



Boletín Oceanográfico de BCS octubre de 2023

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

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

NOVIEMBRE DE 2023, No. 3

Introducción

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

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

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

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

Índice

1. Área de estudio	3
2. Método	3
2.1. Información satelital	3
2.2. Datos <i>in situ</i>	4
2.2.1. Viento local	4
2.2.2. Temperatura del aire	5
2.3. Mapas de distribución mensual	5
2.4. Análisis de series de tiempo	6
3. Paisaje pelágico	6
4. Ciclón tropical Norma	6
5. Resultados	7
5.1. Nivel del mar Absoluto (NMA)	7
5.2. Mapas de distribución mensual	7
5.2.1. Anomalías de nivel del mar (ANM)	7
5.2.2. Clorofila superficial (CLO)	8
5.2.3. TSM	9
5.3. Cabo Pulmo	10
5.3.1. Series de tiempo	10
5.3.2. Viento (VTO) <i>in situ</i>	12
5.3.3. Paisaje Pelágico (CP)	13
5.3.4. Fitoplancton	14
5.4. Bahía de La Paz	15
5.4.1. Series de tiempo	15
5.4.2. Registro Meteorológico en El Mogote. Bahía de La Paz, B. C. S.	17
5.4.3. Temperatura del aire (Tair) y Humedad Relativa (Hr)	17
5.4.4. Velocidad, Rachas y Dirección predominante del viento	17
5.4.5. Paisaje Pelágico (BLP)	19
5.4.6. Fitoplancton	20
5.5. San Juanico, Golfo de Ulloa	21
5.5.1. Series de tiempo	21
5.5.2. Viento (VTO) <i>in situ</i>	23
5.5.3. Paisaje Pelágico (GU)	24
5.5.4. Fitoplancton	25
5.5.5. Temperatura en el Valle de Santo Domingo, área contigua, región San Juanico- Golfo de Ulloa	27
6. Ciclón tropical Norma	29
7. Glosario	32
8. Referencias	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.

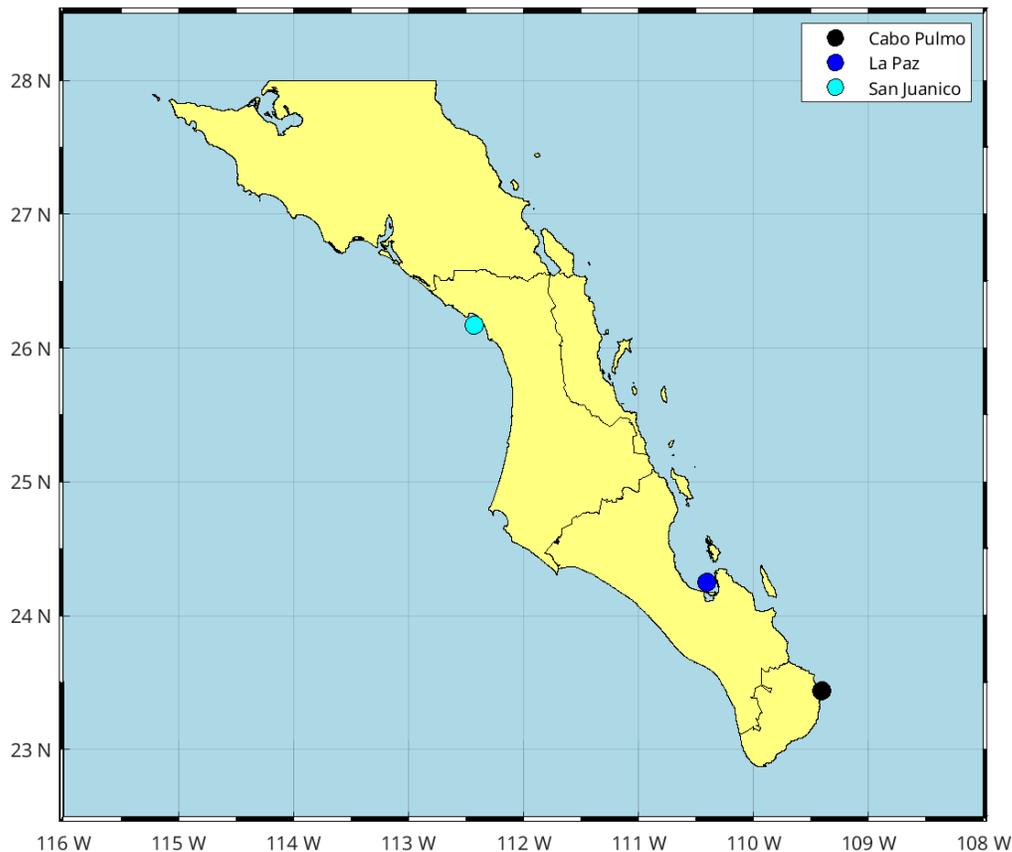


Figura 1: Zona de interés, región oceanográfica de Baja California Sur. Los círculos de colores marcan sitios para el análisis de series de tiempo.

2. Método

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

2.1. Información satelital

Nivel de Mar Absoluto (NMA). El NMA se refiere al nivel del mar determinado por múltiples misiones de altimetría satelital, pero a diferencia de las anomalías, la referencia es el geoides. El NMA incluye la tendencia de largo período debida al calentamiento global. Es un producto global, libre de huecos y cuenta con una resolución temporal diaria y espacial de 25x25 km. (https://data.marine.copernicus.eu/product/SEALEVEL_GLO_PHY_L4_MY_008_047/description) y también (https://data.marine.copernicus.eu/product/SEALEVEL_GLO_PHY_L4_NRT_OBSERVATIONS_008_047/description)

[ATIONS_008_046/description](#)).

Anomalía del Nivel de Mar (ANM). La ANM es un producto de la altimetría y es estimada por medio una interpolación de diversas misiones. La referencia es el promedio climatológico de 1993 a 2012 (<https://doi.org/10.48670/moi-00149>). Es un producto global, libre de huecos y cuenta con una resolución temporal diaria y espacial de 25x25 km.

Clorofila superficial (CLO). La CLO es la clorofila_a satelital. Es un producto del denominado color del océano y corresponde a la primera profundidad óptica, que es la profundidad en donde la luz disminuye el 90% (Cervantes-Duarte, 2004). Esta profundidad varía con la materia suspendida en el agua y generalmente no es mayor a 6 m de profundidad. La CLO es proporcionada por el Copernicus Marine Environment Monitoring Service (CMEMS) de la agencia espacial europea (ESA, por su siglas en inglés). Es un producto global libre de nubes, con una resolución temporal diaria y espacial de 4x4 km (Garnesson *et al.*, 2019), (https://data.marine.copernicus.eu/product/OCEANCOLOUR_GLO_BGC_L4_MY_009_104/services).

Incluye la concentración de los principales grupos funcionales fitoplanctónicos expresada en la CLO en el agua de mar desde el espacio (IOCCG, 2014), (https://data.marine.copernicus.eu/product/OCEANCOLOUR_GLO_BGC_L3_MY_009_103/download?dataset=cmems_obs-oc_glo_bgc-plankton_my_l3-multi-).

Temperatura Superficial del Mar (TSM). El término TSM se refiere a la capa o piel del océano y representa la temperatura de la capa sub a una profundidad entre 10–20 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. Datos in situ

2.2.1. Viento local

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

Los datos se pre-procesaron de forma manual para identificar los valores espurios contenidos en la serie de tiempo. De igual forma, se dejaron en blanco los huecos en la serie de tiempo que ocasionó que algunos casos tuvieran un periodo de 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 2). Con este análisis de cajas se pueden resaltar algunos fenómenos meteorológicos que promueven el aumento atípico en la intensidad de los vientos, tales como los ciclones tropicales.

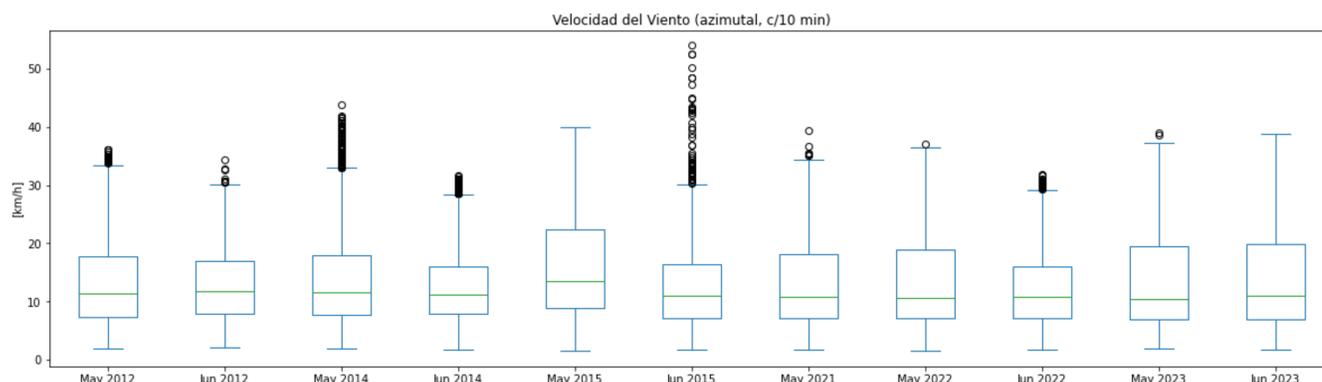


Figura 2: Ejemplo de un gráfico de cajas para los meses de mayo y junio en años selectos dentro del periodo 2012-2023 en la EMA San Juanico. Durante el mes de junio de 2015 el número de valores considerados como *outliers* o valores atípicos aumentó considerablemente debido a la influencia de la tormenta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

2.2.2. Temperatura del aire

Adicionalmente, se hicieron estimaciones de la temperatura del aire (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/>.

2.3. Mapas de distribución mensual

Para la elaboración de los mapas de distribución del mes se promediaron las imágenes diarias de junio de 2023 para el área comprendida entre los 22 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 pixel, además de la diferencia entre máximos y mínimos, y la anomalía mensual. Según Kushnir (1994) y Ramos-Rodríguez *et al.* (2012), para el cálculo de la anomalía mensual se estimó la climatología o promedio histórico mensual y se restó del promedio del mes de interés:

$$\text{Anomalía} = \text{promedio_mensual} - \text{climatología}$$

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

2.4. Análisis de series de tiempo

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

Las series de las variables corresponden a las anomalías a lo largo del tiempo y se construyeron con los píxeles más cercanos a cada sitio. Las series con las anomalías para cada variable fueron estimados de la misma forma que para los mapas de distribución.

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

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

3. 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 desde enero de 2003 hasta octubre de 2023.

4. Ciclón tropical Norma

Con datos observados del Servicio Meteorológico Nacional (<https://smn.conagua.gob.mx>), del Centro Nacional de Huracanes de Estados Unidos (<https://www.nhc.noaa.gov>) e imágenes de satélite geoestacionario (GOES, <https://www.unidata.ucar.edu/>) se hizo una descripción del desarrollo del ciclón tropical Norma. También de su impacto con respecto a la lluvia acumulada en la región sur de la península de Baja California.

5. Resultados

5.1. Nivel del mar Absoluto (NMA)

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

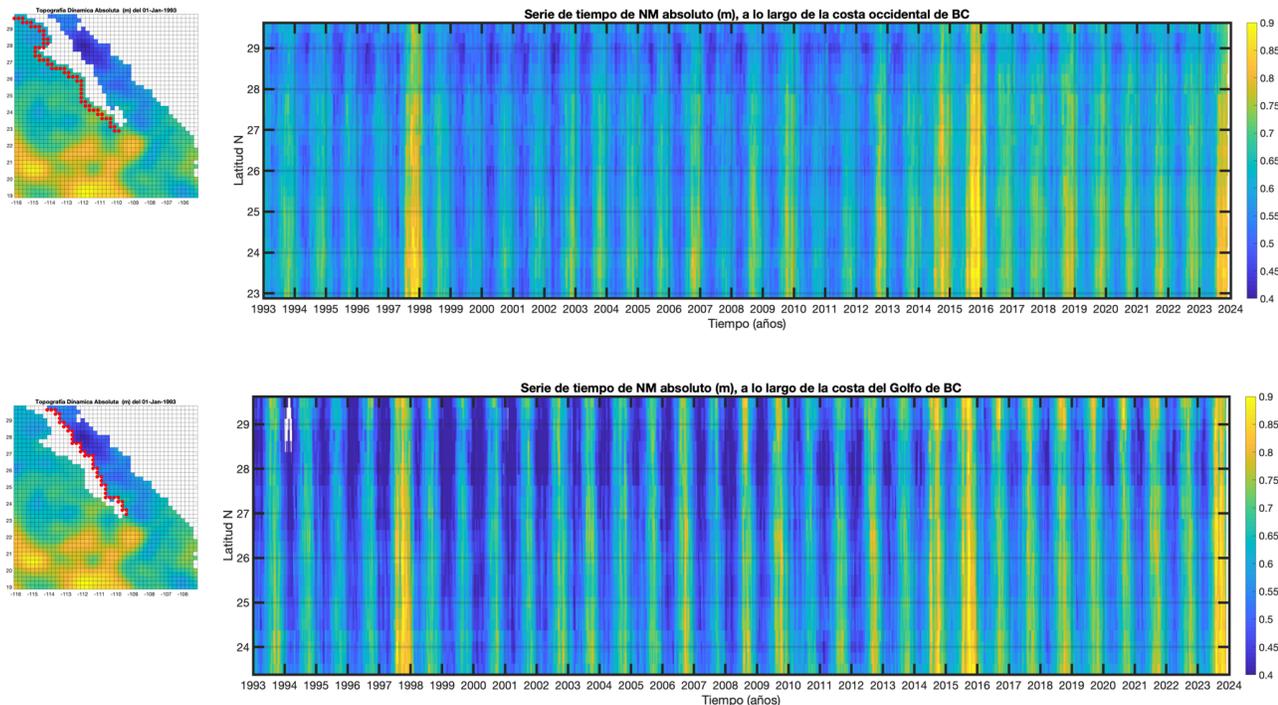


Figura 3: Evolución del nivel del mar (NM absoluto) a lo largo de las dos costas de la península de BC hasta noviembre de 2023. Arriba: costa Occidental; abajo: costa del Golfo de California

