

Boletín Oceanográfico de BCS, octubre 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-UAT, 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 NOVIEMBRE DE 2024, No. 15

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 | 7 |
| 2.6. Paisaje pelágico | 8 |
| 2.7. Temperaturas mínimas y máximas del aire en los aeropuertos de BCS | 8 |
| 3. Resultados | 8 |
| 3.1. Nivel del mar Absoluto (NMA)..... | 8 |
| 3.2. Mapas de distribución mensual | 9 |
| 3.2.1. Anomalías de nivel del mar (ANM)..... | 9 |
| 3.2.2. Clorofila superficial (CLO)..... | 11 |
| 3.2.3. Temperatura Superficial del Mar (TSM) | 12 |
| 3.2.4. Temperatura del aire en el Golfo de California..... | 13 |
| 3.3. Cabo Pulmo | 15 |
| 3.3.1. Series de tiempo | 15 |
| 3.3.3. Paisaje Pelágico (CP)..... | 19 |
| 3.3.4. Fitoplancton | 19 |
| 3.4. Bahía de La Paz | 20 |
| 3.4.1. Series de tiempo | 20 |
| 3.4.2. Condiciones Meteorológicas registradas en la Bahía de La Paz | 22 |
| 3.4.3. Viento (VTO) in situ en la ciudad de La Paz, BCS..... | 24 |
| 3.4.4. Paisaje Pelágico (BLP) | 26 |
| 3.4.5. Fitoplancton | 26 |
| 3.5. San Juanico, Golfo de Ulloa | 27 |
| 3.5.1. Series de tiempo..... | 27 |
| 3.5.3. Paisaje Pelágico (GU) | 29 |
| 3.5.4. Fitoplancton | 30 |
| 3.5.5. Temperatura en el Valle de Santo Domingo, área contigua, región San Juanico-Golfo de Ulloa | 31 |
| 3.6. Temperaturas mínimas y máximas en los aeropuertos de BCS..... | 34 |
| 4. Glosario | 38 |
| 5. Referencias | 39 |

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, de sur a norte, parque nacional Cabo Pulmo, La Paz y en San Juanico.

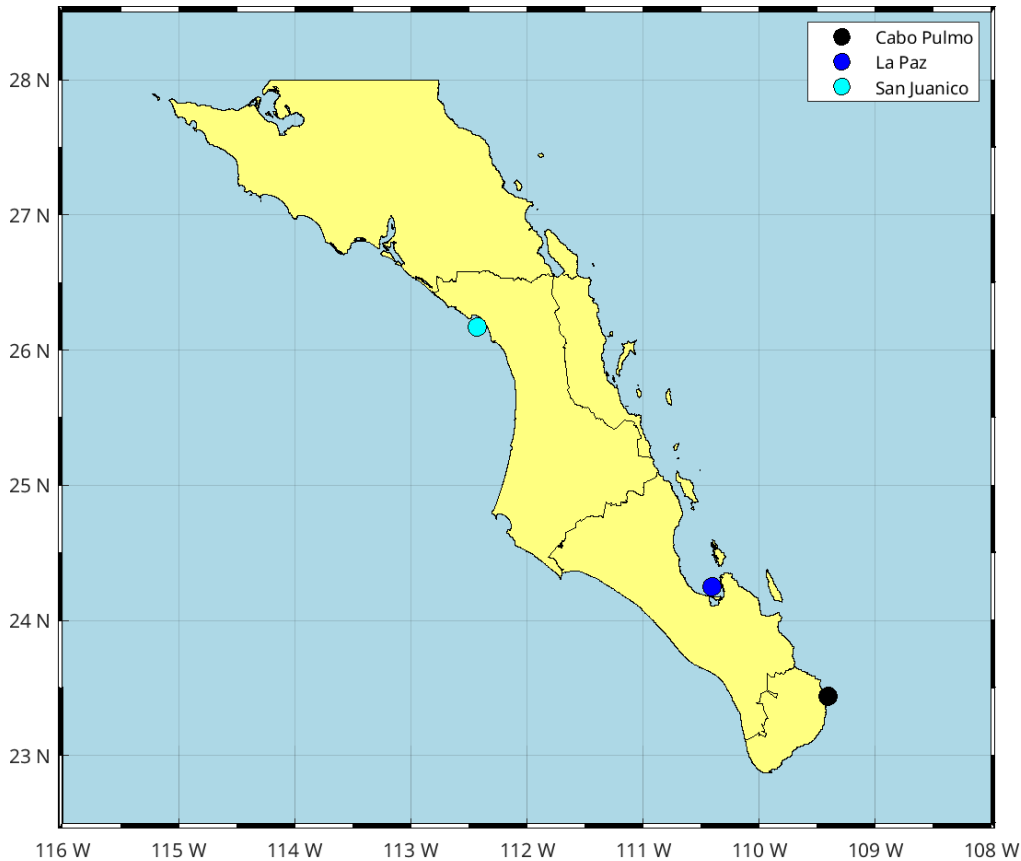


Figura 1: Zona de interés, región oceanográfica de Baja California Sur. Los círculos de colores marcan sitios para el análisis de series de tiempo.

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 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. Esta información se descargó de: Global Ocean Gridded L 4 Sea Surface Heights And Derived Variables Reprocessed 1993 Ongoing, DOI: (<https://doi.org/10.48670/moi-00148>) y Global Ocean Gridded L 4 Sea Surface Heights And Derived Variables Nrt DOI (<https://doi.org/10.48670/moi-00149>), accedido el 3 de noviembre de 2024.

Anomalía del Nivel de Mar (ANM). La ANM es un producto de la altimetría y es estimada por medio una interpolación de diversas misiones, es proporcionado por el Copernicus Marine Environment Monitoring Service (CMEMS) de la agencia espacial europea (ESA, por sus siglas en inglés). La referencia climatológica de 1993 a 2012 es utilizada para la estimación de las anomalías (<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, accedido el 3 de noviembre de 2024.

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, también es proporcionada por el CMEMS. 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 m de profundidad. Es un producto global libre de nubes, con una resolución temporal diaria y una resolución espacial de 4x4 km (Garnesson *et al.*, 2019) (https://data.marine.copernicus.eu/product/OCEANCOLOUR_GLO_BGC_L4_MY_009_104/services), accedido el 3 de noviembre de 2024.

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 CMEMS ha generado modelos de reanálisis validados con datos in situ. El producto resultante es el Global Ocean Colour (Copernicus-GlobColour), Bio-Geo-Chemical, con nivel de procesado 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>), accedido el 3 de noviembre de 2024.

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 octubre de 2024, provenientes de MERRAS -2 (The second Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications), disponible en (http://goldsmr4.gesdisc.eosdis.nasa.gov/opendap/MERRA2_MONTHLY/M2TMNXSLV.5.1.2.4/contents.html).

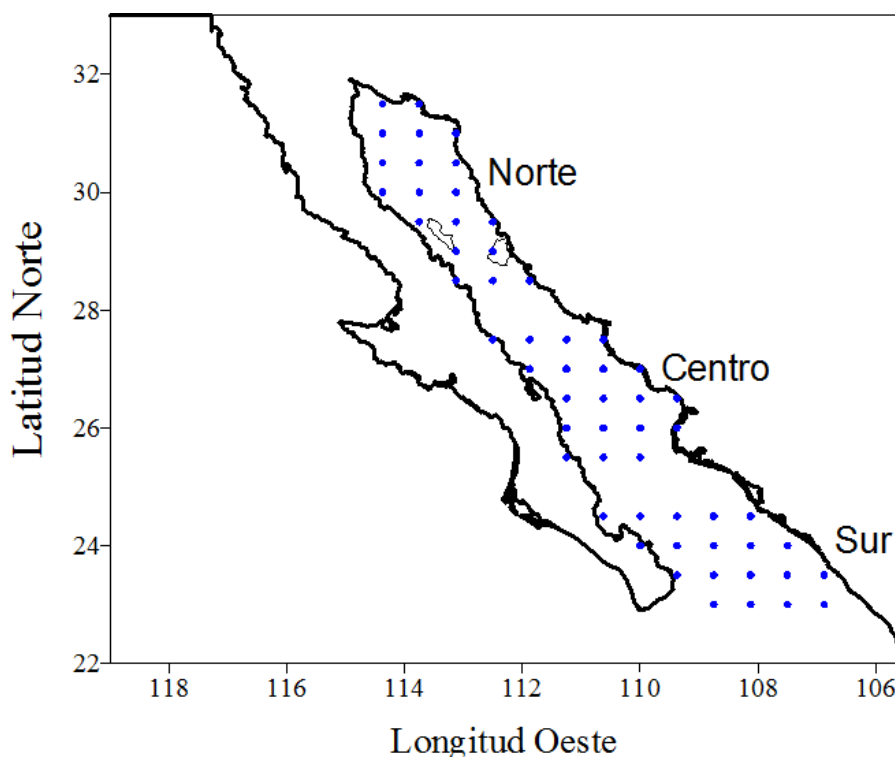


Figura 2: Posición de las celdas en la zona norte, centro y sur provenientes de MERRAS para el cálculo de temperatura del aire a 10 m de altura.

Los datos provienen de 57 celdas con una resolución de 0.5 x 0.625 de grado localizadas a lo largo del GC (figura 2). 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). 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, lo 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.

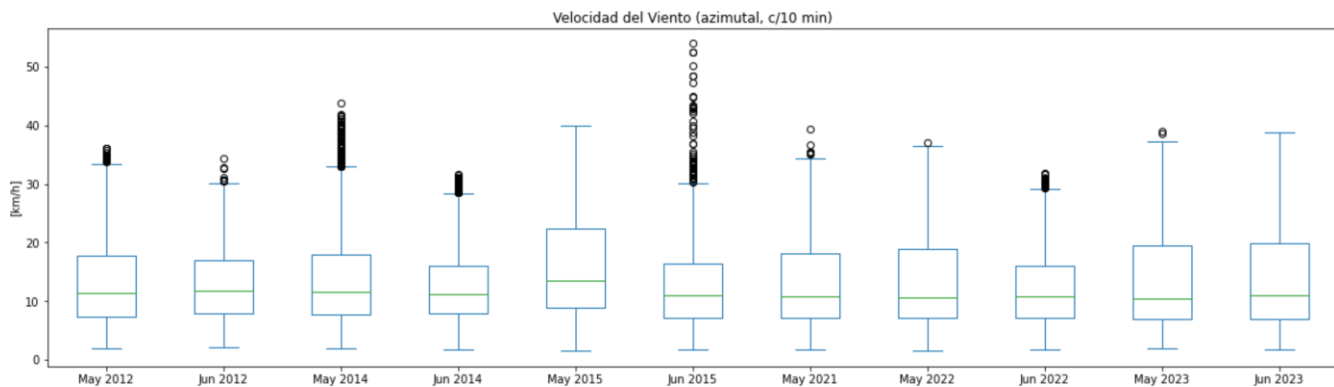


Figura 3: Ejemplo de boxplot para los meses de mayo y junio de 2012-2023 en la EMA San Juanico. Durante junio de 2015, el número de valores *outliers* o valores atípicos

aumentó considerablemente debido a la influencia de la tormenta tropical Blanca (31 mayo - 9 junio) que cruzó por la EMA 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 está disponible 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 agosto 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, como se mencionó en la sección 2.2. Para el cálculo de la climatología fue necesario descargar toda la información histórica disponible para cada variable, algunas de ellas cuentan con más de 20 años de datos.

2.5. Análisis de series de tiempo

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

Las series resultantes corresponden a las anomalías de las variables 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, 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 el Paisaje Pelágico (PP), se descargaron los datos del sitio <https://coastwatch.noaa.gov/cw/satellite-data-products/multi-parameter-models/seascape-pelagic-habitat-classification.html> del NOAA Coastwatch. Como estos datos son globales, fue necesario hacer un recorte al área de estudio. A cada recorte se le hizo un conteo de píxeles para cada categoría de PP, con lo que se calculó el área ocupada por categoría, considerando que: 1 píxel equivale a 5 km². Las categorías o hábitats dominantes fueron aquellas con la mayor extensión total (km²). Para revelar el patrón estacional promedio del PP se calcularon las climatologías mensuales correspondientes.

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

Con el propósito de describir las temperaturas extremas en BCS, 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)

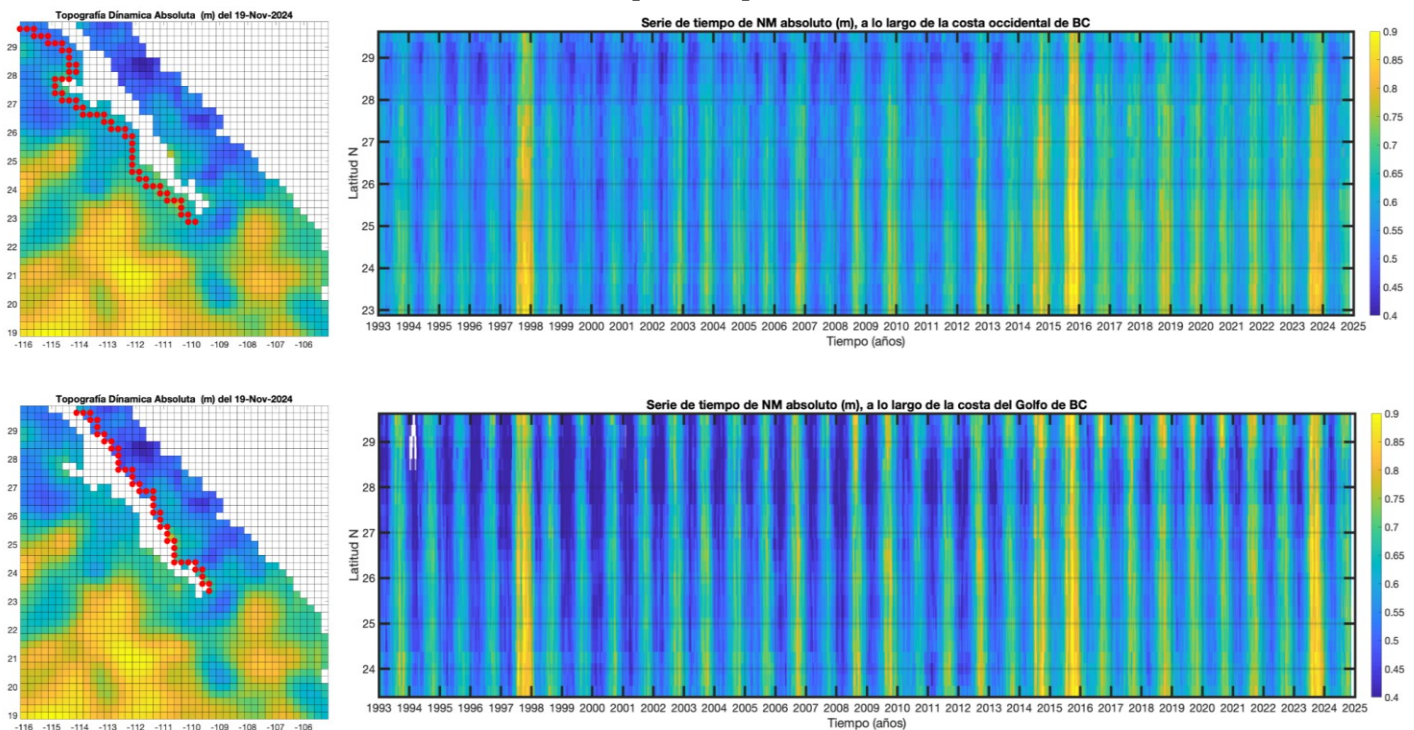


Figura 4: Evolución del nivel del mar (NM absoluto) a lo largo de las dos costas de la península de BC desde enero de 1993 hasta noviembre de 2024. Arriba: costa Occidental; abajo: costa del Golfo de California.

