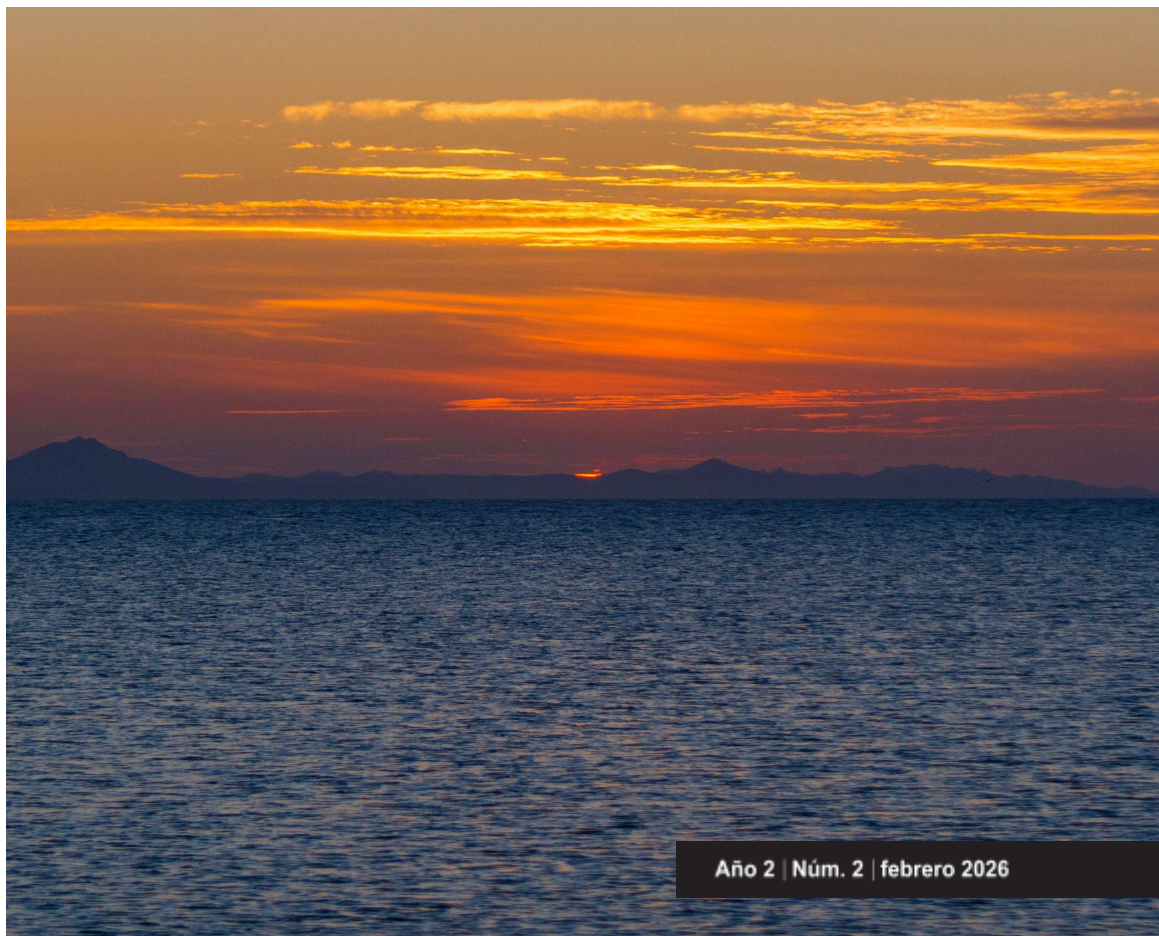


BOLETÍN CLIMÁTICO DE BCS

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



Fotografía de portada: Última luz sobre la Bahía de La Paz captada desde Isla Cerralvo. Nikon D7100 | 55–300mm | 1/1000 | f/4.5 | ISO 400. Autor: Daniel Aguirre Ayala @dan_drk.

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 Saldívar-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

Dr. Emmanuel Romero Quintero - CICESE-UALP

Dra. (c) Amelia Sánchez Pérez - IPN-CICIMAR



Laboratorio

SERVANT



BOLETÍN CLIMÁTICO DE BCS, año 2, núm. 2, febrero 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 2 | febrero 2026

DOI: pendiente

Novedades del clima regional

Contenido

Presentación	3
1. Introducción	5
2. Nivel del mar absoluto	6
Armando Trasviña Castro	
3. Temperatura Superficial del Mar, Productividad Primaria y Altimetría satelital	14
Eduardo González Rodríguez	
4. Paisaje Pelágico	24
Romeo Saldivar Lucio	
5. Ondas de calor marinas	30
Alejandro Ramos-Rodríguez	
6. Actividad de mesoescala: Remolinos y frentes térmicos	40
Emmanuel Romero, Amelia Sánchez-Pérez	
7. Monitoreo satelital de florecimientos algales	50
Cotsikayala Pacheco Ramírez	
8. Viento (VTO) in situ	56
Jorge Cortés Ramos	
9. Condiciones meteorológicas registradas en La Bahía de La Paz	61
Hugo Herrera Cervantes	
10. Clima en el Valle de Santo Domingo	66
José Denis Osuna Amador	
11. Sistemas frontales	72
Luis Manuel Farfán Molina	
12. 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	75
Carlos Robinson	

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).

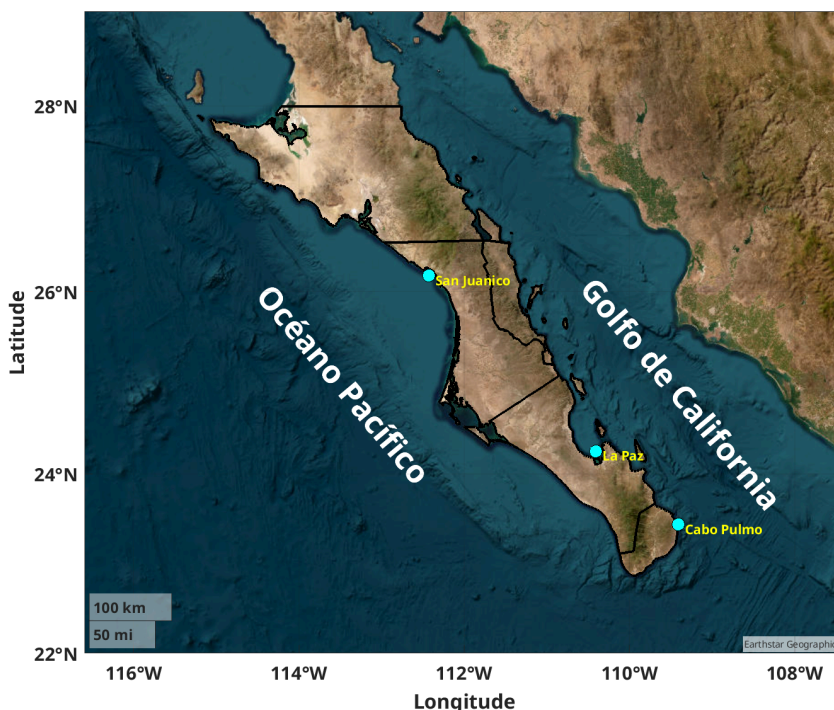


Figura 1.1: Océano costero de Baja California Sur, dentro de la región oceanográfica del Pacífico Tropical Oriental y de la Corriente de California. Los círculos de colores marcan sitios donde presentamos series de tiempo de diferentes variables.

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 Hovmoller), abarcan desde la entrada al Golfo de California (23 latitud N) hasta el Alto Golfo de California, mientras que por la costa del Pacífico, llegan hasta el puerto de Ensenada (30 latitud N).

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

Metodología

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

Esta información se descarga de dos bases de datos:

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

Product ID SEALEVEL_GLO_PHY_L4_MY_008_047

https://data.marine.copernicus.eu/product/SEALEVEL_GLO_PHY_L4_MY_008_047/description

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

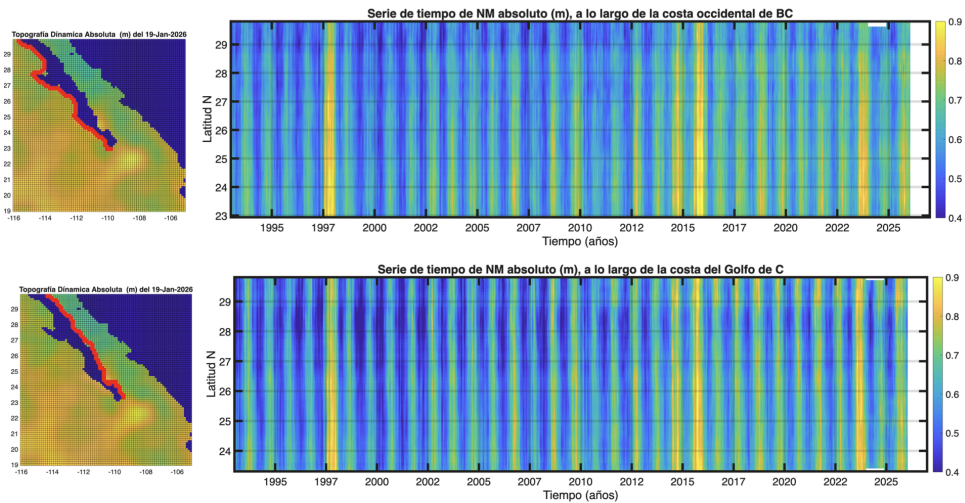


Figura 2.1: Evolución del nivel del mar (NM absoluto) a lo largo de las dos costas de la península de BC desde enero de 1993 hasta enero de 2026. Arriba: costa occidental; abajo: costa del Golfo de California.

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).

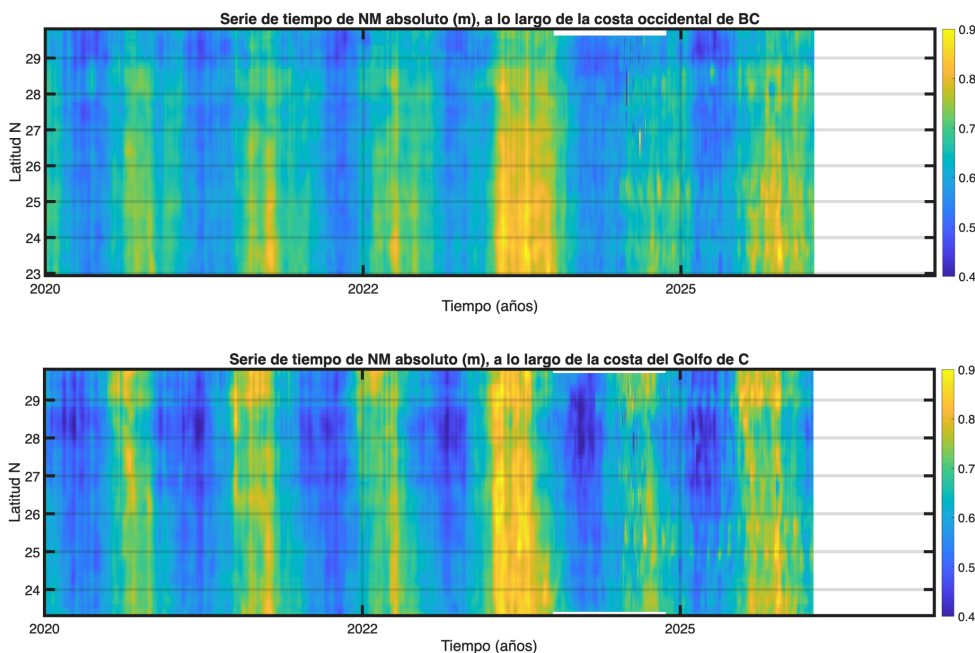


Figura 2.2: Los últimos años de la evolución del nivel del mar (NM absoluto) a lo largo de las dos costas de la península de BC desde enero de 2020 hasta enero de 2026. Arriba: costa occidental; abajo: costa del Golfo de California.

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.

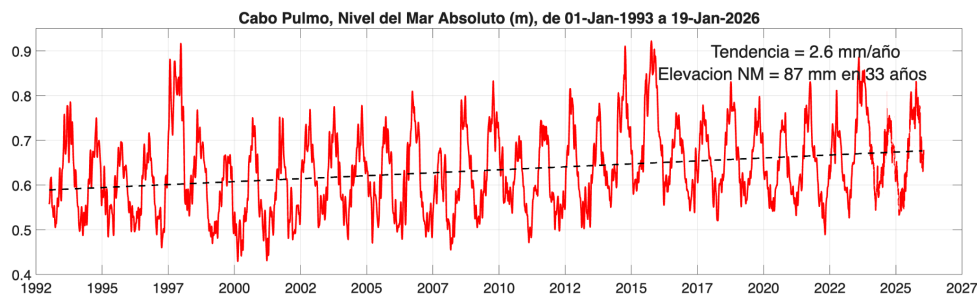


Figura 2.3: Nivel del mar absoluto (m) en Cabo Pulmo, BCS. Inicia en enero de 1993 y termina en enero de 2026. Incluye el nivel del mar con referencia al geode y la tendencia de largo período debida al calentamiento global. Este sitio representa la variabilidad de la entrada al Golfo de California.

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.

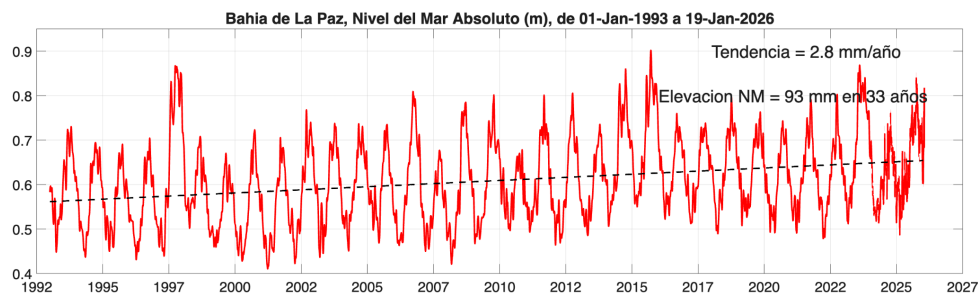


Figura 2.4: Nivel del mar absoluto (m) en la bahía de La Paz, BCS. Inicia en enero de 1993 y termina en enero de 2026. Incluye el nivel del mar con referencia al geode y la tendencia de largo período debida al calentamiento global.

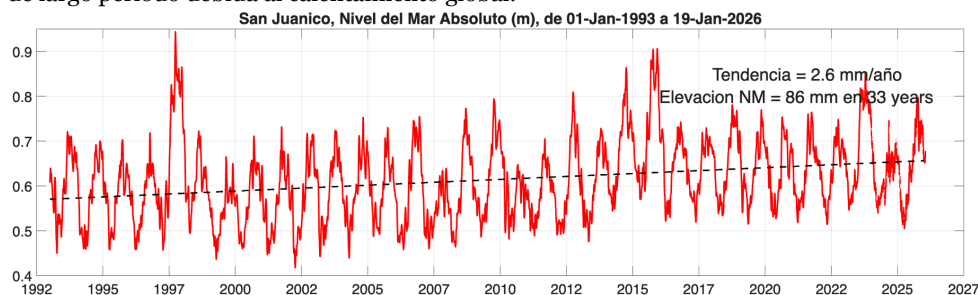


Figura 2.5: Nivel del mar absoluto (m) en la San Juanico, BCS, costa pacífico norte de BCS. Inicia en enero de 1993 y termina en enero de 2026. Incluye el nivel del mar con referencia al geode y la tendencia de largo período debida al calentamiento global. Este sitio representa la variabilidad del Golfo 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-g-rises-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 durante enero de 2026 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 enero de 2026, para los sitios Cabo Pulmo, Bahía de La Paz y San Juanico ([Figura 1.1](#)). Los resultados sinópticos se presentan en mapas de distribución de las condiciones promedio mensuales 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 -106 de longitud y 22 33 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 20 de febrero 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 20 de febrero 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 $10\text{--}20$ 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 20 de febrero 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:

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

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 enero de 2026 se presentan en la [Figura 3.1](#). El panel A muestra las condiciones promedio de nivel del mar, en la costa occidental de la península, dominada principalmente por valores entre 0.6 – 0.7 m de los 26 a los 33 °N y entre 0.7 – 0.8 m de 22 a 26 °N. Dentro del Golfo de California los valores se ubicaron entre 0.5 – 0.6 m de los 24 a los 31 °N, y de 0.6 – 0.7 de los 22 a los 24 °N. Ese mismo panel muestra las corrientes geostroficas (CORR), que en la costa occidental muestran un flujo dominante hacia el sur, con remolinos a lo largo de toda la península, dentro del golfo la circulación estuvo dominada por remolinos, pero en la boca se distingue una corriente con flujo hacia el norte, en las costas de Sinaloa. Al sur, en la punta de la península se observa el remolino más intenso. Las velocidades de las corrientes se ubicaron entre 0.05 y 0.6 m s⁻¹. El panel B muestra las condiciones mensuales de las anomalías del nivel de mar, que en toda la región fueron positivas, tanto en el golfo como en la costa occidental, entre 0 y 0.1 m, destacan círculos rojos que representan los remolinos presentes en la zona, con valores entre 0.1 – 0.2 m.

