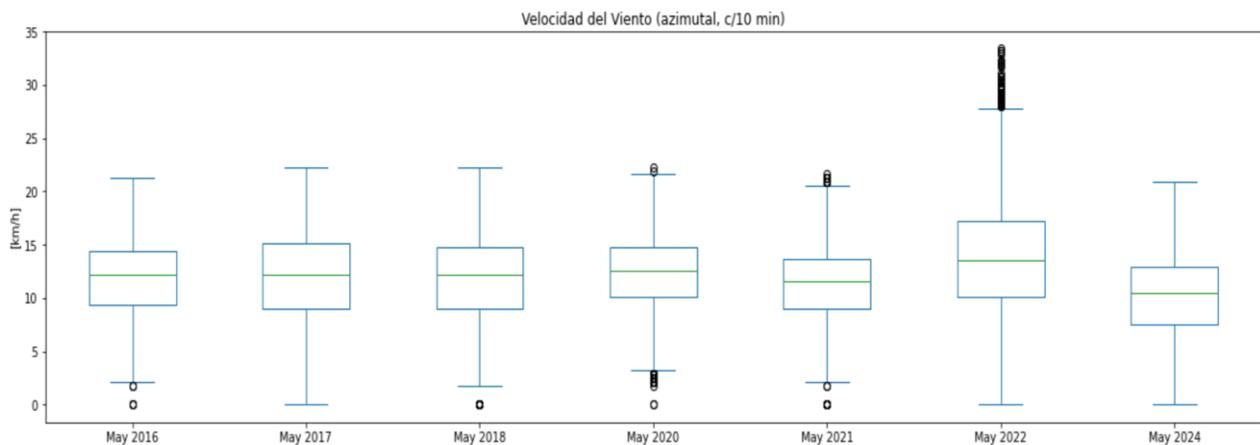


Figura 20: Análisis de cajas de la intensidad de los vientos en la ciudad de La Paz, BCS, durante el mes de mayo de 2024. No se presentaron valores de viento atípico u *outliers* (círculos en negro).

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⁻³.

Entre enero y marzo de 2024 se observó en Bahía de La Paz un aumento anómalo de hábitats pelágicos, al parecer en respuesta a la contracción de la categoría H21 que suele abarcar entre el 40 y 60% del área considerada. H21 pasó de ocupar el 100% en enero, a menos del 10% en marzo, contrastando con el 50% que suele cubrir a finales del primer trimestre bajo condiciones regulares (figura 21a). En el mapa se aprecia que H21 se contrajo hacia la zona más costera, cediendo su lugar a H15, indicando el aumento de temperatura y la disminución de clorofila dentro de la bahía. Una diversidad de hábitats pelágicos se observó en las aguas adyacentes del Golfo de California (figura 21b).

