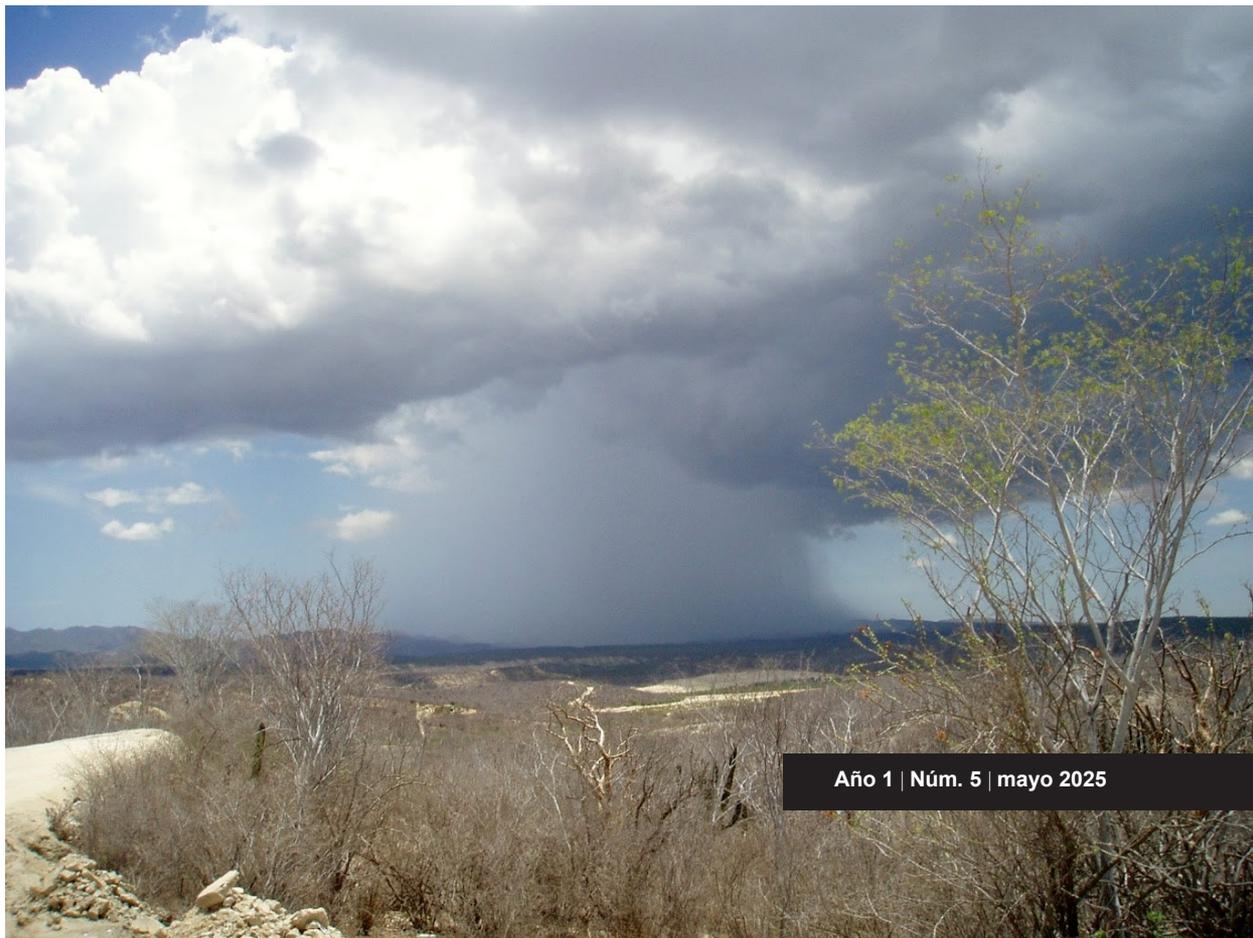


# BOLETÍN CLIMÁTICO DE BCS

REVISTA DEL CENTRO DE INVESTIGACION CIENTÍFICA Y DE EDUCACION SUPERIOR DE  
ENSENADA, UNIDAD ACADÉMICA LA PAZ

GRUPO DE OCEANOGRAFÍA TROPICAL Y LABORATORIO DE SENSORES REMOTOS  
Y VEHÍCULOS AUTÓNOMOS NO TRIPULADOS (SERVANT)

## Novedades del Clima Regional



**Fotografía de portada:** Luis Manuel Farfán Molina.  
Tormenta convectiva en Santiago, Baja California Sur. 27 de julio de 2012.

# BOLETÍN CLIMÁTICO DE BCS

## DIRECTORIO

Boletín Climático del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada  
Unidad Académica La Paz <https://ulp.cicese.mx/BoletinClimBCS/>

Coordinación

Armando Trasviña Castro [trasvi@cicese.mx](mailto:trasvi@cicese.mx)

Eduardo González Rodríguez [egonzale@cicese.edu.mx](mailto:egonzale@cicese.edu.mx)

Cotsikayala Pacheco Ramírez  
Editor

Alfredo Aguirre Estrada  
Editor Técnico

---

## ELABORACIÓN

Dr. Armando Trasviña Castro - Laboratorio SERVANT-CICESE-ULP

Dr. Eduardo González - Rodríguez CICESE-ULP

Dr. Romeo Saldívar-Lucio Investigador por México - SECIHTI-CICESE-ULP

Dr. Jorge Cortés Ramos Investigador por México - SECIHTI-CICESE-ULP

Dr. José Denis Osuna Amador - Investigador Campo Experimental Todos Santos INIFAP

Dr(c). Cotsikayala Pacheco-Ramírez - Est. de Doc. en Ciencias de la Vida-CICESE

Dr. Hugo Herrera Cervantes - CICESE-ULP

Dr. Luis Manuel Farfán Molina - CICESE-ULP

Dr. Carlos Robinson M. - Instituto de Ciencias del Mar y Limnología UNAM

---

Laboratorio

# SERVANT



**BOLETÍN CLIMÁTICO DE BCS**, año 1, núm. 5, mayo 2025, es una publicación mensual electrónica, editada por el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California. Unidad Académica La Paz, BCS, Miraflores No. 334 e/ Mulegé y La Paz. C.P. 23050. La Paz, BCS, México, [cicese.ulp@gmail.com](mailto:cicese.ulp@gmail.com), (612) 121-3031. <<https://ulp.cicese.mx/>>. Editor responsable: Armando Trasviña Castro. ISSN pendiente. Responsable de la última actualización de este número: Cotsikayala Pacheco-Ramírez.

# BOLETÍN CLIMÁTICO DE BCS

Año 1 | Número 5 | mayo 2025

DOI: pendiente

## Novedades del clima regional Contenido

<b>Presentación</b>	<b>3</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>4</b>
<b>2. Nivel del mar absoluto</b> Armando Trasviña Castro	<b>5</b>
<b>3. Temperatura Superficial del Mar, Productividad Primaria y Altimetría satelital</b> Eduardo González Rodríguez	<b>12</b>
<b>4. Paisaje Pelágico</b> Romeo Saldívar-Lucio	<b>20</b>
<b>5. Monitoreo satelital de florecimientos algales</b> Cotsikayala Pacheco-Ramírez	<b>26</b>
<b>6. Viento (VTO) in situ</b> Jorge Cortés Ramos	<b>31</b>
<b>7. Condiciones meteorológicas en la Bahía de la Paz: período: enero - febrero, 2025</b> Hugo Herrera Cervantes	<b>36</b>
<b>8. Temperatura, humedad relativa y evapotranspiración potencial (ETo) en el Valle de Santo Domingo</b> José Denis Osuna Amador	<b>41</b>
<b>9. Condiciones Meteorológicas en aeropuertos</b> Luis Manuel Farfán Molina	<b>47</b>
<b>10. Temperatura del aire en el Golfo de California</b> Carlos Robinson M.	<b>50</b>

## Presentación

El Grupo de Oceanografía Tropical incluye al Laboratorio de Sensores Remotos y Vehículos Autónomos no Tripulados (SERVANT) y ambos forman parte de la Unidad Académica del CICESE en La Paz (ULP), Baja California Sur, del CICESE. El grupo de Oceanografía Tropical inició en 1998, y el laboratorio SERVANT inició formalmente en marzo de 2016. Realizamos investigación oceanográfica y climática de la zona costera buscando contribuir al bienestar de las pequeñas comunidades costeras del NW de México. Conjuntamos capacidades de monitoreo, análisis e investigación oceanográfica y climática. Un aspecto poco convencional es que integramos una visión de los cambios ambientales y climáticos en escalas espaciales y temporales múltiples. Incluyendo el monitoreo e investigación de la dinámica costera, combinado con información satelital y de baja altura desde drones.



Premio INNOVADORES REGIONALES 2025, otorgado al Grupo de Oceanografía Tropical y laboratorio SERVANT por Legacy Workgroup, San José del Cabo, febrero de 2025.

Nuestros objetivos incluyen realizar investigación oceanográfica y climática de la zona costera, buscando contribuir al bienestar de las pequeñas comunidades de nuestra región. Este es un esfuerzo colaborativo e interinstitucional de investigación y observación de perturbaciones naturales y antrópicas del océano costero.

# 1. Introducción

Este boletín tiene como objetivo mostrar el estado del océano en el mes anterior a su publicación, en particular en las costas de Baja California Sur (BCS).

El boletín contiene artículos especializados según la variable de interés. Además en muchos de los artículos se eligieron tres sitios específicos para describir su variabilidad (Figura 1.1): 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 reportamos series de tiempo a partir de datos satelitales, reanálisis (modelos que incorporan observaciones satelitales) y en algunos casos observaciones *in situ*. El área de estudio corresponde al océano costero del estado de BCS (Figura 1.1). Los círculos de colores en la Figura 1.1 indican los sitios de interés en donde presentamos análisis de series de tiempo de diferentes variables, de sur a norte: Entrada al Golfo de California (Parque Nacional Cabo Pulmo), Bahía de La Paz y Golfo de Ulloa (San Juanico).

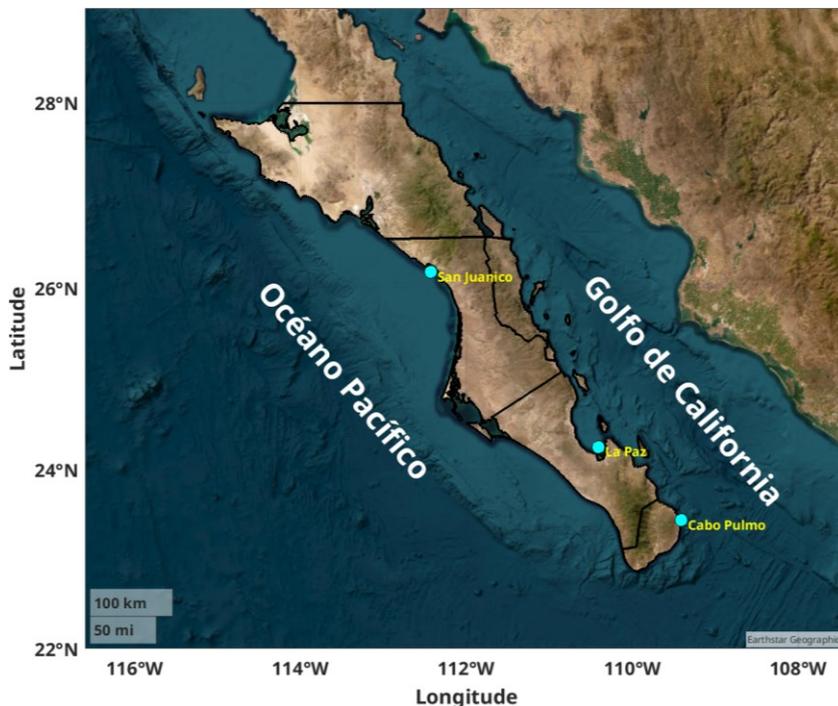


Figura 1.1: Océano costero de Baja California Sur, dentro de la región oceanográfica del Pacífico Tropical Oriental y de la Corriente de California. Los círculos de colores marcan sitios donde presentamos series de tiempo de diferentes variables.

## 2. Nivel del mar absoluto

Armando Trasviña Castro  
trasvi@cicese.mx

**Resumen** | El análisis de los últimos años del nivel del mar absoluto exhibe los efectos de la Niña 2022, El Niño 2023 y La Niña 2024. En particular, destacamos la transición hacia La Niña del 2024 que precede a las condiciones frías de los primeros meses de 2025. Los primeros meses de 2025 son claramente anómalos en términos de nivel del mar, temperatura del mar y otras variables oceanográficas. Esto se refleja en las anomalías negativas de temperatura y positivas de clorofila y productividad primaria neta (Capítulo 3 de este boletín), con las anomalías más elevadas en la costa occidental. En la bahía de La Paz el 4 de abril de 2025 se dio la alerta de un evento FAN (capítulo 5 de este boletín). Y en mayo de 2025 se siguieron recibiendo reportes de ocurrencia de especies marinas en sitios inusuales, además de la mortalidad de cetáceos. Los cambios en la distribución de la megafauna marina y su mortalidad inusual coinciden con las anomalías oceanográficas que reportamos en este boletín. Por ejemplo, este invierno de 2025 hay reportes de la ocurrencia de especies en sitios inesperados, particularmente hay reportes de Ballena Gris desde Cabo Pulmo hasta el Parque Nacional Bahía de Loreto. Abajo destaco dos noticias.

1. Presencia de ballena gris en el Parque Nacional Cabo Pulmo  
<https://oem.com.mx/elsudcaliforniano/local/sorprendente-avistamiento-de-ballenas-grises-en-cabo-pulmo-21790056>
2. La mortalidad de ballenas en las costas de BCS en 2025 se elevó a 91 individuos:  
<https://www.msn.com/es-mx/noticias/mexico/aumenta-el-n%C3%BAmero-de-ballenas-grises-muertas-en-el-oc%C3%A9ano-pac%C3%ADfico-milenio-h%C3%A1bitat/vi-AA1ELJjd?ocid=socialshare>

Mientras se escribe este reporte, en junio de 2025, hay eventos intensos de viento del Pacífico sobre la bahía de La Paz y un reporte de FAN también en la bahía de La Paz.

### Introducción

En esta sección presentamos la variación del nivel del mar absoluto (NMA). Esta es la variación determinada con referencia al geoide, es decir, al nivel del mar en reposo. A diferencia de las anomalías de nivel del mar, el NMA contiene las variaciones estacionales e interanuales y la tendencia de largo período debida al calentamiento global.

El NMA se determina a partir de misiones de altimetría satelital múltiples, desde 1993 al presente.

Esta variable permite visualizar la variación debida a la expansión y contracción del nivel del mar debidas al calentamiento y enfriamiento estacional. Se aprecian las variaciones interanuales debidas a fenómenos tipo El Niño/La Niña, y la tendencia de largo período

debida al calentamiento global. Desde luego también incluye la influencia en el nivel del mar de eventos transitorios, como el paso de huracanes o tormentas.

## Área de estudio

El área de estudio es el océano costero alrededor de la Península de Baja California, con énfasis en el sur de la península.

Los diagramas de evolución en el tiempo (tiempo vs latitud, también conocidos como diagramas de Hovmoller), abarcan desde la entrada al Golfo de California (23 latitud N) hasta el Alto Golfo de California, mientras que por la costa del Pacífico, llegan hasta el puerto de Ensenada (30 latitud N).

Seleccionamos 3 sitios para las series de tiempo: uno en la entrada al Golfo de California (el Parque Nacional Cabo Pulmo), el segundo en la Bahía de La Paz y uno más en la costa del Pacífico, en un lugar representativo del Golfo de Ulloa (San Juanico, BCS, [Figura 1.1](#)).

## Metodología

Los datos que presentamos aquí provienen de un reanálisis del nivel del mar. Se basa en mediciones de altimetría satelital de múltiples misiones entre 1993 y el presente. Es un producto global, libre de huecos y cuenta con una resolución temporal diaria y espacial de  $\sim 12.5 \times 12.5$  km.

Esta información se descarga de dos bases de datos:

Global Ocean Gridded L4 Sea Surface Heights And Derived Variables Reprocessed 1993 Ongoing

Product ID SEALEVEL\_GLO\_PHY\_L4\_MY\_008\_047

[https://data.marine.copernicus.eu/product/SEALEVEL\\_GLO\\_PHY\\_L4\\_MY\\_008\\_047/description](https://data.marine.copernicus.eu/product/SEALEVEL_GLO_PHY_L4_MY_008_047/description)

Las fuentes son observaciones de altimetría satelital, globales, desde latitud  $-89.94^\circ$  a  $89.94^\circ$ , y longitud  $-179.94^\circ$  a  $179.94^\circ$  con resolución espacial de  $0.125^\circ \times 0.125^\circ$ . Desde 31 dic 1992 hasta 30 dic 2023. Resolución temporal diaria.

Y los datos más recientes se descargan del análisis en casi-tiempo real (NRT):

1.

