

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: Faro del islote La Reina, al norte de Isla Cerralvo. Autor: José Alejandro Ramos Rodríguez.

BOLETÍN CLIMÁTICO DE BCS

DIRECTORIO

Boletín Climático del Centro de Investigación Científica y
de Educación Superior de Ensenada - Unidad Académica La Paz

<https://ualp.cicese.mx/BoletinClimBCS/> | <https://zenodo.org/communities/servant-cicese-ualp/>

Coordinación
Armando Trasviña Castro trasvi@cicese.mx
Eduardo González Rodríguez egonzale@cicese.edu.mx

Editor en Jefe
Emmanuel Romero Quintero

Editor Técnico
Alfredo Aguirre Estrada

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. 5, mayo 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, servant@cicese.edu.mx, (612) 121-3031. <<https://ualp.cicese.mx/>>.

Citar como:

Laboratorio SERVANT / Grupo de Oceanografía Tropical. (2026).

BOLETÍN CLIMÁTICO DE BCS, año 2, núm. 5, mayo 2026 (1.0.0).

CICESE-UALP. <https://doi.org/10.5281/zenodo.20357734>.

BOLETÍN CLIMÁTICO DE BCS

Año 2 | Número 5 | mayo 2026

Novedades del clima regional Contenido

Presentación	3
1. Introducción	5
2. Nivel del mar absoluto	8
Armando Trasviña Castro	
3. Temperatura Superficial del Mar, Productividad Primaria y Altimetría satelital	16
Eduardo González Rodríguez	
4. Paisaje Pelágico	28
Romeo Saldívar-Lucio	
5. Ondas de calor marinas	34
José Alejandro Ramos Rodríguez	
6. Actividad de mesoescala: Remolinos y frentes térmicos	41
Emmanuel Romero, Amelia Sánchez-Pérez	
7. Monitoreo satelital de florecimientos algales	53
Cotsikayala Pacheco-Ramírez	
8. Viento (VTO) in situ	59
Jorge Cortés Ramos	
9. Condiciones meteorológicas registradas en La Bahía de La Paz	64
Hugo Herrera Cervantes	
10. Clima en el Valle de Santo Domingo	69
José Denis Osuna Amador	
11. Sistemas frontales	75
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	78
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).

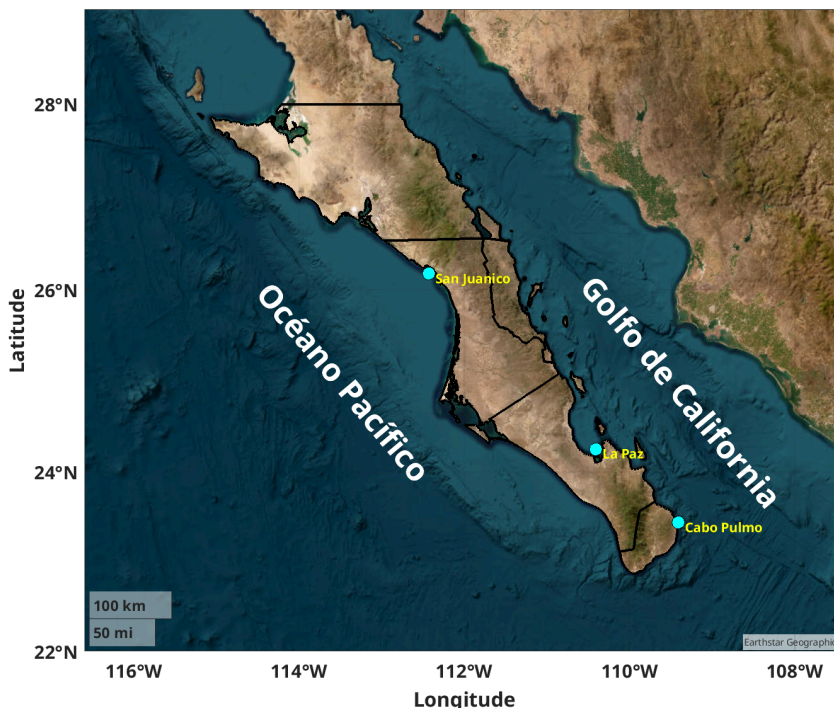


Figura 1.1: Océano costero de Baja California Sur, dentro de la región oceanográfica del Pacífico Tropical Oriental y de la Corriente de California. Los círculos de colores marcan sitios donde presentamos series de tiempo de diferentes variables.

1.1 Eventos extremos

Jorge Cortés Ramos

Durante 2026 se han registrado diversos eventos extremos en el sur de la península de Baja California, incluyendo episodios de altas temperaturas y precipitación intensa. En esta sección se presenta un análisis descriptivo en tres estaciones climatológicas representativas: La Paz, Cabo San Lucas y Loreto, utilizando umbrales climatológicos correspondientes al periodo de referencia 1991–2020.

Las ondas de calor identificadas durante el año muestran una ocurrencia que comenzó desde finales del invierno y principio de la primavera, con eventos que se extienden durante varios días consecutivos hasta el presente. La duración y magnitud de estos eventos varían entre estaciones, reflejando diferencias locales en la respuesta térmica.

En la [Figura 1.1.1](#) se muestra la evolución diaria de la temperatura máxima (Tmax) para 2026 en las tres estaciones analizadas, junto con su climatología de referencia. Este tipo de representación permite identificar visualmente los periodos en los que la temperatura observada supera los valores característicos del clima local.

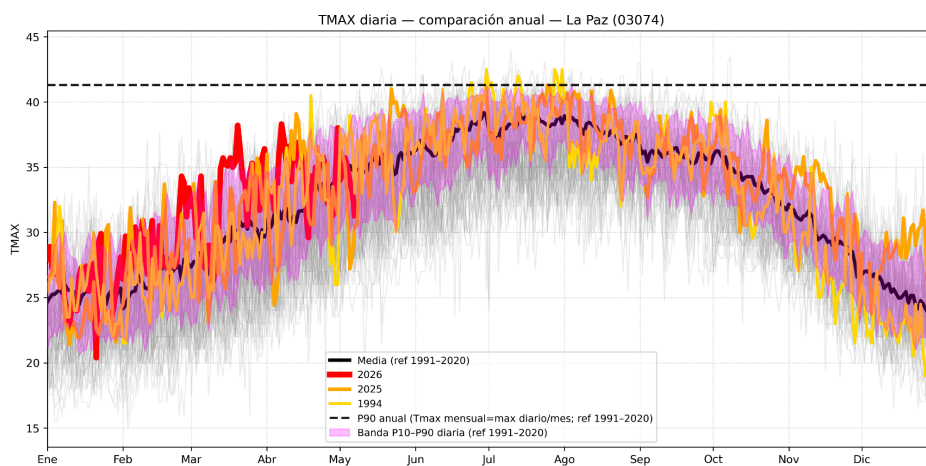


Figura 1.1.1: Evolución diaria de la temperatura máxima (Tmax) durante 2026 en estaciones representativas de Baja California Sur: La Paz, Cabo San Lucas y Loreto. La línea roja muestra los valores observados en 2026, mientras que la línea negra representa la climatología media (1991–2020) y la banda sombreada indica el rango entre los percentiles 10 y 90 diarios. La línea discontinua corresponde al percentil 90 climatológico de la Tmax mensual, definida como el valor máximo diario registrado en cada mes del periodo de referencia. Última actualización: 7/05/2026.

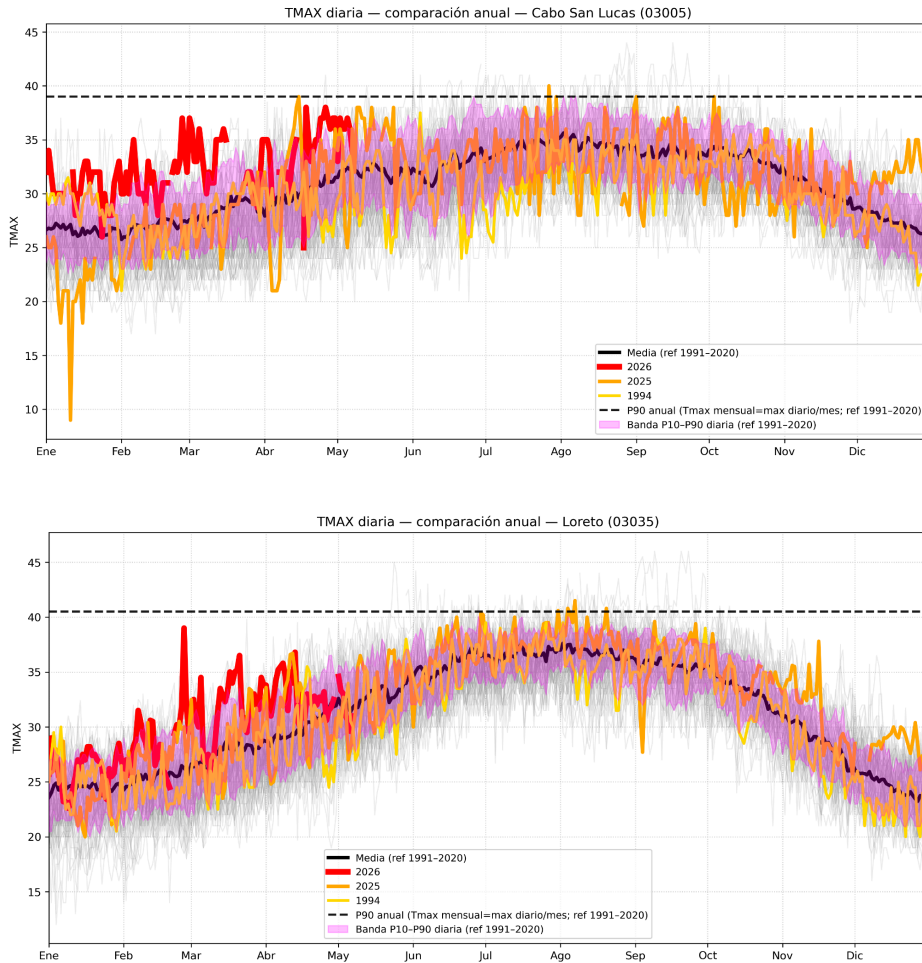


Figura 1.1.1 (cont).

Con el fin de documentar de manera sistemática la ocurrencia de eventos extremos durante 2026, a continuación se presentan tablas resumen para las tres estaciones analizadas. Estas incluyen la identificación de ondas de calor, días fríos extremos y eventos de precipitación, caracterizados en función de su duración, magnitud y relación con los umbrales climatológicos definidos para cada sitio.

Tabla 1. Ondas de calor detectadas (mensual)					
Estación	Periodo del Evento	Duración (Días)	Tmax máx (°C)	Umbral P90 (°C)	Exceso máx (°C)
La Paz (03074)	24–28 febrero	5	34.3	31.0	3.3
La Paz (03074)	13–21 marzo	9	38.2	34.3	3.9
La Paz (03074)	25–31 marzo	7	36.4	34.3	2.1
La Paz (03074)	07–13 abril	7	38.3	36.5	1.8
Loreto (03035)	2–4 enero	3	29.0	27.5	1.5
Loreto (03035)	23 febrero–2 marzo	8	39.0	29.5	9.5
Loreto (03035)	13–21 marzo	9	36.5	31.5	5.0
Loreto (03035)	25–31 marzo	7	34.5	31.5	3.0
Loreto (03035)	5–13 abril	9	36.8	34.0	2.8
Cabo San Lucas (03005)	1–3 enero	3	34.0	30.0	4.0
Cabo San Lucas (03005)	16–23 enero	8	33.0	30.0	3.0
Cabo San Lucas (03005)	29–31 enero	3	33.0	30.0	3.0
Cabo San Lucas (03005)	3–7 febrero	5	35.0	31.0	4.0
Cabo San Lucas (03005)	12–14 febrero	3	33.0	31.0	2.0
Cabo San Lucas (03005)	22 febrero–6 marzo	13	37.0	31.0	6.0
Cabo San Lucas (03005)	12–16 marzo	5	36.0	32.0	4.0
Cabo San Lucas (03005)	31 marzo–2 abril	3	35.0	34.0	3.0
Cabo San Lucas (03005)	14–19 abril	4	38.0	34.0	4.0
Cabo San Lucas (03005)	22 abril–2 mayo	11	38.0	34.0	4.0

Tabla 2. Días fríos extremos (mensual)				
Estación	Periodo del Evento	Tmin (°C)	Umbral P10 (°C)	Anomalía (°C)
La Paz (03074)	--	--	--	--
Loreto (03035)	29-ene	8	8.5	-0.5
Cabo San Lucas (03005)	--	--	--	--

Tabla 3. Eventos de precipitación extrema (mensual)				
Estación	Fecha	Precipitación (mm)	Categoría	P90 (mm)
La Paz (03074)	23-ene	25.6	Extrema	17.3
Loreto (03035)	23-ene	21.6	Extrema	19.4
Cabo San Lucas (03005)	23-ene	27	Extrema	16.5
Cabo San Lucas (03005)	24-ene	5	Moderada	16.5

En conjunto, estas tablas permiten identificar de forma objetiva la ocurrencia y características principales de los eventos extremos registrados hasta marzo de 2026. La información presentada constituye una base descriptiva para el seguimiento de las condiciones climáticas en la región, manteniendo consistencia con los criterios climatológicos establecidos.

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). El invierno de 2025 a 2026 se ha caracterizado por su menor intensidad en términos de descenso del nivel del mar. Esto se relaciona directamente con las temperaturas relativamente altas del mar durante este invierno. El pronóstico para fin de año es de un evento cálido del Niño.

Introducción

En esta sección presentamos la variación del nivel del mar absoluto (NMA). Esta es la variación determinada con referencia al geode, 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 L 4 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 L 4 Sea Surface Heights And Derived Variables Nrt

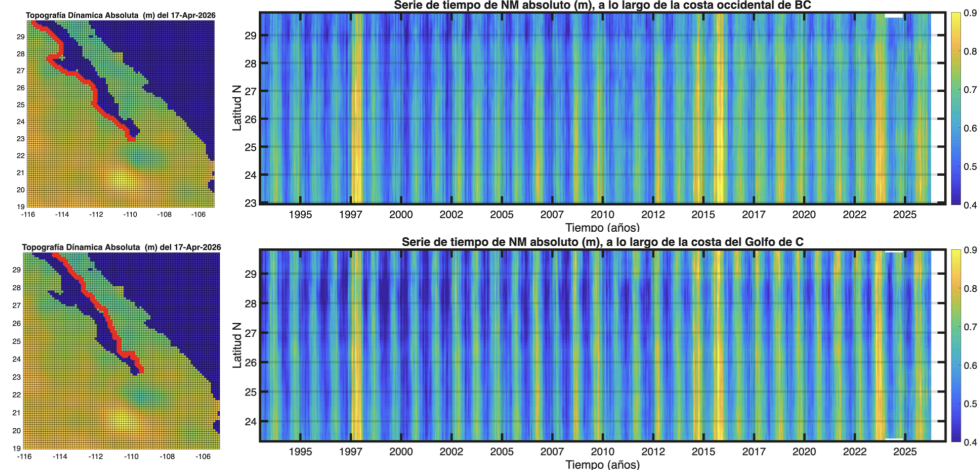
Product ID SEALEVEL_GLO_PHY_L4_NRT_008_046

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



ción del nivel del mar (NM absoluto) a lo largo de las dos costas de la península de BC desde enero de 1993 hasta abril 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 17 de abril 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 elevacion (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).

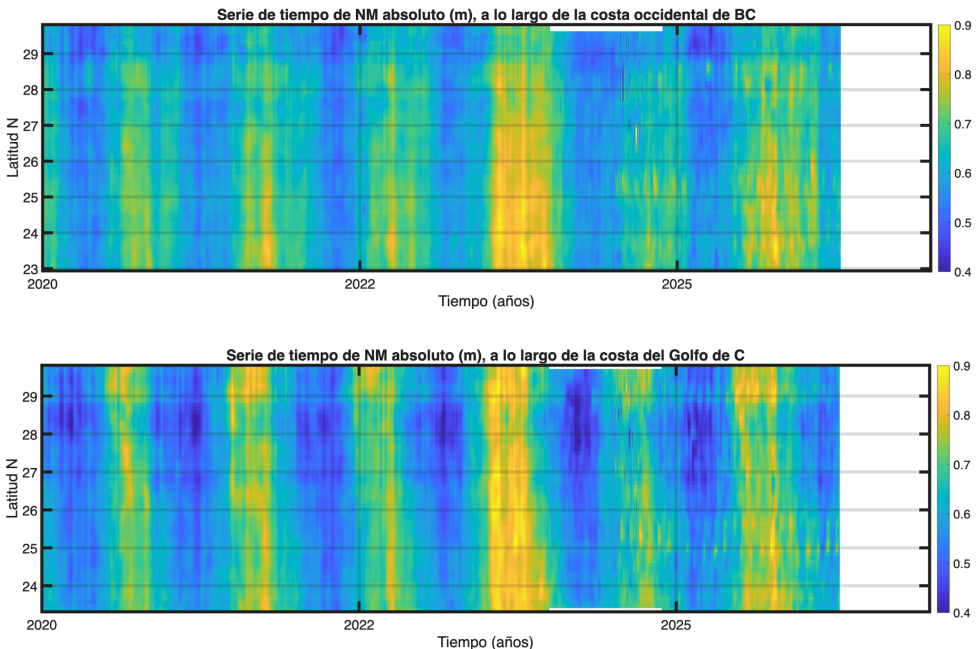


Figura 2.2: Los últimos años de la evolución del nivel del mar (NM absoluto) a lo largo de las dos costas de la península de BC desde enero de 2020 hasta abril de 2026. Arriba: costa occidental; abajo: costa del Golfo de California.

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 cuando 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.

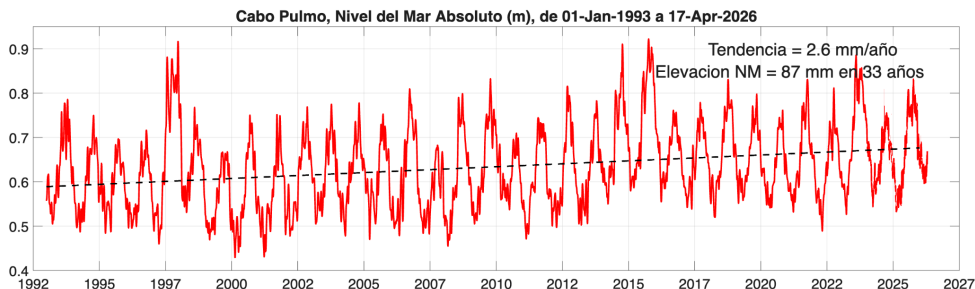


Figura 2.3: Nivel del mar absoluto (m) en Cabo Pulmo, BCS. Inicia en enero de 1993 y termina en abril de 2026. Incluye el nivel del mar con referencia al geoide y la tendencia de largo período debida al calentamiento global. Este sitio representa la variabilidad de la entrada al Golfo de California.

La [Figura 2.3](#) contiene la serie de tiempo del nivel del mar absoluto (m) en Cabo Pulmo, desde enero de 1993 hasta abril 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 marzo 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.

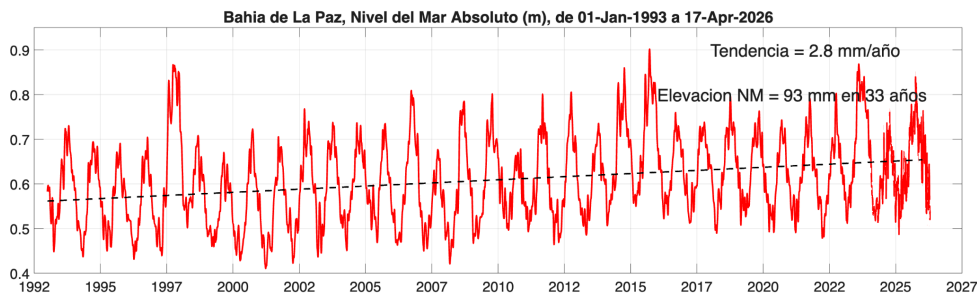


Figura 2.4: Nivel del mar absoluto (m) en la bahía de La Paz, BCS. Inicia en enero de 1993 y termina en abril de 2026. Incluye el nivel del mar con referencia al geoido y la tendencia de largo período debida al calentamiento global.