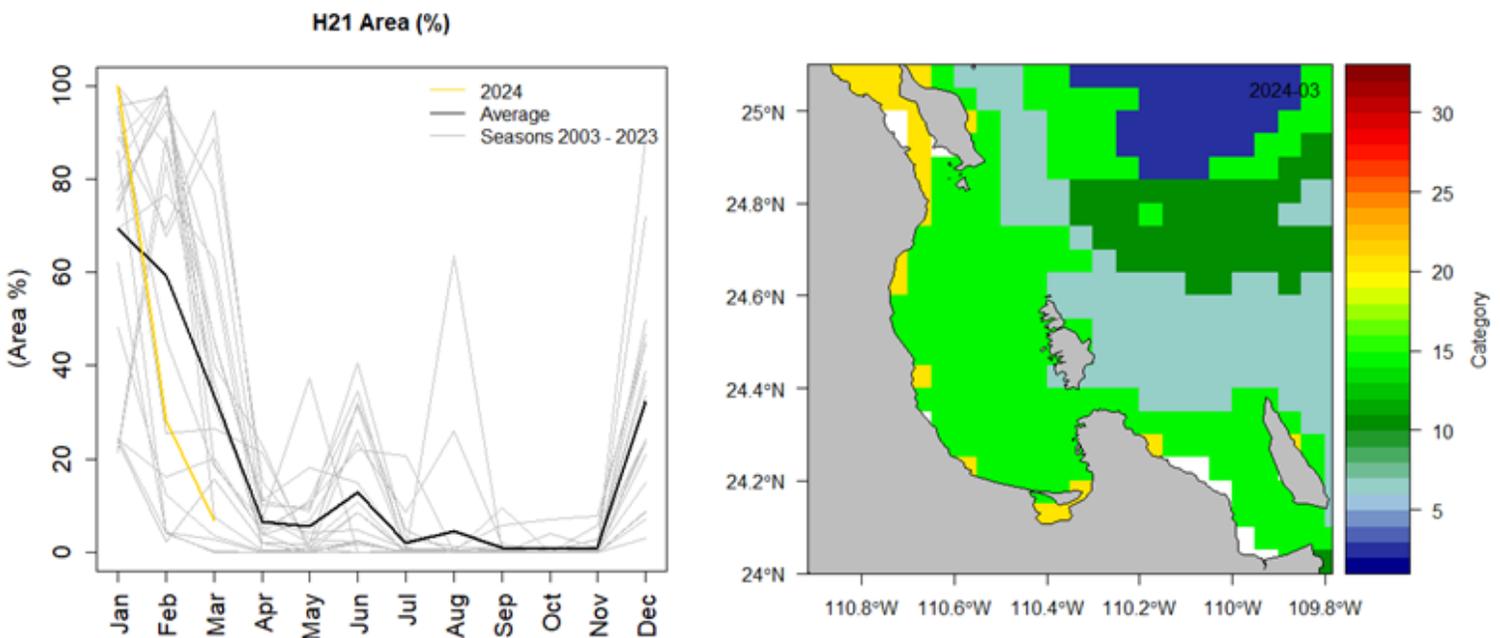


Figura 21: Paisaje Pelágico en la Bahía de La Paz. a) Panel izquierdo: Comportamiento estacional del hábitat H21 (2003 - 2024). b) Panel derecho: Distribución espacial de los hábitats pelágicos en Bahía de La Paz y zona adyacente durante marzo de 2024.

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 .

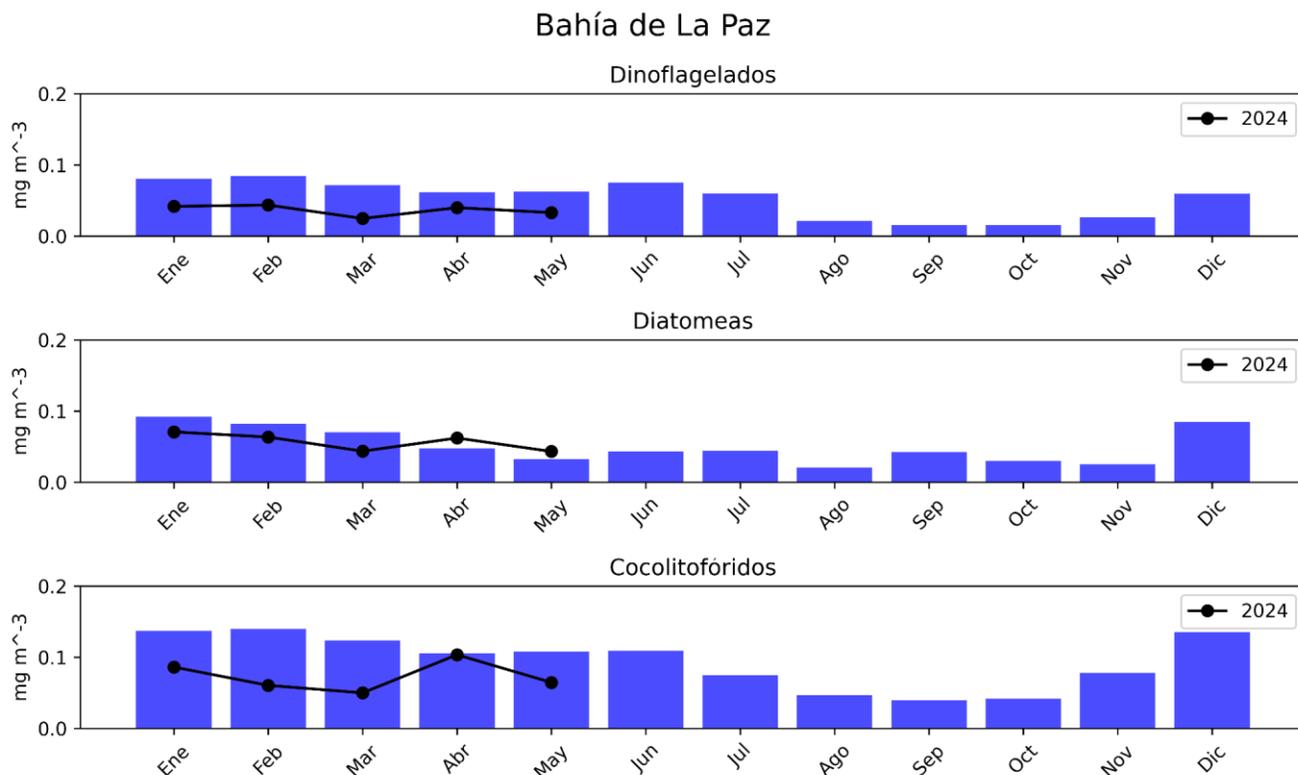


Figura 22: Climatologías de la concentración de grupos fitoplanctónicos expresada en CLO en el agua de mar en Bahía de La Paz durante mayo de 2024.

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 mayo). Los paneles **B**, **D** y **F** muestran las anomalías a lo largo del tiempo, la línea negra indica los datos del ONI.

En mayo de 2024 la TSM registrada fue de 18.1 °C, apenas -0.4 °C por debajo de su valor climatológico de 18.5 °C y un poco mayor a los 17.4 °C de abril.

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 12 mg·m⁻³, lo que representa una anomalía positiva de 4.04 mg·m⁻³ respecto a su valor climatológico de 7.96 mg·m⁻³ (figura 23 C y D). Marzo fue el primer mes de 2024 con anomalías positivas del año; sin embargo, abril volvió a presentar una anomalía negativa, ahora en mayo hay una anomalía positiva y muy fuerte. Esta es la región de muestreo más al norte de BCS, al parecer la presencia de El Niño ya no se percibe.

El valor de la ANM durante el mes abril de 2024 fue de -0.022 m, superior marginalmente respecto a su valor climatológico de -0.2 m, lo que indica una anomalía positiva de +0.002 m, pero una disminución de 0.08 m respecto a abril. Las anomalías positivas en esta región están presentes desde inicios de 2022 (figura 23 E y F).