5.2. Mapas de distribución mensual

5.2.1. Anomalías de nivel del mar (ANM)

Las condiciones de ANM durante el mes de octubre de 2023 se muestran en la figura 4. El mapa del panel A muestra las anomalías máximas registradas, cuyo rango se ubicó entre -0.09 y 0.42 m. El panel B muestra las anomalías mínimas, cuyo rango estuvo entre -0.02 y 0.33 m. El panel C muestra la diferencia entre anomalías máximas y mínimas ($A - B$) durante este mes, el valor máximo fue de 0.27 m, el doble del mes de junio. Esta imagen es útil en el sentido de mostrar las zonas donde se presentó el mayor rango de variación de nivel de mar a lo largo del mes. El panel D muestra las anomalías con respecto al promedio histórico o climatológico de datos de 1993 a 2012, es decir, indica las variaciones de ANM en comparación con las condiciones *normales* a lo largo del tiempo. Los colores rojos indican condiciones anómalamente positivas (mayor altura de lo normal), mientras que los colores azules indican condiciones anómalamente negativas (menor

altura), el rango se ubicó entre 0.07 y 0.3 m. Estos valores representan un ligero aumento (0.01) comparado con septiembre

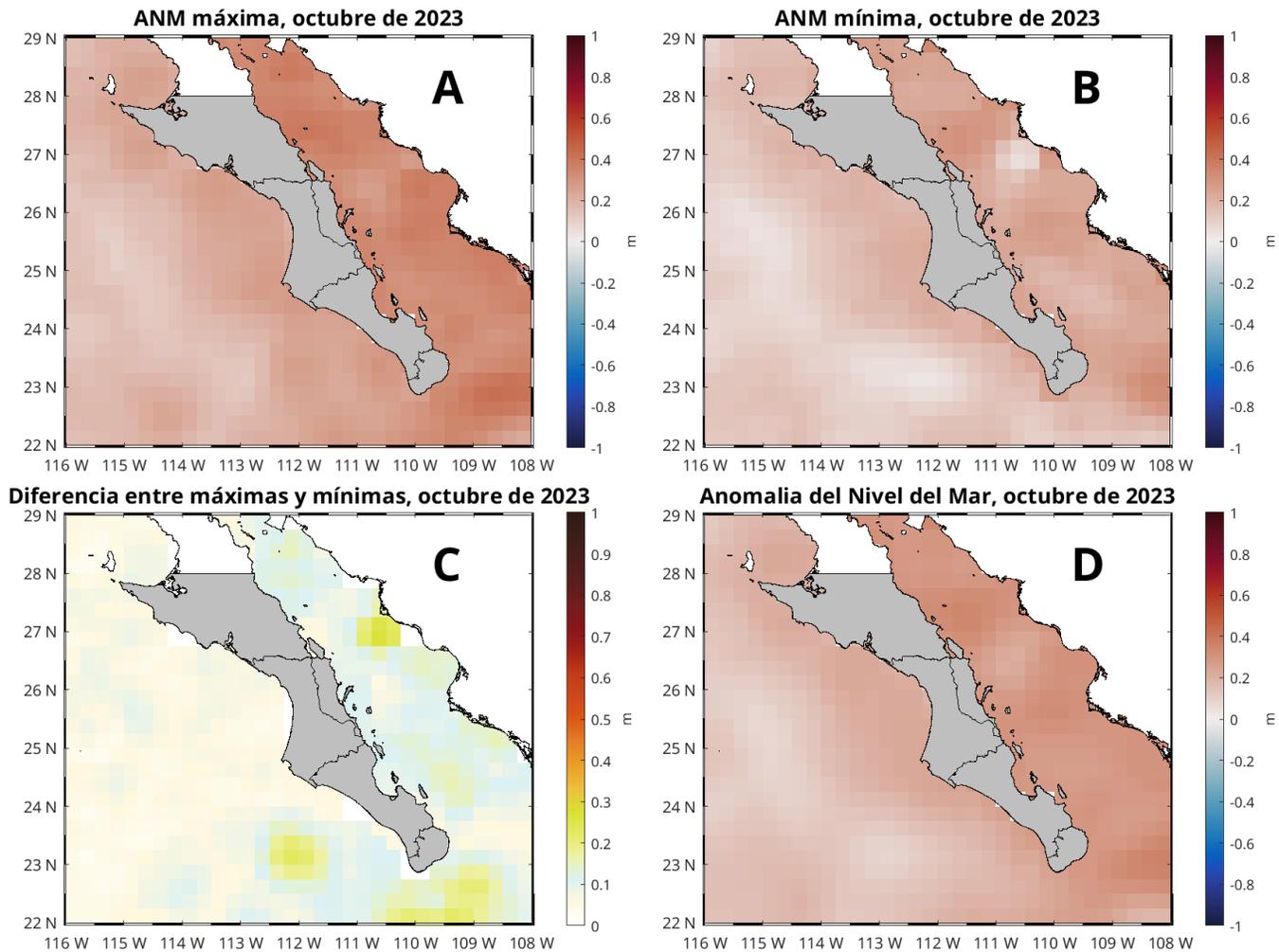


Figura 4: Condiciones de ANM durante el mes de octubre de 2023. Panel A, niveles máximos, B niveles mínimos, C diferencia entre máximos y mínimos y D anomalía.

5.2.2. Clorofila superficial (CLO)

Las condiciones de CLO durante el mes de octubre de 2023 se muestran en la figura 5. El mapa del panel A muestra las concentraciones máximas registradas, cuyo rango se ubicó entre 0.09 y 65.0 mg m^{-3} . El panel B muestra las concentraciones promedio, cuyo rango estuvo entre 0.07 y 32 mg m^{-3} , menores por 2 mg m^{-3} en comparación de septiembre. El panel C muestra la diferencia entre concentraciones máximas y mínimas (imagen no mostrada) durante este mes, cuyo valor máximo de 64.5 mg m^{-3} , prácticamente igual que el mes anterior. Esta imagen es útil en el sentido de mostrar las zonas donde hubo las mayores variaciones de CLO a lo largo del mes. El panel D muestra las anomalías con respecto al promedio histórico o climatológico de datos desde 1997, es decir, indican las variaciones de CLO en comparación con las condiciones *normales* a lo largo del tiempo. Los colores rojos indican condiciones anómalamente positivas (mayor concentración de lo normal), mientras que los colores azules indican condiciones anómalamente negativas (menores concentraciones), el rango se ubicó entre -8.6 y 15.6 mg m^{-3} , rango inferior en 5 mg m^{-3} al de septiembre.

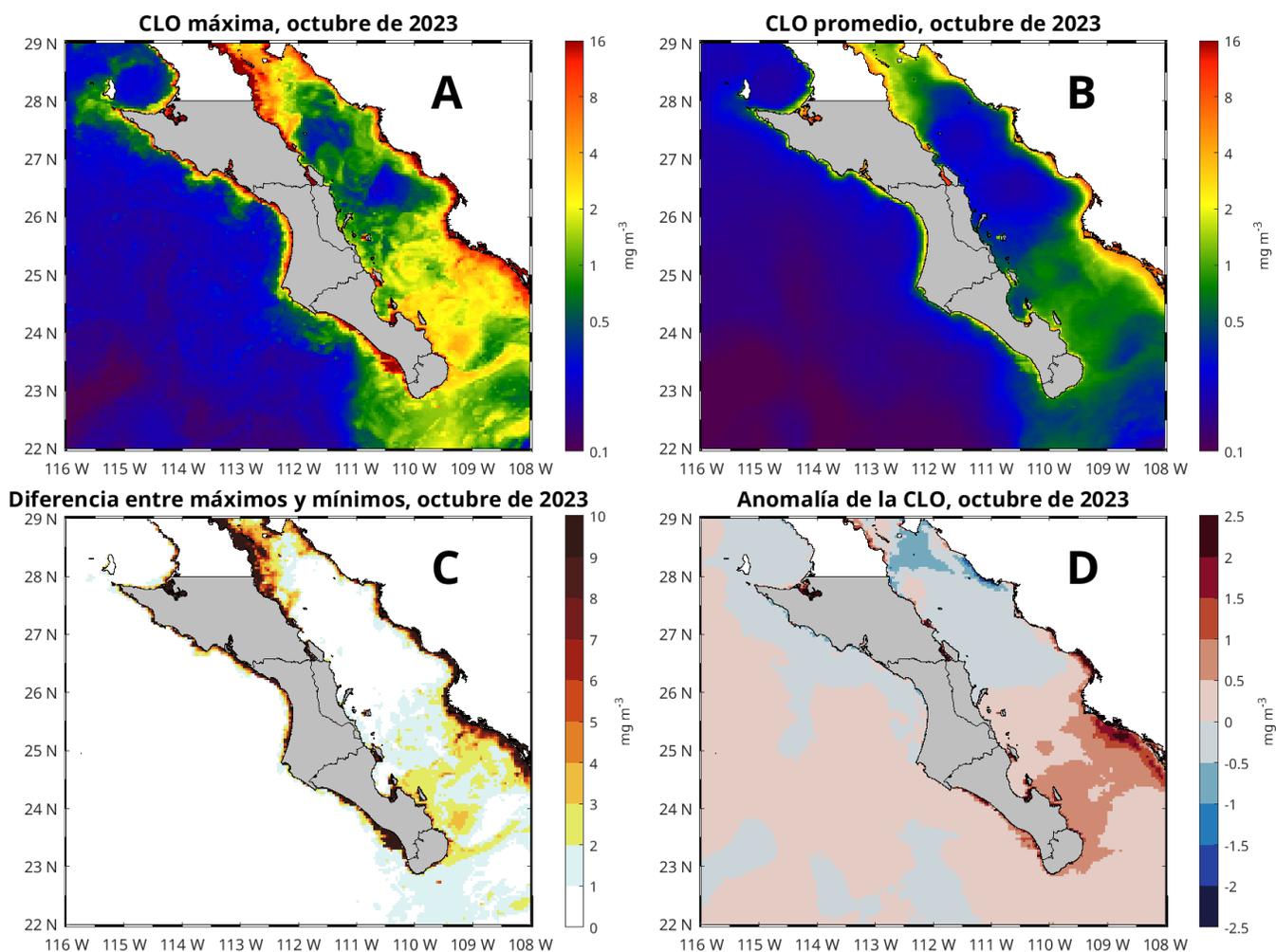


Figura 5: Concentraciones de CLO durante el mes de octubre de 2023. Panel A, máximas, B promedio, C diferencia entre concentraciones máximas y mínimas y D anomalía.

5.2.3. TSM

Las condiciones de TSM durante el mes de octubre de 2023 se muestran en la figura 6. El mapa del panel A muestra las temperaturas máximas registradas, cuyo rango se ubicó entre 20.4 y 32.8 °C, prácticamente inferior en 2 °C en comparación de septiembre. El panel B muestra el promedio de temperatura, cuyo rango estuvo entre 19.6 y 30.9 °C, 1.5 °C menor que en septiembre. El panel C muestra la diferencia entre máximos y mínimos (imagen no mostrada) durante este mes, cuyo valor más alto fue de 5.6 °C, menor en 1 °C en comparación del mes anterior. Esta imagen es útil en el sentido de mostrar las zonas donde hubo las mayores variaciones de la TSM a lo largo del mes. El panel D muestra las anomalías con respecto al promedio histórico o climatológico de datos desde 2002, es decir, indican las variaciones de TSM en comparación con las condiciones *normales* a lo largo del tiempo. Los colores rojos indican condiciones anómalamente positivas (mayor o más caliente de lo normal), mientras que los colores azules indican condiciones anómalamente negativas (menores o más frías de lo normal), el rango se ubicó entre -1 y 2 °C, rango inferior por 0.5 °C en comparación del mes anterior.