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. El año de 2023, fue más intenso (más amarillo) 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) casi todos los años el nivel del mar desciende más que en la Costa Occidental, por esto los tonos azules más intensos del 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, pero que inicia su elevación de verano en julio de 2024. Durante el verano de 2024 los máximos estacionales de nivel del mar son débiles en ambas costas. Esto se refleja en tonos azules, en vez de los tonos amarillos típicos del verano. Es posible que esto sea una consecuencia de la Niña 2024. También es evidente que en el norte del golfo (panel inferior) los máximos extremos (> 0.85 en amarillo) se han vuelto más comunes de 2014 a la fecha. El mapa de la zona muestra el campo de nivel del mar de noviembre 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 octubre de 2024 se muestran en la figura 5. El mapa del panel **A** muestra las anomalías máximas registradas, cuyo rango se ubicó entre 0.011 y 0.27 m (en septiembre el rango fue de 0.046 y 0.44 m). El panel **B** muestra las anomalías mínimas, cuyo rango estuvo entre -0.074 y 0.186, en agosto fue de -0.4 y 0.18 m. El panel **C** muestra la diferencia entre anomalías máximas y mínimas (**A** - **B**) durante septiembre, el valor máximo fue de 0.24 m, una diferencia de -0.46 m respecto a los 0.7 m de septiembre. 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 de octubre se ubicó entre -0.026 y 0.207 m, un rango similar que el de septiembre (0.003 y 0.24 m). En general, los valores de octubre indican un nivel del mar similar al de septiembre. Las anomalías, aunque positivas, están muy cerca del valor promedio en toda la región, lo que indica un mes muy similar al mes climatológico.

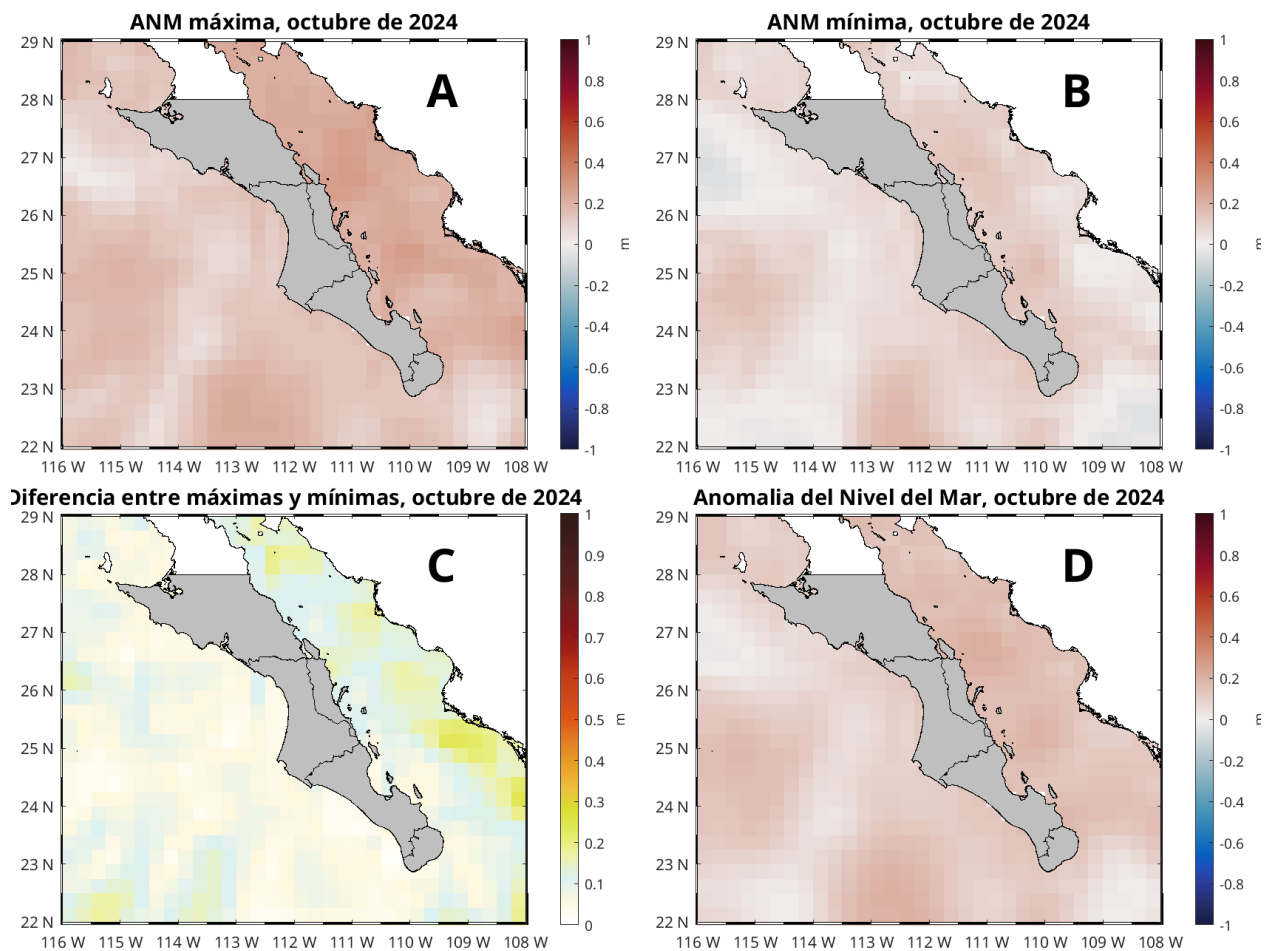


Figura 5: Condiciones de ANM durante el mes de octubre de 2024. Panel **A**, niveles máximos, **B** niveles mínimos, **C** diferencia entre máximos y mínimos y **D** anomalía.

3.2.2. Clorofila superficial (CLO)

Las condiciones de CLO durante el mes de octubre de 2024 se muestran en la figura 6. El mapa del panel **A** muestra las concentraciones máximas registradas, cuyo rango se ubicó entre 0.076 y $65 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$, rango mayor al de septiembre (0.77 y $61.74 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$). El panel **B** muestra las concentraciones promedio, cuyo rango estuvo entre 0.068 y $32.78 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$, rango mayor al de septiembre (0.057 y $24.69 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$). El panel **C** muestra la diferencia entre concentraciones máximas y mínimas (imagen no mostrada) durante este mes, cuyo valor máximo fue de $64.4 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$, por encima de los $60.91 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ del mes anterior. El panel **D** muestra las anomalías con respecto al promedio climatológico, el rango de octubre se ubicó entre -4.77 y $16.41 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$, rango menor respecto al de septiembre (-16.75 y $14.29 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$). En general, toda la región costera de la costa occidental tuvo los valores máximos. Las aguas del golfo fueron particularmente menos productivas en comparación con la zona costera. En este mes, nuevamente presentó valores mayores a los $64 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$, con un aumento respecto a septiembre, aun así, hay regiones con ligeras anomalías negativas, principalmente en la región central dentro del golfo.

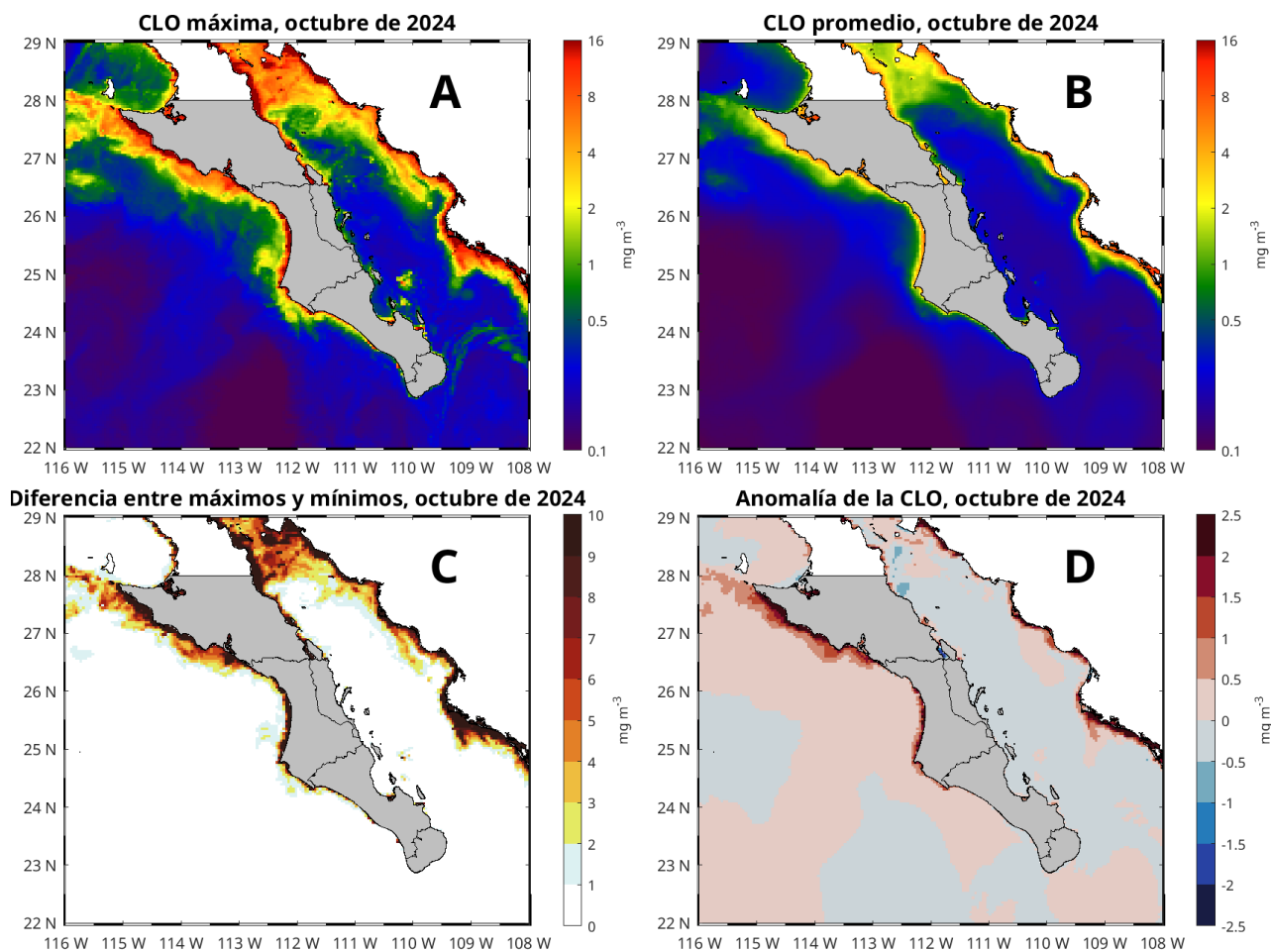


Figura 6: Concentraciones de CLO durante el mes de octubre de 2024. Panel **A**, máximas, **B** promedio, **C** diferencia entre concentraciones máximas y mínimas y **D** anomalía.

3.2.3. Temperatura Superficial del Mar (TSM)

Las condiciones de TSM durante el mes de octubre de 2024 se muestran en la figura 7. El mapa del panel **A** muestra las temperaturas máximas registradas, cuyo rango se ubicó entre 19.54 y 31.74 °C, valores menores a los registrados en septiembre (22.3 y 33.6 °C). El panel **B** muestra el promedio de TSM, cuyo rango estuvo entre 18.97 y 30.58 °C, con valores ligeramente menores a los de septiembre (20.4 y 31.9 °C). El panel **C** muestra la diferencia entre máximos y mínimos (imagen no mostrada) durante octubre, cuyo valor más alto fue de 5.99 °C, menor respecto a los 7.7 °C del mes anterior. El panel **D** muestra las anomalías con respecto al promedio histórico o climatológico de datos desde 2002, el rango de octubre se ubicó entre -3.53 y 1.92 °C, ligeramente menor al rango de -3.77 y 1.8 °C del mes anterior. En términos generales, septiembre fue un mes con -0.5 grados menos cálido que septiembre. Las anomalías negativas (hasta -3.5 °C) se ubicaron en la costa occidental de la península y las positivas (+1.5 °C) dentro del golfo.

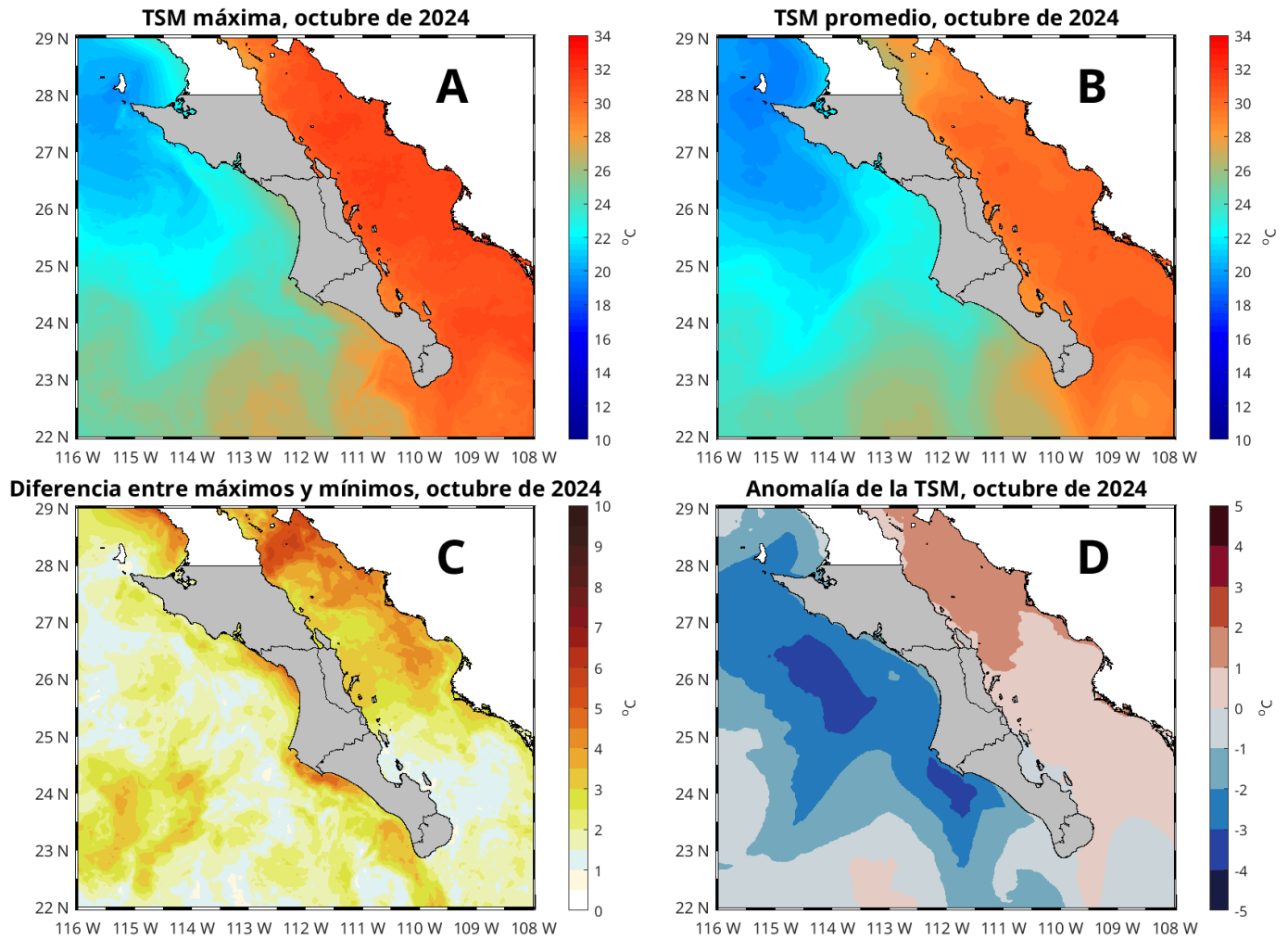


Figura 7: Condiciones de TSM durante el mes de octubre de 2024. Panel **A**, máximos, **B** promedio, **C** diferencia entre máximos y mínimos, **D** anomalía.

