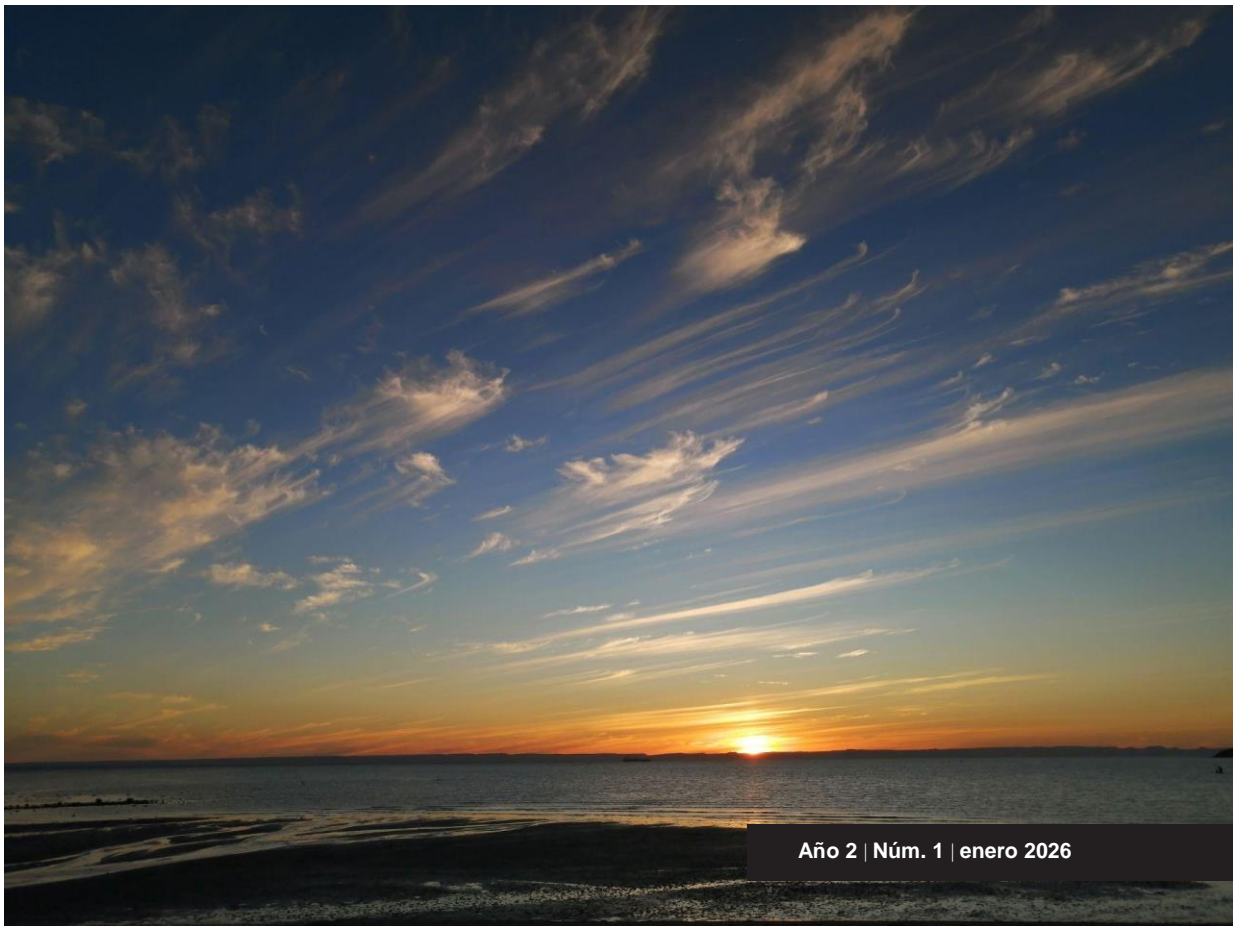


BOLETÍN CLIMÁTICO DE BCS

REVISTA DEL CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y DE EDUCACIÓN 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



Año 2 | Núm. 1 | enero 2026

Fotografía de portada: Romeo Saldívar Lucio. Nubes tipo Cirrus sobre la Bahía de La Paz. Vista este - oeste.

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

Eduardo González Rodríguez egonzale@cicese.edu.mx

Cotsikayala Pacheco Ramírez
Editor

Alfredo Aguirre Estrada
Editor Técnico

ELABORACIÓN

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

Dr. Eduardo González - Rodríguez CICESE-UALP

Dr. Romeo Saldivar-Lucio Investigador por México - SECIHTI-CICESE-UALP

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

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-UALP

Dr. Luis Manuel Farfán Molina - CICESE-UALP

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

Dr. José Alejandro Ramos Rodríguez - SECIHTI-CICESE-UABCS

Laboratorio
SERVANT



BOLETÍN CLIMÁTICO DE BCS, año 2, núm. 1, enero 2026, 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, (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 2 | Número 1 | enero 2026

DOI: pendiente

Novedades del clima regional Contenido

Presentación

1. Introducción

2. Nivel del mar absoluto

Armando Trasviña Castro 9

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

Eduardo González Rodríguez 17

4. Paisaje Pelágico

Romeo Saldívar-Lucio 31

5. Ondas de calor marinas

Alejandro Ramos-Rodríguez 37

6. Monitoreo satelital de florecimientos algales

Cotsikayala Pacheco-Ramírez 43

7. Viento (VTO) in situ

Jorge Cortés Ramos 48

8. Condiciones meteorológicas registradas en La Bahía de La Paz

Hugo Herrera Cervantes 55

9. Clima en el Valle de Santo Domingo

José Denis Osuna Amador 60

10. Sistemas frontales 66

11. Variabilidad de la temperatura del aire a 10 m y su relación con el PDO en el Pacífico y el Golfo de California (1980–2025), con énfasis en 2025

Carlos Robinson M. 69

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 (UALP), 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.

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). Este primer número de 2026 incluye además un resumen de las observaciones de todo el año anterior (2025).

Aquí incluimos artículos dedicados a diferentes variables de interés. A menudo elegimos tres sitios específicos para describir su variabilidad ([Figura 1.1](#)): San Juanico (costa occidental de BC, 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 obtenidas 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).

En el Océano Pacífico Ecuatorial las condiciones de La Niña surgieron en septiembre de 2025, según lo indicado por la expansión de temperaturas de superficie oceánicas (SSTs, por sus siglas en inglés) a través del este y centro del Océano Pacífico ecuatorial (https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ens0_advisory/ensodisc_Sp.shtml). Al mismo tiempo, el índice decadal del Pacífico (PDO, <https://ds.data.jma.go.jp/tcc/tcc/products/elnino/decadal/pdo.html>) se encuentra en fase fría desde antes de 2019.

Resumen 2025: Análisis Climático y Oceanográfico de Baja California Sur

El año 2025 se consolidó como un periodo de profundas contradicciones climáticas para la región del Pacífico nororiental y el Golfo de California. A pesar de encontrarse bajo la influencia teórica de una fase fría a escala global, los sistemas regionales mostraron un comportamiento anómalo definido por un calentamiento de fondo persistente, una variabilidad atmosférica extrema y eventos biológicos de gran impacto. Este informe sintetiza las contribuciones de diversos especialistas para ofrecer una visión integral del estado del sistema océano-atmósfera durante el año.

1. Dinámica Oceanográfica y Variabilidad Climática de Gran Escala

El inicio de 2025 estuvo marcado por la transición hacia condiciones de **La Niña**, iniciadas a finales de 2024. Los primeros meses del año presentaron anomalías

significativas en el nivel absoluto del mar y variables oceanográficas. Sin embargo, el fenómeno más destacado fue la persistencia de una fase negativa extrema de la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO)

La PDO alcanzó un mínimo histórico de **-4.16 en julio de 2025**, el valor más bajo registrado en el periodo analizado. Teóricamente, una fase negativa de la PDO se asocia con aguas más frías y una mayor productividad; no obstante, el sistema mostró un **desacoplamiento parcial**. A pesar de este índice récord de frío, el calentamiento de fondo y forzantes regionales impulsaron temperaturas elevadas en la segunda mitad del año. Esta observación, se refuerza con las imágenes de satélite que mostraron un aumento del nivel del mar y una disminución de la productividad primaria (clorofila) a partir de abril, contradiciendo la señal esperada de los índices MEI y PDO.

2. Comportamiento Térmico y Pluviometría Regional

Los análisis sobre localidades urbanas de Baja California Sur revelan un gradiente térmico complejo.

Temperaturas Extremas

- Mínimas: En enero y febrero se registraron los valores más bajos. La Paz reportó 7.9 °C, mientras que Ciudad Constitución registró una mínima extrema de **2.8 °C**. Santa Rosalía se mantuvo como la localidad más templada con 10.0 °C.
- Máximas: El verano fue riguroso. Ciudad Constitución alcanzó los **42.2 °C** en agosto, seguida de cerca por Loreto y Santa Rosalía (41.5 °C). En La Paz, el pico máximo fue de 41.3 °C en julio.

Precipitación y Eventos Ciclónicos

El año 2025 fue un año de contrastes en las lluvias. Mientras que La Paz acumuló **180.0 mm** (cerca a su promedio histórico), Ciudad Constitución sufrió un déficit del 20%, con sólo 126.4 mm. El evento meteorológico más relevante fue el **Huracán Lorena** (categoría 1) en septiembre. Aunque no tocó tierra directamente, su trayectoria fue paralela a la costa occidental y provocó lluvias intensas:

- San José del Cabo: Acumuló 369.0 mm anuales, superando su climatología normal.
- Santa Rosalía y Loreto: Registraron máximos diarios de entre 40 y 95 mm debido a Lorena.

En total, la temporada de ciclones tropicales del Pacífico 2025 contó con **18 sistemas**, cuya actividad fue decisiva para los acumulados de lluvia en el sur de la península.

https://met-bcs.cicese.mx/2025_Resumen_CiclonesTropicales_edited.jpg

3. Patrones de Viento y Eventos Convectivos

En la dinámica de los vientos, destaca que, en términos generales, las estaciones de Cabo Pulmo y La Paz no mostraron alteraciones extremas por "Nortes" o ciclones, pero sí

anomalías específicas:

- Vientos Atípicos: En mayo y junio, Cabo Pulmo registró intensidades de viento por encima del percentil 75, los valores más altos desde el año 2023.
- Efecto Coromuel: En julio se reportaron vientos intensos del Pacífico (vientos del Coromuel) en la Bahía de La Paz, los cuales suelen tener un efecto refrescante pero también influyen en la mezcla de la capa superficial del mar.
- Ondas de Calor: La Paz experimentó un fenómeno inusual: **11 ondas de calor** (una por mes). La más duradera ocurrió en noviembre (18 días con promedio de 34.1 °C), mientras que la más intensa fue en julio.

4. Paisajes Pelágicos y Productividad Biológica

El análisis de los paisajes pelágicos confirma la dualidad del año. Entre enero y agosto, la inercia de la fase fría de 2024 permitió la expansión de hábitats fríos y productivos, especialmente en el Golfo de Ulloa y Cabo Pulmo. Sin embargo, a partir de septiembre, el escenario se invirtió. En Cabo Pulmo por ejemplo, se observó que después de agosto hubo un repliegue de dos hábitats típicos, H15 y H3, que puede entenderse a la luz de la expansión de H9, una categoría de hábitat pelágico formado a partir de temperaturas elevadas. H9 se presentó ocupando toda la zona oceánica, pero la costa permaneció rodeada por H11 y H15, es decir aguas más frías y con mayor concentración de clorofila. En el Golfo de Ulloa se presentó un patrón similar, más frío y productivo de lo normal de enero a julio, regresando a condiciones promedio en agosto y manteniendo condiciones de alta productividad en la costa entre septiembre y diciembre. En suma, el paisaje pelágico de la primera mitad del 2025 reflejó condiciones más frías y productivas, regresando a sus promedios habituales hacia el cierre de año.

Florecimientos Algales Nocivos (FAN)

En 2025 se reportaron múltiples eventos de "marea roja" de gran persistencia. La Bahía de La Paz fue el epicentro, con florecimientos de *Chattonella* y *Gonyaulax polygramma*. Estos eventos provocaron: Cierres precautorios al consumo de moluscos bivalvos en la Ensenada de La Paz, Mulegé y Bahía Magdalena entre febrero y junio. Así como una mortalidad masiva de peces (específicamente peces globo) en las playas de La Paz durante julio, causada posiblemente por anoxia.

Impacto en Megafauna Marina

El invierno 2024-2025 presentó comportamientos inusuales en la fauna. Se registraron avistamientos de **Ballena Gris** en sitios atípicos como Cabo Pulmo y el Parque Nacional Bahía de Loreto. Lamentablemente, la temporada cerró con cifras alarmantes: la mortalidad de ballenas grises en las costas de BCS ascendió a **92 individuos**. Este fenómeno, sumado a la presencia de especies fuera de sus rangos habituales, sugiere una

perturbación significativa en las cadenas tróficas y en las rutas migratorias, probablemente impulsada por la variabilidad térmica y la baja productividad primaria observada por satélite.

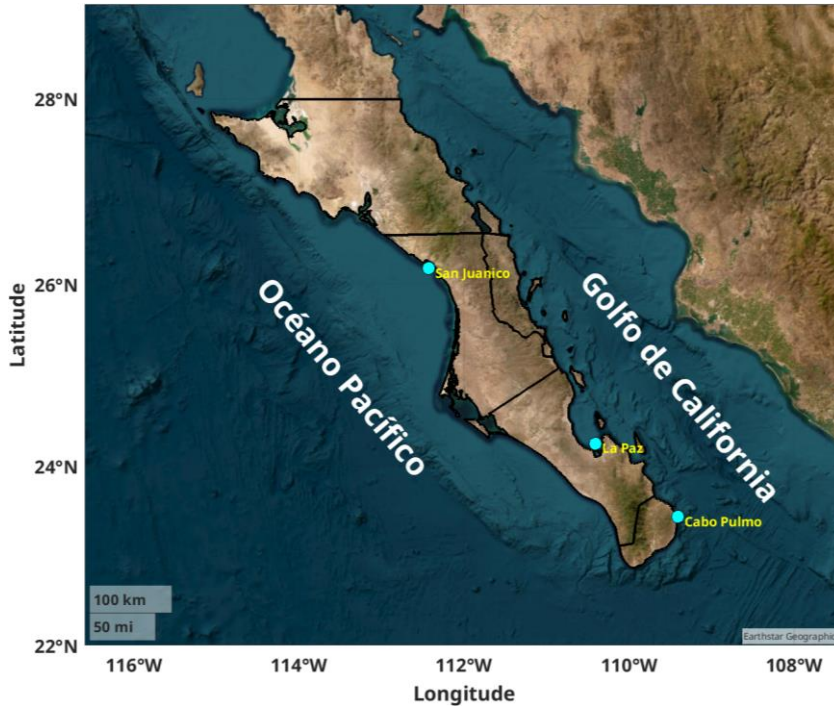


Figura 1.1: Océano costero de Baja California Sur, dentro de la región oceanográfica del Pacífico Tropical Oriental y de la Corriente de California. Los círculos de colores marcan sitios donde presentamos series de tiempo de diferentes variables.

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. A nivel de cuenca también hay cambios significativos. En septiembre de 2025 nos encontramos ya con el Pacífico Ecuatorial en fase fría (La Niña). La Oscilación Decadal del Pacífico alcanzó un valor récord en 75 años (de 1950 a 2025). Es la PDO más fría del período (Carlos Robinson, com. pers.) (https://climateimpactcompany.com/daily-feature-record-strong-pdo-observed-in-july-2/?utm_source=chatgpt.com).

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 Hovmöller), 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

Las fuentes son observaciones de altimetría satelital, globales, desde latitud -89.94° a 89.94° , y longitud -179.94° a 179.94° 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

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

Resultados

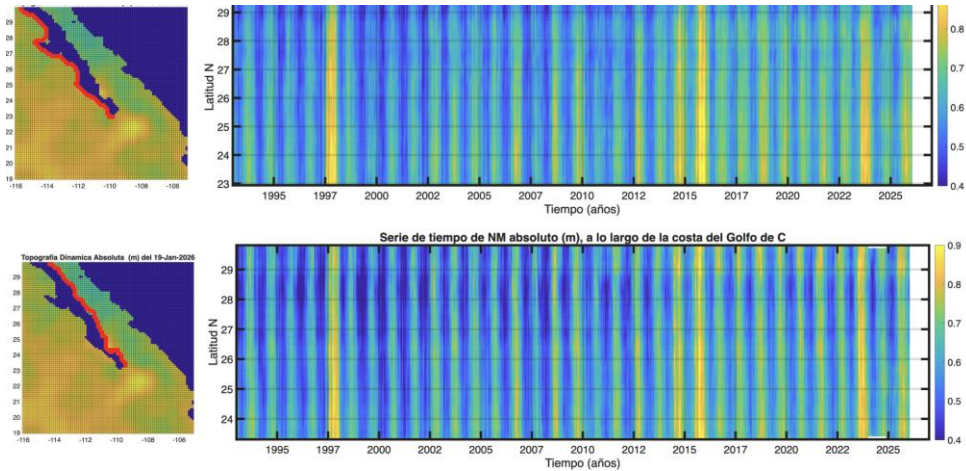


Figura 2.1: Evolución del nivel del mar (NM absoluto) a lo largo de las dos costas de la península de BC desde enero de 1993 hasta enero de 2026. Arriba: costa occidental; abajo: costa del Golfo de California.

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 19 de enero de 2026. La figura de arriba corresponde a la Costa Occidental y la de abajo al Golfo de California. Muestran el cambio del nivel del mar a lo largo de la costa (puntos rojos) desde 1993 al presente (33 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. Además en estos años la Oscilación Decadal del Pacífico alcanzó un récord en 75 años. Es la PDO más fría de 1950 a 2025 (Carlos Robinson, com. pers.) (https://climateimpactcompany.com/daily-feature-record-strong-pdo-observed-in-july-2/?utm_source=chatgpt.com).

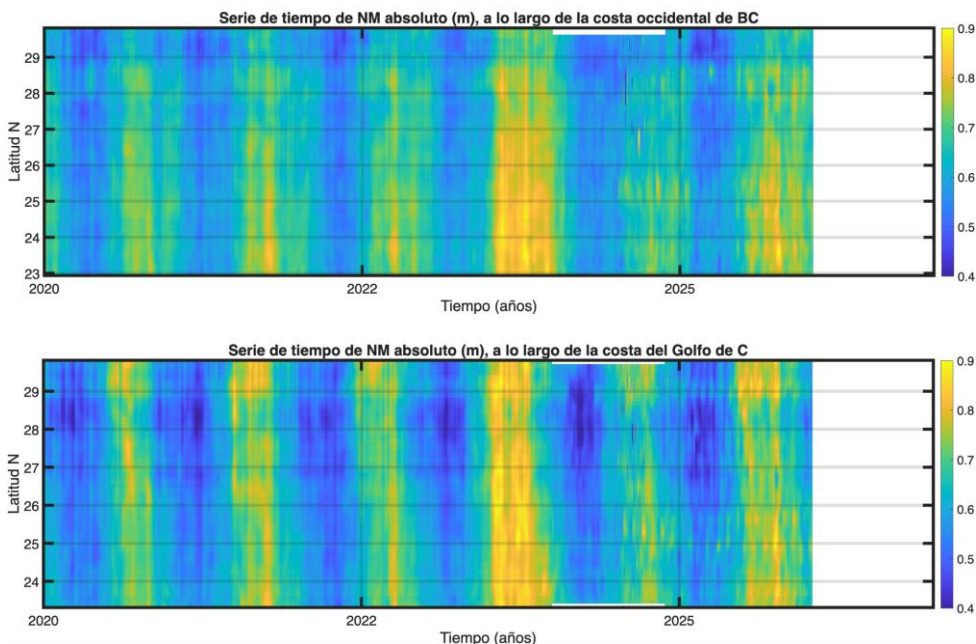


Figura 2.2: Los últimos años de la evolución del nivel del mar (NM absoluto) a lo largo de las dos costas de la península de BC desde enero de 2020 hasta enero de 2026. Arriba: costa occidental; abajo: costa del Golfo de California.

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 la depresión (azules más intensos) 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. El verano de 2025 exhibe una señal débil de ascenso del nivel del mar, aunque no tan débil como el verano de 2024.