Global Ocean Gridded L4 Sea Surface Heights And Derived Variables Nrt

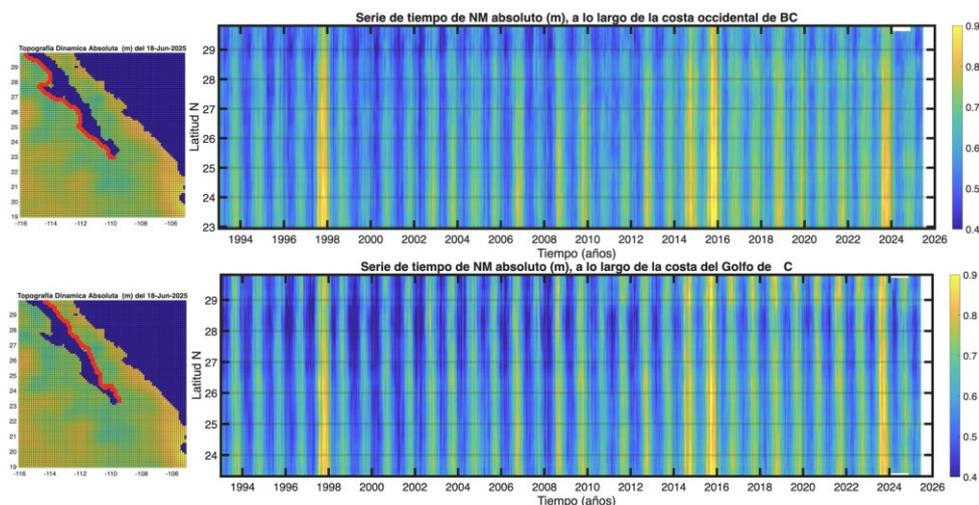
Product ID SEALEVEL\_GLO\_PHY\_L4\_NRT\_008\_046

[https://data.marine.copernicus.eu/product/SEALEVEL\\_GLO\\_PHY\\_L4\\_NRT\\_008\\_046/description](https://data.marine.copernicus.eu/product/SEALEVEL_GLO_PHY_L4_NRT_008_046/description)

Las fuentes son observaciones de altimetría satelital, globales, desde latitud  $-89.94^{\circ}$  a  $89.94^{\circ}$  y longitud  $-179.94^{\circ}$  a  $179.94^{\circ}$  con resolución espacial de  $0.125^{\circ} \times 0.125^{\circ}$ . Desde 31 dic 2021 hasta el presente. Resolución temporal diaria.

## Resultados

Estos diagramas muestran la evolución del nivel del mar absoluto (NMA) a lo largo de la costa (Figura 2.1). Las unidades son metros (m) y destacan los máximos que corresponden a eventos de elevación/depresión (cálidos/fríos) del nivel del mar en tonos amarillos/azules. El mapa de la izquierda muestra las estaciones (puntos rojos) y el nivel del mar para el 18 de junio de 2025. La figura de arriba corresponde a la Costa Occidental y la de abajo al Golfo de California.

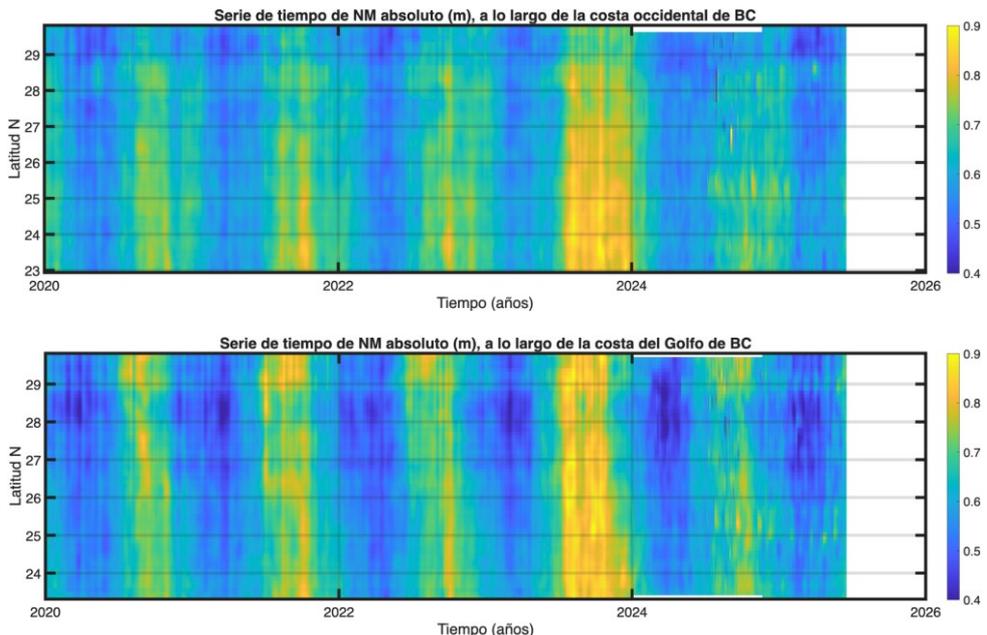


**Figura 2.1:** Evolución del nivel del mar (NM absoluto) a lo largo de las dos costas de la península de BC desde enero de 1993 hasta junio de 2025. Arriba: costa occidental; abajo: costa del Golfo de California.

Estos diagramas de latitud VS tiempo, muestran el cambio del nivel del mar a lo largo de la costa (puntos rojos) desde 1993 al presente (32 años). Cada año muestra la variación estacional debida a la elevación del verano (el agua cálida se expande, tonos amarillos) a la depresión del invierno (el agua fría se contrae, tonos azules). Y por eso el gráfico muestra alternancia de tonos amarillos y azules. El cambio estacional tiene un rango de unos 50 cm (0.5 m), aunque existen claras diferencias año con año. Los años de mayor elevación (amarillos intensos) corresponden casi siempre a años Niño, por ejemplo 1997-1998 o

2015-2016. También hay diferencias claras entre la Costa occidental y el Golfo de California. En la costa del golfo (panel inferior) el nivel del mar invernal desciende más que en la costa occidental (panel superior), por esto el panel inferior muestra tonos azules más intensos. También podemos observar que en Alto Golfo de California (parte alta del panel inferior) los máximos extremos ( $> 0.85$  en amarillo) se vuelven más comunes de 2014 a la fecha.

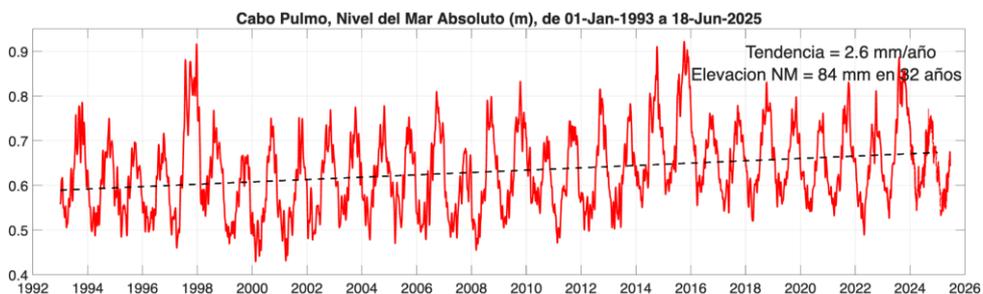
La variabilidad interanual destaca por los eventos cálidos (en amarillo) El Niño de 1997-1998, El Blob cálido de 2014, El Niño de 2015 y El Niño de 2023 (Peng et. al, 2024). Es importante destacar, que el evento de 2023 alcanza elevaciones comparables con las del 2015. El año de 2023, fue más intenso (más amarillo) y alcanzó latitudes mas altas en el interior del Golfo de California (panel inferior) que en la Costa Occidental (panel superior). A partir de 2024 y hasta el presente, el nivel del mar se ha mantenido por debajo de lo esperado debido a un verano menos cálido de lo normal, asociado a La Niña 2024.



**Figura 2.2:** Los últimos años de la evolución del nivel del mar (NM absoluto) a lo largo de las dos costas de la península de BC desde enero de 2020 hasta junio de 2025. Arriba: costa occidental; abajo: costa del Golfo de California.

La [Figura 2.2](#) muestra el comportamiento del nivel del mar del año 2020 al presente. En el semestre de invierno ambas costas experimentan descenso del nivel del mar (tonos azules), aunque siempre es mayor dentro del Golfo de California. Es en el mes de julio es cuanto ocurre el máximo de verano (tonos amarillos). Y se intensifica en años cálidos, por ejemplo, en el verano de 2023 el máximo es muy intenso debido al fenómeno del Niño. Esto precede

a un verano débil en 2024, auspiciado por condiciones menos cálidas asociadas al evento de La Niña 2024-2025 que se prolonga a los primeros meses de 2025.

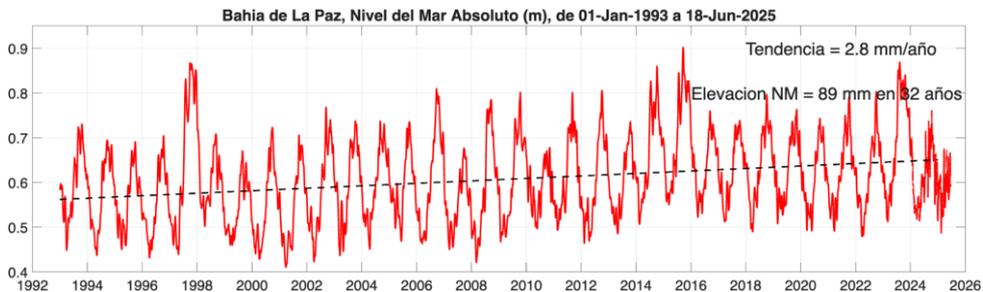


**Figura 2.3:** Nivel del mar absoluto (m) en Cabo Pulmo, BCS. Inicia en enero de 1993 y termina en junio de 2025. Incluye el nivel del mar con referencia al geoide y la tendencia de largo período debida al calentamiento global. Este sitio representa la variabilidad de la entrada al Golfo de California.

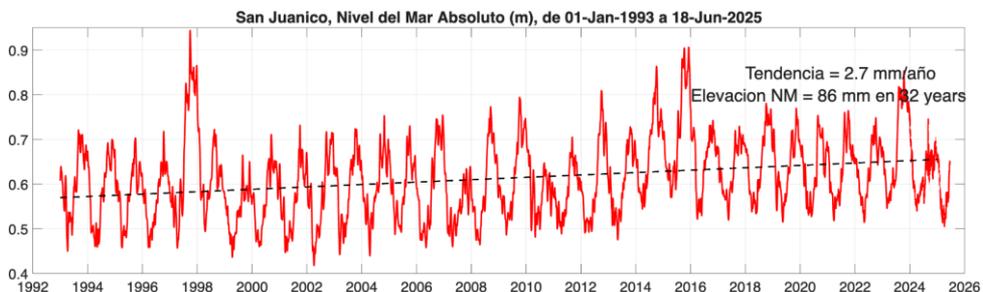
La [Figura 2.3](#) contiene la serie de tiempo del nivel del mar absoluto (m) en Cabo Pulmo, desde enero de 1993 hasta junio de 2025. La variación estacional consiste en la elevación del nivel del mar en verano y el descenso en invierno. Sin embargo, destacan los máximos de 1997-1998, asociado a un evento de El Niño, el de 2014 debido al Blob cálido, y el de 2015 debido a otro evento El Niño. El año 2023 se encuentra entre los máximos del registro por 2 razones: a) el evento El Niño que calentó el Pacífico Tropical Oriental y, b) el incremento del nivel del mar por calentamiento global. Ambos fenómenos contribuyen a la elevación del nivel del mar que se reporta aquí. El incremento del nivel del mar debido al calentamiento global en esta localidad tiene una tendencia de 2.6 mm/año, para un total de 84 mm en los 32 años de registro. Es importante notar que durante el verano de 2024 sólo se alcanza un máximo débil. Uno de los más débiles del registro. Y a esto le sigue una débil caída estacional de invierno. En junio se registra la elevación del nivel del mar rumbo al verano. La respuesta que observamos aquí no es exclusiva de la zona costera, este sitio es representativo de lo que sucede en gran parte de la Entrada al Golfo de California.

La [Figura 2.4](#) contiene la serie de tiempo del nivel del mar absoluto (m) en Bahía de la Paz, desde enero de 1993 hasta junio de 2025. Su variación estacional típica consiste en la elevación del nivel del mar en verano y el descenso en invierno. Destacan los máximos de asociado al evento de El Niño 1997- 1998, 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 2.8 mm/año, para un total de 89 mm en los 32 años de registro. En julio 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. Aquel año de 2010 también experimentó los efectos de un evento frío (La Niña en el Ecuador). En junio de 2025 continúa la elevación del nivel del mar hacia el verano.



**Figura 2.4:** Nivel del mar absoluto (m) en la bahía de La Paz, BCS. Inicia en enero de 1993 y termina en junio de 2025. Incluye el nivel del mar con referencia al geode y la tendencia de largo período debida al calentamiento global.



**Figura 2.5:** Nivel del mar absoluto (m) en la San Juanico, BCS, costa pacífico norte de BCS. Inicia en enero de 1993 y termina en junio de 2025. Incluye el nivel del mar con referencia al geode y la tendencia de largo período debida al calentamiento global. Este sitio representa la variabilidad del Golfo de Ulloa.

La [Figura 2.5](#) contiene la serie de tiempo del nivel del mar absoluto (m) en San Juanico, en la costa del Pacífico de Baja California, desde enero de 1993 hasta junio de 2025. La variación estacional típica también aquí consiste en la elevación del nivel del mar en verano y el descenso en invierno. Destacan los máximos de 1997-1998, asociado a un evento 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 no ejerció tanta influencia a esta latitud de la costa occidental de Baja California. 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. El mes de julio 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. En el mes de junio el nivel del mar inicia el ascenso

hacia el verano, un poco más tarde que en los otros dos sitios.

## Discusión

Estos primeros meses de 2025 son claramente anómalos en términos de nivel del mar, temperatura del mar y otras variables oceanográficas (Figura 3.4, Figura 3.5 y Figura 3.6). Esto se refleja en las anomalías negativas de temperatura y positivas de clorofila y productividad primaria neta (Capítulo 3 de este boletín), con las anomalías más elevadas en la costa occidental. En la bahía de La Paz el 4 de abril se dio la alerta de un evento FAN (Capítulo 5 de este boletín). En mayo de 2025 se siguieron recibiendo reportes de ocurrencia de especies marinas en sitios inusuales y de la mortalidad de cetáceos. Las últimas noticias sobre mortalidad de ballenas en 2025 se elevó a 91 individuos en las costas de BCS:

<https://www.msn.com/es-mx/noticias/mexico/aumenta-el-n%C3%BAmero-de-ballenas-grises-muertas-en-el-oc%C3%A9ano-pac%C3%ADfico-milenio-h%C3%A1bitat/vi-AA1ELJjd?ocid=socialshare>

Los cambios en la distribución de la megafauna marina y su mortalidad inusual coinciden con las anomalías oceanográficas que reportamos en este boletín. En la bahía de La Paz en junio siguen intensos los vientos del Pacífico, además de un reporte de FAN.

## Referencias

Peng, Q., Xie, S. P., Passalacqua, G. A., Miyamoto, A., and Deser, C.: The 2023 extreme coastal El Niño: Atmospheric and air-sea coupling mechanisms, *Sci. Adv.*, 10, eadk8646, <https://doi.org/10.1126/sciadv.adk8646>, 2024.

# 3. Temperatura Superficial del Mar, Productividad Primaria y Altimetría satelital

Eduardo González Rodríguez  
egonzale@cicese.mx

**Resumen** | En este artículo se describen las condiciones mensuales de productividad primaria, temperatura superficial del mar, altura del océano y corrientes, derivadas a partir de información satelital. Adicionalmente, se hace un análisis de series de tiempo de estas variables a lo largo del tiempo, desde 2002 a la fecha (mayo de 2025), para los sitios Cabo Pulmo, Bahía de La Paz y San Juanico ([Figura 1.1](#)). Los resultados sinópticos se presentan como mapas mensuales de las condiciones promedio y de sus anomalías, mientras que las variaciones de largo plazo sobre las tres regiones seleccionadas se muestran con sus valores de climatologías mensuales, valores del mes, y series de tiempo con sus anomalías.

## Introducción

Las mediciones satelitales del océano iniciaron desde la década de los 80 del siglo pasado, inicialmente con datos de temperatura superficial del mar (TSM), posteriormente en los 90 se midió el denominado color del océano, que incluye principalmente estimaciones de clorofila, de igual manera en esa misma década se comenzó a medir la altura del océano y las corrientes geostróficas derivadas. En la actualidad, las mediciones de TSM son muy confiables y con el desarrollo de mejores satélites y modelos se tienen datos con una resolución temporal diaria y espacial de 1 km. [Behrenfeld y Falkowski](#) (1997) propusieron un modelo para tener estimaciones de productividad primaria neta (PPN) a partir de datos satelitales, sin embargo, los datos de PPN no son ampliamente utilizados. Por otro lado, las mediciones de altimetría satelital proporcionan información sobre la altura del mar (ADT) y sus anomalías (SLA), así como de las corrientes geostróficas (CORR); sin embargo, los datos cercanos a la costa, no habían tenido la resolución suficiente, pero a partir de noviembre de 2024 la resolución espacial aumentó a 12 km, lo que da la oportunidad de utilizarlas en esta región. Es a partir de estas variables que se hace una descripción de las condiciones mensuales (mapas), así como de sus anomalías, estimadas con una base mensual. Adicionalmente, se presentan series de tiempo de las anomalías mensuales a partir de 2002 de los sitios mencionados en la [Figura 1.1](#).

## Área de estudio

El área de estudio corresponde a las aguas oceánicas frente a las costas del estado de BCS, comprendidas en el cuadrante -120 a -108 de longitud y 22 29 de latitud ([Figura 1.1](#)). Los

círculos de color cian en la figura 1 indican los tres sitios de interés en donde se hicieron análisis de series de tiempo para las variables PP, TSM y Altimetría, de sur a norte, parque nacional Cabo Pulmo, La Paz y en San Juanico.