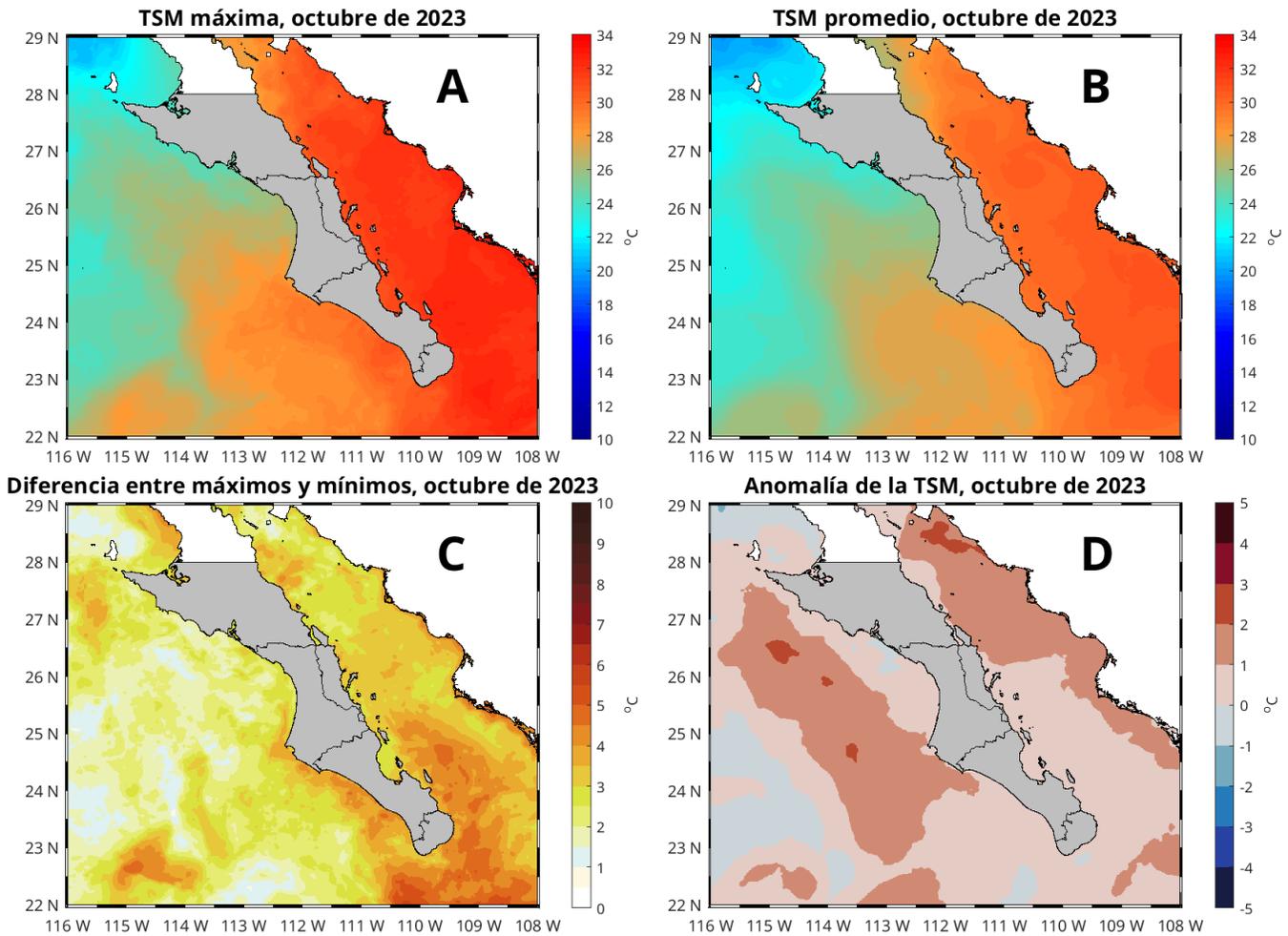


Figura 6: Condiciones de TSM durante el mes de octubre de 2023. Panel A, máximos, B promedio, C diferencia entre máximos y mínimos, D anomalía.

5.3. Cabo Pulmo

5.3.1. Series de tiempo

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

La TSM desde mayo ha estado por encima de sus valores climatológicos, en octubre la TSM se ubicó en 30.3, lo que representa diferencia o anomalía positiva de 0.6 °C. Esto coincide con anomalías positivas del MEI para este periodo, aunque menor al mes pasado, lo que indica una disminución de la intensidad del fenómeno de El Niño en la región (figura 7 A y B).

La CLO desde mayo hasta agosto tuvo valores por debajo de los promedios climatológicos, en septiembre y ahora en octubre presenta valores mayores a su climatología. En este se mes el valor fue de 1.5 mg m⁻³ muy por encima de los 0.29 mg m⁻³ promedio (figura 7 C y D).

Las ANM han sido positivas desde mayo, con los valores muy superiores a los climatológicos. octubre presenta el valor mensual más alto en 2023 con 0.29 m, superior a su valor climatológico de 0.17 m (figura 7 E y F).

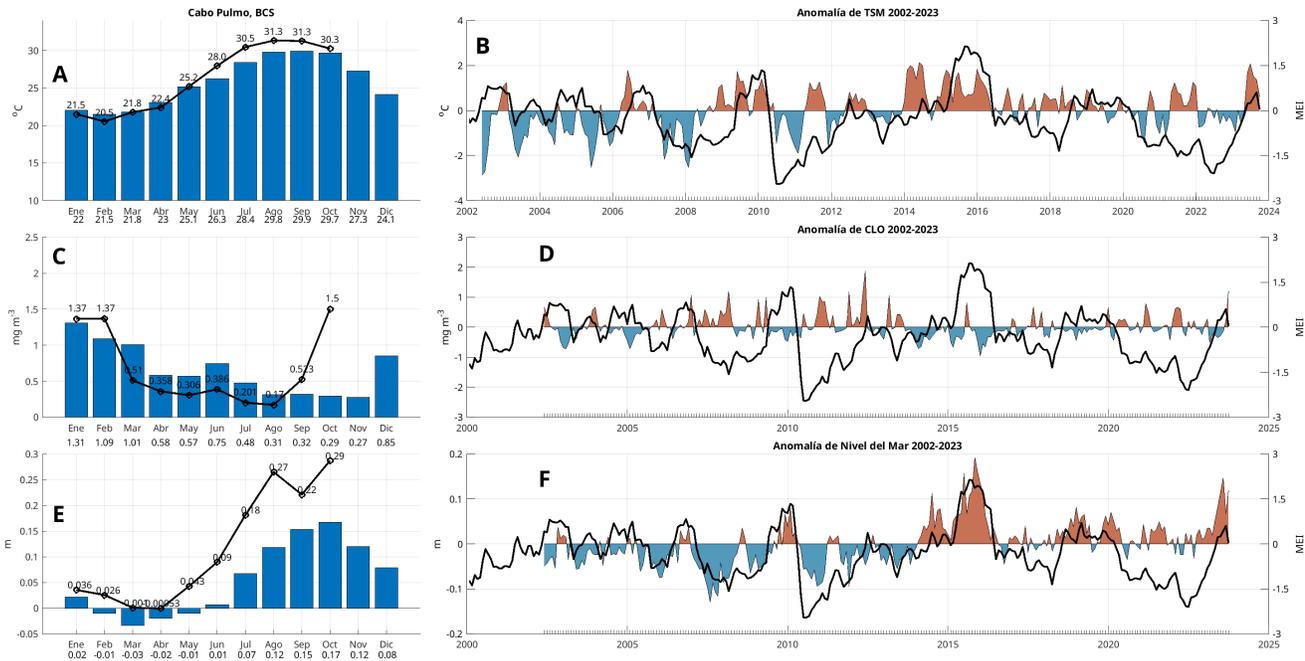


Figura 7: Climatologías mensuales y anomalías interanuales de TSM, CLO y ANM durante 2023 para Cabo Pulmo. Las barras azules en los paneles A, C y E son las climatologías mensuales de cada variable. Los números en la base de las barras indican los valores de cada mes. Las líneas negras con círculos muestran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

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

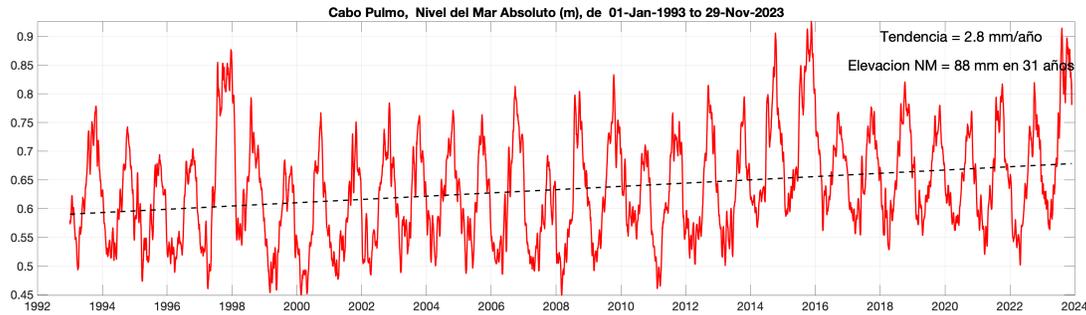


Figura 8: Nivel del mar absoluto (m) en Cabo Pulmo, BCS. Inicia el 1 de enero de 1993 y termina en noviembre de 2023. Incluye el nivel del mar con referencia al Geoide. Incluye la tendencia de largo período debida a calentamiento global.

5.3.2. Viento (VTO) *in situ*

Durante el mes de octubre de 2023 se puede notar un patrón de vientos intensos provenientes del Sur-Sureste con magnitudes por arriba de los 45 km/h (Fig. 9). Este cambio en el patrón de los vientos y la intensidad es el resultado del paso del Huracán Norma cuya trayectoria cruzó el sur de la península de Baja California.

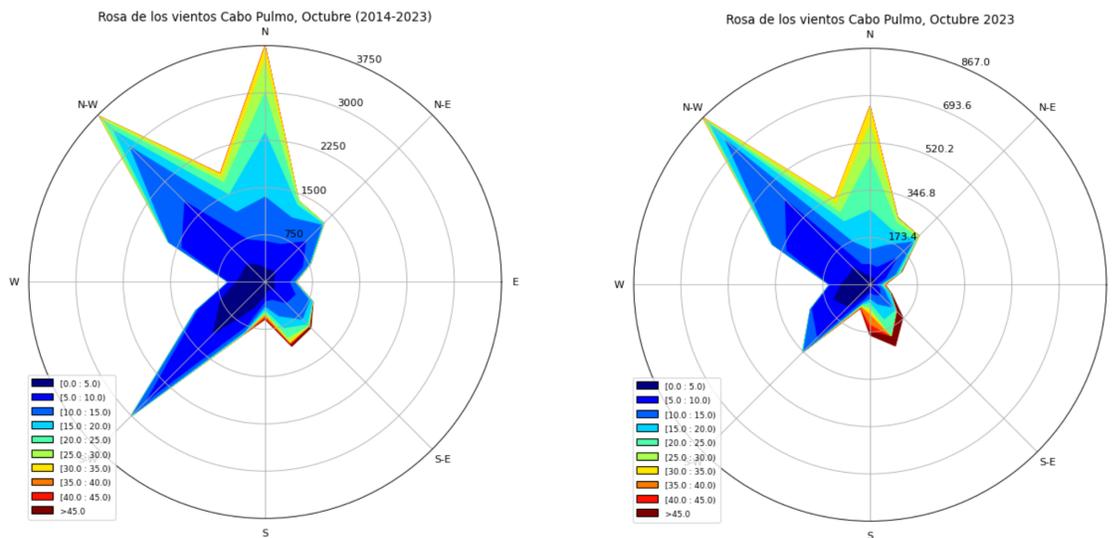


Figura 9: Climatología vs. observaciones de la dirección e intensidad de los vientos en la estación Cabo Pulmo durante octubre de 2023. Se nota un cambio en el patrón normal de los vientos con baja influencia de los vientos del Suroeste y Norte así como una fuerte aportación de los vientos del Sur-Sureste por influencia del huracán Norma.

La intensidad del viento *in situ* registrada durante el mes de octubre de 2023 en Cabo Pulmo resalta la presencia de vientos fuertes producto de la actividad ciclónica en la zona (Fig. 10). Visto desde el gráfico de cajas, los valores extremos o mejor conocidos como *outliers* (círculos en negro) muestran eventos de viento intenso que están aislados de la distribución normal de este parámetro durante el mes. Vientos superiores a los 60 km/h rebasan el rango intercuartil hacia máximos cercanos a los 80 km/h (Fig. 10). Este incremento evidencia nuevamente el efecto del huracán Norma en la región sur de la península.

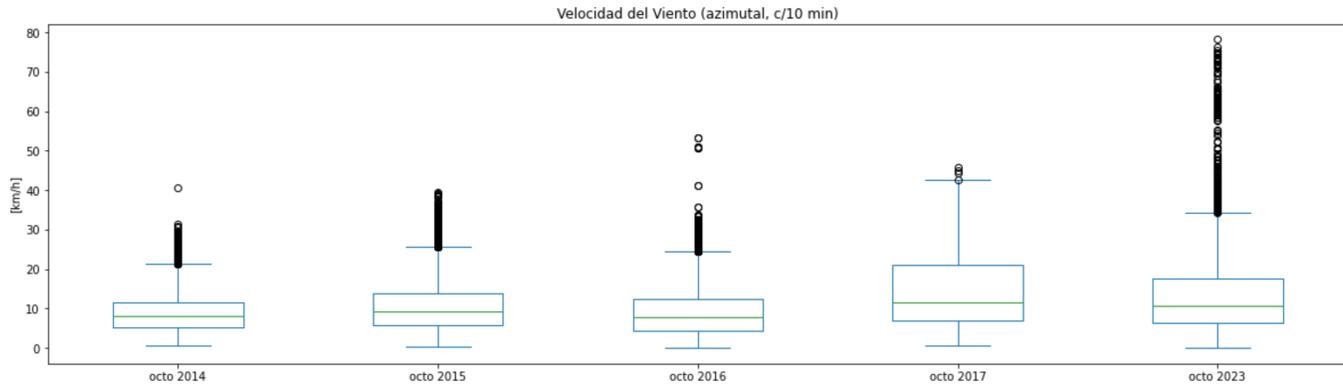


Figura 10: Análisis de caja de la intensidad de los vientos en la estación Cabo Pulmo durante el mes de octubre. Los bigotes superiores de cada caja nos definen el umbral donde los vientos fuertes son persistentes durante el mes, los círculos representan aquellos eventos aislados de viento intenso (*outliers*).