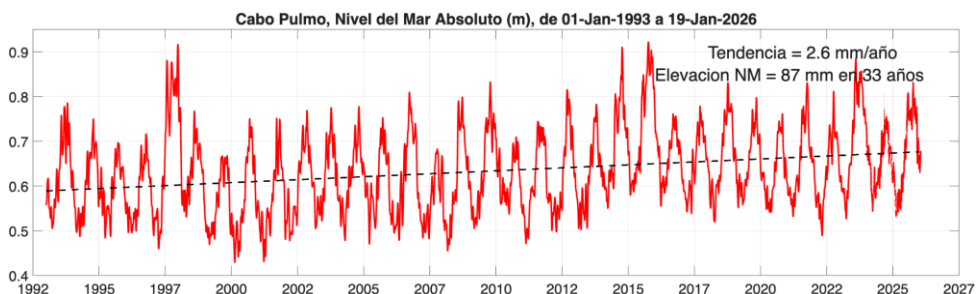


Figura 2.3: Nivel del mar absoluto (m) en Cabo Pulmo, BCS. Inicia en enero de 1993 y termina en enero de 2026. Incluye el nivel del mar con referencia al geoide y la tendencia de largo período debida al calentamiento global. Este sitio representa la variabilidad de la entrada al Golfo de California.

La [Figura 2.3](#) contiene la serie de tiempo del nivel del mar absoluto (m) en Cabo Pulmo, desde enero de 1993 hasta enero de 2026. 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 87 mm en los 33 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 julio de 2025 se registra el primer máximo de este año del nivel del mar por la llegada del verano, pero en octubre de 2025 hay un segundo pico de nivel del mar. 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 enero de 2026. 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 93 mm en los 33 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 octubre de 2025 la elevación del nivel del mar alcanzó el máximo anual de este verano, seguido por un mínimo invernal muy débil e irregular que, contrario a lo esperado, exhibe un pico en enero de 2026. De 2023 al presente, el nivel del mar de la Bahía de La Paz exhibe pequeños picos irregulares que se superponen a la variación estacional.

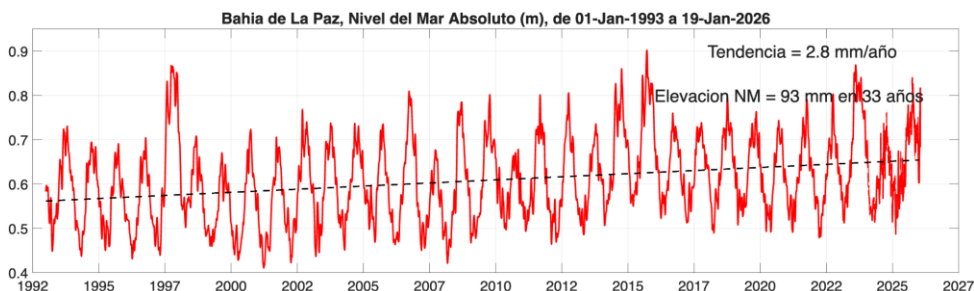


Figura 2.4: Nivel del mar absoluto (m) en la bahía de La Paz, BCS. Inicia en enero de 1993 y termina en enero de 2026. Incluye el nivel del mar con referencia al geode y la tendencia de largo período debida al calentamiento global.

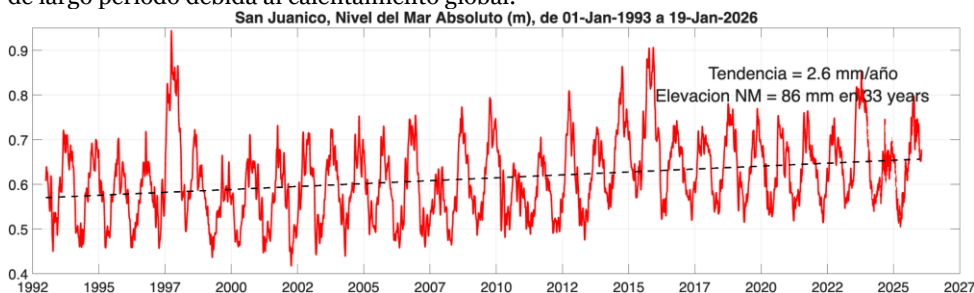


Figura 2.5: Nivel del mar absoluto (m) en la San Juanico, BCS, costa pacífico norte de BCS. Inicia en enero de 1993 y termina en enero de 2026. Incluye el nivel del mar con referencia al geode y la tendencia de largo período debida al calentamiento global. Este sitio representa la variabilidad del Golfo 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 enero de 2026. La variación estacional típica aquí también 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 2.6 mm/año, para un total de 86 mm en los 33 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. El mes de julio de 2025 registra el máximo ascenso del verano aunque inicia un poco más tarde que en los otros dos sitios y el aumento es aún menor al de 2023. En octubre de 2025 se registra un claro descenso del nivel del mar hacia el invierno que continúa en enero de 2026. El año 2024 sigue destacando por su comportamiento anómalo.

Discusión

En el primer semestre de 2025 los máximos de verano del nivel del mar se alcanzan en octubre en el Golfo de California (La Paz y Cabo Pulmo) y en julio en la Costa Occidental (San Juanico). Esto es acompañado por anomalías negativas de temperatura y positivas de clorofila y productividad primaria neta (Capítulo 3 de este boletín), con máximos en la costa occidental representado en este boletín por San Juanico. 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 y con cambios extremos a nivel de cuenca que se reflejan en el mínimo histórico del índice de la oscilación decadal del Pacífico (Carlos Robinson, com pers.).

En julio de 2025 la bahía de La Paz registró vientos intensos del Pacífico, un reporte de FAN acompañado de mortalidad de peces, tal como lo puede consultarse en el sitio web del Sistema de Alerta Temprana de Florecimientos Algales Nocivos para toda la Península de Baja California (<https://siat-cicese.mx/#situacion-actual>).

Agosto de 2025 se caracteriza por un descenso atípico del nivel del mar el que, aunado al comportamiento de la cuenca (índice de PDO con valor récord negativo), parece indicar un cambio hacia condiciones más frías en la región. Los meses de septiembre a noviembre inclusive, destacaron por la alta humedad y precipitación elevada.

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 capítulo se describe un resumen de las condiciones mensuales de altura del océano y corrientes, productividad primaria y temperatura superficial del mar, 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 diciembre de 2025, para los sitios Cabo Pulmo, Bahía de La Paz y San Juanico ([Figura 1.1](#)). Los resultados sinópticos se presentan en mosaicos mensuales con los mapas de distribución de las condiciones promedio de cada mes 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. 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. Respecto a la estimación de la productividad, [Behrenfeld y Falkowski](#) (1997) propusieron un modelo para tener estimaciones de denominada productividad primaria neta (PPN) a partir de datos satelitales, sin embargo, los datos de PPN. Así, la PPN, es una variable "derivada" de datos satelitales, lo que la hace muy importante al medir la productividad a lo largo del día y en toda la zona eufótica. A partir de información de las tres variables mencionadas, se presentan series de tiempo de las anomalías mensuales, a partir de 2002 para Cabo Pulmo, Bahía de La Paz y San Juanico, todos en Baja California Sur ([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 indican los sitios donde se hicieron análisis de series de tiempo para la PP, TSM y Altimetría, parque nacional Cabo Pulmo, La Paz y en San Juanico (sur-norte).

Metodología

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 $\sim 12.5 \times 12.5$ km, accedido por última vez el 10 de enero de 2026.

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 4×4 km, accedido por última vez el 10 de enero de 2026.

Temperatura Superficial del Mar (TSM). El término TSM se refiere a la capa o piel del océano y representa la temperatura de la capa subsuperficial a una profundidad entre 10–20 μm . La TSM es un producto proporcionado por el laboratorio de oceanografía de propulsión a chorro de la agencia espacial de los Estados Unidos (JPL y NASA, respectivamente, por sus siglas en inglés, <https://doi.org/10.5067/GHGMR-4FJo4>). Es un producto global que no presenta huecos, con una resolución temporal diaria y espacial de 1×1 km (Chin *et al.*, 2017), accedido por última vez el 10 de enero de 2026.

Cada uno de los archivos de las variables mencionadas, contiene información global, por lo que es necesario hacer una extracción de los datos, para utilizar solo los contenidos dentro del cuadrante definido por los límites de la zona de estudio (Figura 1.1).

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 diciembre de 2025, mismo caso para el cálculo de las anomalías de las variables a lo largo del tiempo.

Adicionalmente, para identificar si hay una la relación interanual de las variables un índice de temperatura de escala más global, se descargaron los datos mensuales para el periodo 2002-2025 del índice multivariado de El Niño (MEI, por sus siglas en inglés, <https://psl.noaa.gov/data/timeseries/month/DS/MEIV2/>) y se superpusieron a las series de tiempo de cada variable.

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:

$$anomalía = datomensual - climatologíamensual$$

Todo el procesado de la información, recorte, generación de series de tiempo, cálculo de climatologías y anomalías, generación de mapas se hizo en Matlab R2024a.

Resultados

Mapas mensuales de distribución

Altimetría (ADT, SLA y CORR). Las condiciones de altura de nivel de mar y corrientes (ADT y CORR) durante 2025 se presentan en la [Figura 3.1](#). Cada mapa corresponde al promedio de cada mes, de enero a julio estuvo dominado por valores entre 0.5 y 0.7 m. Dentro del golfo, de agosto a octubre dominaron los valores entre 0.7 y 0.8 m, mientras que para la costa occidental esos mismos valores se presentaron de octubre a diciembre. Las alturas máximas de 1 m se observaron en la boca del golfo entre octubre y diciembre, asociadas a un remolino ciclónico. Las corrientes en la costa occidental, son paralelas a la costa y claramente con dirección hacia el ecuador desde enero hasta mayo, en junio entra una corriente proveniente del sur, que desvía la anterior hacia afuera de la costa. La corriente con dirección hacia norte domina en la costa occidental de julio a octubre, de noviembre a diciembre regresa la corriente hacia el ecuador. Dentro del golfo, todo el año está dominado por giros de mesoescala, tanto ciclónicos como anticiclónicos.

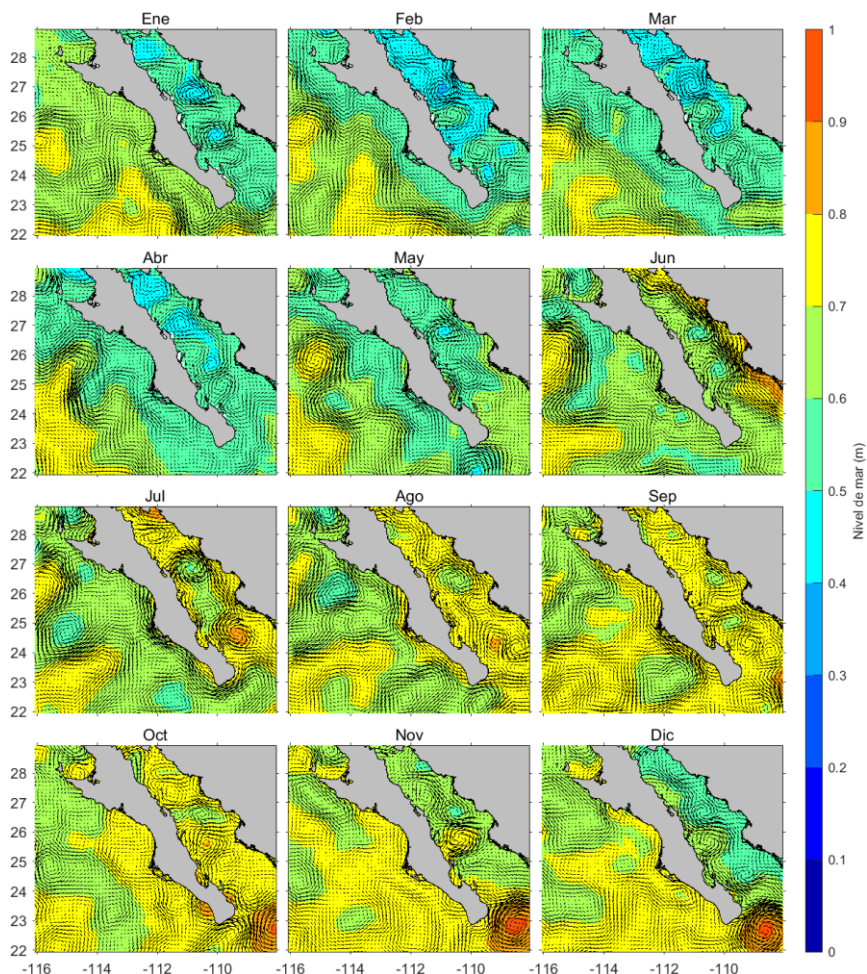


Figura 3.1: Condiciones mensuales de nivel de mar (ADT) durante 2025 con las corrientes geostróficas (CORR) superpuestas en forma de flechas (sin escala).

Las anomalías mensuales del nivel del mar (SLA) para 2025 se muestran en la [Figura 3.2](#), cada mapa corresponde a cada mes. En términos generales, las anomalías positivas cubrieron toda la región en 2025, pero mayormente dentro del Golfo de California, con valores entre +0.1 y +0.5. En la costa occidental, en la región costera hay una franja de anomalías negativas entre febrero y marzo, con valores de -0.5 m.

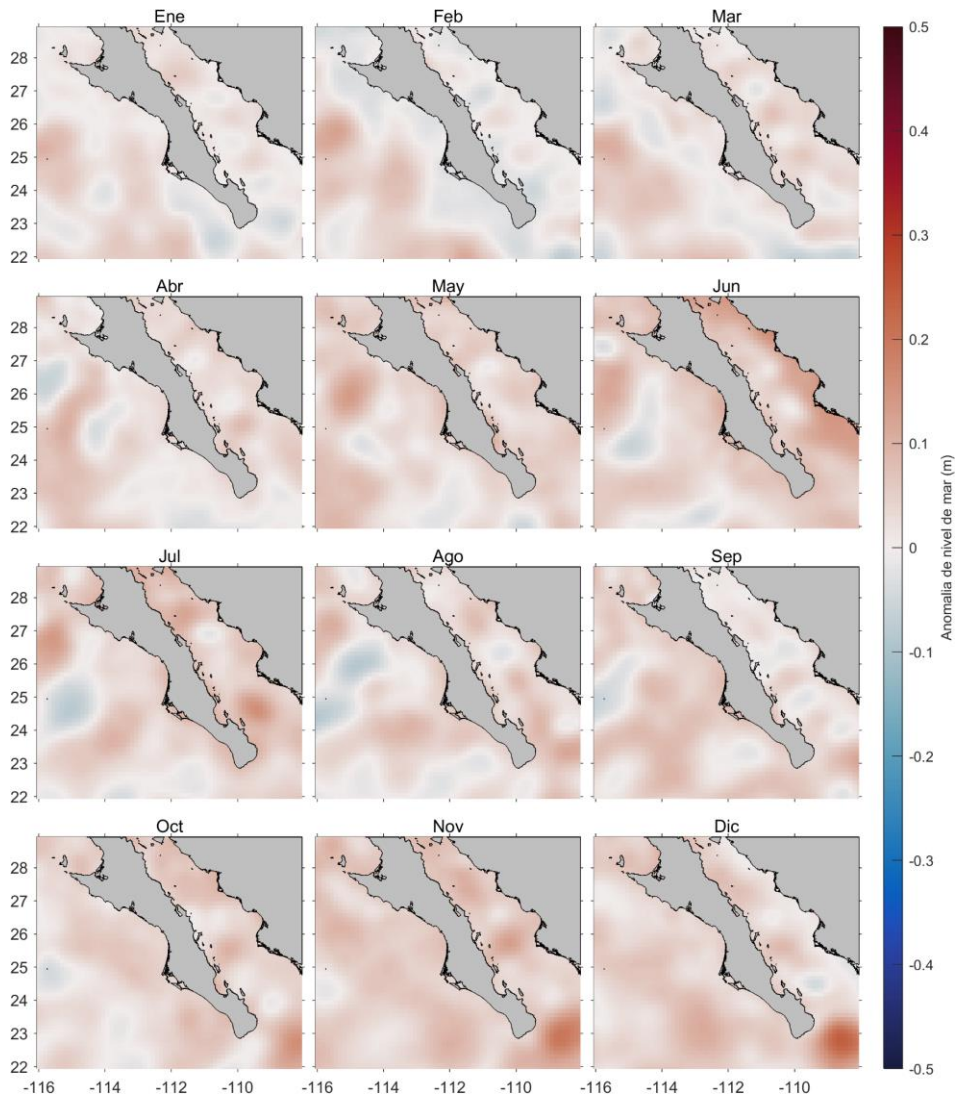


Figura 3.2: Condiciones mensuales de nivel de mar (ADT) durante 2025 con las corrientes geostróficas (CORR) superpuestas en forma de flechas (sin escala).

Productividad Primaria (PP). Las condiciones de PP durante 2025 se presentan en la [Figura 3.3](#), cada mapa corresponde a cada mes. Los niveles de productividad máximos, por encima de los $5000 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ se presentaron en la costa occidental en junio, valores entre 3000 y $5000 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ se presentaron en abril, mayo y julio. Marzo presentó valores entre 1500 y $2500 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, el resto de los meses los valores estuvieron por debajo de los $1000 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. Dentro del golfo, los meses con máximos valores fueron marzo y abril (2500 a $5000 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$), mayo y junio presentaron valores entre 3000 y

5000 $\text{mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. en la costa continental sur. El resto de los meses presentaron valores por debajo de los 1000 $\text{mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$.

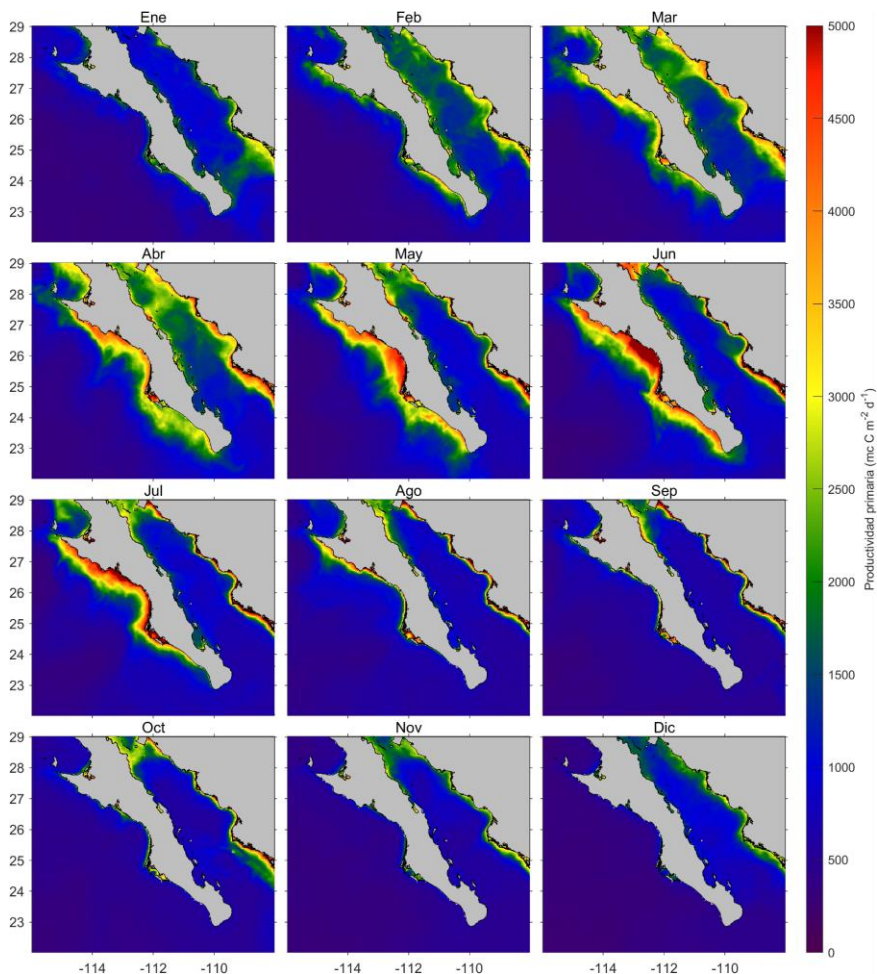


Figura 3.3: Condiciones mensuales de PP durante el mes de octubre de 2025. Panel A, condiciones promedio y panel B, anomalías.