## Metodología

**Temperatura Superficial del Mar (TSM).** El término TSM se refiere a la capa o piel del océano y representa la temperatura de la capa subsuperficial a una profundidad entre 10–20  $\mu\text{m}$ . La TSM es un producto proporcionado por el laboratorio de oceanografía de propulsión a chorro de la agencia espacial de los Estados Unidos (JPL y NASA, respectivamente, por sus siglas en inglés). Es un producto global que no presenta huecos por nubosidad con una resolución temporal diaria y espacial de 1x1 km (Chin et al., 2017) (<https://doi.org/10.5067/GHGMR-4FJ04>), accedido el 9 de junio de 2025.

**Productividad Primaria(PP).** La PP es el producto de la fijación de carbono por parte de las plantas a través de la fotosíntesis, es el resultado del total del carbono producido (bruto) menos el utilizado para la respiración. La PP utilizada es derivada de información satelital y está basada en el modelo generalizado de producción vertical propuesto por *Behrenfeld y Falkowski* (1997) y está basado en las estimaciones de clorofila satelital. Es un producto mensual proporcionado por el Copernicus Marine Environment Monitoring Service (CMEMS, <https://doi.org/10.48670/moi-00281>, Garnesson et. al. 2019) con una resolución espacial de 4x4 km, accedido el 9 de junio de 2025.

**Altimetría satelital.** La altimetría proporciona información sobre la altura del océano (ADT), su anomalía (SLA) y sobre las corrientes (CORR). Los datos de CORR están compuestos por los componentes zonal y meridional ( $u$  y  $v$ ) con los que se construyen los vectores correspondientes, que indican la velocidad y dirección de las corrientes. Estos productos son estimados por medio una interpolación de diversas misiones (varios satélites) y son proporcionadas por el CMEMS (<https://doi.org/10.48670/moi-00149>). Es un producto global, libre de huecos y cuenta con una resolución temporal diaria y espacial de ~12.5x12.5 km, accedido el 9 de junio de 2025.

En vista de que las variables seleccionadas son globales, fue necesario hacer una extracción del cuadrante definido por los límites de la zona de estudio.

## Análisis de series de tiempo

Para el análisis de series de tiempo se seleccionaron, el parque nacional Cabo Pulmo (-109.41, 23.435), Bahía de La Paz (-110.41, 24.25) y San Juanico, BCS (-112.43, 26.17). Las series resultantes corresponden a los valores mensuales a partir de 2002 y hasta la fecha

(mayo de 2025), así como las anomalías de las variables a lo largo del tiempo.

Adicionalmente, se descargaron los datos mensuales para el periodo 2002-2025 del índice multivariado de El Niño versión 2 (MEI V2, <https://psl.noaa.gov/enso/mei/>) con la intención de ver una posible relación de este índice y las series de las variables.

Las anomalías, tanto para los mapas como para las series de tiempo, fueron estimadas de la misma forma, primero se estimó la climatología mensual (12 valores resultantes) y posteriormente se le restó el valor del mes correspondiente al valor climatológico mensual:

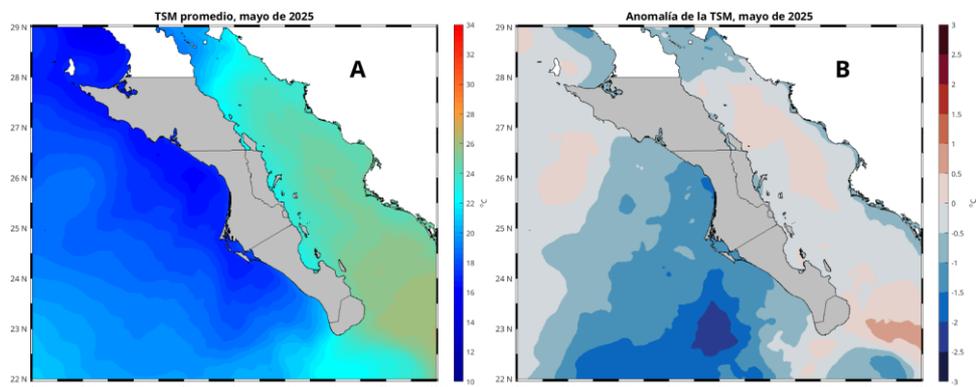
$$\text{anomalía} = \text{datomensual} - \text{climatologiamensual}$$

Todo el procesado de la información, recorte, generación de series de tiempo, cálculo de climatologías y anomalías, generación de mapas se llevó a cabo con el lenguaje de programación Matlab 2024a.

## Resultados

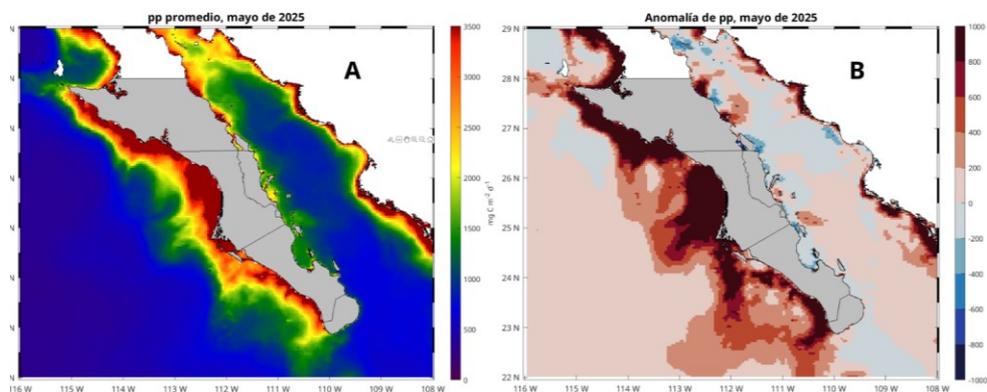
### Mapas mensuales de distribución

**Temperatura Superficial del Mar (TSM).** Las condiciones de TSM durante el mes de mayo de 2025 se muestran en la **Figura 3.1**. El mapa del **panel A** muestra las temperaturas promedio registradas durante el mes, su rango se ubicó entre 15.19 y 26.20 °C, valores con un rango menor respecto a los de abril (14.91 y 24.26 °C). **El panel B** muestra las anomalías con respecto al promedio histórico o climatológico desde 2002, el rango de mayo estuvo entre -2.31 y 0.77 °C, rango similar en comparación a los valores de -2.36 y 0.73 °C del mes anterior. En términos generales, mayo fue un mes dominado por anomalías negativas en toda la región del pacífico y la costa occidental de la península, la parte central del golfo presentó condiciones cercanas al promedio o ligeramente positivas. Destacan las anomalías negativas menores a -3 °C en la región oceánica al sur de los 24 °N.



**Figura 3.1.** Condiciones de TSM durante el mes de mayo de 2025. Panel A, condiciones mensuales promedio y panel B, anomalías mensuales.

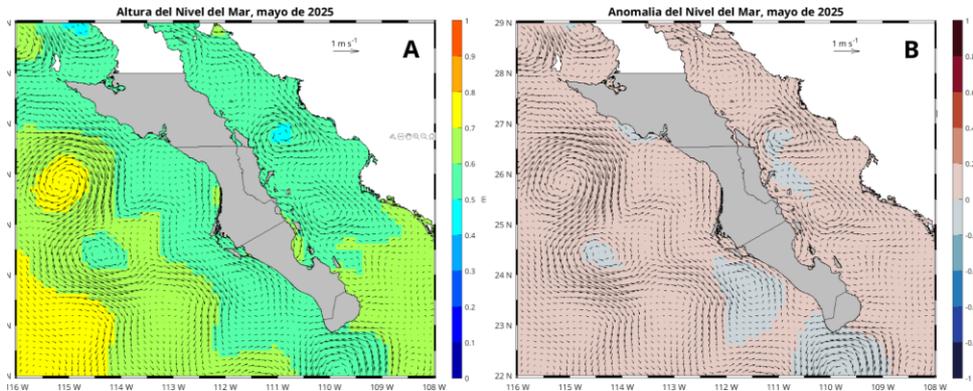
**Productividad Primaria (PP).** Las condiciones de PP durante mayo de 2025 se presentan en la [Figura 3.2](#). El mapa del **panel A** muestra la PP promedio registrada, cuyo rango estuvo entre 292 y 5838 mg C m<sup>2</sup> d, valores similares respecto a los de abril (333 y 5390 mg C m<sup>2</sup> d). El **panel B** muestra las anomalías con respecto al promedio histórico o climatológico desde 2002, el rango de mayo estuvo entre -1144 y 2297 mg C m<sup>2</sup> d, rango mayor en comparación a los valores de -496 y 2370 mg C m<sup>2</sup> d del mes anterior. En términos generales, mayo fue un mes con anomalías positivas, dominando toda la región, principalmente toda la región costera de la costa occidental de la península de Baja California.



**Figura 3.2.** Condiciones de PPN durante el mes de mayo de 2025. Panel A, condiciones mensuales promedio y panel B, anomalías mensuales.

**Altimetría (ADT, SLA y CORR).** Las condiciones de altimetría durante mayo de 2025 se presentan en la [Figura 3.3](#). El mapa del **panel A** muestra el promedio de la denominada altura dinámica (ADT), su rango se ubicó entre 0.49 y 0.76 m, valores similares respecto a los de abril de 0.46 y 0.74 m. El **panel B** muestra las anomalías del nivel del mar (SLA) con respecto al promedio climatológico, sus valores se ubicaron entre -0.09 y 0.16 m,

valores mayores a los  $-0.07$  y  $0.12$  m de abril. Las corrientes se pueden observar, en los paneles A y B, ya que están superpuestas a la ADT y la SLA; su velocidad se ubicó entre  $0.0006$  y  $0.5$   $m\ s^{-1}$ . En la costa occidental de la península, la circulación es de norte a sur, semi paralela a la costa, mientras que dentro del golfo, se observan estructuras tipo remolinos. En términos generales, la SLA es positiva, prácticamente en toda la región, excepto al sur de la península de Baja California.



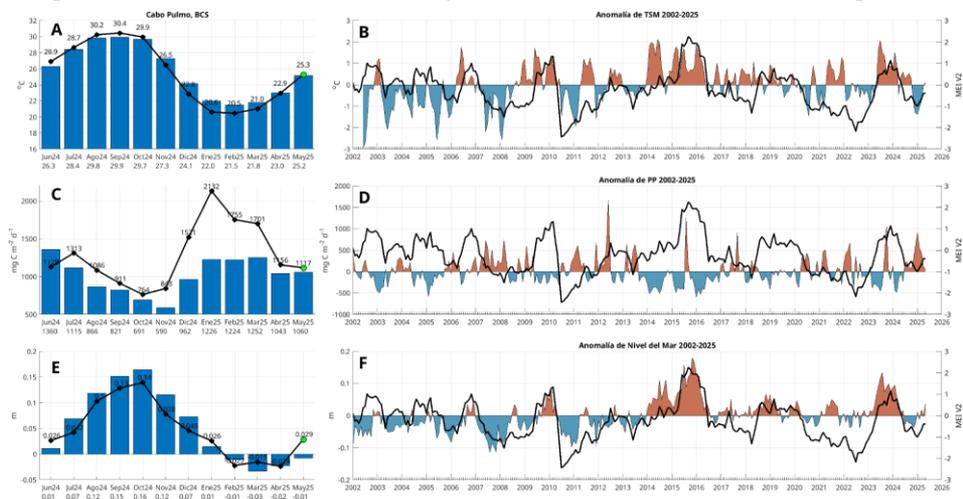
**Figura 3.3.** Condiciones de altimetría durante el mes de mayo de 2025. Panel A, condiciones promedio de altura del mar (ADT) y panel B, anomalías del nivel del mar (SLA), en ambos casos con las corrientes geostróficas (CORR) superpuestas.

## Series de tiempo

El análisis mensual de series de tiempo (2002-2025) sobre los tres sitios seleccionados, Cabo Pulmo, La Paz y San Juanico se describe a continuación:

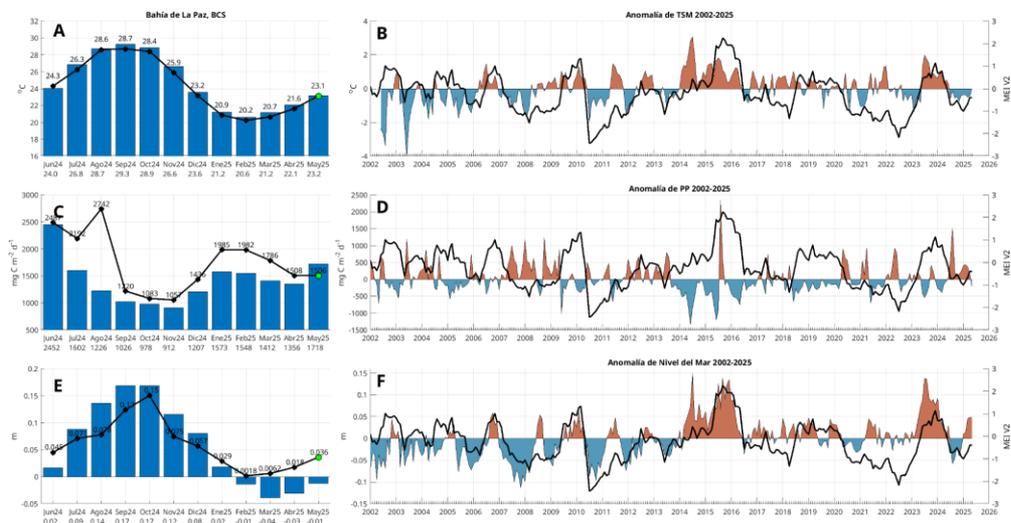
**Cabo Pulmo.** Las condiciones climatológicas y de anomalías de TSM, PP y SLA a lo largo del tiempo (2002- 2025) se muestran en la [Figura 3.4](#). En mayo de 2025 (panel A, círculo verde), la TSM tuvo un valor promedio de  $25.3$   $^{\circ}C$ , ligeramente por encima de su valor climatológico de  $25.2$   $^{\circ}C$ , casi  $+2.5$   $^{\circ}C$  respecto a los  $20.5$   $^{\circ}C$  de abril. Las anomalías (panel B), fueron negativas desde noviembre de 2024 hasta abril de 2025, este es el primer mes con anomalía positiva, aunque marginal. Al parecer, aún con valores negativos del MEI de abril y mayo ( $-0.4$  en ambos meses), las condiciones frías en la región llegaron a su fin . La PP presentó un valor de  $1117$   $mg\ C\ m^{-2}\ d^{-1}$ , por encima de su valor climatológico de  $1060$   $mg\ C\ m^{-2}\ d^{-1}$  (panel C, círculo verde); menor en comparación con abril, que tuvo un valor de  $1156$   $mg\ C\ m^{-2}\ d^{-1}$ . Desde julio de 2024 las anomalías se han mantenido positivas (paneles C y D), pero especialmente los meses de diciembre a marzo, con valores muy altos. Al parecer, los valores negativos del MEI, apenas negativos (pero dentro del rango de condiciones normales) ya no tienen un impacto en el aumento de los niveles de PP. En mayo de 2025, las anomalías del nivel del Mar (SLA), registraron un valor de  $0.029$  m, por encima de su valor climatológico de  $-0.01$  m ([Figura 3.4](#), paneles E y F), mayor en

comparación con abril (-0.02 m), es el segundo mes consecutivo con anomalías positivas.



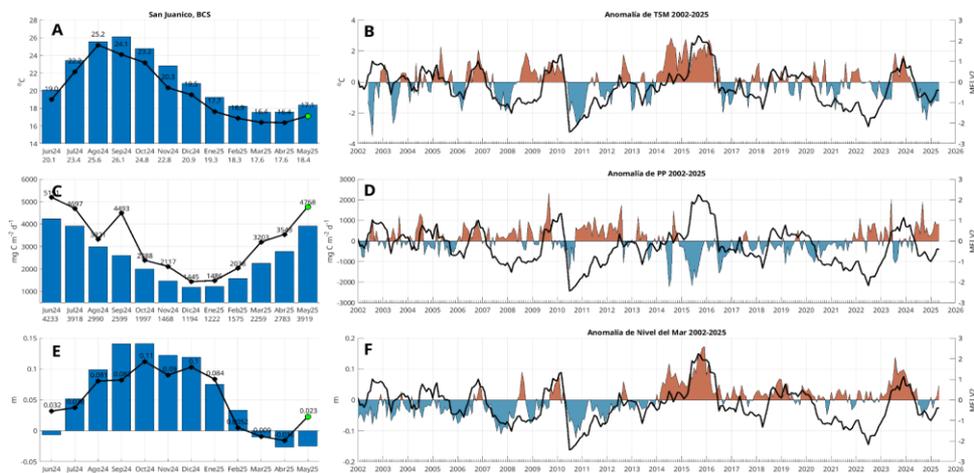
**Figura 3.4.** Condiciones climatológicas y de anomalías para TSM, PP y SLA a lo largo del tiempo (2002-2025) en Cabo Pulmo. Las barras en los paneles A, C y E, muestran las climatologías mensuales, las líneas negras con círculos indican los valores de los últimos 12 meses (hasta mayo de 2025, círculo verde), los valores debajo de los meses en el eje x corresponden a los valores climatológicos. Los paneles B, D y F muestran las anomalías a lo largo del tiempo, la línea negra indica los datos del MEI V2 (Índice Multivariado de El Niño, versión 2).