3.2.4. 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.

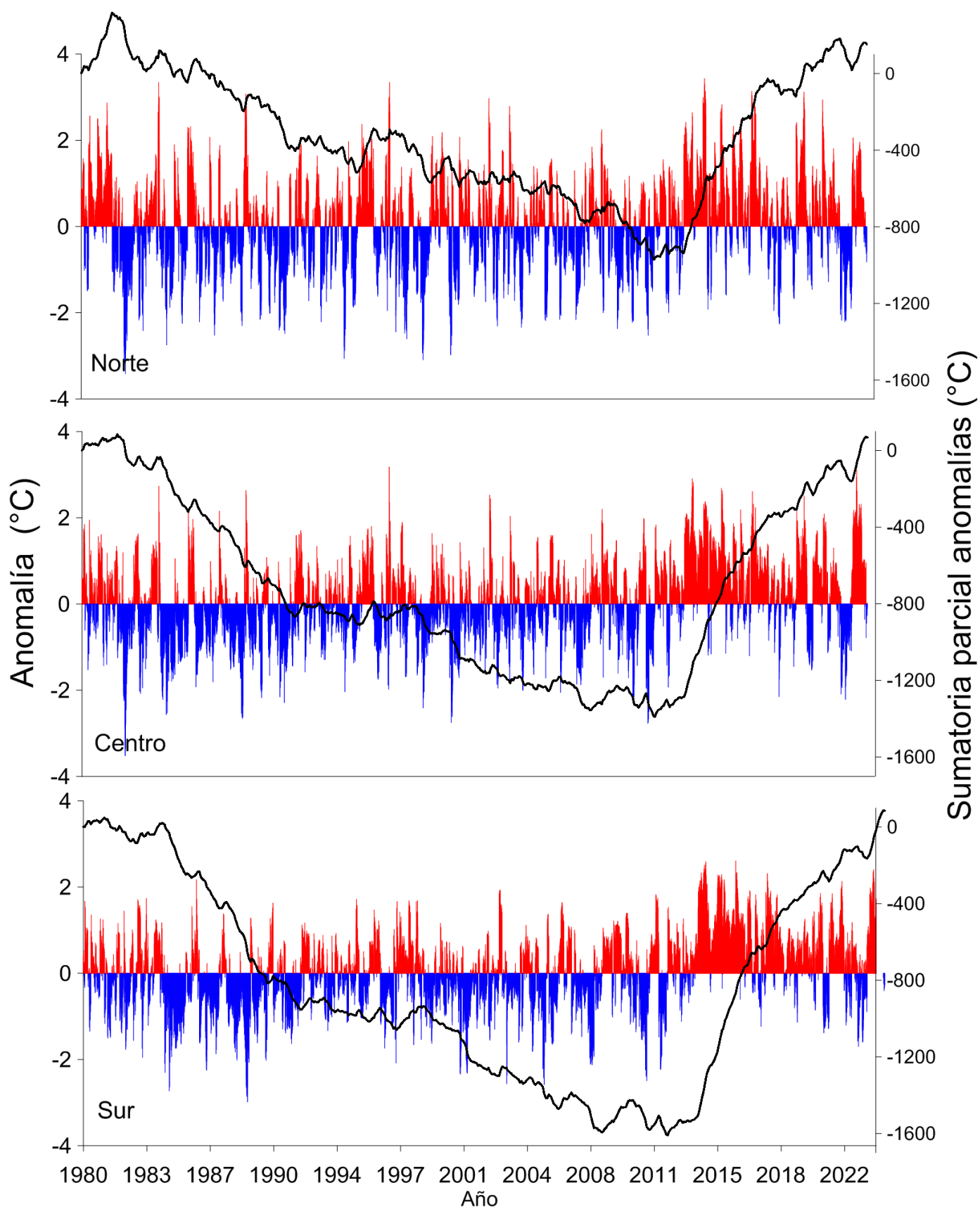


Figura 8. Anomalías mensuales de temperatura a 10 m (barras) y sumatoria parcial de las anomalías (línea continua) en tres zonas del Golfo de California.

Los resultados muestran que a partir de 1982 existió una tendencia negativa de las sumatorias parciales 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, y 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 tiene una tendencia positiva fuerte hasta diciembre de 2023. Los últimos datos hasta agosto de 2024 indican un cambio en la tendencia con la presencia de anomalías negativas durante agosto.

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 2026, y posteriormente una tendencia positiva fuerte en diciembre de 2023. En primavera de 2024 se observaron anomalías negativas que hizo que la tendencia del parsum cambiara. Sin embargo, tomó una tendencia positiva hasta agosto 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, con una fuerte tendencia positiva hasta diciembre de 2023. En primavera de 2024 se observaron también anomalías negativas que hizo que la tendencia del parsum cambiara como en la zona centro. Sin embargo, tomó una tendencia fuerte hasta agosto de 2024.

Considerando solo los datos de enero de 2014 a agosto de 2024, para la zona norte se han observado 1770 celdas con anomalías positivas y 905 celdas con anomalías negativas (media 0.79 °C y -0.46 °C). Para la zona centro en el mismo periodo se han observado 1788 celdas con anomalías positivas y 509 celdas con anomalías negativas (median 0.87 °C y -0.45 °C). Para la zona sur en el mismo periodo se han observado 1981 celdas con anomalías positivas y 446 celdas con anomalías negativas (median 0.86 °C y -0.36 °C). En general, los datos indican que el Golfo de California se encuentra en un periodo de calentamiento que empezó en enero de 2014 y continúa hasta la fecha. Este es un periodo de calentamiento no observado en la serie de tiempo que empezó en 1980.

3.3. Cabo Pulmo

3.3.1. Series de tiempo

Las condiciones climatológicas y de 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 octubre). 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, último registro con el promedio de agosto

a octubre, ASO).

En octubre, la TSM tuvo un valor promedio de 29.9 °C, prácticamente igual a su valor climatológico de 29.7 °C, menor respecto a los 30.5 °C de septiembre. Las anomalías positivas que iniciaron en julio de 2023 se mantuvieron hasta marzo, en abril se registró un valor negativo de -0.46 °C, en mayo iniciaron nuevamente las anomalías positivas y continúan hasta octubre. El valor del ONI (ASO) fue de -0.22, el segundo valor negativo consecutivo (-0.11 en JAS), que no se ha reflejado en anomalías negativas de TSM (figura 9 A y B).

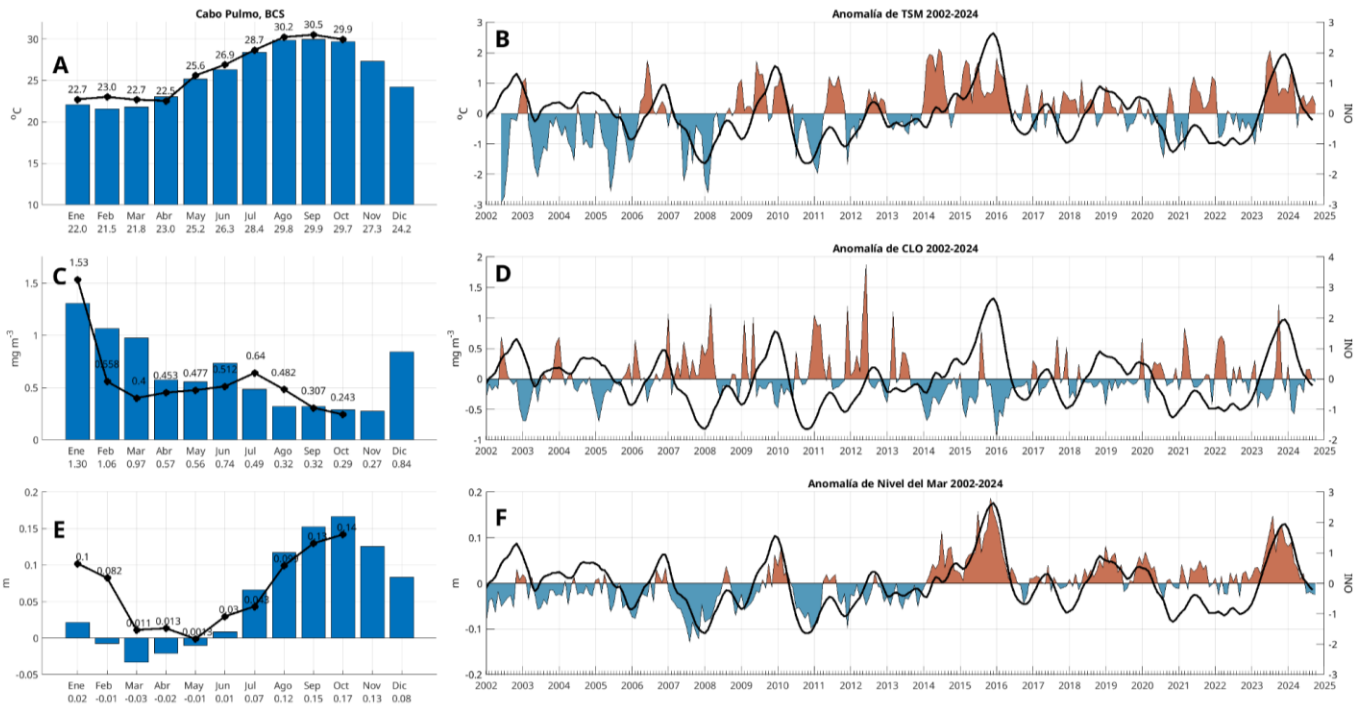


Figura 9: Climatologías mensuales y anomalías interanuales de TSM, CLO y ANM durante octubre de 2024 en Cabo Pulmo. Las barras azules en los paneles **A**, **C** y **E** son las climatologías mensuales de cada variable. Los números en la base de las barras indican los valores de cada mes. Los círculos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

En octubre, la CLO presentó un valor de 0.24 mg·m⁻³, marginalmente menor respecto al promedio climatológico de 0.29 mg·m⁻³ (figura 9 C y D); menor en comparación con septiembre, que tuvo un valor de 0.31 mg·m⁻³. Aunque el valor mensual es anómalamente negativo, las condiciones de octubre son muy similares a su comportamiento normal y, al parecer, el efecto del ONI no se ha reflejado en los niveles de clorofila.

En octubre, la ANM registró un valor de 0.14 m, inferior a su valor climatológico de 0.17 m (figura 9 E y F), marginalmente mayor en comparación con septiembre (0.13 m). Desde octubre de 2022, las anomalías positivas dominaron la serie, este es el cuarto mes (desde

julio) con anomalía negativa con un valor de -0.03 m.

La figura 10 contiene la serie de tiempo del nivel del mar absoluto (m) en Cabo Pulmo, desde enero de 1993 hasta noviembre de 2024. La variación estacional consiste en la elevación del nivel del mar en verano y el descenso en invierno. Sin embargo, destacan los máximos de 1997-1998, asociado a un evento de El Niño, el de 2014 debido al Blob cálido, y el de 2015 debido a otro evento El Niño. El año 2023 se encuentra entre los máximos del registro por 2 razones: a) el evento El Niño que calentó el Pacífico Tropical Oriental y, b) el incremento del nivel del mar por calentamiento global. Ambos fenómenos contribuyen a la elevación del nivel del mar que se reporta aquí. El incremento del nivel del mar debido al calentamiento global en esta localidad tiene una tendencia de 2.7 mm/año, para un total de 86 mm en los 32 años de registro. Durante este mes de noviembre de 2024 sólo se alcanza un máximo de verano débil. Y esto inicia la caída estacional del nivel del mar rumbo al invierno. Este máximo de verano es uno de los más débiles del registro.

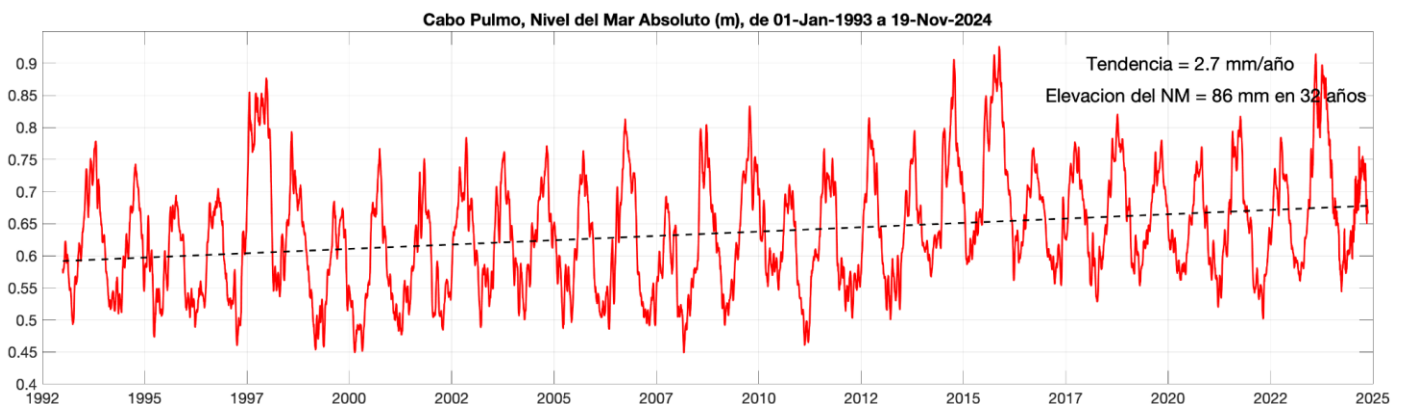


Figura 10: Nivel del mar absoluto (m) en Cabo Pulmo, BCS. Inicia en enero de 1993 y termina en noviembre de 2024. Incluye el nivel del mar con referencia al geode y la tendencia de largo período debida al calentamiento global.

3.3.2. Viento (VTO) *in situ*

Durante el mes de octubre de 2024 se pueden observar cambios significativos en el patrón característico de los vientos en la región de Cabo Pulmo, BCS. Se aprecia una disminución importante en el aporte de los vientos provenientes del Norte y un aumento en la intensidad de los vientos provenientes del cuadrante Norte-Noroeste con base en el patrón característico de los vientos dado por la climatología (2014-2024). Se observa, que los vientos provenientes del cuadrante Sur-Sureste fueron más recurrentes durante 2024 en comparación con la climatología característica del mes de octubre (figura 11).