Por su parte los mapas con las anomalías mensuales de productividad para 2025 se presentan en la [Figura 3.4](#). En la costa occidental, la anomalías fueron mayormente positivas de febrero a junio, con valores de hasta 2000 $\text{mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, enero también presentó anomalías positivas, pero entre 500 y 1000 $\text{mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, agosto y septiembre presentaron anomalías negativas entre -500 y -1000 $\text{mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, de octubre a diciembre las anomalías fueron apenas positivas. Dentro del golfo, las anomalías fueron mayormente negativas todo el año, con algunas anomalías en bordes de giros o la costa continental de Sinaloa. Noviembre presentó los valores negativos máximos, entre -500 y -1000 $\text{mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$.

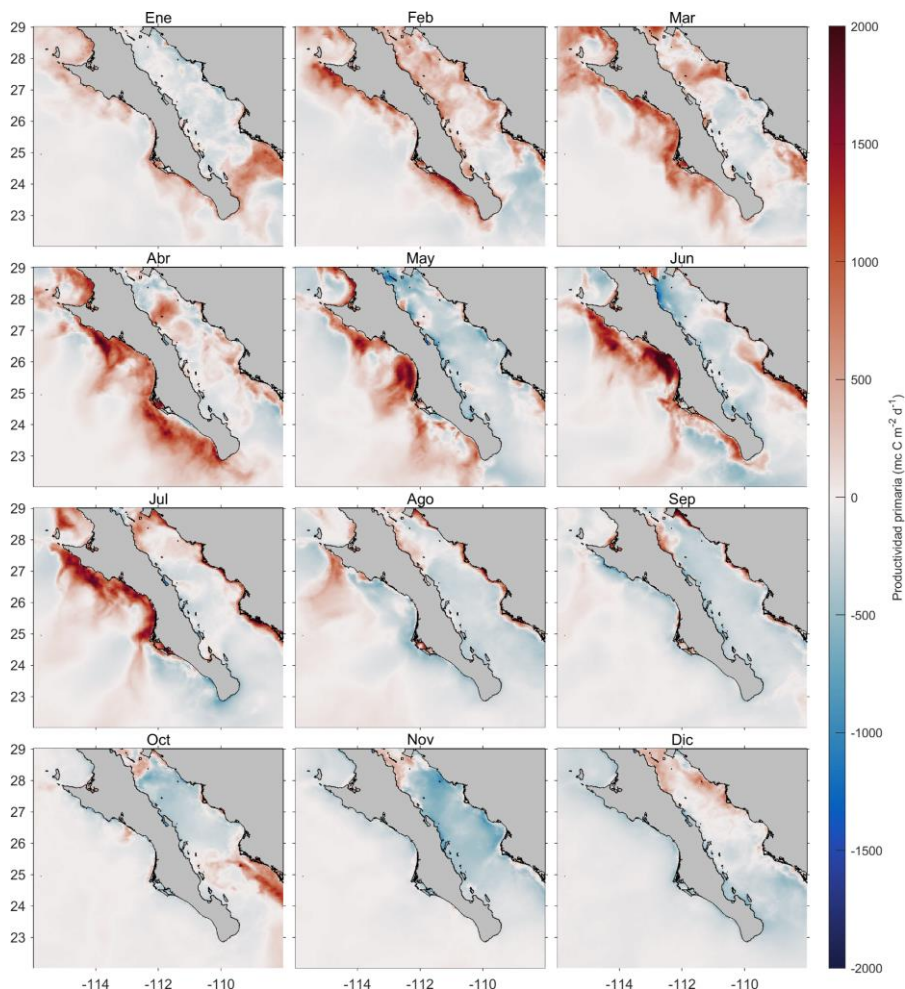


Figura 3.4: Condiciones mensuales de anomalías de productividad primaria durante 2025.

Temperatura Superficial del Mar (TSM). Las condiciones de TSM durante 2025 se muestran en la [Figura 3.5](#), cada mapa corresponde a un mes. La temperatura en 2025 se ubicó entre 12 y 32 °C, siendo marzo el mes con las temperaturas mínimas en la costa occidental. En esta misma costa, la TSM se mantuvo entre 12 y 22 °C de enero a junio, y entre 20 y 30 °C de julio a diciembre. El mes más cálido en la costa occidental fue septiembre. Dentro del Golfo de California, las temperaturas por debajo de los 22 °C se presentaron entre enero y abril, mayo, en la entrada al golfo, presentó temperaturas de hasta 26 °C. De junio a octubre, las temperaturas estuvieron entre 26 y 32 °C, siendo agosto y septiembre los meses con las temperaturas máximas (32 °C). Diciembre fue un mes parecido a mayo, con temperaturas entre 20 y 26 °C.

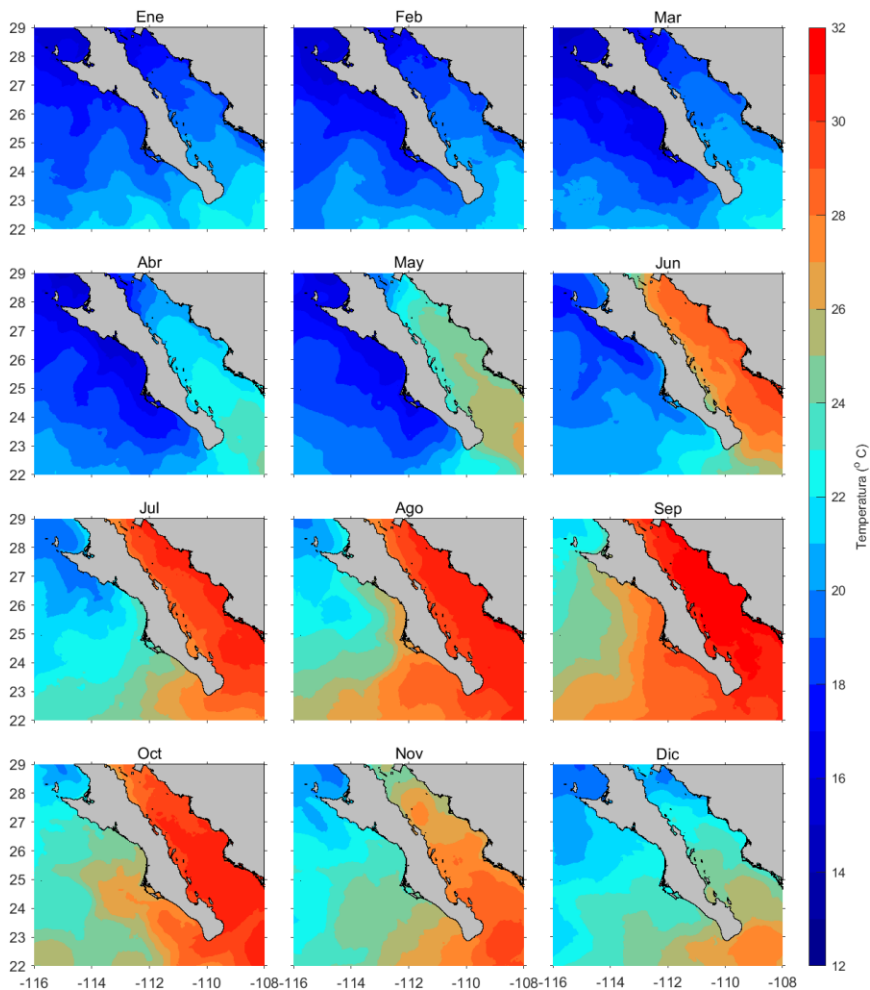


Figura 3.5. Condiciones mensuales de temperatura superficial del mar durante 2025.

Las anomalías de la temperatura superficial del mar durante 2025 se presentan en la [Figura 3.6](#), cada mapa corresponde a un mes. En la costa occidental, las anomalías fueron negativas de enero a mayo, con valores de hasta $-2.5\text{ }^{\circ}\text{C}$; a partir de junio y hasta diciembre, las anomalías fueron positivas, con valores máximos en septiembre de hasta $+2.5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Por su parte, dentro del Golfo de California, entre enero y mayo las anomalías tuvieron zonas con valores, tanto positivos como negativos (-0.5 a $+0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$); junio, y de septiembre a diciembre presentaron solo anomalías positivas, siendo junio, noviembre y diciembre los que presentaron los valores más altos ($> +2.0\text{ }^{\circ}\text{C}$). Julio fue mayormente positivo, mientras que agosto tuvo zonas positivas y negativas. En términos generales, a partir de junio se presentaron anomalías positivas en toda la región de Baja California Sur.

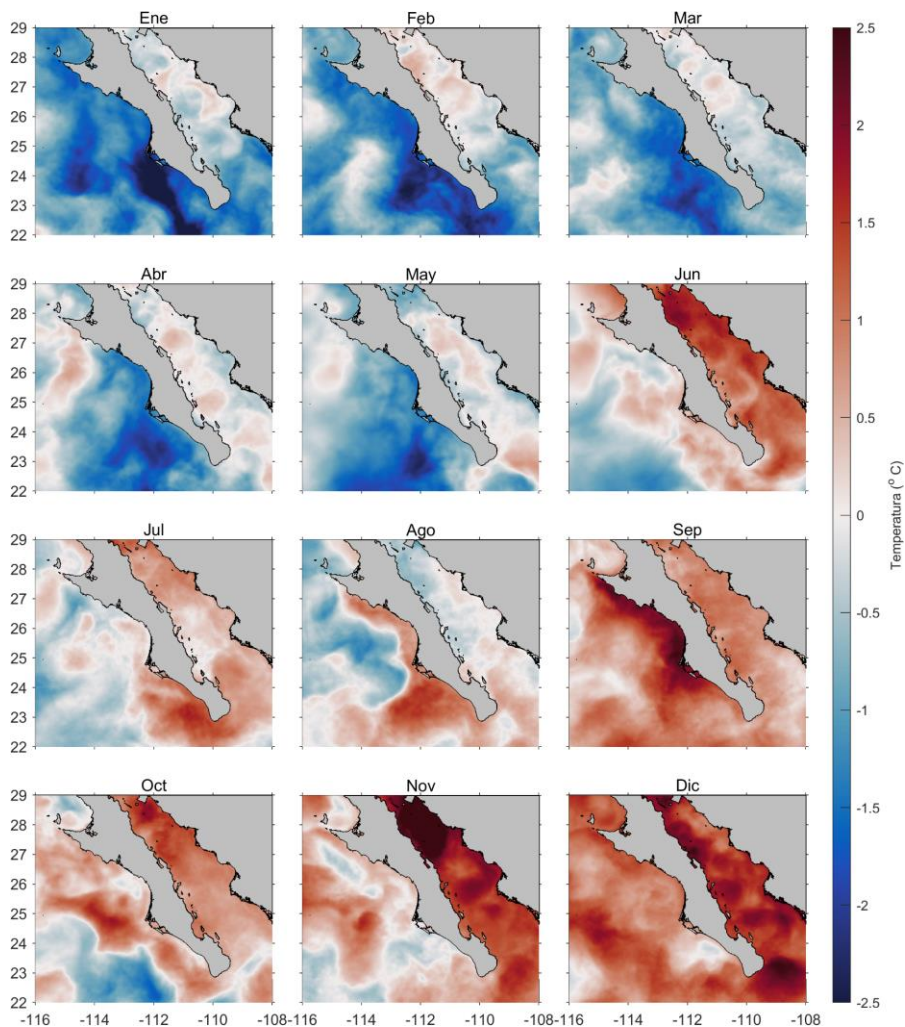


Figura 3.6. Condiciones mensuales de las anomalías de la temperatura superficial del mar durante 2025.

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 SLA, PP, y TSM a lo largo del tiempo (2002- 2025) se muestran en la [Figura 3.7](#). La serie de climatologías de nivel del mar (SLA) y datos mensuales durante 2025 se muestran en el panel A. De enero a abril los promedios mensuales estuvieron por debajo de sus valores climatológicos, mientras que de junio a diciembre sus valores fueron superiores a sus climatologías. Este mismo comportamiento se puede apreciar en la serie histórica de anomalías del panel B ([Figura](#)

3.7), donde las anomalías positivas dominaron la parte final de la serie, siendo julio el que presentó el valor máximo de 2025.

La serie de climatologías de productividad primaria (PP) y datos mensuales durante 2025 se muestran en el panel C (Figura 3.7). De enero a marzo, los valores mensuales estuvieron por encima de sus valores climatológicos, destacando enero con un valor de $1971 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, muy por encima de su climatología de $1366 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, mientras que el resto de los meses (abril a diciembre) tuvieron valores por debajo de sus climatologías. El panel D (Figura 3.7) muestra la serie histórica de las anomalías, donde la parte final presenta valores negativos, destacando enero como el mes con la mayor anomalía positiva $+605 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ de 2025 y julio como el mes con la mayor anomalía negativa $-490 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$.

La serie de climatologías de temperatura superficial del mar (TSM) y datos mensuales durante 2025 se muestran en el panel E (Figura 3.7). De enero a abril los promedios mensuales estuvieron por debajo de sus valores climatológicos, mientras que de junio a diciembre sus valores fueron superiores a sus climatologías. Este mismo comportamiento se puede apreciar en la serie histórica de anomalías del panel F (Figura 3.7), donde las anomalías positivas dominaron la parte final de la serie; en 2025 la anomalía positiva más intensa se presentó en diciembre con un valor de $1.6 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

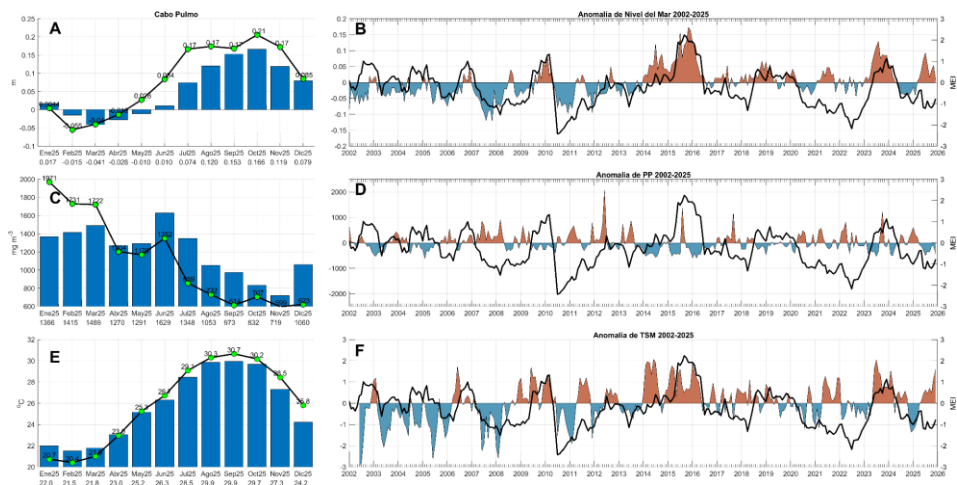


Figura 3.7: Condiciones climatológicas y de anomalías para SLA, PP y TSM a lo largo del tiempo (2002-2025) en Cabo Pulmo. Las barras en los paneles A, C y E, muestran las climatologías mensuales, las líneas negras con círculos verdes los valores mensuales de 2025, los valores debajo de los meses en el 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 (Índice multivariado del ENSO).

La Paz. Las condiciones climatológicas y de anomalías de SLA, PP, y TSM a lo largo del

tiempo (2002- 2025) se muestran en la [Figura 3.8](#). La serie de climatologías de nivel del mar (SLA) y datos mensuales durante 2025 se muestran en la [Figura 3.8A](#). En enero y febrero los promedios mensuales estuvieron por debajo de sus valores climatológicos, mientras que de marzo a diciembre sus valores fueron superiores a sus climatologías. Este mismo comportamiento se puede apreciar en la serie histórica de anomalías en la [Figura 3.8B](#), donde las anomalías positivas dominaron la parte final de la serie, siendo julio el que presentó el valor máximo de 0.06 m en 2025.

La serie de climatologías de productividad primaria (PP) y datos mensuales durante 2025 se muestran en la [Figura 3.8C](#). De enero a marzo y julio, los valores mensuales estuvieron por encima de sus valores climatológicos, destacando febrero con un valor de 2335 mg C m⁻² d⁻¹, encima de su climatología de 1828 mg C m⁻² d⁻¹, mientras que el resto de los meses (abril a junio y agosto a diciembre) tuvieron valores por debajo de sus climatologías. La serie histórica de las anomalías ([Figura 3.8D](#)) presenta valores negativos en la parte final, destacando mayo como el mes con la mayor anomalía negativa de -596 mg C m⁻² d⁻¹.

La serie de climatologías de temperatura superficial del mar (TSM) y datos mensuales durante 2025 se muestran en [Figura 3.8E](#). De enero a abril los promedios mensuales estuvieron por debajo de sus valores climatológicos, mayo presentó el mismo valor que su climatología, mientras que de junio a diciembre sus valores fueron superiores a sus climatologías. Este mismo comportamiento se puede apreciar en la serie histórica de anomalías ([Figura 3.8F](#)), donde las anomalías positivas dominaron la parte final de la serie; en 2025 la anomalía positiva más intensa se presentó en diciembre con un valor de 1.4 °C.

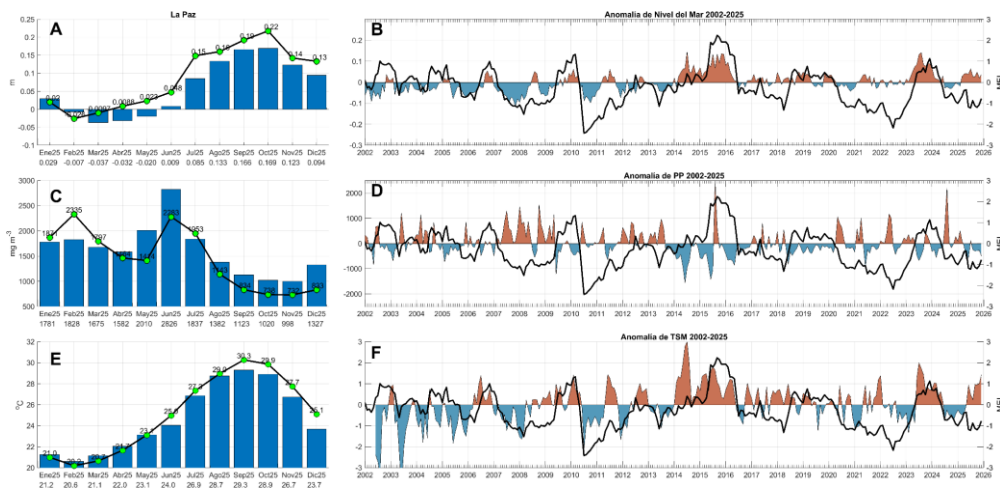


Figura 3.8: Condiciones climatológicas y de anomalías para SLA, PP y TSM a lo largo del tiempo (2002-2025) en Bahía de La Paz. Las barras en los paneles A, C y E, muestran las climatologías mensuales, las líneas negras con círculos verdes indican los valores mensuales de 2025, los valores debajo de los 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 (Índice multivariado del ENSO).

San Juanico. Las condiciones climatológicas y de anomalías de SLA, PP, y TSM a lo largo del tiempo (2002- 2025) se muestran en la [Figura 3.9](#). La serie de climatologías de nivel del mar (SLA) y datos mensuales durante 2025 se muestran en la [Figura 3.9A](#). De enero a abril los promedios mensuales estuvieron por debajo de sus valores climatológicos, mientras que de marzo a diciembre sus valores fueron superiores a sus climatologías. Este mismo comportamiento se puede apreciar en la serie histórica de anomalías en la [Figura 3.9B](#), donde las anomalías positivas dominaron la parte final de la serie, siendo junio el que presentó el valor máximo de 0.07 m en 2025.

La serie de climatologías de productividad primaria (PP) y datos mensuales durante 2025 se muestran en la [Figura 3.9C](#). De enero y de agosto a diciembre, los valores mensuales estuvieron por debajo de sus valores climatológicos, mientras que el resto de los meses (febrero a julio) tuvieron valores mayores al de sus climatologías, destacando junio con 6527 mg C m⁻² d⁻¹, muy por encima de su climatología de 4499 mg C m⁻² d⁻¹. La serie histórica de las anomalías ([Figura 3.9D](#)) presenta valores negativos en la parte final, destacando septiembre como el mes con la mayor anomalía negativa de -779 mg C m⁻² d⁻¹.