**La Paz.** Las condiciones climatológicas y de anomalías de TSM, PP y SLA a lo largo del tiempo (2002-2025) se muestran en la [Figura 3.5](#). En mayo de 2025 (panel A, círculo verde), la TSM tuvo un valor promedio de 23.1 °C, por debajo de su valor climatológico de 23.2 °C, menor respecto a los 21.6 °C de abril. Las anomalías (panel B), se han mantenido negativas desde julio de 2024, al parecer como una respuesta a los valores negativos del MEI, cuyo valor a mayo de 2025 es de -0.4. La PP presentó un valor de 1506 mg-C m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>, menor a su valor climatológico de 1718 mg-C m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> (panel C, círculo verde); inferior al de abril de 1508 mg-C m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>. Desde julio de 2024 las anomalías se habían mantenido positivas (paneles C y D). Al parecer, el efecto de los valores negativos del MEI por más de nueve meses seguidos (típicos de La Niña) llegaron a su fin en mayo, con el primer valor de anomalía negativa (-212 mg-C m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>) en 10 meses. En mayo de 2025, las anomalías del nivel del Mar (SLA), tuvieron un valor negativo de 0.036 m, mayor respecto a su valor climatológico de -0.01 m ([Figura 3.5](#), paneles E y F), mayor en comparación con marzo (0.0018 m), quinto valor positivo en nueve meses, continuando con la tendencia negativa que se asocia con La Niña, que este mes presentó el mismo valor de abril de -0.4.



**Figura 3.5.** Condiciones climatológicas y de anomalías de TSM, PP y SLA a lo largo del tiempo (2002- 2025) en Bahía de La Paz. Las barras en los paneles A, C y E, muestran las climatologías mensuales, las líneas negras con círculos indican los valores de los últimos 12 meses (hasta mayo de 2025, círculo verde), los valores debajo de los meses en el eje x corresponden a los valores climatológicos. Los paneles B, D y F muestran las anomalías a lo largo del tiempo, la línea negra indica los datos del MEI V2 (Índice Multivariado de El Niño, versión 2).

**San Juanico.** Las condiciones climatológicas y de anomalías de TSM, PP y SLA a lo largo del tiempo (2002- 2025) se muestran en la [Figura 3.6](#). En mayo de 2025 (panel A, círculo verde), la TSM tuvo un valor promedio de 17.1 °C, por debajo de su valor climatológico de 18.4 °C, menor respecto a los 16.4 °C de marzo. Las anomalías (panel B), se han mantenido negativas desde abril de 2024, al parecer como una respuesta a los valores negativos del MEI, cuyo valor en mayo de 2025 fue de -0.4. La PP presentó un valor de 4768 mg-C m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>, mayor a su valor climatológico de 3919 mg-C m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> (panel C, círculo verde); mayor en comparación con abril, que tuvo un valor de 3543 mg-C m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>. Desde mayo de 2024 las anomalías se han mantenido positivas (paneles C y D) Al parecer, el efecto de los valores negativos del MEI por más de un año (típicos de La Niña) siguen favoreciendo altos niveles de PP. En mayo de 2025, las anomalías del nivel del Mar (SLA), fueron positivas con un valor de 0.023 m, respecto a su valor climatológico de -0.02 m ([Figura 3.6](#), paneles E y F), menor en comparación con abril (-0.016 m). A lo largo del tiempo, los últimos valores, tanto negativos como positivos, no permiten establecer un patrón.



**Figura 3.6.** Condiciones climatológicas y de anomalías de TSM, PP y SLA a lo largo del tiempo (2002- 2025) en San Juanico. Las barras en los paneles A, C y E, muestran las climatologías mensuales, las líneas negras con círculos indican los valores de los últimos 12 meses (hasta mayo de 2025, círculo verde), los valores debajo de los meses en el eje x corresponden a los valores climatológicos. Los paneles B, D y F muestran las anomalías a lo largo del tiempo, la línea negra indica los datos del MEI V2 (Índice Multivariado de El Niño, versión 2).

## Discusión

Tanto los resultados de los mapas de distribución de TSM, PP y SLA como los análisis de series de tiempo indican que las condiciones de la región son de tendencia a condiciones ligeramente y anómalamente frías, con temperaturas por debajo de condiciones normales. Esto repercute en un aumento en los niveles de PP, aunque el nivel del mar ha presentado valores anómalamente positivos. Los datos del MEI V2 indican que desde 2024 se han presentado condiciones del tipo La Niña, sería la razón del enfriamiento detectado en la región. Sin embargo, el valor más reciente del MEI V2 de -0.4, aunque negativo, está dentro del rango (-0.5 a 0.5) de condiciones normales, al parecer las condiciones tipo La Niña ya están llegando a su fin.

## Referencias

Behrenfeld, MJ, PG Falkowski. 1997. A consumer's guide to phytoplankton primary productivity models. *Limnology and Oceanography*. Volume 42: 1479-1491.

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>

## 4. Paisaje Pelágico

Romeo Saldívar-Lucio  
rsaldivar@cicese.edu.mx

**Resumen** | Este artículo describe los cambios registrados en el Paisaje Pelágico de tres localidades alrededor de Baja California Sur. El Paisaje Pelágico representa un traslado conceptual de la ecología del paisaje en tierra y el paisaje marino tradicional (ej. arrecifes de coral), con el atributo particular de capturar la complejidad y dinámica del ambiente pelágico. Para ello se clasifican diversos hábitats pelágicos considerando que el ambiente físico en el océano se compone de múltiples capas superpuestas que se reconfiguran en parches tridimensionales, modificando constantemente sus características físicas, químicas y biológicas.

### Introducción

El traslado conceptual de la ecología del paisaje hacia el dominio pelágico conduce a la incorporación de los organismos planctónicos que contribuyen a la formación de parches en diferentes escalas, en coherencia con la física y la dinámica de los procesos oceanográficos (Kavanaugh *et al.*, 2016). Por lo tanto, la reconfiguración dinámica de los parches o hábitats pelágicos responde a la hidrología, la turbulencia y la respuesta primaria de los microorganismos fotosintetizadores y sus variaciones en el espacio, el tiempo y la profundidad, donde radica la diferencia fundamental entre el Paisaje Pelágico y los paisajes marinos convencionales (Kavanaugh *et al.*, 2016; Scales, 2017).

Si bien el Paisaje Pelágico tiene un respaldo conceptual y metodológico robusto, y apunta hacia una investigación creciente con múltiples aplicaciones, aún se encuentra en fase de exploración pues no se conocen los rasgos distintivos de su variación en el contexto de los cambios físicos y biológicos conocidos para las diferentes regiones marinas del planeta. De aquí que el objetivo de este trabajo es analizar los principales rasgos de variación del Paisaje Pelágico en la región. De continuar confirmándose su utilidad, la caracterización de hábitats que configuran el Paisaje Pelágico podría impulsar el desarrollo de herramientas operacionales para la descripción del estado y pronóstico de los recursos marinos a escala regional y local (e.g. Alvarez-Berastegui *et al.*, 2014; Montes *et al.*, 2020).

### Área de estudio

El área de estudio corresponde a las aguas oceánicas frente a las costas del estado de BCS, comprendidas en el cuadrante -120 a -108 de longitud y 22 29 de latitud ([Figura 1.1](#)). Los círculos de colores en la [Figura 1.1](#) indican los sitios para los cuáles se realiza la descripción de los cambios en el Paisaje Pelágico; parque nacional Cabo Pulmo, La Paz y el Golfo de

Ulloa.

## Metodología

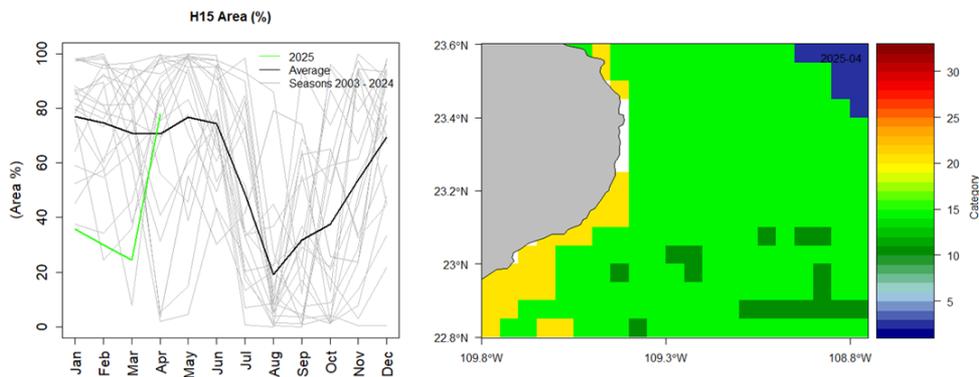
Los datos de entrada para clasificar cada hábitat pelágico se derivan de campos dinámicos de datos satelitales y modelados con el objetivo de proporcionar un marco biogeográfico para describir los hábitats oceánicos dinámicos alrededor del mundo a través de una gama de 33 categorías de hábitat. El servicio CoastWatch proporciona acceso regular a compuestos mensuales y de 8 días con una resolución de 5 km: <https://coastwatch.noaa.gov/cwn/products/seascape-pelagic-habitat-classification.html>.

El archivo de datos original fue descargado en formato \*.nc, con resolución temporal mensual, desde enero de 2003 hasta la actualización más reciente del producto. El archivo se reestructura como un objeto *sat* de clase 4, para posteriormente realizar la extracción y visualización de datos con el apoyo de la biblioteca *sat* (Villalobos y González-Rodríguez, 2022) en el lenguaje de programación R (R Core Team, 2025). El área recortada para cada localidad se considera como el 100%, para posteriormente calcular la cobertura relativa de los hábitats presentes mediante el conteo automatizado de píxeles por clase (Figura 4.1.1, 4.2.2, 4.3.2).

## Resultados

El paisaje pelágico en Cabo Pulmo y zonas adyacentes, muestran una estacionalidad bien definida (Figura 4.1.1). De enero a agosto, la categoría H15 suele disminuir del 80 al 16 %, para volver a extenderse hasta casi el 70 % hacia diciembre. El predominio de H15 indica temperatura superficial promedio cercana a 25.35 °C, salinidad de 35.4 ups, y concentración de clorofila de 0.32 mg·m<sup>-3</sup>. En sentido opuesto, H3 se expande de febrero (<5 %) a agosto (60 %) y se define por una temperatura superficial cercana a los 24.12 °C, salinidad de 35.34 ups y 0.15 mg·m<sup>-3</sup> de clorofila.

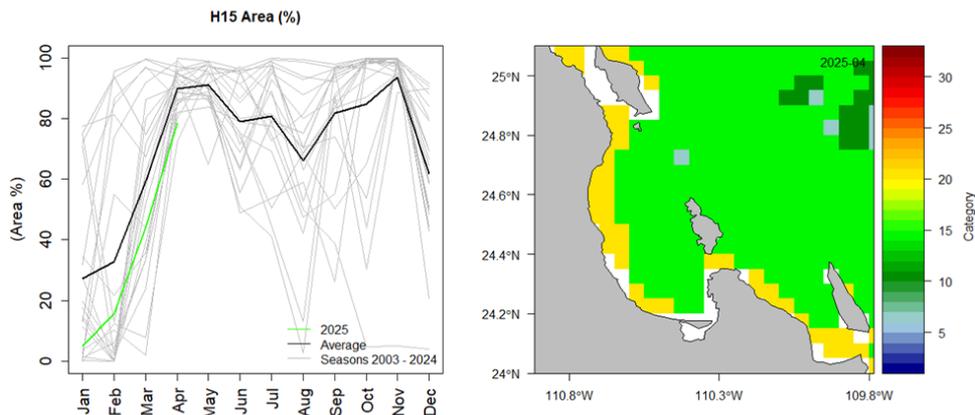
En el periodo enero-marzo de 2025, se observa que H15 cubre hasta 40% menos del área considerada bajo condiciones promedio, aunque se recupera hacia el mes de abril y alcanza su valor promedio cercano al 80%. (Figura 4.1.1 y 4.1.2). Espacialmente se observa que la categoría más productiva H21, se mantiene replegada a la costa, cubriendo cerca del 15%. Si bien dicho valor es bajo, se presenta ligeramente expandido respecto a las condiciones promedio cuando suele ser menor al 5% durante el mismo mes. En sentido opuesto, el parche oceánico de H3 se mantuvo ligeramente expandido en un 20% en febrero y marzo, pero se contrajo en abril hasta prácticamente desaparecer. Finalmente, H11 se observa disperso en áreas oceánicas pero con coberturas promedio (<10%; Figura 4.1.2).



**Figura 4.1:** Paisaje Pelágico frente a Cabo Pulmo. 4.1.1) Panel izquierdo: Comportamiento estacional del hábitat dominante H15 (2003-2025). 4.1.2) Panel derecho: Distribución espacial promedio de los hábitats pelágicos durante abril de 2025.

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

Entre enero y marzo, H15 redujo en cerca del 15% su área promedio, al parecer cediendo espacio a H21 que se extendió por encima de sus valores climatológicos en una proporción similar, para finalmente reducir su cobertura entre marzo y abril hasta sus valores promedio (10%; Figura 4.2.1). En el primer trimestre, la presencia de H21 se restringió a la franja costera, indicando el predominio de aguas más frías y más productivas en comparación con las aguas oceánicas circundantes (Figura 4.2.2).

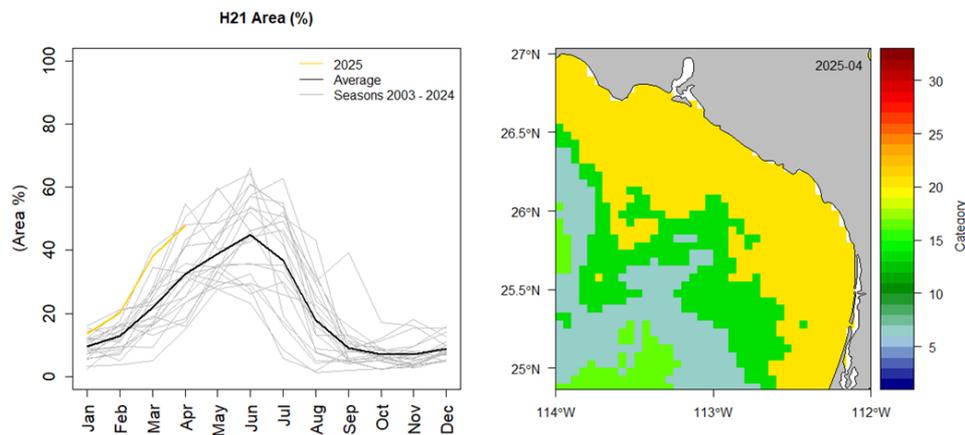


**Figura 4.2:** Paisaje Pelágico en la Bahía de La Paz. 4.2.1) Panel izquierdo: Comportamiento estacional del hábitat H3 (2003-2025). 4.2.2) Panel derecho: Distribución espacial promedio de los hábitats pelágicos en abril de 2025.

El paisaje pelágico del Golfo de Ulloa se caracteriza por su diversidad de hábitats a lo largo del año. La categoría H17, ocupa la mayor área entre enero y abril (35-40%); se define por una temperatura superficial de 20.89 °C, salinidad de 33.59 ups y una concentración de clorofila de 0.17 mg·m<sup>-3</sup>. Por su parte, H21 crece gradualmente de menos del 10% hasta el 30-40% en junio-julio. En condiciones promedio, H15 se expande del 16% en mayo-junio, al 40% en septiembre-octubre (Figura 4.3.1).

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 4.3.2). En la porción más oceánica, la reducción de H17, ha sido acompañada por la expansión de otras categorías asociadas a aguas más frías, de mayor salinidad y menor concentración de clorofila (~0.28-0.84 mg·m<sup>-3</sup>).

Desde diciembre de 2024 se observó en el Golfo de Ulloa un gradiente de aguas más frías y más productivas de la costa hacia mar adentro, mismo que se ha mantenido hasta abril 2025, cubriendo un área importante de hasta el 40% del total (Figura 4.3.2). Las condiciones más productivas, representadas por H21, cubren aproximadamente 10% extra por encima del promedio, mientras que, en aguas oceánicas, el resto de hábitats pelágicos se observa sin anomalías relevantes (Figura 4.3.2).



**Figura 4.3:** Paisaje Pelágico en el Golfo de Ulloa. 4.3.1) Panel izquierdo: Comportamiento estacional (2003-2025) del hábitat H21 en el Golfo de Ulloa. 4.3.2) Panel derecho: Distribución espacial promedio de los hábitats pelágicos durante abril de 2025.

## Referencias

- Alvarez-Berastegui, D., Ciannelli, L., Aparicio-Gonzalez, A., Reglero, P., Hidalgo, M., Lopez-Jurado, J. L., Tintoré, J., et al. 2014. Spatial scale, means and gradients of hydrographic variables define pelagic seascapes of bluefin and bullet tuna spawning distribution. *PloS one*, 9: e109338.
- Montes, E., Djurhuus, A., Muller-Karger, F. E., Otis, D., Kelble, C. R., & Kavanaugh, M. T. 2020. Dynamic satellite seascapes as a biogeographic framework for understanding phytoplankton assemblages in the Florida Keys National Marine Sanctuary, United States. *Frontiers in Marine Science*, 7, 575.
- Kavanaugh, M. T., Oliver, M. J., Chavez, F. P., Letelier, R. M., Muller-Karger, F. E., & Doney, S. C. (2016). Seascapes as a new vernacular for pelagic ocean monitoring, management and conservation. *ICES Journal of Marine Science*, 73(7), 1839-1850.
- NOAA CoastWatch (2025). Pelagic Seascape Habitat Classification <https://coastwatch.noaa.gov/cwn/products/seascape-pelagic-habitat-classification.html>.
- R Core Team (2025). R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>.
- Scales, K. L., Alvarez-Berastegui, D., Embling, C., & Ingram, S. (2017). Pelagic seascapes.