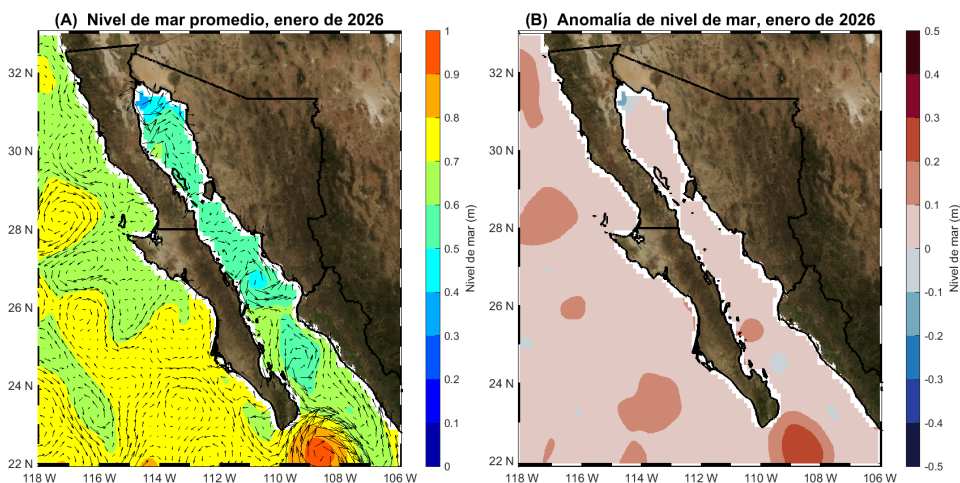


Figura 3.1: Condiciones mensuales durante enero de 2026. Panel A, de nivel de mar (ADT) y corrientes geostróficas (CORR) en forma de flechas (sin escala). Panel B, anomalías de nivel del mar.

Productividad Primaria (PP). Las condiciones de PP durante enero de 2026 se presentan en la [Figura 3.2](#). El panel A muestra los niveles de productividad primaria (PP) promedio, en la costa occidental dominada por valores entre $100 - 1000 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, estando estos últimos en la zona costera; dentro del golfo, los valores máximos se observan en la costa continental en las costas de Sinaloa y sur de Sonora, con valores de hasta $3000 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, la parte central del golfo estuvo dominada por valores entre 1000 y $1500 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, la región en la cabeza del golfo presentó valores entre 1500 y $2000 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. El panel B muestra las anomalías mensuales, dominadas por valores negativos entre $-500 - 0 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ frente a la costa occidental y la mitad sur dentro del golfo; la parte norte del golfo al norte de los 28° presentó valores entre 0 y $1000 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$.

Temperatura Superficial del Mar (TSM). Las condiciones de TSM enero de 2026 se muestran en la [Figura 3.3](#). El panel A muestra las condiciones promedio, la TSM se ubicó entre 16 y 26°C en toda la región. Siendo la región norte frente a la costa occidental la que presentó los valores mínimos. Tanto dentro del golfo, como frente a la costa occidental, se nota una franja latitudinal entre los 26 y 27°N , con valores al norte de esta franja por debajo de los 20°C , hacia el sur los valores se ubican entre los $20 - 26^\circ \text{C}$. En la parte sur, entre 22 y 23°N se presentan las temperaturas máximas, entre $25 - 26^\circ \text{C}$. El panel B muestra las anomalías promedio, dominadas por valores positivos en toda la región, con valores de hasta $+3^\circ \text{C}$, tanto dentro del golfo como frente a la costa occidental. Destaca sobre manera que los valores mínimos de las anomalías fueron de $+0.26^\circ \text{C}$.

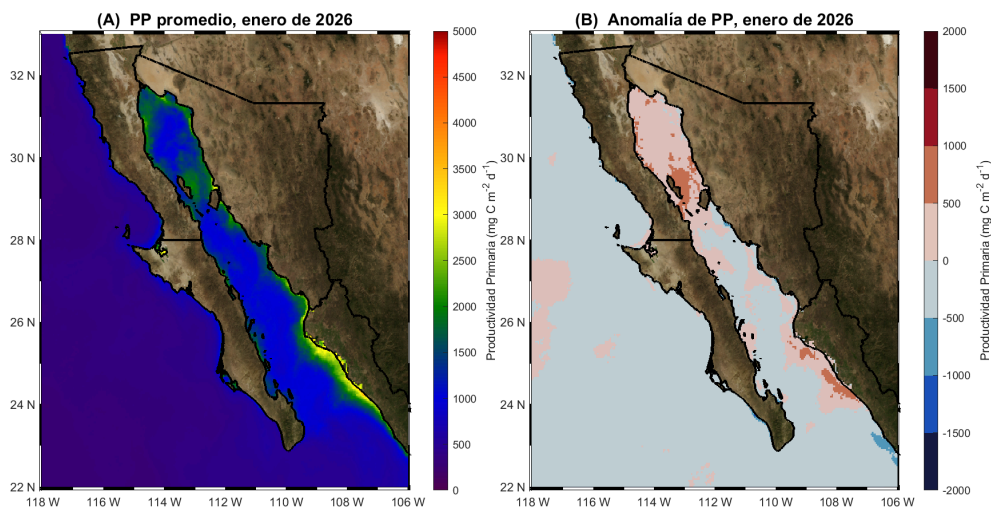


Figura 3.2: Condiciones mensuales durante enero de 2026. Panel A, promedio de productividad primaria (PP); panel B, anomalías promedio de PP.

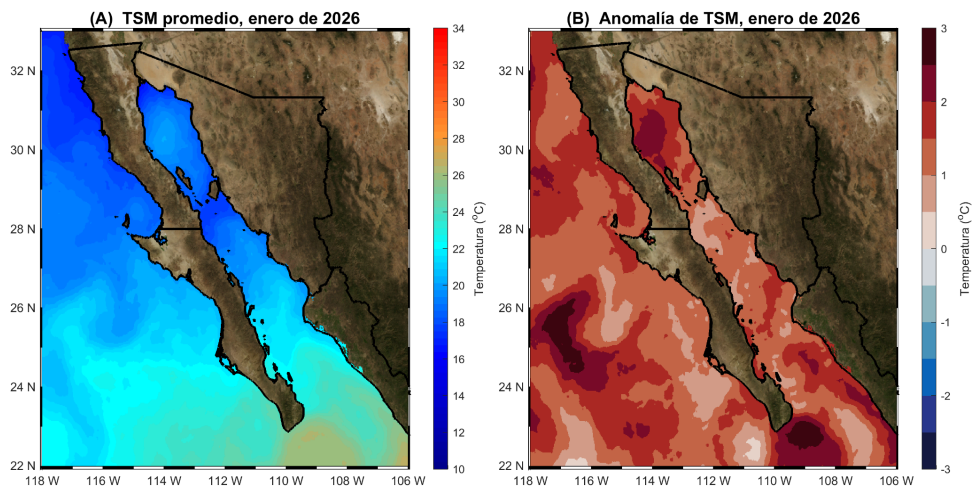


Figura 3.3. Condiciones mensuales durante enero de 2026. Panel A, promedio de temperatura superficial del mar (TSM); panel B, anomalías promedio de TSM.

Serie de tiempo

El análisis mensual de series de tiempo (2002-2026) 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- 2026) se muestran en la [Figura 3.4](#). El panel A muestra las climatologías mensuales de nivel del mar (SLA, barras azules), así como los datos mensuales de los últimos 12 meses (febrero de 2025 a enero de 2026, línea negra). Desde

mayo de 2025 los promedios mensuales estuvieron por encima de sus valores climatológicos, dando como resultado anomalías positivas, siendo la de octubre de 2025 la mayor. En particular la de enero de 2026 (círculo) tuvo un valor de 0.12 m. Este mismo comportamiento se puede apreciar en la serie histórica de anomalías (Figura 3.4A), donde las anomalías positivas dominaron la parte final de la serie. Por su parte los valores del MEI son negativos desde marzo de 2024, lo que no coincide con estas anomalías (Figura 3.4B).

La serie de climatologías de productividad primaria (PP) y datos mensuales desde febrero de 2025 hasta enero 2026 se muestran en la Figura 3.4. Desde abril de 2025 los valores mensuales han estado por debajo de sus valores climatológicos, ocasionando anomalías negativas desde entonces (Figura 3.4C). En particular en enero de 2026 (círculo verde) presentó un valor de 1190 mg C m⁻² d⁻¹, por debajo su climatología de 1359 mg C m⁻² d⁻¹. El panel D (Figura 3.4) muestra la serie histórica de las anomalías, donde la parte final presenta estos valores negativos. Igualmente que con la SLA, la PP no guarda la relación esperada con los datos del MEI, que deberían ser opuesto a los de PP.

La serie de climatologías de temperatura superficial del mar (TSM) y datos mensuales desde febrero de 2025 hasta enero 2026 se muestran en el panel E (Figura 3.4). Desde mayo de 2025 los promedios mensuales han estado por encima de sus valores climatológicos, dando como resultado anomalías positivas. En específico enero tuvo un valor de 25.1 °C, tres grados por encima de su valor climatológico de 22.1. Este mismo comportamiento se puede apreciar en la serie histórica de anomalías del panel F (Figura 3.4), donde las anomalías positivas dominaron la parte final de la serie; en 2025 la anomalía positiva más intensa es precisamente la de enero de 2026. Los datos del MEI son anómalos, mientras que los de TSM son positivos, es decir no el comportamiento esperado.

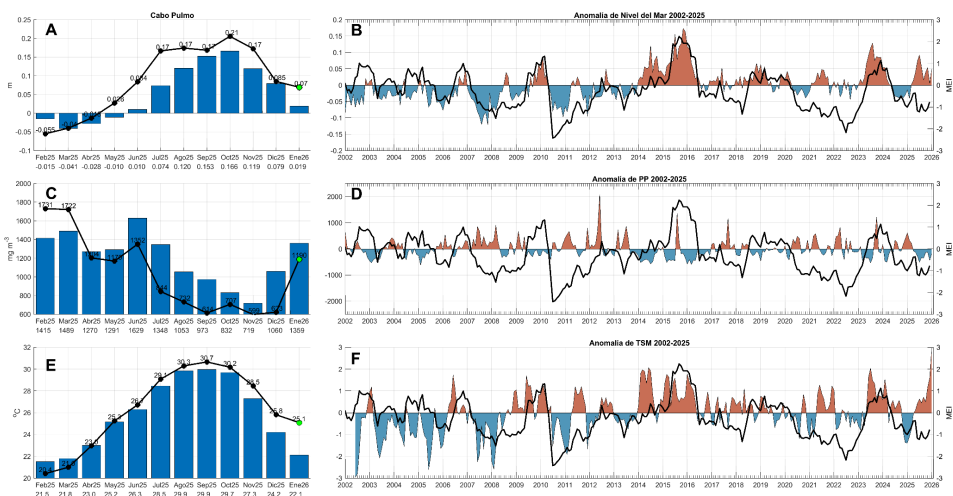


Figura 3.4: Condiciones climatológicas y de anomalías para SLA, PP y TSM a lo largo del tiempo (2002-2026) en Cabo Pulmo. Las barras en los paneles A, C y E, muestran las climatologías mensuales, las líneas negras son los valores mensuales, los círculos negros indican los 11 meses anteriores, el verde el mes actual. Los valores debajo de los meses en el eje x corresponden a los valores climatológicos. Los paneles B, D y F muestran las anomalías a lo largo del tiempo, la línea negra indica los datos del MEI V2 (Índice multivariado del ENSO).

La Paz. Las condiciones climatológicas y de anomalías de SLA, PP, y TSM a lo largo del tiempo (2002- 2026) se muestran en la [Figura 3.5](#). Las climatologías mensuales de nivel del mar (SLA) y datos mensuales desde febrero de 2025 hasta enero 2026 se muestran en la [Figura 3.5A](#). Las barras azules representan las climatológicas mensuales de los últimos 12 meses, la línea negra representa los datos mensuales de esos 12 meses, se aprecia que desde mayo de 2025 los valores mensuales estuvieron por encima de sus valores climatológicos, específicamente, enero de 2026 presentó un valor de 0.17 m, encima de su valor climatológico de 0.07 m. El panel B de la [Figura 3.5](#) muestra los valores mensuales de las anomalías, se nota que al final de la serie se presentan anomalías positivas, siendo enero de 2026 el que presenta la máxima anomalía. La línea negra, correspondiente al MEI, indica que está en una fase negativa desde marzo de 2024, estos valores negativos supondrían un efecto negativo en los valores mensuales, que no es el caso.

Las climatologías de productividad primaria (PP) y los datos mensuales desde febrero de 2025 hasta enero de 2026 se muestran en la [Figura 3.5C](#). De abril de 2025 a enero de 2026, solo julio presentó un valor mensual superior a su climatología, el resto, incluyendo enero de 2026 tuvieron anomalías negativas; el valor de enero fue de $1456 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, menor a su climatología de $1768 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. Las series de las anomalías se muestran en la [Figura 3.5D](#), donde los valores finales en la serie representan lo explicado para los últimos 12 meses. De igual forma que con la SLA, el comportamiento de la PP no es consistente con los valores del MEI, ya que están en sentido inverso de lo esperado.

Las climatologías de temperatura superficial del mar (TSM) y los datos mensuales desde febrero de 2025 hasta enero de 2026 se muestran en [Figura 3.5E](#). Desde junio de 2025 a enero de 2026 los valores mensuales están por encima de sus valores climatológicos, en específico, enero presentó un valor de $23.9 \text{ }^{\circ}\text{C}$, mientras que el valor climatológico para ese mes es de $21.3 \text{ }^{\circ}\text{C}$. El reflejo de estos valores, son anomalías positivas, que se pueden ver más claramente en la serie histórica de anomalías ([Figura 3.5F](#)), donde al final de la serie se nota una clara tendencia al incremento en las anomalías con valores cercanos a los $3 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

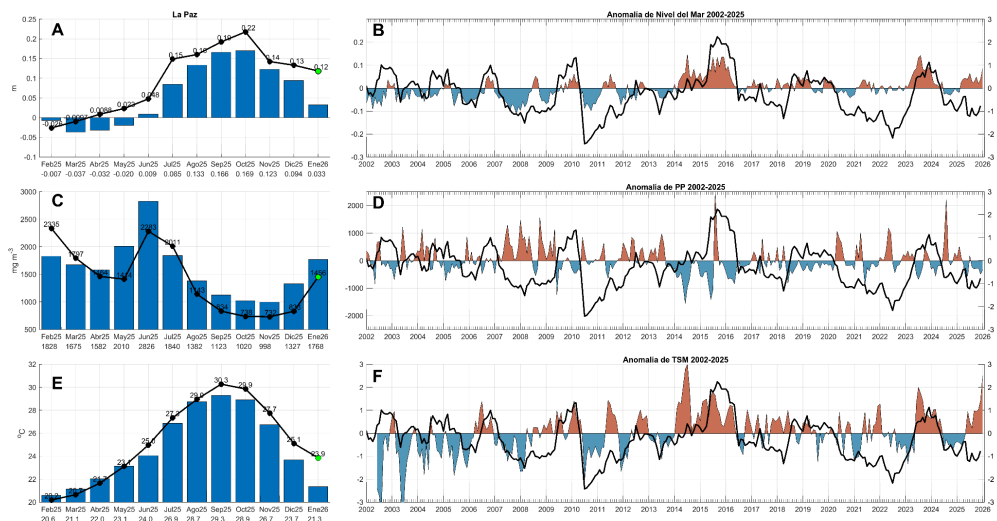


Figura 3.5: Condiciones climatológicas y de anomalías para SLA, PP y TSM a lo largo del tiempo (2002-2026) en La Paz. Las barras en los paneles A, C y E, muestran las climatologías mensuales, las líneas negras son los valores mensuales, los círculos negros indican los 11 meses anteriores, el verde el mes actual. Los valores debajo de los meses en el eje x corresponden a los valores climatológicos. Los paneles B, D y F muestran las anomalías a lo largo del tiempo, la línea negra indica los datos del MEI V2 (Índice multivariado del ENSO).

San Juanico. Las condiciones climatológicas y de anomalías de SLA, PP, y TSM a lo largo del tiempo (2002- 2026) se muestran en la [Figura 3.6](#). Las climatologías mensuales de nivel del mar (SLA) y datos mensuales desde febrero de 2025 hasta enero 2026 se muestran en la [Figura 3.6A](#). Las barras azules representan las climatológicas mensuales de los últimos 12 meses, la línea negra representa los datos mensuales de esos 12 meses, se aprecia que desde abril de 2025 los valores mensuales estuvieron por encima de sus valores climatológicos, específicamente, enero de 2026 presentó un valor de 0.12 m, encima de su valor climatológico de 0.033 m. El panel B de la [Figura 3.6](#) muestra los valores mensuales de las anomalías, se nota que al final de la serie se presentan anomalías positivas. La línea negra, correspondiente al MEI, indica que está en una fase negativa desde marzo de 2024, estos valores negativos tendrían un efecto negativo en los valores mensuales, pero no es así. Las climatologías de productividad primaria (PP) y los datos mensuales desde febrero de 2025 hasta enero de 2026 se muestran en la [Figura 3.6C](#). De agosto a diciembre de 2025 se presentaron valores menores a los de su climatología, enero de 2026 rompió con esa tendencia al presentar un valor de 1143 mg C m⁻² d⁻¹, mayor a su climatología de 1107 mg C m⁻² d⁻¹. Las series de las anomalías se muestran en la [Figura 3.6D](#), donde los valores finales muestran principalmente las anomalías negativas, la de enero no se aprecia ya que es

prácticamente marginal. El comportamiento de la PP no es consistente con los valores del MEI, igual que en las regiones previas.

Las climatologías de temperatura superficial del mar (TSM) y los datos mensuales desde febrero de 2025 hasta enero de 2026 se muestran en [Figura 3.6E](#). Desde junio de 2025 a enero de 2026 los valores mensuales están por encima de sus valores climatológicos, en específico, enero presentó un valor de 22.1 °C, mientras que el valor climatológico para ese mes es de 19.6 °C. El reflejo de estos valores, son anomalías positivas, que se pueden ver más claramente en la serie histórica de anomalías ([Figura 3.6F](#)), donde al final de la serie se nota una clara tendencia al incremento en las anomalías con valores cercanos a los 3 °C.