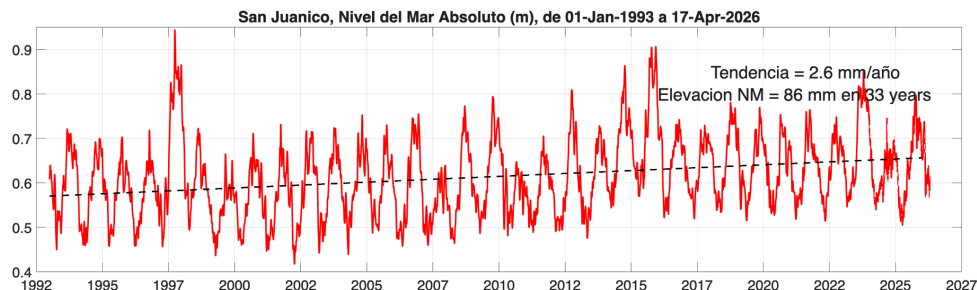


Figura 2.5: Nivel del mar absoluto (m) en la San Juanico, BCS, costa pacífico norte de BCS. Inicia en enero de 1993 y termina en abril de 2026. Incluye el nivel del mar con referencia al geoido y la tendencia de largo período debida al calentamiento global. Este sitio representa la variabilidad del Golfo 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 abril 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.

El invierno de 2025 a 2026 se ha caracterizado por su menor intensidad en términos de descenso del nivel del mar. Esto se relaciona directamente con las temperaturas relativamente altas del mar durante este invierno.

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.edu.mx

Resumen | En este capítulo se describe un resumen de las condiciones mensuales durante marzo 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 marzo de 2026, para los sitios Cabo Pulmo, Bahía de La Paz, San Juanico y Ensenada (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 integrar 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, en Baja California Sur, y a partir de 2026 en Ensenada, Baja California (Figura 1.1).

Área de estudio

El área de estudio corresponde a las aguas oceánicas frente a las costas de los estados de Baja California y Baja California Sur, comprendidas en el cuadrante -118 a -106 de longitud y 22 a 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, San Juanico (Baja California Sur) y Ensenada (Baja California) (sur-norte).

Metodología

Altimetría satelital. La altimetría proporciona información sobre la altura del océano (ADT), su anomalía (SLA) y sobre las corrientes (CORR). Los datos de CORR están compuestos por los componentes zonal y meridional (u y v) con los que se construyen los vectores correspondientes, que indican la velocidad y dirección de las corrientes. Estos productos son estimados por medio una interpolación de diversas misiones (varios satélites) y son proporcionadas por el CMEMS (<https://doi.org/10.48670/moi-00149>). Es un producto global, libre de huecos y cuenta con una resolución temporal diaria y espacial de $\sim 12.5 \times 12.5$ km, accedido por última vez el 10 de abril de 2026.

Productividad Primaria(PP). La PP es el producto de la fijación de carbono por parte de las plantas a través de la fotosíntesis, es el resultado del total del carbono producido (bruto) menos el utilizado para la respiración. La PP utilizada es derivada de información satelital y está basada en el modelo generalizado de producción vertical propuesto por *Behrenfeld y Falkowski* (1997) y está basado en las estimaciones de clorofila satelital. Es un producto mensual proporcionado por el Copernicus Marine Environment Monitoring Service (CMEMS, <https://doi.org/10.48670/moi-00281>, Garnesson *et al.*, 2019) con una resolución espacial de 4×4 km, accedido por última vez el 10 de abril de 2026.

Temperatura Superficial del Mar (TSM). El término TSM se refiere a la capa o piel del océano y representa la temperatura de la capa subsuperficial a una profundidad entre 10–20 μm . La TSM es un producto proporcionado por el laboratorio de oceanografía de propulsión a chorro de la agencia espacial de los Estados Unidos (JPL y NASA, respectivamente, por sus siglas en inglés, <https://doi.org/10.5067/GHGMR-4FJ04>). Es un producto global que no presenta huecos, con una resolución temporal diaria y espacial de 1×1 km (Chin *et al.*, 2017), accedido por última vez el 10 de abril 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), San Juanico (-112.43, 26.17) y Ensenada (-116.65, 31.82). Las series resultantes corresponden a los valores mensuales a partir de 2002 y hasta marzo de 2026, 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 2002-2026 (enero) 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 altura de nivel del mar, en la costa occidental de la península, dominada principalmente por valores entre 0.4 – 0.8 m. Dentro del Golfo de California los valores se ubicaron entre 0.5 – 0.7 m. Ese mismo panel muestra las corrientes geostróficas (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. 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, destaca la homogeneidad de las anomalías positivas en toda la región.

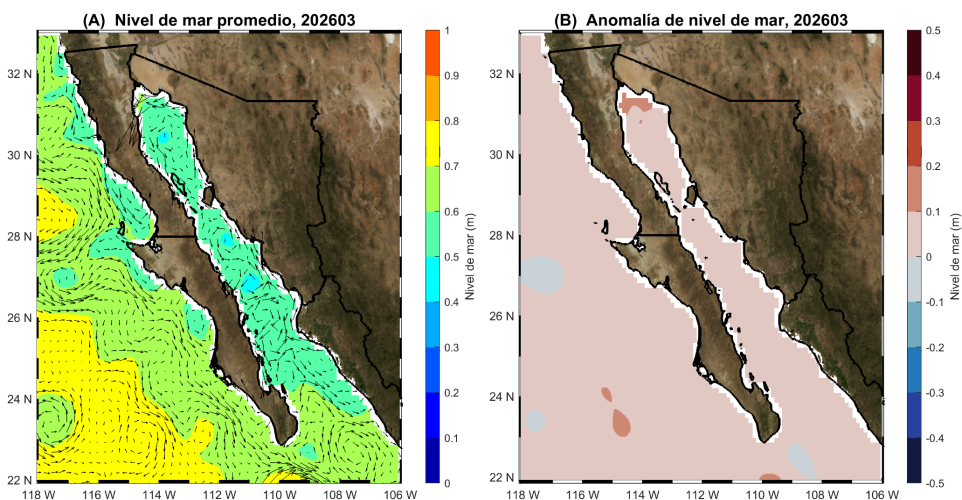


Figura 3.1: Condiciones mensuales durante marzo de 2026. Panel A, altura de nivel de mar (ADT) y corrientes geostróficas (CORR) en forma de flechas (sin escala). Panel B, anomalías de nivel del mar.

Productividad Primaria (PP). Las condiciones de PP durante marzo 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; también se presentan valores cercanos a los $1500 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ en regiones costeras bien definidas, entre los 30 y 32°N , 27 y 28°N y en Bahía Magdalena. 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 $4000 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, 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 y la parte central de la costa de Baja California Sur 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 $-1000 - 0 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ frente a la costa occidental y la mitad sur dentro del golfo; la porción central del golfo y las aguas cercanas a las grandes islas presentaron anomalías positivas entre 0 y $500 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$; la parte norte del golfo al norte de los 28 presentó anomalías positivas de hasta $1000 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$.

Temperatura Superficial del Mar (TSM). Las condiciones de TSM durante marzo de 2026 se muestran en la [Figura 3.3](#). El **panel A** muestra las condiciones promedio, la TSM se ubicó entre 17 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 °C . El **panel B** muestra las anomalías promedio, dominadas por valores positivos en toda la región, con valores de hasta +3 °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 °C .

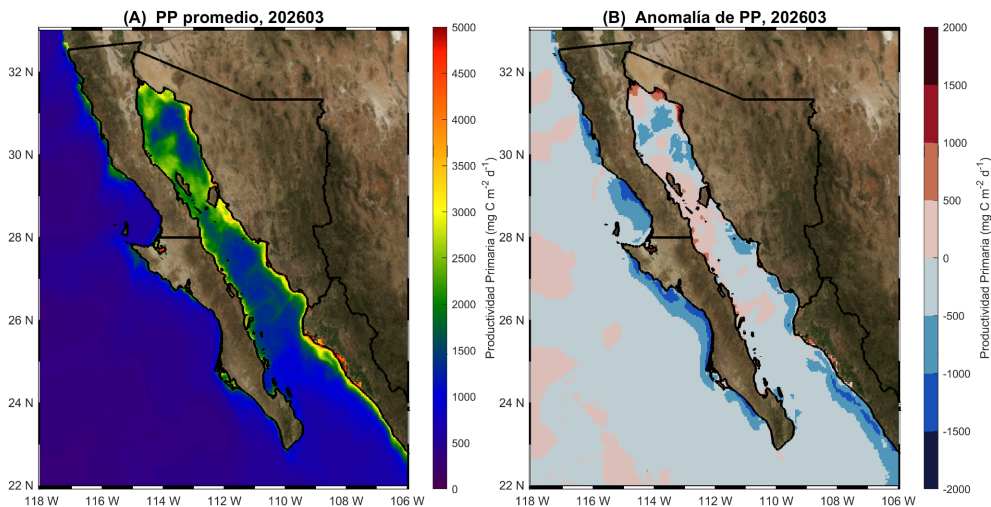


Figura 3.2: Condiciones mensuales durante marzo de 2026. Panel A, promedio de productividad primaria (PP); panel B, anomalías promedio de PP.

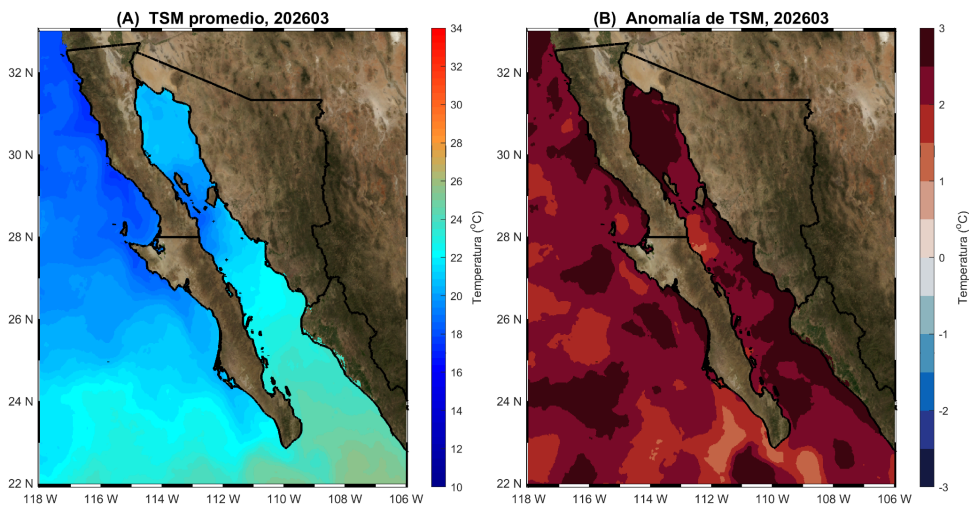


Figura 3.3. Condiciones mensuales durante marzo de 2026. Panel A, promedio de temperatura superficial del mar (TSM); panel B, anomalías promedio de TSM.

Series de tiempo

El análisis mensual de series de tiempo (2002-2026) sobre los cuatro sitios seleccionados, Cabo Pulmo, La Paz, San Juanico y Ensenada se describen 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 (abril de 2025 a marzo de 2026, línea negra). Desde mayo de 2025 (11 meses) los promedios mensuales han estado por encima de sus valores climatológicos, dando como resultado anomalías positivas. En particular, las de 2026 (círculos verdes) tuvieron valores de 0.07, 0.033 y 0.026 m, para marzo de 2026 la anomalía positiva es de 0.064 m. Este mismo comportamiento anómalo se puede apreciar en la serie histórica de anomalías, **panel B** ([Figura 3.4B](#)), donde las anomalías positivas han dominado la parte final de la serie. Por su parte los valores del MEI son negativos desde marzo de 2024, lo que no coincide y es opuesto con estas anomalías ([Figura 3.4B](#)).

La serie de climatologías de productividad primaria (**PP**) y datos mensuales desde abril de 2025 hasta marzo 2026 se muestran en en **panel C** ([Figura 3.4C](#)). Desde abril de 2025 y hasta enero de 2026 los valores mensuales estuvieron por debajo de sus valores climatológicos, ocasionando anomalías negativas ([Figura 3.4C](#)), en febrero de 2026 se registró un valor de $1483 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, por encima de su valor climatológico de $1417 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, es decir, anómalamente positivo, pero nuevamente en marzo de 2026 el valor registrado de $1193 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ fue menor a su valor climatológico de $1477 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. El **panel D** ([Figura 3.4D](#)) muestra la serie histórica de las anomalías, donde la parte final presenta la dominancia de los 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 abril de 2025 hasta marzo 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, en 2026 (círculos verdes) los valores de enero a marzo son 23.3, 23.0 y 24.1 °C respectivamente, por encima de sus valores climatológicos de 22, 21.6 y 21.9 °C; particularmente, marzo presentó la anomalía máxima del periodo 2.19 °C. El comportamiento de las anomalías se puede apreciar en la serie histórica en el **panel F** ([Figura 3.4](#)), donde las anomalías positivas dominan la parte final de la serie; en los últimos 12 meses las anomalías positivas más intensas se han presentado en 2026. Los datos del MEI son anómalos negativos, mientras que los de TSM son positivos, es decir opuesto a lo esperado.

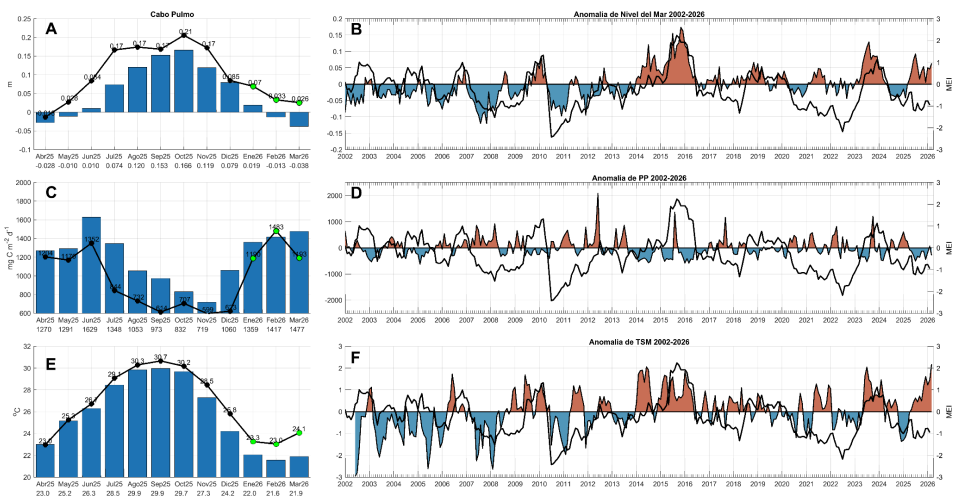


Figura 3.4: Condiciones climatológicas y de anomalías para SLA, PP y TSM a lo largo del tiempo (2002-2026) en Cabo Pulmo, Baja California Sur. Las barras en los paneles A, C y E, muestran las climatologías mensuales, las líneas negras son los valores mensuales, los círculos negros indican los meses de 2025, los verdes los de 2026. 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 abril de 2025 hasta marzo 2026 se muestran en el **panel A** ([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 abril de 2025 los valores mensuales han estado por encima de sus valores climatológicos, específicamente, marzo de 2026 (tercer círculo verde) presentó un valor de 0.036 m, encima de su valor climatológico de -0.034 m. El **panel B** de la [Figura 3.5B](#) muestra los valores mensuales de las anomalías a lo largo del tiempo, se nota que al final de la serie se presentan anomalías positivas, siendo febrero 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, pero no es el caso.

Las climatologías de productividad primaria (PP) y los datos mensuales desde abril de 2025 hasta marzo de 2026 se muestran en en **panel C** ([Figura 3.5C](#)). Desde abril de 2025 solo julio de 2025, febrero y marzo de 2026, presentaron anomalías positivas; el valor de marzo fue de 1855 mg C m⁻² d⁻¹, mayor a su climatología de 1682 mg C m⁻² d⁻¹. La serie mensual de las anomalías se muestra en el panel D ([Figura 3.5D](#)), donde los valores finales

en la serie representan lo explicado para los últimos 12 meses, siendo julio de 2025, febrero y marzo de 2026 los únicos meses con anomalías positivas. De igual forma que con la SLA, el comportamiento de la PP no es consistente con los valores negativos del MEI, ya que están en sentido inverso de lo esperado.

Las climatologías de temperatura superficial del mar (TSM) y los datos mensuales desde abril de 2025 hasta marzo de 2026 se muestran en el **panel E (Figura 3.5E)**. Desde junio de 2025 hasta marzo de 2026 los valores mensuales están por encima de sus valores climatológicos, en específico, marzo presentó un valor de 23.0 °C, mientras que el valor climatológico para ese mes es de 21.2 °C, siendo la anomalía de este mes de 1.8 °C la mayor en los últimos 12 meses. El reflejo de estos valores, son anomalías positivas, que se pueden ver más claramente en la serie mensual de anomalías del **panel F (Figura 3.5F)**, donde al final de la serie se nota una clara tendencia al incremento en las anomalías con valores cercanos a los +2 °C.

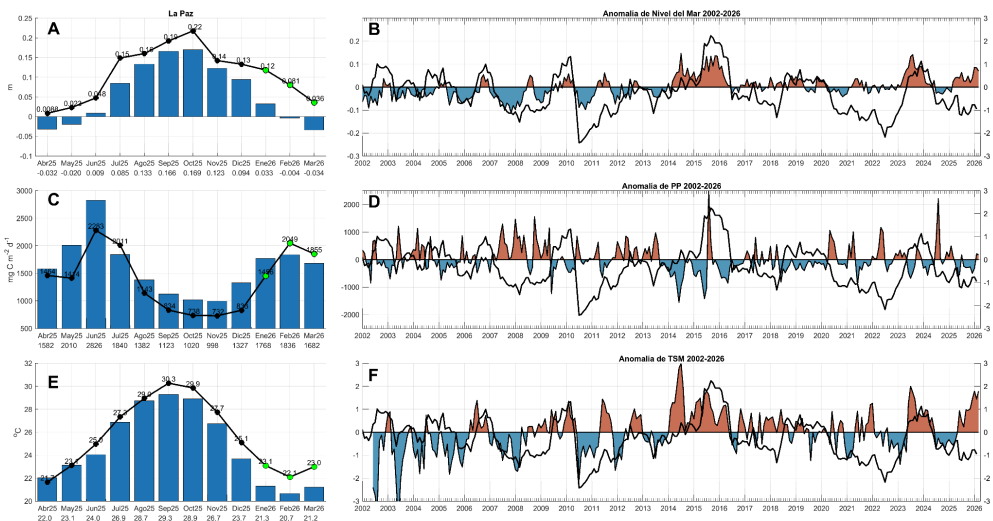


Figura 3.5: Condiciones climatológicas y de anomalías para SLA, PP y TSM a lo largo del tiempo (2002-2026) en La Paz, Baja California Sur. Las barras en los paneles A, C y E, muestran las climatologías mensuales, las líneas negras son los valores mensuales, los círculos negros indican los meses de 2025, los verdes los de 2026. 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 abril de 2025 hasta marzo 2026 se muestran

en en **panel A** (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 mayo de 2025 los valores mensuales han estado por encima de sus valores climatológicos, específicamente, en marzo de 2026 se presentó un valor de 0.034 m, encima de su valor climatológico de -0.015 m. El **panel B** (Figura 3.6B) muestra los valores mensuales de las anomalías a lo largo del tiempo, se nota que al final de la serie se presentan anomalías positivas, siendo enero de 2026 el que presentó el valor más alto. La línea negra, correspondiente al MEI, indica que está en una fase negativa desde marzo de 2024, estos valores negativos deberían tener un efecto negativo en los valores mensuales de altura del mar, pero no es así, su comportamiento es lo opuesto.

Las climatologías de productividad primaria (**PP**) y los datos mensuales desde abril de 2025 hasta marzo de 2026 se muestran en en panel C (Figura 3.6C). De marzo a julio de 2025 se presentaron anomalías positivas, pero a partir 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, pero febrero y marzo volvieron a presentar anomalías negativas, en específico marzo presentó un valor de 896 mg C m⁻² d⁻¹ contra su valor climatológico de 2174 mg C m⁻² d⁻¹, es decir, la anomalía negativa más intensa de los últimos 12 meses. La serie mensual de las anomalías se muestra en el **panel D** (Figura 3.6D), donde los valores finales muestran un dominio mayor de las anomalías negativas, la de marzo destaca por su valor negativo. 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 abril de 2025 hasta marzo de 2026 se muestran en el **panel F** (Figura 3.6E). Desde junio de 2025 hasta marzo de 2026 los valores mensuales están por encima de sus valores climatológicos, en específico, marzo presentó un valor de 20.6 °C, mientras que el valor climatológico para ese mes es de 17.8 °C (+2.9 °C), siendo la anomalía positiva más intensa en los últimos 12 meses. El reflejo de estos valores, son anomalías positivas, que se pueden ver en en **panel F**, en la serie histórica mensual 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.