5.3.3. Paisaje Pelágico (CP)

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

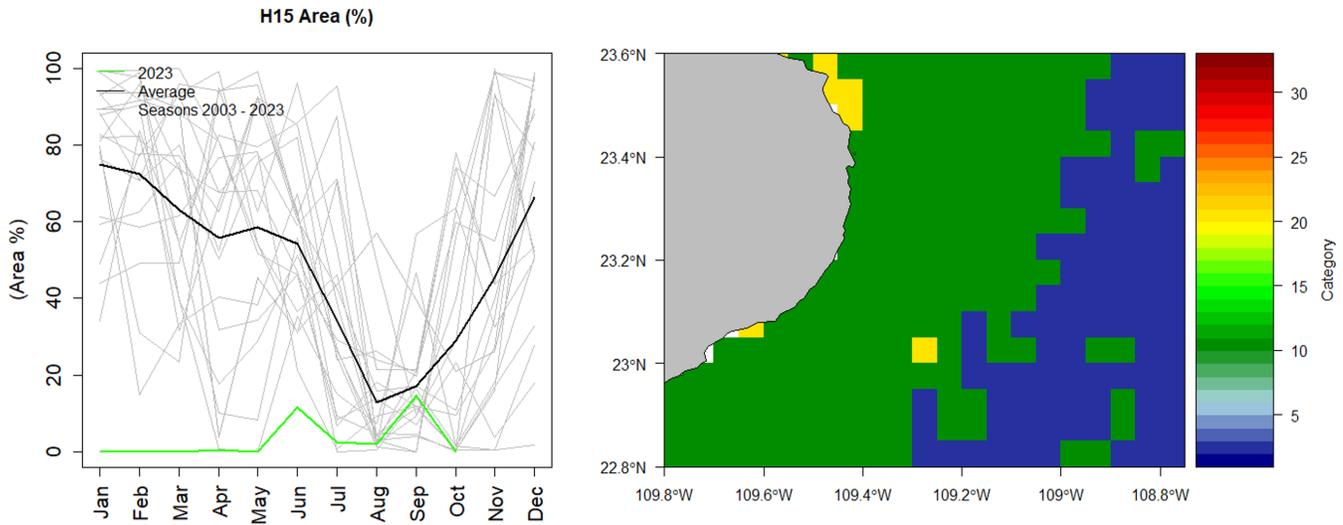


Figura 11: Paisaje Pelágico frente a Cabo Pulmo. a) Panel izquierdo: Comportamiento estacional del hábitat dominante H15 (2003-2023). b) Panel derecho: Distribución espacial de los hábitats pelágicos en Cabo Pulmo y zonas adyacentes durante octubre de 2023.

5.3.4. Fitoplancton

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

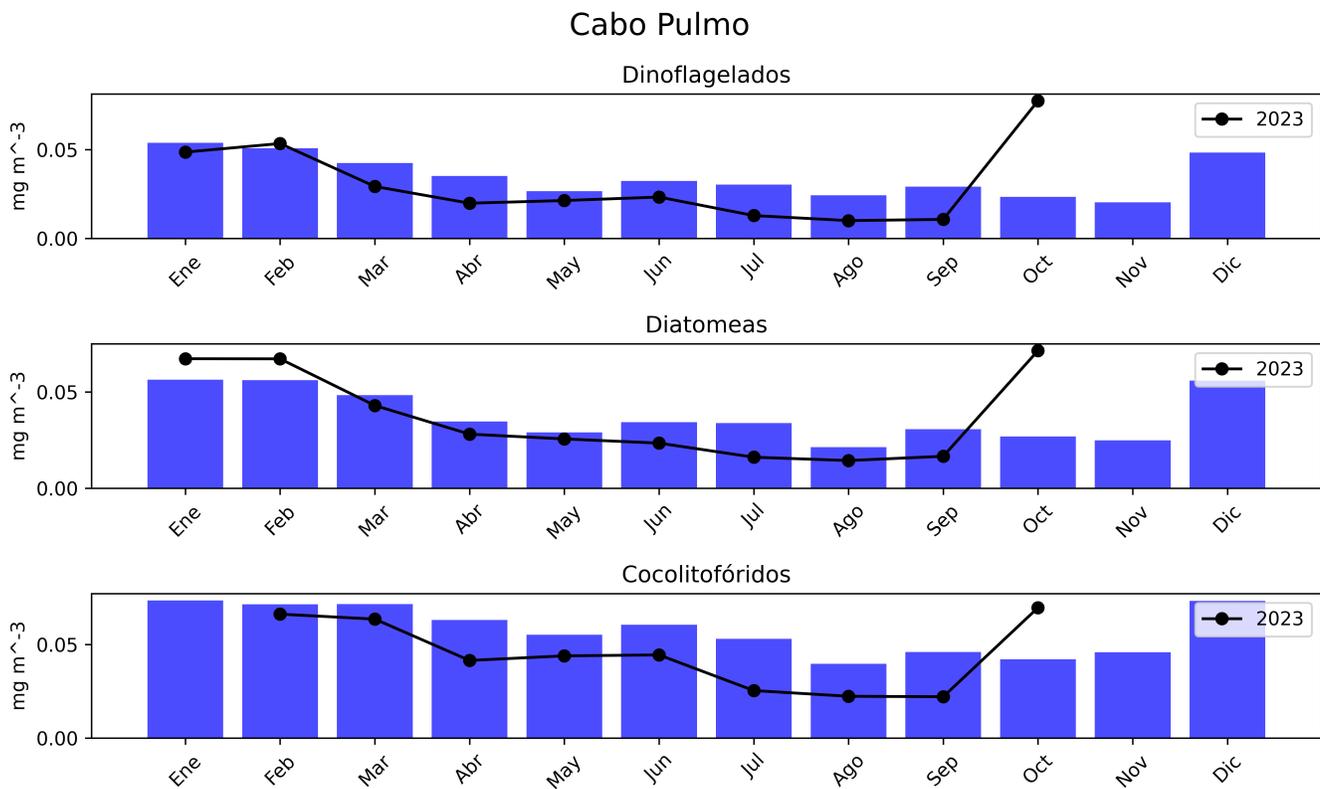


Figura 12: Climatologías de la concentración de grupos fitoplanctónicos expresada en CLO en el agua de mar en Cabo pulmo.

5.4. Bahía de La Paz

5.4.1. Series de tiempo

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

La TSM desde junio ha estado por encima de sus valores climatológicos, en octubre su valor fue de 29.5, es decir, +0.6 °C respecto a su valor climatológico. Esto coincide con anomalías positivas del MEI, que desde el bimestre agosto-septiembre están presentes en esta región e indica la presencia del fenómeno de El Niño en la región (figura 13 A y B).

Prácticamente, a lo largo del año, la CLO ha estado por debajo de los promedios climatológicos. Especialmente de junio a septiembre, sin embargo, en el mes octubre el valor registrado es de 1.77 mg m⁻³, muy por encima de su valor climatológico de 0.56 mg m⁻³ (figura 13 C y D).

Las ANM han sido positivamente anómala desde mayo. Específicamente de junio a octubre los valores son anómalamente positivos por más de 0.1 m. El valor registrado en octubre es de 0.28 m, muy por encima de su valor climatológico de 0.17 m (figura 13 E y F).

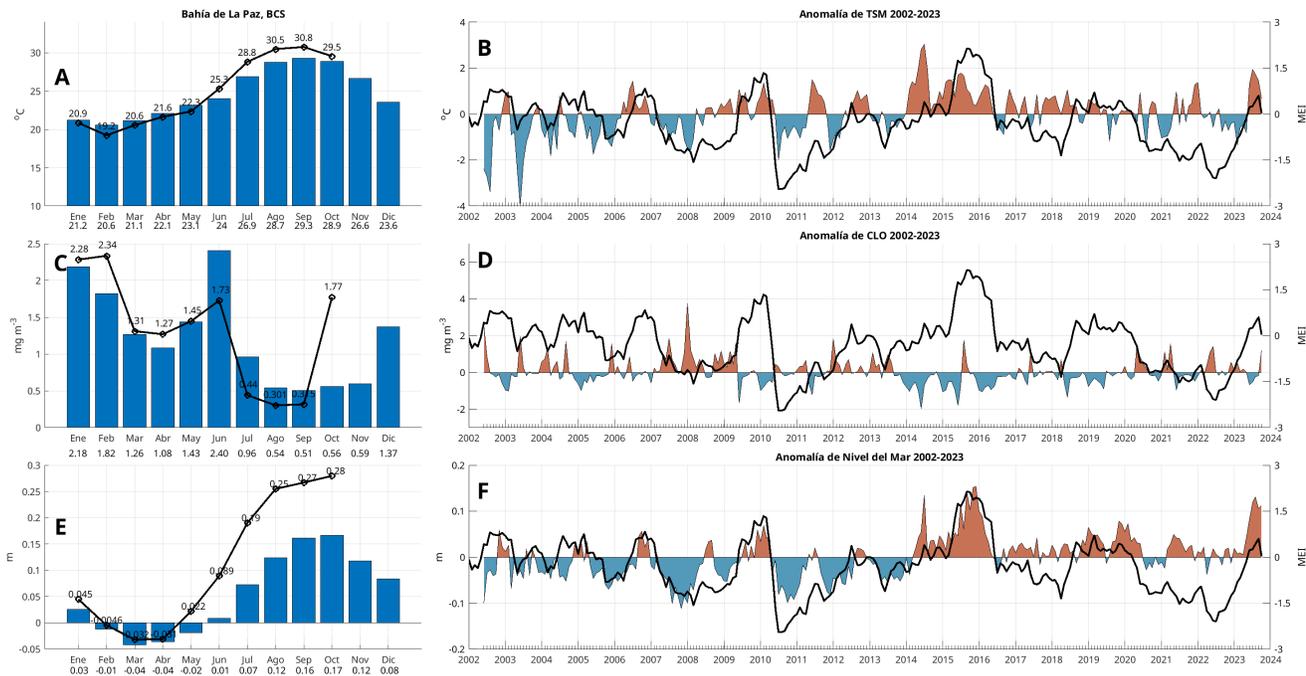


Figura 13: Climatologías mensuales y anomalías interanuales de TSM, CLO y ANM durante 2023 para La Paz. Las barras azules en los paneles A, C y E son las climatologías mensuales de cada variable. Los números en la base de las barras indican los valores de cada mes. Las líneas negras con círculos muestran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

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

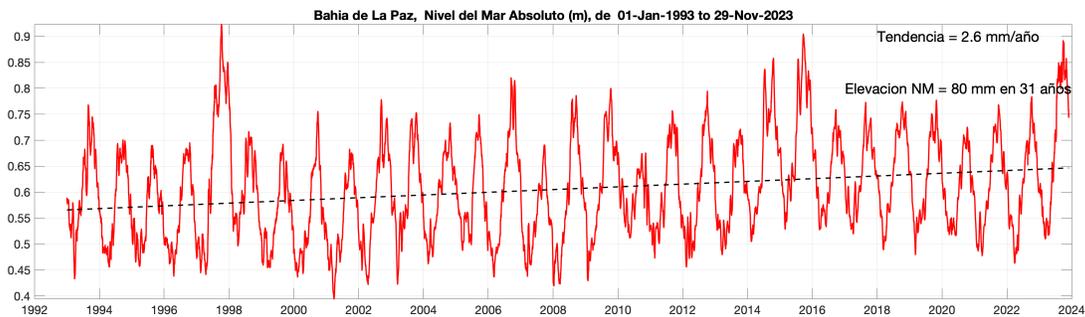


Figura 14: Nivel del mar absoluto (m) en Bahía de La Paz, BCS. Inicia el 1 de enero de 1993 y termina en noviembre de 2023. Incluye el nivel del mar con referencia al Geoide. Incluye la tendencia de largo período debida a calentamiento global.

5.4.2. Registro Meteorológico en El Mogote. Bahía de La Paz, B. C. S.

5.4.3. Temperatura del aire (Tair) y Humedad Relativa (Hr)

La figura 15, muestran las series de tiempo de la Tair (A) y Hr (B) durante el período analizado (01 de septiembre al 26 de octubre). Los valores máximos de Tair (37.7°C) se observaron durante el mes de septiembre (fin del verano), con un valor promedio de 29.5 y temperaturas mínimas durante este período de 19.7°C , asociadas con el paso del Huracán Norma (20-21 de octubre) y marcando el inicio de las condiciones de otoño. La Hr mostró valores máximos de 93, promedio de 68 y mínimos de 22 por ciento durante los días 19 al 21 de septiembre. Los máximos de Hr se asocian a las lluvias generadas por el Huracán Norma cuya trayectoria cruzó la península del Pacífico al Golfo de California al sur de la Bahía de La Paz los días 20 y 21 de octubre.