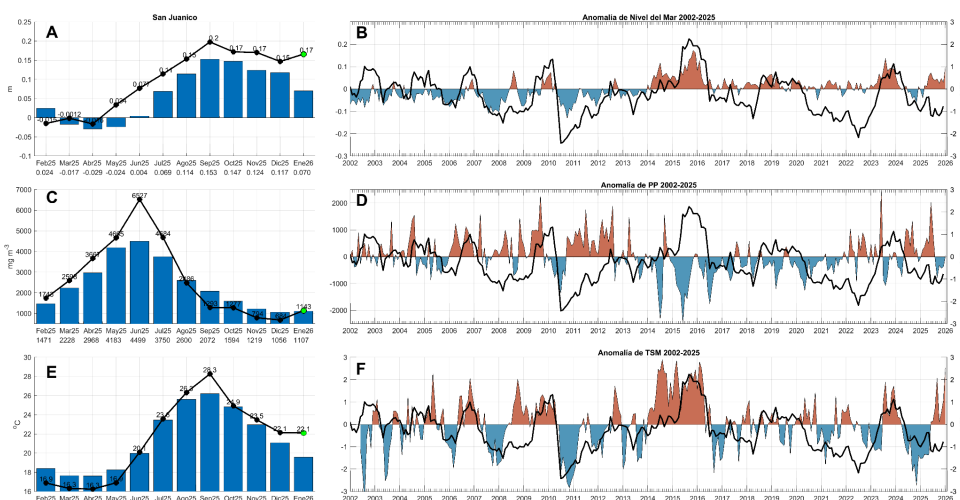


Figura 3.6: Condiciones climatológicas y de anomalías para SLA, PP y TSM a lo largo del tiempo (2002-2026) en San Juanico. Las barras en los paneles A, C y E, muestran las climatologías mensuales, las líneas negras son los valores mensuales, los círculos negros indican los 11 meses anteriores, el verde el mes actual. Los valores debajo de los meses en el eje x corresponden a los valores climatológicos. Los paneles B, D y F muestran las anomalías a lo largo del tiempo, la línea negra indica los datos del MEI V2 (Índice multivariado del ENSO).

Discusión

Tanto los resultados de los mapas de distribución de SLA, PP y TSM para los últimos 12 meses, muestran una consistencia en su comportamiento en los tres sitios. Anomalías positivas de SLA y TSM y anomalías negativas de PP, esto a pesar de que los valores del MEI para este periodo debería producir el comportamiento opuesto. Es claro que existe un aspecto local o exterior que tiene una influencia mayor que la del MEI. Sin embargo los datos mostrados aquí no dan una pista de cuál podría ser ese evento o fenómeno.

Referencias

- Behrenfeld, MJ, PG Falkowski. 1997. A consumer's guide to phytoplankton primary productivity models. *Limnology and Oceanography*. Volume 42: 1479-1491.
- Chin, T.M, J. Vazquez-Cuervo, and E.M. Armstrong. 2017. A multi-scale high-resolution analysis of global sea surface temperature, *Remote Sensing of Environment* , 200. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.07.029>.

4. Paisaje Pelágico

Romeo Saldívar-Lucio
rsaldivar@cicese.edu.mx

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

Introducción

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

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

Área de estudio

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

Ulloa.

Metodología

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

El archivo de datos original fue descargado en formato *.nc, con resolución temporal mensual, desde enero de 2003 hasta la actualización más reciente del producto. El archivo se reestructura como un objeto *sat* de clase 4, para posteriormente realizar la extracción y visualización de datos con el apoyo de la biblioteca *sat* (Villalobos y González-Rodríguez, 2022) en el lenguaje de programación R (R Core Team, 2025). El área recortada para cada localidad se considera como el 100%, para posteriormente calcular la cobertura relativa de los hábitats presentes mediante el conteo automatizado de píxeles por 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 ($0.14\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$).

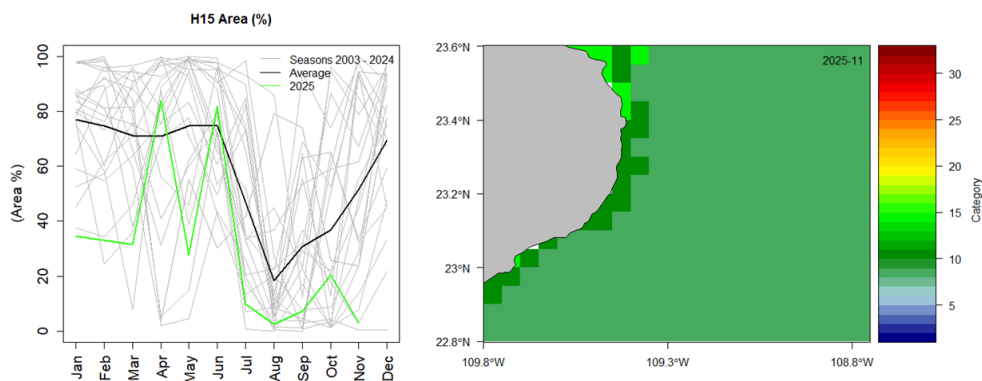


Figura 4.1: Paisaje Pelágico frente a Cabo Pulmo. 4.1.1) Panel izquierdo: Comportamiento estacional del hábitat dominante H15 (2003-2025). 4.1.2) Panel derecho: Distribución espacial promedio de los hábitats pelágicos durante noviembre de 2025.

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.

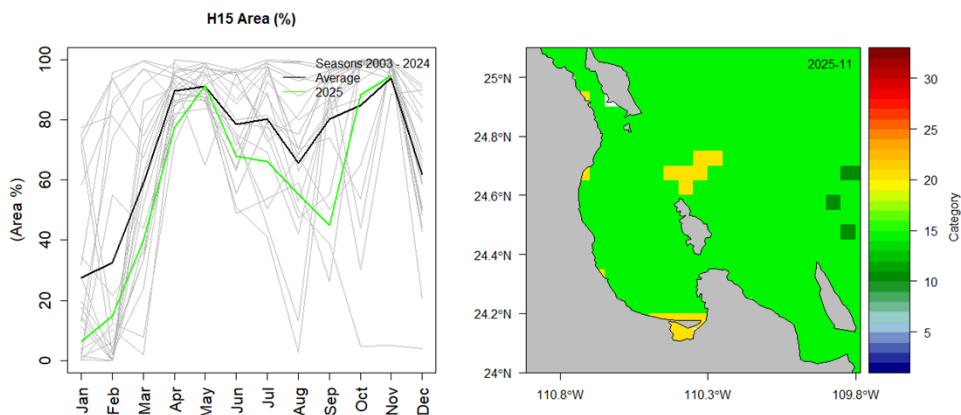


Figura 4.2: Paisaje Pelágico en la Bahía de La Paz. 4.2.1) Panel izquierdo: Comportamiento estacional del hábitat H3 (2003-2025). 4.2.2) Panel derecho: Distribución espacial promedio de los hábitats pelágicos en noviembre de 2025.

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 de 2025, acompañado de una alta diversidad de hábitats pelágicos, incluyendo H17, H15, H3, H8, H11 y H9 (Figura 4.3.2).

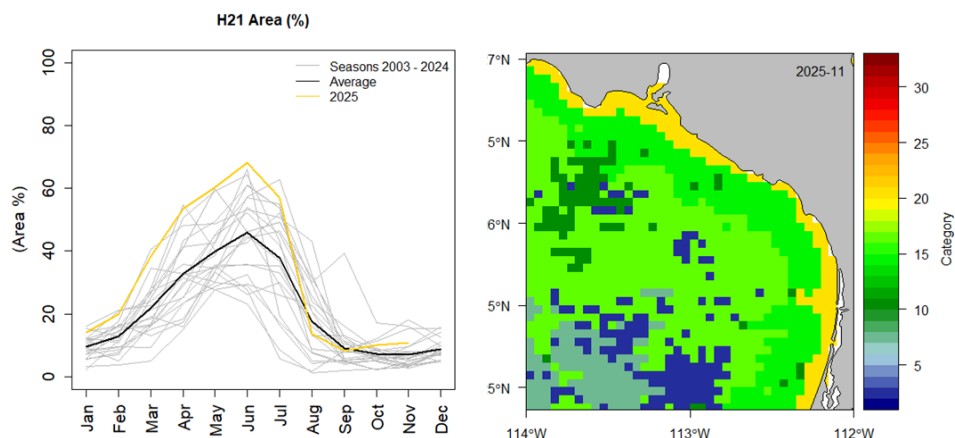


Figura 4.3: Paisaje Pelágico en el Golfo de Ulloa. 4.3.1) Panel izquierdo: Comportamiento estacional (2003-2025) del hábitat H21 en el Golfo de Ulloa. 4.3.2) Panel derecho: Distribución espacial promedio de los hábitats pelágicos durante noviembre de 2025.

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 ($\sim 0.28-0.84 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$). 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 todo el año de 2025, y para el mes de enero de 2016. Se sigue la clasificación propuesta por Hobday *et al.* (2018) para las ondas de calor. Durante todo el 2025, la región aledaña a la península de Baja California Sur, registró entre 20 y 150 días con ondas de calor, con la mayor cantidad de días en el interior del golfo de California. Durante enero de 2026, a lo largo de la costa del Pacífico en la península de Baja California Sur, se observó una gran presencia de ondas de calor. La mayor cantidad de días con ondas de calor marino se registraron en la región de Punta Eugenia y Bahía Magdalena. Dentro del Golfo de California, la región de la ensenada de la Paz hasta el norte de isla San José y la porción aledaña a Santa Rosalía, fueron las zonas con mayor cantidad de días con ondas de calor registradas. Para las tres regiones consideradas a detalle, la cantidad de días de onda de calor fue mayor para San Juanico (hasta 30 días de ondas de calor marinas), seguida de Bahía Magdalena (24 a 28 días), Bahía de la Paz (10 a 22 días) y Cabo Pulmo (2 a 16 días).

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 marinas 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 (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 -116 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 enero de 2016. 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 para el año 2025

Las ondas de calor marinas registradas para el año 2025 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 de la península Pacífico, se registran días con ondas en la zona costera entre 20 y 65 días, esto últimos en la porción sur. Es de resaltar que en la laguna Ojo de Liebre y Bahía Magdalena, en particular

Puerto 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 días con 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.

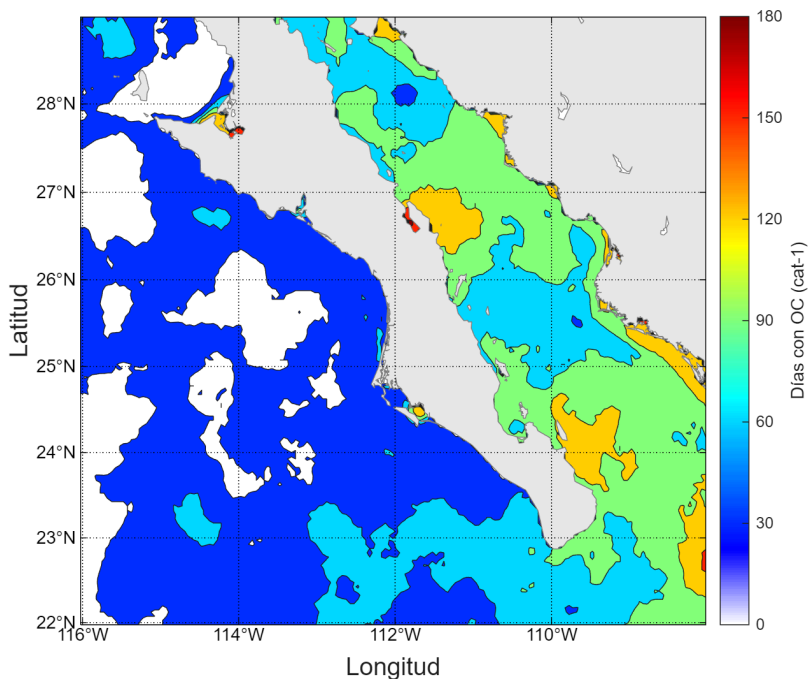


Figura 5.1: Días con ondas de calor categoría 1 en el área de estudio para el año 2025.

En caso de las ondas de calor para la zona aledaña al Parque Nacional Cabo Pulmo para el año 2025 (Figura 5.2), se observan entre 30 y 90 días de ondas de calor durante el año, con un pequeño parche alcanzando los 120 días en la parte norte. Hacia la región oceánica la cantidad de ondas de calor mostró un decremento hacia el oriente, rondando los 60 días con ondas de calor registradas. La mayor porción del área rondó los 120 días de ondas de calor para todo el año. En el caso de las categorías 2, 3 y 4, no se registraron días con ondas de calor para las mismas en esta región.

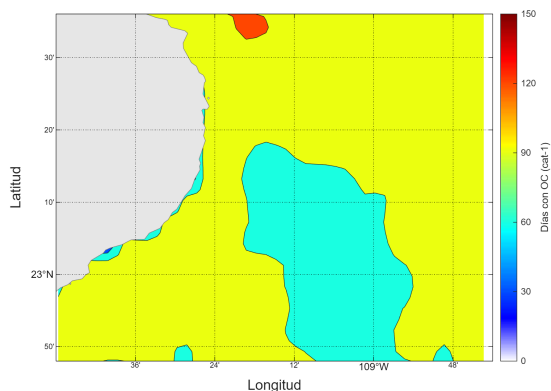


Figura 5.2: Cantidad de días con ondas de calor categoría 1 para la región aledaña al Parque Nacional Cabo Pulmo.

La región comprendida entre Isla Cerralvo, la bahía de La Paz e Isla San José (Figura 5.3), fue la que para el año 2025 registró la mayor cantidad de días con ondas de calor de las tres regiones analizadas con 60 a 120 días con ondas de calor, salvo pequeños parches en Isla San José y la porción oeste de la ensenada de La Paz. La mayor parte de esta región observó alrededor de 90 días registrando ondas de calor para el año. La mayor cantidad se observó alrededor de Isla Cerralvo, alcanzando o superando los 120 días con ondas de calor. La porción hacia el centro del golfo muestra un decremento paulatino de las ondas de calor, con alrededor de 60 días. Al igual que la región de Cabo Pulmo, no se registraron ondas de calor categorías 2 a 4 durante el año.

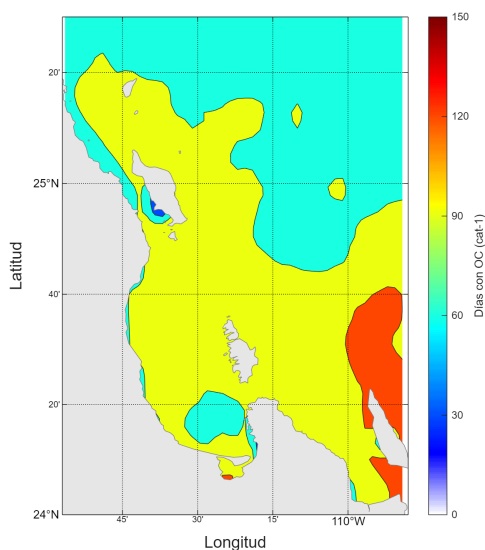


Figura 5.3: Cantidad de días con ondas de calor categoría 1 para la región comprendida

entre Isla Cerralvo a isla San José, incluyendo la bahía de La Paz.

Para la región aledaña a San Juanico (Figura 5.4), se registraron cerca de 30 días con ondas de calor de categoría 1 para el año 2025. La región oceánica no registró la presencia de días con ondas de calor. En la porción sur, al frente de Bahía Magdalena y Laguna de San Ignacio hubo pequeños parches que se observaron cerca de 60 días con ondas de calor. No se registraron días con ondas de calor de categoría 2 o superior en esta zona para el año.

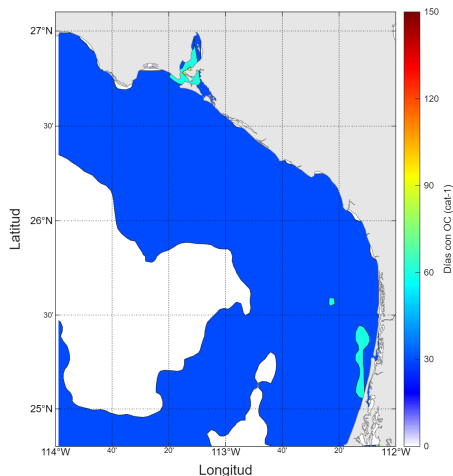


Figura 5.4: Cantidad de días con ondas de calor categoría 1 para el año 2025 para la región aledaña a San Juanico, incluyendo la porción norte de bahía Magdalena.

Ondas de calor en el área de estudio para enero de 2016

Las ondas de calor marinas para el mes de enero fueron casi en su totalidad categoría 1 (Figura 5.5), y otra cantidad considerable de categoría 2 en regiones oceánicas frente a Bahía Magdalena y en la porción sur de la península de Baja California (Figura 5.6). No hubo ninguna registrada categoría 3 o 4. En caso de las ondas de calor categoría 1, en la porción del Pacífico, se registraron hasta 30 días con ondas de calor en la zona costera, en la zona aledaña a Punta Eugenia y entre 20 a 24 en Bahía Magdalena. Para el golfo de California, se registran días con ondas de calor prácticamente dentro de toda la región, yendo de 4 a 24 días de presencia. La mayor cantidad de días se registran en Bahía de la Paz, Santa Rosalía y la entrada al golfo (Figura 5.5).