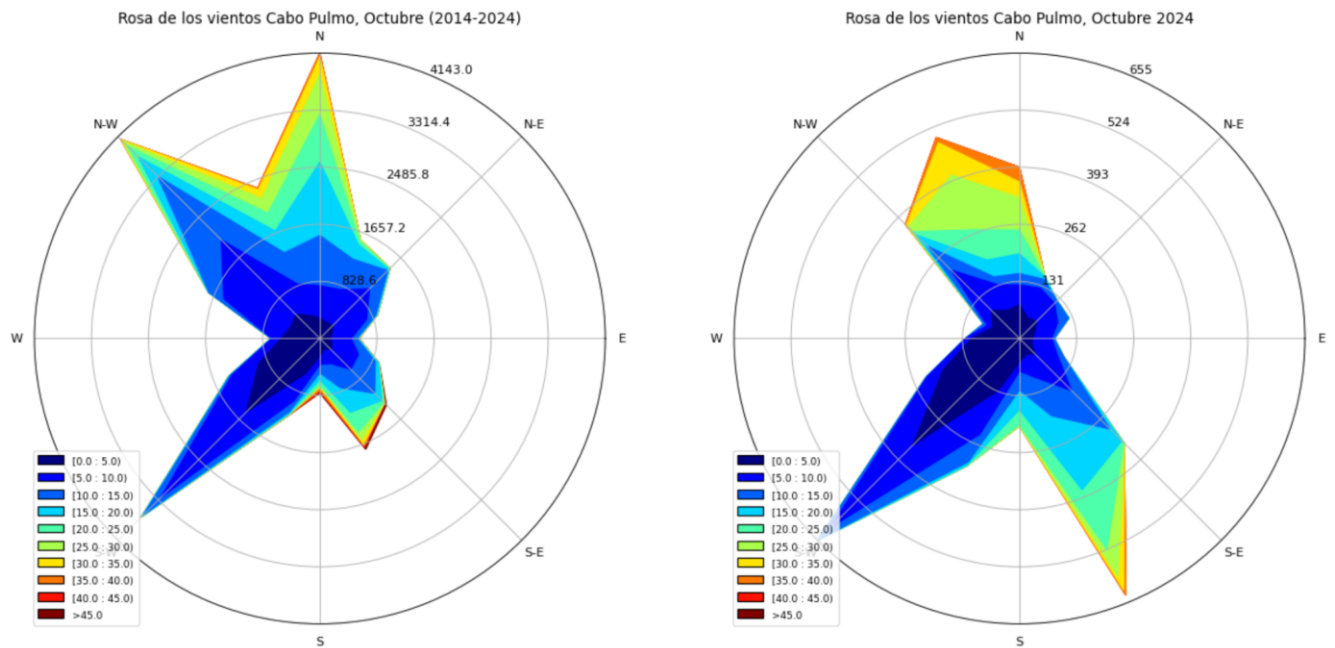


Figura 11: Climatología vs. observaciones de la dirección e intensidad de los vientos en la estación Cabo Pulmo durante el mes de octubre de 2024.

La intensidad del viento *in situ* registrada durante el mes de octubre de 2024, en Cabo Pulmo, muestra cómo los vientos atípicos por arriba de los 40 km/h fueron nulos en comparación con los años previos que presentaron influencia de ciclones tropicales, particularmente 2023 donde el paso del huracán Norma promovió vientos sostenidos mayores a los 60 y 70 km/h (figura 12, *outliers*).

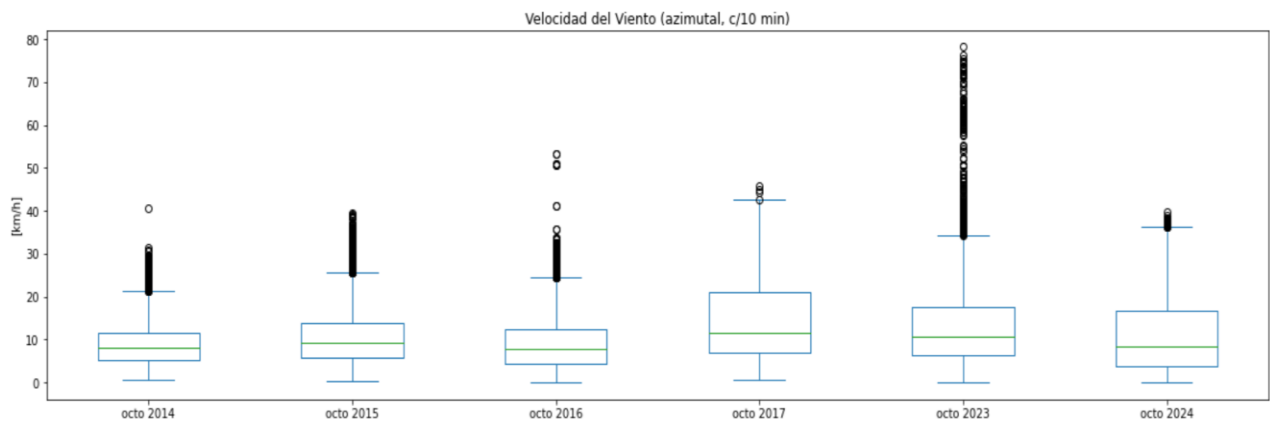


Figura 12: Análisis de cajas de la intensidad de los vientos en la estación Cabo Pulmo durante el mes de octubre de 2024. Se puede notar que la distribución estadística de la intensidad del viento tiende a ser una distribución normal con una mediana alrededor de los 10 km/h. Los valores de viento atípico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

3.3.3. 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 %) y se define por una temperatura superficial cercana a los 24.12 °C, salinidad de 35.34 ups y 0.15 mg·m⁻³ de clorofila.

En el periodo enero-junio de 2024, se observa una contracción drástica de H15 respecto a las condiciones promedio, llegando a desaparecer de la zona entre abril y mayo. El colapso de H15 ha sido acompañado por la expansión de H3 (hasta 60%), junto con H11 (>20%; figura 13a). Otros hábitats pelágicos menos dominantes también presentaron comportamientos anómalos entre enero y junio de 2024, aunque en todos los casos se aprecia un retorno gradual hacia las condiciones promedio conforme nos acercamos al verano. La figura 13b muestra el predominio de H3 en la porción oceánica y una mayor diversidad de hábitats pelágicos hacia la costa (ej. H15, H11, H3, H21).

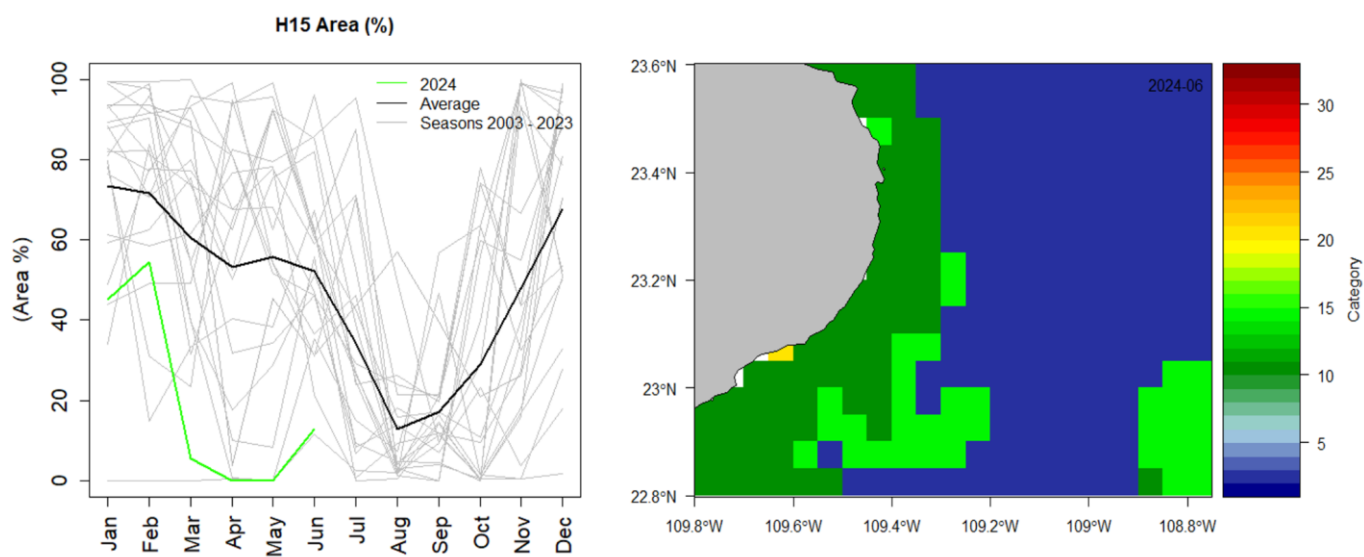


Figura 13: Paisaje Pelágico frente a Cabo Pulmo. a) Panel izquierdo: Comportamiento estacional del hábitat dominante H15 (2003-2024). b) Panel derecho: Distribución espacial promedio de los hábitats pelágicos durante junio de 2024.

3.3.4. 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 septiembre de 2024. El sensor no ha registrado datos para Cabo Pulmo desde el mes de octubre.

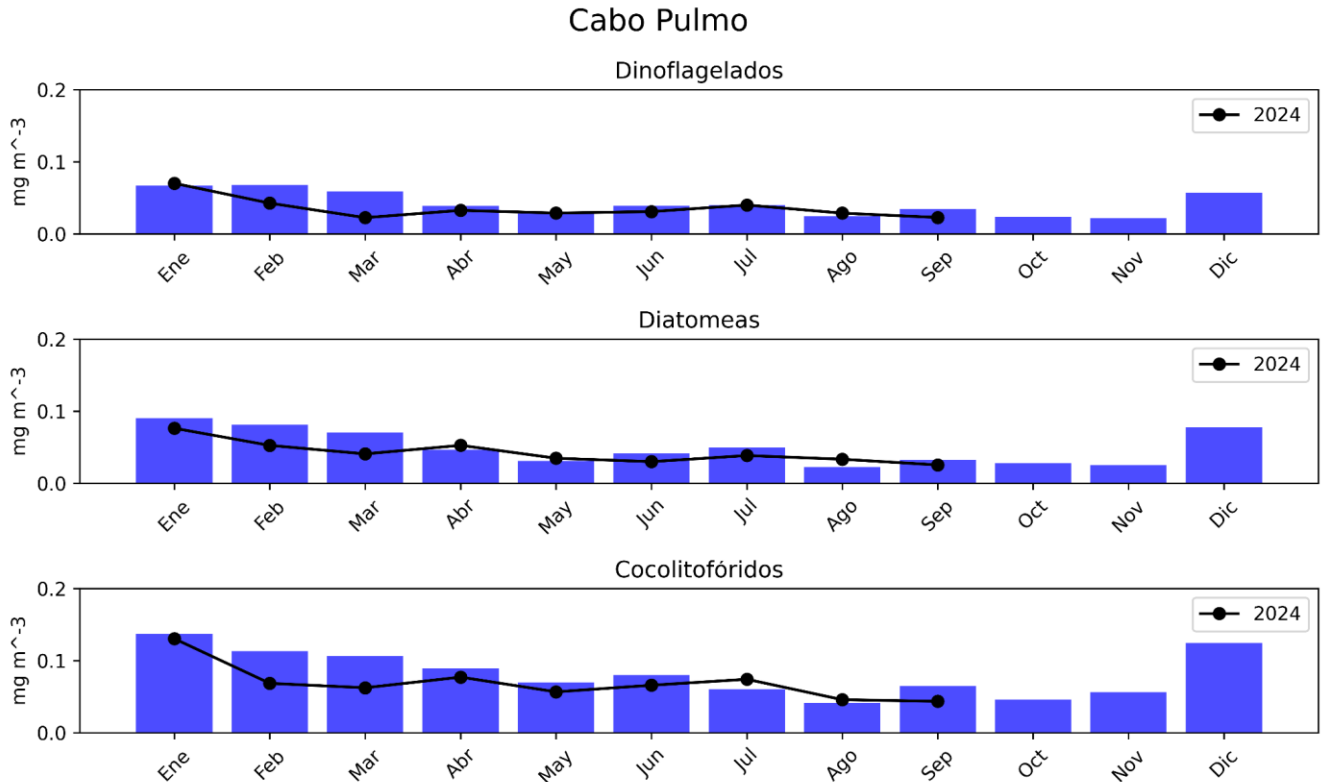


Figura 14: Climatologías de la concentración de grupos fitoplanctónicos expresada en CLO en el agua de mar en Cabo Pulmo durante septiembre de 2024. Sin datos para el mes de octubre.

3.4. Bahía de La Paz

3.4.1. Series de tiempo

Las condiciones climatológicas y de anomalías de TSM, CLO y ANM a lo largo del tiempo (2002-2024) para La Bahía de 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 octubre). 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, último registro con el promedio de agosto a octubre, ASO).

La TSM, de julio de 2023 a junio de 2024, estuvo dominada por anomalías positivas, sin embargo, desde julio de 2024 se han presentado anomalías negativas, en octubre su valor fue de $-0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$. El valor mensual en octubre fue de $28.4\text{ }^{\circ}\text{C}$, menor a su valor climatológico de $28.9\text{ }^{\circ}\text{C}$; en comparación, septiembre presentó un valor de $28.9\text{ }^{\circ}\text{C}$. Se debe señalar que desde abril, los valores, aunque anómalos, están relativamente cerca de sus valores climatológicos. Esto sugiere que estamos en condiciones neutrales, es decir, sin la influencia de El Niño en la región. Al respecto, el valor del ONI (ASO) es de -

0.22, prácticamente neutral, el doble que en JAS de -0.11 (figura 15 A y B).

En octubre, la CLO presentó un valor de $0.46 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$, menor en $0.08 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ respecto al promedio climatológico de $0.55 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ (figura 15 C y D); en comparación, en septiembre se registró un valor de $0.49 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$. Tanto septiembre como octubre tuvieron valores cercanos a sus valores climatológicos, el valor del ONI en ASO (-0.22), aunque negativo, no se ha reflejado en los niveles de clorofila.

En octubre de 2024, las ANM registraron un valor de 0.14 m, por debajo de su valor climatológico de 0.17 m. El valor mensual aumentó en comparación al de septiembre de 0.11 m. Desde julio de 2023 las anomalías fueron positivas, pero a partir de julio de 2024, se comenzaron a registrar anomalías negativas, en octubre su valor fue de -0.2 m. (figura 15 E y F).