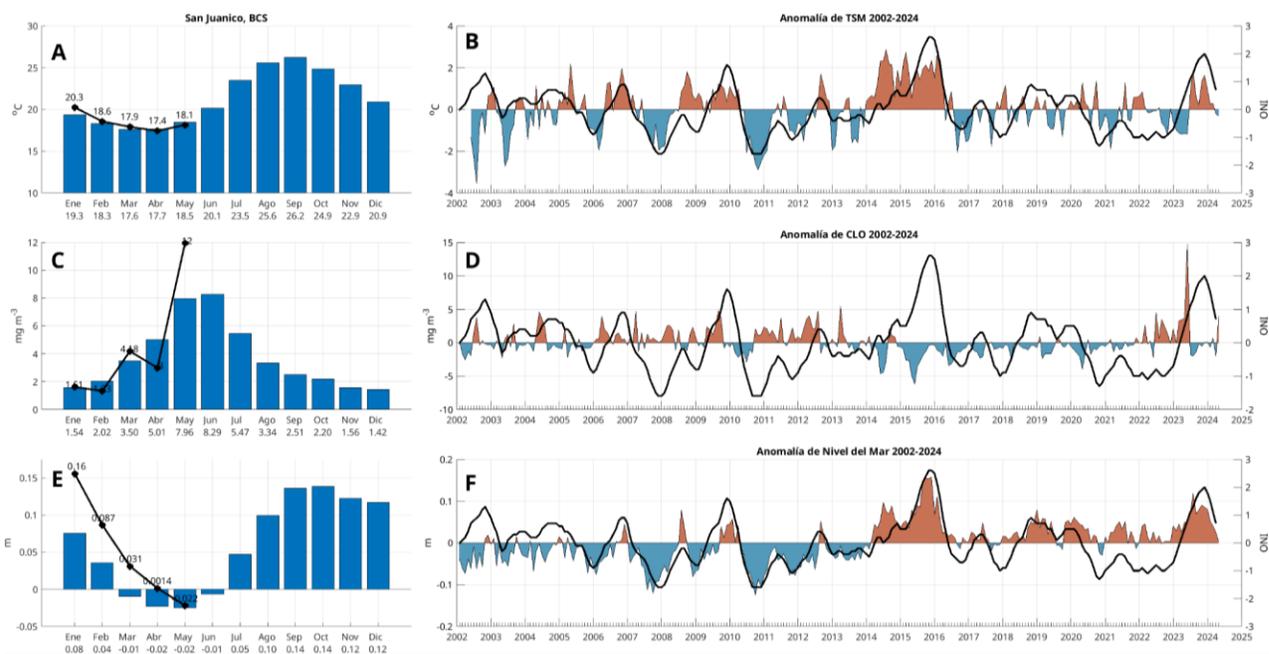


Figura 23: Climatologías mensuales y anomalías interanuales de TSM, CLO y ANM durante mayo de 2024 para San Juanico. Las barras azules en los paneles A, C y E son las climatologías mensuales de cada variable. Los números en la base de las barras indican los valores de cada mes. Los círculos negros y el valor numérico indican los valores mensuales de 2024 hasta mayo. 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

junio 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 esta latitud de 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 87 mm en los 31 años de registro. Esta es la tendencia más pronunciada de los 3 sitios que reportamos aquí. El mes de junio de 2024 muestra el incremento del nivel del mar hacia el máximo de verano. También destacan los veranos de 2007, 2010 y 2011 cuando los máximos son los menos elevados del registro.

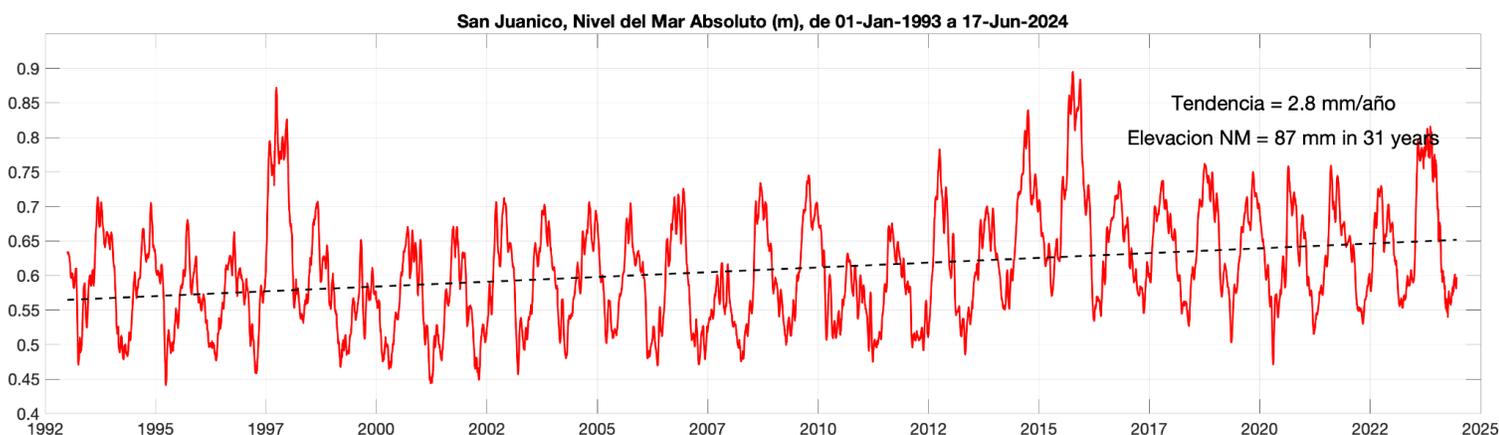


Figura 24: Nivel del mar absoluto (m) en San Juanico, costa pacífico norte de BCS. Inicia en enero de 1993 y termina en junio de 2024. Incluye el nivel del mar con referencia al Geoide. Incluye la tendencia de largo período debida al calentamiento global.