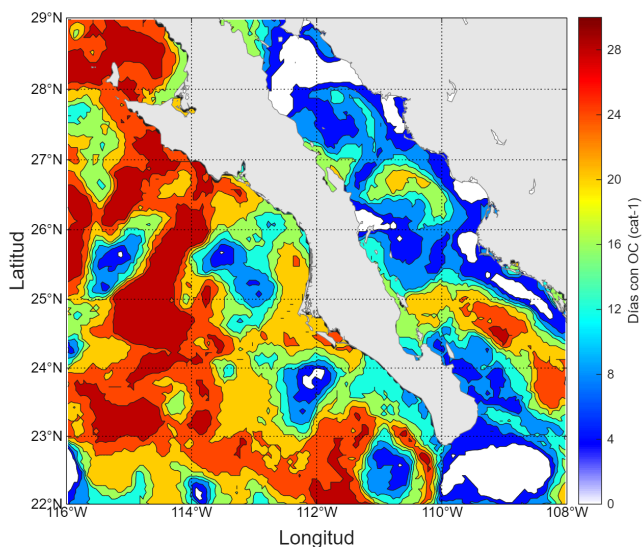


Figura 5.5: Días con ondas de calor categoría 1 en el área de estudio para enero de 2026.

En caso de ondas de calor categoría 2, estas se registraron durante el mes de enero del presente año en la región oceánica frente a Bahía Magdalena (116°W aproximadamente, 4 a 20 días con ondas de calor categoría 2). Toda la porción sur de la península, con 4 a 28 días con ondas de calor. Además, la costa suroriental de la península, desde Los Cabos hasta Loreto, con entre 4 y 8 días con ondas de calor (Figura 5.6).

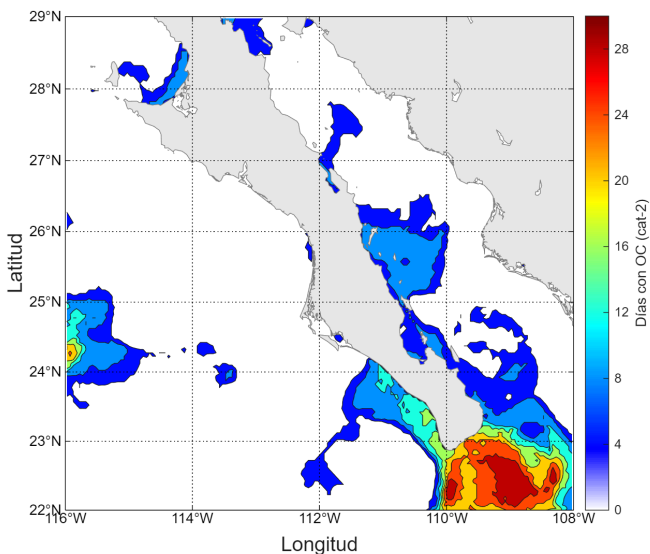


Figura 5.6: Días con ondas de calor categoría 2 en el área de estudio para enero de 2026.

En caso de las ondas de calor para la zona aledaña al Parque Nacional Cabo Pulmo para el mes de enero (Figura 5.7). En la zona aledaña al mismo, en la franja costera, se observan entre 4 y 12 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 la categoría 2 se registraron entre 2 y 28 días con ondas de calor, particularmente al sur de Cabo Pulmo, incrementando hacia la porción oceánica (Figura 5.8).

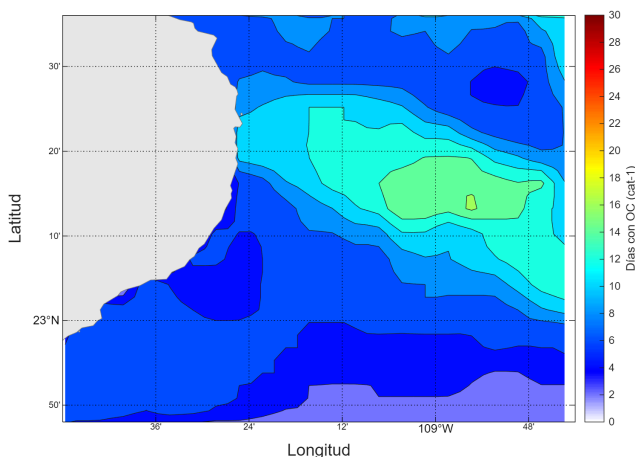


Figura 5.7: Cantidad de días con ondas de calor categoría 1 para la región aledaña al Parque Nacional Cabo Pulmo para enero de 2016.

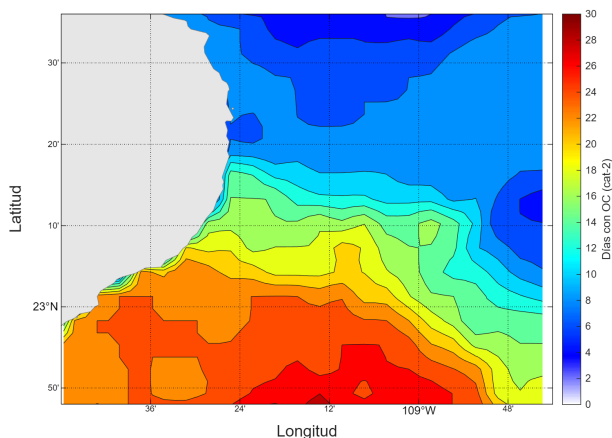


Figura 5.8: Cantidad de días con ondas de calor categoría 2 para la región aledaña al Parque Nacional Cabo Pulmo para enero de 2016.

La región comprendida entre Isla Cerralvo, la bahía de La Paz e Isla San José (Figura 5.9), observó entre 6 y 22 días registrando ondas de calor categoría 1. La mayor cantidad se observó desde Isla Espíritu Santo hasta el norte de la bahía, yendo hacia el centro del golfo

(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 (4 a 10 días). La porción hacia el norte-centro del golfo muestra un decremento paulatino de las ondas de calor, yendo de 12 a 4. Esta región, particularmente la aledaña a la costa, registró entre 1 y 10 días con ondas de calor categoría 2 (Figura 5.10)

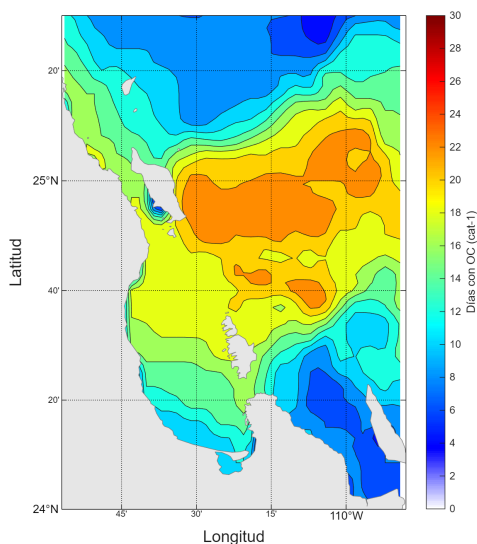


Figura 5.9: Cantidad de días con ondas de calor categoría 1 para el mes de enero de 2026 en la región comprendida entre Isla Cerralvo a isla San José, incluyendo la bahía de La Paz.

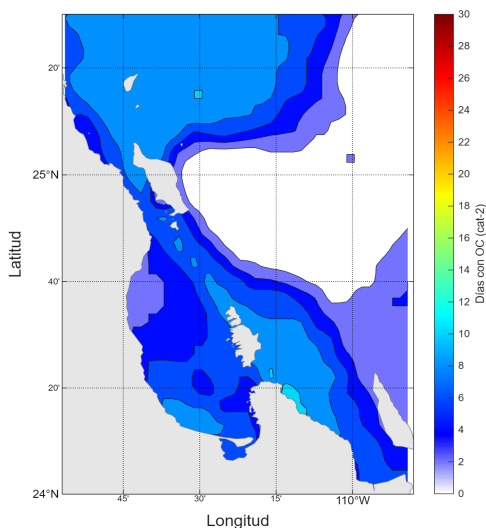


Figura 5.10: Cantidad de días con ondas de calor categoría 2 para el mes de enero de 2026 en la región comprendida entre Isla Cerralvo a isla San José, incluyendo la bahía de La Paz.

Para la región aledaña a San Juanico (Figura 5.11), se registraron la mayor cantidad de días con ondas de calor del área de estudio, registrando entre 4 y 30 días con presencia de estos eventos. La porción centro-sur fue la que menor días con ondas de calor registró (4 a 12). Al frente de Bahía Magdalena y al noroeste se registraron arriba de 20 días con ondas de categoría 1. Días con ondas de calor categoría 2, se localizaron únicamente al norte de Bahía Magdalena, siendo entre 2 y 4 días (Figura 5.12).

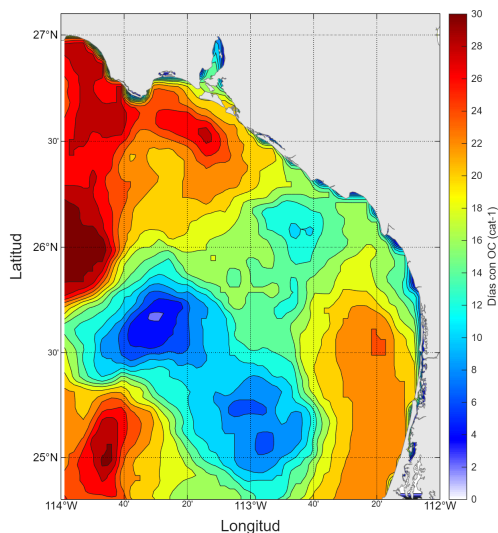


Figura 5.11: Cantidad de días con ondas de calor categoría 1 para la región aledaña a San Juanico, incluyendo la bahía de La Paz. Esta fue la región con la mayor cantidad de días de onda de calor para el mes de enero de 2026.

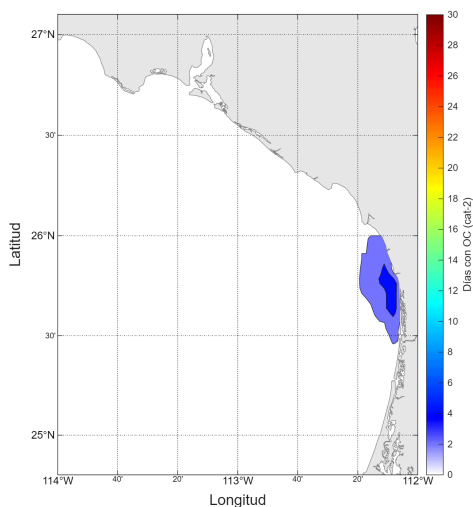


Figura 5.12: Cantidad de días con ondas de calor categoría 2 para la región aledaña a San Juanico, incluyendo la bahía de La Paz.

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. Benthuyssen, 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. Actividad de mesoescala: Remolinos y frentes térmicos

Emmanuel Romero, Amelia Sánchez-Pérez
romeroqe@gmail.com, ameliasanchez940414@gmail.com

Resumen | Este artículo describe parte de la actividad de mesoescala en aguas adyacentes a la península de Baja California. El trabajo integra información satelital de velocidad geostrófica superficial y temperatura superficial del mar para identificar y caracterizar remolinos, así como para detectar frentes térmicos mediante el análisis del gradiente horizontal de la temperatura. El análisis de estas estructuras es fundamental porque regulan el transporte de calor y otras propiedades físicas, organizan la circulación superficial y modulan la variabilidad del sistema oceánico regional, influyendo en la conectividad y el funcionamiento de los ecosistemas marinos.

Introducción

La actividad de mesoescala comprende un conjunto de procesos dinámicos del océano caracterizados por estructuras espaciales de decenas a cientos de kilómetros y escalas temporales de días a meses. En este rango se desarrollan fenómenos como remolinos y frentes, que dominan gran parte de la variabilidad oceánica y controlan el transporte horizontal de calor, sal y otras propiedades físicas (Morrow and Le Traon, 2006; Frenger et al., 2013; Li et al., 2024). Estos procesos constituyen un elemento clave de la circulación oceánica y conectan la dinámica de gran escala con los procesos más pequeños.

Los remolinos de mesoescala representan volúmenes de fluido organizados y en rotación que se propagan a través del medio marino (Chelton et al., 2011b). Su persistencia e intensidad los convierten en uno de los componentes más energéticos de la dinámica oceánica de mesoescala. Estas estructuras se originan por inestabilidades de la circulación y desempeñan un papel clave en la redistribución de masas de agua, modulando diferentes propiedades físicas en los océanos (McWilliams, 2008; Chelton et al., 2011a; Shankar et al., 2024). Los remolinos ciclónicos se caracterizan típicamente por la surgencia de aguas más frías y ricas en nutrientes desde profundidad y por el enriquecimiento fitoplanctónico subsecuente en su núcleo frío; en el hemisferio norte presentan un giro antihorario y tienden a dispersar los organismos planctónicos desde el núcleo hacia los márgenes. En contraste, los remolinos anticiclónicos suelen ser más cálidos que las aguas circundantes, con un núcleo cálido asociado a la convergencia superficial; en el hemisferio norte presentan un giro horario (Bakun, 2006).

Los remolinos influyen directamente en la temperatura superficial del mar, una de las variables más utilizadas para describir el estado térmico del océano y su variabilidad en distintas escalas temporales. A partir de su comportamiento espacial, es posible identificar regiones donde esta temperatura cambia horizontalmente de manera abrupta en distancias relativamente cortas, dando lugar a estructuras conocidas como frentes térmicos. Estos frentes representan zonas de transición entre aguas con propiedades distintas y suelen estar asociados a procesos dinámicos como la circulación oceánica, las surgencias, la mezcla inducida por marea y la interacción con el viento (McWilliams, 2021; Yang et al., 2024).

A través de los frentes térmicos es posible reconocer cambios en la circulación superficial, en la intensidad de la mezcla y en el intercambio de calor entre el océano y la atmósfera (Small et al., 2008; Chelton and Xie, 2010), lo que los convierte en indicadores útiles de la variabilidad climática. Además, estos frentes suelen intensificarse o reorganizarse en respuesta a la interacción con remolinos, actuando como regiones de convergencia, retención y enriquecimiento de nutrientes. Por ello, son ampliamente empleados para analizar la distribución de la productividad y de distintos componentes del ecosistema marino (Acha et al., 2015; Belkin et al., 2021), al integrar información física, biológica y climática del sistema oceánico.

Área de estudio

El área de estudio comprende las aguas adyacentes a la península de Baja California, incluyendo tanto el dominio oceánico del Pacífico nororiental como el interior del Golfo de California (22–33° N, 118–106° W). Dentro de este dominio se analizan cuatro regiones de interés y áreas adyacentes: Ensenada (31.5–32.5° N, 117.5–116.5° W), el Golfo de Ulloa (25–27° N, 114–112° W), la Bahía de La Paz (24.0–25.1° N, 110.9–109.79° W) y el Parque Nacional Cabo Pulmo (22.8–23.8° N, 109.8–108.8° W).

El Pacífico Nororiental presenta una alta actividad de remolinos de mesoescala, particularmente en la zona de transición tropical-subtropical (16°–30° N), la generación de remolinos se concentra en tres regiones costeras altamente prolíficas: Punta Eugenia, Cabo San Lucas y Cabo Corrientes (Kurczyn et al., 2012), las cuales coinciden con cambios abruptos en la morfología costera y con intensificación estacional de las corrientes superficiales. A lo largo de la costa occidental de la península de Baja California Sur, los frentes de temperatura superficial del mar se forman principalmente por la interacción entre la surgencia costera, la circulación del sistema de la Corriente de California y la variabilidad del viento, dando lugar a gradientes térmicos persistentes cerca de la costa y en la zona de transición hacia el océano abierto (Olaya et al., 2021; Vázquez-Cuervo et al., 2023). La variabilidad espacial de estos frentes está modulada por la interacción con

remolinos de mesoescala y meandros de la circulación regional, los cuales son particularmente frecuentes frente a Baja California Sur y contribuyen a reforzar los gradientes térmicos y su extensión hacia el océano abierto (Kurczyn et al., 2012).

Dentro del Golfo de California, la circulación estacional favorece la generación recurrente de giros ciclónicos en el sur, organizados en trenes de remolinos, asociados a la interacción de la corriente costera con la topografía abrupta (Zamudio et al., 2008). Mientras que en el norte, la característica más relevante de la circulación es la presencia de un remolino estacionalmente reversible, que es ciclónico durante el verano y anticiclónico en invierno (Beier and Ripa, 1999). En conjunto, estas estructuras rotacionales están vinculadas al forzamiento del viento, a la variabilidad estacional de la circulación y a la interacción de las corrientes con la topografía (Marinone, 2003). Por otra parte, los frentes de temperatura superficial del mar son componentes recurrentes del sistema oceánico y reflejan la marcada variabilidad física que caracteriza a esta zona (Mauzole et al., 2020; García-Morales et al., 2025; Sánchez-Pérez et al., 2026b). Su presencia y persistencia están estrechamente vinculadas a la circulación estacional, a los forzamientos atmosféricos y a la compleja batimetría regional (Garcés et al., 2023; Romero et al 2024; Sanchez-Pérez et al., 2026a). Estas condiciones hacen de las aguas adyacentes a la península de Baja California una región especialmente propicia para el desarrollo y la modulación de frentes térmicos superficiales, cuya distribución y variabilidad ofrecen información valiosa sobre la dinámica oceánica regional.