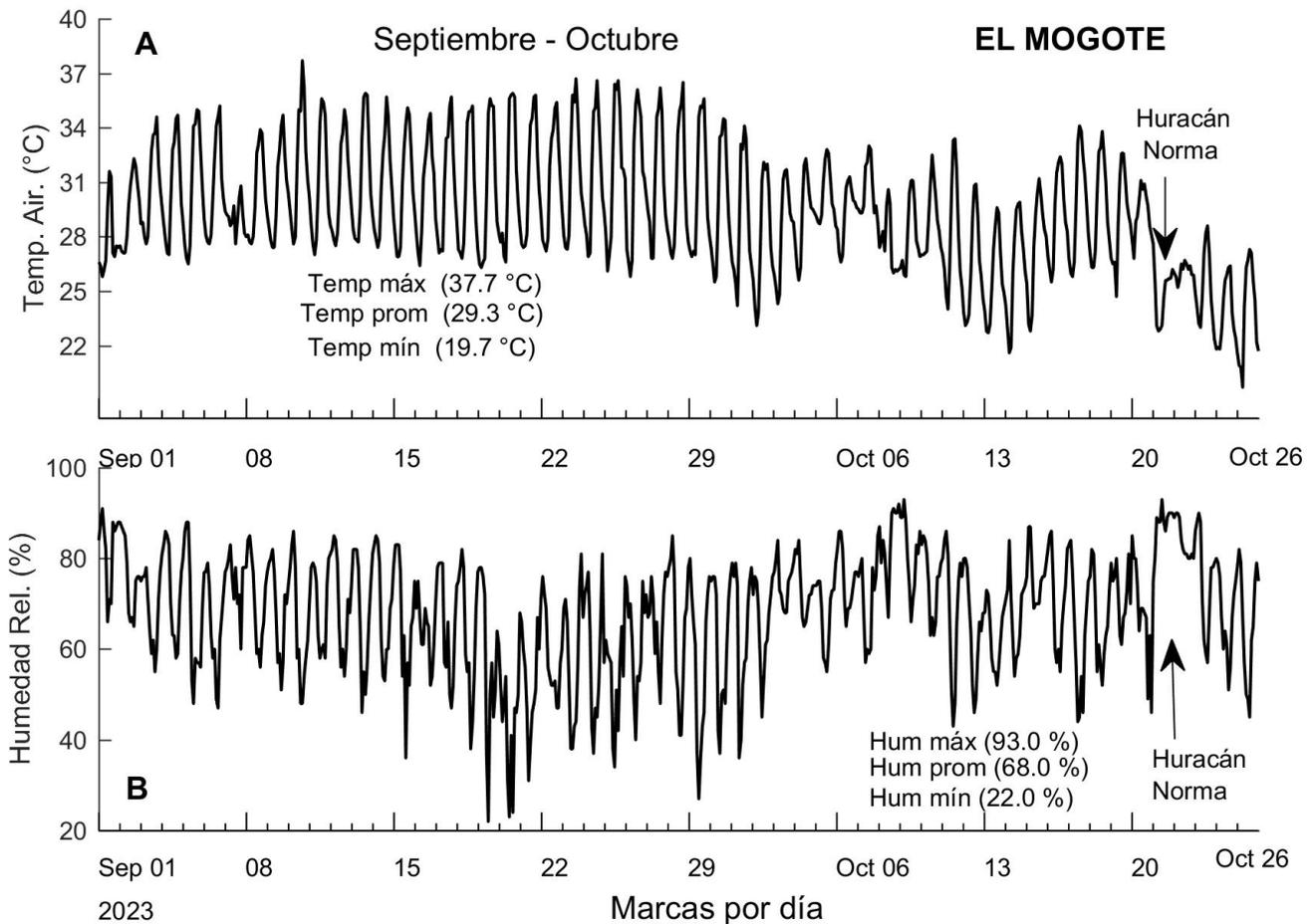


Figura 15: Series de tiempo de: Temperatura del aire (A) y Humedad Relativa (B) registrados en la Estación meteorológica ubicada en El Mogote (MOG), Bahía de La Paz.

5.4.4. Velocidad, Rachas y Dirección predominante del viento

La figura 16, muestra los valores de (A) velocidad (en negro), rachas (en rojo) y (B) dirección del viento (en forma vectorial) correspondientes al período analizado. Los valores de velocidad y rachas de viento mostraron valores del orden de $\sim 5.0\text{-}10\text{ m/s}$ y rachas $>25\text{ m/s}$. Las velocidades

y rachas mayores se observaron el 19 al 21 de octubre cuando la trayectoria del Huracán Norma cruzó la península desde el Pacífico hacia el Golfo de California, teniendo su punto más cercano al sur de la bahía de La Paz el 21 de octubre. La dirección predominante del viento durante septiembre y octubre, previo al paso del H. Norma fue del sur, suroeste con valores débiles y moderados de 2 a 5 m/s, con algunos episodios con altos valores registrados el 6 y 7 de septiembre. Durante el paso del Huracán Norma (20 y 22 de octubre) se observaron episodios de velocidad (~ 15 a 20 m/s) y rachas de viento (>25.0 m/s) con dirección predominante del norte y noroeste.

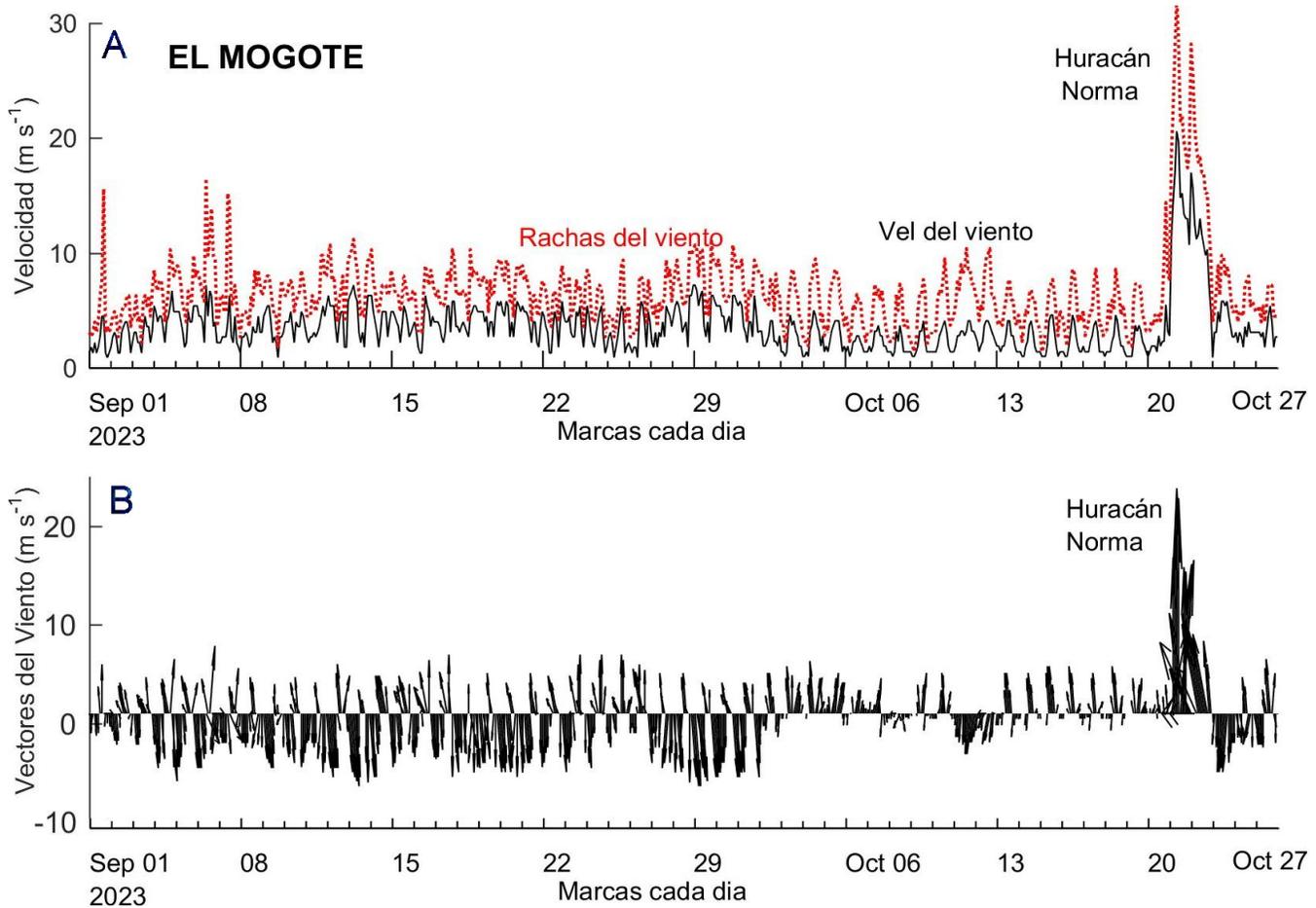
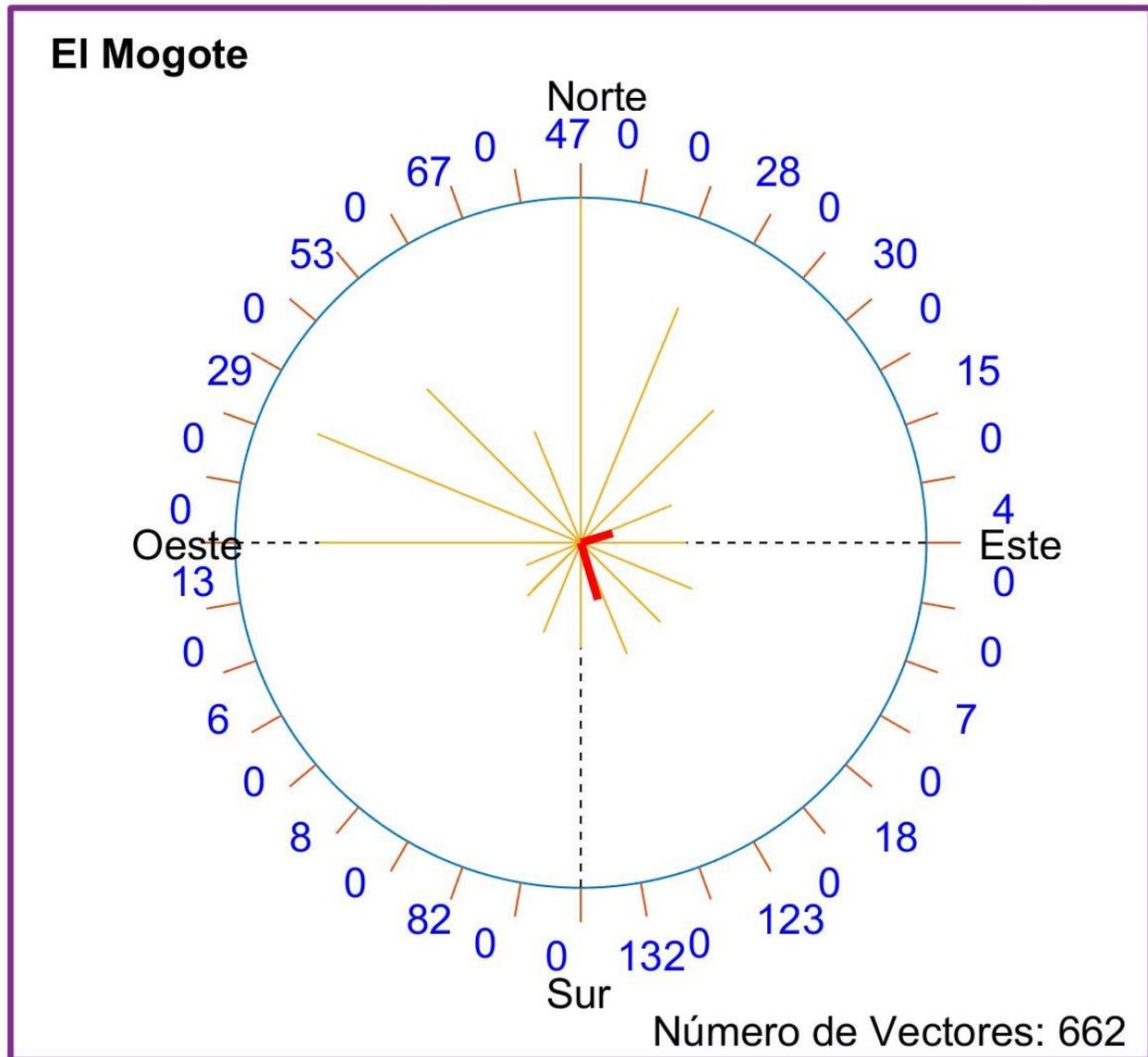


Figura 16: Series de tiempo de (A) Velocidad (en negro) y Rachas (en rojo) del viento. (B) La dirección del viento representada por vectores de viento registrado en la Estación meteorológica ubicada en El Mogote en la bahía de La Paz

La figura 17, muestra La dirección del viento en forma de rosa de vectores durante el período analizado. Las direcciones con los valores máximos de velocidad del viento fueron del 1ro. y 4to. cuadrante, asociados al paso del Huracán Norma por el sur de la bahía de La Paz. Las direcciones con los valores mínimos de velocidad del viento se observaron del 2do. y 3er. cuadrante asociados al final del verano. Los vectores en rojo indican los ejes principales del vector (eje mayor indica la dirección con máxima varianza, el eje menor la dirección con menor varianza).

Dirección predominante del viento: Sep-Oct, 2023



Magnitud del Radio del Círculo: 20.6 m/s

Ocurrencia en Intervalos de 10 grados

Figura 17: Dirección predominante del viento durante septiembre y octubre, 2023 mostrada en forma de rosa de vectores. El número en el círculo indica el número de vectores (cada 2 horas) y la dirección predominante (cuadrantes). Los vectores en rojo indican los ejes principales del vector (eje mayor indica la dirección con máxima varianza, el eje menor la dirección con menor varianza).