3.6.2. Viento (VTO) *in situ*

En San Juanico, las observaciones del viento *in situ* registradas durante el mes de febrero de 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 $0.17 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$. 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 áreas 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). La baja presencia de H17 se repitió a inicios de 2024 (enero-febrero), pero se ha ido acercando a sus valores promedio ($\sim 40\%$) hacia el mes de marzo. Las variaciones históricas de H17 indican que en el pasado ya se han presentado otros colapsos del área de 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 (figura 25b). El mapa muestra cómo H21 bordea la costa, sugiriendo mayor concentración de clorofila ($\sim 2.09 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$), mientras H7 y H17 -caracterizados por concentraciones inferiores de clorofila- cubren zonas más oceánicas (figura 25b).

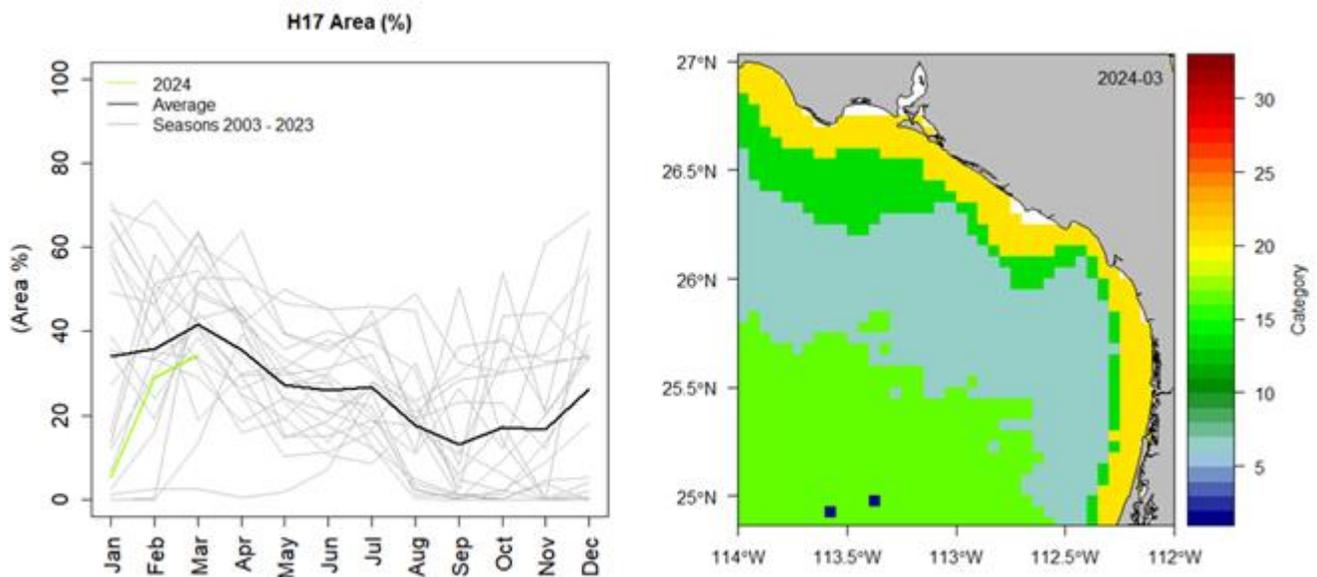


Figura 25: Paisaje Pelágico en el Golfo de Ulloa. a) Panel izquierdo: Comportamiento estacional (2003-2024) del hábitat H17 en el Golfo de Ulloa. b) Panel derecho: Distribución espacial de los hábitats pelágicos en el Golfo de Ulloa durante marzo de 2024.

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 mayo de 2024. Los resultados indican que el promedio mensual en las concentraciones de diatomeas y dinoflagelados se ha mantenido igual que el promedio climatológico, en particular para cocolitofóridos el promedio es bajo.