Seascape Ecology.

Wolter, K., and M. S. Timlin, 1998: Measuring the strength of ENSO events - how does 1997/98 rank? *Weather*, 53, 315-324. DOI: 10.1002/j.1477-8696.1998.tb06408.x.

Villalobos H, González-Rodríguez E (2022). *satin*: Visualisation and Analysis of Ocean Data Derived from Satellites. R package version 1.2.0, <<https://github.com/hvillalo/satin>>.

## 5. Monitoreo satelital de florecimientos algales

Cotsikayala Pacheco-Ramírez  
cotsi.pacheco@gmail.com

**Resumen** | En esta sección, pretendo dar a conocer parte de mi tesis doctoral sobre la teledetección de grupos funcionales fitoplanctónicos expresados en la clorofila del mar. Diatomeas y dinoflagelados son grupos que integran algunas especies con el potencial de formar florecimientos algales nocivos y están en vigilancia continua. En mayo de 2025 el promedio mensual de dinoflagelados, diatomeas y cocolitofóridos fue superior al promedio climatológico de mayo en bahía de La Paz y Cabo Pulmo, en contraste con San Juanico, donde las concentraciones disminuyeron considerablemente. En mayo la nubosidad afectó la observación de la coloración del mar.

### Introducción

Global Ocean Colour es una de las más importantes series temporales a largo plazo del color del mar, desarrollada a partir de datos de multisensores con resolución temporal diaria y espacial de 4 km del Servicio de Monitoreo del Medio Marino de COPERNICUS (CMEMS). Es un producto de Clorofila clasificado por grupos funcionales fitoplanctónicos, entre estos grupos están las diatomeas, dinoflagelados y haptofitas. Este producto además de proporcionar estimaciones precisas de la presencia y distribución de diatomeas, dinoflagelados y haptofitas, permite obtener información detallada sobre su abundancia en el océano.

Diatomeas y dinoflagelados son grupos fitoplanctónicos que integran especies capaces de generar florecimientos algales nocivos (FAN) y pueden causar daño físico a diversas especies locales (Nuñez-Vázquez *et al.* 2016). *Pseudo-nitzschia* spp. es una diatomea que produce neurotoxinas (ácido domoico) y *Gymnodinium catenatum* es un dinoflagelado que produce toxinas paralizantes; especies en vigilancia permanente ([siat-cicese.mx/especies-nocivas](http://siat-cicese.mx/especies-nocivas)). Por otro lado, las haptofitas no producen afectaciones, pero se relacionan con altas concentraciones de carbón inorgánico particulado, porque están formados de placas externas de calcita (cocolitos), nombrados cocolitofóridos, la especie más abundante es *Emiliania huxleyi*, puede proliferar fácilmente en aguas costeras enriquecidas de nutrientes (Weeks *et al.* 2004).

Baja California Sur (BCS), es uno de los estados más afectados en términos de problemas de salud pública, por florecimientos algales tóxicos, de acuerdo con la Base de Datos de Eventos de Algas Nocivas (<http://haedat.iode.org/>). La bahía de La Paz, es la región mejor estudiada de la porción sur de BCS, debido a su importancia económica. Esto es de

particular preocupación debido a la presencia constante de toxinas en moluscos comercializados en BCS, resaltando la importancia de un monitoreo continuo para garantizar la seguridad del consumo de mariscos en la región (Leyva-Valencia *et al.* 2021). En este sentido, las capacidades sinópticas que ofrecen los sensores remotos satelitales ayudarán a mejorar estas capacidades de monitoreo.

## Área de estudio

El área de estudio corresponde a las aguas frente a las costas del estado de Baja California Sur (BCS), en un principio para tres regiones del estado: Cabo Pulmo, Bahía de La Paz y San Juanico (Figura 1.1).

## Metodología

Durante julio de 2002 y febrero de 2025 se obtuvieron imágenes satelitales de CMEMS COPERNICUS, el producto Global Ocean Colour (Copernicus-GlobColour), Bio-Geo-Chemical L3, con resolución diaria de observaciones satelitales. Mensualmente fue calculado el promedio, utilizando los registros diarios de las diatomeas, los dinoflagelados y haptofitas, para tres regiones de BCS. Datos disponibles en:

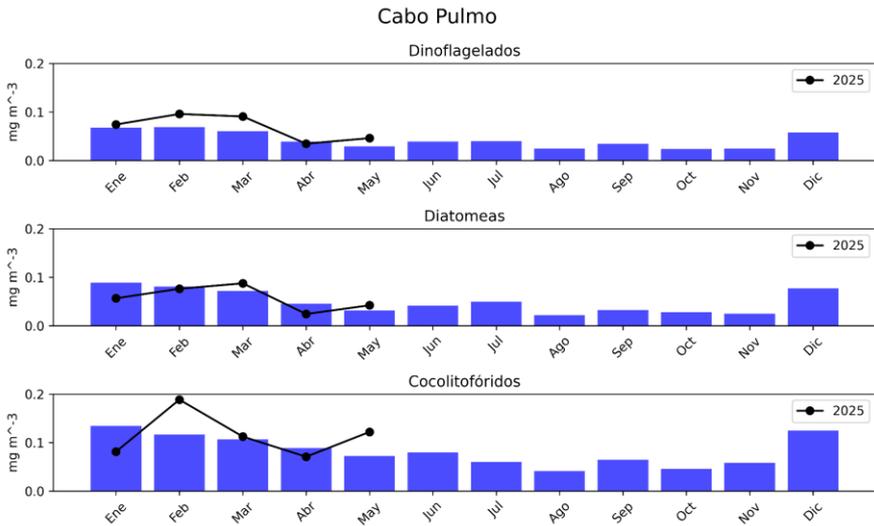
[https://data.marine.copernicus.eu/product/OCEANCOLOUR\\_GLO\\_BGC\\_L3\\_MY\\_009\\_103/](https://data.marine.copernicus.eu/product/OCEANCOLOUR_GLO_BGC_L3_MY_009_103/).

El procesamiento satelital, incluyendo la gestión de datos se realizó con la herramienta Copernicus Marine versión 2.0, porque acelera el procesamiento satelital de los productos COPERNICUS. Es utilizada para el análisis de datos e integrarlos fácil y eficientemente, con bibliotecas para el aprendizaje automatizado y generar modelos. Todos los procesos se llevaron a cabo desde el entorno Jupyter en lenguaje de programación Phyton.

## Resultados

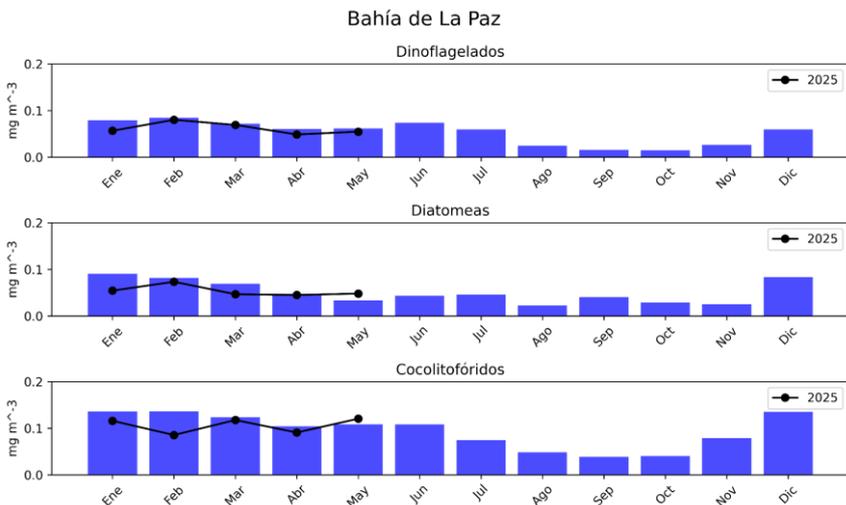
### Grupos fitoplanctónicos

En Cabo Pulmo los resultados indican que el promedio mensual de las concentraciones de diatomeas y dinoflagelados han disminuido, fue mayor que el promedio climatológico del mes de mayo. Las climatologías de los grupos fitoplanctónicos representativos: diatomeas, dinoflagelados yocolitofóridos, se presentan en la Figura 5.1. Las barras azules indican las climatologías de enero a diciembre del periodo 2002-2024, mientras que los puntos negros muestran el promedio mensual de mayo de 2025.



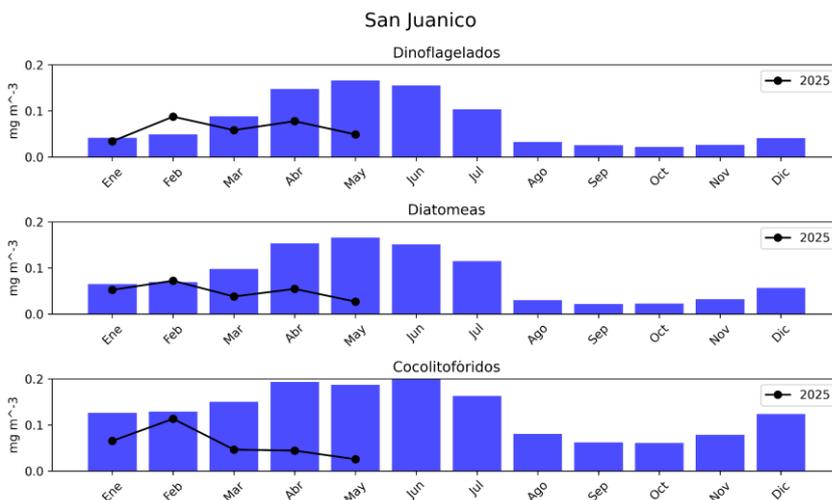
**Figura 5.1:** Climatologías de la concentración de grupos fitoplanctónicos expresada en CLO en el agua de mar en Cabo Pulmo durante el mes de mayo de 2025.

En la bahía de La Paz los resultados indican que el promedio mensual de las concentraciones de diatomeas y cocolitofóridos fue mayor que el promedio climatológico del mes de mayo. Las climatologías de los grupos fitoplanctónicos representativos, diatomeas, dinoflagelados y cocolitofóridos, se presentan en la [Figura 5.2](#). Las barras azules indican las climatologías de enero a diciembre del periodo 2002-2024, mientras que los puntos negros muestran el promedio mensual de mayo de 2025.



**Figura 5.2:** Climatologías de la concentración de grupos fitoplanctónicos expresada en CLO en el agua de mar en la bahía de La Paz durante el mes de mayo de 2025.

En San Juanico los resultados indican que el promedio mensual de las concentraciones de dinoflagelados, diatomeas y cocolitofóridos han disminuido considerablemente respecto al promedio climatológico del mes de mayo. Las climatologías de los grupos fitoplanctónicos representativos: diatomeas, dinoflagelados y cocolitofóridos, se presentan en la [Figura 5.3](#). Las barras azules indican las climatologías de enero a diciembre del periodo 2002-2024, mientras que los puntos negros muestran el promedio mensual de mayo de 2025.



**Figura 5.3:** Climatologías de la concentración de grupos fitoplanctónicos expresada en CLO en el agua de mar en la bahía de San Juanico durante el mes de mayo de 2025.

## Referencia

- 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.
- Núñez-Vázquez, E.J., Band-Schmidt, C.J., Hernández-Sandoval, F.E., Bustillos-Guzmán, J.J., López-Cortés, D.J., Cordero-Tapia, A., Heredia-Tapia, A., García-Mendoza, E., Peña-Manjarréz, J.L., M.C. Ruíz de la Torre & Medina-Elizalde, J. 2016. Impactos de los FAN en la salud pública y animal (silvestres y de cultivo) en el Golfo de California. Pp: 197-211 En: Florecimientos Algales Nocivos en México. García-Mendoza, E., Quijano-Sandoval, M., C. Parada & Torres R. 2018. CICESE. 438 p.
- Leyva-Valencia, I., J.E. Hernández-Castro, C.J. Band-Schmidt, A.D. Turner, A. O'Neill, E. Núñez-Vázquez, D.J. López-Cortés, J.J. Bustillos-Guzmán y F.E. 2021. Lipophilic toxins in wild bivalves from the southern Gulf of California, Mexico. *Marine Drugs* 19 (2): 1-19.

Weeks, S.J., G.C. Pitcher & S. Bernard. 2004. Satellite Monitoring of the Evolution of a Coccolithophorid Bloom in the Southern Benguela Upwelling System. *Oceanography* 17(1): 83-89.

## 6. Viento (VTO) in situ

Jorge Cortés Ramos  
jorgecr@cicese.mx

**Resumen** | En esta sección se incluyen datos in-situ de viento colectados a partir de estaciones meteorológicas ubicadas en la zona costera de Cabo Pulmo, La Paz y San Juanico. Estas estaciones registran cada 10 minutos las principales variables meteorológicas y los transmiten a las centrales de recepción del Servicio Meteorológico Nacional. Se mostrarán los patrones de viento para cada mes en cada sitio con base en la climatología mensual y las anomalías correspondientes al mes de interés. Para hacer más evidentes los cambios atípicos y destacar los fenómenos asociados, se calcularon los gráficos de cada distribución de los vientos, correspondientes a cada mes, comparados con el mismo mes en los años previos disponibles. Se enfatiza la disponibilidad, acceso y completitud de los datos transmitidos al SMN que en ocasiones imposibilitan este análisis.

### Introducción

Las regiones costeras de México experimentan fenómenos de viento significativos que impactan la productividad biológica y el clima. Particularmente, en Baja California Sur, los patrones estacionales de viento crean surgencias costeras durante la primavera y el verano, trayendo aguas ricas en nutrientes a la superficie y mejorando la productividad (Valdez y Díaz, 2018). Otros procesos similares ocurren en la Bahía de Concepción, Chile, fertilizando los sistemas costeros y generando áreas de alta producción (Ahumada, 1989). En la Bahía de La Paz, la red de monitoreo establecida en la zona reveló vientos predominantes del noroeste en invierno (5-10 m/s) y del sureste en verano (4-6 m/s), influyendo en la productividad biológica (Herrera-Cervantes *et al.*, 2017). Estos patrones de vientos costeros, incluidas las brisas marinas, juegan un papel crucial en el bioclima de las áreas costeras de México, afectando la ventilación natural y el confort en los edificios (Morillón-Gálvez *et al.*, 2020). Comprender los fenómenos promovidos por el viento es esencial para la gestión costera sustentable, la prevención de riesgos y el desarrollo de energía renovable en las zonas costeras de México.

### Área de estudio

El área de estudio corresponde a las aguas oceánicas frente a las costas del estado de BCS (Figura 1.1). Los círculos de colores en la Figura 1.1 indican los sitios de interés en donde se hicieron los análisis de series de tiempo de la dirección e intensidad del viento, de sur a norte, parque nacional Cabo Pulmo, La Paz y San Juanico.

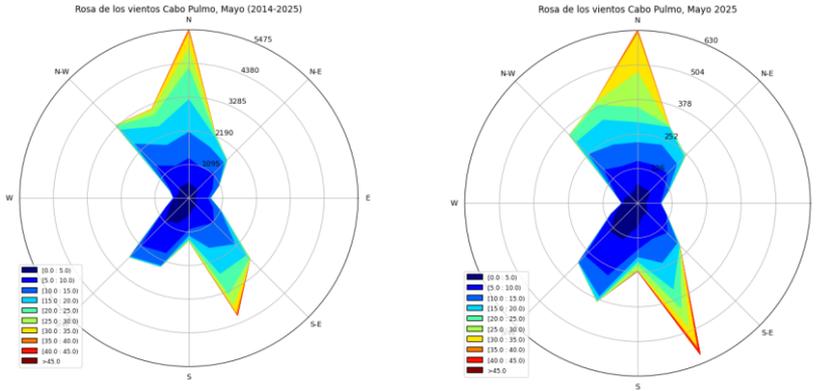
## Metodología

Los datos de viento se obtienen de la red de Estaciones Meteorológicas Automáticas (EMAs) del servicio meteorológico nacional (SMN). 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-procesan mediante código Python para identificar los valores espurios contenidos en la serie de tiempo y los vacíos de información. Estos huecos se dejan en blanco para evitar errores sistemáticos en su llenado dejando periodos de tiempo con cero observaciones. Existen algunos periodos de tiempo donde las observaciones nulas son mayores a un año. Estos periodos los atribuimos a daños en la estación, cambios o fallos en la telemetría.

Con los datos de velocidad y dirección del viento sostenido medido en las EMAs, 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. 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.

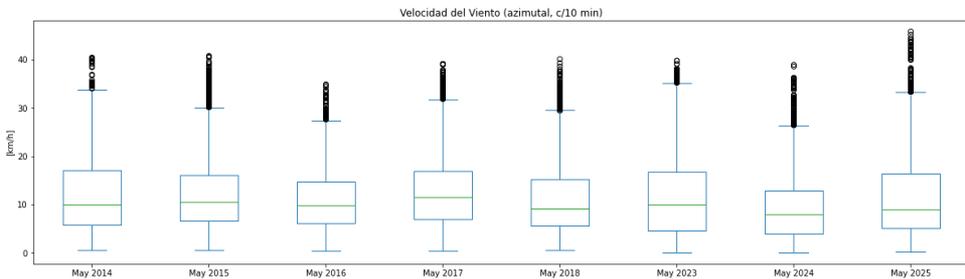
### ***VTO in situ en Cabo Pulmo, BCS***

Durante el mes de mayo de 2025 se puede observar que el patrón característico de los vientos en la región de Cabo Pulmo, BCS, se acentua principalmente en la contribución de los vientos provenientes de la región Sur-Sureste con intensidades por arriba de los 35 km/h de acuerdo con la climatología dada en la región (2014-2025) (Figura 6.1). Se observa que los vientos provenientes del Norte también se acentúan sin alcanzar los 40 km/h.