Datos y métodos

Los datos de velocidad geostrófica superficial absoluta y de anomalías de la velocidad geostrófica superficial, en las componentes zonal y meridional se obtuvieron del producto *Global Ocean Gridded L4 Sea Surface Heights And Derived Variables Nrt* (<https://doi.org/10.48670/moi-00149>), con una resolución espacial aproximada de 14 km y una resolución temporal diaria. Por su parte, los datos de temperatura superficial del mar se obtuvieron a partir del producto *Multi-scale Ultra-high Resolution Sea Surface Temperature* (<https://podaac.jpl.nasa.gov/dataset/MUR-JPL-L4-GLOB-v4.1>), con una resolución espacial aproximada de 1 km y una resolución temporal diaria. El conjunto de datos analizado en este estudio corresponde al mes de enero de 2026.

Los remolinos de mesoescala se identificaron utilizando la base de datos proporcionada por AVISO+, correspondiente al *Mesoscale Eddy Trajectory Atlas Product (META 3.2Exp Nrt*, <https://www.aviso.altimetry.fr/en/data/products/value-added-products/global-mesoscale-eddy-trajectory-product.html>), la cual contiene información sobre las trayectorias y contornos de los remolinos, así como sobre su radio efectivo, amplitud y velocidad, entre

otros parámetros. A partir de las componentes zonal y meridional de la velocidad geostrófica superficial absoluta (u y v) se calculó la velocidad geostrófica promedio. Mientras que la energía cinética de remolinos (EKE) se estimó a partir de las anomalías de velocidad geostrófica superficial (u' y v'), definida como $EKE = 0.5 \times (u'^2 + v'^2)$ (Chelton et al., 2011b).

A partir de los datos de temperatura superficial del mar se calculó la magnitud del gradiente horizontal (Belkin y O'Reilly, 2009; Vincent y Folorunso, 2009). Los píxeles frontales se identificaron como aquellos con valores ≥ 0.05 °C km⁻¹, umbral que ha sido previamente utilizado para la detección de frentes térmicos en el Golfo de California (p. ej., Garcés-Rodríguez et al., 2021; Sánchez-Pérez et al., 2026a, 2026b). Este umbral correspondió aproximadamente al 80% de la distribución total de los gradientes, lo que permitió discriminar las regiones con mayor intensidad frontal. Con base en esta identificación, la magnitud del gradiente fue promediada espacialmente sobre el área de estudio y la frecuencia de frentes se calculó como $(Ndf / Ndm) \times 100\%$, donde Ndf representa el número total de días del mes en los que un píxel específico fue identificado como frente, y Ndm corresponde al número total de días del mes (Sudre et al., 2023).

Resultados

La dinámica de mesoescala en el área de estudio se caracterizó mediante la identificación de remolinos oceánicos y el análisis de la frecuencia de ocurrencia de frentes térmicos. La distribución de remolinos identificados en el área de estudio (Figura 6.1a) mostró la presencia de un total de 50 remolinos de mesoescala durante el periodo analizado, de los cuales 22 fueron anticiclónicos y 28 ciclónicos. Se formaron 4 remolinos anticiclónicos y 8 ciclónicos durante el mes de estudio, mientras que 13 remolinos anticiclónicos y 10 ciclónicos se disiparon en dicho periodo. En la Figura 6.1a, se incluye la trayectoria durante el mes analizado, junto con su último contorno observado.

Los principales puntos de formación de los remolinos se concentraron cerca de la costa occidental de la península y del continente. En el Pacífico nororiental, las trayectorias de los remolinos mostraron un desplazamiento predominante hacia el oeste, mientras que en el Golfo de California los remolinos se dirigieron principalmente hacia el sur. En contraste, en el norte del Golfo se observaron trayectorias casi estacionarias, donde los remolinos permanecieron en la misma región durante el periodo analizado.

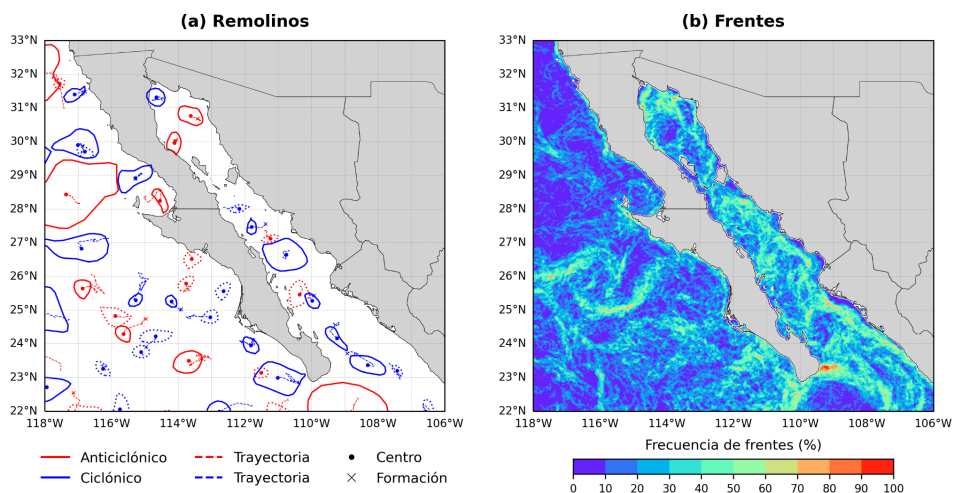


Figura 6.1: (a) Remolinos oceánicos presentes en el área de estudio y (b) frecuencia de ocurrencia de frentes térmicos. Los remolinos representados con líneas continuas permanecen activos, mientras que aquellos con líneas punteadas se disiparon durante el periodo analizado.

Por otra parte, la frecuencia de frentes térmicos (Figura 6.1b) presentó una amplia distribución espacial en toda el área de estudio. Las mayores frecuencias se concentraron principalmente dentro del Golfo de California, donde se observaron frentes de forma relativamente continua a lo largo del eje del golfo, con valores que llegaron a ser superiores al 60%, extendiéndose desde la región central hasta el sur del dominio principalmente a lo largo de la costa continental y en el norte del Golfo. En contraste, en el margen occidental de la Península de Baja California, frente al Pacífico, la frecuencia de frentes fue menor en general. No obstante, se identificaron bandas y parches localizados que presentaron mayor frecuencia, con valores del orden de 70-80%, particularmente en zonas alejadas de la costa.

En la región sur de la península, incluyendo el área de la boca del golfo, se observó un incremento en la frecuencia de frentes térmicos, con valores que superaron el 90% en las inmediaciones del Parque Nacional Cabo Pulmo. Estos frentes se desarrollaron principalmente en los bordes del remolino anticiclónico de gran extensión que se localizó al sur del parque.

Para evaluar la intensidad media de la actividad mesoscalar, su estructura espacial y la dinámica asociada a los remolinos durante el mes analizado, en la Figura 6.2 se muestra EKE promedio y las velocidades geostroficas promedio, así como los contornos de los remolinos presentes en las cuatro regiones de interés. Cabe destacar que la superposición de algunos contornos sobre tierra se debe a los procesos de interpolación y suavizado de los

campos geostróficos empleados en la detección de remolinos, los cuales no aplican una máscara costera estricta.

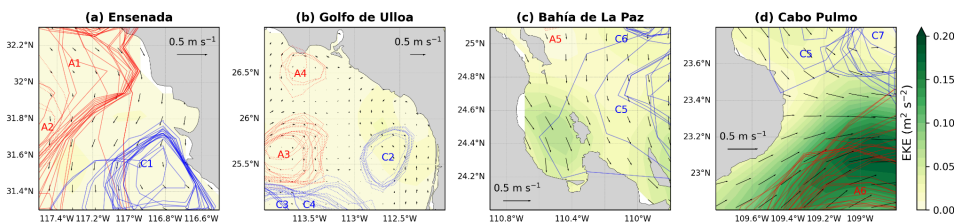


Figura 6.2: Energía cinética de remolinos (EKE) promedio, velocidades geostróficas promedio y contornos de los remolinos que estuvieron presentes en (a) Ensenada, (b) el Golfo de Ulloa, (c) la Bahía de La Paz, y (c) el Parque Nacional Cabo Pulmo.

Frente a Ensenada (Figura 6.2a) se identificaron dos remolinos anticiclónicos y uno ciclónico (A1, A2 y C1). Durante el periodo analizado, A2 se disipó mientras que A1 y C1 permanecieron activos, ejerciendo influencia directa sobre la zona costera. A1 presentó un radio de 69.15 ± 12.52 km, una amplitud de 0.03 ± 0.01 m y velocidades de 0.11 ± 0.01 m s^{-1} . En contraste, C2 correspondió a una estructura más pequeña, pero igualmente intensa, con un radio de 25.14 ± 3.65 km, amplitud ~ 0.01 m y velocidades de 0.11 ± 0.02 m s^{-1} . A2 apenas ingresó marginalmente a la región, por lo que no se describe en detalle.

En el Golfo de Ulloa (Figura 6.2b) se registraron cinco remolinos: A3, A4, C2, C3 y C4, de los cuales sólo C3 no se disipó durante el periodo de estudio. En conjunto, estas estructuras se caracterizaron por amplitudes bajas (~ 0.01 – 0.02 m) y velocidades relativamente homogéneas (~ 0.10 – 0.11 m s^{-1}). A3 presentó un radio de 33.60 ± 7.49 ; A4 de 19.56 ± 4.19 km; C3 de 29.22 ± 2.72 km; C4 de 30.09 ± 1.16 km; mientras que C2 fue la estructura de mayor tamaño en la región, con un radio efectivo de 56.01 ± 8.51 km. Al igual que en Ensenada, no se identificaron valores altos de velocidad geostrófica ni de EKE.

En la Bahía de La Paz (Figura 6.2c) se observó principalmente la influencia del remolino C5, mientras que A5 y C6 apenas ingresaron a la región. C5 presentó un radio de 69.52 ± 12.87 km, amplitud de 0.07 ± 0.01 m y velocidades de 0.23 ± 0.03 m s^{-1} . Esta estructura posteriormente se desplazó hacia el Parque Nacional Cabo Pulmo, donde disminuyó su radio a 66.86 ± 26.01 km, pero su amplitud y velocidad apenas se vieron afectadas.

En el Parque Nacional Cabo Pulmo (Figura 6.2d) se registraron los valores más altos del periodo analizado, asociados al remolino A6, el cual destacó como la estructura de mayor tamaño, intensidad y energía dentro de las regiones de interés, con un radio de $112.94 \pm$

20.72 km, amplitud de 0.16 ± 0.02 m y velocidades de 0.47 ± 0.02 m s⁻¹. En esta región también se identificó el remolino C7, con un radio de 34.24 ± 7.08 km, amplitud de 0.02 ± 0.01 m y velocidades de 0.15 ± 0.04 m s⁻¹. En conjunto, dentro del Golfo de California y en su entrada se observaron valores significativamente mayores de velocidad geostrofica y EKE que en las regiones del Pacífico abierto.

En la Figura 6.3 se muestra la magnitud promedio del gradiente horizontal de la temperatura superficial del mar para cuatro regiones de interés, lo que permite evaluar no solo la presencia de frentes, sino también su intensidad promedio durante el mes analizado.

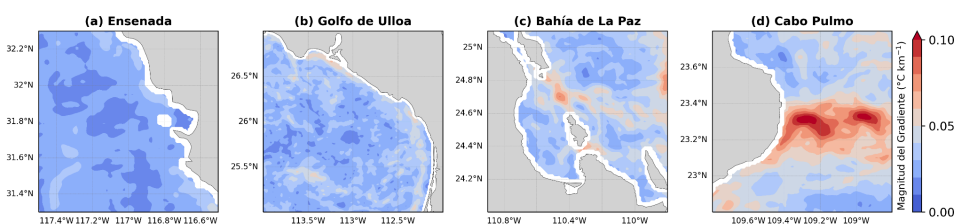


Figura 6.3: Magnitud promedio del gradiente horizontal de la temperatura superficial del mar en (a) Ensenada, (b) Golfo de Ulloa , (c) Bahía de la Paz y (d) el Parque Nacional Cabo Pulmo.

En la región de Ensenada (Figura 6.3a), los gradientes térmicos fueron bajos. Lo cual sugiere que, los frentes presentes en esta región fueron mayoritariamente débiles, de manera que su intensidad no se refleja en el promedio mensual y no muestra estructuras frontales claramente definidas. En el Golfo de Ulloa (Figura 6.3b), los gradientes promedio fueron también bajos; no obstante, se observó un patrón espacial definido, con valores relativamente mayores concentrados en las zonas costeras, los cuales disminuyeron gradualmente hacia el mar abierto. También, se identificaron parches aislados con valores cercanos al umbral de 0.05 °C km⁻¹. Esto indica que los frentes se dispusieron principalmente bordeando la línea costera.

En el interior de la Bahía de La Paz (Figura 6.3c) se observaron gradientes térmicos muy débiles, con algunos parches donde los valores superaron ligeramente 0.05 °C km⁻¹, lo que reflejó una escasa presencia de frentes en esta zona. En contraste, en el límite externo de la bahía, hacia el este, se identificaron gradientes más intensos, dispuestos de forma paralela al eje del Golfo de California, formando frentes que delinearon claramente la transición entre las aguas interiores de la bahía y las aguas del golfo. Finalmente, en Cabo Pulmo (Figura 6.3d) se registraron los valores más altos del gradiente térmico entre las regiones analizadas. Los gradientes intensos se organizaron en estructuras bien definidas, orientadas

de manera perpendicular al eje del golfo, y mostraron un aumento de intensidad a medida que se alejaron de la costa. En esta zona, los elevados valores del gradiente térmico promedio se presentaron en correspondencia con la alta frecuencia de frentes observada en esta región, consistente con la presencia del remolino A6, que dominó la región durante el periodo analizado.

Referencias

Acha, E. M., Piola, A., Iribarne, O., and Mianzan, H.: Ecological Processes at Marine Fronts: Oases in the ocean, SpringerBriefs in Environmental Science, Springer International Publishing, Cham, <https://doi.org/10.1007/978-3-319-15479-4>, 2015.

Bakun, A.: Fronts and eddies as key structures in the habitat of marine fish larvae: opportunity, adaptive response and competitive advantage, *Scientia Marina*, 70, 105–122, <https://doi.org/10.3989/scimar.2006.70s2105>, 2006.

Beier, E. and Ripa, P.: Seasonal Gyres in the Northern Gulf of California, https://journals.ametsoc.org/view/journals/phoc/29/2/1520-0485_1999_029_0305_sgitng_2.0.co_2.xml, 1999.

Belkin, I. M.: Remote Sensing of Ocean Fronts in Marine Ecology and Fisheries, *Remote Sensing*, 13, <https://doi.org/10.3390/rs13050883>, 2021.

Belkin, I. M. and O'Reilly, J. E.: An algorithm for oceanic front detection in chlorophyll and SST satellite imagery, *Journal of Marine Systems*, 78, 319–326, <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2008.11.018>, 2009.

Chelton, D. and Xie, S.-P.: Coupled Ocean-Atmosphere Interaction at Oceanic Mesoscales, *Oceanography*, 23, 52–69, <https://doi.org/10.5670/oceanog.2010.05>, 2010.

Chelton, D. B., Gaube, P., Schlax, M. G., Early, J. J., and Samelson, R. M.: The Influence of Nonlinear Mesoscale Eddies on Near-Surface Oceanic Chlorophyll, *Science*, 334, 328–332, <https://doi.org/10.1126/science.1208897>, 2011a.

Chelton, D. B., Schlax, M. G., and Samelson, R. M.: Global observations of nonlinear mesoscale eddies, *Progress in Oceanography*, 91, 167–216, <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2011.01.002>, 2011b.

Frenger, I., Gruber, N., Knutti, R., and Münnich, M.: Imprint of Southern Ocean eddies on winds, clouds and rainfall, *Nature Geoscience*, 6, 608–612, <https://doi.org/10.1038/ngeo1863>, 2013.

Garcés-Rodríguez, Y., Sánchez-Velasco, L., Parés-Sierra, A., Jiménez-Rosenberg, S. P. A., Márquez-Artavia, A., and Flores-Morales, A. L.: FISH larvae distribution and transport on the thermal fronts in the Midriff Archipelago region, Gulf of California, Continental Shelf Research, 218, 104 384, <https://doi.org/10.1016/j.csr.2021.104384>, 2021.

Garcés-Rodríguez, Y., Sánchez-Velasco, L., Parés-Sierra, A., Jiménez-Rosenberg, S. P. A., Tenorio-Fernández, L., Montes-Aréchiga, J., and Godínez, V. M.: Distribution and transport of Fish larvae at the entrance of the Gulf of California (September, 2016), Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers, 193, 103 957, <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2022.103957>, 2023.

García-Morales, R., Farach-Espinoza, E. B., Herrera-Cervantes, H., Nevárez-Martínez, M. O., and López-Martínez, J.: Long-term variability in sea surface temperature and chlorophyll-a concentration in the Pacific region off Baja California, Marine Environmental Research, 208, 107 156, <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2025.107156>, 2025.

Kurczyn, J. A., Beier, E., Lavín, M. F., and Chaigneau, A.: Mesoscale eddies in the northeastern Pacific tropical-subtropical transition zone: Statistical characterization from satellite altimetry, Journal of Geophysical Research: Oceans, 117, <https://doi.org/10.1029/2012JC007970>, 2012.

Li, D., Jing, Z., Cai, W., Zhang, Z., Shi, J., Ma, X., Gan, B., Yang, H., Chen, Z., and Wu, L.: Mesoscale eddies inhibit intensification of the Subantarctic Front under global warming, Environmental Research Letters, 19, 114 054, <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ad8173>, 2024.

Marinone, S. G.: A three-dimensional model of the mean and seasonal circulation of the Gulf of California, Journal of Geophysical Research: Oceans, 108, <https://doi.org/10.1029/2002JC001720>, 2003.