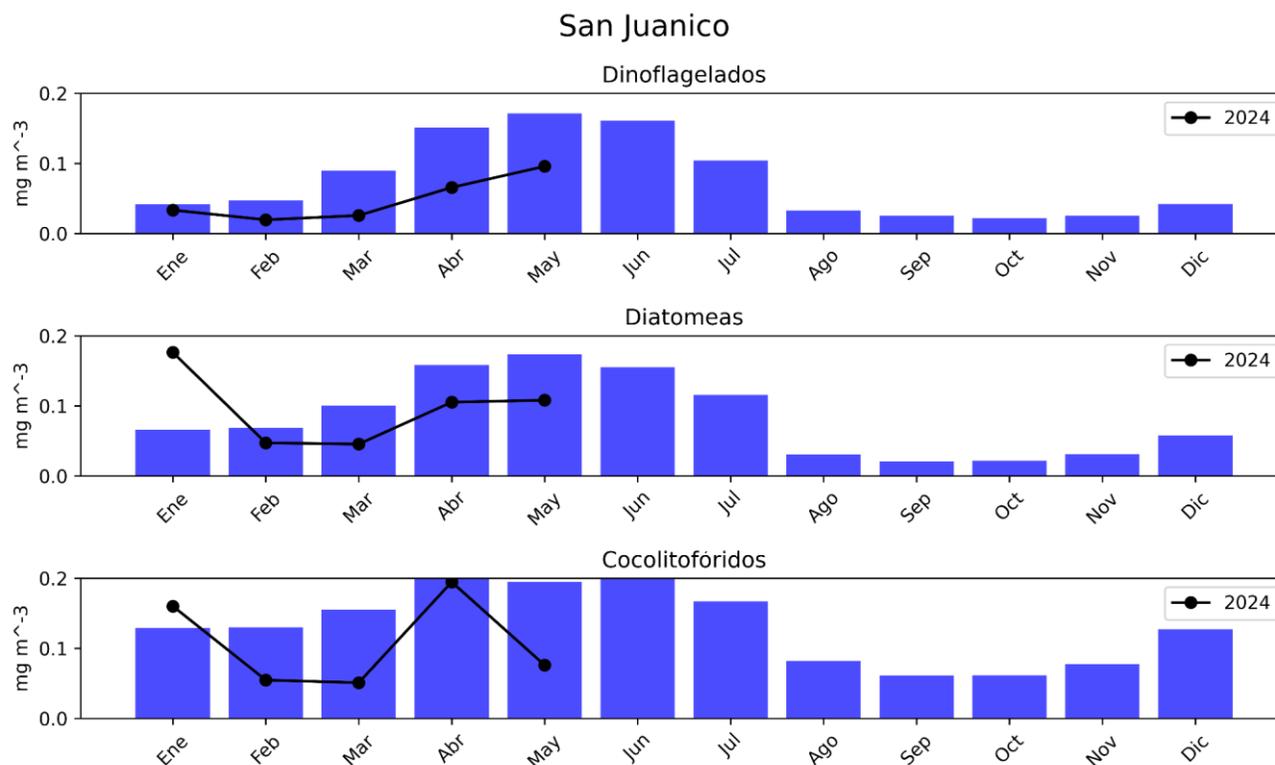


Figura 26: Climatologías de la concentración de grupos fitoplanctónicos expresada en CLO en el agua de mar en San Juanico en mayo de 2024.

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 mayo de 2024 presentó una temperatura promedio de 22.4 °C (figura 27), valor que se ubicó 0.1 °C 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 mayo de 2024 con respecto a los promedios históricos, se observó una anomalía negativa de 0.5 °C en el promedio mensual de la temperatura

máxima, mientras que la temperatura mínima promedio del mes presentó una anomalía positiva de 0.5 °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 mayo de 2024, se observó que el día 17 del mes se registró la temperatura más baja con 10.5 °C, mientras que el 19 de mayo se presentó la temperatura más alta alcanzando un registro de 41.6 °C. En cuanto a la humedad relativa máxima, el promedio mensual fue de 93.7 %, mientras que el valor promedio de la humedad relativa mínima, fue de 31.4 %.