**Figura 6.1:** Climatología vs. observaciones de la dirección e intensidad de los vientos en la estación Cabo Pulmo durante el mes de mayo de 2025.

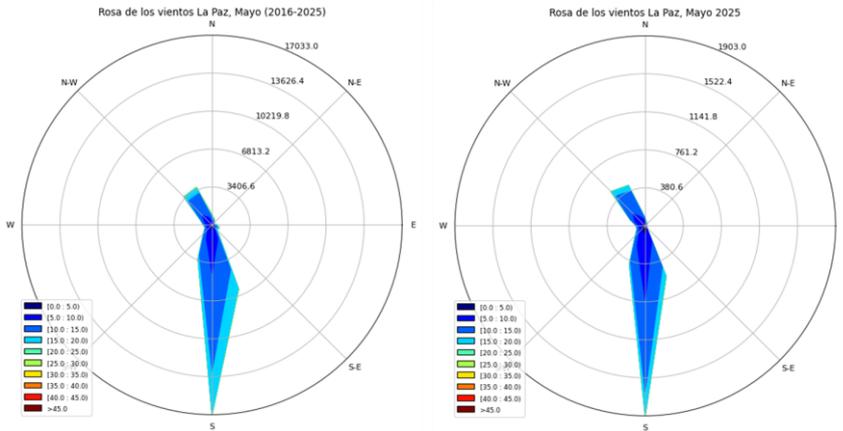
La intensidad del viento in situ registrada durante el mes de mayo de 2025, en Cabo Pulmo, muestra una distribución de intensidades bastante atípica en relación a otros años tal como lo muestra la [Figura 6.2](#). Se puede observar que los vientos atípicos superiores a los 40 km/h fueron más comunes en comparación con 2024 y años previos. Los rangos intercuartiles también son más amplios representando una recurrencia mayor de vientos por arriba de los 30 km/h. El valor mediano de la rapidez del viento en este sitio esta alrededor de los 10 km/h para este mes, el cual permanece estable de acuerdo con años previos. Años como 2025 rebasan los registros históricos de los valores atípicos, siendo cercanos a los 50 km/h ([Figura 6.2](#)).



**Figura 6.2:** Análisis de cajas de la intensidad de los vientos en la estación Cabo Pulmo durante el mes de mayo de 2025. Los valores de viento atípico están dados en el gráfico de cajas por los outliers (círculos en negro).

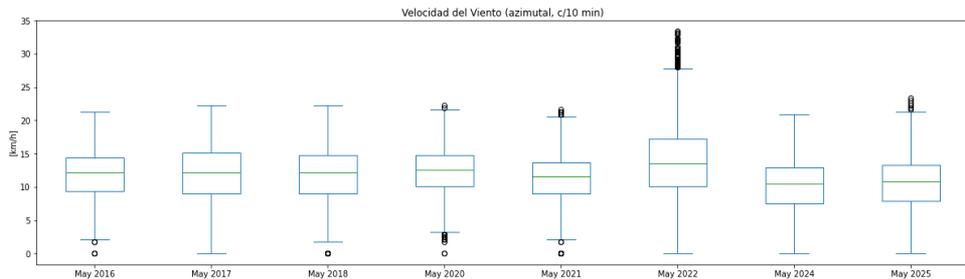
### VTO in situ en la ciudad de La Paz, BCS

Se observa que durante el mes de mayo de 2025 en el patrón característico de los vientos dentro de la ciudad de La Paz no existen cambios o patrones atípicos considerables en comparación con el dado por la climatología (2016-2025) [Figura 6.3](#). En cuanto a la intensidad de los vientos, vista desde este gráfico, no rebasa los 20 km/h.



**Figura 6.3:** Climatología vs. observaciones de la dirección e intensidad de los vientos en la estación ESIME de La Paz durante mayo de 2025.

La intensidad del viento registrada in situ en este punto de la ciudad de La Paz durante el mes de mayo de 2025 muestra algunos valores atípicos mayores a los ocurridos durante el mismo mes en 2024. Sin embargo, este patrón de intensidades no se aproxima a los vientos intensos ocurridos en mayo de 2022, donde los vientos atípicos se aproximaron a los 35 km/h ([Figura 6.4](#), outliers). En términos del valor mediano, la intensidad del viento en este sitio para este mes está dentro de los valores normales que se aproximan a los 10 km/h ([Figura 6.4](#), boxplots).



**Figura 6.4:** Análisis de cajas de la intensidad de los vientos en la ciudad de La Paz, BCS, durante el mes de mayo de 2025. Los valores de viento atípico u outliers se muestran con círculos en negro en la figura.

## Referencia

- Ahumada, R. (1989). Producción y destino de la Biomasa fitoplanctónica en un sistema de bahías en Chile Central: una hipótesis. *Biología Pesquera*, (18), 53-66.
- Herrera-Cervantes, H., Beier, E., & Balart, E. (2017). Red de Monitoreo Ambiental para el estudio de la variabilidad Océano-Atmósfera en la Bahía de La Paz, BCS, México. *Recursos Naturales y Sociedad*, 2017. Vol. 3 (2): 32-44. Doi: <https://doi.org/10.18846/renaysoc.2017.03.03.02.0003>
- Morillón Gálvez, D., Silva Casarín, R., Rosas Flores, J. A., Felix Delgado, A. , García Kerdan, I. (2020). Impacto de la brisa marina y el viento en el Bioclima de México. CEMIE-Océano, Universidad Autónoma de Campeche. 167 p.
- Valdez, M.M., & Díaz, G.P. (2018). Estudio del potencial pesquero y acuícola de Baja California Sur. *Geography*.

## 7. Condiciones meteorológicas en la Bahía de la Paz: período: Abril-mayo, 2025

Hugo Herrera Cervantes  
hherrera@cicese.mx

**Resumen** | La Bahía de La Paz (BLPZ), es una región impactada por diferentes eventos meteorológicos e hidrometeorológicos severos, incluyendo periodos prolongados de sequía. En 2015, CICESE-UALP, implementó un monitoreo de variables ambientales en la BLPZ bajo el Proyecto Interno 691-109 “*Laboratorio Ambiental para el estudio de la variabilidad Océano-Atmósfera en la Bahía de La Paz, B.C.S.*”. Dicho monitoreo se basa en registros de variables ambientales generadas por Estaciones Meteorológicas Autónomas (EMAs) y sensores marinos (<https://ulp.cicese.mx/condiciones-ambientales-observadas-en-la-Bahia-de-la-paz/>). Para este boletín Oceanográfico se utilizan los datos sinópticos del mes de abril y mayo, 2025 obtenidos de una EMA ubicada al sur de la bahía de La Paz. Durante abril y mayo se registraron valores máximos de Temperatura del aire (Tair) de 38.2° C, a mediados de abril, continuando con un incremento paulatino de la Tair a finales de mayo (20 al 31 de mayo) con un valor promedio de 21.3°. Los valores de Hum. Rel. Mostraron un patrón similar al del periodo de marzo-abril (87 % max, 52 prom., y 11% min.), asociado periodos de máxima temperatura y mínimos de humedad relativa (2 y 30 de abril y 21 de mayo), asociada con el viento del oeste-suroeste. El viento mostró de rachas de viento máximas de ~12 m s<sup>-1</sup> principalmente durante los últimos frentes fríos de la temporada invierno-primavera y a la presencia de la corriente en chorro subtropical (30 de abril, 7 y 21 de mayo, <https://smn.conagua.gob.mx/>).

### Introducción

En esta sección del Boletín Oceanográfico, se presenta un breve análisis de las condiciones atmosféricas que se registran desde el mes de enero, con énfasis en el período abril-mayo (recuadro en amarillo, Figura 7.1), del 2025 en la BLPZ utilizando la información generada por la EMA (Davis Vantage Pro II), ubicadas al sur de la Bahía. Esta sección analiza bimensualmente la evolución de las variables atmosféricas (Temperatura del aire, Humedad relativa, velocidad y dirección del viento) y su relación con eventos climatológicos de la temporada como frentes fríos, la corriente en chorro subtropical (<https://smn.conagua.gob.mx/>), el monzón de Norte América y el paso de ciclones tropicales durante el verano (Herrera-Cervantes y Aguirre, 2023), y con la temperatura superficial y productividad biológica de la bahía observada a partir de imágenes de satélite de promedio semanal, quincenal, mensual publicadas por la NOAA (<https://coastwatch.pfeg.noaa.gov/erddap/index.html>).

## Área de estudio

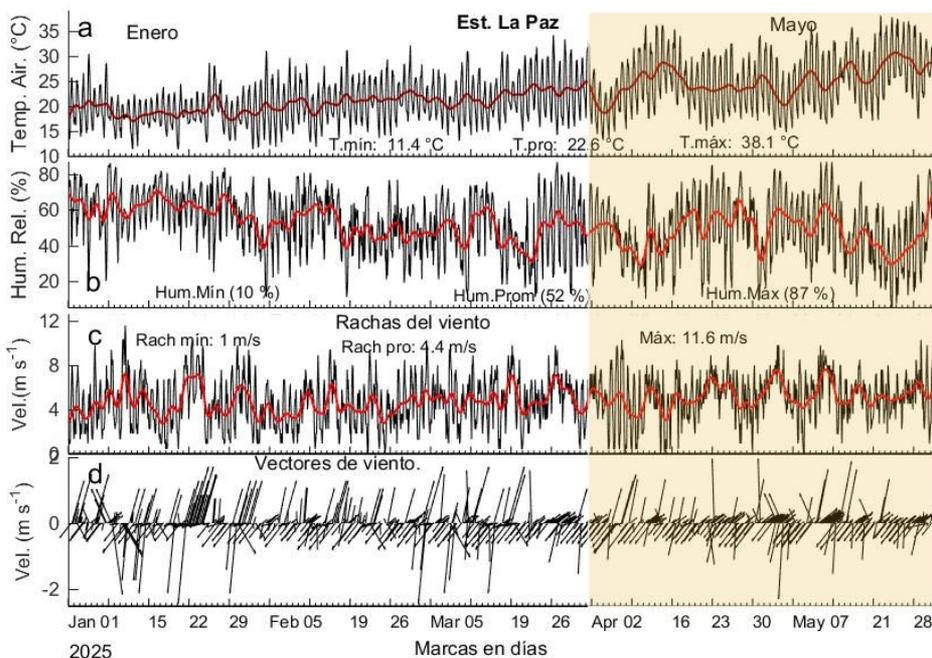
La BLPZ se localiza en el suroeste del Golfo de California entre las coordenadas 24° a 25° Norte y de 110 °-111° Oeste. La bahía presenta un importante intercambiando agua con el Golfo de California a través de la boca grande ubicada en la parte norte de la bahía y del canal de San Lorenzo al sur (Obeso-Nieblas, et al., 2004). La BLPZ está delimitada en el norte por la Isla San José y al este por el Parque Nacional Archipiélago de la Isla Espíritu Santo, perteneciente a la red mundial de reservas de la biósfera de la UNESCO y recientemente designada como Área Marina Prioritaria (SEMARNAT, 2014).

## Metodología

Los datos crudos registrados por la EMA cada 2 horas de las variables atmosféricas analizadas (Tair, Hum, vel y rach. de viento) se almacenan en archivos mensuales los cuales sufren un preprocesado (detección de datos erróneos, huecos, etc.), posteriormente los datos se suavizan utilizando un promedio corrido (de 24 horas) para su graficado en forma de series de tiempo. Se calcula su estadística básica y se grafican en rosa de los vientos, Se incluyen gráficos y valores mínimos, promedio y máximos de cada variable, y la máxima y mínima varianza de los vectores del viento. En algunas ocasiones incluiremos imágenes del satélite Aqua MODIS de Temperatura Superficial y Chl-a superficial (Environmental Resarch Division's Data Acces Programm (ERDDAP) de la NOAA), o el mapa sinóptico utilizado por el servicio Meteorológico Nacional (SMN) para interpretar los diferentes fenómenos que inciden sobre el clima de la región noroeste del territorio nacional.

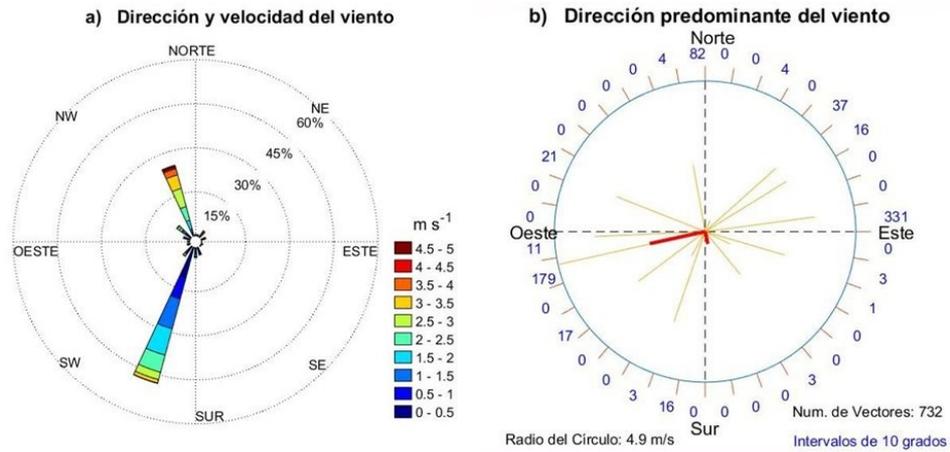
## Resultados

La [Figura 7.1](#) muestra las series de tiempo cubriendo el período enero a mayo (el recuadro en amarillo indica período de abril a mayo de las siguientes variables: (a) TAir, con valores máximos de 38.2° C con un valor promedio de 22.6° y temperaturas mínimas de 11.4 °C durante febrero, mostrando un incremento paulatino de la Temperatura del aire a partir de marzo (inicio de la primavera). En (b) se observan los valores de Hum. Rel. (máximos, promedio y mínimos, 87 %, 56 y 11% respectivamente), mostraron períodos inestables de la humedad durante abril y mayo, asociado con la primavera y el inicio de los vientos monzónicos. La velocidad y rachas de viento (c, d) mostró durante abril y mayo episodios prolongados de 3 a 7 días de viento del oeste y suroeste ( $5 -6 \text{ m s}^{-1}$ ), y rachas de  $8 \text{ m s}^{-1}$ , asociados con aire húmedo y frío proveniente del Pacífico impulsado por la presencia de la corriente en chorro subtropical. La dirección predominante del viento durante abril y mayo fue alternada, entre noreste-suroeste.



**Figura 7.1:** Series de tiempo de variables atmosféricas registradas en la Estación La Paz, desde el 01 de enero, remarcando el período abril - mayo (recuadro en amarillo): (a) Temperatura del aire, (b) Humedad Relativa, (c) Rachas del viento y (d) la dirección del vector del viento (de donde viene el viento). Las líneas en rojo indican las series suavizadas a partir del promedio corrido de 24 hrs., de cada variable analizada.

La [Figura 7.2](#) muestra los datos de velocidad y dirección del viento registrados durante el período abril-mayo del 2025 en forma de: (a) rosa de los vientos y (b) rosa de vectores. La dirección predominante, fue del 1er. 3er y 4to. cuadrante (período abril-mayo, 2025). Los últimos frentes fríos de la temporada se asocian con velocidades de viento mayores a  $5 \text{ m s}^{-1}$  direcciones predominantes proveniente del noroeste (30%) con el correspondiente ingreso de aire frío. Eventos de viento del suroeste ( $1.5 - 3.5 \text{ m s}^{-1}$ , del 3er, cuadrante) representan un porcentaje mayor (45% de la ocurrencia del viento). Los vectores en rojo en (b), indican los ejes principales de la dirección de máxima (3er., cuadrantes) y mínima (2do. Cuadrante) varianza en los datos analizados.



**Figura 7.2.** Velocidad y dirección (16 direcciones) predominante del viento registradas durante el período de primavera (abril-mayo), 2025 en la bahía de La Paz graficados como: a) Rosa del viento (dirección y velocidad) y (b) vectores del viento que 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 el período analizado.

La [Figura 7.3](#) muestra las imágenes del satélite (promedio quincenal) obtenidas por el sensor Aqua-MODIS (<https://coastwatch.pfeg.noaa.gov/erddap/index.html>) de: a) la Temperatura Superficial del Mar (SST), y b) productividad biológica (Chl-a) observada en la BLPZ, relacionadas con el efecto del viento predominante registrado en la [Figura 7.2](#). El promedio quincenal de la SST en (a), muestra valores relativamente bajos a lo largo de las costas norte y sur de la bahía ( $< 24^{\circ} C$ ) como resultado del forzamiento del viento (del noroeste y del suroeste). sobre la bahía que generó advección y afloramiento de aguas relativamente frías (surgecias costeras) predominantes durante la primavera, con valores  $>25^{\circ} C$  en el Golfo de California. La imagen promedio de la Chl-a, muestra valores moderados y relativamente altos ( $>1.5 - 2 mg m^{-3}$ ) a lo largo de la costa, principalmente en la zona sur y norte de la bahía (Islas Espíritu Santo y San José).