5.4.5. Paisaje Pelágico (BLP)

El hábitat pelágico H15 es dominante en la Bahía de La Paz, particularmente entre abril y octubre, cuando llega a ocupar el 90% del área de la bahía y la zona adyacente (figura 18a). La categoría H15 se conforma en torno a condiciones de temperatura superficial de 25.35°C, salini-

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

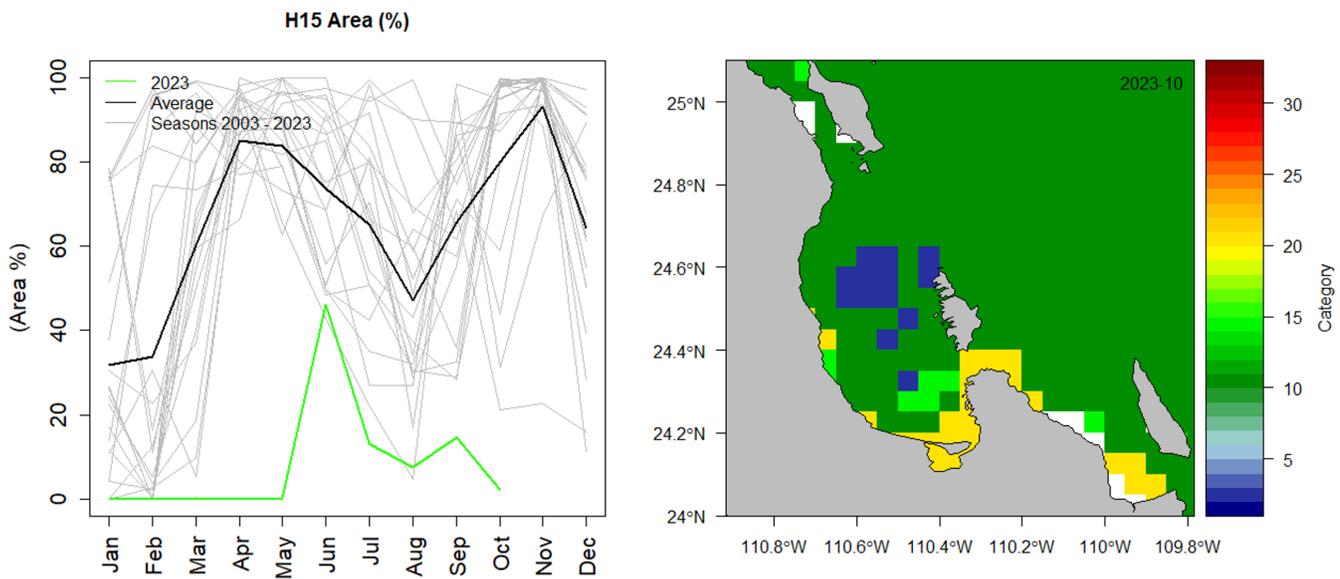


Figura 18: Paisaje Pelágico en la Bahía de La Paz. a) Panel izquierdo: Comportamiento estacional del hábitat dominante H15 (2003 - 2023). b) Panel derecho: Distribución espacial de los hábitats pelágicos en Bahía de La Paz y zona adyacente durante octubre de 2023.

5.4.6. Fitoplancton

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

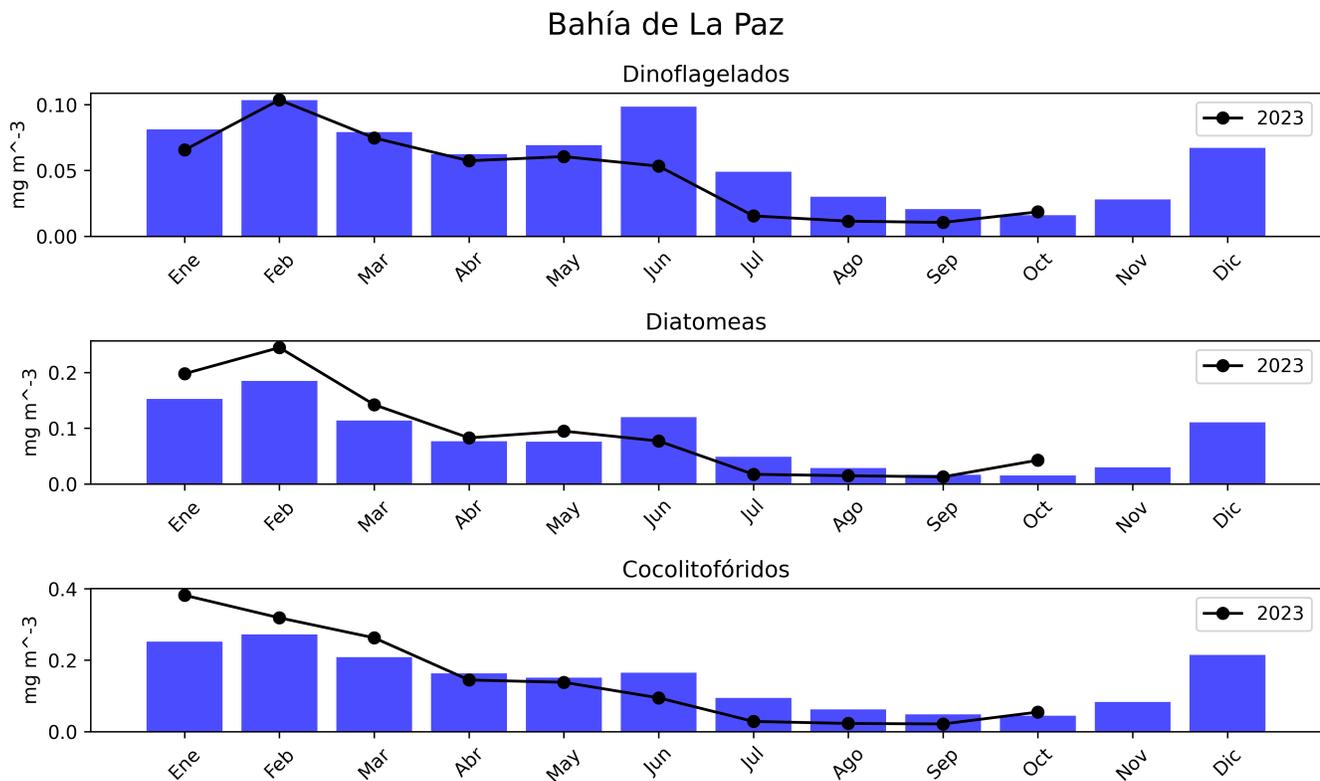


Figura 19: Climatologías de la concentración de grupos fitoplanctónicos expresada en CLO en el agua de mar en Bahía de La Paz.

5.5. San Juanico, Golfo de Ulloa

5.5.1. Series de tiempo

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

La TSM de julio a octubre ha estado por encima de sus valores climatológicos, aunque los valores mensuales en octubre se están acercando a su valor climatológico, el valor registrado fue de 25.1 °C, en comparación del valor climatológico de 24.9 °C. Esta disminución en el valor de las anomalías positivas no refleja la presencia de El Niño en la región del Golfo de Ulloa, en comparación con lo observado en Cabo Pulmo y La Paz (figura 20 A y B).

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

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

registrado es de 0.22 m, muy superior a al valor climatológico de 0.14 m (figura 20 E y F).

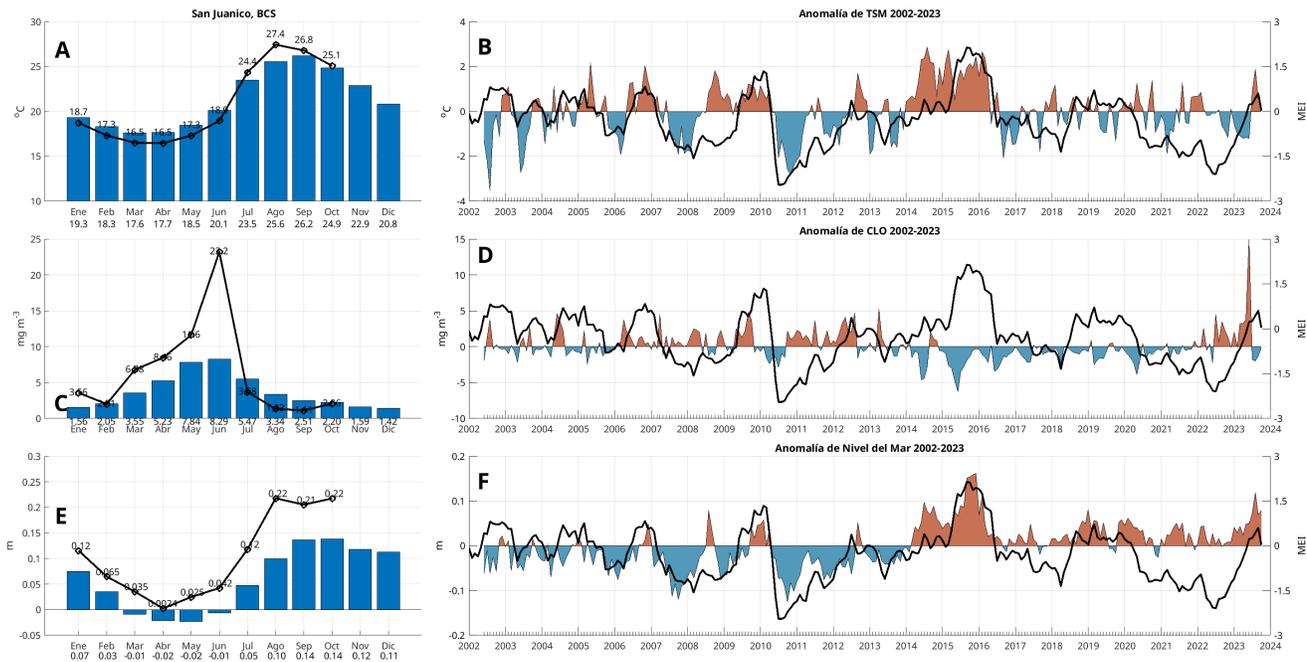


Figura 20: Climatologías mensuales y anomalías interanuales de TSM, CLO y ANM durante 2023 para San Juanico. Las barras azules en los paneles A, C y E son las climatologías mensuales de cada variable. Los números en la base de las barras indican los valores de cada mes. Las líneas negras con círculos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

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

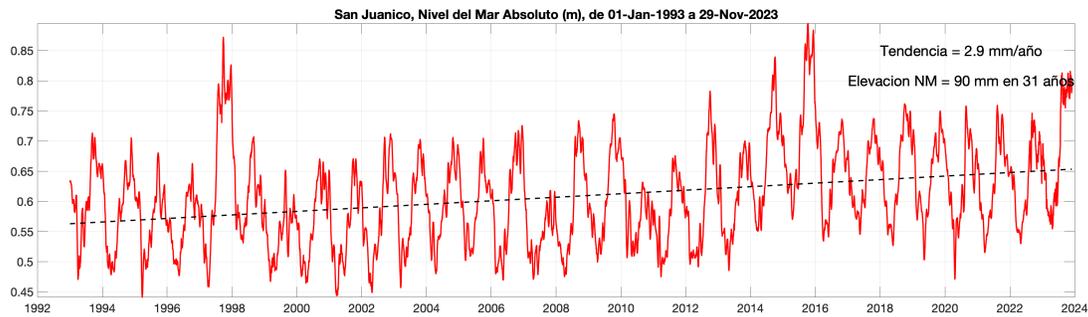


Figura 21: Nivel del mar absoluto (m) en San Juanico, costa pacífico norte de BCS. Inicia el 1 de enero de 1993 y termina en noviembre de 2023. Incluye el nivel del mar con referencia al Geoid. Incluye la tendencia de largo período debida a calentamiento global.

5.5.2. Viento (VTO) *in situ*

Las observaciones de viento *in situ* registradas durante el mes de octubre de 2023 no muestran cambios en la configuración normal de los vientos de acuerdo a la climatología 2008-2023 (figura 22). Sin embargo, es apreciable la baja densidad de vientos provenientes de la dirección SO-O en la estación San Juanico. En esta zona, es inapreciable algún efecto en la configuración o intensidad de los vientos bajo la presencia del huracán Norma al sur de la península.

Los gráficos de caja muestran que la intensidad del viento *in situ* durante octubre en la estación San Juanico no presenta valores extremos (figura 23, *outliers*) representativos, a comparación de aquellos ocurridos en 2018 donde el paso de los ciclones tropicales Rosa y Sergio influyeron en el aumento sustancial de la intensidad del viento por arriba de los 50 km/h.

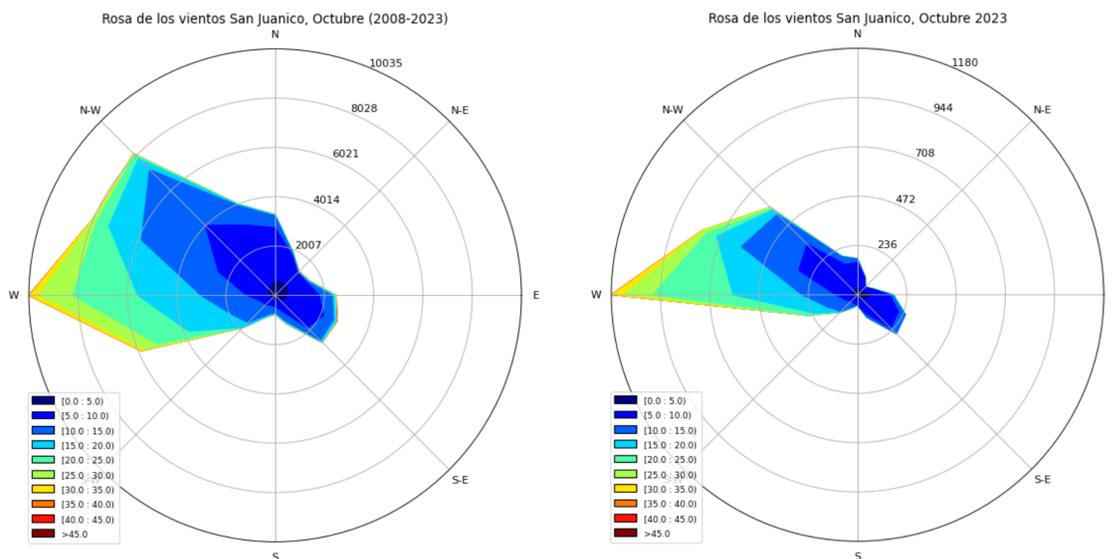


Figura 22: Climatología vs. observaciones de la dirección e intensidad de los vientos en la estación San Juanico durante el mes de octubre de 2023.