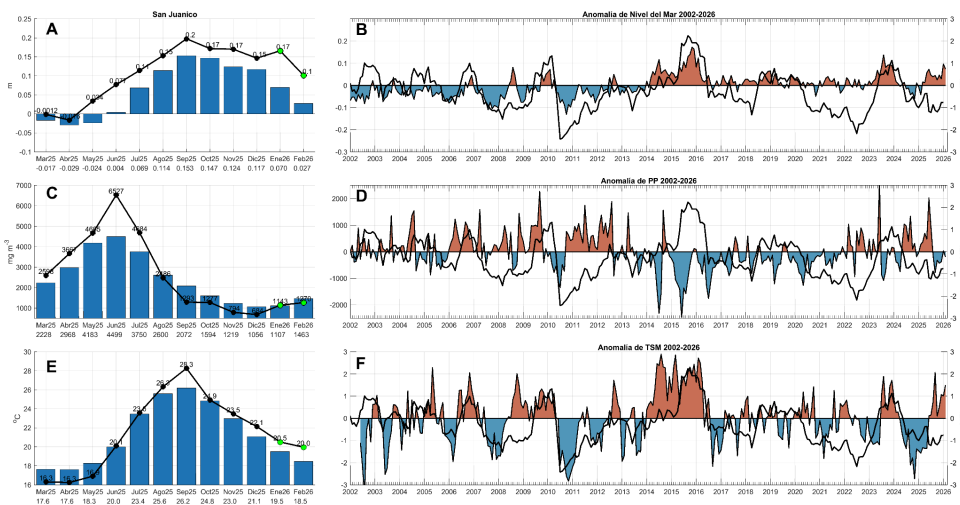


Figura 3.6: Condiciones climatológicas y de anomalías para SLA, PP y TSM a lo largo del tiempo (2002-2026) en San Juanico, Baja California Sur. Las barras en los paneles A, C y E, muestran las climatologías mensuales, las líneas negras son los valores mensuales, los círculos negros indican los meses de 2025, los verdes los de 2026. 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).

Ensenada. Las condiciones climatológicas y de anomalías de SLA, PP, y TSM a lo largo del tiempo (2002- 2026) se muestran en la [Figura 3.7](#). Las climatologías mensuales de nivel del mar (SLA) y datos mensuales desde abril de 2025 hasta marzo 2026 se muestran en en **panel A** ([Figura 3.7A](#)). 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 han estado por encima de sus valores climatológicos, específicamente, marzo de 2026 presentó un valor de 0.068 m, encima de su valor climatológico de 0.006 m. El **panel B** de la [Figura 3.7B](#) muestra los valores mensuales de las anomalías a lo largo del tiempo, se nota que al final de la serie se presentan anomalías positivas, siendo febrero de 2026 el que presentó el valor más alto. 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 de altura del mar, pero no es así.

Las climatologías de productividad primaria (PP) y los datos mensuales desde abril de 2025 hasta marzo de 2026 se muestran en en panel C ([Figura 3.7C](#)). Desde agosto de 2025 y hasta marzo de 2026 las anomalías son negativas, en específico, marzo presentó un valor de 2010 mg C m⁻² d⁻¹, menor respecto a su climatología de 3089 mg C m⁻² d⁻¹, diferencia de -1080 mg C m⁻² d⁻¹, la máxima anomalía negativa de los últimos 12 meses. La serie mensual

de las anomalías se muestra en el **panel D** (Figura 3.7D), donde los valores finales muestran un dominio mayor de las anomalías negativas. El comportamiento de la PP no es consistente con los valores del MEI, igual que en las regiones previas.

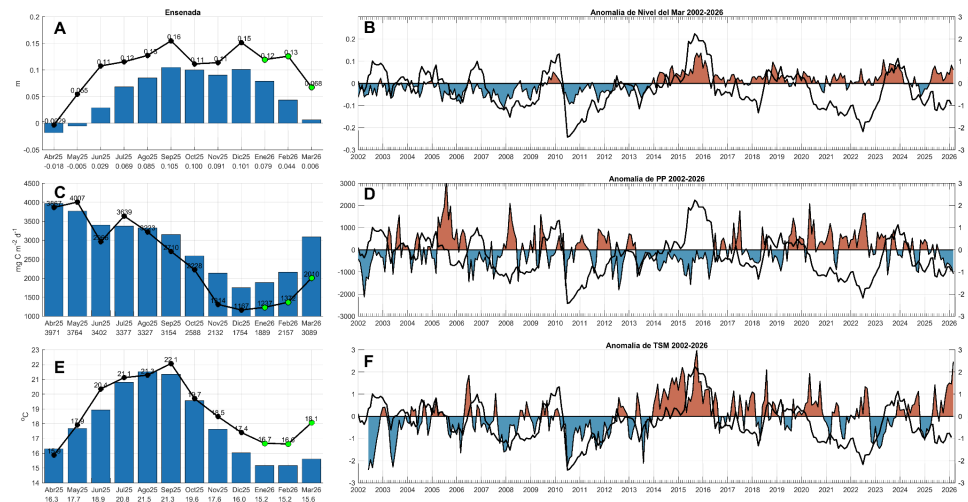


Figura 3.7: Condiciones climatológicas y de anomalías para SLA, PP y TSM a lo largo del tiempo (2002-2026) en Ensenada, Baja California. Las barras en los paneles A, C y E, muestran las climatologías mensuales, las líneas negras son los valores mensuales, los círculos negros indican los meses de 2025, los verdes los de 2026. 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).

Las climatologías de temperatura superficial del mar (TSM) y los datos mensuales desde abril de 2025 hasta marzo de 2026 se muestran en el **panel F** (Figura 3.7E). Desde mayo de 2025 hasta marzo de 2026 los valores mensuales por encima de sus valores climatológicos dominan la serie, siendo agosto de 2025 la única excepción, en específico, febrero presentó un valor de 18.1 °C, mientras que el valor climatológico para ese mes es de 15.6 °C, una diferencia de +2.5 °C, el valor de anomalía positiva más alto registrado desde 2015. El reflejo de estos valores, son anomalías positivas, que se pueden ver en **panel F**, en la serie histórica mensual de anomalías (Figura 3.7F), donde al final de la serie se nota una clara tendencia al incremento en las anomalías positivas.

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 cuatro 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, destaca que las anomalías máximas de temperatura se presenten en la región norte, Ensenada y San Juanico, comparadas con La Paz y Cabo Pulmo. Sugiriendo un calentamiento proveniente del norte. 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 ($0.14\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$).

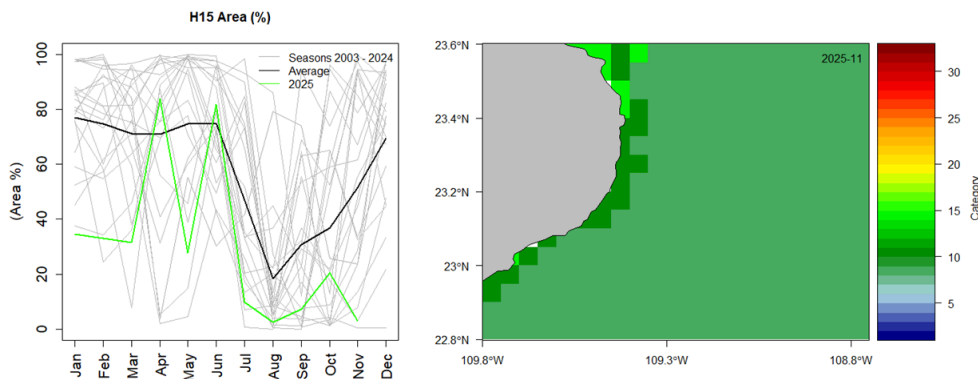


Figura 4.1: Paisaje Pelágico frente a Cabo Pulmo. 4.1.1) Panel izquierdo: Comportamiento estacional del hábitat dominante H15 (2003-2025). 4.1.2) Panel derecho: Distribución espacial promedio de los hábitats pelágicos durante noviembre de 2025.

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.

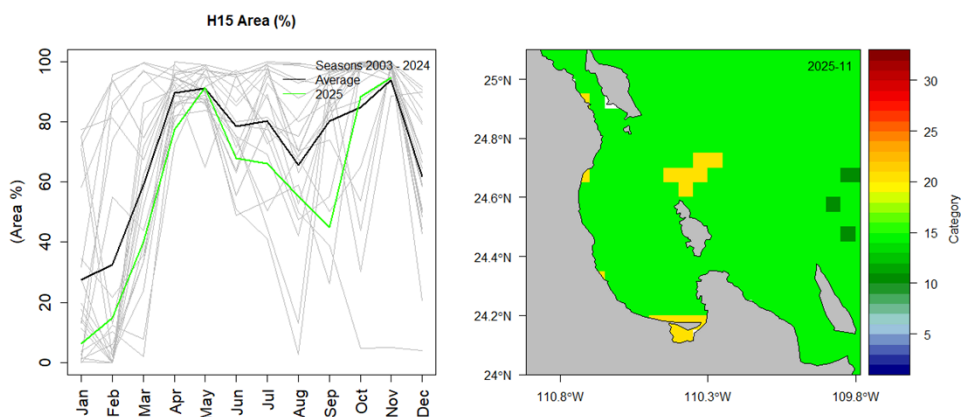


Figura 4.2: Paisaje Pelágico en la Bahía de La Paz. 4.2.1) Panel izquierdo: Comportamiento estacional del hábitat H3 (2003-2025). 4.2.2) Panel derecho: Distribución espacial promedio de los hábitats pelágicos en noviembre de 2025.

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).

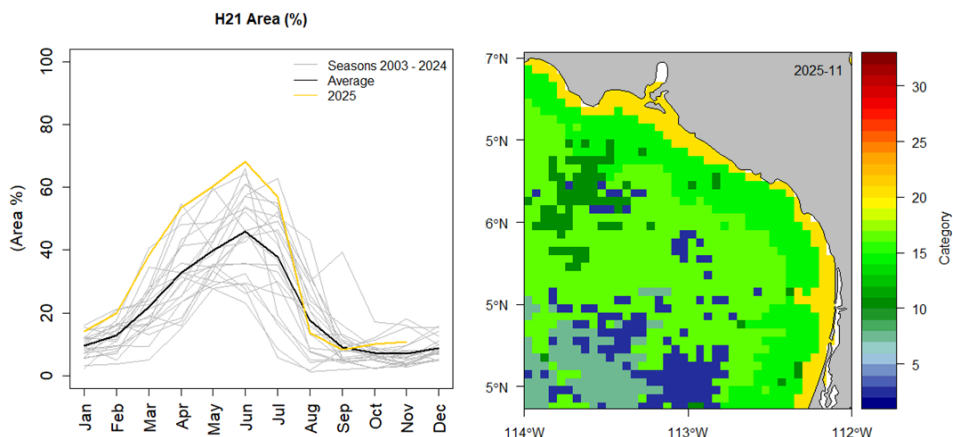


Figura 4.3: Paisaje Pelágico en el Golfo de Ulloa. 4.3.1) Panel izquierdo: Comportamiento estacional (2003-2025) del hábitat H21 en el Golfo de Ulloa. 4.3.2) Panel derecho: Distribución espacial promedio de los hábitats pelágicos durante noviembre de 2025.

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

José Alejandro Ramos Rodríguez
jaramos@cicese.mx

Resumen | La presente sección describe la cantidad de días registrados con ondas de calor marinas por categoría para el mes de abril de 2026. Se sigue la clasificación propuesta por Hobday *et al.* (2018) para las ondas de calor. Durante dicho mes se mantuvo la presencia de ondas de calor en toda la región, y al igual que el mes anterior, se sigue observando una gran incidencia de ondas de calor marinas, en la región costera y oceánica del Pacífico adyacente a la península de Baja California Sur, resaltando el registro de ondas con categoría de 1 a 4. El interior del golfo, presenta presencia de ondas de categoría 2 y 3, en su mayoría, pero también se registra la presencia de ondas de categoría 4. Como se mencionó, para la porción del Pacífico adyacente a la península, las ondas de calor marino se registraron en toda la región, desde Punta Eugenia, alcanzando Bahía Magdalena, disminuyendo la presencia de categorías 2 y 3 en la región de Todos Santos, ya en el sur de la península; la región comprendida entre la boca del golfo hasta la región norte límite del estado, no presentan ondas de calor de categoría 1, exceptuando unos pocos días de presencia en la zona costera del sur de Sonora y toda la costa de Sinaloa. Las ondas de calor observadas para esta región fueron de categorías 2 a 4. Para las tres regiones consideradas a detalle, todo el mes de abril observó la presencia de días de ondas de calor, con mayor incidencia en Bahía de la Paz y Cabo Pulmo donde se observó una alta presencia de ondas de calor de categorías 2 a 4.

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 abril de 2026. 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 abril de 2026

Las ondas de calor marinas registradas para abril de 2026 fueron de gran intensidad,

abarcando casi en su totalidad categorías 1 a 3 en toda la región, pero dominando las categorías 2 y 3 durante el mes, con unas pocas categoría 4 en Laguna Ojo de Liebre, Laguna de San Ignacio, Bahía Concepción, Loreto, Isla Cerralvo y la entrada al golfo. En caso de las ondas de calor categoría 1, en la porción de la península frente al océano Pacífico, se registran más de 20 días con ondas en la zona costera-oceánica frente a Todos Santos. Es de resaltar que en la laguna Ojo de Liebre y Laguna de San Ignacio, Bahía Concepción y algunos parches en el Pacífico, y prácticamente todo el interior del golfo, no se observan ondas de calor de categoría 1 (Figura 5.1), pero como se verá más adelante, si presentan días con ondas de calor de categorías mayores. Para el golfo de California, se registran entre 4 a 12 días con ondas de calor de categoría 1, en particular para la porción oriental, cerca de la costa de Sonora y Sinaloa.

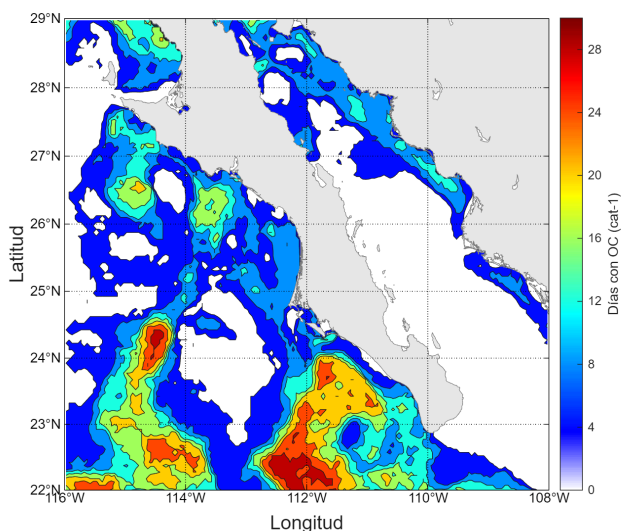


Figura 5.1: Días con ondas de calor categoría 1 en el área de estudio para marzo de 2026.

En caso de ondas de calor categoría 2, durante abril se registró una gran presencia de estas, particularmente en parches en mar abierto frente a la península por el océano Pacífico, laguna Ojo de Liebre, San Ignacio, Golfo de Ulloa, Bahía Magdalena, así como en la porción suroriental del golfo de California (Figura 5.2), dentro de Bahía de la Paz, abarcando las islas de San José y Espíritu Santo. En todos los casos se observan entre 8 a 30 días de ondas de calor de categoría 2 durante el mes, con la mayor cantidad en el Pacífico.

Para las ondas de calor categoría 3, durante abril, hubo regiones, particularmente en el Pacífico donde no se registró la presencia en la mayor parte de las regiones oceánicas, pero sí en parches de mar abierto frente a la península por el océano Pacífico, y dentro de laguna Ojo de Liebre, San Ignacio y Puerto Chale, donde se registran entre 4 y 16 días. En caso del golfo, se registran entre 12 y 24 días, en la región comprendida entre Loreto, Espíritu Santo

y Cerralvo. Es de resaltar mencionar que se registraron ondas de calor de categoría 4, particularmente dentro de Ojo de Liebre (8 a 16 días), San Ignacio y Puerto Chale (4-12 días aproximadamente), con una mayor incidencia espacial en la región de la entrada del golfo (4-18 días), inmediaciones de Cerralvo y Loreto, y la costa de Sinaloa (4 a 12 días), particularmente, en bahías (ver figura 5.4)

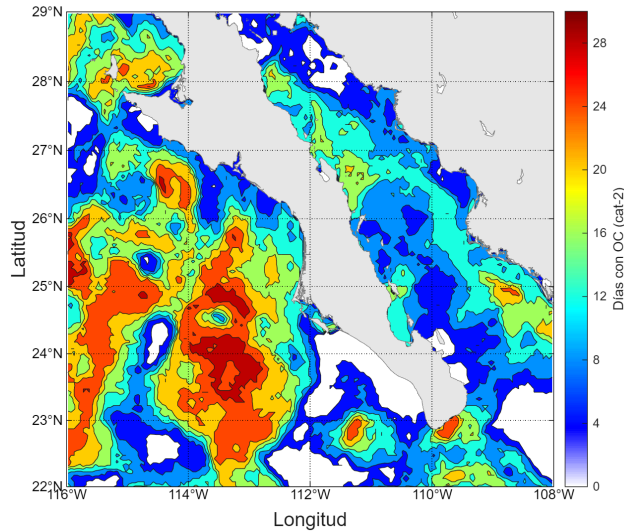


Figura 5.2: Días con ondas de calor categoría 2 en el área de estudio para marzo de 2026.

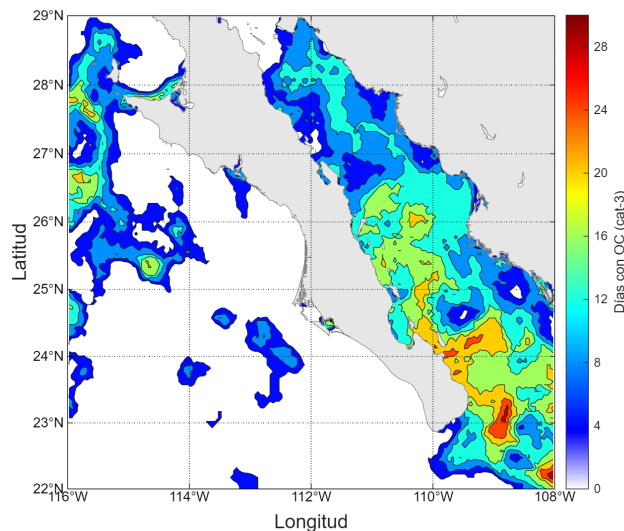


Figura 5.3: Días con ondas de calor categoría 3 en el área de estudio para marzo de 2026.

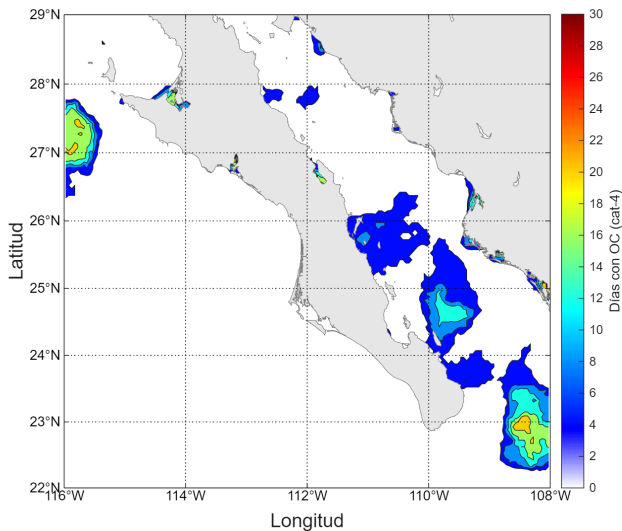


Figura 5.4: Días con ondas de calor categoría 4 en el área de estudio para marzo de 2026.

Para la región aledaña a Cabo Pulmo, no se observaron ondas de calor marinas de categoría 1, solo de categorías superiores. En caso de categoría 2 (Figura 5.5), la cantidad de días de ondas de calor categoría 2 osciló entre 0 (en la región oceánica oriental), hasta 26 días para la mayor parte de la región sur. La porción norte, y la aledaña al parque presentó entre 8 y 12 días registrados.