Mauzole, Y. L., Torres, H. S., and Fu, L.-L.: Patterns and Dynamics of SST Fronts in the California Current System, Journal of Geophysical Research: Oceans, 125, e2019JC015499, <https://doi.org/10.1029/2019JC015499>, 2020.

McWilliams, J. C.: Oceanic Frontogenesis, Annual Review of Marine Science, 13, 227–253, <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-032320-120725>, 2021.

Morrow, R. and Traon, P.-Y.: 15 Years of Satellite Alimetry and Mesoscale Ocean Dynamics, European Space Agency, (Special Publication) ESA SP, 2006.

Olaya, F. C., Durazo, R., Oerder, V., Pallàs-Sanz, E., and Bento, J. P.: Ocean Front Detection with Glider and Satellite-Derived SST Data in the Southern California Current System, Remote Sensing, 13, <https://doi.org/10.3390/rs13245032>, 2021.

Romero, E., Sánchez-Velasco, L., Tenorio-Fernandez, L., Jiménez-Rosenberg, S. P. A., Sánchez-Pérez, A., Fundora-Pozo, M., and Beier, E.: Mesoscale activity in the northeastern pacific water mass convergence region and its influence on fish larvae distribution by development stages (October 2022), Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers, 204, 104 228, <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2023.104228>, 2024.

Shankar Manche, S., Nayak, R. K., Sikkakolli, R., Bothale, R. V., and Chauhan, P.: Characteristics of mesoscale eddies and their evolution in the north Indian ocean, Progress in Oceanography, 221, 103 213, <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2024.103213>, 2024.

Small, R. J., deSzoeki, S. P., Xie, S. P., O'Neill, L., Seo, H., Song, Q., Cornillon, P., Spall, M., and Minobe, S.: Air–sea interaction over ocean fronts and eddies, Dynamics of Atmospheres and Oceans, 45, 274–319, <https://doi.org/10.1016/j.dynatmoce.2008.01.001>, 2008.

Sudre, F., Hernández-Carrasco, I., Mazoyer, C., Sudre, J., Dewitte, B., Garçon, V., and Rossi, V.: An ocean front dataset for the Mediterranean sea and southwest Indian ocean, Scientific Data, 10, 730, <https://doi.org/10.1038/s41597-023-02615-z>, 2023.

Sánchez-Pérez, A., Sánchez-Velasco, L., and Romero, E.: Seasonal reversible eddy as a driver of thermal fronts in the Northern Gulf of California, Estuarine, Coastal and Shelf Science, 329, 109 653, <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2025.109653>, 2026a.

Sánchez-Pérez, A., Tenorio-Fernández, L., Romero, E., Montes-Aréchiga, J., and Sánchez-Velasco, L.: Detection and temporal variation of the thermal front system in the Midriff Archipelago Region of the Gulf of California, Continental Shelf Research, 296, 105 581, <https://doi.org/10.1016/j.csr.2025.105581>, 2026b.

Vazquez-Cuervo, J., García-Reyes, M., and Gómez-Valdés, J.: Identification of Sea Surface Temperature and Sea Surface Salinity Fronts along the California Coast: Application Using Saildrone and Satellite Derived Products, Remote Sensing, 15, <https://doi.org/10.3390/rs15020484>, 2023.

Vincent, O. and Folorunso, O.: A Descriptive Algorithm for Sobel Image Edge Detection, <https://doi.org/10.28945/3351>, 2009.

Yang, Y., Ju, Y., Gao, Y., Zhang, C., and Lam, K.-M.: Remote sensing insights into ocean fronts: a literature review, Intelligent Marine Technology and Systems, 2, 10, <https://doi.org/10.1007/s44295-024-00024-5>, 2024.

Zamudio, L., Hogan, P., and Metzger, E. J.: Summer generation of the Southern Gulf of California eddy train, Journal of Geophysical Research: Oceans, 113, <https://doi.org/10.1029/2007JC004467>, 2008.

7. Monitoreo satelital de florecimientos algales

Cotsikayala Pacheco-Ramírez
cotsi.pacheco@gmail.com

Resumen | En esta sección se presenta parte de la tesis doctoral centrada en la teledetección de grupos funcionales fitoplanctónicos a partir de la señal de la clorofila oceánica. El estudio se enfoca particularmente en diatomeas y dinoflagelados, grupos que incluyen especies con potencial de formar florecimientos algales nocivos y que, por lo tanto, requieren monitoreo continuo y sistemático. Durante enero, los tres grupos fitoplanctónicos analizados estuvieron bien representados. En la bahía de la Paz se observó un incremento notable en los cocolitofóridos, lo que sugiere condiciones favorables para su desarrollo. El análisis de imágenes satelitales Sentinel-2 permitió identificar parches de diversa coloración en la superficie marina, desde Loreto hasta Cabo Pulmo, reflejando una marcada heterogeneidad espacial en la composición fitoplanctónica. En este mismo periodo, el SiAT-FAN reportó un florecimiento de diatomeas asociado con extensos parches de color verde en la bahía de La Paz. La coherencia entre los registros satelitales y los reportes de monitoreo *in situ* resalta el potencial de la teledetección como herramienta para la identificación y seguimiento de estos eventos.

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 multispectrales 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 enero de 2026 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, 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 presentan los promedios mensuales de dinoflagelados

(panel superior), diatomeas (panel central) y cocolitofóridos (panel inferior) para Cabo Pulmo, la bahía de La Paz y San Juanico, respectivamente. Las barras azules representan las climatologías mensuales de enero a diciembre para el periodo 2002-2025, mientras que los puntos negros indican los promedios mensuales observados en enero de 2026.

En los tres sitios se observaron concentraciones que difieren con el promedio climatológico. Este contraste es particularmente evidente en la bahía de La Paz, donde los cocolitofóridos muestran un incremento notable, tanto las diatomeas como los dinoflagelados alcanzan el límite superior de su variabilidad climatológica. En Cabo Pulmo y San Juanico, los tres grupos fitoplanctónicos también registran valores cercanos o en el límite superior respecto a sus climatologías. Lo que sugiere condiciones favorables para su florecimiento durante el periodo analizado.

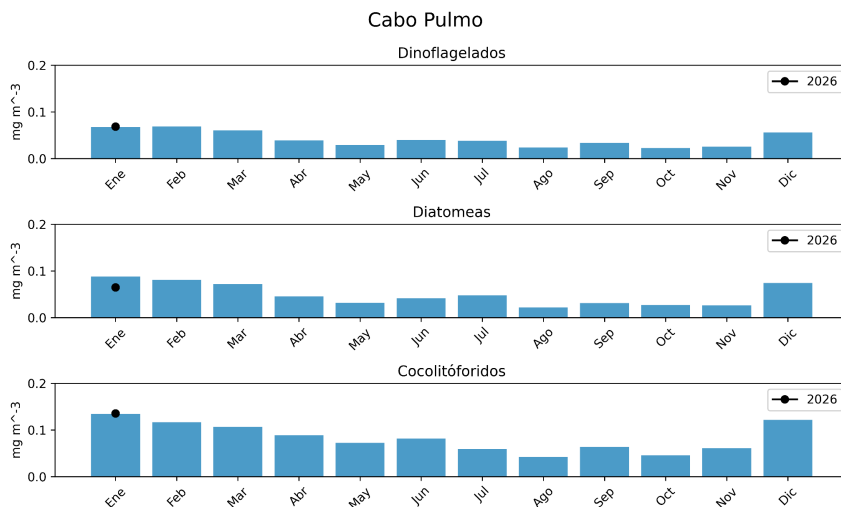


Figura 6.1: Estas climatologías representan la concentración de grupos fitoplanctónicos, expresada en CLO en el agua de mar en Cabo Pulmo de enero de 2026.

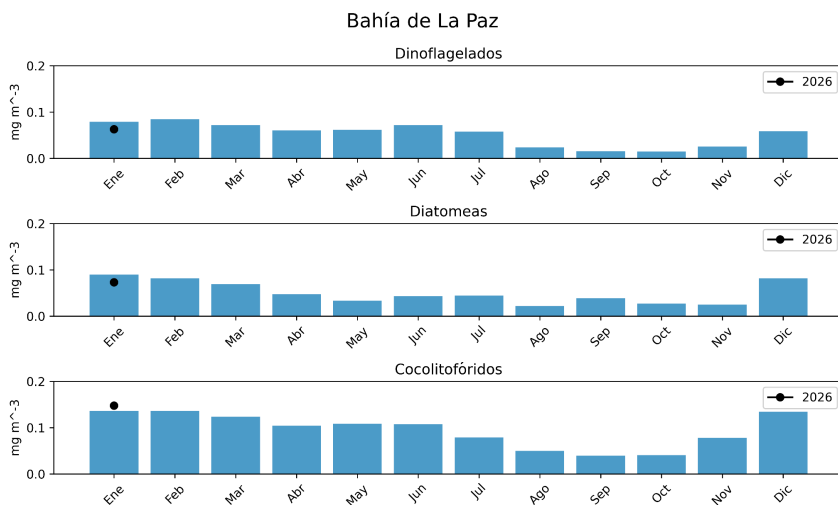


Figura 6.2: Estas climatologías representan la concentración de grupos fitoplanctónicos, expresada en CLO en el agua de mar en la bahía de La Paz de enero de 2026.

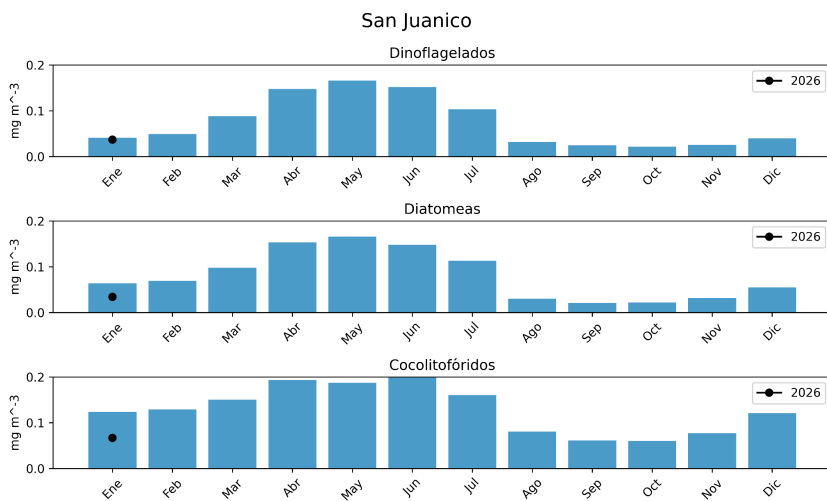


Figura 6.3: Estas climatologías representan la concentración de grupos fitoplanctónicos, expresada en CLO en el agua de mar en San Juanico de enero de 2026.

Eventos locales

1. Parches extensos de coloración verde oscura, marrón y roja se formaron desde Cabo Pulmo (Figura 6.4A), La Ribera (Figura 6.4B), bahía de La Paz (Figura 6.4C) y Loreto (Figura 6.4D). En la bahía de La Paz la abundancia fitoplanctónica estuvo dominada por diatomeas del género *Chaetoceros* (32 880 Cél L), *Pseudo-nitzschia* spp. (1 520 Cél L) y *Guinardia striata* (1 000 Cél L) (<https://siat-cicese.mx/#situacion-actual>).

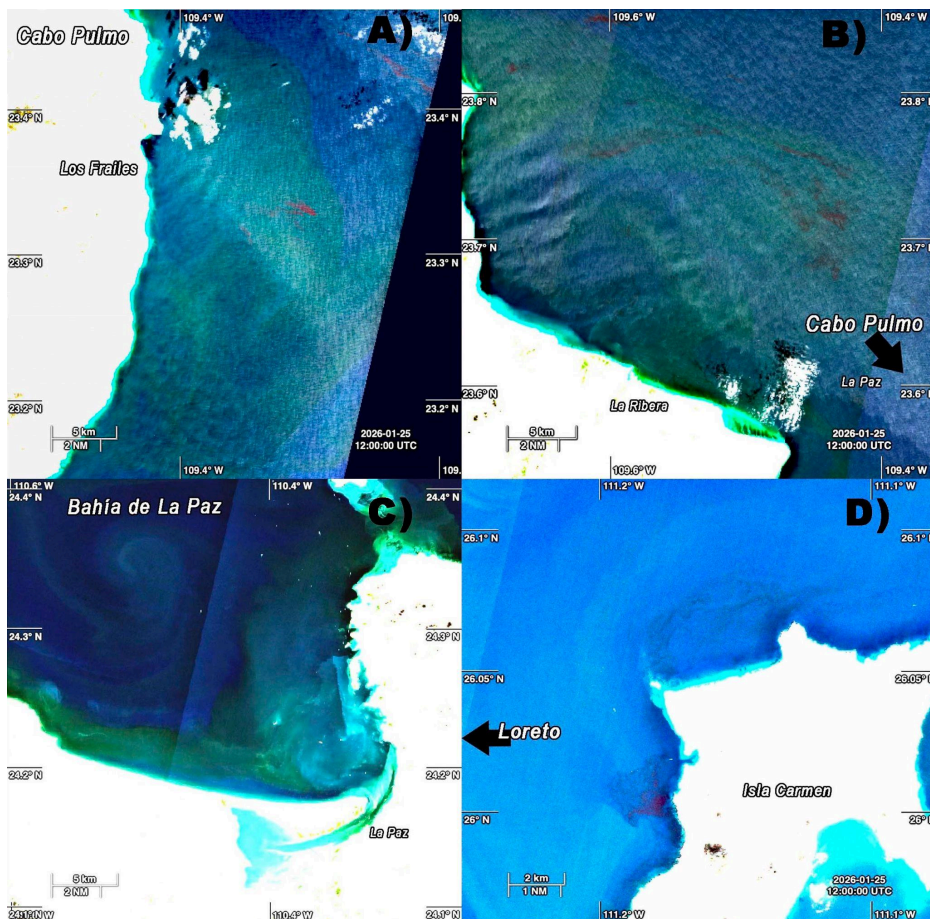


Figura 6.4: Estas imágenes de color verdadero indican zonas con coloración verde, marron y roja durante enero de 2026.

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 Algaes 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.

8. 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 enero de 2026 se puede observar que el patrón característico de los vientos en la región de Cabo Pulmo, BCS, muestra una tendencia marcada de los vientos provenientes del Noroeste, que si bien no cambia el patrón característico de los vientos, de acuerdo con la climatología dada en la región (2014-2025) (Figura 7.1), sí se define una región dominante para este mes. La intensidad de los vientos no muestra una tendencia significativa en la zona de Cabo Pulmo durante este inicio de año.

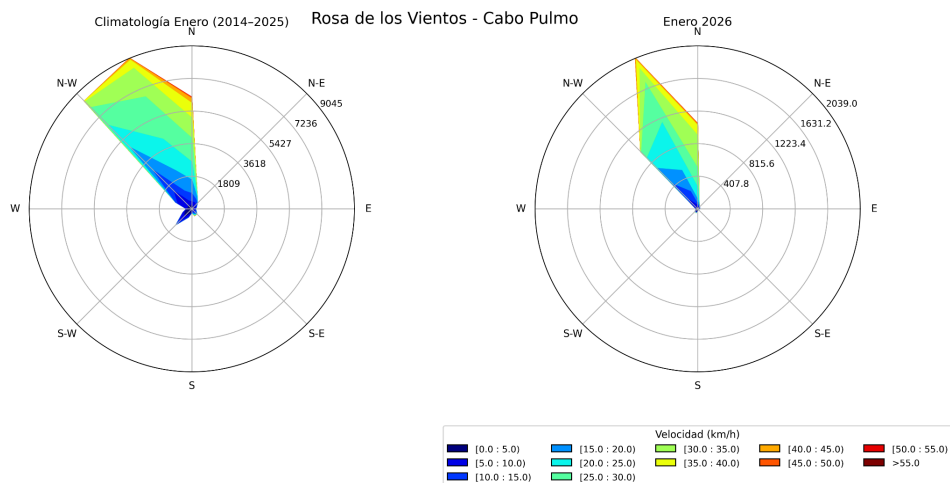


Figura 7.1: Climatología vs. observaciones de la dirección e intensidad de los vientos en la estación Cabo Pulmo durante el mes de enero de 2026.

La intensidad del viento *in situ* registrada durante enero de 2026 en Cabo Pulmo, muestra una distribución de intensidades con más valores atípicos (outliers) en comparación con los años previos [Figura 7.2](#). Sin embargo, estos valores quedan por debajo de los valores extremos definidos por los gráficos de cajas de los años anteriores, con excepción de 2016 y 2017. Se observa que los vientos atípicos cercanos a los 50 km/h reflejan las condiciones de vientos fuertes percibidos durante algunos días de este mes en correspondencia con un aumento en la media de la distribución de intensidades mayor a 20 km/h ([Figura 7.2](#)).