La serie de climatologías de temperatura superficial del mar (TSM) y datos mensuales durante 2025 se muestran en [Figura 3.9](#). De enero a mayo los promedios mensuales estuvieron por debajo de sus valores climatológicos, mientras que de junio a diciembre sus valores fueron superiores a sus climatologías, destacando septiembre con el registro máximo de 28.3 °C ([Figura 3.9E](#)). Este mismo comportamiento se puede apreciar en la serie histórica de anomalías ([Figura 3.9F](#)), donde las anomalías positivas dominaron la parte final de la serie; en 2025 la anomalía positiva más intensa se presentó en septiembre con un valor de 2.01 °C.

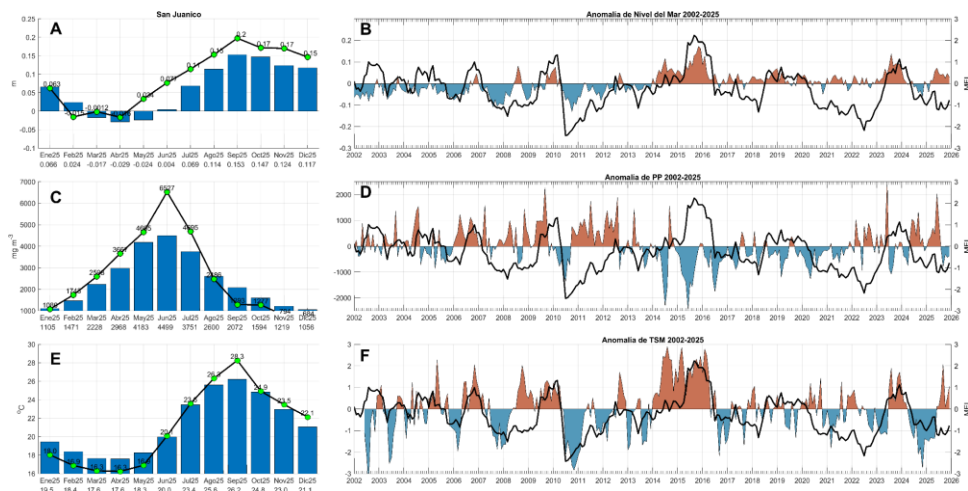


Figura 3.9: Condiciones climatológicas y de anomalías para SLA, PP y TSM a lo largo del tiempo (2002-2025) en San Juanico. Las barras en los paneles A, C y E, muestran las climatologías mensuales, las líneas negras con círculos verdes indican los valores mensuales de 2025, los valores debajo de los meses 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 (Índice multivariado del ENSO).

Discusión

Tanto los resultados de los mapas de distribución de SLA, PP y TSM para 2025, muestran una consistencia en su comportamiento en los tres sitios. Este comportamiento, con el inicio de condiciones frías en invierno e inicios de primavera (hasta abril) y a partir de mayo y hasta diciembre, las condiciones cambiaron a ser anómalamente cálidas. Este comportamiento ocasionó que, tanto la TSM como la SLA fueran anómalamente positivas en la segunda mitad de 2025, mientras que la PP fue anómalamente negativa durante ese periodo.

En ninguno de los tres sitios seleccionados, se notó una aparente relación entre el índice climático del MEI y la temperatura, ya que el MEI se encuentra en una fase negativa desde mayo-junio de 2024, indicando condiciones frías de La Niña. Sin embargo, las temperaturas fueron mayormente cálidas, lo que sugiere que hay un forzamiento local afectando positivamente la temperatura y el nivel del mar, pero negativamente la productividad.

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 *satin* de clase 4, para posteriormente realizar la extracción y visualización de datos con el apoyo de la biblioteca *satin* (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 cada categoría (Figura 4.1.1, 4.2.2, 4.3.2).

Resultados

El paisaje pelágico en Cabo Pulmo y zonas adyacentes, muestran una estacionalidad altamente variable interanualmente, pero puede describirse mediante sus promedios climatológicos (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⁻³. En sentido opuesto, H3 se expande de febrero (<5 %) a agosto (60 %) y se define por una temperatura superficial cercana a los 24.12 °C, salinidad de 35.34 ups y 0.15 mg·m⁻³ de clorofila.

En octubre y noviembre de 2025, H15 estuvo muy por debajo de sus promedios climatológicos (~40-50%), cubriendo apenas entre el 20 y el 5% del área considerada (Figura 4.1.1). La categoría H3 también presentó un repliegue importante durante octubre y noviembre, pasando del 20% en promedio, a prácticamente desaparecer. Las implicaciones de las contracciones de H15 y H3 pueden entenderse a la luz de la expansión de H9, una categoría de hábitat pelágico que suele estar presente pero que no es dominante. En el mapa llama la atención que H9 predomina en la zona más oceánica, pero la costa permanece rodeada por H11 y H15, que indican aguas más frías y con mayor concentración de clorofila (Figura 4.1.2).

El repliegue de H15 se mantuvo casi constante a lo largo de 2025, excepto por dos picos en abril y junio, cuando superaron ligeramente sus valores promedio, pero volvieron a contraerse inmediatamente después (Figura 4.1.1). Los incrementos observados en H3 preceden a los repuntes observados en H15, ya que se presentaron en marzo y mayo. Aún se desconoce si el comportamiento de H3 puede ser un indicador confiable de los cambios esperados en H15. No obstante a sus incrementos puntuales en 2025, H3 tuvo contracciones en abril, junio y de agosto a noviembre. La presencia de H9, particularmente alta de julio a noviembre, indica la presencia de aguas con mayor temperatura (28.01°C), menor salinidad (33.84) y menor concentración de clorofila ($0.14\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$).

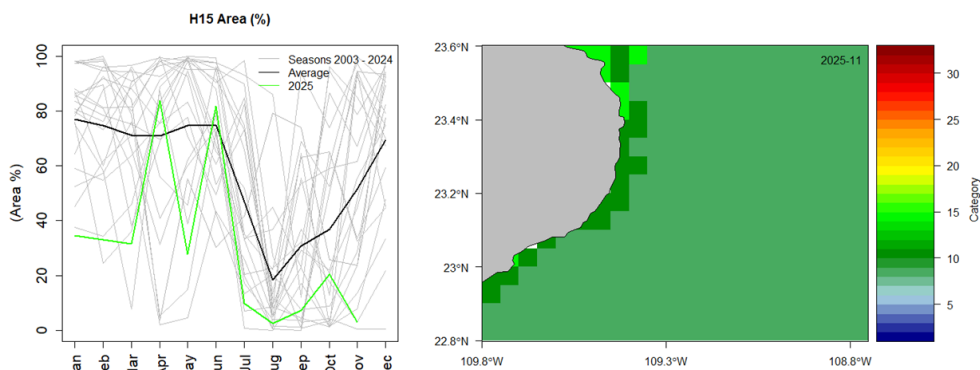


Figura 4.1: Paisaje Pelágico frente a Cabo Pulmo. 4.1.1) Panel izquierdo: Comportamiento estacional del hábitat dominante H15 (2003-2025). 4.1.2) Panel derecho: Distribución espacial promedio de los hábitats pelágicos durante noviembre de 2025.

En la Bahía de La Paz, el paisaje pelágico está dominado por fluctuaciones alternadas de H15 y H21. De abril a noviembre suele predominar H15, cubriendo entre el 60 y el 100% del área; en promedio presenta dos picos en el año, el primero en abril-mayo y el segundo en octubre-noviembre. H15 se conforma en torno a condiciones de temperatura superficial de 25.35°C , salinidad de 35.4 ups, y concentración de clorofila de $0.32\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ (Figura 4.2.1). Por su parte, H21 se expande de diciembre a marzo, cubriendo entre el 35 y el 70% del área en promedio; se forma en torno a temperaturas de 22.54°C , salinidad de 34.46 ups y concentraciones de clorofila de $2.09\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$, por lo tanto indica la presencia de aguas más frías y enriquecidas típicas del invierno (Figura 4.2.1). En algunos momentos del año llega a verse la presencia de hábitats tales como H3, H11 y H13, entre otros.

Entre enero y marzo de 2025, 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 alcanzar su valor promedio (10%; Figura 4.2.1). En octubre y noviembre, tanto H15 como H21, cubrieron áreas típicas del 80-90% y <5%, respectivamente.

En el primer trimestre, la presencia de H21 se restringió a la franja costera, indicando allí el predominio de aguas más frías y más productivas en comparación con las aguas oceánicas circundantes. Hacia el mes de noviembre, las aguas frías y enriquecidas se observaron sólo en la ensenada de La Paz y al norte de la isla Espíritu Santo, al tiempo que las condiciones más cálidas de H15 se extendieron hasta cubrir más del 95% (Figuras 4.2.1, 4.2.2). En resumen, 2025 se caracterizó por una contracción ligera de H15 (15-30%), el hábitat pelágico dominante en Bahía de La Paz, con el retorno a extensiones promedio en mayo, octubre y noviembre. Los cambios de H15 se complementaron con la expansión (20%) de H21 en enero y febrero, aunque la mayor parte del año se mantuvo cerca del promedio. Por su parte, H3 indica aguas similares a H15 pero con menor cantidad de clorofila, mismo que se extendió por encima del promedio de junio a septiembre, aunque en una baja magnitud.

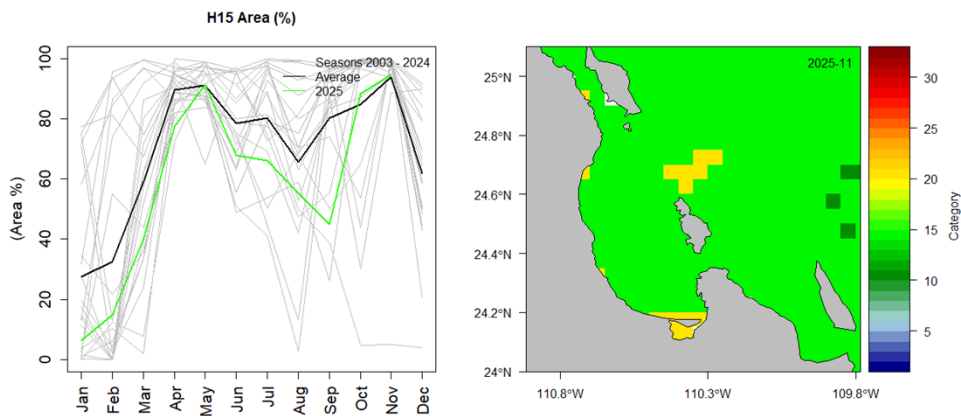


Figura 4.2: Paisaje Pelágico en la Bahía de La Paz. 4.2.1) Panel izquierdo: Comportamiento estacional del hábitat H3 (2003-2025). 4.2.2) Panel derecho: Distribución espacial promedio de los hábitats pelágicos en noviembre de 2025.

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⁻³. Por su parte, H21 crece gradualmente de menos del 10% hasta el 30-40% en junio-julio. En condiciones promedio, H15 se expande del 16% en mayo-junio,

al 40% en septiembre-octubre (Figura 4.3.1).

En octubre y noviembre de 2025, H21 presentó valores promedio, pero se le observa cubriendo áreas más grandes de enero a julio (Figura 4.3.2). 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 noviembre 2025, cubriendo un área importante de hasta el 40% del total (Figura 4.3.2). Las condiciones más productivas, representadas por H21, se mantienen en la costa en noviembre 2025, acompañado de una alta diversidad de hábitats pelágicos, incluyendo H17, H15, H3, H8, H11 y H9 (Figura 4.3.2).

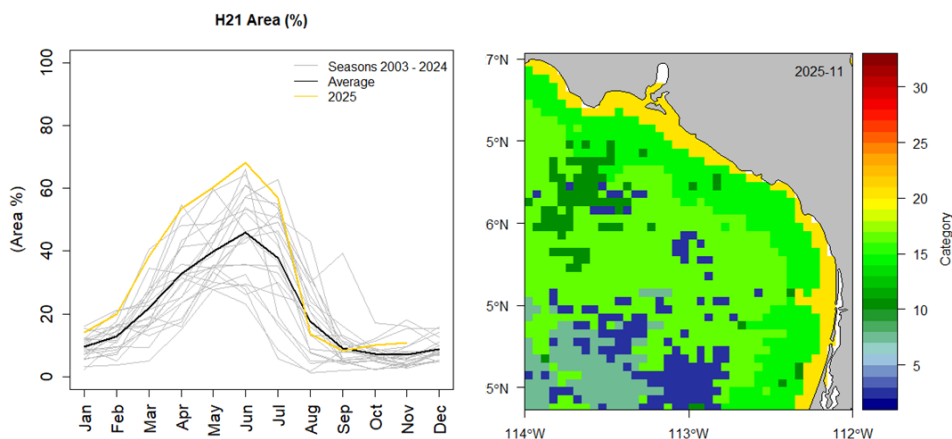


Figura 4.3: Paisaje Pelágico en el Golfo de Ulloa. 4.3.1) Panel izquierdo: Comportamiento estacional (2003-2025) del hábitat H21 en el Golfo de Ulloa. 4.3.2) Panel derecho: Distribución espacial promedio de los hábitats pelágicos durante noviembre de 2025.

Las variaciones históricas de H17 indican que en el pasado ya se han presentado otros colapsos 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 ($\sim 0.28\text{-}0.84\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$). Durante 2025, H17 presentó un comportamiento errático de aproximadamente el 20%, con valores por encima del promedio en enero y febrero, valores por debajo en abril, mayo y junio, valor promedio en octubre y valor alto en noviembre.

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. Ondas de calor marinas

Alejandro Ramos-Rodríguez
jaramos@cicese.mx

Resumen | Este artículo describe la cantidad de días registrados con ondas de calor por categoría para el mes de octubre de 2025, acorde a la clasificación propuesta por Hobday *et al.* (2018). Durante octubre, a lo largo de la costa del Pacífico en la península de Baja California Sur, se observó una ausencia de ondas de calor. La mayor cantidad de días con ondas de calor marino se registraron dentro del Golfo de California, en particular la porción aledaña a Santa Rosalía, y Bahía de La Paz. Aunque también se observan en la porción sur de Sinaloa y la costa de Nayarit. Para las tres regiones consideradas a detalle, la cantidad de días de onda de calor fue mayor para la Bahía de la Paz (12 a 24 días de ondas de calor marinas), seguida de Cabo Pulmo (2 a 12 días) y San Juanico (sin días de ondas de calor en la región costera).

Introducción

Se ha comenzado a comprender las consecuencias e impactos del cambio climático antropogénico a largo plazo. Sin embargo, los eventos discretos, como ciclones, huracanes y ondas de calor también afectan significativamente ambientes regionales y a especies animales, incluyendo a las poblaciones humanas. De hecho, se prevé que el cambio climático intensifique dichos eventos, exacerbando sus consecuencias. Dichos eventos también ocurren en el océano, y en décadas recientes se han registrado eventos de aguas anómalamente cálidas, que pueden durar meses y extenderse por miles de kilómetros cuadrados, recibiendo el nombre de ondas de calor marinas (Hobday *et al.*, 2018; McGregor, 2024).

Las ondas de calor marinas son un fenómeno que está cobrando cada vez mayor relevancia, dado que están teniendo impactos de largo plazo en los ecosistemas, con consecuencias económicas subsecuentes. Se ha registrado que de 1925 a 2016, la frecuencia de ondas de calor marinas tuvo un incremento del 34% en la frecuencia y del 17% en duración. Resultando en un incremento del 54% en días de ondas de calor marinas globalmente (Oliver *et al.*, 2018). Los efectos producidos por las ondas de calor marinas dependen de la intensidad y la duración de estas. Pero, por ejemplo, la onda de calor conocida como Warm Blob, acaecida en 2013-2015, produjo a lo largo de la costa de Norteamérica occidental, cambios de distribución de especies como atún, cangrejos o copépodos; cierre de pesquerías comercialmente importantes y mortalidades masivas de mamíferos y aves marinas. Ello ha dejado gran incertidumbre respecto a cambios físicos y ecológicos en comunidades y ecosistemas (Cavole *et al.*, 2016). Asimismo, estudios recientes empiezan a mostrar que las ondas de calor, no solo repercuten en la parte marina, sino que comienzan a alterar la salud humana, incluyendo aceleraciones en estrés y envejecimiento (Chen *et al.*, 2025).

Las ondas de calor se pueden definir como periodos prolongados de temperatura superficial del mar (TSM) anómalamente elevada. De hecho, son anomalías o desviaciones de la TSM categorizadas comparadas con un umbral diario de TSM, de largo plazo elevado (Hobday *et al.*, 2018).

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). Asimismo, se realizaron análisis para las regiones del parque nacional Cabo Pulmo, La Paz, B.C.S. y San Juanico, B.C.S.

Metodología

Se utilizaron datos diarios, globales de 5k de resolución del producto Marine Heatwave Watch (MHW), disponible en la página https://coralreefwatch.noaa.gov/product/marine_heatwave. Dicho producto provee una descripción del estrés térmico oceánico que puede ocurrir en cualquier momento del año, en una localidad dada, y que es probable que impacte a un rango amplio de la vida marina. Dicho producto deriva de aplicar el algoritmo denominado Marine Heatwave de Hobday *et al.* (2018) a datos de TSM satelitales globales diarios de 5km de resolución. Tiene observaciones en tiempo casi real y componentes históricos que van de 1985 al presente, clasificando, además, las ondas de calor en 4 categorías dependiendo su intensidad.

Para cada región mencionada en el área de estudio, se descargaron los datos correspondientes a los días del mes de octubre. Como se mencionó, estos son archivos globales, diarios en formato NetCDF, y se procesaron en MATLAB ver. 2025b. Primero se recortó solo el área de interés; posteriormente, se contabilizaron los días con ondas de calor por categoría para la región, y graficando las subregiones mencionadas: Parque Nacional Cabo Pulmo, Bahía de La Paz y San Juanico.

Resultados

Ondas de calor en el área de estudio

Las ondas de calor marinas para el mes de octubre fueron casi en su totalidad categoría 1, sólo unas pocas categoría 2 en regiones oceánicas, y ninguna registrada categoría 3 o 4. En caso de las ondas de calor categoría 1, en la porción del Pacífico, no se registran ondas en la zona costera, únicamente en la porción oceánica. Esta última observa mayormente entre 4 y 8 días de ondas de calor, con excepción de un par de parches, uno cercano a la punta sur de la península y otro por encima de los 25°N, cerca de los 115°O, ambos con 14-16 días de ondas de calor (Figura 5.1). Para el golfo de California, se registran ondas de calor dentro

de toda la región, yendo de 4 a 28 días de presencia. Mayormente en la zona de la bahía de La Paz y la región central del mismo, centrado mayormente en la inmediaciones de Santa Rosalía

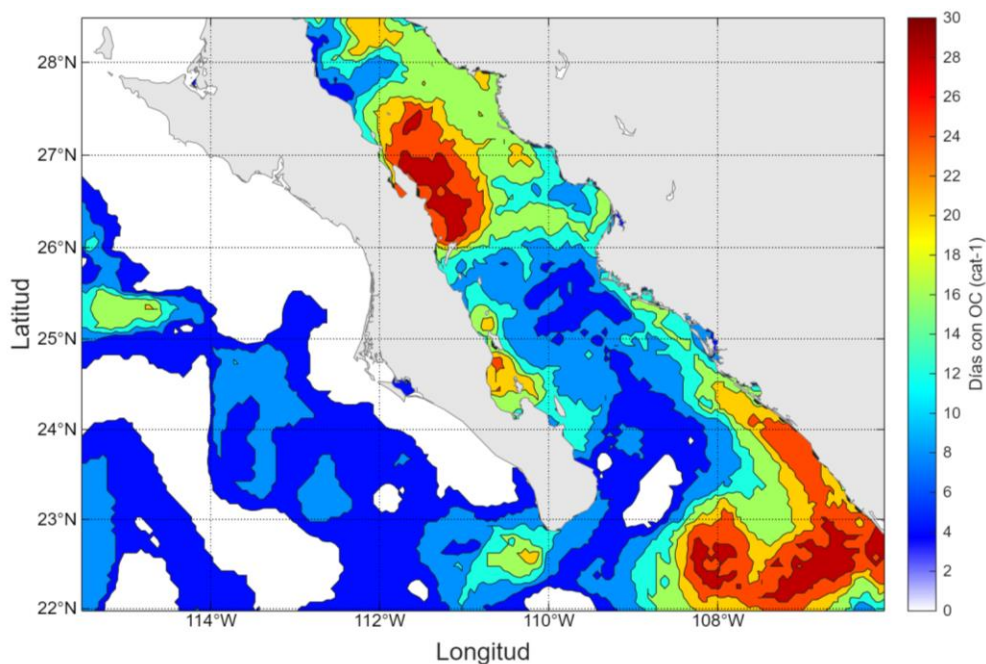


Figura 5.1: Días con ondas de calor categoría 1 en el área de estudio.