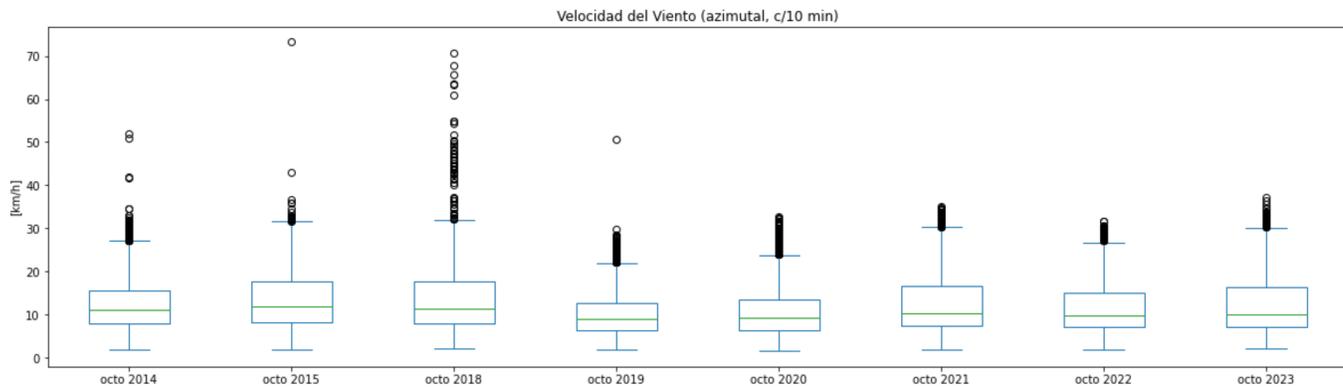


Figura 23: Análisis de caja de la intensidad de los vientos en la estación San Juanico durante octubre 2023. Los bigotes superiores de cada caja nos definen el umbral donde los vientos fuertes son persistentes durante el mes, los círculos representan aquellos eventos aislados de viento intenso (*outliers*). Resalta el mes de octubre de 2018 con eventos aislados de vientos sostenidos mayores a 50 km/h resultado de la influencia de los ciclones tropicales Rosa y Sergio con una trayectoria cercana a la estación San Juanico.

5.5.3. 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. La transición de H17 a H21 conlleva un ligero incremento en temperatura (22.54°C), salinidad (34.46 ups) y clorofila (2.09 mg·m⁻³). En condiciones promedio, H15 se expande del 16% en mayo-junio, al 40% en septiembre-octubre (figura 24a).

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

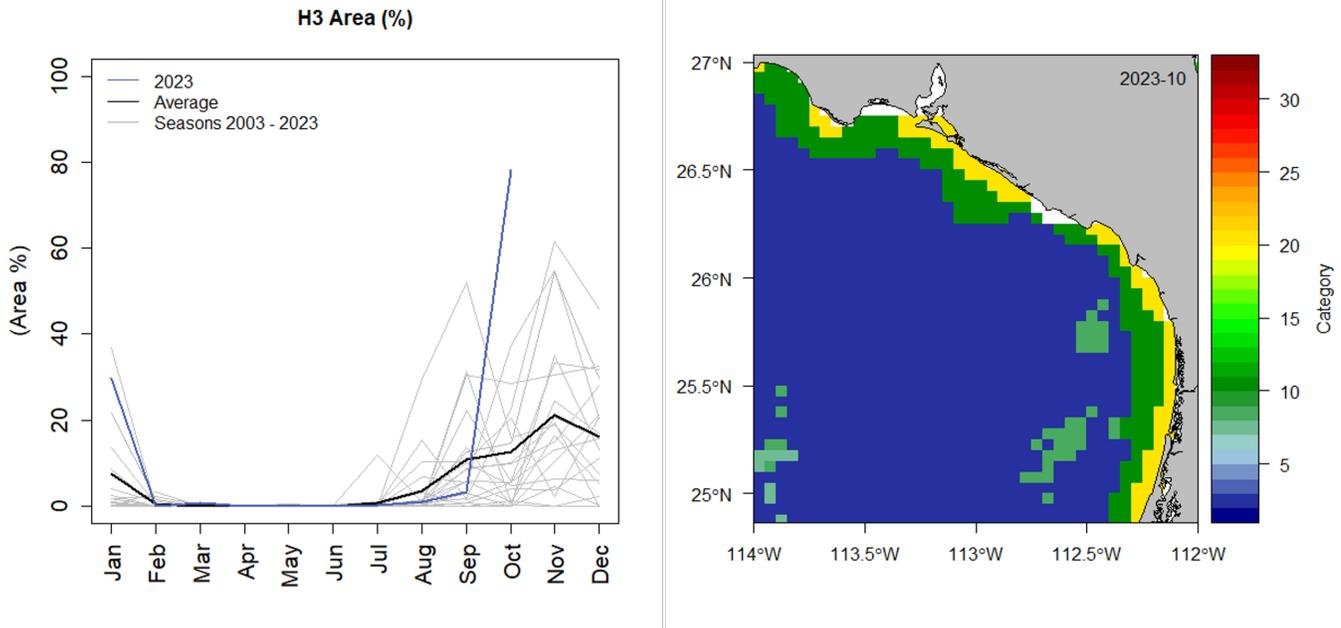


Figura 24: Paisaje Pelágico en el Golfo de Ulloa. a) Panel izquierdo: Comportamiento estacional (2003-2023) del hábitat dominante H17 en el Golfo de Ulloa. b) Panel derecho: Distribución espacial de los hábitats pelágicos en el Golfo de Ulloa durante octubre de 2023.

5.5.4. Fitoplancton

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

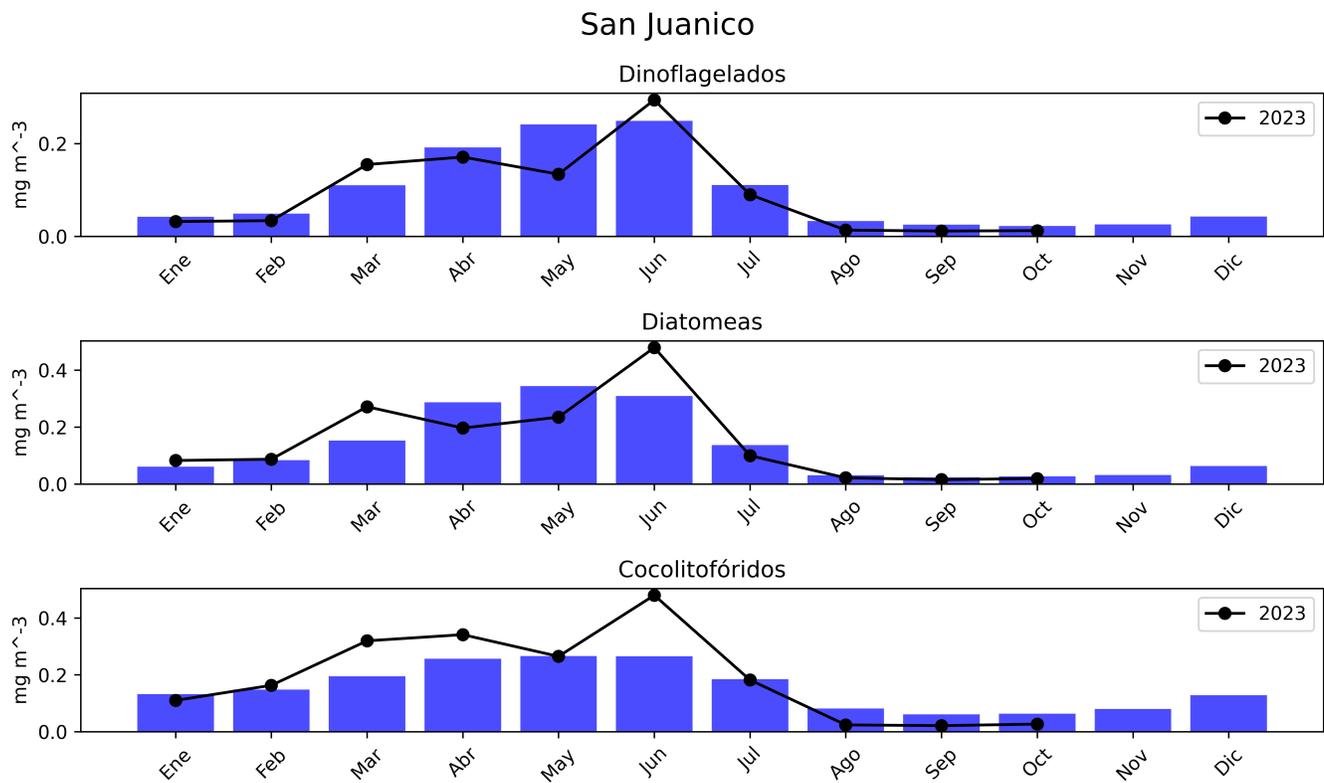


Figura 25: Climatologías de la concentración de grupos fitoplanctónicos expresada en CLO en el agua de mar en San Juanico.

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

Con base en los datos de temperatura proporcionados por el Observatorio Meteorológico no. 3132 (25.00° Latitud N, -111.64° Longitud Oeste) localizado en el Valle de Santo Domingo en Ciudad Constitución, Comondú, México, se determinó para el mes de octubre de 2023 una temperatura promedio de 29.27 °C (figura 26), lo que la ubica por arriba del promedio mensual histórico (datos 1981-2017). Asimismo, al comparar los promedios mensuales de las temperaturas máximas y mínimas registradas en octubre con respecto a los promedios históricos, se observaron anomalías positivas (figura 27).

Como se ha expresado desde números previos de este boletín, es de gran relevancia monitorear las temperaturas en una región agrícola, ya que la magnitud de esta variable a lo largo del desarrollo de los cultivos influirá en su desempeño productivo. En el contexto agronómico, resulta relevante definir fechas de siembra por cultivo (temperaturas óptimas) que permitan lograr buenas cosechas. Para ejemplificar el impacto de lo anterior, se comparten datos de una evaluación de fechas de siembra (diciembre – marzo) con intervalos de 16 días desarrollada en el cultivo de girasol (oleaginosa con ciclo de vida de 120 a 130 días) conducido por Navarro et al. (2012) en el Sitio Experimental Valle de Santo Domingo del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). La figura 28 muestra como las siembras realizadas en diciembre permiten mejores rendimientos, mientras que el sembrar de forma tardía, es decir avanzado el invierno, se afecta el rendimiento final de grano en esta oleaginosa; la afección se estimó en 300 kg ha⁻¹ por cada 16 días de retraso en la fecha de siembra a partir de la primera fecha evaluada.

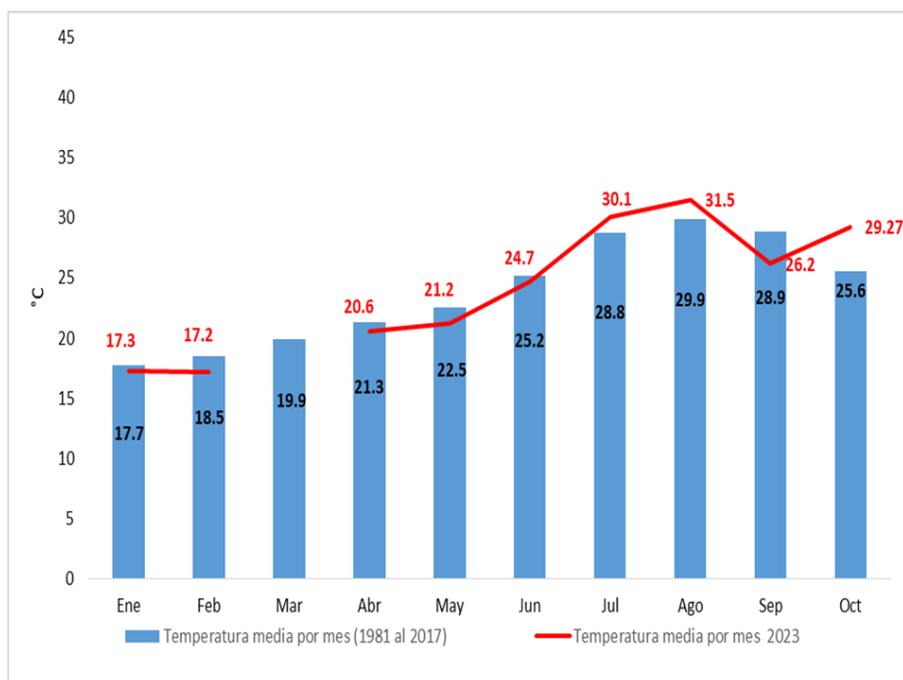


Figura 26: Comparativo de los promedios mensuales de la temperatura media (periodo 1981-2017 vs 2023) registrados en el observatorio meteorológico no. 3132 del Servicio Meteorológico Nacional en Ciudad Constitución, BCS. marzo de 2023 sin datos.