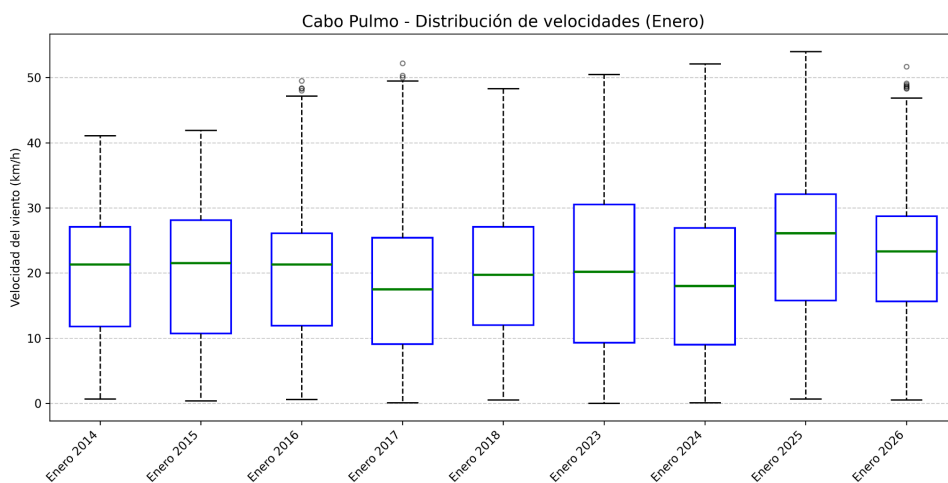


Figura 7.2: Análisis de cajas de la intensidad de los vientos en la estación Cabo Pulmo durante el mes de enero de 2026. Los valores de viento atípico están dados en el gráfico de cajas por los outliers (círculos en negro).

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

A diferencia de lo ocurrido en Cabo Pulmo, durante el mes de enero de 2026 en La Paz se observa que el patrón mensual de los vientos no cambia o muestra una tendencia radical respecto al patrón característico de los vientos dado por la climatología local (2016-2025) (Figura 7.3). Sin embargo, se aprecia ligeramente que durante este mes el flujo de viento proveniente del Noreste arroja valores de intensidad notables por arriba de los 20 km/h en los cuadrantes Norte-Noreste y Sur-Sureste.

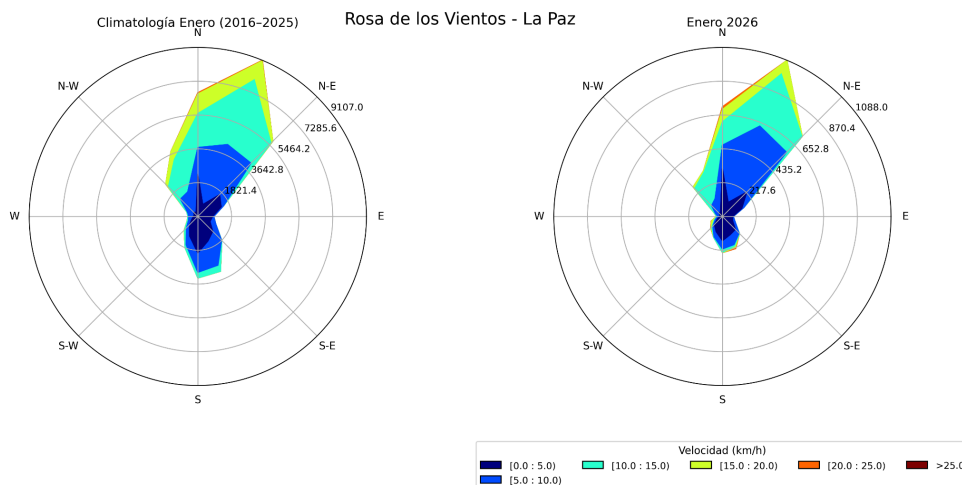


Figura 7.3: Climatología vs. observaciones de la dirección e intensidad de los vientos en la estación ESIME de La Paz durante enero de 2026.

La intensidad del viento *in situ* registrada durante enero de 2026 en La Paz, muestra una distribución de intensidades con valores atípicos más altos en comparación con años anteriores (Figura 7.4, outliers). Particularmente, los rangos intercuartiles aumentaron por arriba de lo documentado en 2024 y 2025 (ver bigotes del boxplot, Figura 7.4). Esto coincide claramente con las condiciones de viento intenso y ráfagas fuertes percibidas durante este mes. Los outliers muestran rachas de viento sostenido por arriba de los 20 km/h que es poco usual para este mes, llegando a velocidades cercanas a los 25 km/h (Figura 7.4, outliers).

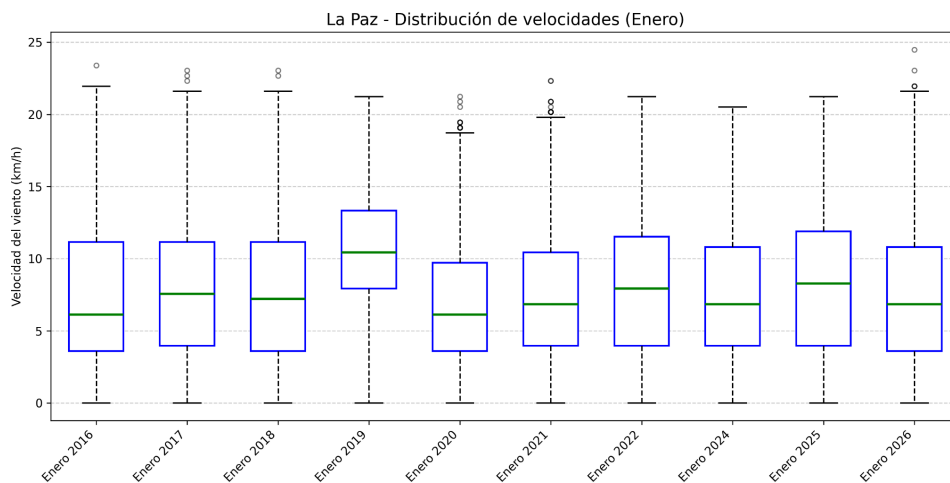


Figura 7.4: Análisis de cajas de la intensidad de los vientos en la ciudad de La Paz, BCS, durante el mes de enero de 2026. Los valores de viento atípico u outliers se muestran con círculos en negro en la figura.

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*.

9. 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.

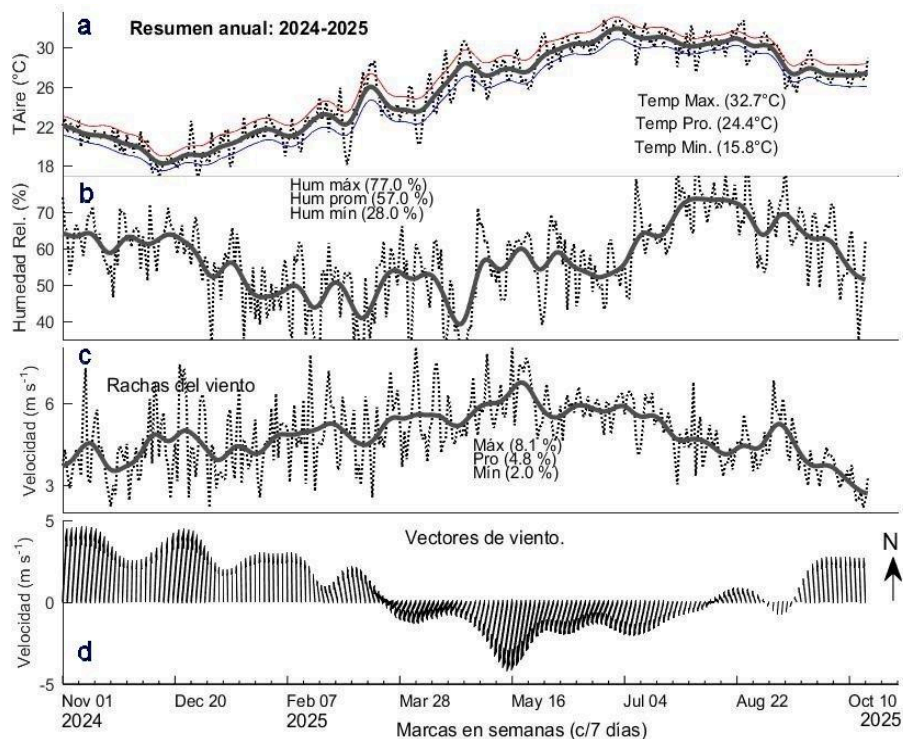


Figura 8.1: Series de tiempo de datos de promedio diario registrados en la Bahía de La Paz, cubriendo el período 01 de diciembre de 2024, al 31 de noviembre del 2025: (a) Temperatura del aire (líneas continuas suavizadas: Temp. Max, en rojo, promedio en negro y mínima en azul), (b) Humedad Relativa,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

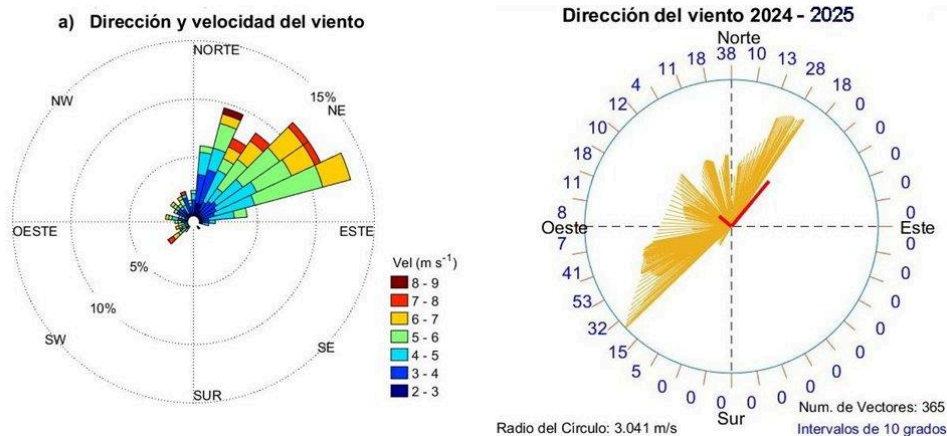


Figura 8.2: Dirección y velocidad predominante del viento (promedio diario) utilizando datos registrados en la Estación meteorológica ubicada al sur de La Bahía de La Paz. Valores diarios mostrados en forma de: a) rosa de los vientos y b) rosa de vectores (dirección predominante), los números en el círculo (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.	Annual
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	29.5
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	25.5
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	21.5
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	72.3
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	57.4
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	40.2
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	7.1
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	6.2
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	2.5

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-Rodríguez, J.H., 2004. Hydrographic variability in bahía de La Paz, B. C. S, México, during the 1997–1998 El Niño. *Deep-Sea Research II* 51, 689–710. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2004.05.005>.

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.

10. 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 enero de 2026 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 el mes de 20.2 °C; este valor presentó una anomalía positiva de 2.4 °C, con respecto a datos históricos. Por su parte, el promedio mensual de la temperatura máxima fue de 28.9 °C, valor que presentó una anomalía de 1.7 °C con respecto a datos históricos. La temperatura mínima alcanzó los 11.6 °C, valor que también resultó con una anomalía de 3.3 °C con respecto a datos históricos. La evapotranspiración potencial (ET_o) promedio para el mes de enero fue de 3.5 mm/día. Asimismo, la precipitación acumulada en el mes de enero de 2026 fue de 32 mm, resultando 113 % mayor que el promedio histórico del mes.

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 enero de 2026 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 correspondiente al mes de enero del año 2026. Con la información descrita, se estimaron las temperaturas promedio para el mes, a la par de identificar los días en el que se presentaron la temperatura más alta y la más baja. Asimismo, se realizó una comparativa entre las temperaturas presentadas en el mes de enero de 2026 con respecto a registros históricos (periodo 1982-2023), reportados en el inventario de registros por década de la misma estación. También se estimó la evapotranspiración potencial (ETo) para cada día del mes de enero de 2026. 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 el mes de enero de 2026

La [Figura 9.1](#) muestra el comportamiento diario de la temperatura y humedad relativa en el mes de enero de 2026. El día 17 del mes se presentó la temperatura más alta con un registro de 34.8 °C, mientras que el día 11 se registró la temperatura más baja con 4.8 °C. El promedio de la humedad relativa máxima para el mes fue de 90.4 %, mientras que la humedad relativa mínima promedio 34.0 %.

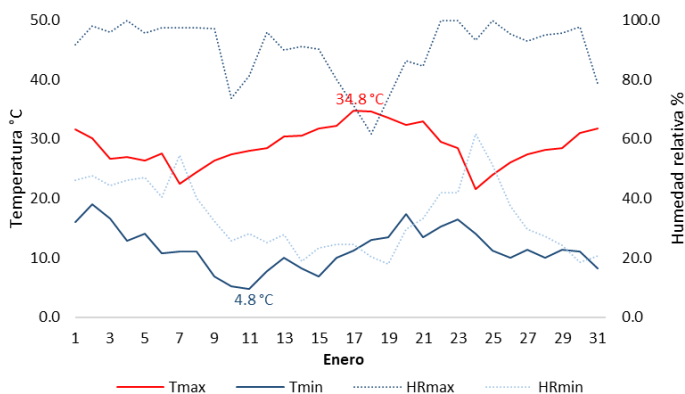


Figura 9.1: Comportamiento de la temperatura y humedad relativa en enero de 2026. Tmax= Temperatura máxima. Tmin= Temperatura mínima. HRmax= Humedad relativa máxima. HRmin= Humedad relativa mínima. Los valores en rojo y azul dentro de cada mes, indican el valor más alto y el más bajo de las temperaturas máxima y mínima, respectivamente.

Comportamiento de las temperaturas en enero de 2026 vs registros históricos

El mes de enero de 2026 presentó una temperatura promedio de 20.2 °C (Figura 9.2a), valor que se ubicó 2.4 °C por arriba del promedio histórico del mes (datos 1982-2023). 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 1.7 °C, mientras que la segunda presentó una anomalía de 3.3 °C . (Figura 9.2b). Así, el mes de enero de 2026 fue más cálido que el comportamiento histórico.

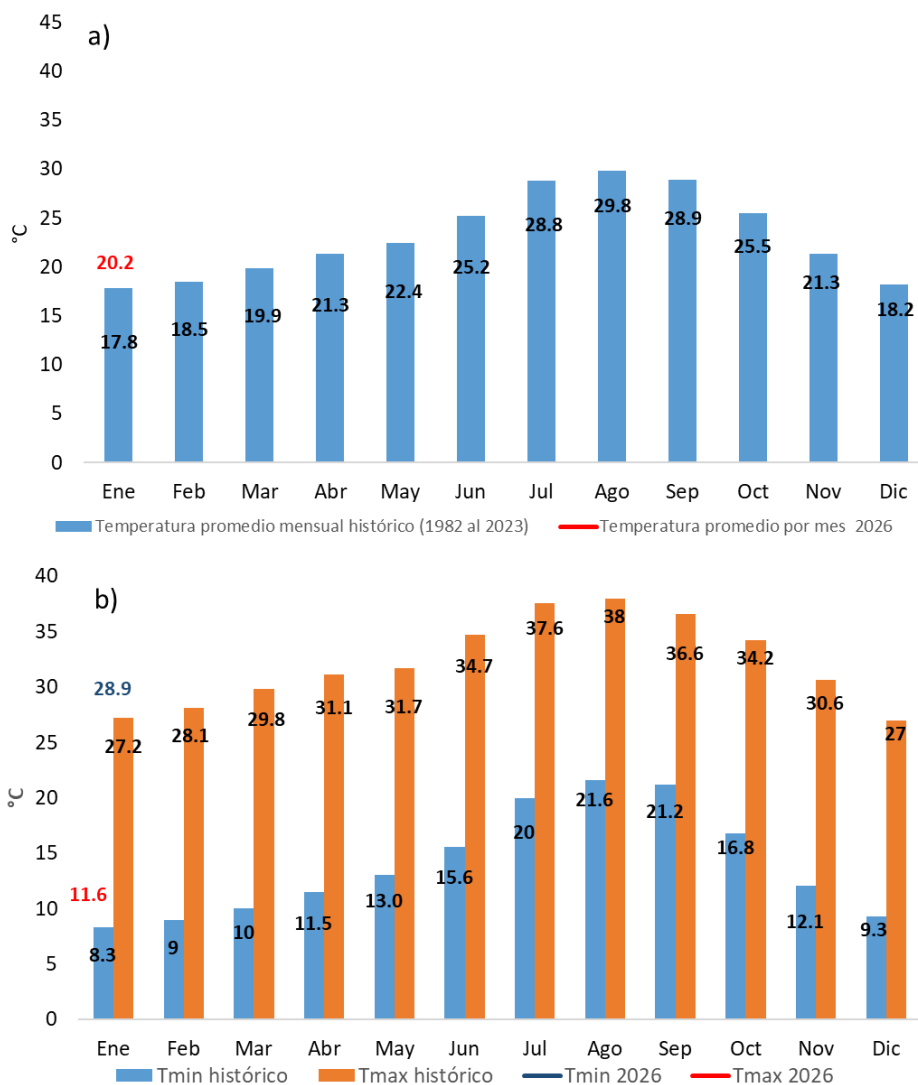


Figura 9.2: a) Comparativo de los promedios mensuales de la temperatura media (periodo 1982-2023) con respecto al registrado en el mes de enero de 2026. b) Comparativo entre promedios de temperaturas máximas y mínimas históricas (1982-2023) con respecto a promedios presentados en el mes de enero de 2026. Tmax= Temperatura máxima. Tmin= Temperatura mínima.

Evapotranspiración potencial (ETo) en el mes de enero de 2026

La [Figura 9.3a](#) muestra el comportamiento de las variables a partir de las cuales se calculó la ETo para cada día del mes de enero de 2026, mientras que la [Figura 9.3b](#) muestran los

valores de ETo para cada día del mismo mes; el valor promedio de esta variable en enero de 2026 fue de 3.5 mm/día con una desviación estándar de 0.7 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 enero de 2026 fue de 35.0 ± 7 metros cúbicos por hectárea; volumen que habría que reponer a través del riego considerando un ajuste ligado al tipo de cultivo, etapa fenológica, eficiencia del sistema de riego utilizado, así como al intervalo de riego definido en días relacionado al nivel de abatimiento de la humedad aprovechable propio de cada tipo de suelo.