En caso de las ondas de calor para la zona aledaña al Parque Nacional Cabo Pulmo para el mes de octubre (Figura 5.2). En la zona aledaña al mismo, en la franja costera, se observan entre 4 y 10 días de ondas de calor durante el mes. La cantidad máxima de días fue de 12 al sur del parque. Hacia la región oceánica la cantidad de ondas de calor mostró un decremento hacia el oriente, yendo de 6 hasta parches sin ondas de calor registradas. En el caso de las categorías 2, 3 y 4, no se registraron ondas de calor para las mismas en esta región.

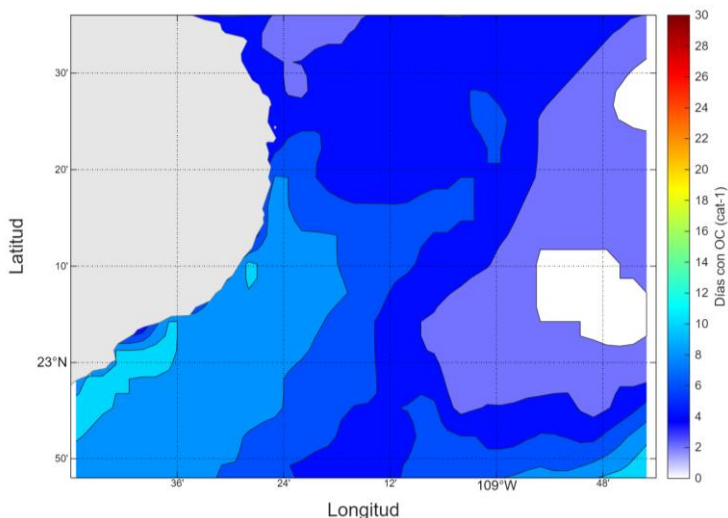


Figura 5.2: Cantidad de días con ondas de calor categoría 1 para la región aledaña al Parque Nacional Cabo Pulmo.

La región comprendida entre Isla Cerralvo, la bahía de La Paz e Isla San José (Figura 5.3), fue la que para el mes de octubre registró la mayor cantidad de días con ondas de calor de las tres regiones analizadas. La región costera observó entre 8 y 26 días registrando ondas de calor. La mayor cantidad se observó desde Isla Espíritu Santo hasta el norte de la bahía, así como el norte de isla San José (más de 18 días con ondas de calor). La región aledaña a isla Cerralvo fue la región costera con la menor cantidad de días con ondas de calor de la zona (8 a 12 días). La porción hacia el centro del golfo muestra un decremento paulatino de las ondas de calor, yendo de 12 a 4. Al igual que la región de Cabo Pulmo, no se registraron ondas de calor categorías 2 a 4 durante el mes.

Para la región aledaña a San Juanico (Figura 5.4), no se registraron días con ondas de calor, ni en la zona costera. La única región que registró la presencia de ondas fue la porción sur, al frente de Bahía Magdalena (entre 2 a 10 días con ondas de calor). Estas aumentan en duración en dirección sur. Esta región no mostró días con ondas de calor con categorías superiores a la categoría 1.

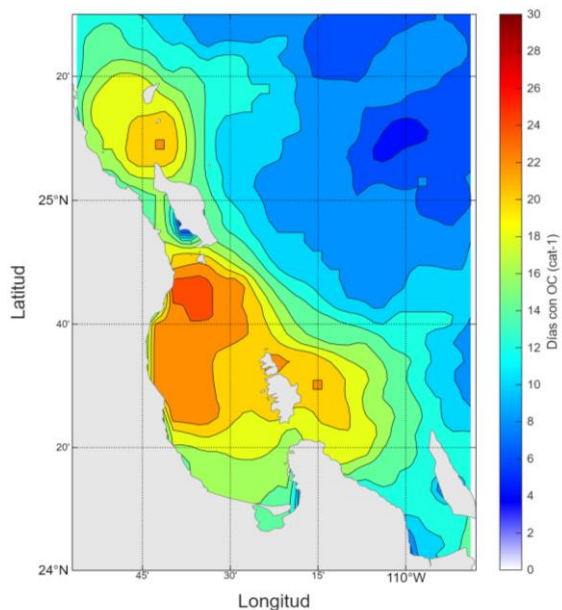


Figura 5.3: Cantidad de días con ondas de calor categoría 1 para la región comprendida entre Isla Cerralvo a isla San José, incluyendo la bahía de La Paz. Esta fue la región con la mayor cantidad de días de onda de calor para el mes de octubre.

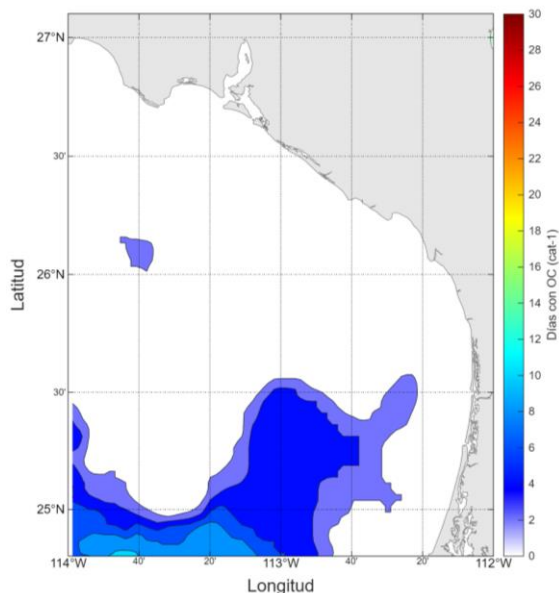


Figura 5.4: Paisaje Pelágico en el Golfo de Ulloa. 4.3.1) Panel izquierdo: Comportamiento estacional (2003-2025) del hábitat H21 en el Golfo de Ulloa. 4.3.2) Panel derecho: Distribución espacial promedio de los hábitats pelágicos durante abril de 2025.

Referencias

- Cavole, L.M., A.M. Demko, R.E. Diner, A. Giddings, I. Koester, C.M.L.S. Pagniello, M.-L. Paulsen, A. Ramirez-Valdez, S.M. Schwenck, N.K. Yen, M.E. Zill, and P.J.S. Franks. 2016. Biological impacts of the 2013–2015 warm-water anomaly in the Northeast Pacific: Winners, losers, and the future. *Oceanography* 29(2):273–285, <http://dx.doi.org/10.5670/oceanog.2016.32>.
- Chen, S., Liu, Y., Yi, Y. et al. Long-term impacts of heatwaves on accelerated ageing. *Nat. Clim. Chang.* 15, 1000–1007 (2025). <https://doi.org/10.1038/s41558-025-02407-w>
- Hobday, A.J., E.C.J. Oliver, A. Sen Gupta, J.A. Benthuisen, M.T. Burrows, M.G. Donat, N.J. Holbrook, P.J. Moore, M.S. Thomsen, T. Wernberg, and D.A. Smale. 2018. Categorizing and naming marine heatwaves. *Oceanography* 31(2):162–173, <https://doi.org/10.5670/oceanog.2018.205>.
- McGregor, G. 2024. Heatwaves: Causes, consequences and responses. Springer Nature, Switzerland
- Oliver, E.C.J., Donat, M.G., Burrows, M.T. et al. Longer and more frequent marine heatwaves over the past century. *Nat Commun* 9, 1324 (2018). <https://doi.org/10.1038/s41467-018-03732-9>

6. Monitoreo satelital de florecimientos algales

Cotsikayala Pacheco-Ramírez
cotsi.pacheco@gmail.com

Resumen | En esta sección se presenta parte de la tesis doctoral enfocada en la teledetección de grupos funcionales fitoplanctónicos a partir de la señal de la clorofila oceánica. El estudio se centra en diatomeas y dinoflagelados, grupos que incluyen especies con potencial de formar florecimientos algales nocivos y que, por ello, requieren monitoreo continuo. Mediante el análisis de imágenes satelitales Sentinel se identificaron ocho eventos asociados a variaciones espectrales y cambios en la coloración del mar, solo uno alcanzó el nivel de alerta media y ocurrió en julio en La Bahía de La Paz. Dicho evento estuvo dominado por *Gonyaulax polygramma*, cuya proliferación de coloración verde oscura a marrón coincidió con un incremento considerablemente del grupo de los cocolitofóridos detectado a partir de su respuesta espectral observada por Copernicus-GlobColour.

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 del Servicio de Monitoreo del Medio Marino de COPERNICUS (CMEMS). Los datos de Grupos funcionales fitoplanctónicos (PFT en inglés), incluyendo diatomeas y dinoflagelados, se derivan principalmente del algoritmo PHYSAT (Alvain *et al.* 2005, 2008) y sus actualizaciones para CMEMS, con resolución temporal diaria y espacial de 4 km, (IOCCG 2014). Los cuales clasifican las comunidades fitoplancton con base a sus firmas ópticas específicas observadas por sensores multiespectrales como MERIS y OLCI. 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). 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 por problemas de salud pública relacionados 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 más estudiada en la porción sur de BCS debido a su importancia económica. Esto es especialmente preocupante debido a la presencia constante de toxinas en moluscos comercializados en la entidad, lo que resalta la necesidad de un monitoreo continuo para garantizar la seguridad en el consumo de mariscos en la región (Leyva-Valencia *et al.* 2021). En este sentido, las capacidades sinópticas que ofrecen los sensores remotos satelitales contribuirán a mejorar las labores 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

Entre julio de 2002 y diciembre de 2025 se obtuvieron datos del producto Copernicus-GlobColour, el cual cuenta con resolución diaria. A partir de estos registros diarios, se calcularon promedios mensuales de la concentración de diatomeas, los dinoflagelados y cocolitofóridos para tres regiones de BCS. Datos disponibles en: https://data.marine.copernicus.eu/product/OCEANCOLOUR_GLO_BGC_L3_MY_009_103/. La concentración de los grupos fitoplanctónicos se muestra como una representación visual de la información estimada por el modelo PHYSAT de COPERNICUS.

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 Júpiter en lenguaje de programación Python.

Resultados

Grupos fitoplanctónicos

La Figura 6.1, Figura 6.2 y Figura 6.3 muestran los promedios mensuales de dinoflagelados (parte superior), diatomeas (centro) y cocolitofóridos (parte inferior) para Cabo Pulmo, la bahía de La Paz y San Juanico respectivamente. En los tres sitios, las concentraciones de

estos grupos fitoplanctonicos variaron en contraste con el promedio climatológico, particularmente en Cabo Pulmo durante la mayor parte del año, mientras que en la bahía de La Paz los cocolitofóridos se incrementó en julio y en San Juanico los dinoflagelados se incrementó en febrero. Las barras azules representan las climatologías mensuales de enero a diciembre para el periodo 2002-2024, mientras que los puntos negros indican los promedios mensuales de enero a diciembre de 2025.

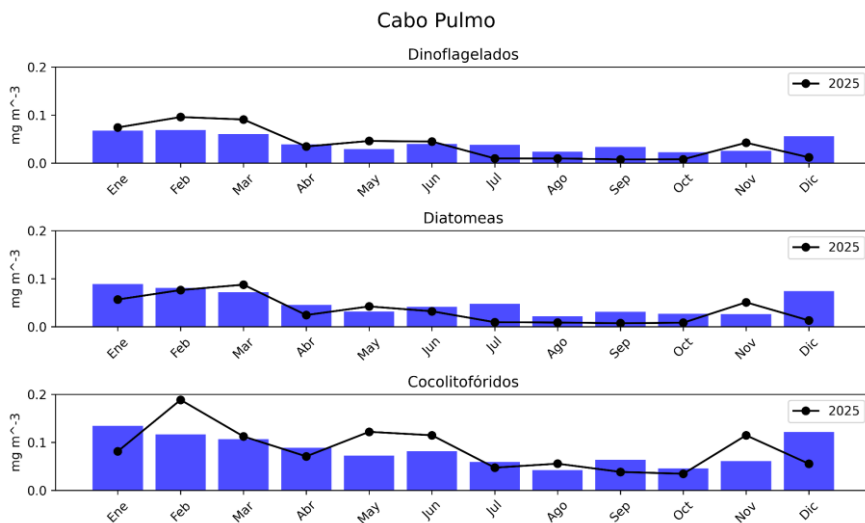


Figura 6.1: Estas climatologías representan la concentración de grupos fitoplanctónicos, expresada en CLO en el agua de mar en Cabo Pulmo de enero a diciembre de 2025.

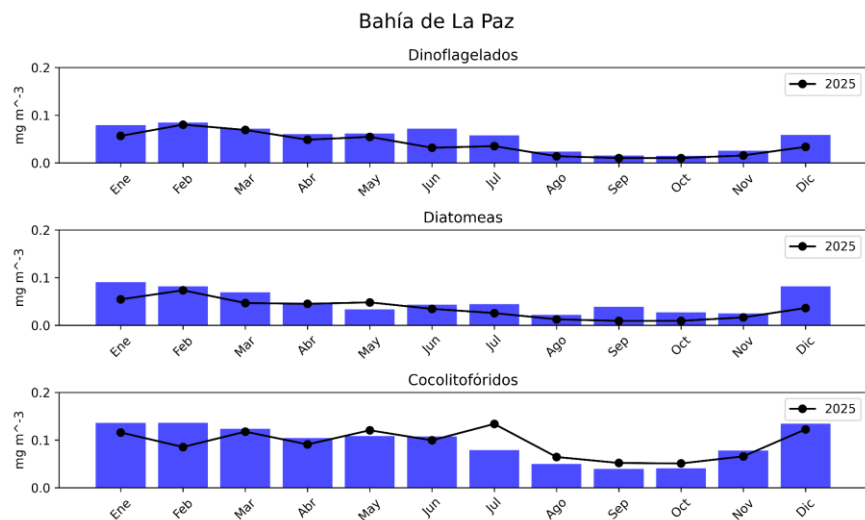


Figura 6.2: Estas climatologías representan la concentración de grupos fitoplanctónicos,

expresada en CLO en el agua de mar en la bahía de La Paz de enero a diciembre de 2025.

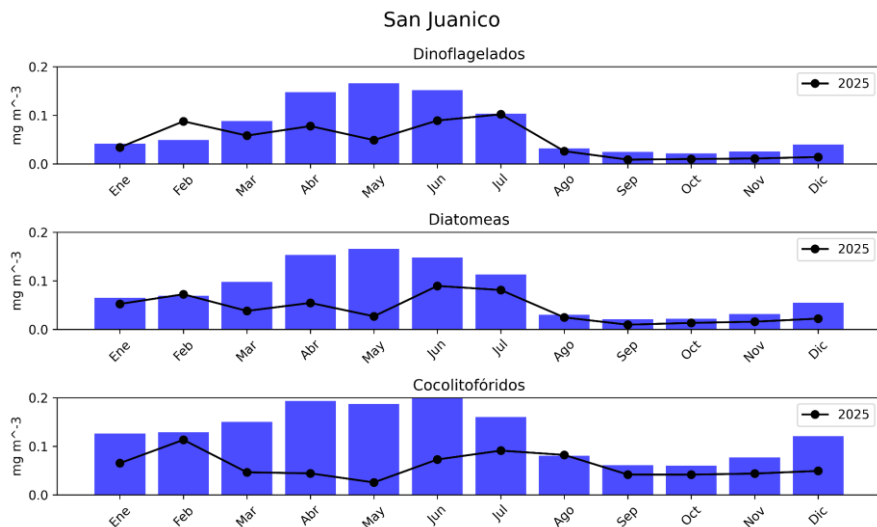


Figura 6.3: Estas climatologías representan la concentración de grupos fitoplanctónicos, expresada en CLO en el agua de mar en San Juanico de enero a diciembre de 2025.

Eventos locales

Durante 2025 se registraron múltiples eventos de florecimientos algales nocivos (FAN) en el sur de la península de Baja California, con mayor recurrencia en la Bahía de La Paz. Los eventos presentaron una amplia variabilidad en coloración (roja, verde oscuro a marrón y marrón-rojo, [Tabla 1](#)) y composición taxonómica, incluyendo florecimientos dominados por *Chattonella* y *Gonyaulax polygramma* (<https://resonanciaincientifica.coscyt.mx/ciencia/mortandad-de-peces-y-otros-organismos-marinos-por-un-florecimiento-algal-nocivo-en-la-bahia-de-la-paz/>). La persistencia y extensión espacial de estos episodios motivaron la implementación de cierres precautorios en diversas regiones, incluyendo la Ensenada de La Paz (4 de febrero), La Paz (8 de abril y 4 de junio), el estero La Bocana, Mulegé (6 de mayo), San Hipólito–Bahía Asunción (29 de abril y 27 de mayo) y la Zona IV del complejo lagunar Bahía Magdalena (20 de mayo) (https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/1044048/Cuadro_Cierres_precautorios_2025.pdf).

Tabla 1. Eventos de florecimientos algales nocivos (FAN) registrados en 2025, con fecha, localidad, coloración observada y especies.

Coloración	Fecha	Localidad	Notas
Roja	4/febrero	La Paz	
Roja	13-21, 17/marzo	La Paz /Cabo Pulmo	
Verde oscuro a marrón	31/marzo	La Paz	
Verde oscuro a marrón	5-10/abril	La Paz	Florecimiento algal de <i>Chattonella</i>
Verde oscuro a marrón	14/junio	La Paz	
Verde oscuro a marrón	julio	La Paz	Florecimiento algal nocivo de <i>Gonyaulax polygramma</i>
Marrón-rojo/verde-amarillenta	17/septiembre	La Paz	
Marrón-rojo	12-17/septiembre	Todos Santos	

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., Hernández-Sandoval. 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.

7. 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 los meses de noviembre y diciembre de 2025 se puede observar que el patrón característico de los vientos en la región de Cabo Pulmo, BCS, no cambió radicalmente de acuerdo con la climatología dada en la región (2014-2024) (Figura 7.1). Sin embargo, se observa que, en noviembre, los vientos provenientes del Norte y del Noroeste se acentúan de forma notable. La intensidad de los vientos muestra que también durante noviembre los valores atípicos se hicieron presentes en la zona de Cabo Pulmo. Sin embargo, estos fueron menos intensos que los ocurridos en 2023 y 2024.

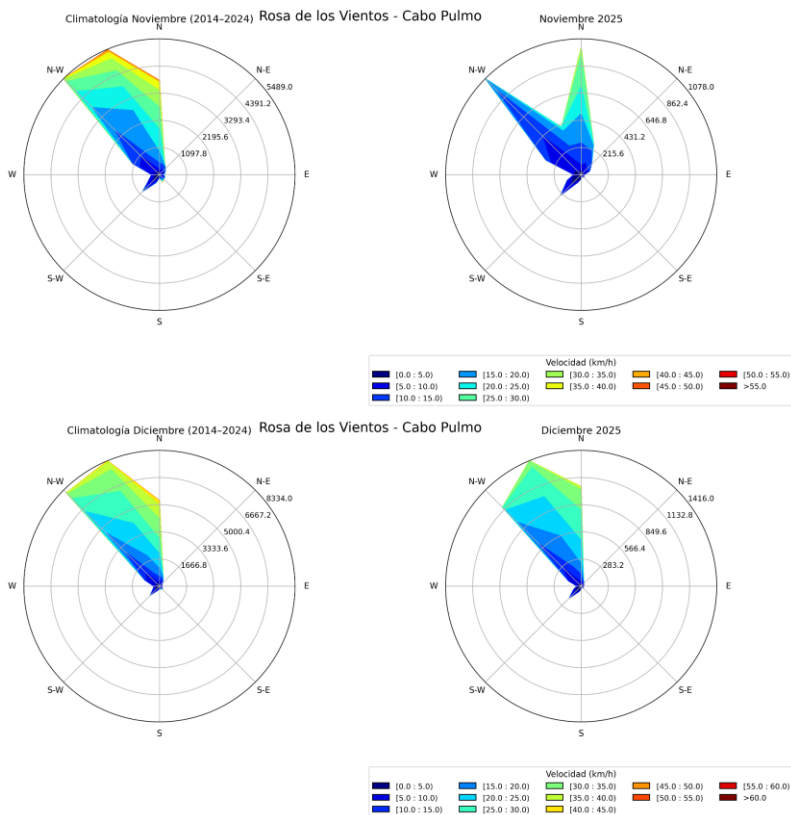


Figura 7.1: Climatología vs. observaciones de la dirección e intensidad de los vientos en la estación Cabo Pulmo durante los meses de noviembre y diciembre de 2025.