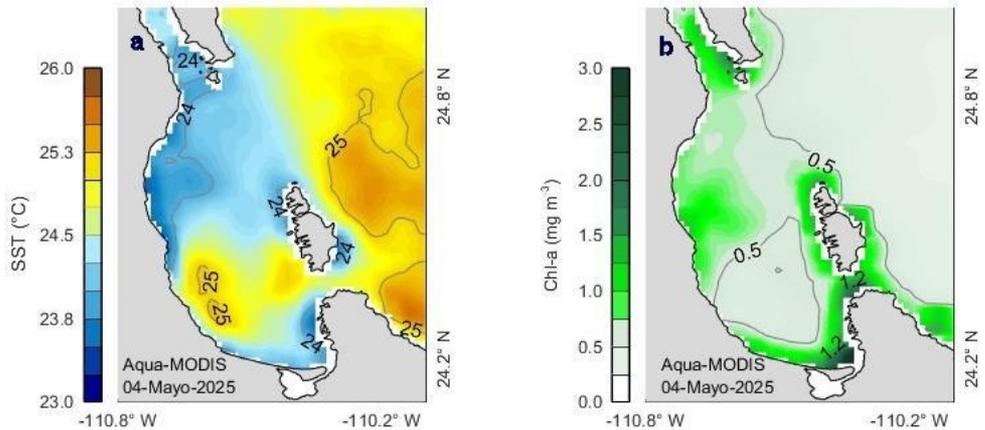


Figura 7.3. Imágenes promedio (15 días) de Temperatura Superficial del Mar (SST), y Clorofila a superficial (Chl-a) para la zona de la Bahía de La Paz, generadas por el satélite Aqua MODIS para el periodo del 20 de abril al 4 de mayo correspondientes al período de eventos de viento del suroeste y Noroeste marcados en la rosa de los vientos (en Figura 7.2). Los datos para generar estos gráficos son de acceso público en el Environmental Research Division's Data Access Program (<https://coastwatch.pfeg.noaa.gov/erddap/index.html>). El tamaño de la celda utilizada es de 1.2 km x 1.2 km.

## Referencias

- Herrera-Cervantes, H. y A. Aguirre, 2023. Interacción de ciclones tropicales y la productividad primaria en la bahía de La Paz. *Recursos Naturales y Sociedad*. 9 (2), 107–120. <http://doi:10.20937/ATM.2019.32.01.03>.
- Herrera-Cervantes, et al., 2023. Anomalous thermal and wind conditions drove low surface chlorophyll-a in La Paz Bay during the 2015–2016 El Niño event. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 284, 1–12 pp. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2023.108280>.
- Obeso-Nieblas, M., Shirisago, B., Sánchez-Velasco, L., Gaviño-Rodríguez, J.H., 2004. Hydrographic variability in bahía de La Paz, B. C. S, México, during the 1997–1998 El Niño. *Deep-Sea Research II* 51, 689–710. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2004.05.005>.
- SEMARNAT, 2014. Programa de manejo: Programa de manejo del Parque Nacional Zona Marina-Archipiélago Espíritu Santo. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México.

## 8. Temperatura, humedad relativa y evapotranspiración potencial (ET<sub>o</sub>) en el Valle de Santo Domingo

José Denis Osuna Amador  
[osuna.jose@inifap.gob.mx](mailto:osuna.jose@inifap.gob.mx)

**Resumen** | Con el propósito de analizar las variables de clima del mes de mayo de 2025 y revisar su comportamiento con respecto a datos históricos, se utilizaron registros proporcionados por el observatorio meteorológico no. 3132 localizado en Ciudad Constitución, Baja California Sur, México. Los resultados mostraron que la temperatura promedio del mes de mayo de 2025 alcanzó los 21.7 °C, mientras que los promedios mensuales de las temperaturas máximas y mínimas tuvieron valores de 30.5 y 12.8 °C, respectivamente; las anomalías en las temperaturas con respecto a los registros históricos para estas variables fueron negativas con valores de 0.8, 1.4, y 0.2 °C, para la temperatura promedio mensual, promedio de temperatura máxima y promedio de temperatura mínima. La evapotranspiración potencial (ET<sub>o</sub>) promedio para el mes de mayo de 2025 resultó en 6.8 mm/día, lo que fue equivalente a una pérdida de agua desde la superficie vegetal de referencia de 68 metros cúbicos por hectárea por día.

### Introducción

El monitoreo de variables climáticas en una región es relevante en múltiples actividades, por ejemplo, en la agricultura al conocer el comportamiento del clima se puede optimizar la producción de cultivos, establecer fechas adecuadas de siembra que favorezcan el desarrollo de las plantas, reducir la incidencia de plagas, enfermedades y malezas, incrementar la productividad de agua, así como inferir potencial productivo. Citamos la frase del filósofo de la administración Peter Ferdinand Drucker “*Lo que no se estudia no se conoce, y lo que no se conoce no se puede gestionar*”, como una reflexión valiosa que puede perfectamente aplicar como justificante del estudio del comportamiento de variables climáticas y la aplicación posible del conocimiento resultante a la gestión de la producción agropecuaria. Con base en lo anterior, esta sección del boletín climático muestra el comportamiento de variables climáticas registradas en el mes de mayo de 2025 por el observatorio meteorológico no. 3132 ubicado en Ciudad Constitución, Baja California Sur, México.

### Área de estudio

Los valores de las variables fueron 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, a 48.3 msnm), Ciudad

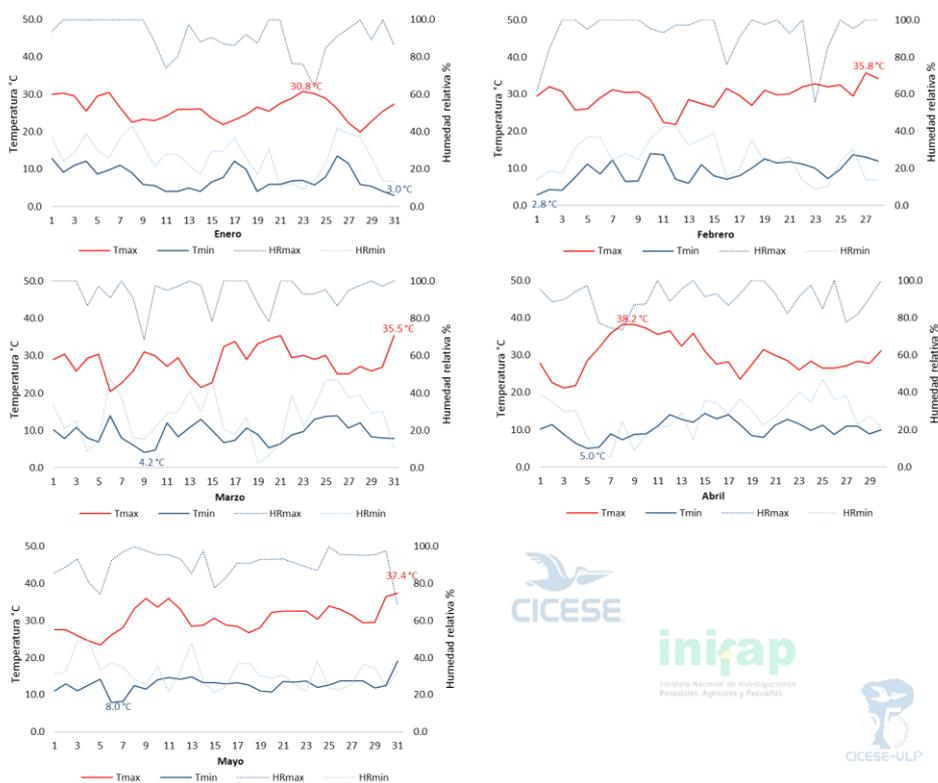
Constitución, Comondú, México. En esta área se ubica el Valle de Santo Domingo, principal zona agrícola de la entidad en la cual se establecen 29,000 hectáreas de diversos cultivos, tales como, espárrago, alfalfa, maíz, trigo, naranja, tomate, papa, además de desarrollarse ganadería enfocada en la producción de carne y leche de bovinos, caprinos, ovinos y porcinos (SIAP, 2024a; SIAP, 2024b).

## Metodología

Se utilizaron los registros diarios de temperaturas máximas y mínimas, así como de humedad relativa correspondientes al mes de mayo de 2025, para estimar la temperatura promedio para el mes, a la par de identificar el día en el que se presentaron la temperatura más alta y la más baja. Adicionalmente, se realizó una comparativa entre las temperaturas presentadas en mayo de 2025 con respecto a registros históricos del mismo mes. Los valores promedios históricos utilizados fueron del periodo 1981-2017, reportados en el inventario de registros por década de la misma estación. También fue estimada la evapotranspiración potencial (ET<sub>o</sub>) para cada día del mes de mayo de 2025. La ET<sub>o</sub> representa la máxima cantidad de agua que puede perderse desde una superficie vegetal de referencia, cuando la cantidad de agua suministrada al suelo es ilimitada (Kirkham, 2005). El tomar en cuenta la ET<sub>o</sub> puede contribuir a la optimización del riego en cultivos agrícolas y de la producción de alimentos, además de generar una idea clara del volumen de agua que potencialmente se puede perder desde una superficie vegetal de referencia en función del comportamiento del clima (Cherlinka, 2025). Para el cálculo de la ET<sub>o</sub> se utilizó el software ET<sub>o</sub> Calculator versión 3.12 (FAO, 2025). Las variables empleadas en el cálculo de la ET<sub>o</sub> fueron los datos diarios de temperatura máxima y mínima (en °C), humedad relativa máxima y mínima (en %), insolación (en horas/día), así como la velocidad promedio del viento (m/s).

## Resultados

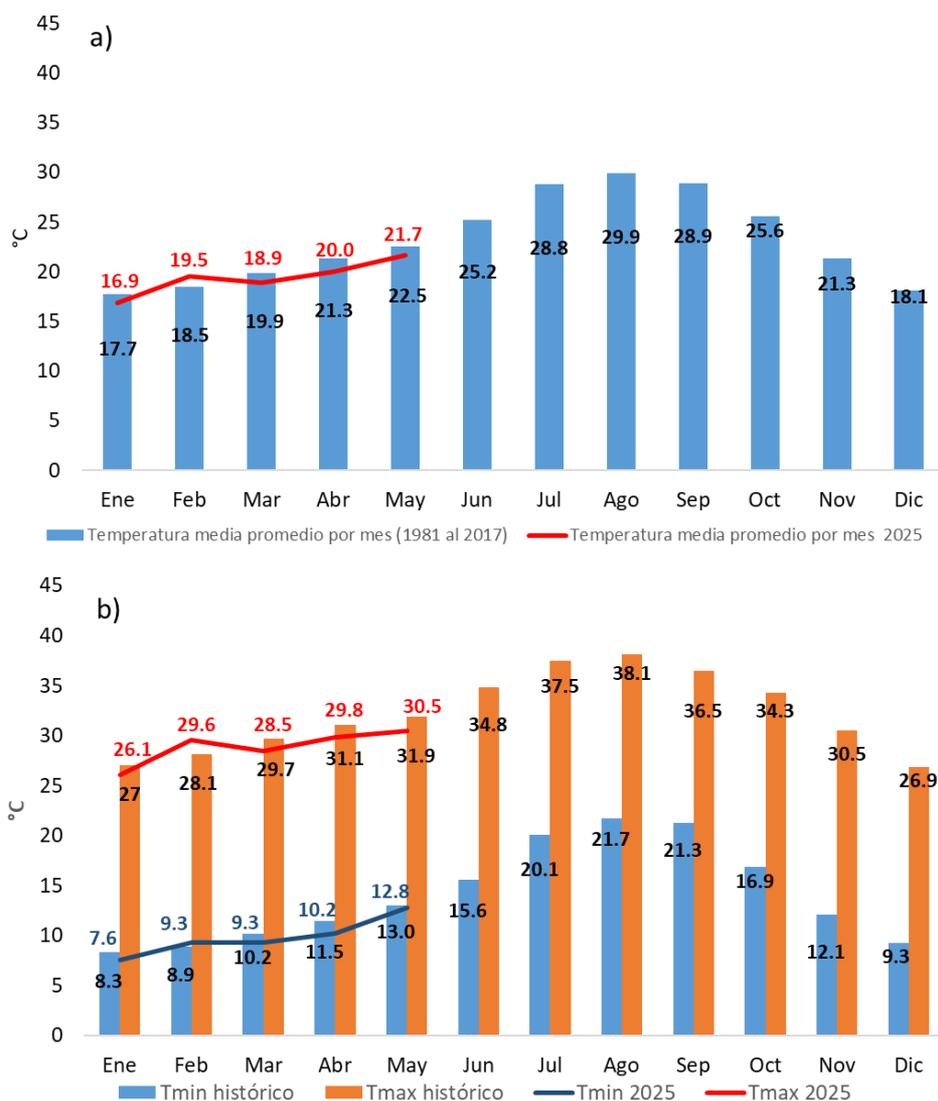
***Comportamiento de la temperatura y humedad en el mes de mayo de 2025.*** La Figura 8.1 muestra el comportamiento diario de la temperatura y humedad relativa al mes de mayo de 2025. El día 31 de mayo de 2025 se presentó la temperatura más alta con un registro de 37.4 °C, mientras que el 06 de mayo se registró la temperatura más baja con 8.0 °C. En cuanto a la humedad relativa máxima del mes en análisis, el promedio mensual fue de 90.8 %; el promedio de la humedad relativa mínima fue de 31.6 %.



**Figura 8.1:** Comportamiento de la temperatura y humedad relativa al mes de mayo de 2025. Tmax= Temperatura máxima. Tmin= Temperatura mínima. HRmax= Humedad relativa máxima. HRmin= Humedad relativa mínima.

### **Comportamiento de las temperaturas en mayo de 2025 vs registros históricos.**

El mes de mayo de 2025 presentó una temperatura promedio de 21.7 °C (Figura 8.2a), valor que se ubicó 0.8 °C por debajo del promedio histórico (datos 1981-2017) del mes. Asimismo, al comparar los promedios mensuales de las temperaturas máximas y mínimas con respecto a los promedios históricos, se registró una anomalía negativa de 1.4 y 0.2 °C, para la temperatura máxima promedio y la temperatura mínima promedio, respectivamente (Figura 8.2b).

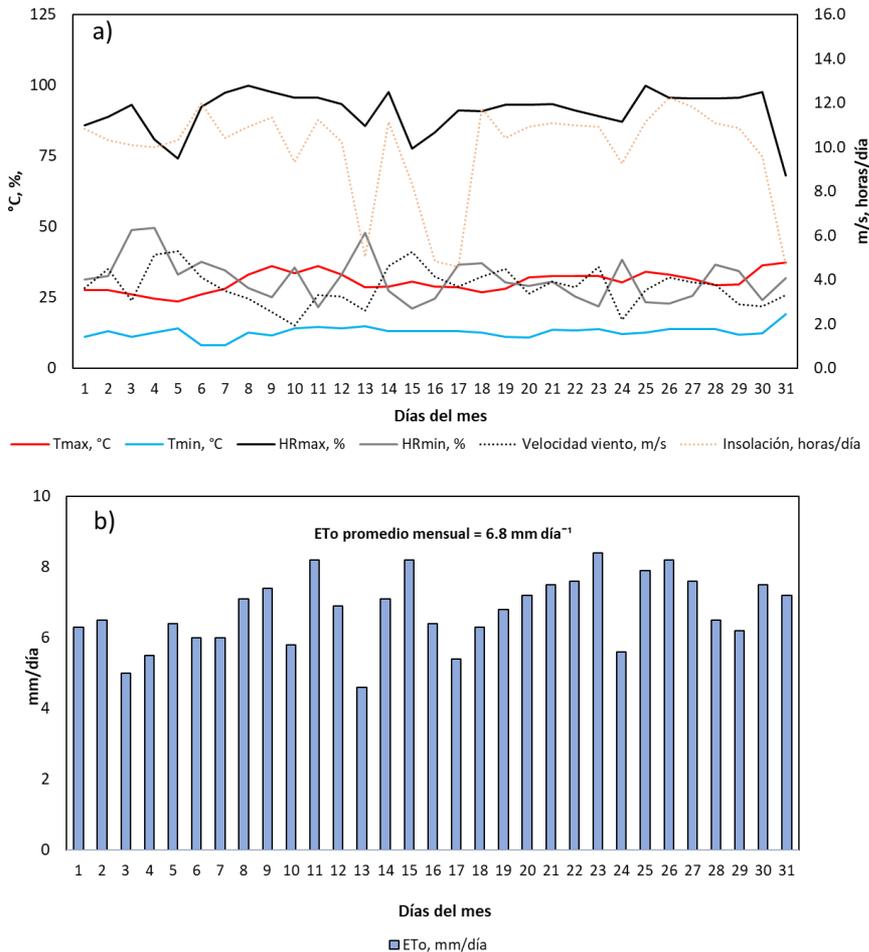


**Figura 8.2.** a) Comparativo de los promedios mensuales de la temperatura media (periodo 1981-2017) con respecto al registrado al mes de mayo de 2025. b) Comparativo entre los promedios de temperaturas máximas y mínimas históricas (1981-2017) con respecto a los promedios presentados al mes de mayo de 2025. Tmax= Temperatura máxima. Tmin= Temperatura mínima.