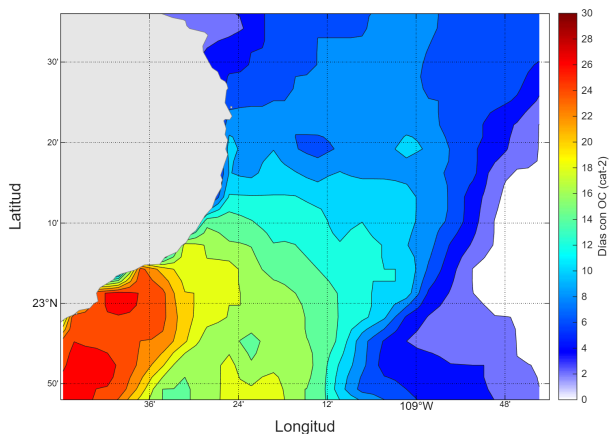


Figura 5.5: Cantidad con días con ondas de calor de categoría 2 en Cabo Pulmo y zonas aledañas para abril de 2026.

En caso de las ondas de calor categoría 3, Cabo Pulmo (Figura 5.6), se observa un patrón inverso a las ondas de categoría 2, en el cual, las regiones con mejor cantidad de días, ahora

presentan los mayores registros, yendo entre 2 a 30 días. La mayor cantidad se registran en la porción norte y oriental (14 a 30 días), mientras que en la porción suroccidental se registraron entre 0 a 4 días.

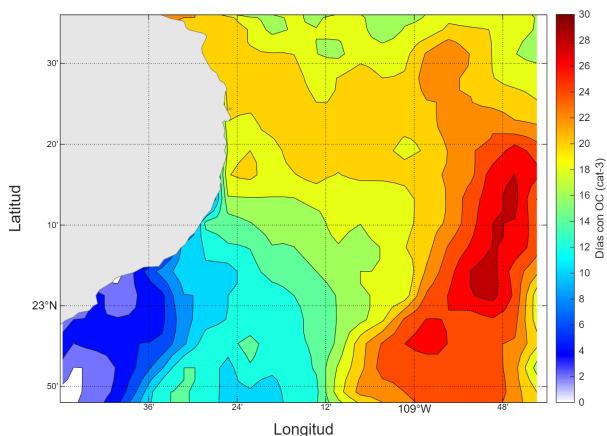


Figura 5.6: Cantidad con días con ondas de calor de categoría 3 en Cabo Pulmo y zonas aledañas para abril de 2026.

En caso de las ondas de calor categoría 4 en Cabo Pulmo ([Figura 5.7](#)), se registraron al norte y oriente del parque nacional, con entre 2 a 8 días.

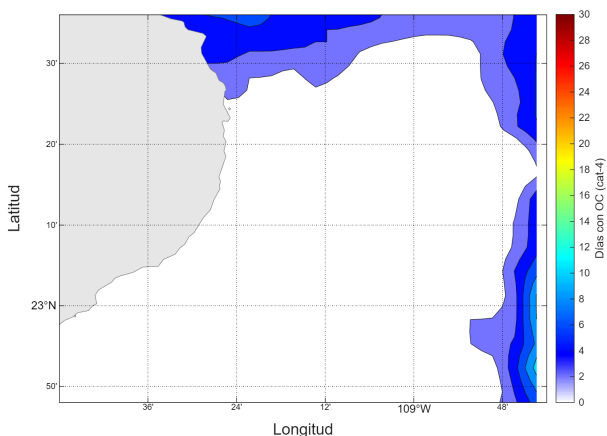


Figura 5.7: Cantidad con días con ondas de calor de categoría 4 en Cabo Pulmo y zonas aledañas para abril de 2026.

La porción sureste del golfo de California, entre isla Cerralvo e Isla San José, incluyendo bahía de la Paz, al igual que Cabo Pulmo, no registró la presencia de ondas de calor categoría 1, pero si de categorías 2 a 3. En caso de días de ondas de calor marinas de categoría 2 ([Figura 5.8](#)), registró entre 4 a 12 días con ondas de calor categoría 1 para la

región costera; siendo menor la incidencia de ondas de calor en la porción oriental de la bahía de la Paz, y dentro de la ensenada de la ciudad. La zona aledaña a isla Cerralvo tuvo entre 0 y 4 con ondas de calor de categoría 2. Isla Espiritu Santo tuvo de 10 a 12 días, e isla San José, tuvo entre 8 y 18 días registrados. La Bahía de La Paz e Isla San José fueron las que presentaron mayor incidencia. Mientras que porción oriental y norte fueron las zonas con menor cantidad de días con ondas de calor de categoría 2, con entre 4 a 10 con ondas de categoría 2 registradas.

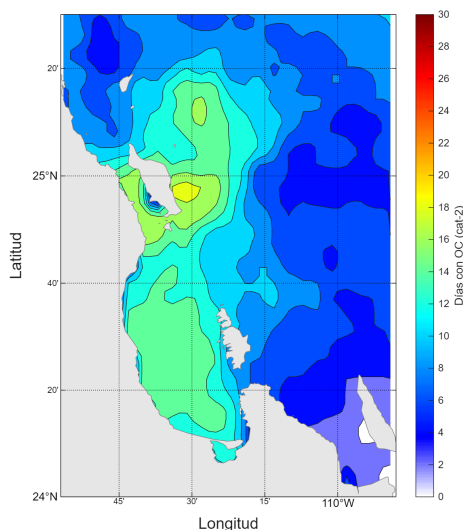


Figura 5.8: Cantidad de días con ondas de calor categoría 2 para la región comprendida entre Isla Cerralvo a isla San José, incluyendo la bahía de La Paz.

En sentido de ondas de calor de categoría 3 para la misma región se presenta la situación inversa ([Figura 5.9](#)) con respecto a las ondas de categoría 2, registrando entre 14 a 22 días para la porción central y norte, desde Cerralvo. En general, la bahía de la Paz y dentro de la ensenada de la ciudad se registraron de 8 a 16 días. La zona aledaña a isla Cerralvo tuvo entre 14 y 22 días con ondas de calor de categoría 3. Isla Espiritu Santo tuvo 16-20 días, e isla San José, tuvo entre 6 y 16 días registrados.

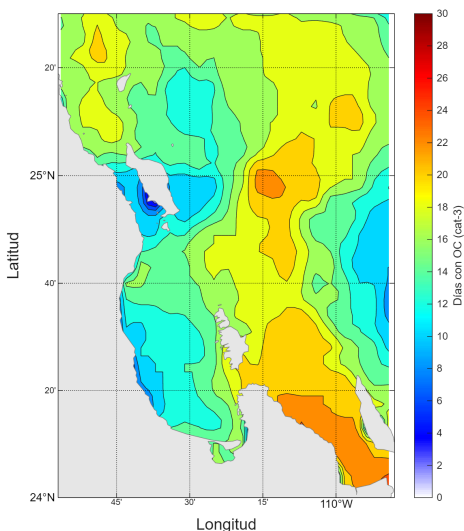


Figura 5.9: Cantidad de días con ondas de calor categoría 3 para la región comprendida entre Isla Cerralvo a isla San José, incluyendo la bahía de La Paz.

En caso de ondas de calor de categoría 4, se registró su presencia para esta zona para el mes de abril. En particular, no se detectó su presencia en la región central. En cambio, la porción sureste, y este del abarcando isla Cerralvo (Figura 5.10), hasta el norte, con parches al este de Espíritu Santo, la porción suroccidental de Bahía de la Paz, registró entre 2 a 16 días con ondas de calor categoría 4; teniendo mayor la incidencia hacia el oriente.

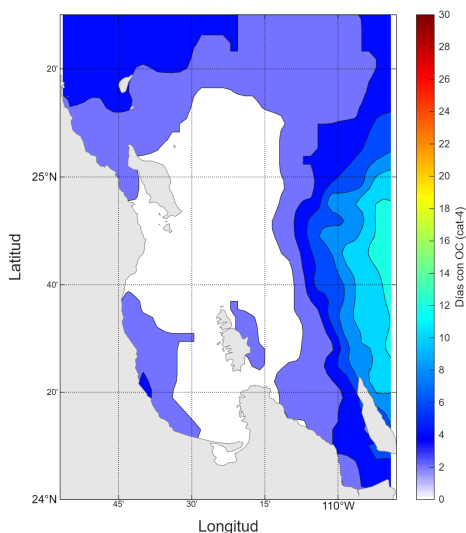


Figura 5.10: Cantidad de días con ondas de calor categoría 3 para la región comprendida entre Isla Cerralvo a isla San José, incluyendo la bahía de La Paz.

Para la región aledaña a San Juanico (Figura 5.11), y a diferencia a lo observado dentro del golfo, si se registraron ondas de calor de categoría 1 para abril de 2026, en toda la región, pero particularmente con mayor incidencia en la región norte, frente a San Ignacio. En la porción norte yendo hacia la parte central, se registraron entre 10 y 18 días; mientras que a en el resto de la región hubo entre 1 a 10 días en los que se observaron ondas de calor. La menor cantidad de días con ondas de calor categoría 1 se observó al sur.

Para las ondas de calor de categoría 2 en la región aledaña a San Juanico (Figura 5.12), se puede observar un patrón ligeramente invertido a lo observado en ondas de calor de categoría 1. La región norte y centro registraron la menor presencia de días con ondas de calor de categoría 2, con entre 2 y 8 días. Sin embargo, a lo largo de la costa desde Bahía Magdalena, incluyendo la porción central y sur, se observaron entre 12 a 30 días con ondas de calor de categoría 2. Observe la presencia de ondas de calor de esta categoría dentro de la laguna de San Ignacio.

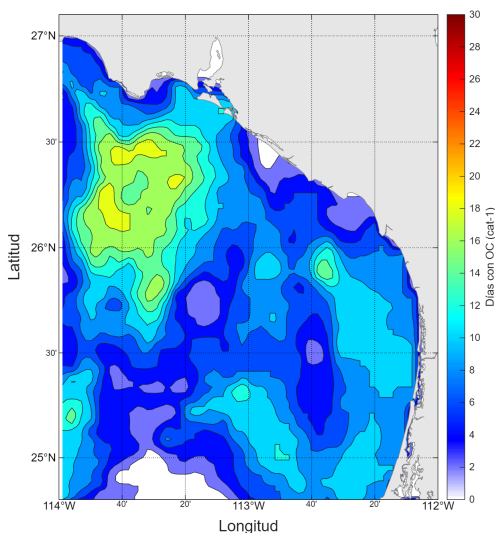


Figura 5.11: Cantidad de días con ondas de calor categoría 1 para el mes de abril de 2026 para la región aledaña a San Juanico, incluyendo la porción norte de bahía Magdalena.

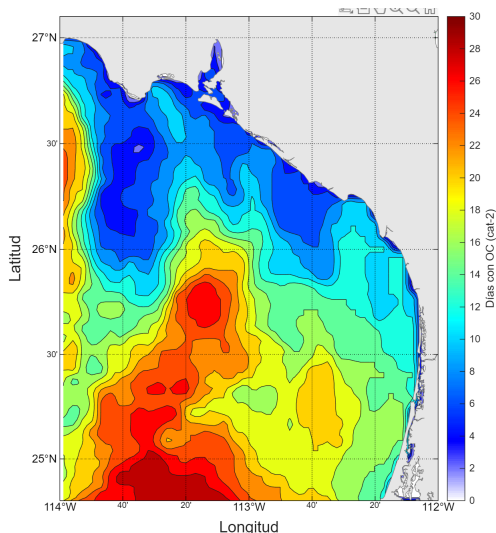


Figura 5.12: Cantidad de días con ondas de calor categoría 2 para el mes de marzo de 2026 para la región aledaña a San Juanico, incluyendo la porción norte de bahía Magdalena.

En caso de ondas de calor de categoría 3, para la región aledaña a San Juanico (Figura 5.13), se registran unas pocas zonas con ondas de calor de dicha categoría. La región de la Laguna de San Ignacio, tanto al interior como en la parte oceánica adyacente a la misma, fue la donde se observaron entre 2 a 14 días con ondas de calor de categoría 3 y un poco al sur de dicha laguna. Así como un pequeño parche al oeste. Si se registraron días con ondas de calor de categoría 4 en esta zona para el mes, dentro de la laguna (2-6 días).

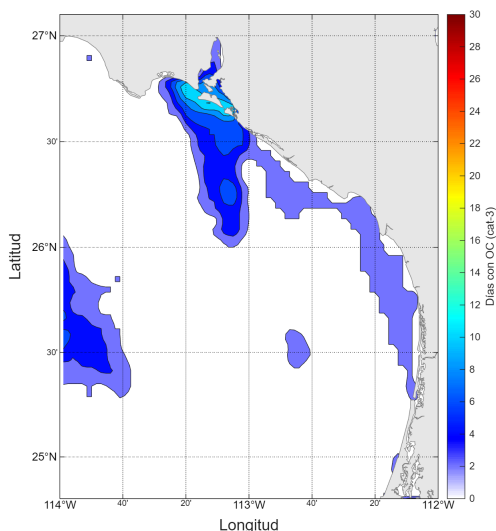


Figura 5.13: Cantidad de días con ondas de calor categoría 3 para el mes de marzo de

2026 para la región aledaña a San Juanico, incluyendo la porción norte de bahía Magdalena.

Conclusiones

El mes de abril de 2026, superó los meses previos en cuanto a la presencia de ondas de categorías 2 a 4, siendo el mes con mayor cantidad de ondas de calor registradas de los últimos 5 años y qué, además, presenta ondas de calor de categorías 2 a 4 en gran cantidad, sin ser un mes que corresponda a la estación de verano u otoño. De manera consecutiva con respecto del mes anterior hubo ondas de calor de categoría 4, dentro de Ojo de Liebre y de San Ignacio. Los efectos de dichas ondas de calor pueden observarse en las anomalías de temperatura, y afectando a la productividad primaria (ver capítulo 3 del presente boletín). Eso modifica el ambiente, creando paisajes diferentes (ver capítulo 4), pero también afecta las redes tróficas, lo que hace de suma importancia continuar no solo el monitoreo por sensores remotos, sino ampliarlo para incluir monitoreos biológicos que permitan inferir los cambios que dicho calentamiento provocará en la región.

Referencias

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

6. 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 geostrofica 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 geostrofica 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 abril 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 geostrofica superficial (u y v) se calculó la velocidad geostrofica promedio. A través de estas mismas componentes, se estimó la energía cinética de remolinos (EKE). Para aislar la variabilidad intraestacional, a cada componente se le sustrajo su promedio mensual, obteniendo las fluctuaciones de velocidad (u' y v'). Posteriormente, la EKE se calculó 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 durante el periodo analizado y en los periodos evaluados en números anteriores de este boletín. Este criterio 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 $(Ndf / Ndm^{-1}) \times 100\%$, 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 los remolinos encontrados en el área de estudio (Figura 6.1a) mostró que hubo un total de 60 remolinos de mesoescala durante el periodo analizado. De estos, 28 eran anticiclónicos y 32 ciclónicos. Se formaron 12 remolinos anticiclónicos y 11 ciclónicos durante el mes de estudio, mientras que 17 remolinos anticiclónicos y 18 ciclónicos se disiparon en dicho periodo. En comparación con el mes anterior, el número total de remolinos presentes en la región se decrementó en 11. La frecuencia elevada de eventos de formación y disipación indica que hay una actividad mesoscalar particularmente dinámica durante el periodo analizado. 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 estacionarias y con desplazamiento hacia el oeste, mientras que en el Golfo de California hubo remolinos que se dirigieron hacia el norte y el sur, con algunos remolinos estacionarios, sobre todo en el sur del Golfo.

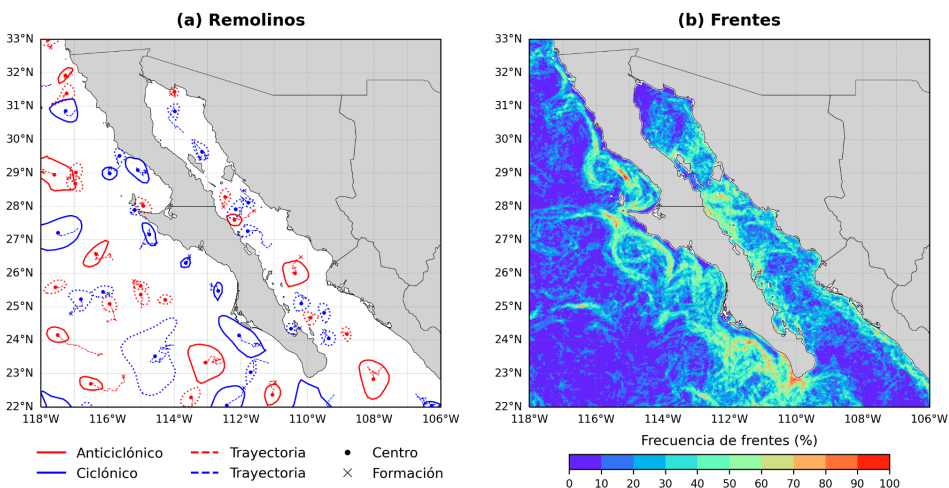


Figura 6.1: (a) Remolinos oceánicos presentes en el área de estudio y (b) frecuencia de ocurrencia de frentes térmicos. Los remolinos representados con líneas continuas permanecen activos, mientras que aquellos con líneas punteadas se disiparon durante el periodo analizado.

Durante el periodo analizado, la frecuencia de frentes térmicos (Figura 6.1b) presenta un patrón espacial altamente variable en las aguas adyacentes a la Península de Baja California. Dentro del Golfo de California se conservan los valores entre 50%-90% de frecuencia de frentes del mes anterior, excepto en el Norte del Golfo donde disminuyeron con regiones <10%. Las mayores frecuencias se mantienen al sur del Archipiélago Central, donde se alcanzan valores cercanos al 90%, mientras que, en la boca del Golfo, la frecuencia de frentes continúa presentando valores por debajo del 10%. No obstante, las zonas costeras mantienen frecuencias cercanas al 50%.

En el margen occidental de la península, frente al Pacífico, las mayores frecuencias se concentran en las zonas costeras, mientras que hacia el océano abierto los valores disminuyen progresivamente, llegando a ser inferiores al 10%. Al suroeste de la península, desde Cabo San Lucas hacia el Pacífico, las bandas identificadas el mes anterior se desplazaron acercándose al borde de la península, alcanzando localmente valores cercanos al 100% y una distribución difusa. En el Golfo de Ulloa se identifican regiones con frecuencias entre 60% y 80%. Entre ellas, al sur y al norte de Punta Eugenia se observan estructuras circulares, posiblemente asociadas a los bordes de remolinos.

Hacia el mar abierto, persisten remanentes de los parches observados en periodos anteriores, con frecuencias entre 30% y 50%. En conjunto, la región próxima a la costa

occidental de la península continúa siendo influenciada por la presencia de remolinos ciclónicos, particularmente en las zonas donde se identifican los gradientes más intensos, lo que sugiere que estas estructuras contribuyen activamente a la frontogénesis en la región.

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 intraestacional promedio y las velocidades geostróficas promedio. También se muestran los contornos de los remolinos presentes en las cuatro regiones de interés. Cabe destacar que la superposición de algunos contornos en la tierra se debe a los procesos de interpolación y suavizado de los campos geostróficos utilizados para detectar remolinos, los cuales no usan una máscara costera estricta.

En comparación con el mes anterior, siete remolinos se mantuvieron dentro de las regiones de interés durante el periodo analizado, conservando contornos claramente identificables que evidencian su persistencia. En contraste, el resto de los remolinos previamente observados dejaron de detectarse en las áreas de estudio, ya sea por procesos de disipación o por su desplazamiento fuera del dominio de análisis.