La intensidad del viento *in situ* registrada durante estos meses en Cabo Pulmo, muestra una distribución de intensidades con más valores atípicos (outliers) en noviembre que durante el mes de diciembre [Figura 7.2](#). Se puede observar que los vientos atípicos superiores a los 40 km/h no tuvieron lugar durante estos meses. Los rangos intercuartiles también se mantuvieron más reducidos a los documentados desde 2023 (ver bigotes del boxplot, [Figura 7.2](#)). El valor mediano de la rapidez del viento en este sitio pasa de los 10 km/h a casi 20 km/h entre los meses de noviembre y diciembre ([Figura 7.2](#)).

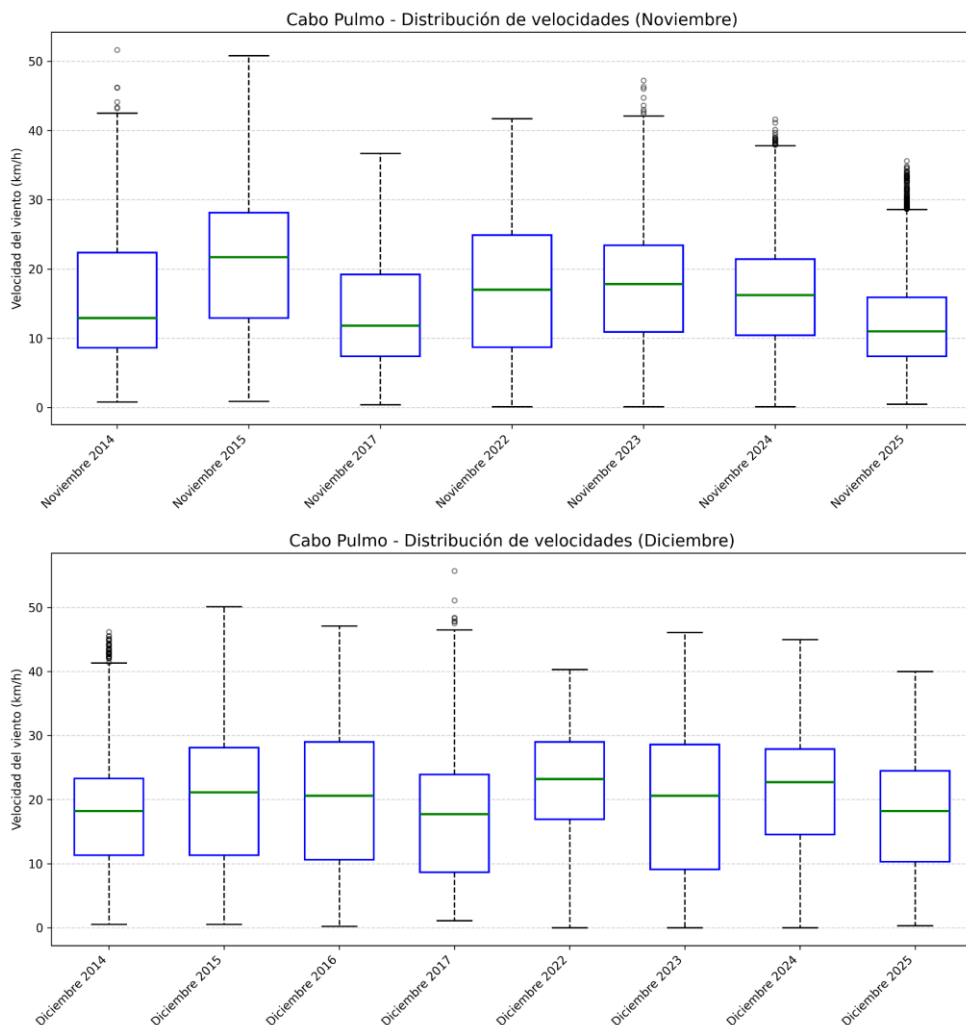


Figura 7.2: Análisis de cajas de la intensidad de los vientos en la estación Cabo Pulmo durante el mes de octubre de 2025. Los valores de viento atípico están dados en el gráfico de cajas por los outliers (círculos en negro).

VTO in situ en la ciudad de La Paz, BCS

Durante los meses de noviembre y diciembre de 2025 se observó que el patrón característico de los vientos en La Paz, BCS, no cambió radicalmente de acuerdo con la climatología dada en la región (2016-2024) (Figura 7.3). Sin embargo, se observa que durante ambos meses la componente Noroeste del viento se acentúa considerablemente.

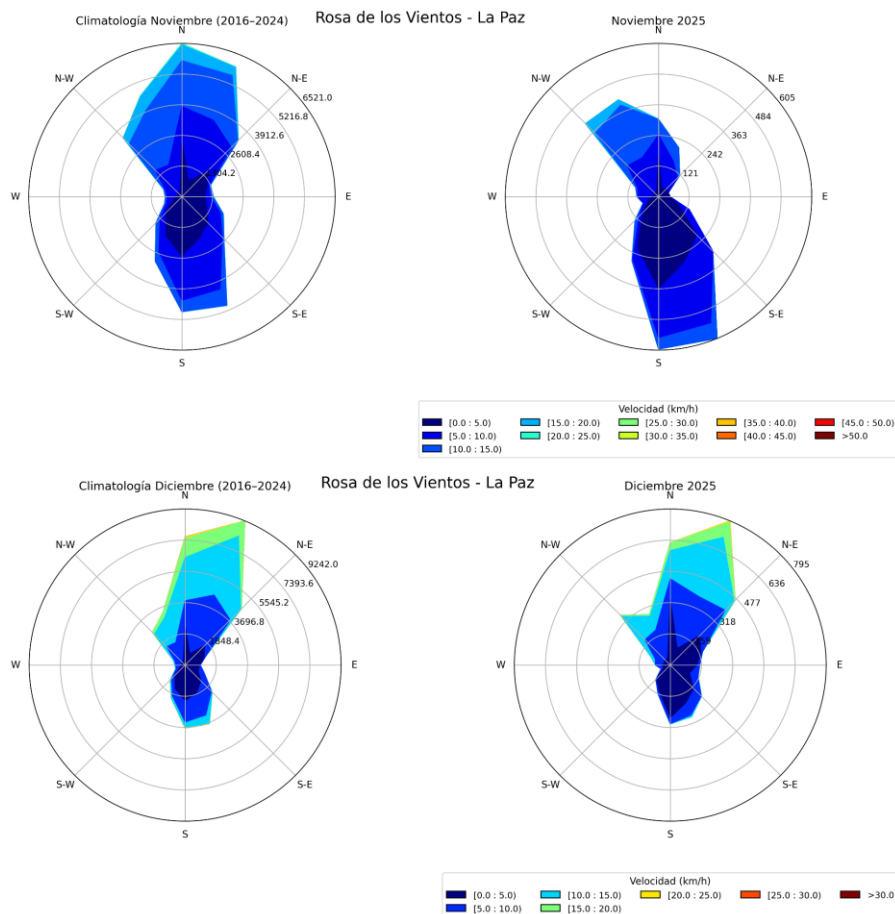


Figura 7.3: Climatología vs. observaciones de la dirección e intensidad de los vientos en la estación ESIME de La Paz durante octubre de 2025.

La intensidad del viento *in situ* registrada durante estos meses en La Paz, muestra una distribución de intensidades con valores atípicos más bajos en comparación con años anteriores (Figura 7.4, outliers). Particularmente, los rangos intercuartiles se mantuvieron por debajo de lo documentado en 2024 (ver bigotes del boxplot, Figura 7.4). El valor mediano de la rapidez del viento en este sitio se mantuvo alrededor de los 5 km/h durante ambos meses.

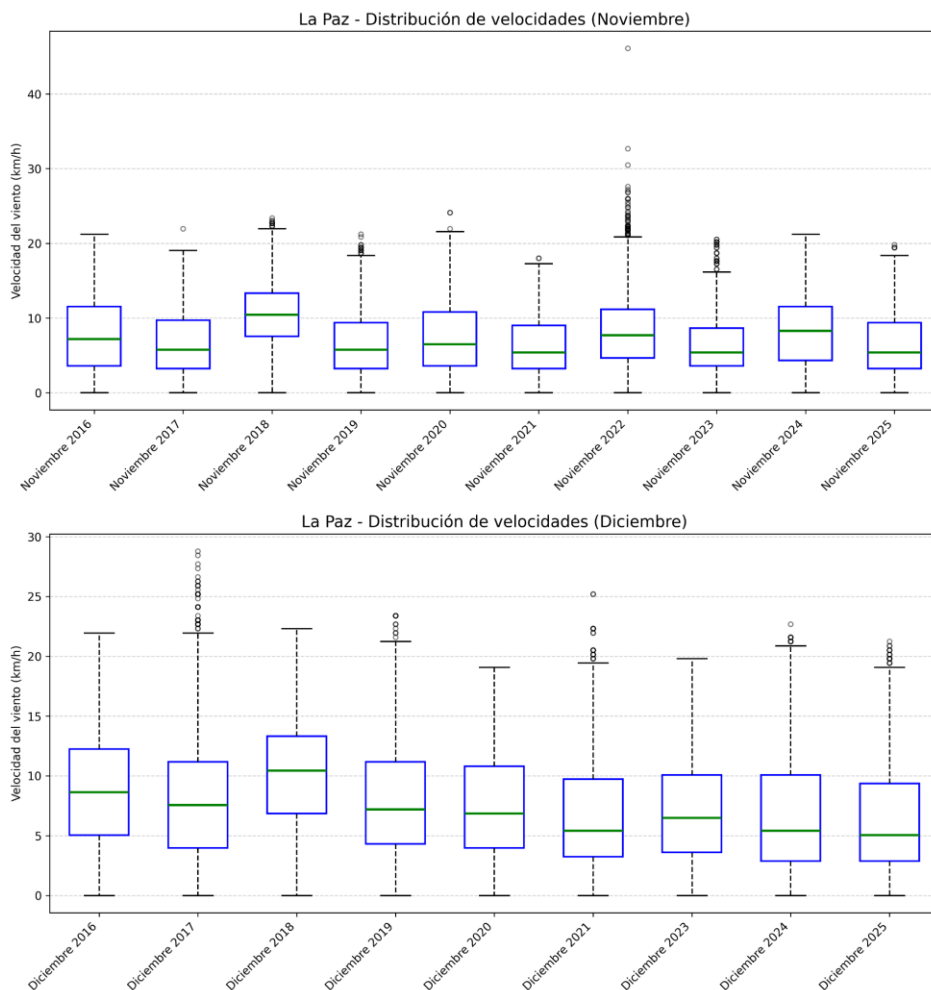


Figura 7.4: Análisis de cajas de la intensidad de los vientos en la ciudad de La Paz, BCS, durante el mes de octubre de 2025. Los valores de viento atípico u outliers se muestran con círculos en negro en la figura.

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.

8. Condiciones meteorológicas registradas en La Bahía de La Paz

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 frentes fríos en invierno, periodos prolongados de sequía y el monzón mexicano y el impacto de tormentas tropicales en verano. CICESE-UALP, implementó en 2015 un programa de 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.*”, registrando variables ambientales por Estaciones Meteorológicas Autónomas (EMAs), cuya información se publica en la página de CICESE-UALP: <https://ulp.cicese.mx/condiciones-ambientales-observadas-en-la-Bahia-de-la-paz/>. Durante este resumen anual (diciembre, 2024 a noviembre 2025), se registraron valores máximos diarios de Temperatura del aire (Tair) de 34.4° C, con un valor promedio de 25.7° y mínimos de 21.8° C (ver Tabla 1). Los valores de Hum. Rel., mostraron el efecto de las precipitaciones observadas en el período de análisis, con valores máximos (85%) durante verano, asociada con el paso de las tormentas en septiembre y octubre. Las rachas de viento máximas de >8 m s⁻¹ se asocian principalmente al efecto de T. Tropicales, canales de baja presión y circulación ciclónica asociadas a frentes fríos de invierno, y al monzón mexicano de verano (<https://smn.conagua.gob.mx/>).

Introducción

Para este resumen anual se utilizan los promedios diarios de los datos sinópticos (c/2 horas) correspondientes al período diciembre de 2024 a noviembre de 2025, obtenidos de la Estación Meteorológica Autónoma (EMA), ubicada al sur de la Bahía de La Paz (BLPZ). Esta sección analiza la evolución anual de las variables atmosféricas (Temperatura del aire, Humedad relativa, velocidad, rachas y dirección del viento y su relación con eventos climatológicos del período analizado (<https://smn.conagua.gob.mx/>), frentes fríos en invierno y durante el verano el paso de ciclones tropicales (CT). Durante el período analizado se observaron trayectorias de tormentas tropicales cerca de la punta de la península de Baja California, estas junto con canales de baja presión, generan inestabilidades atmosféricas en Baja California Sur.

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 es afectada por el paso de frentes fríos en invierno (vientos fuertes a moderados del Noroeste) y del sur y sureste durante la primavera y el verano (asociados al monzón mexicano), con precipitaciones de ligeras a fuertes asociadas al paso de ciclones tropicales durante el verano que en ocasiones generan deslaves y

cambios en la línea de costa (Turrent y Zaitzev, 2014). La bahía presenta un importante intercambio de agua con el Golfo de California a través de la boca grande en el norte y el canal de San Lorenzo al sur (Obeso-Nieblas, et al., 2004), generando los patrones de circulación durante un ciclo anual. En la BLPZ se ubica el Parque Nacional Archipiélago de la Isla Espíritu Santo, perteneciente a la red mundial de reservas de la biósfera de la UNESCO designado como Área Marina Prioritaria (SEMARNAT, 2014).

Metodología

Los datos crudos (medidos c/2 horas) asociados a las variables analizadas (Temp. aire, Hum relativa, dirección, velocidad y rachas de viento) se promediaron diariamente, se almacenan en archivos los cuales sufren un preprocesado para la detección de datos erróneos, huecos en las series, y conversión de direcciones del viento a valores en radianes para calcular las componentes U, y V del viento, posteriormente los datos se suavizan utilizando un promedio corrido (de 7 días) para su graficado en forma de series de tiempo de valores diarios. Las series se utilizan para calcular la estadística básica (valores mínimos, promedio y máximos y la máxima y mínima varianza de los vectores del viento graficados en forma de Rosa de los vientos (velocidad y la dirección del viento). Se incluye una Tabla con los valores de promedio mensual de cada variable analizada.

Resultados

La **Figura 8.1** muestra en (a) la serie de tiempo de los valores diarios de la temperatura del aire (Tair) registradas en la Estación La Paz durante el período: Diciembre, 2024 a noviembre 2025. La Tair máxima (línea en rojo, $>32.0^{\circ}\text{C}$) se observaron durante el verano y otoño (junio-septiembre, ver Tabla 1) con un valor de promedio anual de 25.5°C , (línea en negro) y temperaturas mínimas (línea en azul, 21.5°C) durante invierno (enero-marzo), con valores de 15.5°C , mostrando un aumento de la temperatura desde el mes de marzo hasta septiembre. Durante el periodo de transición (abril y mayo), se observaron caídas de la Tair y una tendencia ligera descendente durante octubre a diciembre (otoño). Los efectos de ciclones tropicales (C.T) observados en septiembre son evidentes.

El panel (b) muestra la serie diaria de la humedad relativa (Hr) durante el 2025, donde se observaron valores máximos $>77\%$, durante el verano (ver Tabla 1), valores de promedio anual de 74% y mínimos de 28% durante la invierno-primavera (febrero-junio) asociados a la temporada de sequía posterior a la temporada fría de invierno.

El panel (c) muestra los valores de rachas de viento donde se muestran valores máximos durante los meses de invierno ($>8.0\text{ m s}^{-1}$) y verano ($7-8\text{ m s}^{-1}$). Septiembre mostró un incremento asociado con el paso de C.T. Los picos máximos de rachas de viento ($>8.0\text{ m s}^{-1}$), se observaron en el invierno y verano asociados al ingreso de los frentes fríos de la temporada invernal y al cambio en la dirección de viento en primavera-verano (período

monzónico, ver Tabla 1).

El panel (d) muestra la dirección del viento diario en forma vectorial correspondiente al período anual (2024-2025) analizado. La dirección predominante del viento fue del norte y noreste durante el otoño- invierno cambiando al sur y suroeste durante la primavera y verano asociado al cambio meteorológico asociado al período del monzón mexicano (marzo-septiembre). Septiembre muestra fuertes vientos asociadas a C.T.

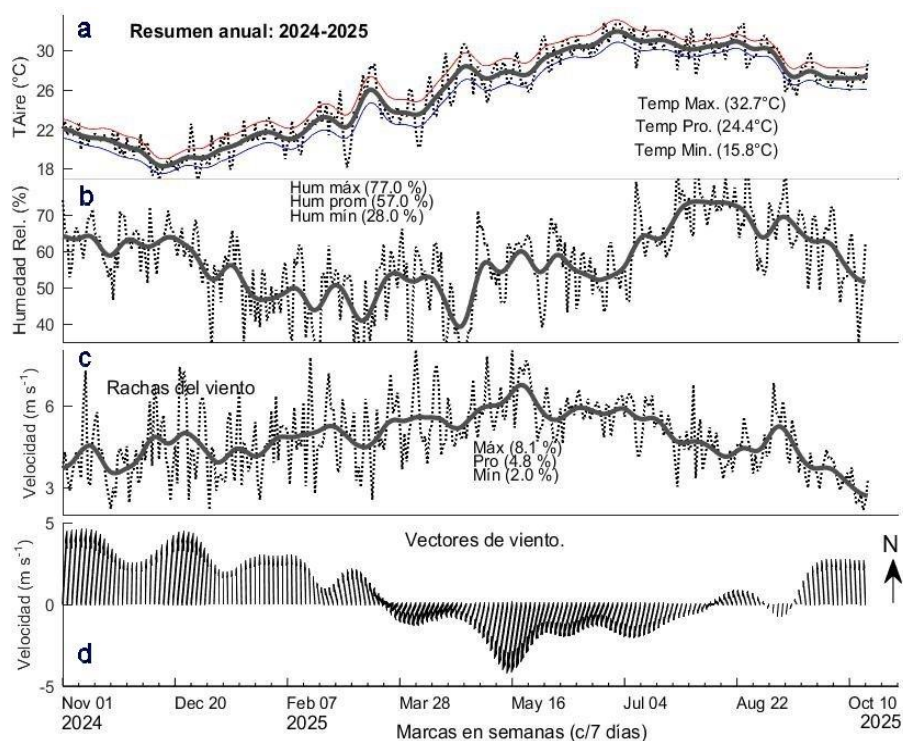


Figura 8.1: Series de tiempo de datos de promedio diario registrados en la Bahía de La Paz, cubriendo el período 01 de diciembre de 2024, al 31 de noviembre del 2025: (a) Temperatura del aire (líneas continuas suavizadas: Temp. Max, en rojo, promedio en negro y mínima en azul), (b) Humedad Relativa, (c) Rachas del viento y (d) la dirección del vector del viento. Las líneas punteadas en negro indican el valores promedio diario de los datos registrados.

La Figura 8.2 muestra en forma de rosa de los vientos y de vectores, la dirección y velocidad del viento usando promedios diarios (período diciembre-2024 a noviembre del 2025) registrados en la Bahía de La Paz. La dirección predominante, fue del 1er, y 3er, cuadrante asociadas con los periodos de invierno (frentes fríos) y verano, esto último asociado al cambio en la dirección del viento relacionada con la presencia del monzón mexicano (primavera-verano). Los vectores en rojo en la Rosa de vectores (panel derecho)

indican los ejes principales de la máxima y mínima varianza en los vectores diarios analizados.