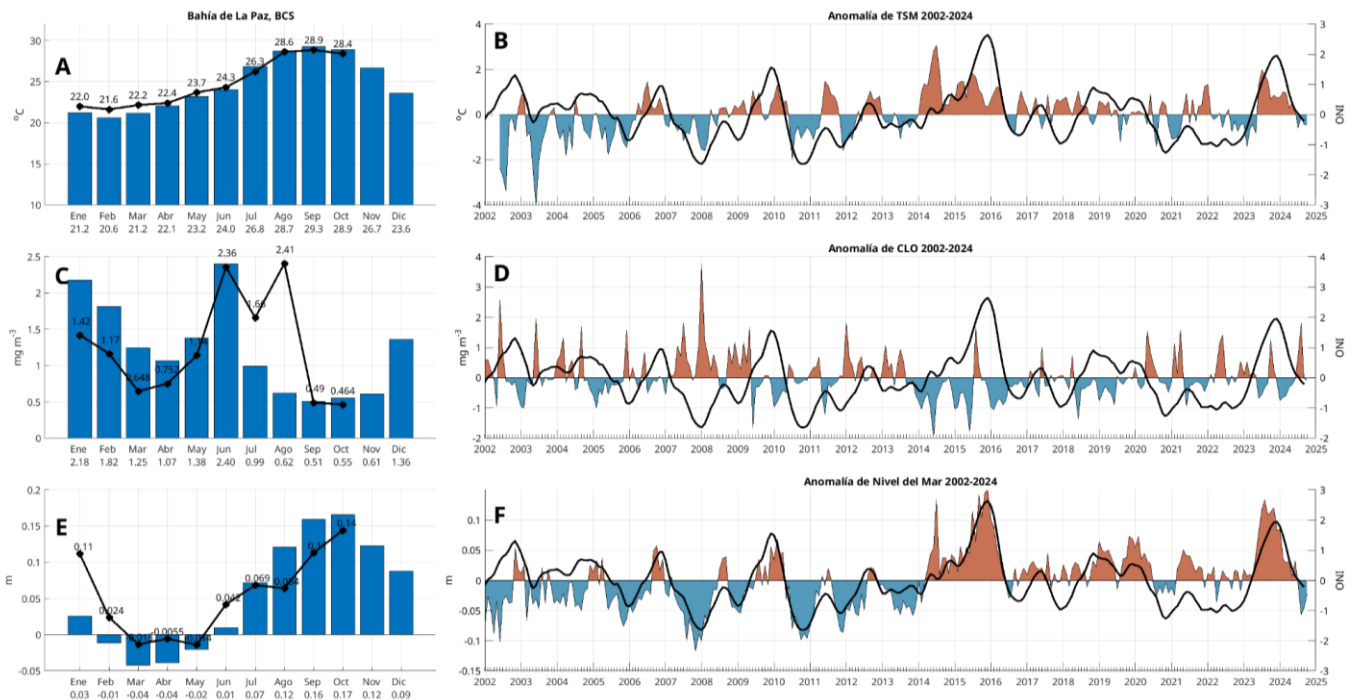


Figura 15: Climatologías mensuales y anomalías interanuales de TSM, CLO y ANM durante octubre de 2024 en La Paz. Las barras azules en los paneles A, C y E son las climatologías mensuales de cada variable. Los números en la base de las barras indican los valores de cada mes. Los círculos negros y el valor numérico indican los valores mensuales de 2024 hasta octubre. Las series de tiempo de los paneles B, D y F representan las anomalías interanuales, la línea negra es el ONI (ASO).

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

contribuyen a la elevación del nivel del mar que se reporta aquí. El incremento del nivel del mar debido al calentamiento global en esta localidad tiene una tendencia de 2.5 mm/año, para un total de 79 mm en los 32 años de registro. En noviembre de 2024 el nivel del mar alcanza un débil máximo de verano, mucho menor que el verano de 2023 y comparable solamente con el verano de 2010 en los 32 años del registro.

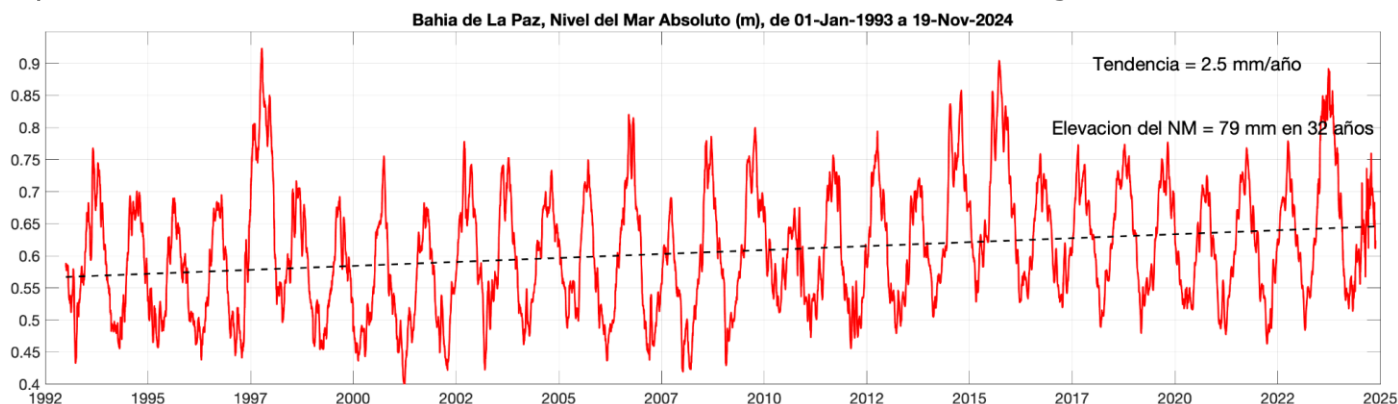


Figura 16: Nivel del mar absoluto (m) en Bahía de La Paz, BCS. Inicia en enero de 1993 y termina en noviembre de 2024. Incluye el nivel del mar con referencia al Geoide. Incluye la tendencia de largo período debida al calentamiento global.

3.4.2. Condiciones Meteorológicas registradas en la Bahía de La Paz

Estación Meteorológica: La Paz. Septiembre-Octubre 2024

Temperatura del aire (T_{air})

La figura 17, muestra en (a) la serie de tiempo de la temperatura del aire (T_{air}) registradas en la Estación ubicada al sur de la bahía de **La Paz**, registrando información cada 2 horas durante el período 01 septiembre al 31 de octubre de 2024. Se continúan observando altas temperaturas del aire, propias del final del verano (máximas de 39.4 °C) durante el mes de septiembre y valores promedio de 29.3° y mínimas de 19.5 °C registradas en octubre. La cercanía de la trayectoria del Huracán Ileana del 12 al 14 de septiembre, marcó una fuerte caída en la serie de Temperatura del aire, disminuyendo los valores en aprox. 5 °C.

Humedad Relativa (H_r)

La figura 17, muestra en (b) la serie de la humedad relativa (H_r) registrada en **La Paz** presenta valores máximos de 85%, promedio de 59.3% y mínimos de 18% (28 de septiembre), asociado a periodos de calma en los vientos del sur y suroeste proveniente del Pacífico, característica principal observada durante el verano. Septiembre y octubre se caracterizó por presentar períodos de aproximadamente 5 a 8 días con valores bajos de humedad asociada con la presencia de vientos del noroeste.

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

La figura 17, muestra en (c) los valores de velocidad (línea en negro) y rachas (línea punteada en rojo) del viento registrados en la Estación **La Paz**, donde se muestran rachas

máximas de 13 m s^{-1} asociados a eventos continuos de vientos moderados del suroeste que cambian al noroeste en períodos cortos de tiempo (5 a 7 días) durante septiembre y octubre, asociados al inicio de la transición de otoño con el ingreso paulatino de vientos del noroeste con rachas fuertes del noroeste (~ 8 a 13 m s^{-1}) asociados al ingreso de aire frío y seco 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 **La Paz** correspondientes al período 01 de septiembre al 31 de octubre de 2024. La dirección predominante del viento fue del suroeste-sur y sureste asociada con la temporada del verano junto con períodos cortos (2-5 días) de vientos del norte y noroeste durante la transición de otoño, que ingresan aire frío y seco proveniente del Pacífico hacia la bahía de La Paz.

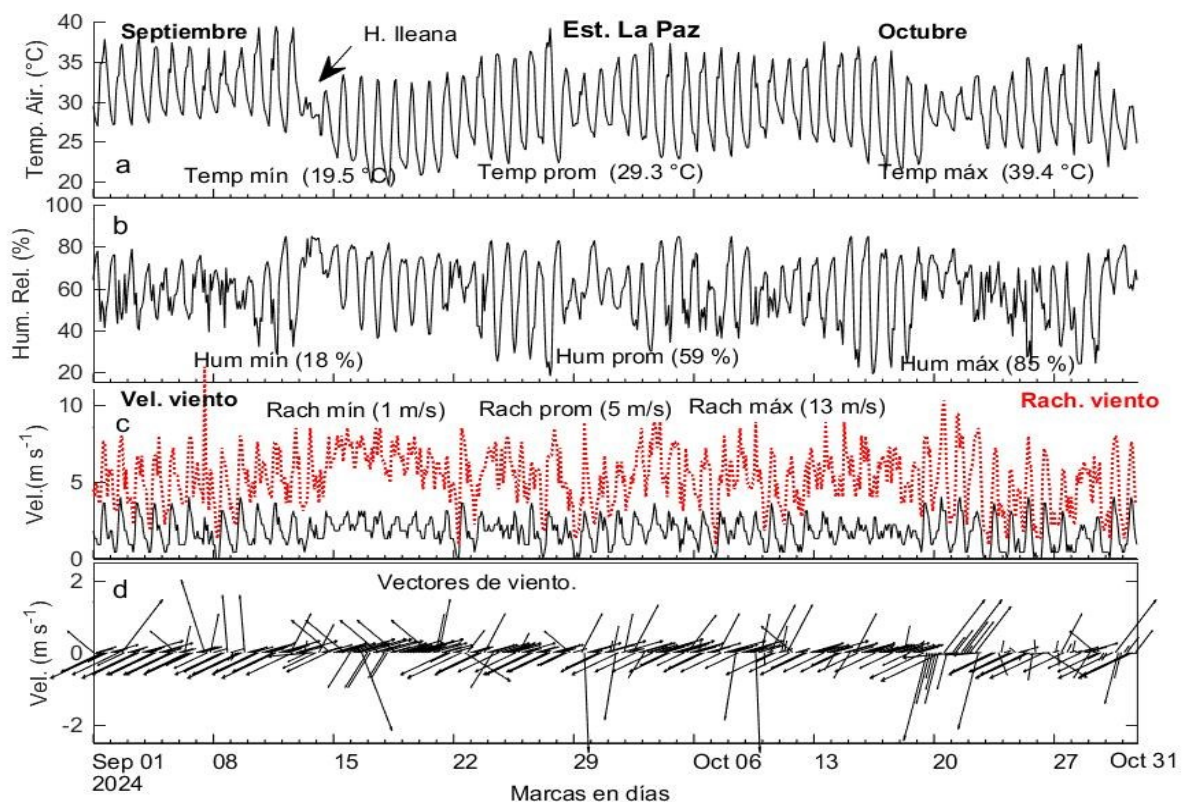


Figura 17: Series de tiempo de: (a) Temperatura del aire, (b) Humedad Relativa, (c) Velocidad (en negro) y Rachas (línea punteada en rojo) del viento y (d) la dirección del viento (vectores) registrado en la Estación **La Paz**, al sur de la bahía de La Paz y cubriendo el período del 01 septiembre al 31 de octubre, 2024.

La figura 18, muestra en forma de rosas de los vientos: (a) la dirección y velocidad predominante del viento y (b) la frecuencia de ocurrencia en la dirección del viento (el número de vectores cada 10 grados) medido en la estación **La Paz** durante el período del

01 de septiembre al 31 de octubre de 2024. La dirección predominante, fue del 3er, 4to cuadrante asociado al viento característico del período de transición verano-otoño con el ingreso esporádico de aire frío y seco del noroeste proveniente del Pacífico y la predominancia de eventos de viento del sur y suroeste que ingresan aire cálido y húmedo a la bahía de La Paz. Los vectores en rojo en (b) indican los ejes principales promedio de la máxima y mínima varianza del viento.

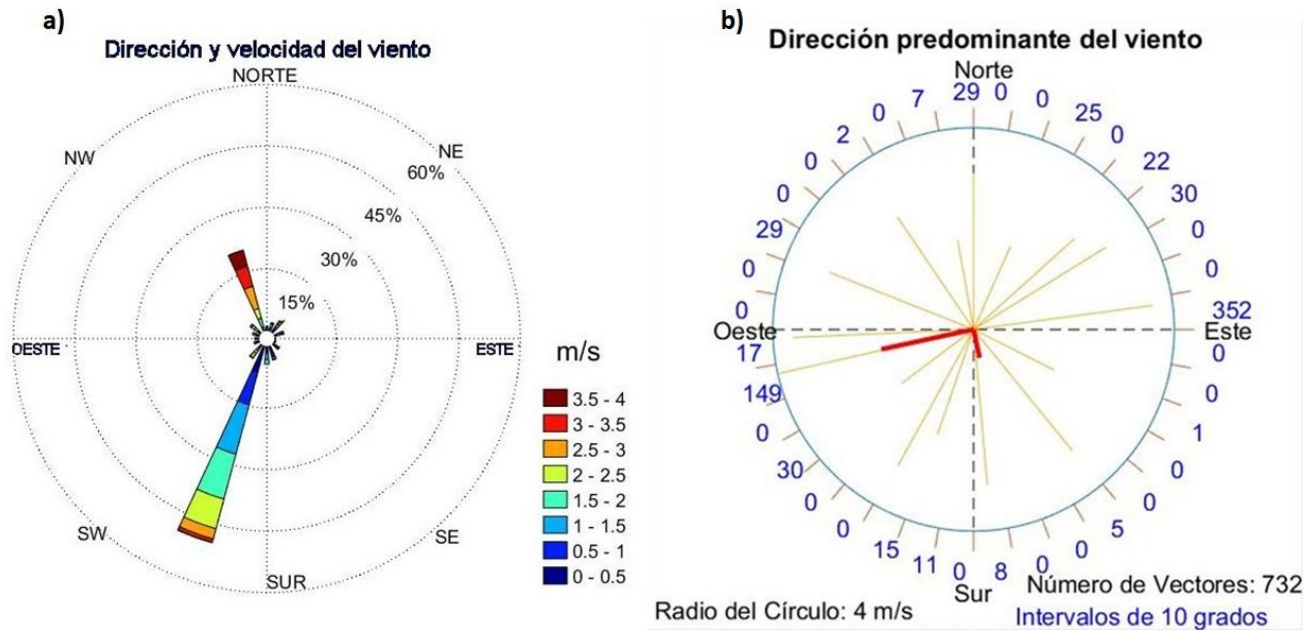


Figura 18: Velocidad y dirección predominante del viento mostrada en forma de: a) Rosa y (b) Vectores del viento registrado en La Paz (medidos cada/2 hrs) durante el período del 01 septiembre al 31 de octubre de 2024. La rosa del lado izquierdo (a) indica la velocidad y dirección predominante del viento, mientras la rosa del lado derecho (b) indica la frecuencia y el número de vectores calculados cada 10 grados. Los vectores en rojo indican los ejes principales promedio de la máxima y mínima varianza del viento registrado durante este período.

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

Se observa que durante el mes de octubre de 2024 el patrón característico de los vientos dentro de la ciudad de La Paz (figura 19) tiene un aporte más marcado de los vientos provenientes del Norte en comparación con el patrón característico de octubre definido por los últimos ocho años (2016-2024); de la figura se nota también una marcada aportación de los vientos provenientes del Sur. En general la intensidad de los vientos vista desde este gráfico no rebasa los 20 km/h.