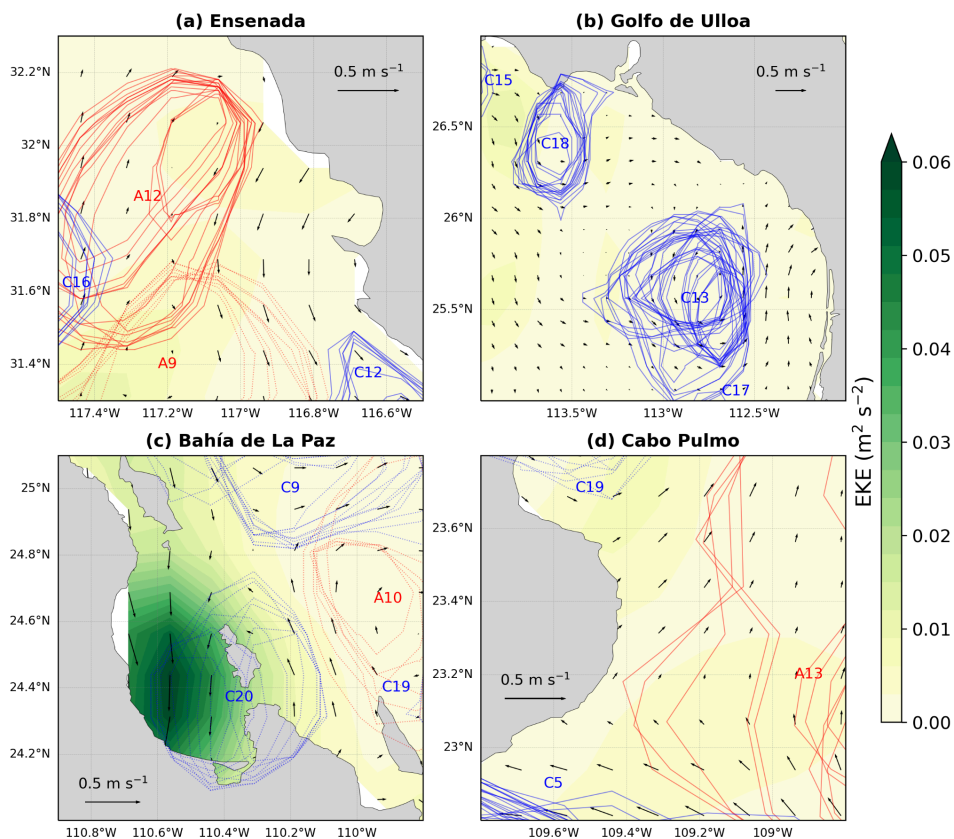


Figura 6.2: Energía cinética de remolinos (EKE) intraestacional promedio, velocidades geostróficas promedio y contornos de los remolinos que estuvieron presentes en (a) Ensenada, (b) el Golfo de Ulloa, (c) la Bahía de La Paz y (d) el Parque Nacional Cabo Pulmo.

Frente a Ensenada (Figura 6.2a), los remolinos A9 y C12 se mantuvieron activos durante el periodo analizado; sin embargo, A9 se disipó. Este último presentó un radio de 43.25 ± 10.70 km, una amplitud de ~ 0.02 m y velocidades de 0.12 ± 0.02 m s⁻¹. Por su parte, A12, el otro remolino anticiclónico de la región, presentó un radio efectivo de 26.91 ± 6.58 km, una amplitud de ~ 0.01 m y la misma velocidad que A9. Los remolinos ciclónicos C12 y C16 mostraron menor presencia dentro de la región. Registraron radios de 53.52 ± 2.38 km y 29.55 ± 1.54 km, amplitudes de 0.04 y 0.01 m respectivamente, y velocidades de ~ 0.17 m s⁻¹ y ~ 0.11 m s⁻¹. En esta región no se observaron valores elevados de velocidad geostrofica ni de EKE.

En el Golfo de Ulloa (Figura 6.2b) se identificaron cuatro remolinos ciclónicos, C13, C15, C17 y C18. Los remolinos C13 y C15 continúan activos desde el periodo anterior. C13 se mantuvo

activo durante el periodo analizado, localizado cercano a la costa, con un radio efectivo de 30.89 ± 7.80 km, una amplitud de 0.01 m y velocidades de 0.11 ± 0.03 m s⁻¹. Por otra parte, el remolino ciclónico C18 mostró una influencia evidente sobre la zona costera, con un radio de 48.49 ± 1.73 km, además de una mayor amplitud y velocidad que C13, llegando a ~ 0.06 m y ~ 0.25 m s⁻¹. Los remolinos C15 y C17 apenas tuvieron influencia sobre la región. Al igual que en la región de Ensenada, no se identificaron valores elevados de velocidad geostrofica ni de EKE.

En la Bahía de La Paz (Figura 6.2c) se observó la influencia de cuatro remolinos; sin embargo, todos ellos se disiparon durante el periodo analizado. A10 y C9 se mantuvieron desde el periodo anterior. El remolino A10 mostró un radio de 26.90 ± 8.74 km, una amplitud de 0.01 m y velocidades de 0.11 ± 0.03 m s⁻¹, mientras que C9 tuvo 35.09 ± 7.38 km, ~ 0.02 m y 0.16 ± 0.03 m s⁻¹, respectivamente. Durante el periodo analizado se formó y disipó el remolino C20 con radio efectivo de 22.22 ± 4.49 km, amplitud de ~ 0.02 y velocidad de 0.28 ± 0.04 m s⁻¹. El C19 apenas rozó el borde de la región. En esta región se mantuvieron valores elevados de velocidad geostrofica y EKE, principalmente dentro de la bahía y en los alrededores del archipiélago de Espíritu Santo.

En el Parque Nacional Cabo Pulmo (Figura 6.2d) se identificaron los remolinos A13, C5 y C19. El remolino ciclónico C19 se movió hacia el norte, apareciendo también en la región de la Bahía de La Paz y después se dirigió hacia el sur. Durante su presencia en el parque, presentó una radio de 22.47 ± 6.46 km, una amplitud de 0.01 m y una velocidad promedio de 0.16 ± 0.03 m s⁻¹. Mientras que durante su escasa presencia en la Bahía de La Paz presentó valores de 27.59 ± 1.98 km, ~ 0.01 m y 0.14 m s⁻¹, respectivamente. C5 ya se encontraba en actividad desde el periodo anterior y continuó activo al finalizar el periodo analizado. C5 y A13 fueron las estructuras más extensas analizadas en las cuatro regiones. Presentaron radios de 93.28 ± 17.69 km y 104.88 ± 19.68 km, amplitudes de ~ 0.06 m y 0.12 ± 0.03 , y velocidades de ~ 0.15 m s⁻¹ y 0.32 ± 0.04 m s⁻¹, respectivamente. En esta región no se observaron valores elevados de velocidad geostrofica y EKE durante el periodo actual.

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.

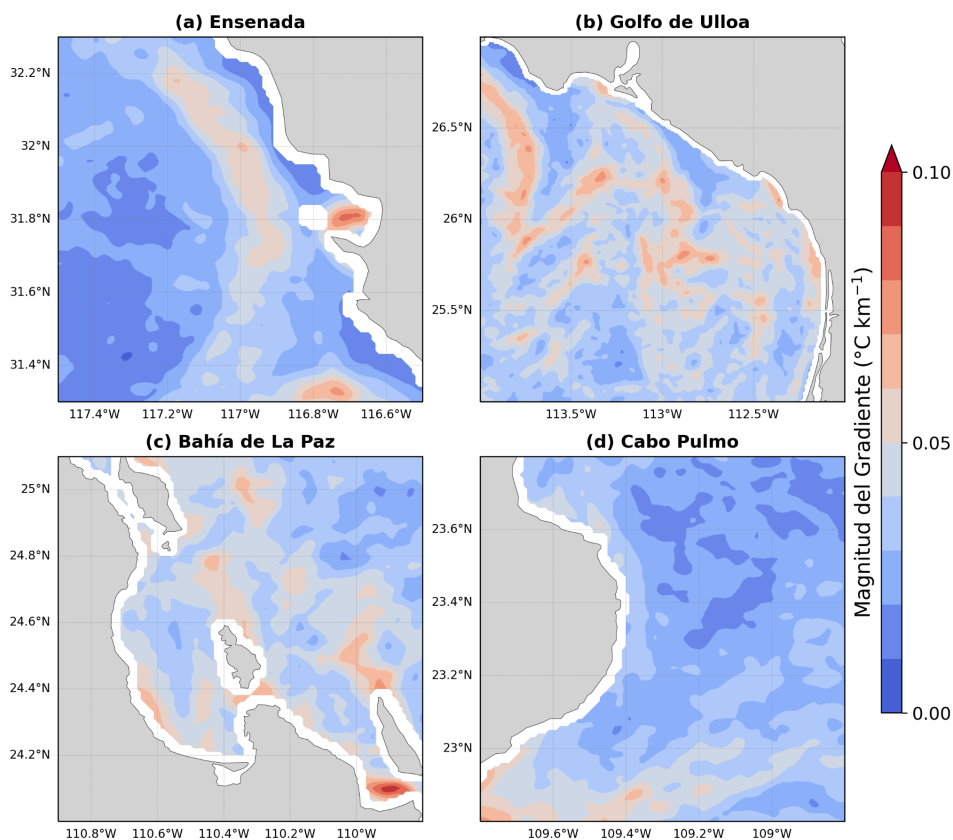


Figura 6.3: Magnitud promedio del gradiente horizontal de la temperatura superficial del mar en (a) Ensenada, (b) Golfo de Ulloa, (c) Bahía de la Paz y (d) el Parque Nacional Cabo Pulmo.

En la región de Ensenada (Figura 6.3a), los gradientes térmicos aumentaron durante el periodo analizado. En Bahía de Todos los Santos se muestran los valores más intensos de la región ($> 0.08 \text{ }^{\circ}\text{C km}^{-1}$). En la parte sur del dominio continúan identificándose valores ligeramente superiores al umbral de $0.05 \text{ }^{\circ}\text{C km}^{-1}$, así como paralelo a la costa. En el Golfo de Ulloa (Figura 6.3b), se observó la mayor actividad frontal entre las regiones analizadas. Se encontraron gradientes mayores de $0.05 \text{ }^{\circ}\text{C km}^{-1}$ dispersos a lo largo de toda la región, habiendo valores que sobrepasan los $0.07 \text{ }^{\circ}\text{C km}^{-1}$.

En la región de la Bahía de La Paz (Figura 6.3c) se observan gradientes térmicos más intensos que en el periodo anterior, distribuidos por toda la región. Los gradientes más intensos se encuentran fuera de la bahía, en la Bahía de la Ventana, con valores $> 0.09 \text{ }^{\circ}\text{C km}^{-1}$, los más elevados entre las regiones. Finalmente, en Cabo Pulmo (Figura 6.3d) se

mantuvieron gradientes térmicos bajos. Los valores estuvieron mayormente por debajo de $0.06 \text{ }^{\circ}\text{C km}^{-1}$ durante el periodo analizado, a excepción del suroeste, en el borde de la región. Las estructuras que se distribuían a lo largo de la costa desaparecieron. En conjunto, se observó baja actividad frontal en la región.

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., Sikhakolli, 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., deSzoeko, 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 mi tesis doctoral centrada en la teledetección de grupos funcionales fitoplanctónicos incluidas 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 abril, las diatomeas, dinoflagelados y cocolitofóridos estuvieron bien representados en la bahía de la Paz, lo que sugiere condiciones favorables para su desarrollo. El análisis de imágenes satelitales Sentinel-3 permitió identificar parches extensos de coloración marrón-roja en la superficie marina en la zona oceánica de Bahía Magdalena-San Carlos en el océano Pacífico.

Introducción

Global Ocean Colour es una de las más importantes series temporales a largo plazo del color del mar, desarrollada a partir de datos de multisensores del Servicio de Monitoreo del Medio Marino de COPERNICUS (CMEMS). Los datos de Grupos funcionales fitoplanctónicos (PFT en inglés), incluyendo diatomeas y dinoflagelados, se derivan principalmente del algoritmo PHYSAT (Alvain *et al.* 2005, 2008) y sus actualizaciones para CMEMS, con resolución temporal diaria y espacial de 4 km, (IOCCG 2014). Los cuales clasifican las comunidades fitoplancton con base a sus firmas ópticas específicas observadas por sensores multiespectrales como MERIS y OLCI. Este producto además de proporcionar estimaciones precisas de la presencia y distribución de diatomeas, dinoflagelados y haptofitas, permite obtener información detallada sobre su abundancia en el océano.

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

Baja California Sur (BCS) es uno de los estados más afectados por problemas de salud pública relacionados por florecimientos algales tóxicos, de acuerdo con la Base de Datos de Eventos de Algas Nocivas (<http://haedat.iode.org/>). La bahía de La Paz es la región más estudiada en la porción sur de BCS debido a su importancia económica. Esto es especialmente preocupante debido a la presencia constante de toxinas en moluscos comercializados en la entidad, lo que resalta la necesidad de un monitoreo continuo para garantizar la seguridad en el consumo de mariscos en la región (Leyva-Valencia *et al.* 2021). En este sentido, las capacidades sinópticas que ofrecen los sensores remotos satelitales contribuirán a mejorar las labores de monitoreo.

Área de estudio

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

Metodología

Entre julio de 2002 y abril 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. La concentración de los grupos fitoplanctónicos se muestra como una representación visual de la información estimada por el modelo PHYSAT de COPERNICUS. Datos disponibles en: https://data.marine.copernicus.eu/product/OCEANCOLOUR_GLO_BGC_L3_MY_009_103/.

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

Resultados

Grupos fitoplanctónicos

La Figura 7.1, Figura 7.2 y Figura 7.3 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-abril de 2026.

En Cabo Pulmo (Figura 7.1) y bahía de La Paz (Figura 7.2), las concentraciones fitoplanctónicas se mantuvieron, en general, en el límite superior del promedio climatológico. En bahía de La Paz, las concentraciones de diatomeas, dinoflagelados y cocolitofóridos presentaron un incremento significativo ($<0.1 \text{ mg m}^{-3}$; Figura 7.2), mientras que en Cabo Pulmo se registró un aumento en los cocolitofóridos, lo que sugiere condiciones favorables para su proliferación. En contraste, en San Juanico los tres grupos fitoplanctónicos permanecieron por debajo de sus valores climatológicos (Figura 7.3).

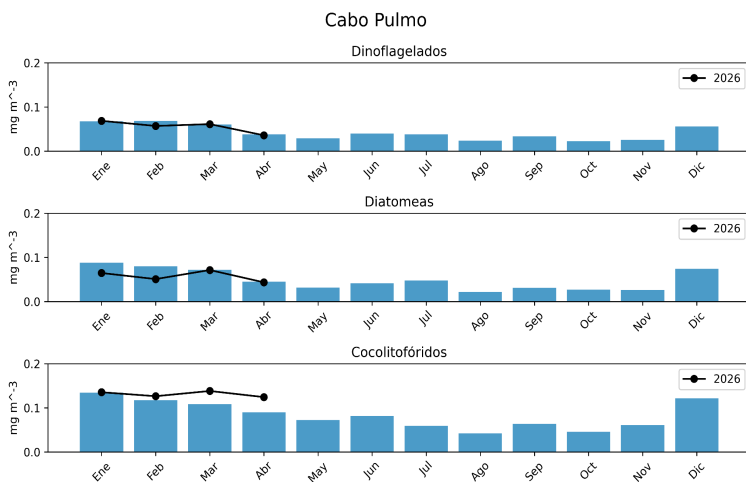


Figura 7.1: Climatología de la concentración de grupos fitoplanctónicos, expresada como clorofila-a (CLO, mg m^{-3}) en el agua de mar, correspondiente a Cabo Pulmo en abril de 2026.

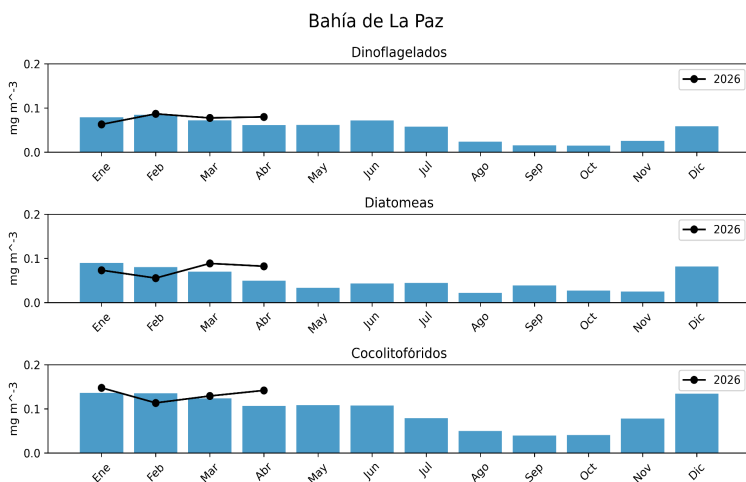


Figura 7.2: Climatología de la concentración de grupos fitoplanctónicos, expresada como clorofila-a (CLO, mg m^{-3}) en el agua de mar, correspondiente a la bahía de La Paz en abril de 2026.

2026.

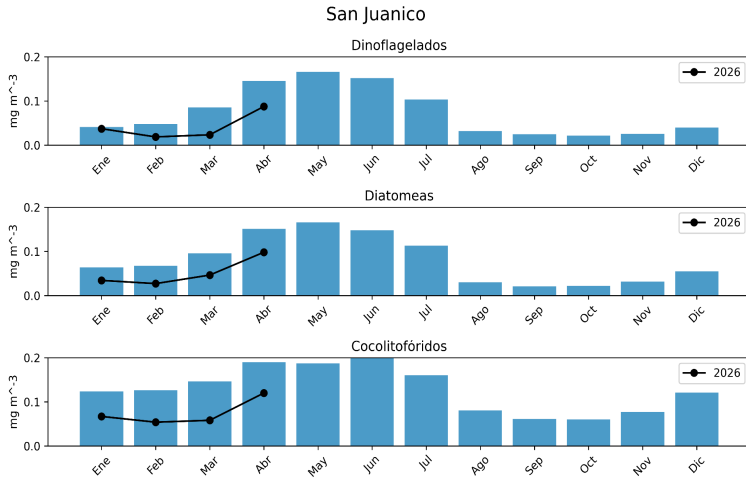


Figura 7.3: Climatología de la concentración de grupos fitoplanctónicos, expresada como clorofila-a (CLO, mg m⁻³) en el agua de mar, correspondiente a San Juanico en abril de 2026.

Eventos locales

1. Se identificó un parche en la zona oceánica de bahía Magdalena entre el 5 y 25 de abril, asociado con un color rojo-marrón extensos longitudinalmente ([Figura 7.4A, B](#)).

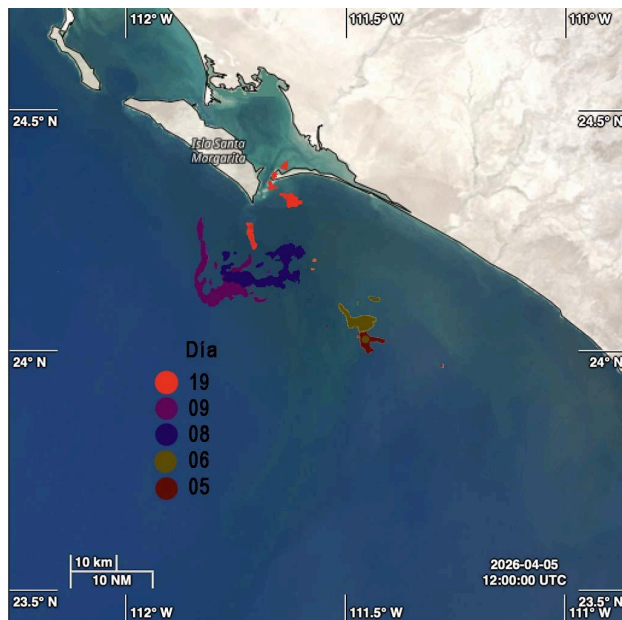


Figura 7.4: Imágenes de color verdadero que muestran zonas con presencia de parches de color rojo-marrón durante marzo de 2026, obtenidas del Sentinel-3 *Ocean Virtual*

Laboratory.

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. Monitoreo del viento en superficie

Jorge Cortés Ramos
jorgecr@cicese.edu.mx

Resumen | En esta sección se analizan datos in situ de viento superficial registrados por estaciones meteorológicas ubicadas en la zona costera de Cabo Pulmo, La Paz y San Juanico (actualmente inhabilitada). Estas estaciones registran variables meteorológicas cada 10 minutos y transmiten la información a las centrales de recepción del Servicio Meteorológico Nacional. Para cada sitio se presentan los patrones mensuales de dirección e intensidad del viento mediante rosas de viento y distribuciones de velocidad, comparando el mes de interés con los años previos disponibles. Como complemento regional, se incorporan campos de viento superficial derivados del reanálisis ERA5 para contextualizar espacialmente las condiciones observadas. A partir de las componentes zonal y meridional del viento a 10 m se calculan climatologías mensuales para el periodo 1991–2020 y anomalías mensuales del año en curso. Este enfoque permite distinguir entre cambios locales registrados por las estaciones y patrones regionales de circulación. Se enfatiza que la disponibilidad, acceso y completitud de los datos transmitidos al SMN pueden limitar el análisis en algunos periodos.

Introducción

Las regiones costeras de Baja California Sur presentan una marcada variabilidad del viento superficial, asociada tanto a la estacionalidad regional como a la interacción entre el Océano Pacífico, la península y el Golfo de California. Estos patrones de viento son relevantes para la dinámica costera, la generación de oleaje local, la surgencia costera, la productividad biológica y el clima.

Durante primavera y verano, los patrones estacionales de viento pueden favorecer procesos de surgencia, promoviendo el ascenso de aguas relativamente frías y ricas en nutrientes hacia la superficie, con implicaciones para la productividad marina (Valdez y Díaz, 2018). Por ejemplo, en la Bahía de Concepción, Chile, otros procesos similares permiten fertilizar los sistemas costeros generando áreas de alta producción (Ahumada, 1989).