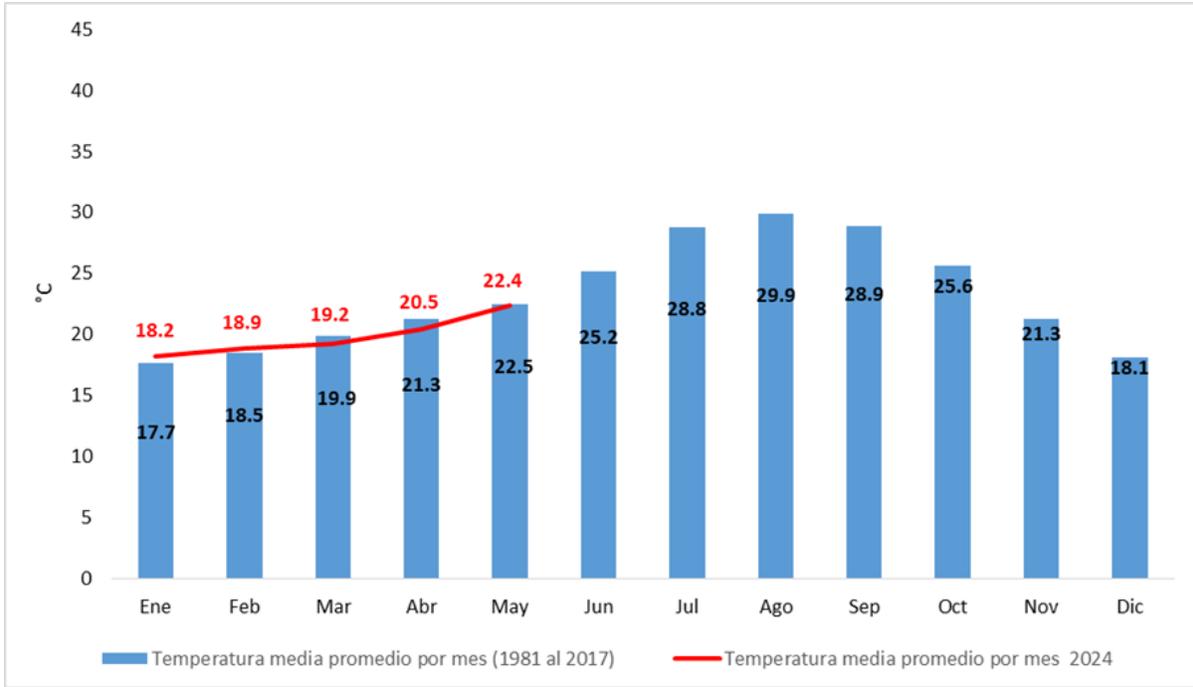


Figura 27: Comparativo de los promedios mensuales de la temperatura media (periodo 1981- 2017) con respecto a los registrados al mes de mayo de 2024.

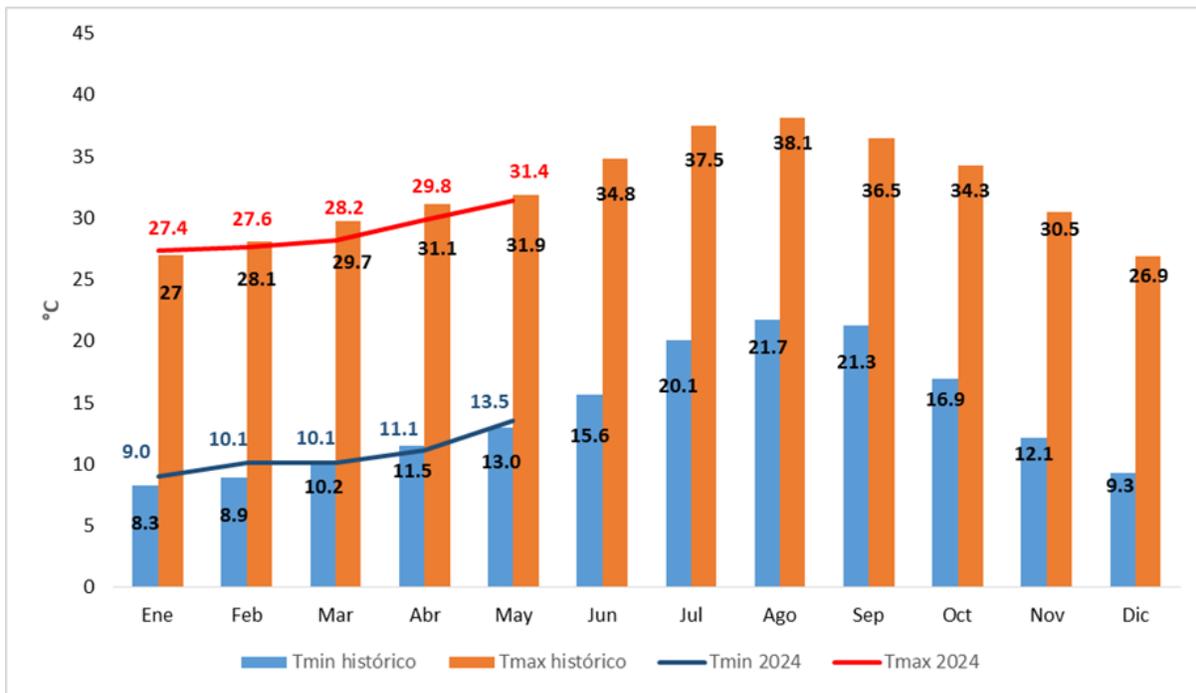


Figura 28: Comparativo entre los promedios de temperaturas máximas y mínimas históricas (1981-2017) con respecto a los promedios presentados al mes de mayo de 2024.