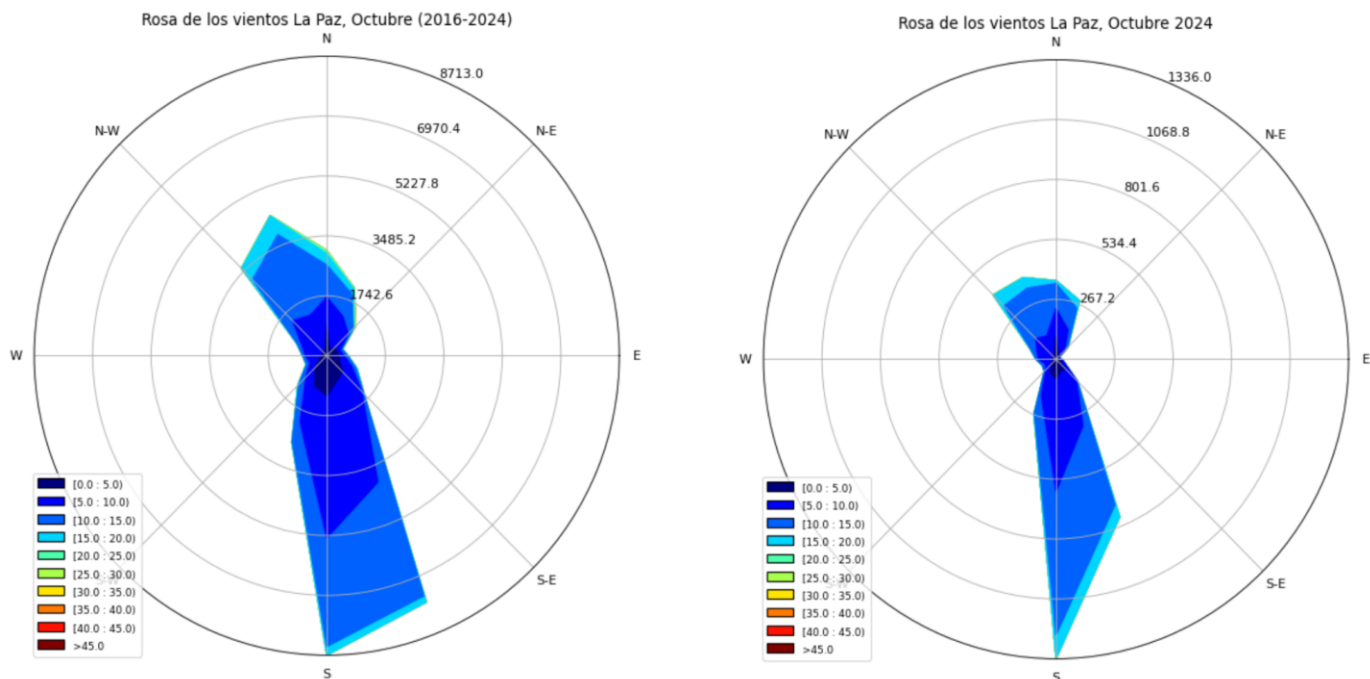


Figura 19: Climatología vs. observaciones de la dirección e intensidad de los vientos en la estación ESIME de La Paz durante octubre de 2024.

La intensidad del viento registrada *in situ* en este punto de la ciudad de La Paz durante el mes de octubre de 2024 no muestra valores atípicos en comparación con aquellos ocurridos durante el mismo mes en 2022 y que no fueron influenciados por ciclones tropicales (figura 20, *outliers*). De acuerdo con la mediana de los datos, la intensidad del viento para este mes se aproxima a los 10 km/h y no se rebasan los 20 km/h durante octubre de 2024 (figura 20, boxplots).

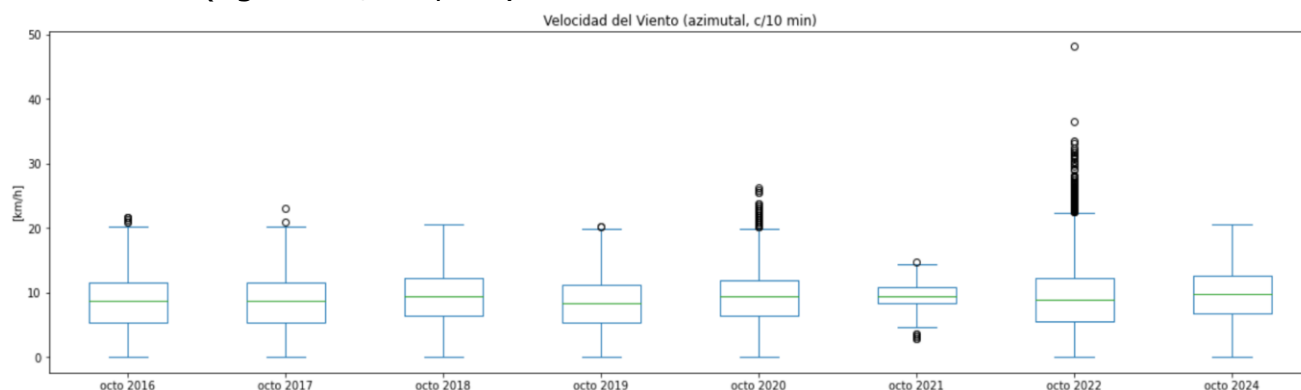


Figura 20: Análisis de cajas de la intensidad de los vientos en la ciudad de La Paz, BCS, durante el mes de octubre de 2024. Los valores de viento atípico u *outliers* se muestran con círculos en negro en la figura.

3.4.4. Paisaje Pelágico (BLP)

El hábitat pelágico H15 es dominante en la Bahía de La Paz, presentando dos

expansiones en el año, la primera en abril-mayo y la segunda en octubre-diciembre cuando puede ocupar hasta más del 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 ocupa aún una porción importante de la costa, mientras que H15, H13 y H11 cubren la mayor parte del área considerada (figura 21b). La presencia de estos hábitats son indicadores de una ligera disminución de la temperatura y concentraciones intermedias de clorofila respecto a las condiciones promedio.

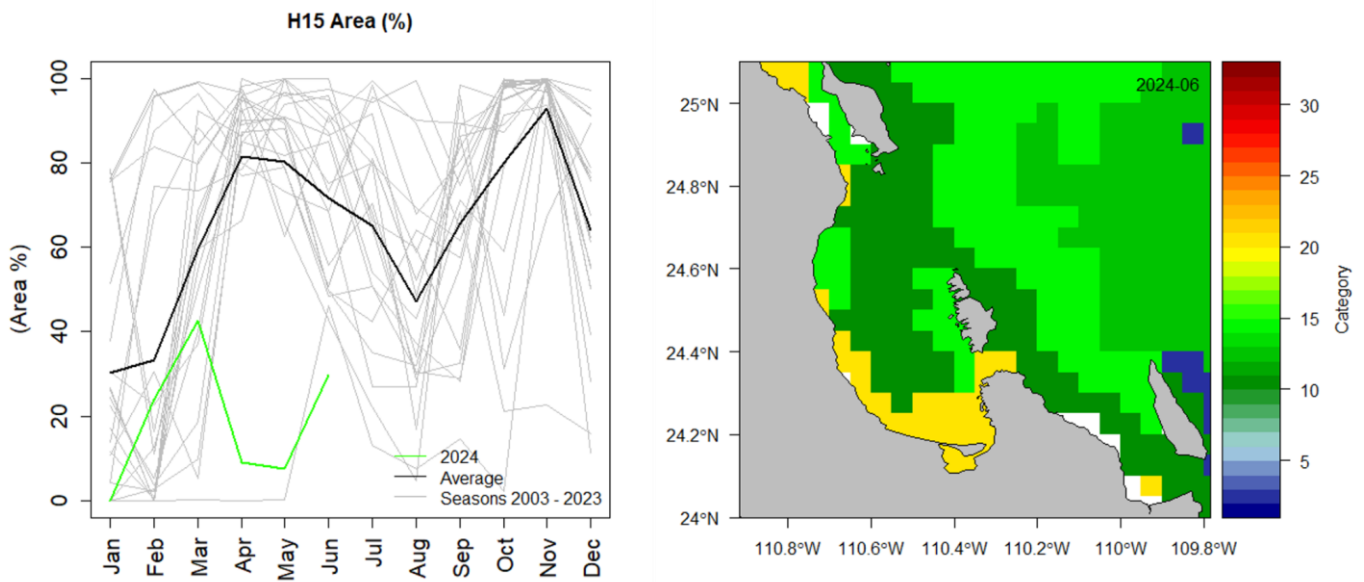


Figura 21: Paisaje Pelágico en la Bahía de La Paz. a) Panel izquierdo: Comportamiento estacional del hábitat H15 (2003-2024). b) Panel derecho: Distribución espacial promedio de los hábitats pelágicos en junio de 2024.

3.4.5. 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 octubre de 2024. Los resultados de octubre indican que el promedio mensual de las concentraciones de los tres grupos han disminuido, igualando el promedio climatológico. En particular para diatomeas y cocolitofóridos el promedio mensual es menor en octubre.

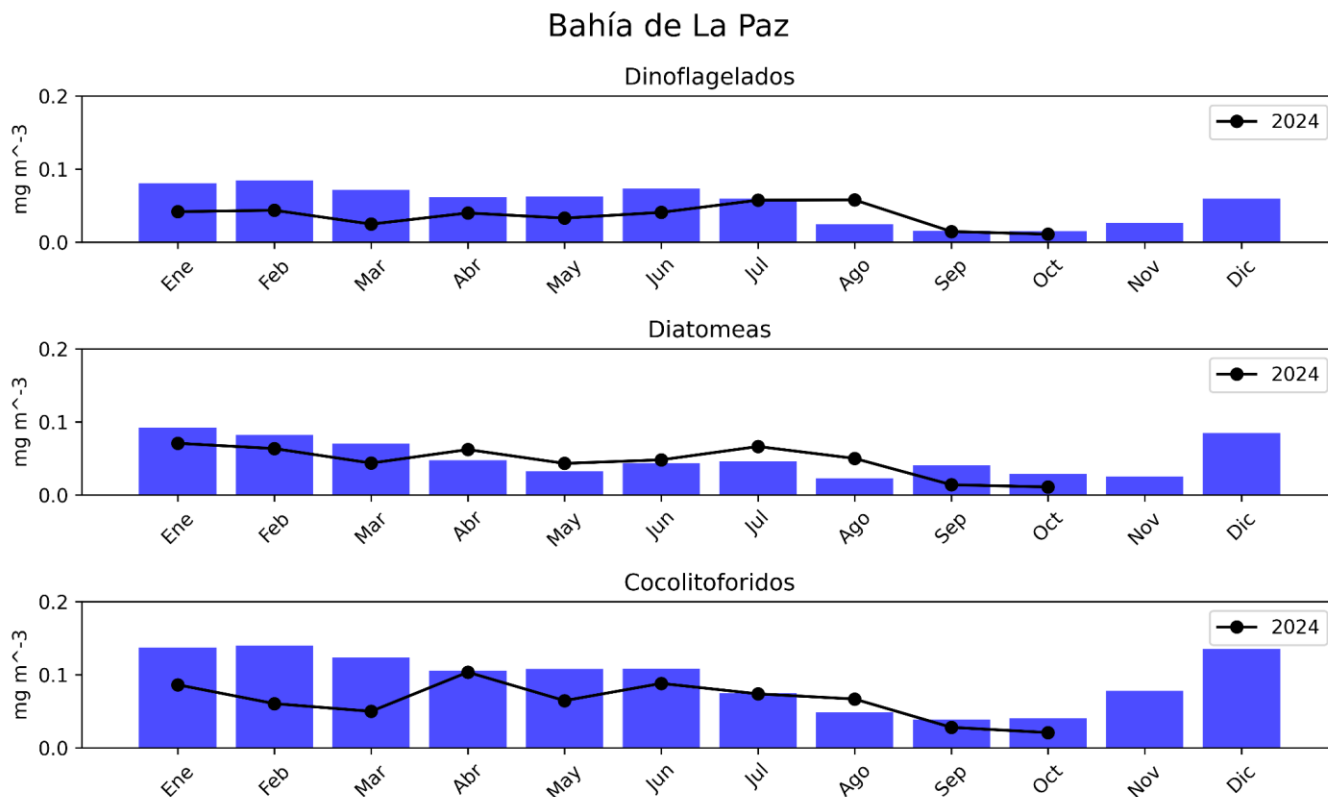


Figura 22: Climatologías de la concentración de grupos fitoplanctónicos expresada en CLO en el agua de mar en la bahía de La Paz durante octubre de 2024.

3.5. San Juanico, Golfo de Ulloa

3.5.1. Series de tiempo

Las condiciones climatológicas y de 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 octubre). 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, último registro con el promedio de agosto a octubre, ASO).

En octubre de 2024 la TSM registrada fue de 23.2 °C, por debajo en -1.6 °C respecto de su valor climatológico de 24.8 °C y menor a los 24.2 °C de septiembre. Desde abril, las anomalías de TSM son negativas, lo que parece indicar el inicio de condiciones anómalamente frías en la región del Golfo de Ulloa, aunque los dos valores más recientes del ONI han sido negativos (-0.11 y -0.22) (figura 23 **A** y **B**).

El valor registrado de CLO para octubre de 2024 fue de 2.23 mg·m⁻³, apenas superior a los 2.20 mg·m⁻³ de su valor climatológico, y notoriamente menor a los 6.04 mg·m⁻³ de septiembre (figura 23 **C** y **D**). Desde mayo, las anomalías son positivas, acorde con

condiciones frías y favorables.

El valor de la ANM durante el mes octubre de 2024 fue de 0.11 m, inferior respecto a su valor climatológico de 0.14 m, lo que indica una anomalía negativa de -0.03 m. Las anomalías positivas, presentes en la región desde inicios de 2022, terminaron en julio de 2024, a partir de agosto iniciaron las anomalías negativas y se extienden hasta octubre (figura 23 E y F).

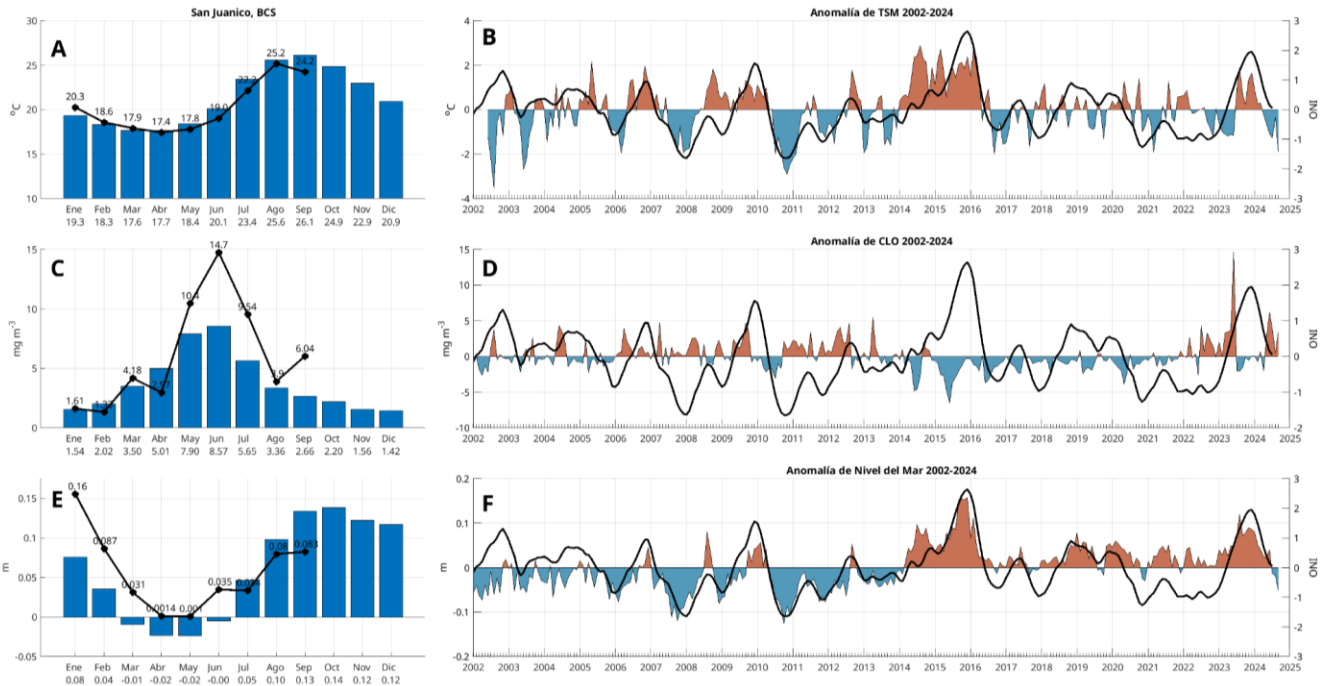


Figura 23: Climatologías mensuales y anomalías interanuales de TSM, CLO y ANM durante octubre de 2024 en San Juanico. Las barras azules en los paneles A, C y E son las climatologías mensuales de cada variable. Los números en la base de las barras indican los valores de cada mes. Los círculos negros y el valor numérico indican los valores mensuales de 2024 hasta octubre. Las series de tiempo de los paneles B, D y F representan las anomalías interanuales, la línea negra es el 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 noviembre 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, a diferencia de La Paz y Cabo Pulmo, el año 2023 no destaca como uno de los máximos del registro. Esto se debe a que el evento El Niño que calentó el Pacífico Tropical Oriental no ejerció tanta influencia a 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 2.7 mm/año, para un total de 87 mm en los 32 años de registro. Esta es la tendencia más pronunciada de los 3 sitios que reportamos. El mes de noviembre de 2024 registra un débil máximo de verano, con los máximos de nivel del

mar absoluto no superan elevaciones de 0.6 m, excepto por un evento aislado.