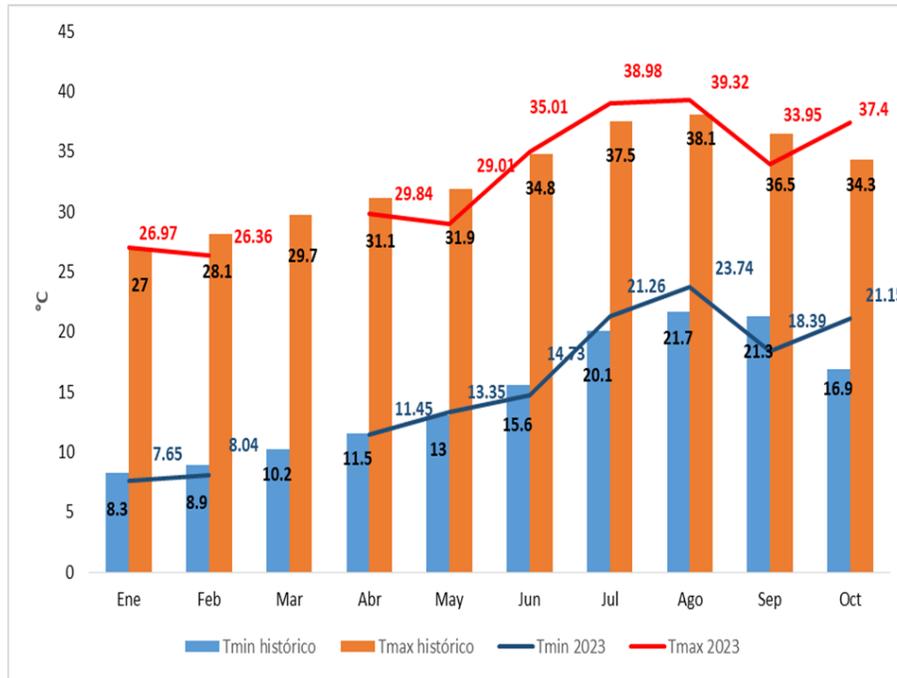


Figura 27: Comparativo entre los promedios de temperaturas máximas y mínimas históricas (1981-2017) con respecto a los promedios presentados en 2023. marzo de 2023 sin datos.

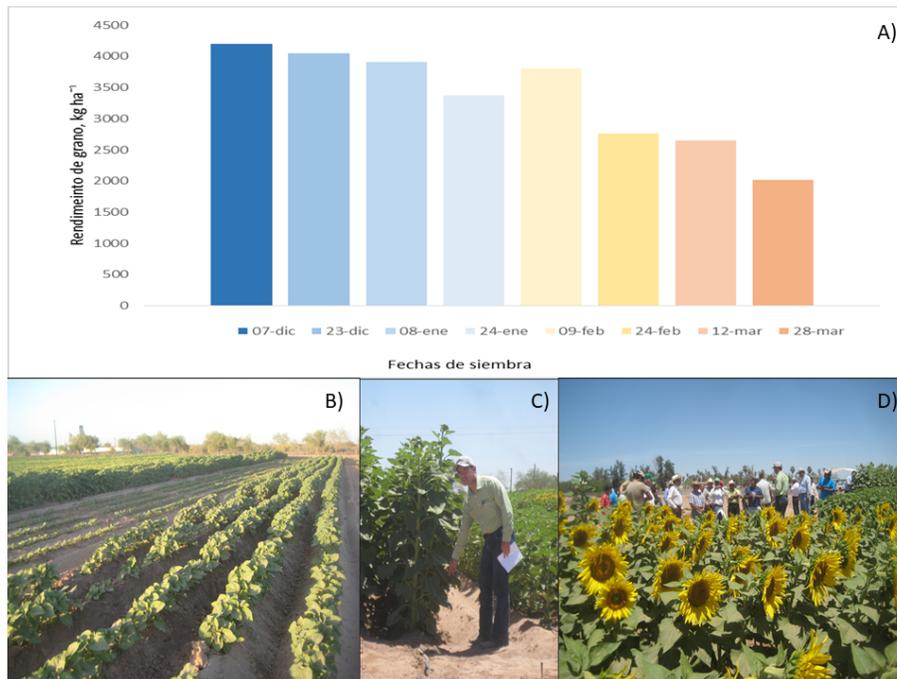


Figura 28: A) Efecto de la fecha de siembra en rendimiento de grano en el cultivo de girasol. B) Parcela experimental de evaluación de fechas de siembra, Sitio Experimental Valle de Santo Domingo-INIFAP. C) Seguimiento al desarrollo del girasol. D) Demostración de resultados al sector productivo. Evaluación realizada en años 2011-2012.

6. Ciclón tropical Norma

El desarrollo del ciclón tropical Norma ocurrió entre el 15 y 23 de octubre. Primero, como una perturbación tropical a varios cientos de kilómetros de las costas de Oaxaca, Guerrero y Michoacán en el Océano Pacífico. Alcanzó una intensidad máxima con vientos sostenidos de 215 km/h (lo que corresponde a un huracán categoría 4) a 650 kilómetros frente a la costa de Los Cabos, mientras que los 24 pronósticos oficiales de trayectoria emitidos indicaban que el centro de Norma se aproximaría a Los Cabos así como una parte del Golfo de California. El primero de estos pronósticos se hizo 3 días antes de la llegada a tierra con intensidad en el rango de 90-120 km/h al pasar alrededor de Cabo San Lucas. La figura 29 presenta la estructura de nubosidad asociada a Norma mientras tenía una intensidad de 195 km/h (huracán, categoría 3) y se encontraba a 280 km al sur de Cabo San Lucas. Finalmente, el centro de Norma llegó a la costa el 21 de octubre con intensidad de 130 km/h según las estimaciones del Centro Nacional de Huracanes. Posteriormente, el sistema se desplazó al noreste hacia la costa del estado de Sinaloa.

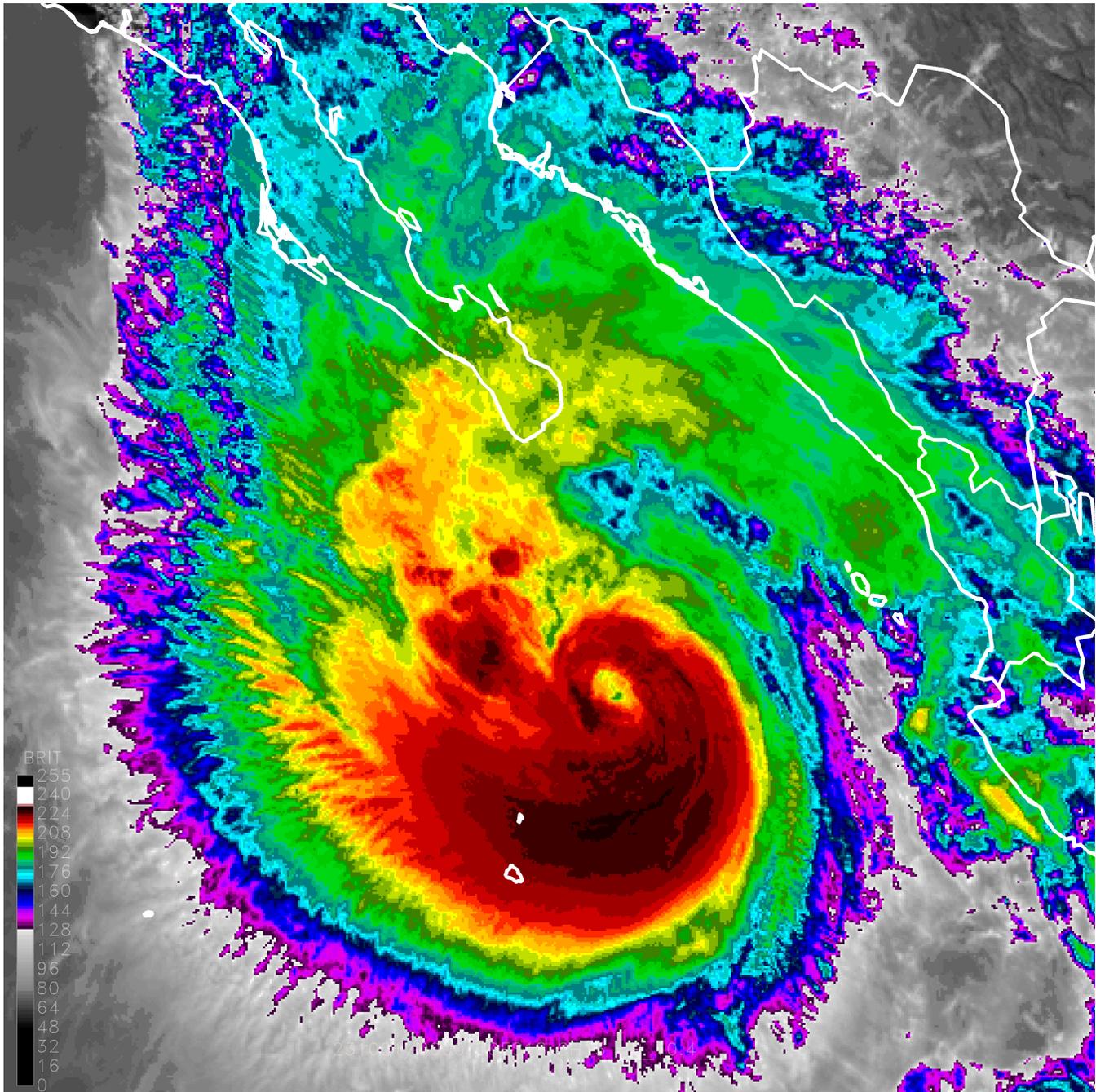


Figura 29: Imagen del satélite GOES, banda infrarroja, a la hora 2100 UTC del 21 de octubre, 2023. Los tonos color rojo y negro representan nubosidad alta a más de 15 kilómetros de altura sobre el nivel del mar.

Como se muestra en la figura 30, una característica de la lluvia que se presentó en estaciones meteorológicas en Baja California Sur fue la cantidad extraordinaria de lluvia acumulada, en periodos de 24 a 48 horas: hasta 488 mm en sitios a elevaciones entre 390 y 650 metros sobre el nivel del mar. Estas estaciones se encuentran en un rango de 10-105 kilómetros desde la ciudad de La Paz, capital del estado, y que causaron alteraciones en las vialidades por las que regularmente circula la población. La figura 30 muestra, además del centro de circulación de Norma, las observaciones preliminares de lluvia de los días 20–22 de octubre.

Precipitación acumulada (mm) del 20 al 22 de octubre de 2023 por el huracán Norma

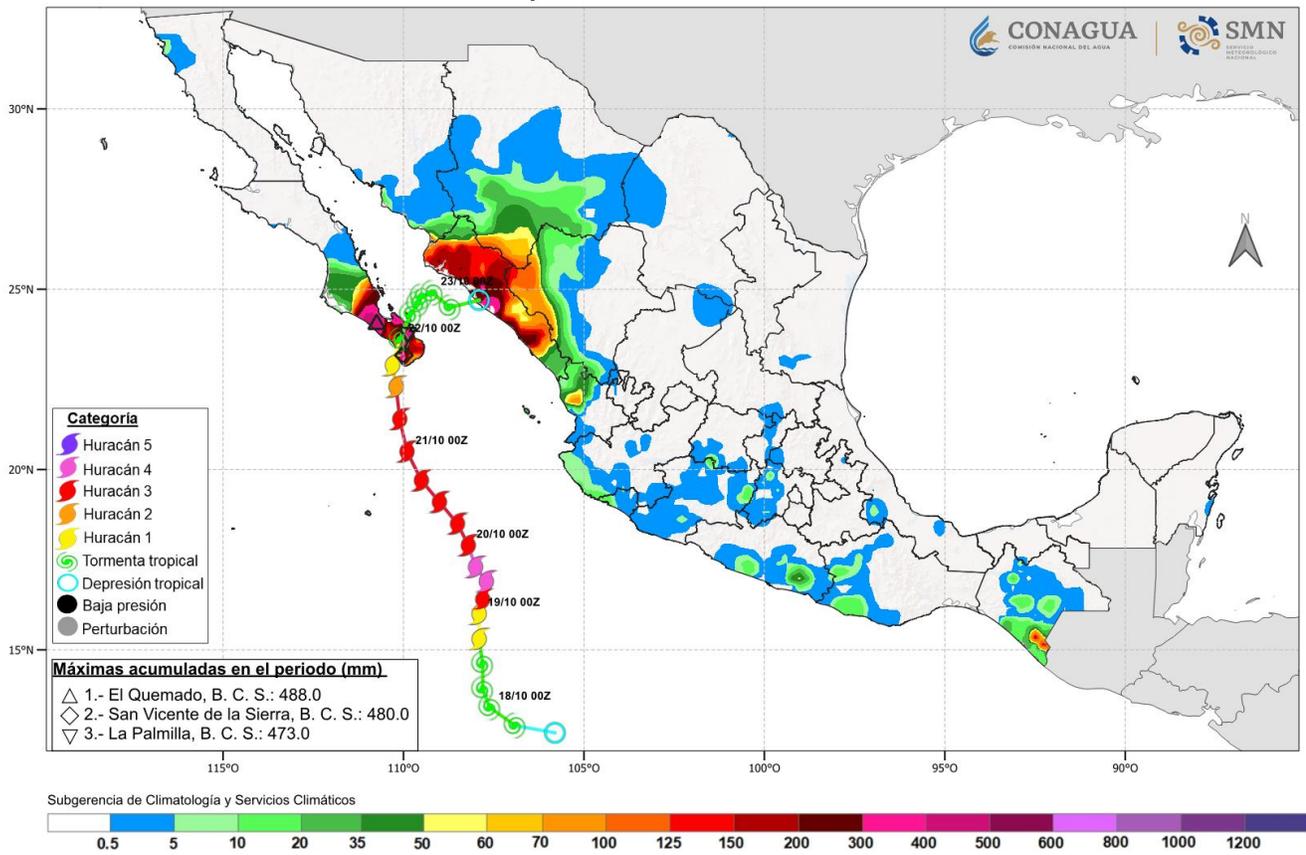


Figura 30: Precipitación acumulada (mm) del 20 al 22 de octubre de 2023 por el huracán Norma, cortesía del Servicio Meteorológico Nacional.

7. Glosario

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

8. 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.

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).

Navarro Ainza, J.A., J. D. Osuna Amador, R. Ávalos Castro, M. Sánchez Hernández, O. Velasco González. 2012. Producción de girasol en el Valle de Santo Domingo, Baja California Sur. Folleto Técnico no. 8. Campo Experimental Todos Santos-INIFAP. 29 p.

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>.