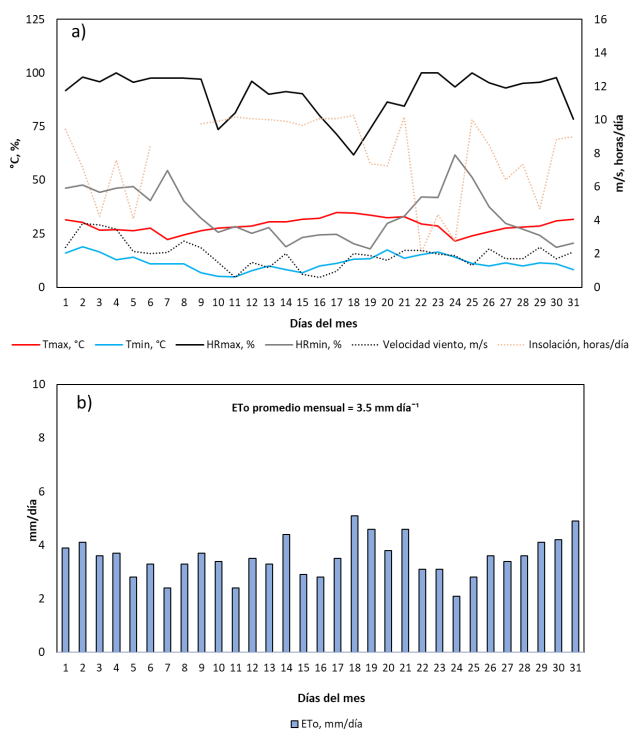


Figura 9.3: a) Comportamiento de la temperatura máxima (Tmax), temperatura mínima (Tmin), humedad relativa máxima (HRmax) y mínima (HRmin), velocidad del viento e insolación en el mes de enero de 2026. b) Comportamiento de la evapotranspiración potencial (ETo) para el mes de enero de 2026.

Precipitación acumulada

Durante el mes de enero de 2026 se registraron dos días (23 y 24 de enero de 2026) con precipitación acumulándose en el mes un total de 32.0 mm (Figura 9.4). Dado que los promedios históricos de la estación para el mes de enero es de 15 mm (Ruíz et al., 2006),

este presentó una anomalía positiva de 17 mm.

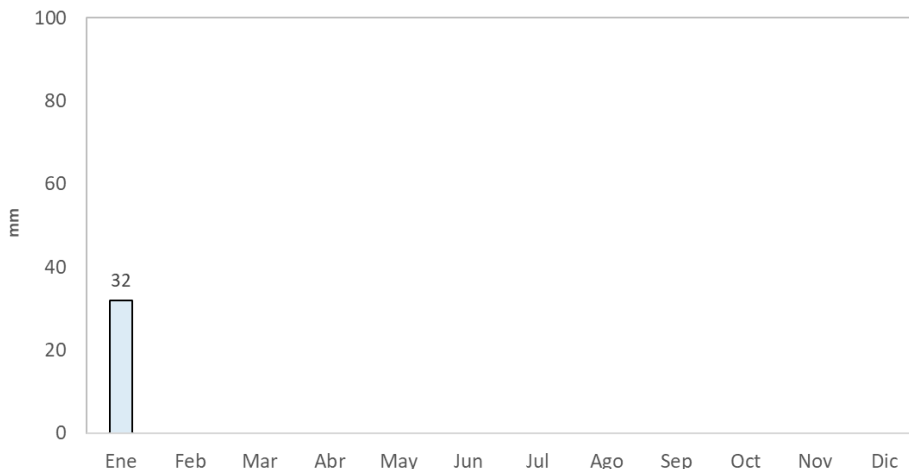


Figura 9.4: Precipitación acumulada al mes de enero de 2026.

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>

11. 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 el mes de enero 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 (Osorio Tai, 2015). Eventualmente, una parte de los sistemas frontales se desplazan por el Océano Pacífico para internarse en el noroeste del país incluyendo la península de Baja California. En enero de 2026 se monitorearon un total de 7 sistemas frontales en México.

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 adyacentes.

Metodología

Se utilizan los reportes diarios del SMN sobre la identificación y un reporte mensual del SMN conteo de frentes fríos (SMN 2026). De forma complementaria, se utilizan los mapas elaborados por el Centro Nacional de Huracanes (<https://www.nhc.noaa.gov/tafb>) 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 el mes de enero se presentaron 7 sistemas frontales: desde el número 26 del 3-5 de enero hasta el número 32 del 29 de enero-2 de febrero (SMN 2026). Solamente dos de ellos lograron desplazarse sobre la península de Baja California (Figura 10.1); el resto de los frentes lo hicieron por el norte y este del país.

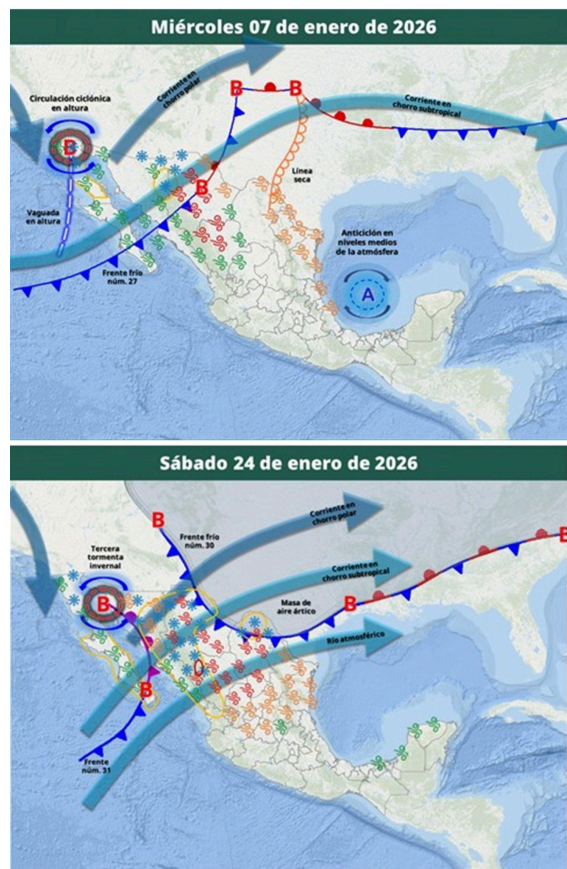


Figura 10.1: Representación gráfica de las condiciones meteorológicas en dos días de enero en 2026. La figura superior se asocia al frente frío número 27 (7 de enero) y la inferior al frente frío número 31 (24 de enero) sobre el noroeste de México. Elaborada con material proporcionado por el Servicio Meteorológico Nacional.

Un evento notable en los últimos 10 días del mes fue la presencia de lluvia en varias localidades del estado durante el periodo 23-24 de enero, asociada al desarrollo del sistema frontal número 31. La Figura 10.2 presenta la estimación 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 en las regiones de mayor acumulación. Las acumulaciones totales de lluvia incluyeron 32 mm en Cabo San Lucas y Ciudad Constitución, 31.2 mm en San Antonio y 28.1 mm en La Paz entre

otros reportes.

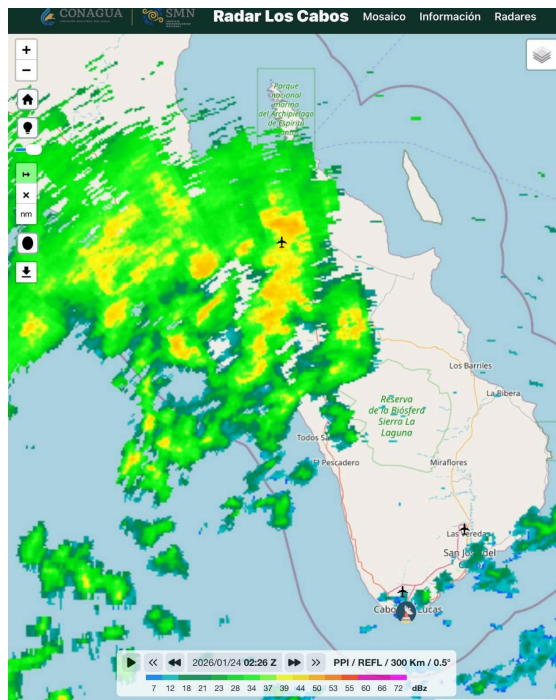


Figura 10.2: Imagen del radar del Servicio Meteorológico Nacional en Cabo San Lucas, 23 de enero (19:26 hora local); los colores indican una aproximación a la cantidad de lluvia en la que los tonos amarillo y naranja son los de mayor intensidad.

Referencias

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 (2026). "Reporte del clima en México: enero 2026". <https://smn.conagua.gob.mx/tools/DATA/Climatolog%C3%ADA/Diagn%C3%B3stico%20Atmosf%C3%A9rico/Reporte%20del%20Clima%20en%20M%C3%A9xico/RC-Febrero26.pdf>

12. 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

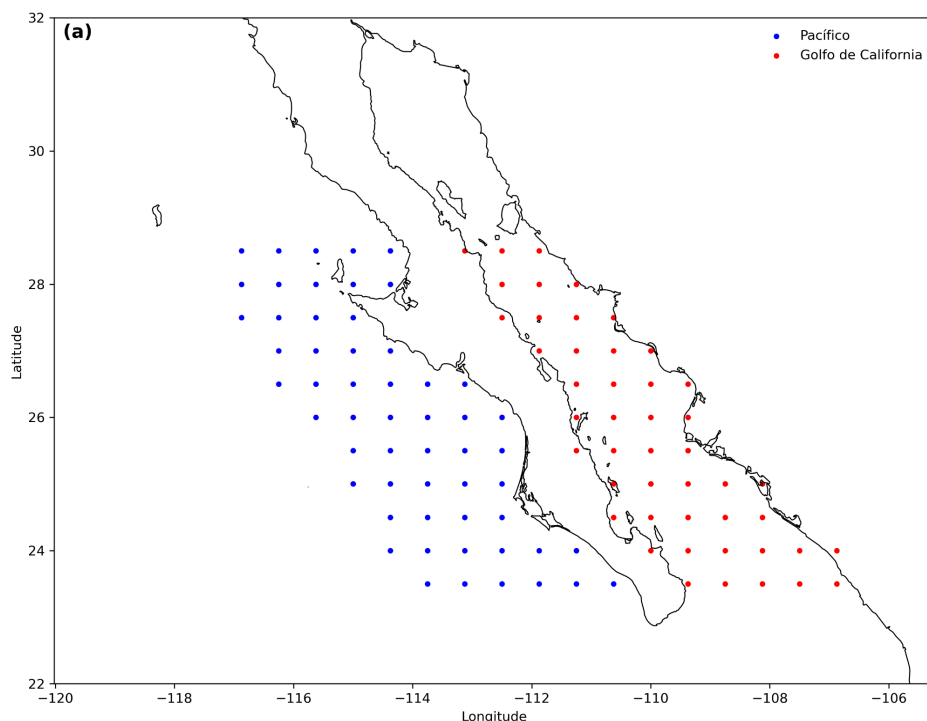


Figura 11.1: Ubicación de las celdas de MERRAS en el Golfo de California y la costa Oeste de la Península de Baja California.

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.

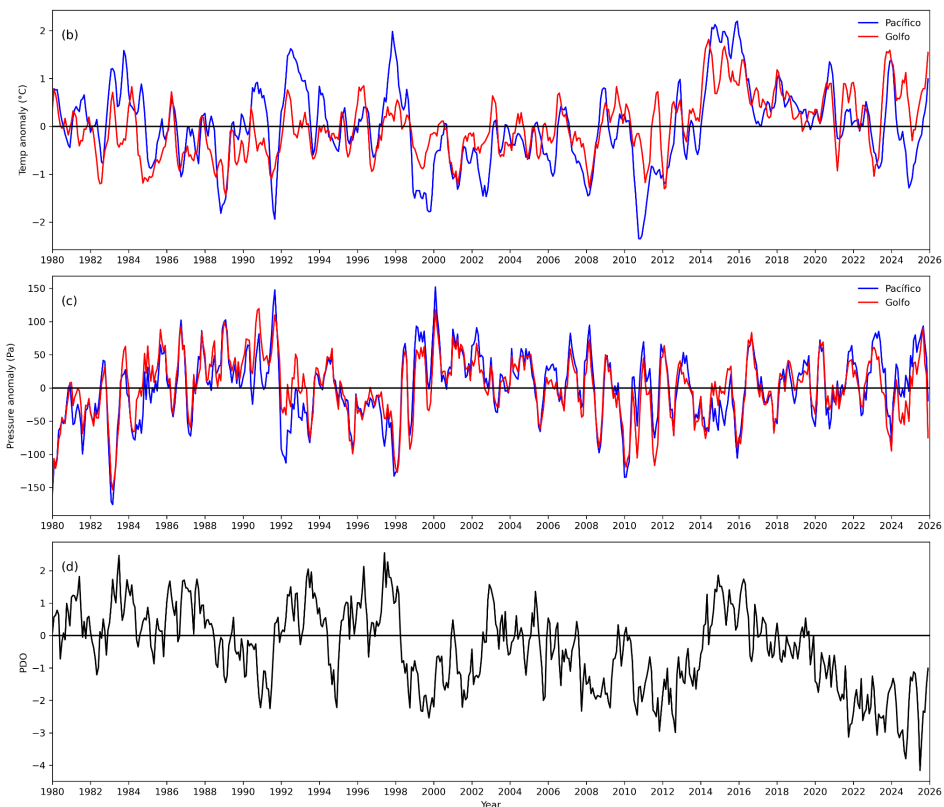


Figura 11.2: Series temporales regionales para el periodo 1980–diciembre de 2025 (b) Anomalías de la temperatura del aire a 10 m (°C) promediadas regionalmente para el Pacífico (azul) y el Golfo de California (rojo), suavizadas mediante una media móvil de cuatro meses (MA4). (c) Anomalías de la presión 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.

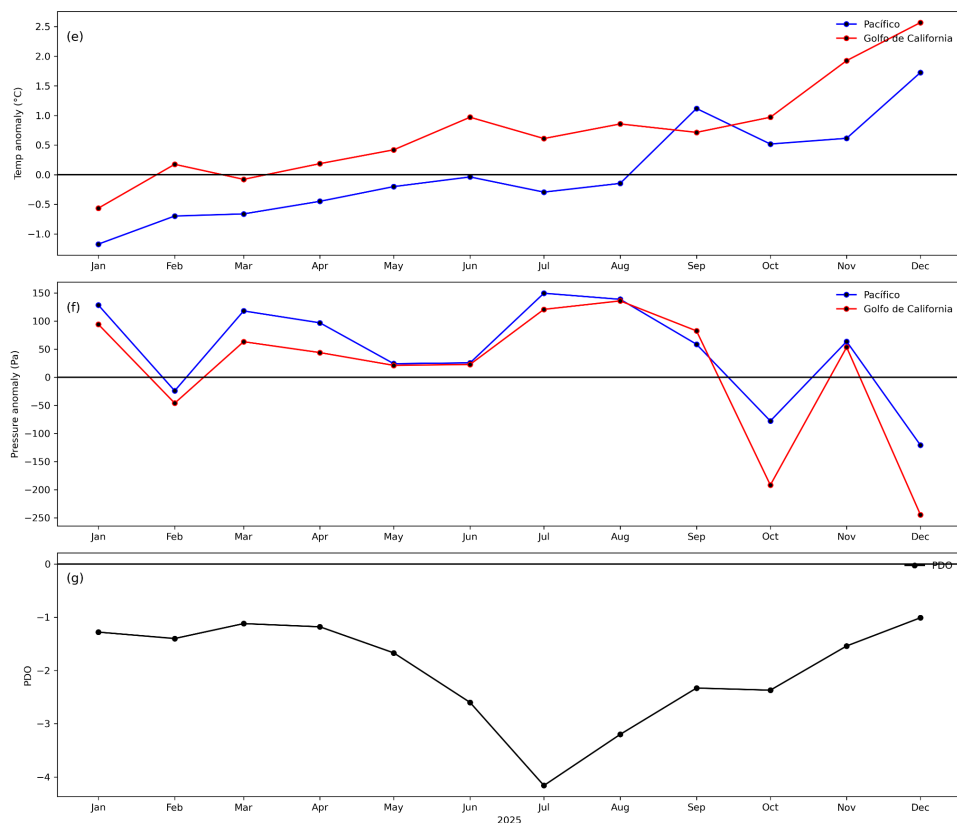


Figura 11.3: Variación mensual durante 2025 de las variables analizadas para el Pacífico y el Golfo de California (e) Anomalías mensuales de la temperatura del aire a 10 m (°C), con incremento hacia el otoño–invierno y valores generalmente mayores en el Golfo de California. (f) Anomalías mensuales de 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 2 | FEBRERO 2026

CONTENIDO

PRESENTACIÓN

NOVEDADES

NIVEL DEL MAR

TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL
MAR PRODUCTIVIDAD PRIMARIA Y
ALTIMETRÍA SATELITAL

PAISAJES PELÁGICOS

ONDAS DE CALOR MARINAS

ACTIVIDAD DE MESOESCALA:
REMOLINOS Y FRENTE TÉRMICOS

MONITOREO SATELITAL DE
FLORECIMIENTOS ALGALES

VIENTO (VTO) IN SITU

CONDICIONES METEOROLÓGICAS
EN LA BAHÍA DE LA PAZ

CLIMA EN EL VALLE DE SANTO
DOMINGO

SISTEMAS FRONTALES

TEMPERATURA DEL AIRE EN EL
GOLFO DE CALIFORNIA

Conecta con nosotros



lab_servant



octropicalservant cicese ualp