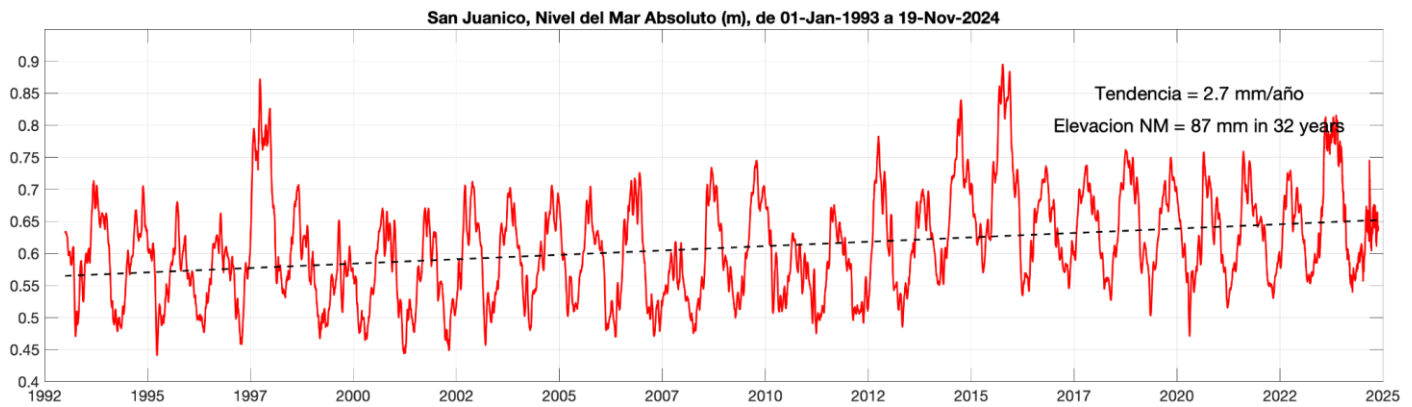


Figura 24: Nivel del mar absoluto (m) en San Juanico, costa pacífica norte de BCS. Inicia en enero de 1993 y termina en noviembre de 2024. Incluye el nivel del mar con referencia al Geoide. Incluye la tendencia de largo período debida al calentamiento global.

3.5.2. 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.

3.5.3. Paisaje Pelágico (GU)

El paisaje pelágico del Golfo de Ulloa se caracteriza por su diversidad de hábitats a lo largo del año. La categoría H17, ocupa la mayor área entre enero y abril (35-40%); se define por una temperatura superficial de 20.89 °C, salinidad de 33.59 ups y una concentración de clorofila de 0.17 mg·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 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 (figura 25b). En la porción más oceánica, la reducción de H17 en lo que va del 2024 (enero-junio), ha sido acompañada por la expansión de H7 y H14, lo que sugiere que aumentaron las áreas ocupadas por aguas más frías (~9.95 - 12.98 °C), de mayor salinidad (33.91 - 34.72) y mayor concentración de clorofila (~0.28-0.84 mg·m⁻³). Bordeando la costa H21 se mantiene cercano a sus valores promedio, indicando el predominio de aguas más cálidas (~22.54 °C) y concentraciones elevadas de clorofila (~2.09 mg·m⁻³; figura 25b).

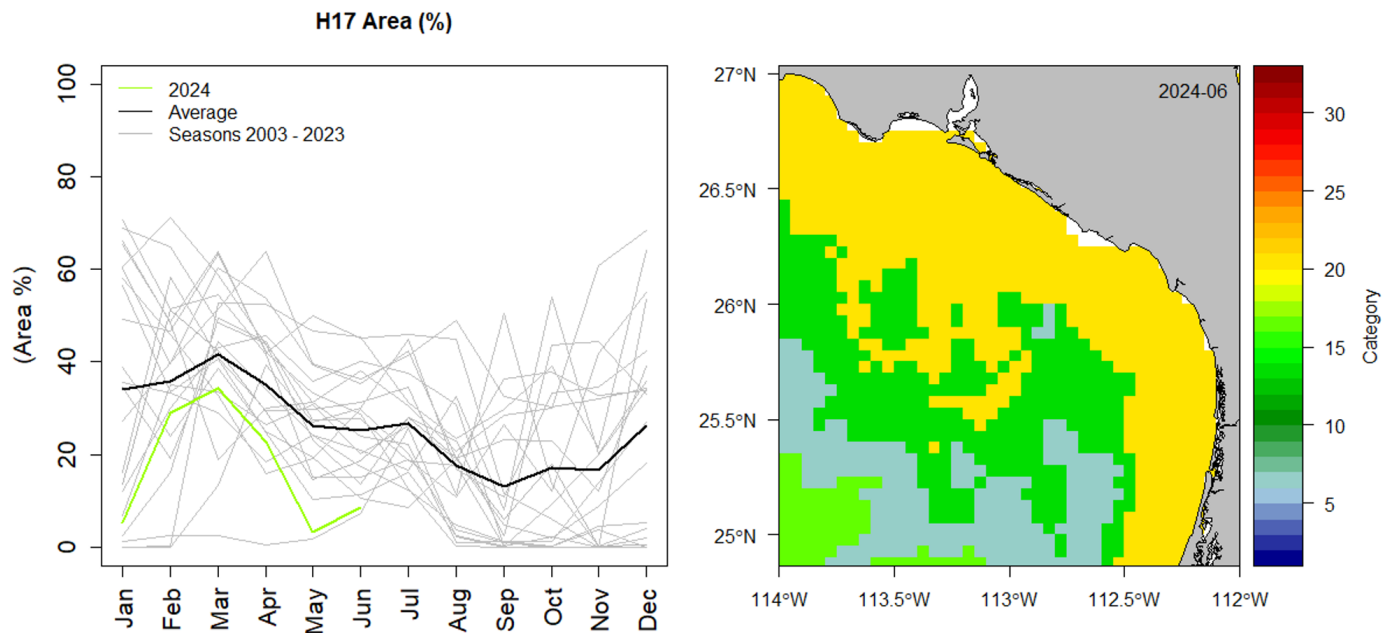


Figura 25: Paisaje Pelágico en el Golfo de Ulloa. a) Panel izquierdo: Comportamiento estacional (2003-2024) del hábitat H17 en el Golfo de Ulloa. b) Panel derecho: Distribución espacial promedio de los hábitats pelágicos durante junio de 2024.

3.5.4. 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 octubre de 2024. Los resultados de octubre indican que el promedio mensual en las concentraciones de diatomeas, dinoflagelados y cocolitofóridos han disminuido, se encuentran en el límite superior del promedio climatológico.

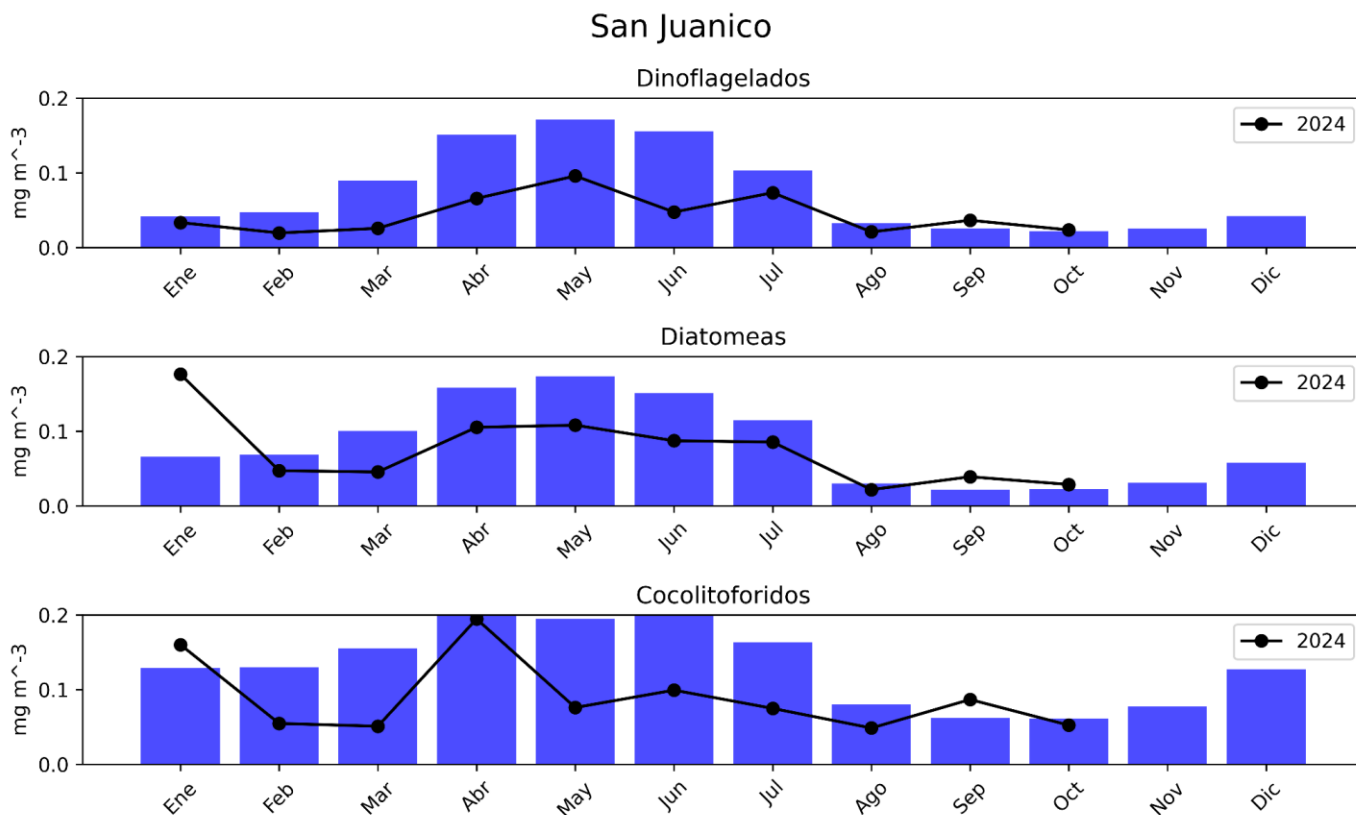


Figura 26: Climatologías de la concentración de grupos fitoplanctónicos expresada en CLO en el agua de mar en San Juanico en octubre de 2024.

3.5.5. 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 octubre de 2024 presentó una temperatura promedio de 26.3 °C (figura 27), valor que se ubicó 0.7 °C 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 octubre de 2024 con respecto a los promedios históricos, se registró una anomalía positiva de 1.5 °C en la temperatura máxima, mientras que en la temperatura mínima la anomalía negativa registrada fue de 0.1 °C (figura 28).

La figura 29 muestra el comportamiento diario de la temperatura y humedad relativa al mes de octubre de 2024. En el análisis específico del mes de octubre, se observó que el día 26 de octubre se registró la temperatura más alta con 42.5 °C, mientras que el 31 de octubre se presentó la temperatura más baja alcanzando un registro de 10.0 °C. En cuanto a la humedad relativa máxima, el promedio mensual fue de 92.0 %, mientras que el valor promedio de la humedad relativa mínima, fue de 31.2 %.

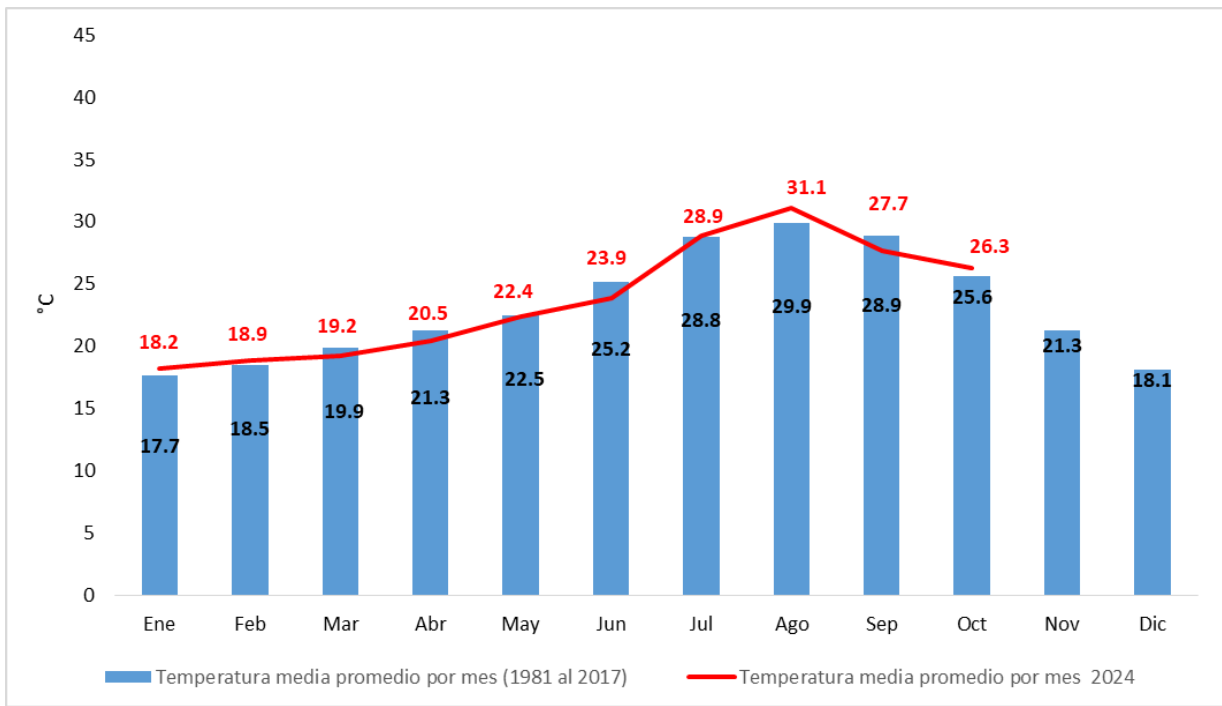


Figura 27: Comparativo de los promedios mensuales de la temperatura media (periodo 1981-2017) con respecto a los registrados al mes de octubre de 2024.