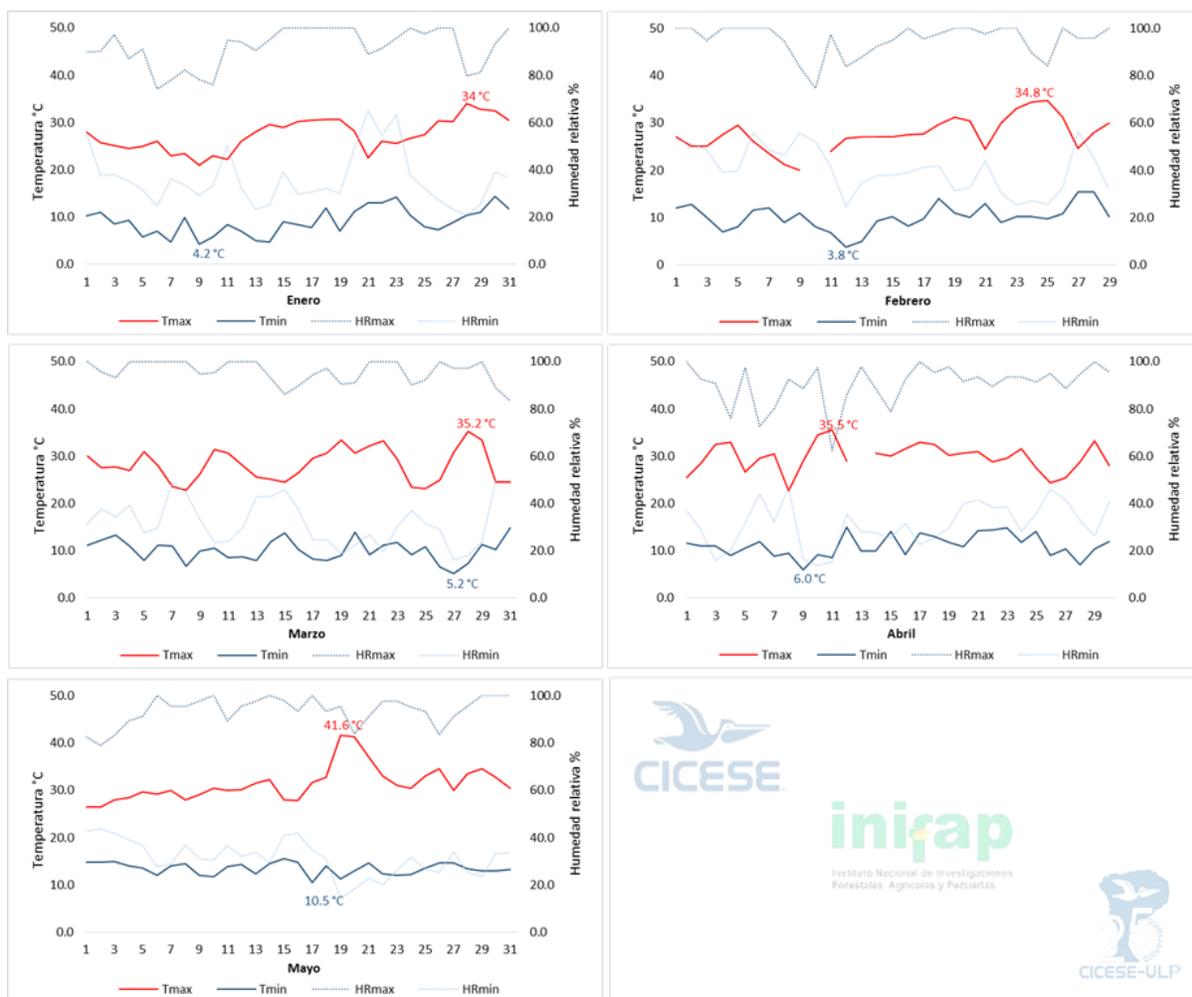


Figura 29: Comportamiento de la temperatura y humedad relativa al mes de mayo de 2024. Tmax= Temperatura máxima. Tmin= Temperatura mínima. HRmax= Humedad relativa máxima. HRmin= Humedad relativa mínima. El día 17 de mayo se presentó la temperatura más baja (10.5 °C) y la más alta el 19 de mayo (41.6 °C).

3.7. Temperaturas mínimas y máximas en los aeropuertos de BCS

Tomando en cuenta el monitoreo realizado por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN, <https://smn.conagua.gob.mx>), durante el mes de mayo de 2024, se presentaron solamente un par de frentes fríos en México. Este monitoreo se realiza diariamente mediante el análisis de observaciones disponibles, en tiempo real, por el personal operativo del SMN esta vez con la numeración de frente frío 49 (6–7 de mayo) y 50 (10–12 de mayo). Durante este mes, la estación climatológica en Gustavo Díaz Ordaz (27.65°N, 113.43°W), en el municipio de Mulegé, tuvo un promedio de temperatura mínima de 9.6°C en promedio con un rango desde 6.5°C (3 de mayo) hasta 11.5°C (16 de mayo).

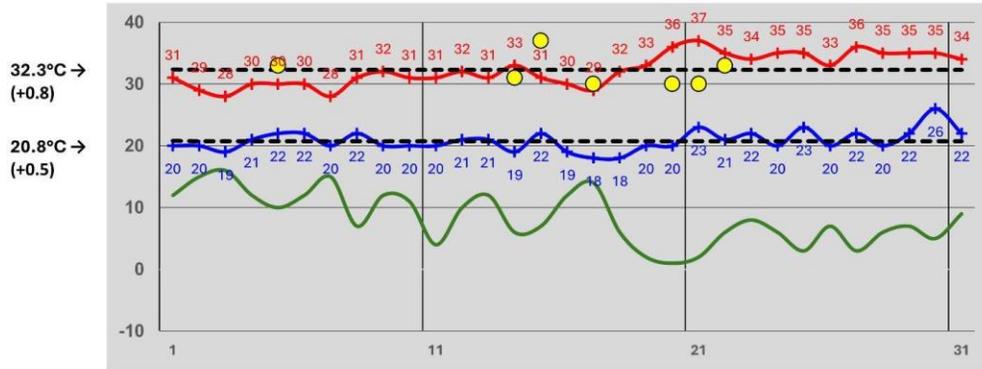
En cambio, las temperaturas máximas estuvieron dentro del rango de 23.0°C (15–16 de mayo) a 30.5°C (20 de mayo) con un promedio mensual de 24.8°C. Esta estación reporta diariamente, proporciona reportes confiables y se puede tomar de referencia por encontrarse muy al norte en el estado.