**Evapotranspiración potencial (ETo) en el mes de mayo de 2025.**

La [Figura 8.3a](#) muestra el comportamiento de las variables a partir de las cuales se calculó la ETo para cada día de mayo de 2025, mientras que la [Figura 8.3b](#) muestra los valores de ETo para cada día del mismo mes; el valor promedio de esta variable para mayo de 2025 fue de 6.8 mm/día con una desviación estándar de 0.97 mm/día. Considerando que un mm

equivale a un volumen de 10 metros cúbicos por hectárea, entonces la cantidad promedio por día de agua que pudo perderse desde la superficie vegetal de referencia para el mes de mayo de 2025 fue de  $68 \pm 9.7$  metros cúbicos por hectárea; volumen que habría que reponer a través del riego considerando un ajuste ligado al tipo de cultivo, etapa fenológica, eficiencia del sistema de riego utilizado, así como al intervalo de riego definido en días relacionado al nivel de abatimiento de la humedad aprovechable propio de cada tipo de suelo.



**Figura 8.3.** a) Comportamiento de la temperatura máxima (Tmax), temperatura mínima (Tmin), humedad relativa máxima (HRmax) y mínima (HRmin), velocidad del viento e insolación en el mes de mayo de 2025. b) Comportamiento de la evapotranspiración potencial (ETo) para el mes de mayo de 2025.

## Referencias

- Cherlinka, V. 2025. Evapotranspiration process and methods of measuring. Disponible en: <https://eos.com/blog/evapotranspiration/>
- FAO (Food and Agriculture Organization). 2025. ETo Calculator. Disponible en: <https://www.fao.org/land-water/databases-and-software/eto-calculator/es/>
- Kirhkam, M.B. 2005. Potential evapotranspiration. Principles of Soil and Plant Water Relations. Academic Press. Pages 455-468. <https://doi.org/10.1016/B978-012409751-3/50026-8>
- SIAP (Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2024a. Histórico de avance de siembras y cosechas. Disponible en: [https://nube.siap.gob.mx/avance\\_agricola/](https://nube.siap.gob.mx/avance_agricola/)
- SIAP (Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2024b. Producción ganadera. Disponible en: <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-pecuaria>

## 9. Condiciones Meteorológicas en aeropuertos

Luis Manuel Farfán Molina  
farfan@cicese.edu.mx

**Resumen** | En esta sección del boletín se ilustran los patrones de condiciones diarias y mensuales de la temperatura extrema (mínima y máxima) del aire así como del viento y humedad en los tres aeropuertos internacionales que operan en Baja California Sur. El mes de febrero es, frecuentemente, el primer o segundo mes más frío del año en el estado con poca lluvia y algunos días con viento de moderado a intenso por diferentes causas entre ellas los frentes fríos.

### Introducción

Los aeropuertos son sitios que operan equipos de transporte que viajan a velocidades relativamente altas (cientos de kilómetros por hora) y manejan cantidades moderadas de personas (decenas a cientos) por lo que requiere de conocer las condiciones del tiempo durante la llegada, salida y permanencia de los aviones en el aeropuerto. Además, cada aeropuerto tiene instrumentación meteorológica para contar con observaciones que de forma inmediata sean proporcionadas a los empleados de las aerolíneas. Se reportan tanto la temperatura del aire, humedad, velocidad de viento y condiciones especiales tal como niebla, lluvia y visibilidad entre otras.

### Área de estudio

Los aeropuertos del estado se encuentran retirados, entre 10–20 kilómetros, de los centros de población correspondientes. Entonces, se les puede considerar como sitios aislados y alejados de influencia urbana que pudieran alterar las observaciones. Las posiciones aproximadas de los aeropuertos son: San José del Cabo (23.15°N, 109.70°W), La Paz (24.07°N, 110.37°W) y Loreto (26.02°N, 111.35°W). Además, cada uno de ellos se encuentra a menos de 10 kilómetros de la costa occidental del Golfo de California.

### Metodología

Todos los días del año, los reportes de los aeropuertos se emiten cada hora aproximadamente. En CICESE, los reportes se adquieren por medio de un sistema que automática y continuamente los recibe por medio de internet en equipo de cómputo de alto rendimiento; los reportes contienen datos de más de cinco mil aeropuertos de todo el mundo, aunque alrededor de 40 son de aeropuertos en México. Al final del día se elaboran resúmenes para una selección de 15 aeropuertos del noroeste y centro de México; se almacenan diariamente para ser analizados al final de cada mes. Los datos se utilizan para

calcular estadísticas (promedios, máximos, mínimos, etc.) aunque en este boletín solamente se muestran las estadísticas correspondientes a los tres aeropuertos internacionales en Baja California Sur.

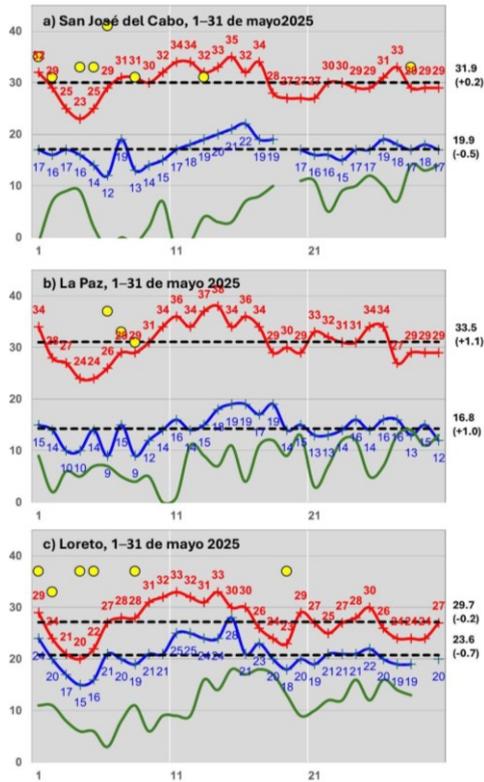
## Resultados

Durante el mes de mayo (Figura 9.1), el aeropuerto de San José del Cabo tuvo temperaturas mínimas que durante todo el periodo oscilaron en el rango de 15–26°C mientras que las máximas fueron desde 26°C hasta 36°C; el promedio de temperaturas mínimas y máximas fue de 19.9 y 31.9°C. Con respecto a los promedios climatológicos de los cinco años anteriores (mayo 2020–2024), el promedio de mínimas en mayo de 2025 fue 0.5°C menos cálido (anomalía negativa) que el promedio de los años anteriores. En cambio, el promedio de las temperaturas máximas fue mayor al de los años anteriores por 0.2°C. Recordar que una anomalía negativa (positiva) representa un valor menor (mayor) al ser comparado con el promedio de referencia utilizado, los cinco años desde mayo de 2020 a 2024 en este caso. Los reportes matutinos de este mes indicaron la presencia de niebla solamente por la mañana del 5 de mayo.

En La Paz, las temperaturas mínimas (máximas) oscilaron en el rango 10–24°C (25–39°C) con un promedio mensual de 16.8°C (33.5°C) mientras que hubo una anomalía ligeramente positiva (+1.0°C) con respecto al promedio de mínimas respecto a los cinco años anteriores. También, la anomalía fue positiva (+1.1°C) con respecto al promedio de máximas en años anteriores. Este aeropuerto no emitió reportes de niebla durante el mes de mayo.

En Loreto el promedio mensual fue de 23.6°C (16–28°C rango) y 29.7°C (25–35°C) para temperaturas mínimas máximas respectivamente; prácticamente, en ambos casos no hubo anomalías relativamente pequeñas (-0.2 y -0.7) con respecto al promedio de años anteriores. El viento máximo (mayor a 30 km/h) ocurrió durante ocho días con un valor de hasta 56 km/h el día 5.

Durante este mes, el Servicio Meteorológico Nacional determinó que un total de 3 frentes fríos (41, 42 y 43) se desplazaron (principalmente) por el noreste del país; aunque ninguno de ellos tuvo un impacto directo en el cambio abrupto de las condiciones del tiempo en Baja California Sur. Como parte de la temporada 2025 de ciclones tropicales en el Océano Pacífico oriental se presentó la tormenta tropical Alvin que en el periodo 28–31 de mayo se desplazó al sur de Michoacán, Colima y Jalisco además de aproximarse al municipio de Los Cabos. El 31 de mayo se reportaron periodos de lluvia y visibilidad baja en el aeropuerto de San José del Cabo; se sabe que algunos de sus vuelos no pudieron aterrizar y fueron desviados al aeropuerto de La Paz.



**Figura 9.1:** Temperatura (°C) mínima y máxima del aire en tres aeropuertos de Baja California Sur: a) San José del Cabo, b) La Paz y c) Loreto desde el 1 al 31 de mayo de 2025. Se incluyen los reportes diarios de temperatura máxima (°C, línea roja), mínima (°C, línea azul), punto de rocío (°C, línea verde) y magnitud del viento máximo (km/h, círculo amarillo). La línea gruesa representa el promedio de valores diarios de temperatura. Los valores a la derecha de cada eje vertical son promedios del mes, mientras que sus anomalías (respecto a 2020–2024) se indican en paréntesis.

# 10. Temperatura del aire en el Golfo de California

Carlos Robinson M.  
robmen@unam.mx

**Resumen** | Animación del patrón promedio mensual (2000-2024) de la temperatura superficial del mar, concentración superficial de clorofila-a y vectores de viento contrastando el Golfo de California y costa oeste de la península de Baja California.

## Metodología

Temperatura Superficial del Mar (TSM). El término TSM se refiere a la capa o piel del océano y representa la temperatura de la capa subsuperficial a una profundidad entre 10–20  $\mu\text{m}$ . La TSM es un producto proporcionado por el laboratorio de oceanografía de propulsión a chorro de la agencia espacial de los Estados Unidos (JPL y NASA, respectivamente, por sus siglas en inglés). Es un producto global que no presenta huecos por nubosidad con una resolución temporal diaria y espacial de 1x1 km (Chin et al., 2017) (<https://doi.org/10.5067/GHGMR-4FJ04>), accedido el 5 de enero de 2025.

## Resultados

La temperatura (SST) y concentración de clorofila-a (Chl-a) superficial del mar en el Golfo de California y la costa oeste de Baja California presentan una marcada variabilidad estacional parcialmente influenciada por la dirección y velocidad de los vientos. Cambios de celdas de presión atmosféricas movilizan la atmósfera en patrones de viento que fluyen de regiones de mayor a menor presión atmosférica regulando así los procesos de mezcla de la columna de agua, el transporte de masas superficiales de agua y los eventos de surgencias costeras. Diversos estudios han documentado previamente esta variabilidad estacional de estas (Heras-Sánchez et al., 2019; Gutiérrez-Cardenas et al., 2024). Calcular y conceptualizar un patrón promedio de variabilidad y espacio temporal permite tener un marco de referencia para calcular anomalías explícitas para inferir cambio climático permitiendo comparar de manera simultánea miles de sitios (píxeles) a través de una serie de tiempo.

La presente investigación calcula los valores promedio de datos mensuales temperatura concentración de Chl-a superficial del mar y los vectores de dirección y velocidad del viento del periodo 2000-2024 del noroeste de México con énfasis en contrastar diferencias entre las condiciones prevalecientes en la costa occidental de la península de Baja California y el Golfo de California y son mostradas en una animación (Figura 10.1). La orografía de la

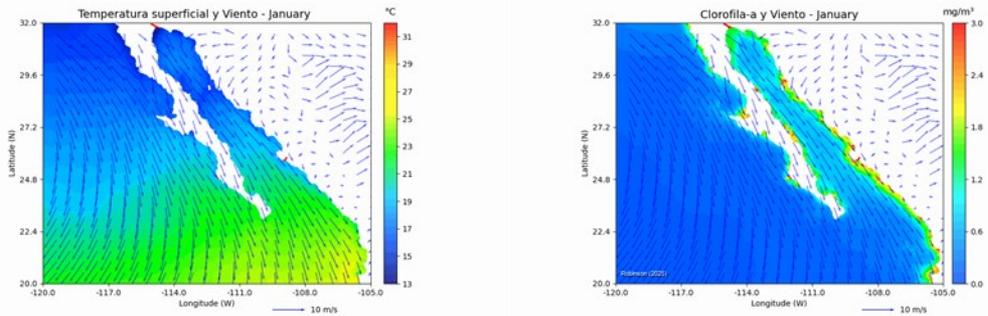
extensa península de Baja California modifica la dirección y velocidad promedio de los vectores de viento en el Golfo de California que es el golfo más grande del Océano Pacífico. Es necesario entender que estas condiciones mensuales promedio no necesariamente pudieran caracterizar un año promedio debido a las relaciones no lineales y multivariadas que influyen a estas tres variables ambientales. Es decir, no existe un año en la serie de tiempo en el que todos los meses tengan valores mensuales promedio. Los datos de SST y concentración de Chl-a superficial del mar provienen de los sensores MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) con una resolución espacial de 4 km y los vectores de viento de MERRA (Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications) con una resolución de 16 km para los vectores de viento.

Se calculó una animación que permite visualizar claramente los cambios promedio de estas tres variables a lo largo del año. La animación muestra cómo la velocidad y dirección del viento cambia estacionalmente. Los vientos del noroeste se alinean casi paralelamente al Golfo de California y a la costa del Pacífico (con reducida fricción con la orografía de la península) entre octubre y abril aumentando su velocidad y manteniendo una dirección relativamente constante hasta abril, momento en que los vectores de viento comienzan a girar hacia el este dentro del Golfo que inicia un desacoplamiento de lo que ocurre en ambos lados de la península de Baja California. Durante mayo los vientos mantienen una dirección constante del noroeste. De marzo a abril, se observa claramente el cambio de dirección del viento hacia el este en el Golfo. Entre mayo y junio (junio es la transición de temporada fría-cálida), esta tendencia hacia el este se intensifica en el Golfo disminuyendo la velocidad del viento, mientras que en la costa occidental de la península de Baja California los vientos permanecen predominantemente del noroeste. Desde mayo hasta septiembre, los vientos en el Golfo son débiles y no muestran un patrón definido por lo que la surgencia en la parte continental del golfo desaparecen y causan estratificación de la columna de agua, pero los vientos vuelven a alinearse provenientes del noroeste en noviembre que es considerado la transición estacional cálida-fría.

La temperatura y concentración de Chl-a superficial del mar presentan patrones inversos entre ambas variables en función de la velocidad y dirección del viento. A partir de noviembre (transición cálida-fría), la temperatura superficial del mar comienza a disminuir hasta marzo, que era considerado el periodo cuando la TSM está por debajo del promedio anual, alcanzando su mínima temperatura promedio en febrero, con un gradiente térmico relativamente más cálido hacia el interior del Golfo. En la costa occidental de la península de Baja California, la temperatura continúa debajo del promedio de todo el año hasta mayo y posteriormente en junio (transición) aumenta hasta octubre que caracteriza la temporada cálida con temperaturas por encima del promedio anual de cada sitio (pixel). La concentración de clorofila-a superficial del mar tiene un patrón opuesto empieza a

augmentar en noviembre en el Golfo de California alcanzando sus máximas concentraciones en marzo y disminuye considerablemente entre junio u octubre con las menores concentraciones en agosto. En la costa occidental de la península de Baja California, la concentración superficial de Chl-a presenta un desacoplamiento y retraso con respecto al Golfo de California con un incremento significativo que inicia en febrero y continúa hasta junio, reduciéndose nuevamente durante el verano (julio-octubre).

Esta animación representa los patrones de cambios promedio mensuales de la variabilidad estacional típica de estas tres variables ambientales. Procesos climáticos como las ondas marina de calor de estacional, semanal-mensual, el El Niño Oscilación de Sur (fase fría La Niña, neutral, o cálida El Niño) o variabilidad decadal (Oscilación decadal del Pacífico) modificar temporalmente estos patrones promedio y son los responsables de las anomalías observadas en la climatología de esta serie de 25 años que va a ser mostrada en una animación de un reporte futuro.



**Figura 10.1** Animación de (izq) temperatura superficial del mar (SST) y viento; (der) clorofila y viento.

## Referencia

- Gutiérrez-Cárdenas, G. S., Morales-Acuña, E., Tenorio-Fernández, L., Gómez-Gutiérrez, J., Cervantes-Duarte, R., & Aguiñiga-García, S. (2024). El Niño–Southern Oscillation Diversity: Effect on Upwelling Center Intensity and Its Biological Response. *Journal of Marine Science and Engineering*, 12(7), 1061.
- Heras-Sánchez, M. del C., Valdez-Holguín, J. E., Garatuzo-Payán, J., Cisneros-Mata, M. Á., Díaz-Tenorio, L. M., & Robles-Morua, A. (2019). Regiones del Golfo de California determinadas por la distribución de temperatura superficial del mar y concentración de clorofila-a. *Biotecnia*, 21(1), 13-21.

# BOLETÍN CLIMÁTICO DE BCS

AÑO 1 | NÚMERO 5 | MAYO 2025

## CONTENIDO

### PRESENTACIÓN

ARMANDO TRASVIÑA CASTRO

### NOVEDADES

NIVEL DEL MAR

TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL MAR

PRODUCTIVIDAD PRIMARIA Y ALTIMETRÍA SATELITAL

PAISAJES PELÁGICOS

MONITOREO SATELITAL DE FLORECIMIENTOS ALGALES

VIENTO (VTO) IN SITU

CONDICIONES METEOROLÓGICAS

TEMPERATURA DEL VALLE

TEMPERATURA DE AEROPUERTOS

TEMPERATURA DEL GOLFO DE CALIFORNIA

### FOTOGRAFÍA DE CONTRAPORTADA:

Luis Manuel Farfán Molina.

Tormenta convectiva en Santiago, Baja California

Sur. 27 de julio de 2012.