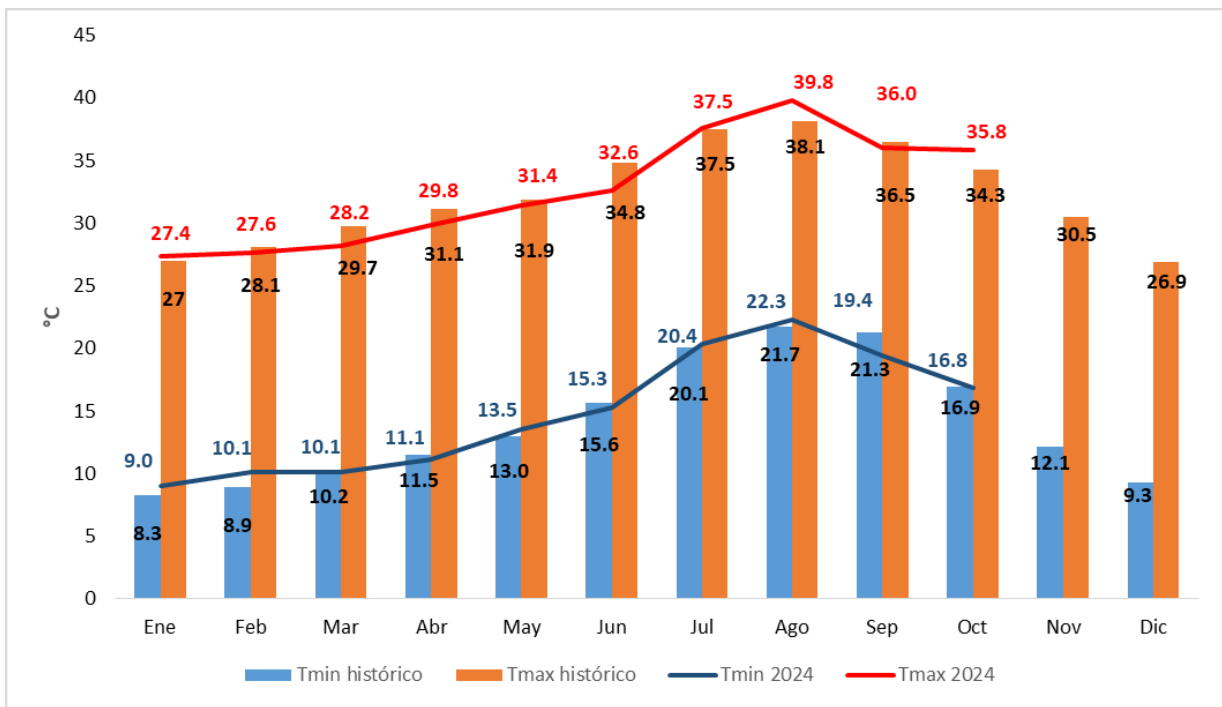


Figura 28: Comparativo entre los promedios de temperaturas máximas y mínimas históricas (1981-2017) con respecto a los promedios presentados al mes de octubre de 2024.

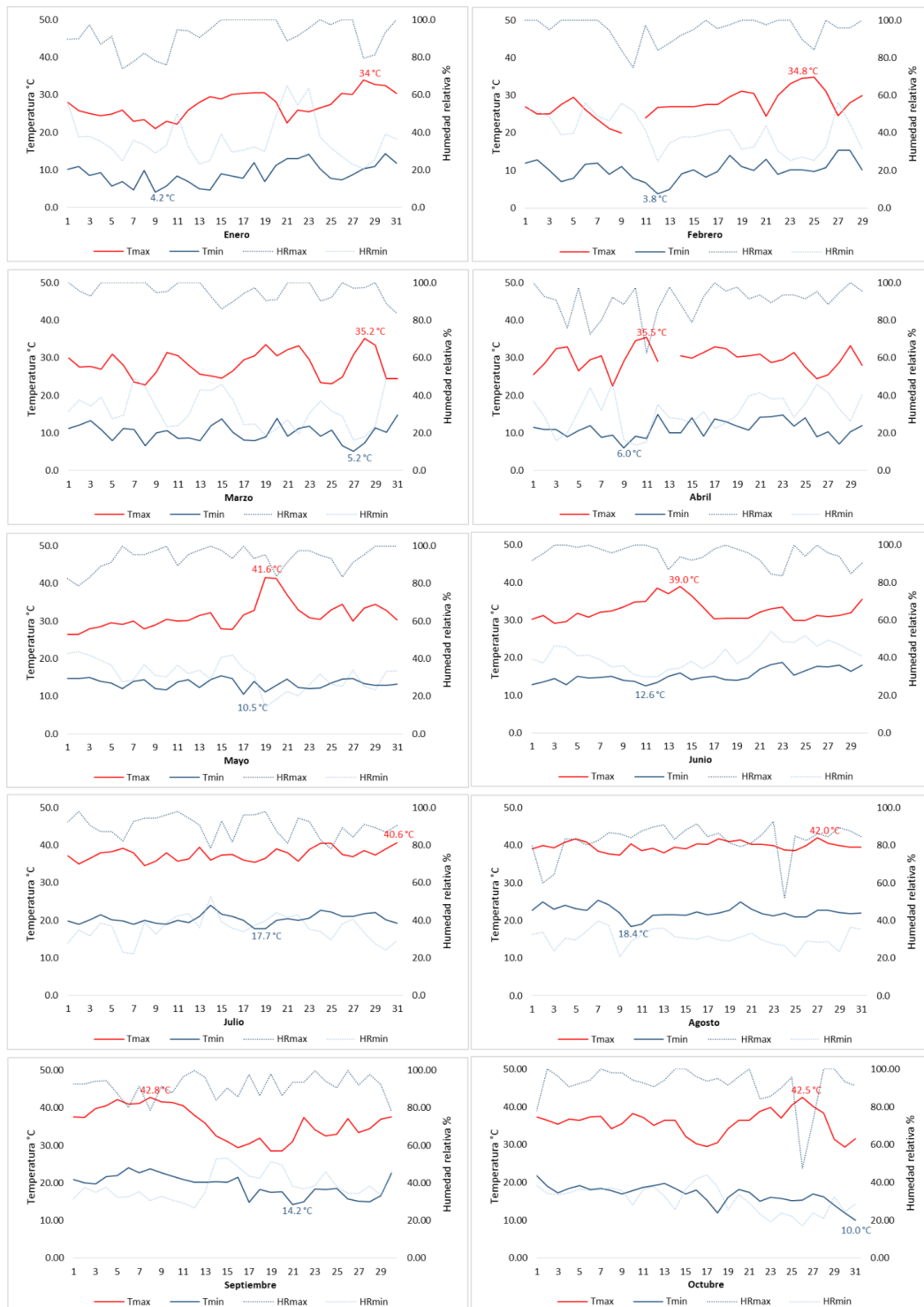


Figura 29: Comportamiento de la temperatura y humedad relativa al mes de octubre de 2024. Tmax= Temperatura máxima. Tmin= Temperatura mínima. HRmax= Humedad relativa máxima. HRmin= Humedad relativa mínima. El día 26 de octubre se presentó la temperatura más alta (42.5 °C), mientras que la temperatura más baja en el mes se registró el 31 de octubre (10.0 °C). La falta de continuidad en las líneas representativas de cada variable, en algunos meses, indica dato no registrado.

3.6. Temperaturas mínimas y máximas en los aeropuertos de BCS

En esta sección del boletín se ilustran los patrones diarios, cambios y condiciones promedio de la temperatura del aire, viento y humedad en los tres aeropuertos internacionales que operan en Baja California Sur (Figura 30). Durante octubre, San José del Cabo tuvo temperaturas mínimas que durante los primeros 15 días del mes fueron entre 20–25 °C mientras que durante los últimos 10 días del mes las mínimas estuvieron entre 19 °C y 26 °C. Durante todo el periodo, las temperaturas máximas estuvieron en el rango 31–37 °C. En La Paz, las mínimas oscilaron entre 19–26 °C; mientras que en Loreto los valores diarios estuvieron entre 21–33 °C y máximas entre 27–38 °C.

En Loreto, durante los meses anteriores, los promedios de la temperatura mínima promedio aumentaron desde enero (16.2 °C) hasta 30.6 °C en agosto que corresponde al valor más alto del año mientras que a partir de septiembre empezó a disminuir y para octubre el promedio continuó con la tendencia descendente. Con respecto a la temperatura máxima promedio, entre septiembre y octubre varió de 34.3 °C a 33.5 °C en Loreto, 35.3 a 35.5 °C en La Paz y de 33.5 a 34.0 °C en San José del Cabo. Esto, probablemente, en respuesta a la disminución de nubosidad asociada a la presencia de aire con menor contenido de humedad y de sistemas convectivos con características tropicales. Entonces, el aire seco se calienta más durante el día que en los días más húmedos.

Desde una perspectiva histórica, con respecto a los reportes de temperatura mensual durante los cinco años anteriores a 2024, las anomalías del promedio de la temperatura mínima estuvieron por arriba de lo normal en San José del Cabo (0.9 °C), La Paz (1.2 °C) y Loreto (3.3 °C). Por otra parte, también se presentaron anomalías positivas de temperatura máxima en San José del Cabo (2.3 °C), La Paz (3.9 °C) Loreto (1.9 °C). Entonces, todos los parámetros básicos de temperatura del aire indican un incremento relevante de las temperaturas extremas (máximas y mínimas) en octubre de 2024. Hay que recordar que una anomalía negativa (positiva) representa un valor menor (mayor) al ser comparado con el promedio de referencia disponible que en este caso es el promedio diario del periodo octubre 1–31 desde 2019 hasta 2023.

El viento máximo estuvo dentro del rango de magnitud moderada en Loreto (31–41 km/h), donde solamente en tres días entre los días 18–21 se rebasaron los 40 km/h. En los datos históricos, sobresale que el día 22 octubre de 2023 se reportaron velocidades máximas de viento de hasta 44 km/h a causa de la aproximación del huracán Norma. Su centro pasó a aproximadamente 50 km del aeropuerto de San José del Cabo como un huracán categoría 1 con vientos sostenidos de 130 km/h.

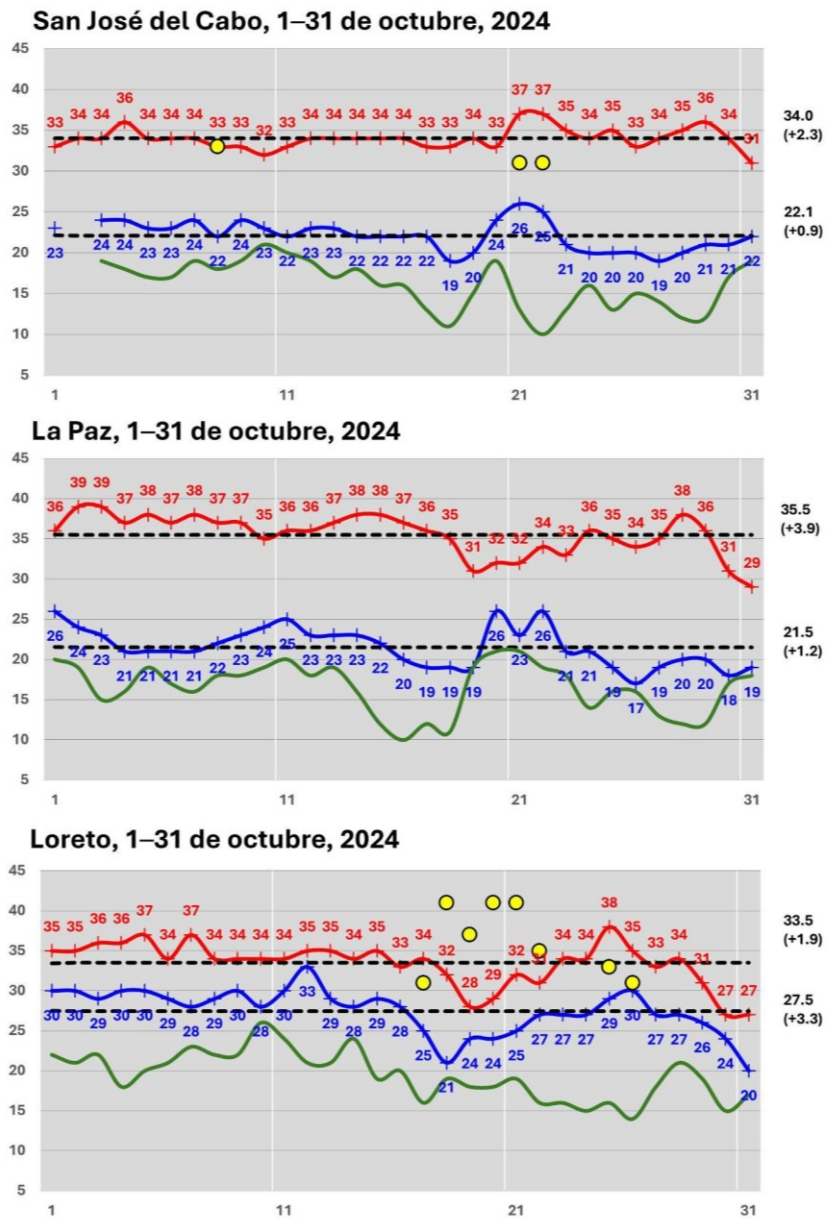


Figura 30: Temperatura (°C) mínima y máxima del aire en tres aeropuertos de Baja California Sur: San José del Cabo, La Paz y Loreto. Se incluyen los promedios diarios de temperatura máxima (°C, línea roja), mínima (°C, línea azul), punto de rocío (°C, línea verde) y la magnitud del viento máximo (> 30 km/h, círculo amarillo). La línea horizontal punteada representa el promedio de los valores diarios de temperatura del aire. Los valores a la derecha de cada eje vertical son promedios del mes, mientras que sus anomalías (respecto a 2019–2023) se indican en paréntesis.

La humedad en el aire (temperatura de punto de rocío, representada por líneas verdes en la figura 30), siguió en una tendencia a disminuir –con respecto a la primer quincena del mes– en cada uno de los aeropuertos, con promedio mensual de 16.2 (18.6 °C en

septiembre), 16.5 (18.4 °C en septiembre) y 19.5 (22.4 °C en septiembre) en San José del Cabo, La Paz y Loreto respectivamente. En la figura también se puede notar que en los últimos 10–15 días de octubre se presentaron valores relativamente bajos de humedad en cada uno de los tres aeropuertos y que es consistente con la ausencia de condiciones de un ambiente completamente tropical.

Tomando en cuenta los productos derivados del monitoreo realizado por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN, <https://smn.conagua.gob.mx>) y Centro Nacional de Huracanes en Estados Unidos (CNH, <https://www.nhc.noaa.gov>) es posible documentar el desarrollo de ciclones tropicales de la temporada 2024. Durante el mes de octubre, se presentó solamente un ciclón tropical en el Océano Pacífico: el huracán Kristy se desarrolló entre el 21 y 27 de octubre (figura 31). Kristy se formó a partir de los remanentes de la tormenta tropical Nadine en el Atlántico norte. Nadine estuvo activa del 18 al 20 de octubre y después de haber cruzado por Belice, Guatemala y Chiapas favoreció la formación de la circulación asociada a Kristy al sur de Oaxaca y Guerrero.



Figura 31: Trayectorias de dos ciclones tropicales que se desarrollaron durante el mes de octubre de 2024 en el Océano Atlántico norte y Pacífico oriental. Los datos se tomaron del Centro Nacional de Huracanes, <ftp://ftp.nhc.noaa.gov/atcf>.

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 CLOrophyll a product based on satellite observation: multi-sensor merging and flagging strategies. *OS*, 15, 819–830, 2019. <https://doi.org/10.5194/os-15-819-2019>

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