A continuación se ilustran los patrones diarios, cambios y condiciones medias de la temperatura del aire en los tres aeropuertos internacionales que operan en Baja California Sur (Figura 30). Durante los primeros 20 días del mes, en San José del Cabo hubo mañanas templadas (18–21°C), mientras que en La Paz las temperaturas mínimas oscilaron entre 12–19°C con un promedio mensual de 16.4°C. En Loreto, el promedio de temperaturas mínimas fue de 25.5°C con valores entre 18–22°C aunque el día 30 hubo una mínima de 26°C. Esto, en parte, a la ausencia de sistemas frontales, aumento de las horas de radiación solar y disminución de la humedad que acompañan a la presencia de la primavera en el mes de mayo. Comparando los promedios de enero (16.2°C), febrero (17.1) marzo (18.3) y abril (21.2°C) de 2024, las temperaturas mínimas diarias de mayo alcanzaron valores cada vez más cálidos a partir del día 22.

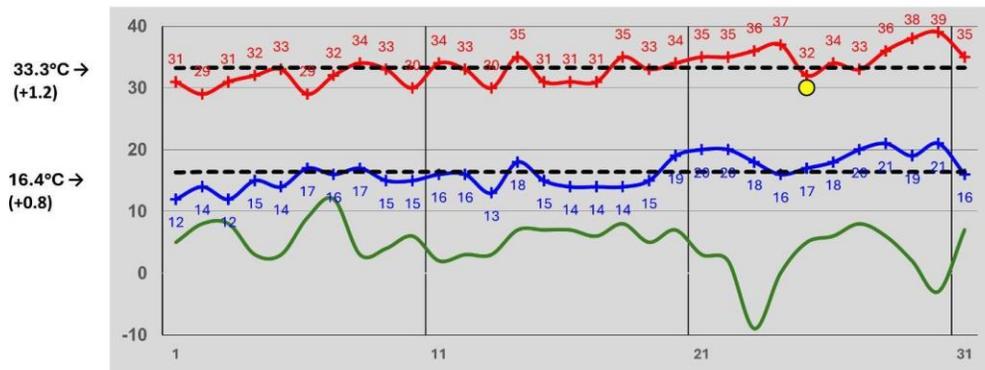
Desde una perspectiva histórica, con respecto a los reportes de temperatura diarias de mayo de los cuatro años anteriores (2020–2023), las anomalías del promedio de las temperaturas mínimas estuvieron ligeramente por arriba de lo normal en San José del Cabo (+0.5°C), La Paz (+0.8°C), Loreto (+1.5°C). Hay que recordar que una anomalía negativa (positiva) representa un valor menor (mayor) al ser comparado con el promedio de referencia seleccionado para este análisis de datos. En San José del Cabo, la anomalía de temperatura máxima fue de +0.8°C mientras que en los demás aeropuertos las anomalías fueron mayores a 1.0°C. A partir del día 20, La Paz y San José del Cabo lograron rebasar los 35°C a la vez que la humedad (temperatura de punto de rocío, línea verde) disminuye notablemente a partir del día 22. Como referencia, en el aeropuerto de La Paz, el primer reporte de temperatura máxima mayor o igual a 35°C fue el 22 de mayo 2023, 7 de mayo 2022, 8 de mayo 2021 y 3 de mayo 2020. De esta manera, es posible determinar que en 2024 los primeros eventos de onda de calor se presentaron más tarde que en otros años.

En los reportes de viento máximo, San José del Cabo destaca por haber excedido 30 km/h en 7 ocasiones; en un caso se alcanzaron 37 km/h (15 de mayo), mientras que los aeropuertos de Loreto y La Paz superaron 30 km/h en solamente una y tres oportunidades, respectivamente. Esto es consistente con la ausencia de sistemas frontales o bien, su debilidad en caso de cruzar el sur de la península de Baja California.

San José del Cabo, mayo 1–31 2024



La Paz, mayo 1–31 2024



Loreto, mayo 1–31 2024

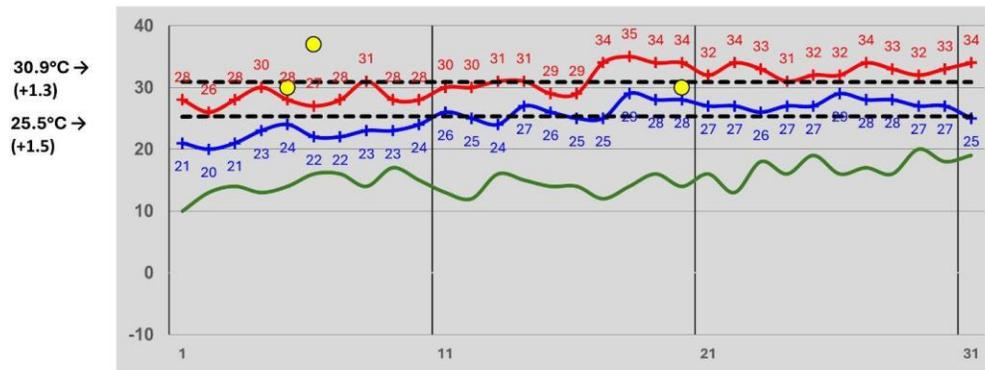


Figura 30: Temperaturas (°C) mínimas y máximas en tres aeropuertos de Baja California Sur: San José del Cabo, La Paz y Loreto. Se incluyen los promedios diarios de temperatura de punto de rocío (°C, línea verde) y la magnitud del viento máximo (km/h, círculo amarillo). La línea punteada representa el 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 μm ., 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

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 Chl 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>