En la Bahía de La Paz, estudios previos han documentado una marcada estacionalidad del viento, con predominio de flujos del noroeste durante invierno y del sureste durante verano, asociados a la variabilidad océano-atmósfera regional y que influyen en la productividad biológica de la región (Herrera-Cervantes et al., 2017).

Además de su importancia oceanográfica, los patrones de viento costero, incluidas las brisas marinas, influyen en la ventilación natural, el confort térmico y el bioclima de las zonas urbanas y costeras (Morillón-Gálvez et al., 2020). Por ello, el monitoreo del viento superficial mediante estaciones in situ, complementado con reanálisis atmosféricos, permite contextualizar las condiciones locales dentro de patrones regionales de circulación.

Área de estudio

El área de estudio comprende las regiones costeras y oceánicas adyacentes al estado de Baja California Sur (BCS), incluyendo el sur del Golfo de California y el Pacífico oriental subtropical ([Figura 8.1](#)). Esta región presenta una compleja interacción entre procesos atmosféricos, oceánicos y topográficos que modulan la circulación regional del viento superficial.

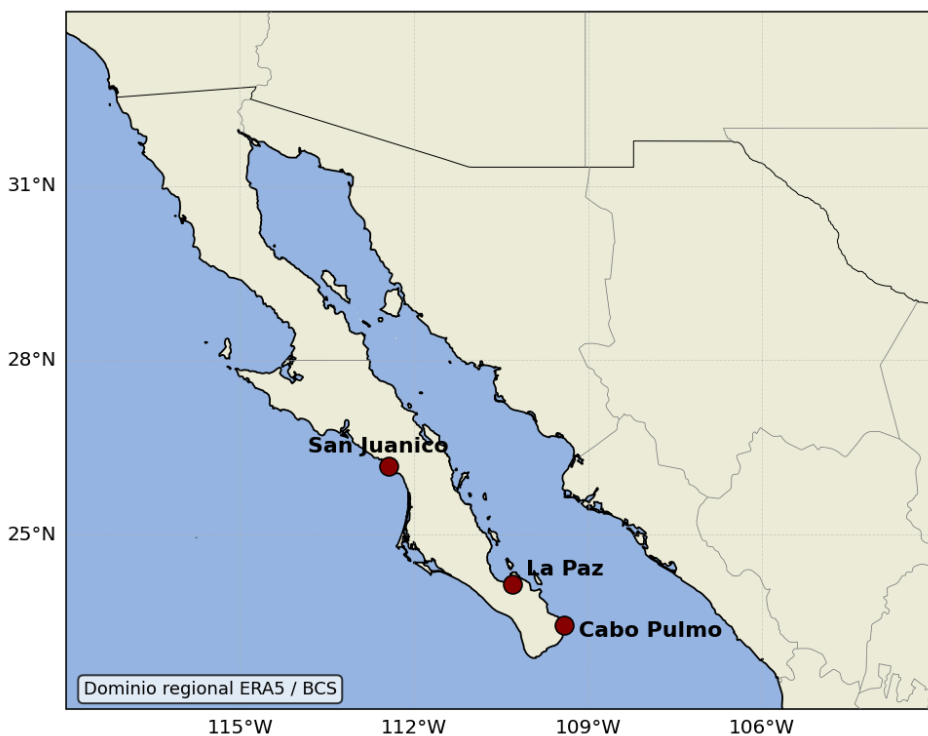


Figura 8.1: Área de estudio y ubicación de las estaciones meteorológicas utilizadas para el monitoreo del viento superficial en Baja California Sur. Los círculos indican los sitios de análisis in situ localizados en San Juanico (deshabilitado), La Paz y Cabo Pulmo. El dominio mostrado corresponde a la región utilizada para el análisis regional del viento superficial mediante ERA5 sobre el Golfo de California y el Pacífico oriental adyacente.

Para el análisis in situ se utilizaron estaciones meteorológicas localizadas en Cabo Pulmo, La Paz y San Juanico, representando distintos ambientes costeros de Baja California Sur. Cabo Pulmo se localiza en la costa oriental de la península y está influenciado por la circulación del sur del Golfo de California y el Pacífico adyacente. La Paz se ubica dentro de una bahía semicerrada, con interacción entre flujos canalizados del Golfo y circulaciones

costeras locales que, en ocasiones, pueden verse influenciadas por la circulación de vientos provenientes del Pacífico. San Juanico, en la costa occidental, se encuentra más expuesto a la influencia directa del Pacífico oriental. La combinación de estos sitios permite evaluar diferencias espaciales en los patrones de viento superficial y contextualizar las observaciones locales dentro de la circulación regional.

Metodología

Los datos de viento se obtienen de la red de Estaciones Meteorológicas Automáticas (EMAs) del Servicio Meteorológico Nacional (SMN). Estas estaciones registran información cada 10 minutos y transmiten los datos a centrales de observación mediante comunicación satelital, internet o radio. Los datos fueron preprocesados mediante código Python para identificar valores espurios, vacíos de información y periodos sin observaciones. Los huecos de información se conservaron como valores faltantes para evitar introducir errores sistemáticos mediante procedimientos de relleno. En algunos casos existen periodos prolongados sin observaciones, mayores a un año, asociados probablemente a fallas instrumentales, daños en la estación o problemas de telemetría.

Con los datos de velocidad y dirección del viento sostenido medido en las EMAs se calcularon climatologías mensuales de dirección e intensidad mediante rosas de viento. Este método permite comparar el patrón direccional del mes analizado con el comportamiento observado en años previos disponibles para cada estación. Adicionalmente, se utilizaron gráficos de cajas para describir la distribución mensual de la intensidad del viento sostenido e identificar valores atípicos asociados a incrementos puntuales en la velocidad del viento.

Como complemento al análisis *in situ*, se utilizaron campos diarios del reanálisis ERA5 (Hersbach et al. 2020; 2023) del ECMWF para caracterizar la circulación regional del viento superficial sobre Baja California Sur, el Golfo de California y el Pacífico oriental adyacente. Se emplearon las componentes zonal y meridional del viento a 10 m para calcular la magnitud y dirección del viento superficial. A partir del periodo 1991–2020 se construyó una climatología mensual de referencia, y las anomalías mensuales se estimaron como la diferencia entre el promedio mensual del año en curso y dicha climatología. Las anomalías mensuales permiten identificar modificaciones espaciales en la intensidad y distribución del viento superficial respecto al comportamiento climatológico esperado. Este análisis permite distinguir entre cambios locales registrados por las estaciones y patrones espaciales regionales del viento superficial.

VTO in situ en Cabo Pulmo, BCS

Durante **abril** de 2026, el patrón de viento en **Cabo Pulmo**, BCS, se mantuvo en términos generales consistente con su climatología 2014–2025 (Figura 8.2). Los vientos provenientes del Norte continuaron siendo dominantes, acompañados por una contribución importante del sector Noroeste. Dada la ubicación del sitio, estos flujos pueden asociarse con vientos que ingresan desde el Pacífico y cruzan completamente la parte continental hacia el Golfo de California.

En comparación con la climatología, **abril** de 2026 no muestra una reorganización direccional marcada. Se observa una distribución similar de los sectores Norte y Noroeste, con presencia secundaria de vientos del Sureste. En términos de intensidad, las velocidades se mantienen dentro de los umbrales característicos del mes, sin evidencia clara de un fortalecimiento generalizado del viento.

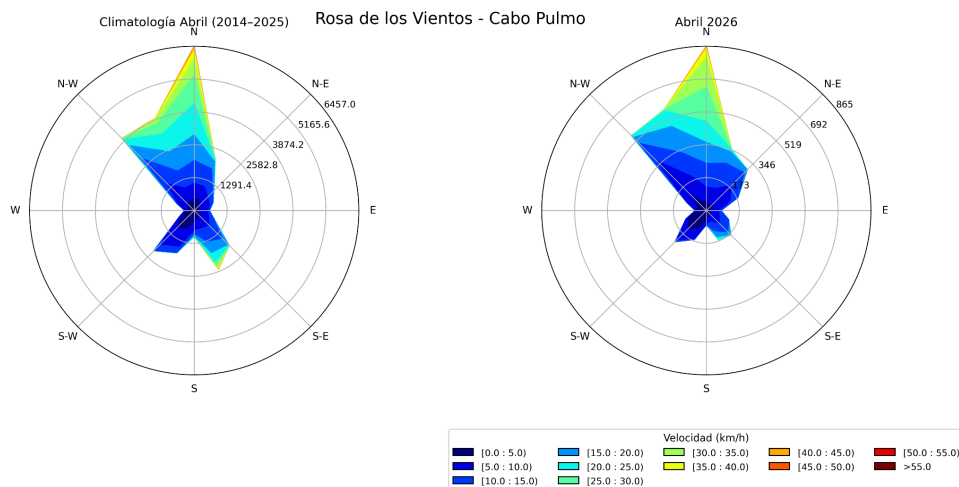


Figura 8.2: Climatología vs. observaciones de la dirección e intensidad de los vientos en la estación **Cabo Pulmo** durante el mes de **abril** de 2026.

La intensidad del viento registrada durante **abril** de 2026 en **Cabo Pulmo** tampoco muestra incrementos significativos respecto a los años previos disponibles (Figura 8.3). La mediana de la distribución se mantiene cercana a 10 km/h, mientras que el rango intercuartílico es comparable o ligeramente menor al observado en varios años anteriores. Aunque se registran varios valores cercanos y superiores a los 40 km/h, estos se encuentran dentro del rango histórico reciente y no superan los máximos observados en años como 2024 y 2025. En conjunto, la distribución de velocidades sugiere condiciones de viento moderadas, sin evidencia de eventos extremos destacados.

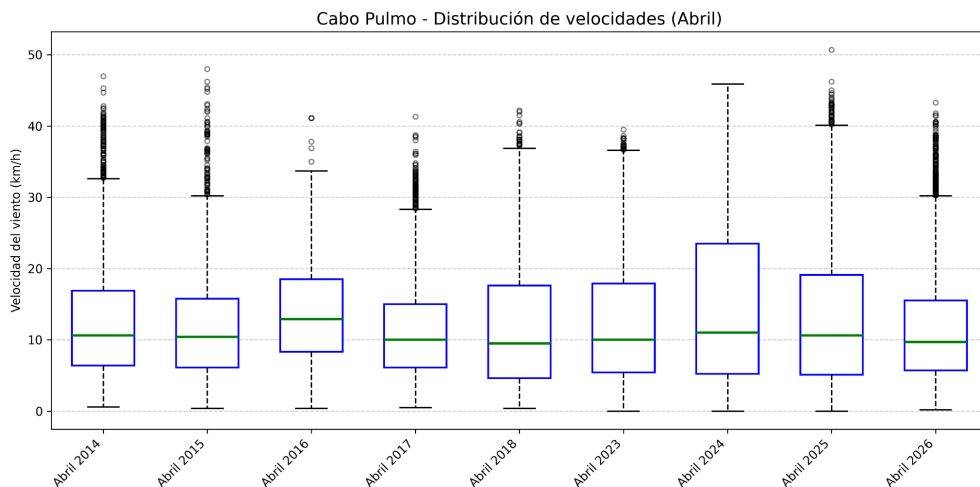


Figura 8.3: Análisis de cajas de la intensidad de los vientos en la estación **Cabo Pulmo** durante el mes de **abril** de 2026. Los valores de viento atípico están dados en el gráfico de cajas por los outliers (círculos en negro).

VTO in situ en la ciudad de La Paz, BCS

Durante **abril** de 2026, el patrón de viento en **La Paz**, BCS, mantuvo una estructura similar a su climatología 2016–2025 (Figura 8.4). La distribución direccional muestra una contribución importante de vientos provenientes del Sur, junto con una presencia secundaria de flujos del Noroeste. Este comportamiento es consistente con el patrón bimodal característico de la región, asociado a la interacción entre flujos canalizados del Golfo de California y circulaciones costeras locales.

En términos de intensidad, la distribución de velocidades del viento durante **abril** de 2026 se mantiene dentro de los rangos observados en años previos (Figura 8.5). La mediana se ubica alrededor de 10 km/h y no se identifican valores extremos relevantes en comparación con la variabilidad histórica disponible. En particular, abril de 2026 contrasta con abril de 2022, cuando se observaron velocidades más elevadas y mayor dispersión en la distribución.

En conjunto, los resultados sugieren que las condiciones de viento durante **abril** de 2026 en La Paz fueron representativas de la variabilidad mensual típica, sin evidencia de intensificación anómala del viento sostenido.

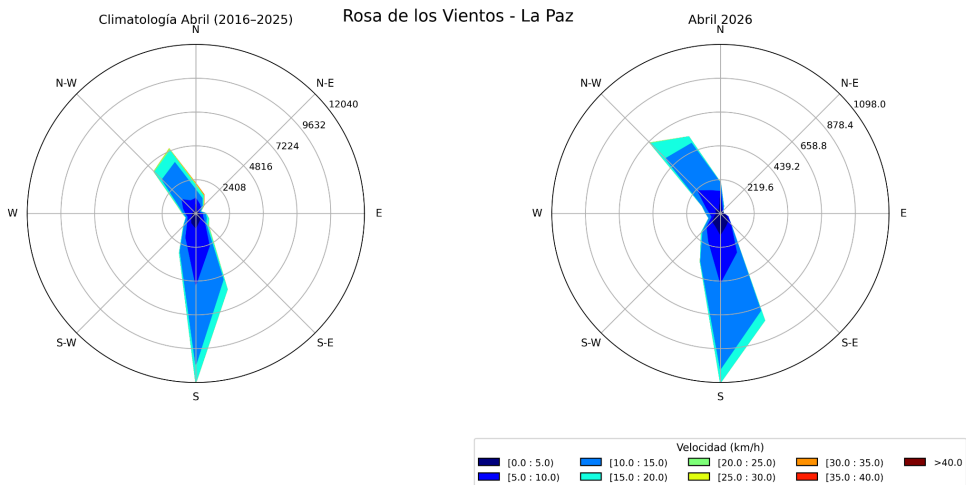


Figura 8.4: Climatología vs. observaciones de la dirección e intensidad de los vientos en la estación ESIME de **La Paz** durante **abril** de 2026.

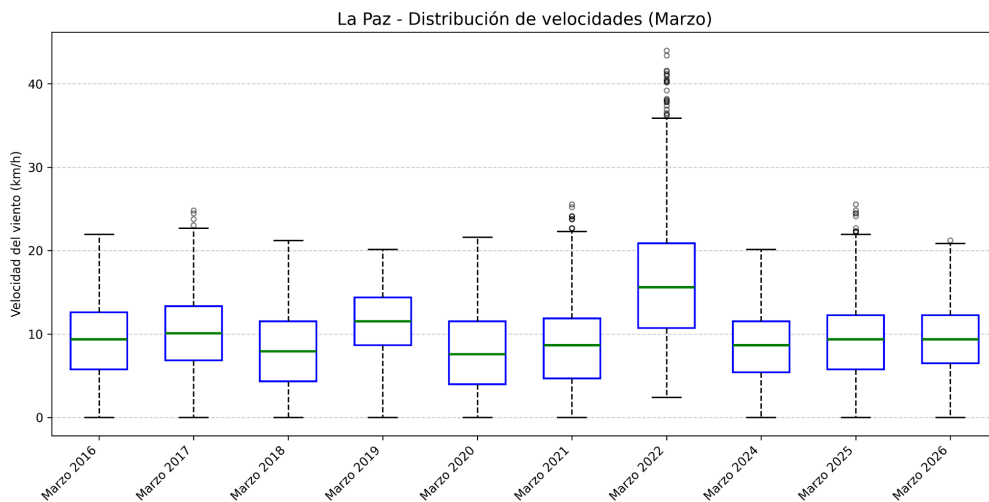


Figura 8.5: Análisis de cajas de la intensidad de los vientos en la ciudad de **La Paz**, BCS, durante el mes de **abril** de 2026. Los valores de viento atípico u outliers se muestran con círculos en negro en la figura.

Análisis regional del viento superficial mediante ERA5

El análisis regional mediante ERA5 muestra que la climatología mensual de **abril** presenta un patrón de vientos relativamente intensos sobre el Pacífico oriental adyacente a Baja California Sur, con una orientación predominante paralela a la península y hacia la entrada sur del Golfo de California (Figura 8.6), proporcionando un contexto regional para las observaciones *in situ* que describimos anteriormente para los sitios de Cabo Pulmo y La Paz.

Las diferencias mensuales de **abril** de 2026 respecto a la climatología 1991–2020 son, en general, débiles sobre la mayor parte del dominio, con magnitudes principalmente entre 0 y 1 m/s. Esto indica que el viento superficial regional durante abril de 2026 fue cercano al comportamiento climatológico esperado para el mes. Esta señal es consistente con los análisis *in situ*, donde no se identificaron incrementos importantes en la intensidad del viento ni desviaciones direccionales suficientemente marcadas como para sugerir una reorganización regional anómala.

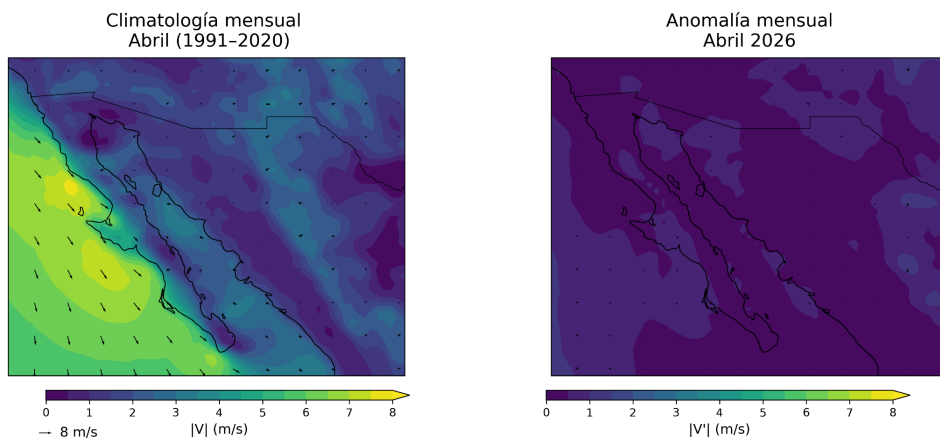


Figura 8.6: Climatología mensual y anomalía del viento superficial derivado de ERA5 para **abril** de 2026. El panel izquierdo muestra la magnitud y dirección climatológica del viento a 10 m para **abril** en el periodo 1991–2020. El panel derecho muestra la magnitud y dirección de la diferencia entre la climatología mensual y los valores correspondientes para el mes de **abril** de 2026. Los colores representan la magnitud del viento o de la anomalía, mientras que los vectores indican la dirección del flujo.

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>
- Hersbach H, Bell B, Berrisford P, et al. (2020). The ERA5 global reanalysis. *Q J R Meteorol Soc.*;146:1999–2049. <https://doi.org/10.1002/qj.3803>
- Hersbach, H., Comyn-Platt, E., Bell, B., Berrisford, P., Biavati, G., Horányi, A., Muñoz Sabater, J., Nicolas, J., Peubey, C., Radu, R., Rozum, I., Schepers, D., Simmons, A., Soci, C., Dee, D., Thépaut, J.-N., Cagnazzo, C., & Cucchi, M. (2024). ERA5 post-processed daily statistics on single levels from 1940 to present. Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS). <https://doi.org/10.24381/cds.4991cf48>
- 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.
- Servicio Meteorológico Nacional (SMN). (2026). Red de Estaciones Meteorológicas Automáticas (EMAs). Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), México. Disponible en: <https://smn.conagua.gob.mx/es/observando-el-tiempo/estaciones-meteorologicas-automaticas-ema-s>
- 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: Marzo, 2026

Hugo Herrera Cervantes
hherrera@cicese.mx

Resumen |CICESE-UALP, implementó en 2015 un programa de monitoreo de variables ambientales en la Bahía de La Paz (BLPZ) bajo el Proyecto Interno 691-109 “*Laboratorio Ambiental para el estudio de la variabilidad Océano-Atmósfera en la Bahía de La Paz, B.C.S.*”. Dicho monitoreo se basa en el registro de variables ambientales por Estaciones Meteorológicas Autónomas (EMAs) cuya información se publica en la página: <https://ualp.cicese.mx/condiciones-ambientales-observadas-en-la-bahia-de-la-paz/>.