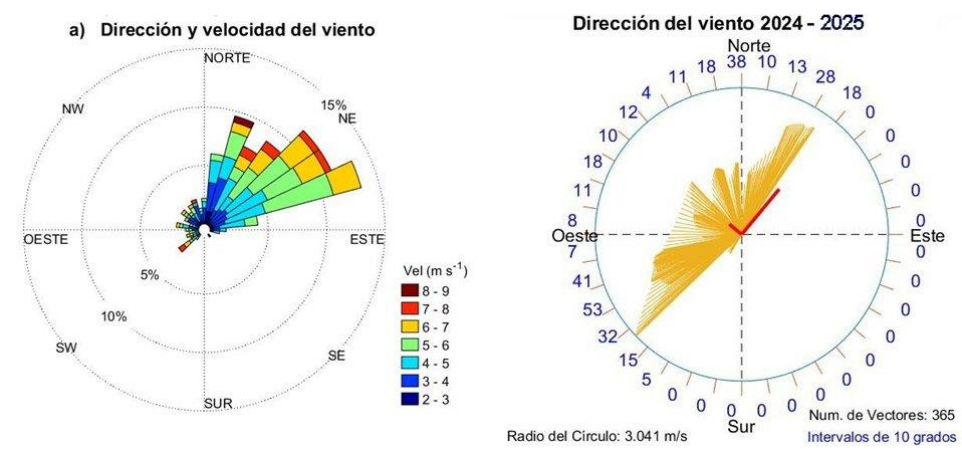


Figura 8.2: Dirección y velocidad predominante del viento (promedio diario) utilizando datos registrados en la Estación meteorológica ubicada al sur de La Bahía de La Paz. Valores diarios mostrados en forma de: a) rosa de los vientos y b) rosa de vectores (dirección predominante), los números en el círculo (b) indican el número de vectores (diarios) y la dirección predominante (cuadrantes). Los vectores en rojo indican los ejes principales promedio de máxima y mínima varianza del viento diario promedio.

La [Figura 8.3](#) muestra la Tabla 1, conteniendo los valores de Promedio mensual de los parámetros climáticos registrados al sur de la Bahía de La Paz durante el período diciembre de 2024, a noviembre del 2025. Los colores realzan los valores máximos mensuales de cada parámetro.

Promedio mensual de parámetros climáticos registrados en Bahía de La Paz, 2025												
Variables	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
T. Max °C	23.5	24.4	26.2	29.9	32.0	32.6	34.0	33.7	33.4	32.3	29.1	23.6
T. Prom. °C	19.0	20.2	20.2	22.0	23.9	26.0	27.7	30.4	30.8	30.2	28.3	21.0
T. Min. °C	15.7	16.0	18.2	17.3	19.1	23.3	26.4	27.4	26.8	24.5	24.8	18.2
Hum. Max. %	72.1	65.7	61.8	66.2	62.3	71.1	69.3	84.8	85.1	83.5	72.0	74.2
Hum. Prom. %	66.0	69.0	66.7	53.0	53.1	58.4	53.2	53.8	69.9	59.0	58.0	62.0
Hum. Min. %	51.2	32.8	28.2	27.9	28.8	39.1	43.2	46.3	54.6	49.4	35.0	46.6
Rach. Viento Max. m s ⁻¹	7.4	6.5	7.7	7.1	8.0	8.2	6.5	6.4	6.7	6.8	4.0	7.2
Rach. Viento. Prom. m s ⁻¹	4.6	4.2	5.0	4.8	5.5	6.1	5.2	6.1	5.6	5.2	3.2	4.3
Rach. Viento. Min. m s ⁻¹	2.4	2.1	2.7	2.5	3.8	4.6	4.6	3.0	3.1	3.0	2.6	2.2

Figura 8.3: Tabla con valores de Promedio mensual calculado a partir de datos diarios de los parámetros climáticos registrados al sur de la Bahía de La Paz durante el período diciembre de 2024, a noviembre del 2025. Los colores realzan los valores máximos mensuales de cada parámetro.

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>

INEGI, Encuesta Intercensal 2015; 2020: CONAPO, Proyecciones de la Población de los Municipios de México 2015-2030.

Obeso-Nieblas, M., Shirisago, B., Sánchez-Velasco, L., Gaviño-Rodriguez, 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>.

Turrent, C., Zaitsev, O., 2014. Seasonal cycle of the near-surface diurnal wind field over the Bay of La Paz, Mexico. *Bound. Meteorol.* 151, 353–371. <http://doi:10.1007/s10546-014-9908-4>

SEMARNAT, 2014. Programa de manejo: Programa de manejo del Parque Nacional Zona Marina Archipiélago Espíritu Santo. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México.

9. Clima en el Valle de Santo Domingo

José Denis Osuna Amador
osuna.jose@inifap.gob.mx

Resumen | Con el propósito de analizar las variables de clima del mes de noviembre y diciembre de 2025, así como resumir el comportamiento anual del clima y contrastar 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 una temperatura promedio para los meses de noviembre y diciembre de 22.8 y 22.0 °C, respectivamente; estos valores resultaron con anomalía positiva de 1.5 y 3.8 °C, con respecto a datos históricos. Por su parte, los promedios mensuales de las temperatura máxima fueron de 31.8 y 30.7 °C, mientras que el promedio de las temperaturas mínimas alcanzaron los 13.8 y 13.4 °C, para noviembre y diciembre, respectivamente. La evapotranspiración potencial (ET_o) promedio para los meses de noviembre y diciembre fueron de 4.0 y 3.5 mm/día, de manera correspondiente. En relación al comportamiento anual del clima, la primavera fue ligeramente más fresca (anomalías negativas de 0.7 a 1.3 °C), mientras que el verano (anomalías positivas de 0.7 a 1.0 °C) y el otoño (anomalías positivas de 0.5 a 3.8 °C) fueron ligeramente más cálidos. La precipitación anual acumulada fue de 126.4 mm, resultando 20 % menor que el promedio anual histórico.

Introducción

El monitoreo de las variables climáticas en una región es relevante para múltiples actividades, entre estas, la agricultura. Al conocer el comportamiento del clima se puede optimizar la producción de cultivos de interés. Tener acceso a los registros del clima permite identificar fechas adecuadas de siembra que favorezcan el desarrollo de las plantas, además de ser un insumo valioso en la toma de decisiones de manejo como la aplicación del riego, la aplicación de controles de plagas, enfermedades y malezas. Lograr lo anterior, contribuye al incremento de la productividad y rentabilidad de la agricultura. Citamos la frase popular *“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 de la utilización del conocimiento resultante en 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 noviembre y diciembre de 2025, a la vez que se realiza un breve resumen anual del clima derivado de información proporcionada 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

Para el presente análisis, se utilizaron los registros diarios de temperaturas máximas y mínimas, así como la humedad relativa, insolación, velocidad del viento y valores de precipitación correspondientes a cada uno de los meses del año 2025. Con la información descrita, se estimaron las temperaturas promedios para los meses, a la par de identificar los días en el que se presentaron la temperatura más alta y la más baja (para noviembre y diciembre). Asimismo, se realizó una comparativa entre las temperaturas presentadas en los meses de noviembre y diciembre de 2025 con respecto a registros históricos de los mismos meses (periodo 1982-2023), reportados en el inventario de registros por década de la misma estación. Asimismo, se estimó la evapotranspiración potencial (ETo) para cada día de los meses de noviembre y diciembre de 2025. La ETo 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 ETo puede contribuir a la optimización del riego en cultivos agrícolas y de la producción de alimentos, además de generar una idea 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 ETo se utilizó el software ETo Calculator versión 3.12 (FAO, 2025). Las variables empleadas en el cálculo de la ETo 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 los meses de noviembre y diciembre de 2025

La [Figura 9.1](#) muestra el comportamiento diario de la temperatura y humedad relativa en el año 2025. Para el caso de noviembre, el día 02 del mes se presentó la temperatura más alta con un registro de 38.2 °C, mientras que los días 21 y 22 se registraron las temperaturas más bajas con 9.0 °C. En el caso de diciembre, la temperatura más alta se presentó el día 22 con un registro de 34 °C, y el día 12 del mes se presentó la temperatura más baja con 8.6 °C. En cuanto al promedio de la humedad relativa máxima para noviembre alcanzó el 96.4 %,

mientras que la humedad relativa mínima promedio 38.6%; los valores de esta variable para diciembre fueron de 93.8 y 41.3 %, respectivamente.

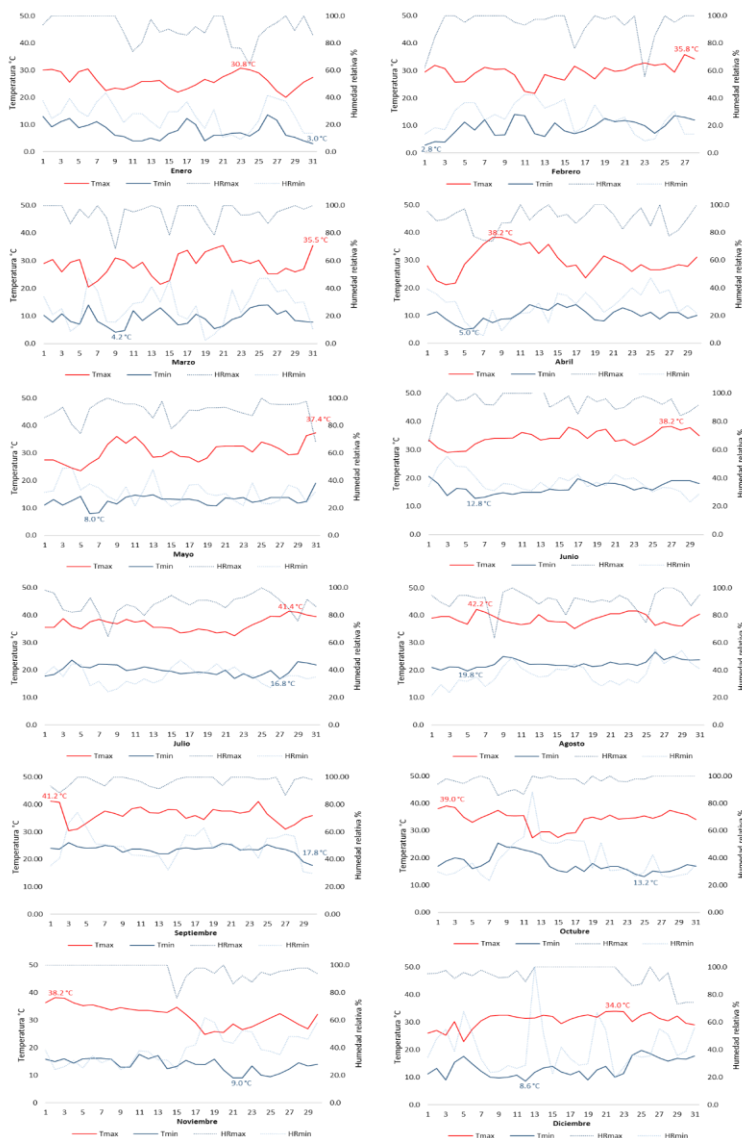


Figura 9.1: Comportamiento de la temperatura y humedad relativa en el año 2025. Tmax= Temperatura máxima. Tmin= Temperatura mínima. HRmax= Humedad relativa máxima. HRmin= Humedad relativa mínima. Los valores en rojo y azul dentro de cada mes, indican el valor más alto y el más bajo de las temperaturas máxima y mínima, respectivamente.

Comportamiento de las temperaturas en noviembre y diciembre de 2025 vs registros históricos

Los meses de noviembre y diciembre se presentaron temperaturas promedio de 22.8 y 22.0 °C, respectivamente (Figura 9.2a), valores que se ubicaron 1.5 y 3.8 °C por arriba de los promedio históricos (datos 1982-2023) de cada mes. Asimismo, al comparar los promedios mensuales de la temperatura máxima y mínima con respecto a los promedios históricos, la primera presentó una anomalía positiva de 1.2 y 3.7 °C, mientras que la segunda presentó anomalías de 1.7 y 4.1 °C. (Figura 9.2b). En relación al comportamiento anual del clima, la primavera fue ligeramente más fresca (anomalías positivas de 0.7 a 1.3 °C), mientras que el verano (anomalías positivas de 0.7 a 1.0 °C) y el otoño (anomalías positivas de 0.5 a 3.8 °C) fueron ligeramente más cálidos.

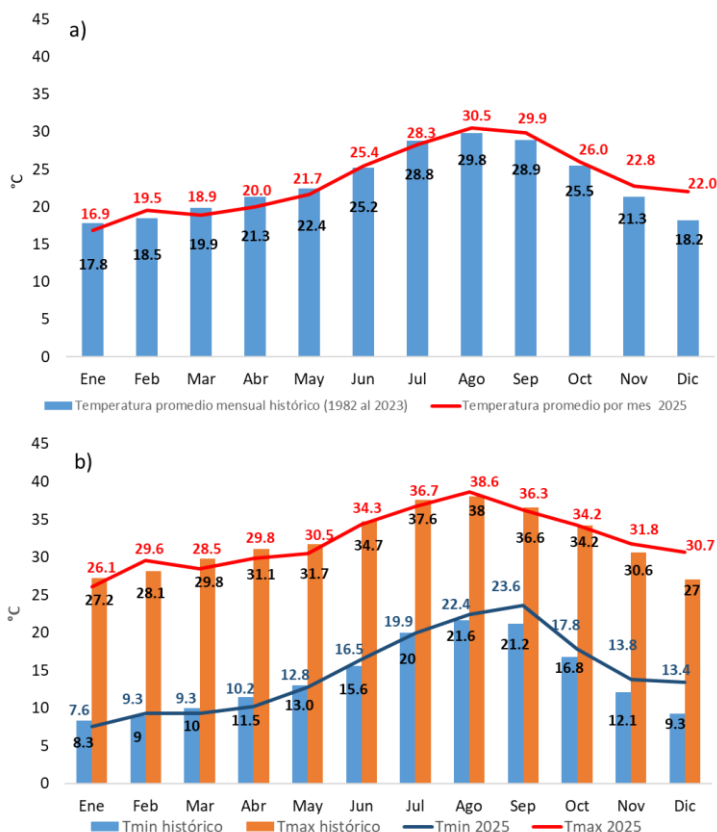


Figura 9.2: a) Comparativo de los promedios mensuales de la temperatura media (periodo 1982-2023) con respecto a los registrados al mes de diciembre de 2025. b) Comparativo entre promedios de temperaturas máximas y mínimas históricas (1982-2023) con respecto a promedios presentados al mes de diciembre de 2025. Tmax= Temperatura máxima. Tmin= Temperatura mínima.

Evapotranspiración potencial (ETo) en los meses de noviembre y diciembre de 2025

La Figura 9.3a y Figura 9.3c muestran el comportamiento de las variables a partir de las cuales se calculó la ETo para cada día de noviembre y diciembre 2025, mientras que la Figura 9.3b y Figura 9.3d muestran los valores de ETo para cada día de los mismos meses; el valor promedio de esta variable para noviembre fue de 4.0 mm/día con una desviación estándar de 1.19 mm/día; para diciembre el promedio fue de 3.5 mm/día con una desviación estándar de 0.83 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 en noviembre y diciembre fue de 40 ± 11.9 y 35 ± 8.3 metros cúbicos por hectárea, respectivamente; 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.

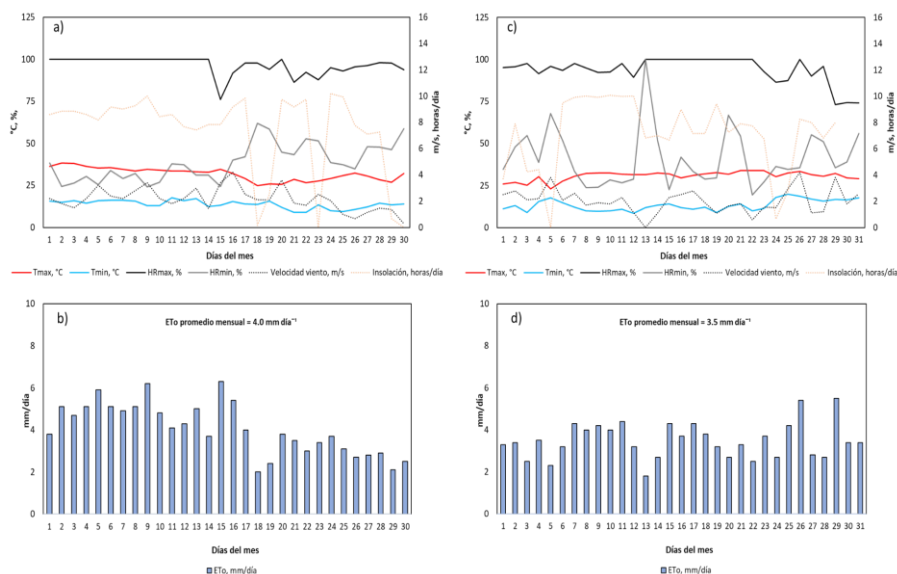


Figura 9.3: a) Comportamiento de la temperatura máxima (Tmax), temperatura mínima (Tmin), humedad relativa máxima (HRmax) y mínima (HRmin), velocidad del viento e insolación en el mes de noviembre de 2025. b) Comportamiento de la evapotranspiración potencial (ETo) para el mes de noviembre de 2025. c) 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 diciembre de 2025. d) Comportamiento de la evapotranspiración potencial (ETo) para el mes de diciembre de 2025.

Precipitación acumulada

Durante el mes de noviembre no se registró precipitación, mientras que en diciembre se

registraron tres días con precipitación ligera acumulándose en el mes un total de 9.8 mm (Figura 9.4). Dado que los promedios históricos de la estación para los meses de noviembre y diciembre son de 9.3 y 18.8 mm (Ruíz et al., 2006), estos presentaron anomalías negativas de 9.3 y 9.0 mm, respectivamente. En lo correspondiente a la precipitación anual acumulada fue de 126.4 mm, resultando 20 % menor que el promedio anual histórico.

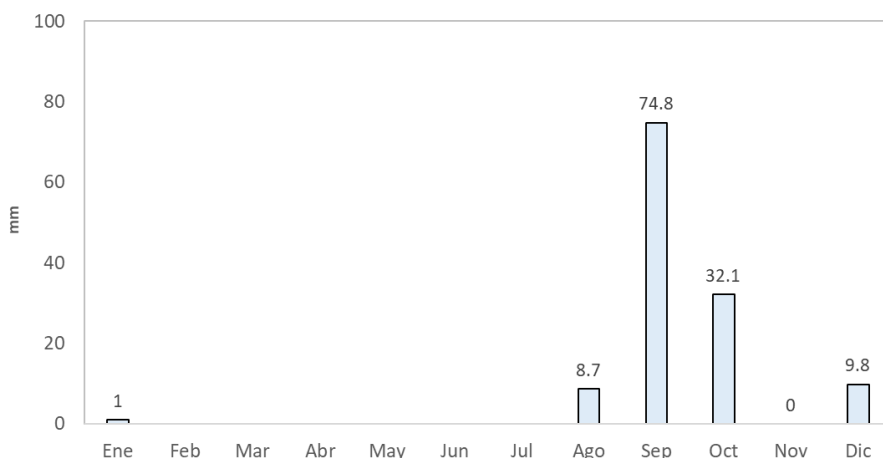


Figura 9.4: Precipitación acumulada por mes durante el año 2025.

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>
- Ruíz C., J. A., Medina G., G., Meza S., R., Díaz P., G., Serrano A., V. 2006. Estadísticas climatológicas del estado de Baja California Sur (periodo 1961-2003). CIRNO-INIFAP. 267p.
- SIAP (Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2024a. Histórico de avance de siembras y cosechas. Disponible en: 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>

10. Sistemas frontales

Luis Manuel Farfán Molina
farfan@cicese.edu.mx

Resumen | En esta sección del boletín se ilustran patrones de frecuencia asociada al desarrollo de sistemas frontales que se presentaron durante los meses de noviembre y diciembre sobre México. De acuerdo al Servicio Meteorológico Nacional y al Departamento de Meteorología de la Fuerza Aérea Mexicana, en promedio, ingresan al país alrededor de 50 frentes fríos por temporada (septiembre a mayo).