Durante marzo de 2026, los valores registrados en el sur de la BLPZ mostraron que la Temperatura Máxima del aire (TMax) osciló entre 16.0 y 35.9° C, promedio de 22.6° y mínimos de 16.0° C. Los valores de Hum. Rel., mostraron el efecto inverso observado en la temperatura, con valores máximos (93%) durante las primeras horas del día, asociada con la condensación de la humedad y valores mínimos durante el ciclo vespertino (final de invierno). Las rachas de viento máximas $>10 \text{ m s}^{-1}$ (8, 12, 20-28 de marzo) se asocian principalmente al paso de frentes fríos y el ingreso de aire frío y seco del océano Pacífico (<https://smn.conagua.gob.mx/>).

Introducción

La Bahía de La Paz (BLPZ) se ubica en el suroeste del Golfo de California entre las coordenadas 24° a 25° Norte y de 110 °- 111° Oeste (ver [Figura 9.1](#)). En esta sección se analiza la evolución temporal de variables atmosféricas (Temperatura Máxima del aire, Humedad relativa, rachas y dirección del viento) utilizando los datos registrados en la EMA ubicada al sur de la bahía (La Paz), cubriendo el período del 01 al 31 de marzo, 2026 y su relación con eventos climatológicos observados durante el período analizado, como el ingreso de humedad asociada a frentes fríos y aire proveniente del Pacífico, acompañadas por la corriente en chorro subtropical.

Área de estudio

La BLPZ es afectada por el paso de frentes fríos en invierno (vientos fuertes a moderados del Noroeste) y por vientos moderados del sur y sureste durante la primavera y el verano (monzón mexicano), con precipitaciones de ligeras a fuertes asociadas al paso de ciclones tropicales durante el verano (Herrera-Cervantes y Estrada, 2023) que en ocasiones generan inundaciones y cambios en la línea de costa (Turrent y Zaitzev, 2014). El clima en BLPZ corresponde a la clasificación climática tipo BWhs(x) de Köppen modificada por García (1964) y corresponde a climas muy secos y semicálidos. La circulación en la BLPZ presenta una fuerte relación con el patrón de vientos y el intercambio de agua con el Golfo de California (Obeso-Nieblas, et al., 2004) donde 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 en 2014 como Área Marina Prioritaria (SEMARNAT, 2014).

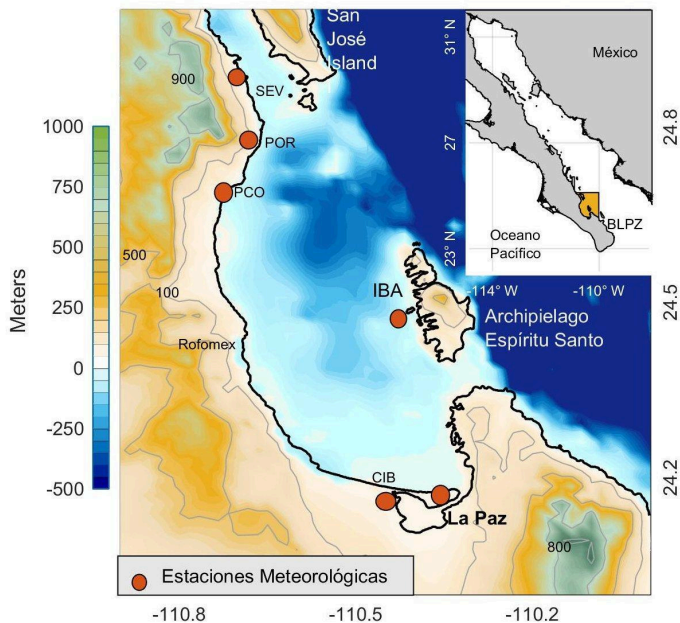


Figura 9.1: Mapa mostrando la Red de Estaciones Meteorológicas instaladas en la Bahía de La Paz, como parte del Proyecto Interno CICESE-UALP 691-109 “Laboratorio Ambiental para el estudio de la variabilidad Océano-Atmósfera en la Bahía de La Paz, B.C.S. Se incluyen las características batimétricas de la bahía y la topografía de su entorno.

Metodología

Los datos de las variables analizadas (Temp. aire, Hum relativa, dirección, velocidad y rachas de viento) se registran cada 2 horas por la EMAs (12 valores diarios de cada variable), se almacenan en archivos los cuales sufren un preprocesado para la detección de datos erróneos, posteriormente los datos se suavizan utilizando un promedio corrido (de 24 horas = 12 datos) para su graficado en forma de diagramas del tiempo (30 días vs 24 horas) y se calcula su estadística básica. Los datos de viento se grafican en forma de series de vectores y Rosa de los vientos (Rosa de Vectores). Se incluyen valores de máxima y mínima varianza de los vectores del viento. Para algunos eventos importantes incluimos el mapa sinóptico utilizado por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) para la región noroeste de México.

Resultados

La **Figura 9.2** muestra los diagramas de tiempo (31 días vs 24 horas), cubriendo el período analizado (marzo, 2026). La Temperatura Máxima del aire (TMax) registrada durante este período (a) mostró valores $>35.0^{\circ}\text{C}$ durante el período vespertino (16:00 a 20:00 hrs.), los días 17 al 21 y 30 de marzo con un valor promedio de $\sim 25.7^{\circ}\text{C}$ y temperaturas mínimas (16.9°C) durante la mañana (06:00 a 9:00 am, (característicos del invierno), con un evento de TMax ($>35.0^{\circ}\text{C}$) el 20 de marzo. En (b) se observan los valores de Humedad Relativa (%), con un comportamiento inverso al de la TMax, con valores máximos (80-90 %) del 20 al 29 de marzo (04:00 a 08:00 am) y valores mínimos, de 16% que concuerdan con los máximos observados en la TMax (17 al 21 de marzo, 12:00 a 20:00 hrs.), asociados rachas de viento moderadas y débiles mostradas en el panel (c) durante el mismo período (15 al 21 de marzo) y asociadas al ingreso de viento del suroeste (suroeste >2 a 4 m s^{-1}). El sistema de brisas se observa de forma importante del 5 al 12 de marzo.

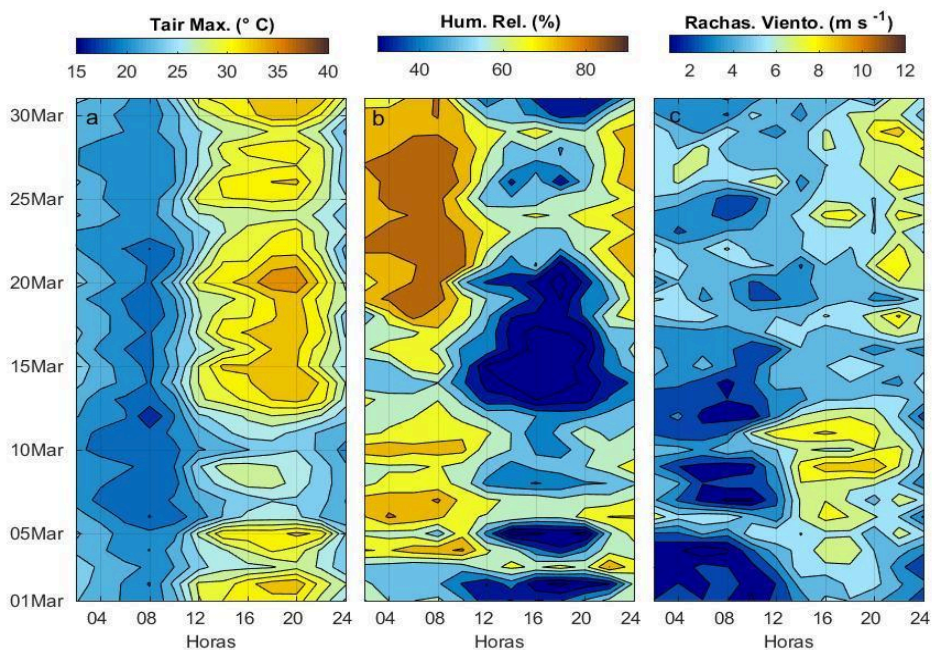


Figura 9.2: Diagramas de tiempo (horas vs días) de variables atmosféricas registradas en la Estación La Paz, del 01 al 31 de marzo de 2026: (a) Temperatura máxima del aire, (b) Humedad Relativa, y (c) Rachas de viento.

La **Figura 9.3** muestra en (a) las rachas de viento en forma de serie de vectores y en (b) Rosa de los vientos y (c) Rosa de vectores: La velocidad y dirección predominante, fue del 1er., y 4to., cuadrantes. Durante finales del invierno la presencia esporádica de la corriente en chorro polar y subtropical, así como canales de baja presión en la región de B.C.S., se asocian a la entrada de humedad desde el Pacifico hacia la BLPZ con rachas de viento mayores a 5 m s^{-1} , y direcciones predominantes proveniente del norte y sureste generando entrada de humedad. Los eventos de viento del sureste ($\sim 6 \text{ m s}^{-1}$) representan un 5 % de la ocurrencia del viento. Los vectores en rojo (**Fig. 9.3c**) indican los ejes principales de la dirección de máxima y mínima varianza.

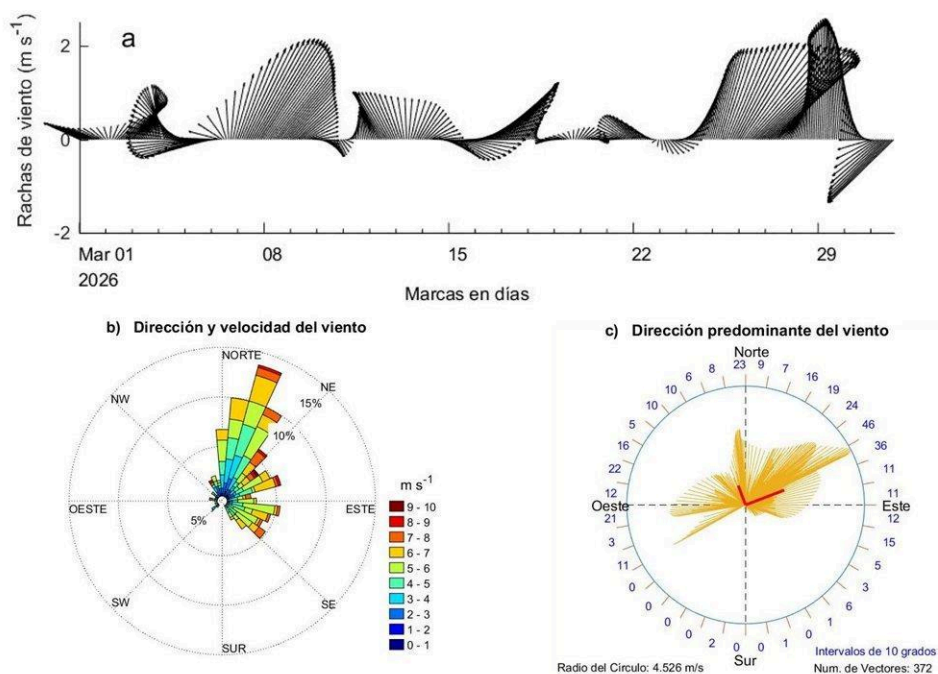


Figura 9.3: Panel (a): Vectores del viento (Rachas registradas en 16 direcciones) durante el período de 01 al 31 de marzo de 2026 (invierno). Panel inferior: b) Rosa del viento (dirección y velocidad) y (c) vectores del viento que indican la frecuencia y el número de vectores calculados (cada 10 grados). Los vectores en rojo indican los ejes principales promedio de la máxima y mínima varianza de La dirección del viento registrado durante el período analizado.

Referencias

García, E. 1964. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. Serie de libros. Núm. 6: 90 pp.

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>

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 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 de abril de 2026 y contrastar con respecto a datos históricos del mes (1982-2023), 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 23.1 °C; este valor presentó una anomalía positiva de 1.8 °C, con respecto a datos históricos. Por su parte, el promedio mensual de la temperatura máxima fue de 32.1 °C, valor que presentó una anomalía positiva de 1.0 °C con respecto a datos históricos. La temperatura mínima promedió 14.2 °C, valor que también resultó con una anomalía de 2.7 °C con respecto a datos históricos. La evapotranspiración potencial (ET_o) promedio para el mes de abril fue de 7.0 mm/día. Este mes de abril no se presentó precipitación, mientras que la precipitación promedio histórica del mes es de 0.5 mm.

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 las variables climáticas registradas en el mes de abril de 2026 derivado de información proporcionada por el observatorio meteorológico no. 3132.

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 abril 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 presentó la temperatura más alta y la más baja. Asimismo, se realizó una comparativa entre las temperaturas presentadas en el mes de abril 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 de abril 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 abril de 2026

La [Figura 10.1](#) muestra el comportamiento diario de la temperatura y humedad relativa al mes de abril de 2026. El día 12 de abril se presentó la temperatura más alta con un registro de 38.5 °C, mientras que el día 23 del mes se registró la temperatura más baja con 10.0 °C. El promedio de la humedad relativa máxima para el mes de abril fue de 89.6 %, mientras que la humedad relativa mínima promedio 27.6 %.

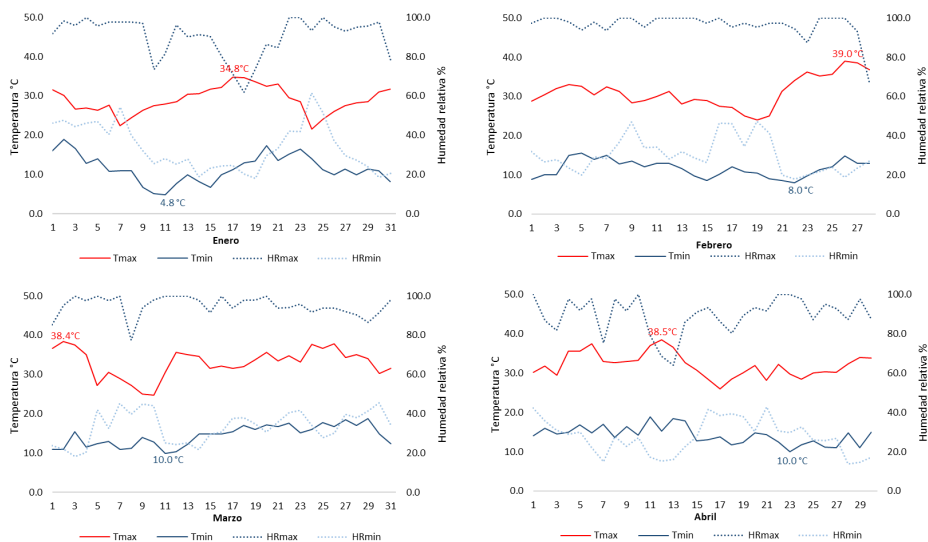


Figura 10.1: Comportamiento de la temperatura y humedad relativa al mes de abril de 2026. Tmax= Temperatura máxima. Tmin= Temperatura mínima. HRmax= Humedad relativa máxima. HRmin= Humedad relativa mínima. Los valores en rojo y azul dentro de cada mes, indican el valor más alto y el más bajo de las temperaturas máxima y mínima, respectivamente.

Comportamiento de las temperaturas en abril de 2026 vs registros históricos

El mes de abril de 2026 presentó una temperatura promedio de 23.1 °C (Figura 10.2a), valor que se ubicó 1.8 °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 1.0 °C, mientras que la segunda presentó una anomalía de 2.7 °C. (Figura 10.2b). Así, el mes de abril de 2026 fue más cálido que el comportamiento histórico.

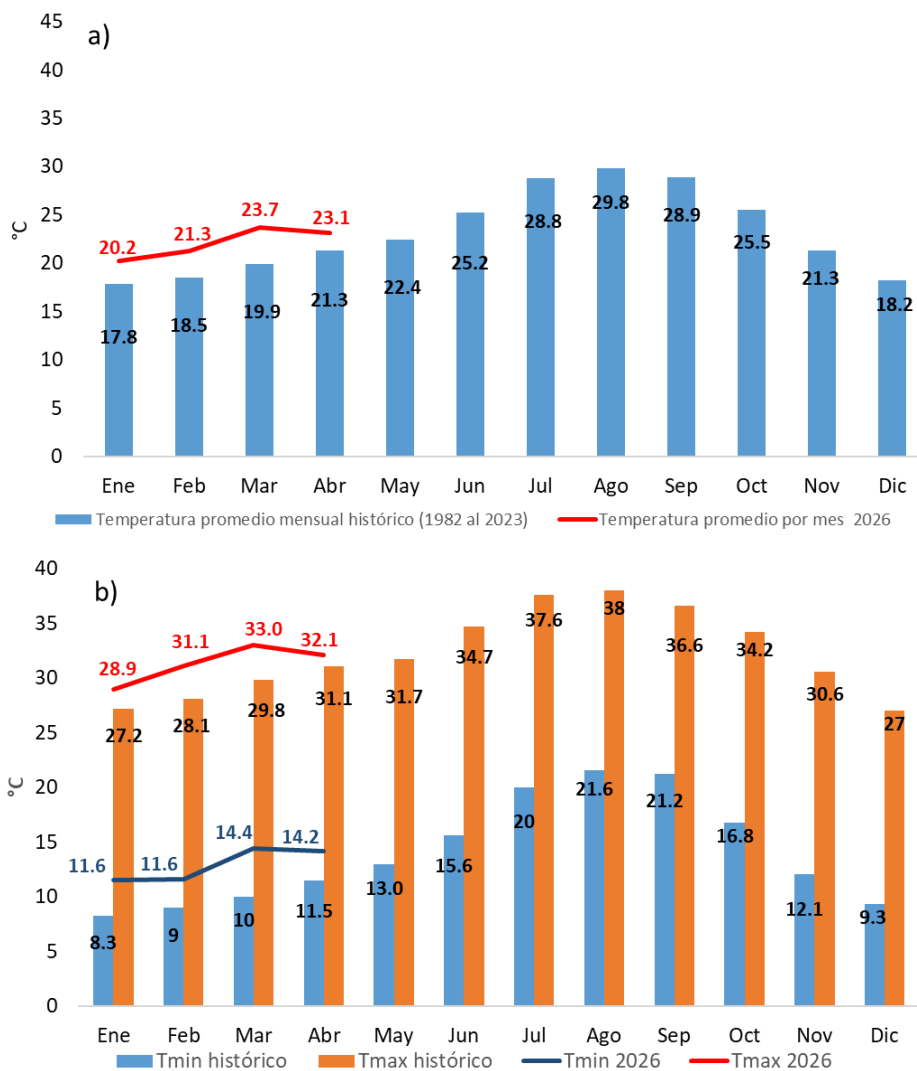


Figura 10.2: a) Comparativo de los promedios mensuales de la temperatura media (periodo 1982-2023) con respecto al registrado en el mes de abril de 2026. b) Comparativo entre promedios de temperaturas máximas y mínimas históricas (1982-2023) con respecto a promedios presentados en el mes de abril de 2026. Tmax= Temperatura máxima. Tmin= Temperatura mínima.

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

La [Figura 10.3a](#) muestra el comportamiento de las variables a partir de las cuales se calculó la ETo para cada día del mes de abril de 2026, mientras que la [Figura 10.3b](#) muestran los

valores de ETo para cada día del mismo mes; el valor promedio de esta variable en abril de 2026 fue de 7.0 mm/día con una desviación estándar de 1.2 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 abril de 2026 fue de 70.0 ± 12.4 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.

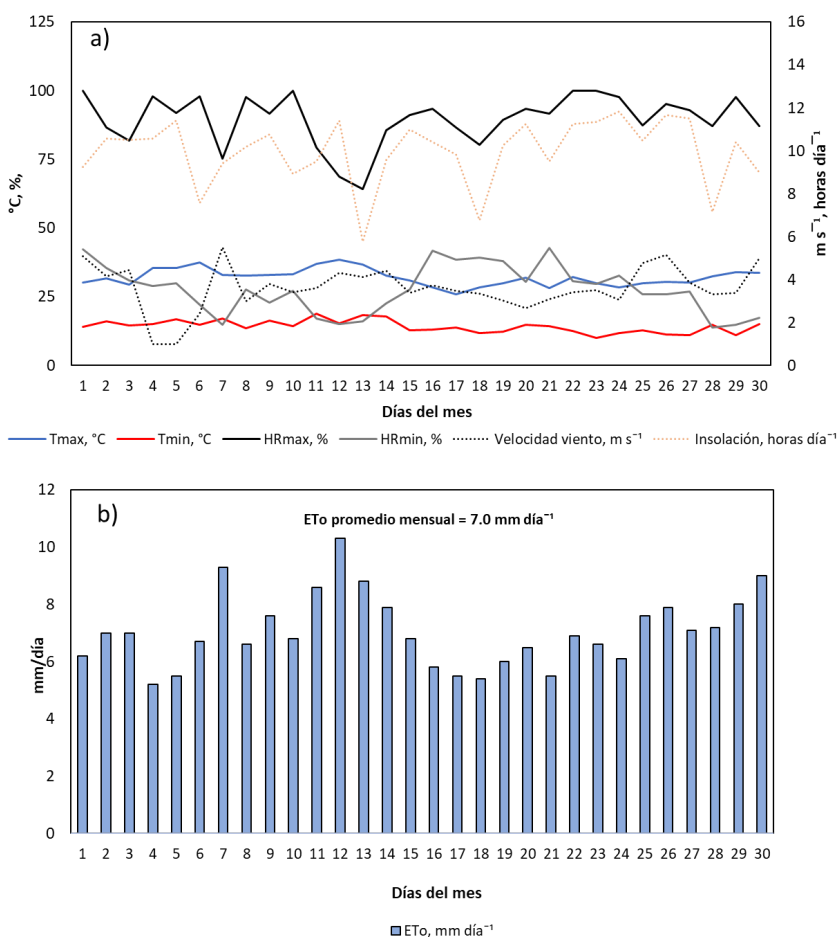


Figura 10.3: a) Comportamiento de la temperatura máxima (Tmax), temperatura mínima (Tmin), humedad relativa máxima (HRmax) y mínima (HRmin), velocidad del viento e insolación en el mes de abril de 2026. b) Comportamiento de la evapotranspiración potencial (ETo) en el mes de abril de 2026.