Los meses de noviembre y diciembre tienden a ser activos en la cuenca del Océano Pacífico oriental (Osorio Tai, 2015), además de presentar algunos casos en que los sistemas frontales se desplazan sobre la península de Baja California. En algunos casos los sistemas frontales se desplazan por el Océano Pacífico para internarse en el noroeste del país.

Introducción

Los frentes fríos son eventos meteorológicos que se presentan durante los meses templados del año sobre Norte América. Regularmente, se desplazan en circulaciones de oeste a este con una componente de norte a sur. Van acompañados de disminución de la temperatura del aire y de humedad además de cambios bruscos en la dirección y magnitud del viento (moderado a intenso). La cercanía de un frente frío a una región poblada puede representar un riesgo relevante para la infraestructura y para el medio ambiente. Aunque también puede ser de beneficio en las actividades agrícolas y ganaderas entre otras ramas de la economía productiva. Esta es una de las razones por lo que es importante documentar el comportamiento espacial y temporal de este tipo de sistemas meteorológicos.

Área de estudio

El Servicio Meteorológico Nacional de México (SMN, <https://smn.conagua.gob.mx>) mantiene un monitoreo de forma constante de los sistemas frontales que ocurren sobre el país y sus regiones oceánicas adyacentes tanto sobre el Océano Pacífico como en el Golfo de México y Mar Caribe.

Metodología

Se utilizan los reportes diarios del SMN sobre la identificación y conteo de frentes fríos. De forma complementaria, se utilizan los mapas elaborados por el Centro Nacional de Huracanes (<https://www.nhc.noaa.gov/data/tcr/index.php?season=2025&basin=epac>) así como los reportes de lluvia acumulada observada por la red de estaciones del SMN (<https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/normales-climatologicas-por-estado?estado=bcs>).

Resultados

Durante los meses de noviembre y diciembre, se presentaron 14 sistemas frontales: 6 en noviembre (frentes fríos número 12 al 17; SMN 2025a) y 8 en diciembre (número 18 al 25; SMN 2025b). Pocos de ellos lograron desplazarse sobre la península de Baja California (Figura 10.1); la mayor parte de los frentes lo hicieron por el norte y este del país. El frente frío de 12 de octubre es representativo de condiciones en las que un sistema tropical (Raymond) interactúa con un frente frío y que en este caso causó lluvias ligeras en Baja California y moderadas en Baja California Sur.

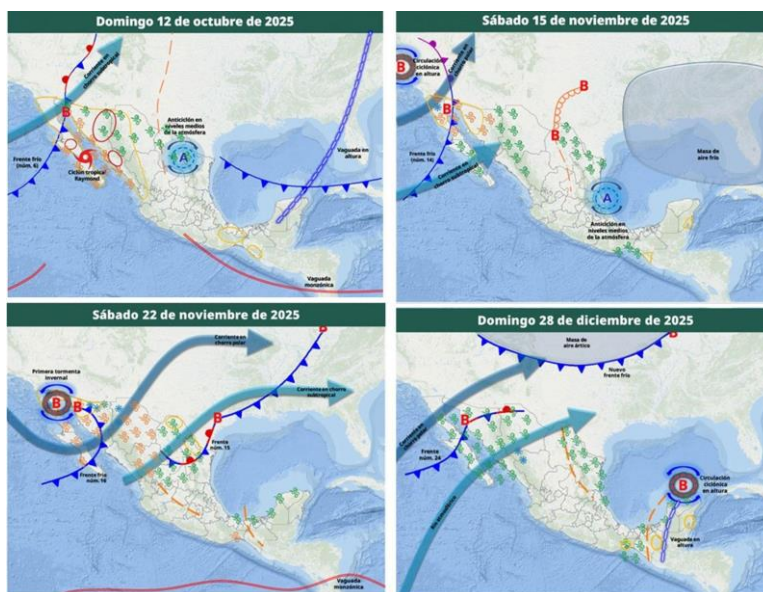
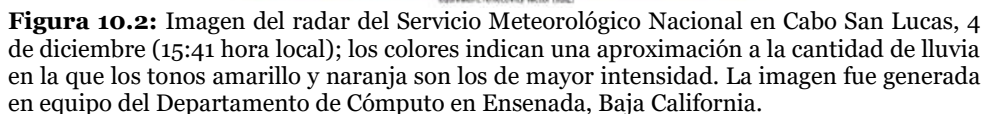


Figura 10.1: Representación gráfica de condiciones del tiempo y sistemas meteorológicos relevantes en octubre, noviembre y diciembre de 2025. Cada una de las cuatro componentes de esta figura se asocia a un frentes fríos (#6 de 11–13 octubre, #14 14–17 noviembre, #16 21–29 noviembre y #24 26–28 diciembre) sobre el noroeste de México. Elaborada con material proporcionado por el Servicio Meteorológico Nacional.

Un evento notable en los primeros días de diciembre fue la presencia de lluvia en varias localidades del estado durante el periodo 4-7 de diciembre. La Figura 10.2 presenta la observación de lluvia mediante el radar del Servicio Meteorológico Nacional en Cabo San Lucas. De esta forma fue posible determinar la distribución espacial e intensidad del campo de lluvia así como la estructura mientras la circulación asociada a este evento. Las acumulaciones totales de lluvia incluyeron 42.4 mm en La Ribera, 40.3 mm en San Antonio y 19.6 mm en La Paz entre otros reportes.



Osorio Tai, M.E. (2015). "Estudio de la intensificación de los vientos en el Puerto de Veracruz mediante modelación numérica". (Tesis de Maestría). Universidad Nacional Autónoma de México, México, <https://repositorio.unam.mx/contenidos/363815>

SMN (2025b). "Reporte del clima en México: diciembre 2025". <https://smn.conagua.gob.mx/tools/DATA/Climatolog%C3%ADa/Diagn%C3%B3stico%20Atmosf%C3%A9rico/Reporte%20del%20Clima%20en%20M%C3%A9xico/RC-Diciembre25.pdf>

11. Variabilidad de la temperatura del aire a 10 m y su relación con el PDO en el Pacífico y el Golfo de California (1980-2025), con énfasis en 2025

Carlos Robinson
robmen@unam.mx

Introducción

La temperatura del aire a 10 metros es un indicador fundamental para comprender la interacción entre el océano y la atmósfera en las zonas costeras, ya que integra tanto el intercambio de calor con la superficie del mar como la influencia de la circulación atmosférica regional, incluyendo los vientos y otros patrones meteorológicos. Su variabilidad permite identificar cambios estacionales, interanuales y decadales, así como evaluar la respuesta regional a fenómenos climáticos de gran escala, como la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO) y El Niño–Oscilación del Sur.

En el noroeste de México, el océano Pacífico y el Golfo de California presentan contrastes marcados en su comportamiento térmico y atmosférico, asociados a diferencias en la dinámica oceánica, la ventilación, la geometría de la cuenca y la capacidad de almacenamiento de calor. Mientras que el Pacífico abierto refleja principalmente la señal de la variabilidad de gran escala, el Golfo de California, por su carácter semi-cerrado, responde de manera más intensa y variable a los forzamientos atmosféricos regionales.

En este capítulo se analiza la variabilidad de la temperatura del aire a 10 m y de la presión atmosférica, así como su relación con el PDO, utilizando datos mensuales del reanálisis MERRA-2 para el periodo 1980–diciembre de 2025. Se presenta una visión de la evolución de largo plazo y se pone énfasis particular en el año 2025, cuando el PDO alcanzó un mínimo histórico y posteriormente mostró señales de recuperación, permitiendo contextualizar los cambios recientes dentro de la variabilidad climática decadal del Pacífico oriental.

Metodología

Se utilizaron datos mensuales de temperatura del aire a 10 m (T10M) del reanálisis MERRA-2 (producto M2TMNXSLV v5.12.4). Se definieron dos regiones de estudio: el océano Pacífico frente a la península de Baja California, en su porción centro-sur, y el Golfo de California (Figura 11.1).

Para cada región se generaron climatologías mensuales, promedios regionales y anomalías mensuales. Las series regionales se construyeron a partir de la mediana mensual de las celdas seleccionadas, con el fin de reducir la influencia de valores extremos. Asimismo, se analizó la relación entre las anomalías de temperatura y presión con el PDO, tanto en la escala de largo plazo como en el detalle mensual del año 2025

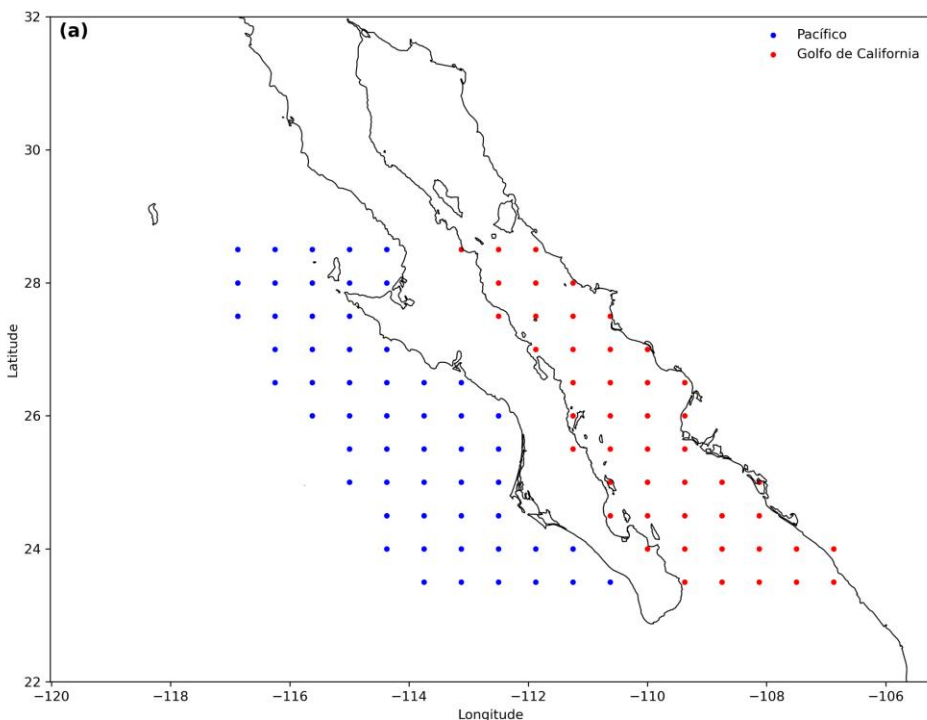


Figura 11.1: Ubicación de las celdas de MERRAS en el Golfo de California y la costa Oeste de la Península de Baja California.

La Figura 11.1 muestra la ubicación de las celdas de MERRA-2 utilizadas en el análisis, diferenciando claramente el Pacífico y el Golfo de California, lo que permite evaluar de manera comparativa el comportamiento regional.

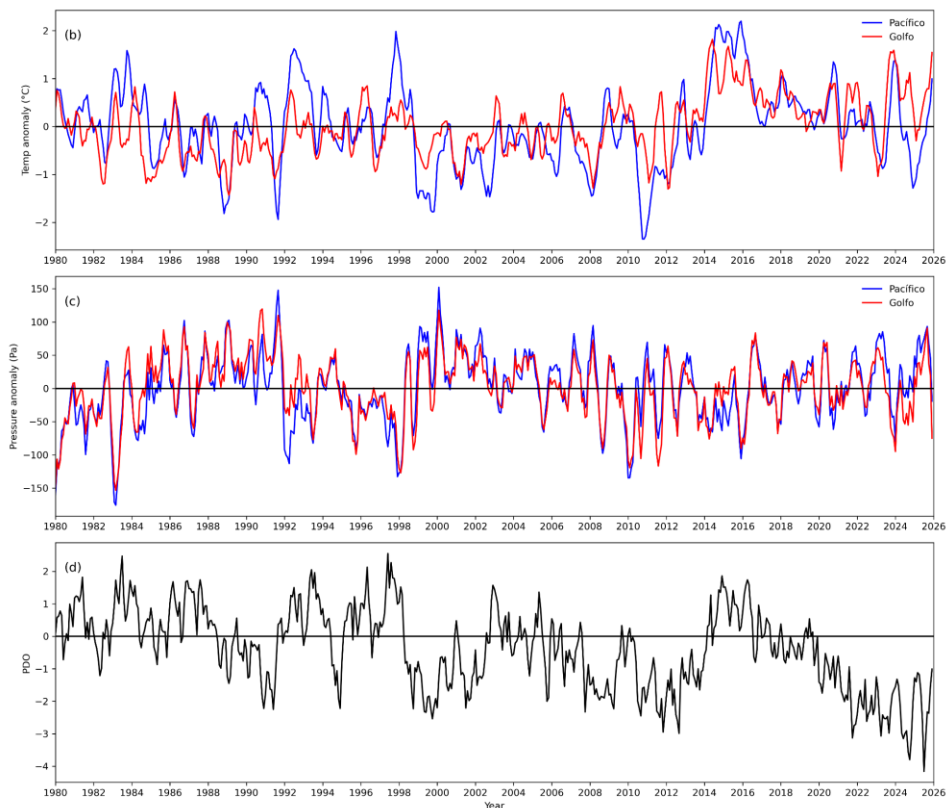


Figura 11.2: Series temporales regionales para el periodo 1980–diciembre de 2025 (b) Anomalías de la temperatura del aire a 10 m (°C) promediadas regionalmente para el Pacífico (azul) y el Golfo de California (rojo), suavizadas mediante una media móvil de cuatro meses (MA4). (c) Anomalías de la presión atmosférica (Pa) para ambas regiones, también suavizadas con una media móvil de cuatro meses (MA4). (d) Evolución mensual del Índice de la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO). La línea horizontal indica el valor cero en cada panel. Se observa un mínimo histórico del PDO en julio de 2025, seguido por un cambio de tendencia hacia valores menos negativos, en concordancia con la variabilidad térmica y atmosférica regional.

En la [Figura 11.2b](#) se observa la evolución de las anomalías de temperatura desde 1980 hasta diciembre de 2025. Ambas regiones presentan una tendencia positiva de largo plazo, más evidente a partir de la década de 2010. El Golfo de California muestra una mayor amplitud y variabilidad que el Pacífico abierto, lo que sugiere una respuesta regional más intensa a los forzamientos atmosféricos recientes. Las anomalías de presión atmosférica ([Figura 11.2c](#)) no presentan una tendencia lineal clara a lo largo del periodo analizado, sino una alta variabilidad interanual, reflejando principalmente ajustes dinámicos de la circulación atmosférica. Al igual que en la temperatura, la variabilidad es más marcada en el Golfo de California.

La [Figura 11.3d](#) muestra la evolución del PDO, el cual alterna entre fases positivas y negativas a lo

largo del periodo 1980–2025. Destaca un mínimo absoluto en julio de 2025 (PDO = -4.16), seguido por un cambio de tendencia y una recuperación progresiva hacia finales del año, indicando una posible transición de fase decadal. Las [Figura 11.3e-g](#) presentan el comportamiento mensual durante 2025. A pesar de que el PDO se mantiene en valores negativos durante gran parte del año, las anomalías de temperatura son mayormente positivas, especialmente en el Golfo de California, lo que evidencia un desacoplamiento parcial entre la señal decadal del PDO y la respuesta térmica regional. Las anomalías de presión muestran fluctuaciones mensuales pronunciadas, sin establecer un régimen persistente de alta o baja presión, mientras que el PDO confirma el mínimo de julio y su posterior recuperación.

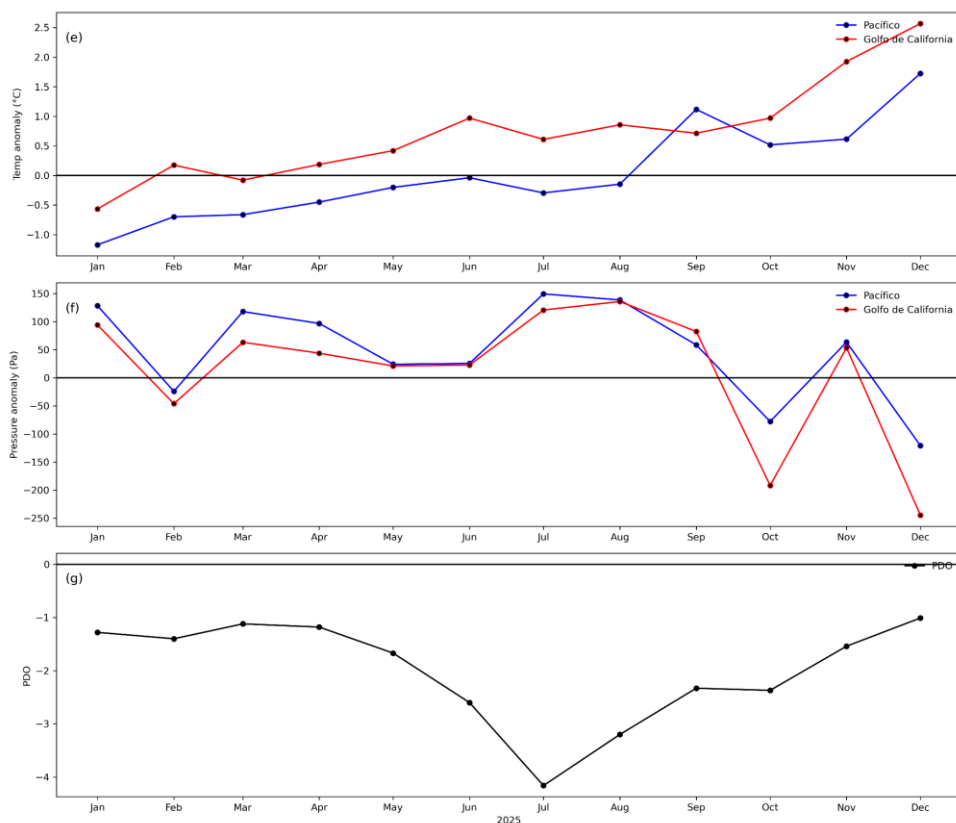


Figura 11.3: Variación mensual durante 2025 de las variables analizadas para el Pacífico y el Golfo de California (e) Anomalías mensuales de la temperatura del aire a 10 m (°C), con incremento hacia el otoño–invierno y valores generalmente mayores en el Golfo de California. (f) Anomalías mensuales de la presión atmosférica (Pa), mostrando una marcada variabilidad intraanual y diferencias entre regiones, con episodios contrastantes en el segundo semestre. (g) Evolución mensual del Índice de la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO), con un mínimo pronunciado en julio de 2025 y recuperación hacia finales del año.

Las [Figura 11.3e-g](#) presentan el comportamiento mensual durante 2025. A pesar de que el

PDO se mantiene en valores negativos durante gran parte del año, las anomalías de temperatura son mayormente positivas, especialmente en el Golfo de California, lo que evidencia un desacoplamiento parcial entre la señal decadal del PDO y la respuesta térmica regional. Las anomalías de presión muestran fluctuaciones mensuales pronunciadas, sin establecer un régimen persistente de alta o baja presión, mientras que el PDO confirma el mínimo de julio y su posterior recuperación.

Conclusiones

El análisis integrado de temperatura, presión atmosférica y PDO para el periodo 1980–diciembre de 2025 muestra que, aunque el PDO continúa modulando la variabilidad decadal del sistema, la señal térmica regional está cada vez más dominada por un calentamiento persistente de fondo. El Golfo de California responde de manera más intensa y variable que el Pacífico abierto, reflejando su carácter regional y su sensibilidad a los forzamientos.

BOLETÍN CLIMÁTICO DE BCS

AÑO 2 | NÚMERO 1 | ENERO 2026

CONTENIDO

PRESENTACIÓN

RESUMEN DE 2025

NOVEDADES

NIVEL DEL MAR

TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL
MAR PRODUCTIVIDAD PRIMARIA Y
ALTIMETRÍA SATELITAL

PAISAJES PELÁGICOS

ONDAS DE CALOR MARINAS

MONITOREO SATELITAL DE FLORECIMIENTOS ALGALES

VIENTO (VTO) IN SITU

CONDICIONES METEOROLÓGICAS EN LA BAHÍA DE LA PAZ

CLIMA EN EL VALLE DE SANTO DOMINGO

CICLONES TROPICALES

TEMPERATURA DEL AIRE EN EL GOLFO DE CALIFORNIA

Conecta con nosotros



lab_servant octropicalservant cicese ualp