Precipitación acumulada

Durante el mes de abril de 2026 no se registraron eventos de precipitación (Figura 10.4). El promedio histórico para el mes de abril es de 0.5 mm de acuerdo con datos de la estación (Ruíz et al., 2006).

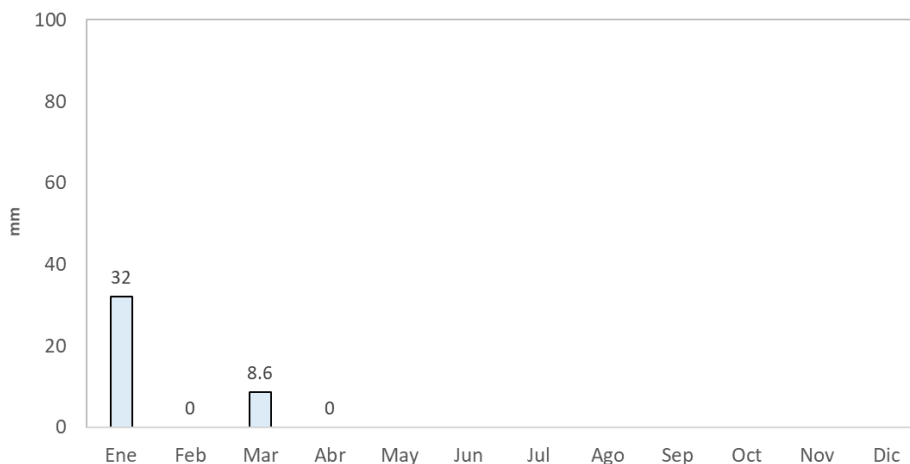


Figura 10.4: Precipitación registrada al mes de abril de 2026.

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 marzo 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 marzo de 2026 se monitorearon un total de 5 sistemas frontales en México: desde el número 38 hasta el 42.

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 marzo se presentaron 5 sistemas frontales: desde el número 38 hasta el número 42 (SMN 2026). Este valor contrasta ligeramente con el promedio de 6 frentes durante el periodo histórico 1990-2020. Solamente dos de los frentes fríos lograron desplazarse sobre la península de Baja California (Figura 11.1); el resto de los frentes lo hicieron solamente por el norte, noreste del país o Golfo de México.



Figura 11.1: Representación gráfica de las condiciones meteorológica para el 7 de marzo en 2026 y que se asocia al frente frío número 39 sobre el noroeste de México. La figura se elaboró con material proporcionado por el Servicio Meteorológico Nacional.

Durante el mes de marzo no hubo eventos (meteorológicos) notables asociados a los sistemas frontales en el noroeste de México. La Figura 11.2 presenta la evolución diaria de las temperaturas extremas en un sitio representativo de La Paz (observatorio meteorológico del Servicio Meteorológico Nacional) así como en su aeropuerto local. Tanto las temperaturas máximas como las mínimas fueron disminuyendo desde finales de diciembre hasta mediados de febrero; después, se nota que el aumento de las temperaturas máximas alcanzó un valor de 38.2°C el 20 de marzo. Esta fecha corresponde al equinoccio de primavera en el hemisferio norte y en consistente con el aumento de horas con radiación solar, aire con menor contenido de humedad y la presencia limitadas de sistemas frontales sobre Baja California Sur.

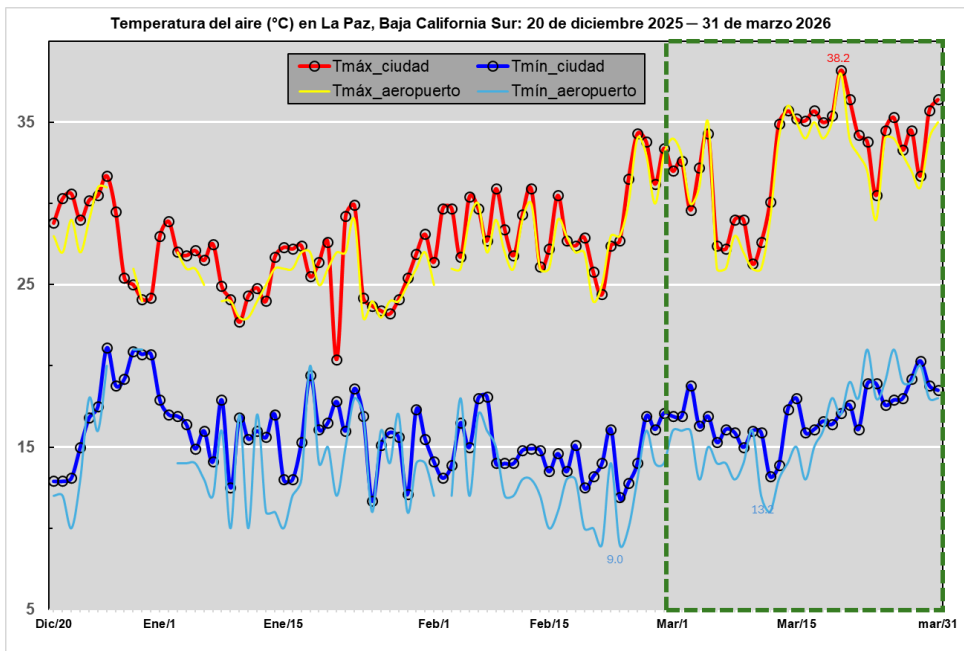


Figura 11.2: Serie de tiempo con temperaturas máximas (Tmáx, °C) y mínimas (Tmín, °C) tanto en la ciudad de La Paz como en su aeropuerto del 20 de diciembre 2025 al 31 de marzo 2026. El rectángulo verde indica el periodo de 31 días de marzo en 2026.

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: marzo 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-Marzo26.pdf>.

12. Análisis Mensual de la Temperatura del Aire a 10 m en el Pacífico y en el Golfo de California (1980-2026): Máximo histórico en marzo 2026 en el GC

Carlos Robinson M.
robmen@unam.mx

Introducción

La temperatura del aire a 10 metros es un indicador importante para entender cómo interactúan el océano y la atmósfera en las zonas costeras. Este valor refleja tanto el calor que proviene del mar como los efectos del clima regional, por ejemplo, los vientos y otros patrones atmosféricos. Además, ayuda a reconocer cómo estas regiones responden a fenómenos climáticos de gran escala, como el PDO o El Niño. Por ello, analizar la temperatura del aire permite tener una idea más clara de los cambios estacionales y de la variabilidad del clima en el Pacífico y el Golfo de California.

En el noroeste de México, el océano Pacífico y el Golfo de California presentan contrastes debido a diferencias en dinámica oceánica, ventilación y capacidad de almacenamiento térmico. Este análisis emplea datos mensuales de la reanálisis MERRA-2 durante el periodo 1980- a marzo de 2026.

Metodología

Se utilizaron datos mensuales de temperatura del aire a 10 m (T10M) de la reanálisis MERRA-2 (M2TMNXSLV v5.12.4). Se definieron dos regiones de estudio: el Pacífico frente a la península de Baja California en su parte centro-sur, y el Golfo de California ([Figura 12.1](#)). Se generaron climatologías, promedios mensuales regionales y anomalías mensuales.

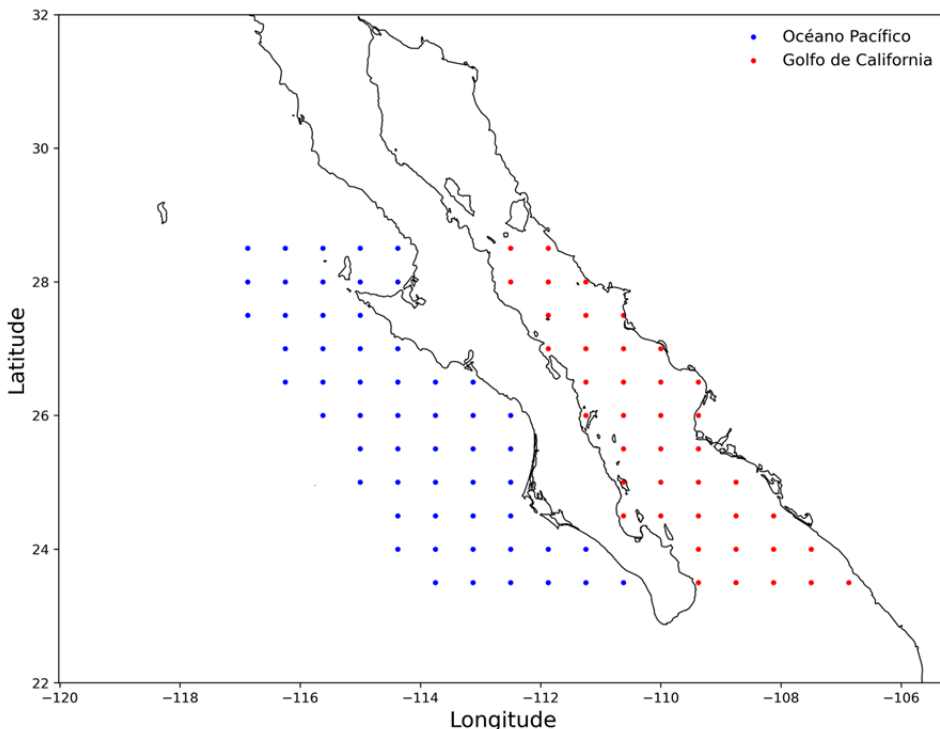


Figura 12.1: Ubicación de las celdas de MERRAS en el Golfo de California y la costa Oeste de la Península de Baja California.

Resultados

La comparación mensual muestra que el Golfo de California presenta temperaturas consistentemente más elevadas que el Pacífico durante todo el año, con máximos durante el verano (Figura 12.2). En contraste, el Pacífico presenta un ciclo térmico más moderado, influenciado por la Corriente de California y el afloramiento costero. Asimismo, el Pacífico muestra una mayor dispersión térmica, reflejada en desviaciones estándar más grandes.

Al analizar la evolución de las anomalías de temperatura en el Pacífico y el Golfo de California, se distinguen tres fases predominantes a lo largo del periodo analizado (Figura 12.3a).

Etapas de temperaturas medias y alta variabilidad (1980–1997)

Durante esta primera etapa, ambas regiones presentan oscilaciones térmicas amplias, aunque el Pacífico muestra picos más pronunciados. En la serie se observan anomalías que superan $+1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ y descensos por debajo de $-1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, lo que indica una variabilidad intensa. Las anomalías alternan entre valores positivos y negativos sin una tendencia definida.

El sistema se caracteriza por cambios frecuentes y de gran amplitud. El Pacífico presenta variaciones abruptas y recurrentes, con máximos y mínimos intensos, mientras que el Golfo de California también muestra oscilaciones, pero con amplitudes ligeramente menores. En conjunto, esta etapa se distingue por una alta variabilidad interanual, particularmente en el Pacífico.

Etapa fría y persistente (1998–2013)

A partir de 1998 inicia un periodo prolongado caracterizado por anomalías predominantemente negativas. Tanto el Pacífico como el Golfo de California presentan valores más bajos que en la etapa anterior. Aunque continúan las fluctuaciones, predominan condiciones más frías.

Esta fase se distingue por su duración y por la persistencia del enfriamiento en ambas regiones, lo que sugiere un cambio en el estado medio del sistema durante este periodo.

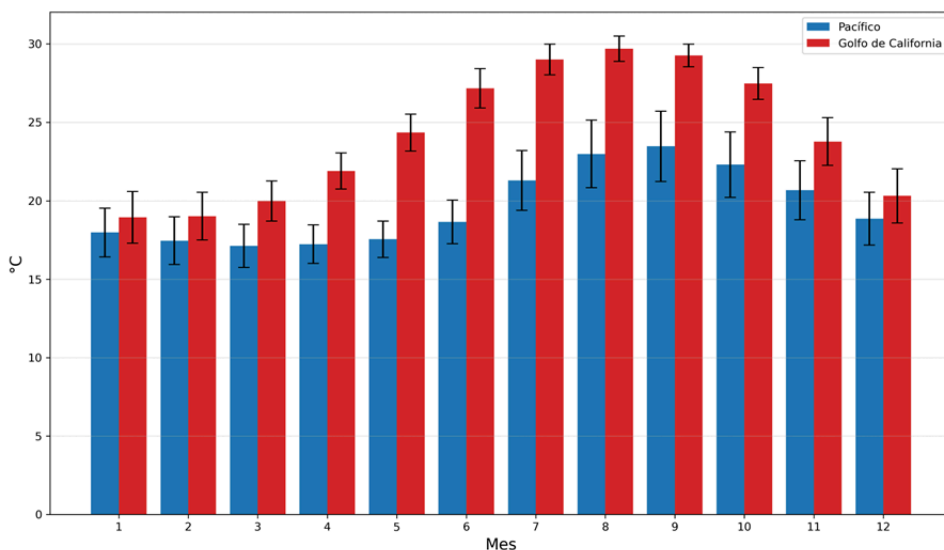


Figura 12.2: Temperatura media por mes y desviación estándar en ambas regiones.

Etapa de calentamiento y cambio reciente (2014–2026)

A partir de 2014 se observa un incremento rápido y notable de la temperatura en ambas regiones, alcanzando valores significativamente superiores a los registrados previamente en la serie, asociado al evento cálido de 2015–2016.

Posteriormente, entre 2017 y 2022–2023, las anomalías muestran una tendencia a

disminuir, lo que inicialmente sugería una transición hacia condiciones más frías. Sin embargo, la incorporación de datos recientes modifica de manera importante esta interpretación. A partir de 2023 se observa un nuevo incremento significativo de las anomalías, que interrumpe de forma abrupta la fase de enfriamiento. Este aumento culmina en marzo de 2026 con el valor más alto de toda la serie en el Golfo de California (3.01 °C), superando claramente los máximos registrados durante el evento de 2015–2016.

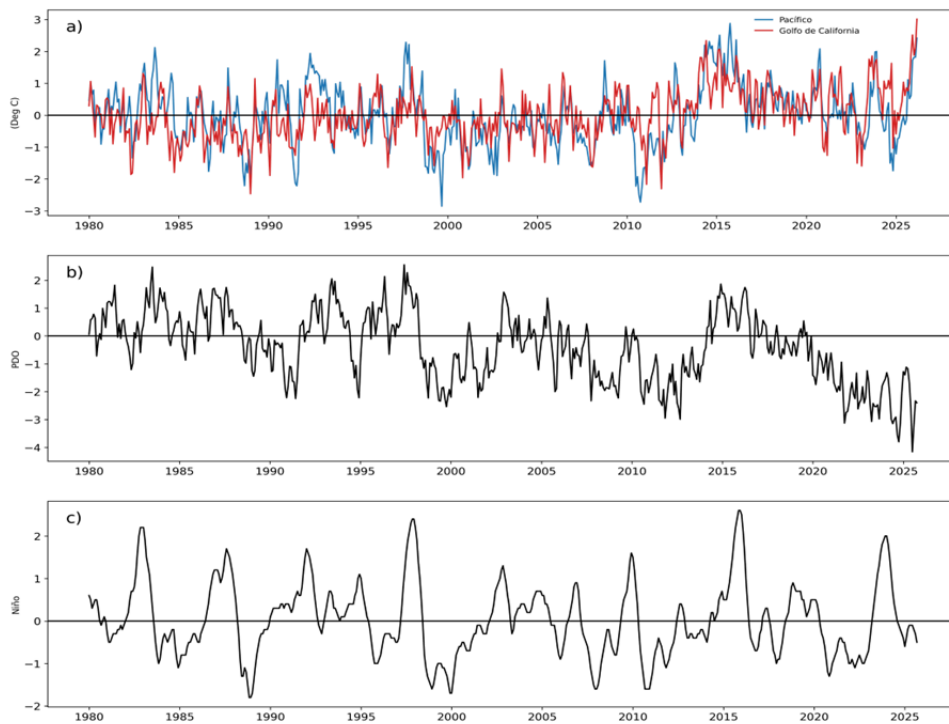


Figura 12.3: (a) Mediana de anomalías mensuales de temperatura del aire a 10 m en el Pacífico y en el Golfo de California de enero de 1980 a marzo de 2026 , (b) índice de PDO (c) El Niño índice.

El Pacífico también presenta anomalías positivas elevadas en el periodo reciente. En particular, en marzo de 2026 se alcanza un valor cercano a 2.4 °C, el cual corresponde al tercer valor más alto de toda la serie temporal. Este resultado indica que, aunque el máximo absoluto del Pacífico ocurrió durante el evento El Niño 2015–2016 (≈ 2.88 °C), las condiciones recientes se encuentran entre las más cálidas registradas. En conjunto, este comportamiento evidencia que el calentamiento actual en el Pacífico es significativo, aun cuando no supera los máximos asociados a eventos extremos de ENSO. actual en el Pacífico es significativo, aun cuando no supera los máximos asociados a eventos extremos de ENSO.

Relación entre el PDO, índice Niño y la variabilidad regional

Al comparar los índices PDO y Niño con la evolución de las temperaturas del aire en el Pacífico y el Golfo de California, se observa que ambos presentan una secuencia de eventos cálidos y fríos a lo largo del periodo (Figura 12.3b y 12.3c). El PDO muestra una relación más consistente con la variabilidad térmica regional, mientras que el índice Niño presenta una correspondencia más episódica.

En el periodo reciente, el índice Niño muestra un evento cálido importante entre 2023 y 2024, que coincide con un incremento en las anomalías de temperatura en ambas regiones. Sin embargo, este evento no explica completamente el comportamiento posterior.

El máximo histórico registrado en marzo de 2026 en el Golfo de California ocurre cuando el índice Niño ya ha disminuido hacia condiciones neutrales o ligeramente negativas, y mientras el PDO permanece en una fase negativa persistente. Esto indica que el calentamiento extremo más reciente no está directamente asociado a condiciones favorables en estos índices.

En conjunto, los resultados sugieren que, aunque ENSO puede contribuir al incremento inicial de la temperatura, el calentamiento extremo reciente y su intensificación en el Golfo de California no pueden explicarse únicamente por la variabilidad asociada al PDO o al índice Niño, lo que sugiere la influencia de otros procesos regionales o de forzamiento adicional.

Conclusión

El análisis revela que la temperatura del aire en el Pacífico y el Golfo de California ha experimentado una variabilidad significativa en los últimos 46 años, organizada en tres etapas principales. La diferencia térmica entre ambas regiones está en gran medida sincronizada con el PDO, mientras que la influencia del ENSO es secundaria.

El calentamiento abrupto observado a partir de 2014 representó inicialmente un cambio importante en la dinámica climática regional. Sin embargo, la incorporación de datos hasta marzo de 2026 muestra que la aparente fase de enfriamiento posterior a este evento fue transitoria. En su lugar, se observa un nuevo episodio de calentamiento que culmina en el valor máximo de toda la serie en el Golfo de California, alcanzando aproximadamente 3 °C en marzo de 2026.

Este resultado indica una intensificación reciente del calentamiento regional, con una

amplificación particularmente marcada en el Golfo de California, superando incluso los valores asociados al evento cálido de 2015–2016. En conjunto, estos cambios sugieren una modificación en el comportamiento reciente del sistema climático regional, con implicaciones potenciales para los procesos oceánicos, atmosféricos y ecosistémicos.

BOLETÍN CLIMÁTICO DE BCS

AÑO 2 | NÚMERO 5 | MAYO 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

