

BOLETÍN CLIMÁTICO DE BCS

REVISTA DEL CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y DE EDUCACIÓN SUPERIOR DE ENSENADA,
UNIDAD ACADÉMICA LA PAZ

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

Novedades del clima regional



Año 2 | Núm. 8 | agosto 2026

Fotografía de portada: Vista del radar meteorológico de Cabo San Lucas. Autor: Eduardo González 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. 8, agosto 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. 8, agosto 2026 (1.0.0).

CICESE-UALP. <https://doi.org/10.5281/zenodo.22208699>.

BOLETÍN CLIMÁTICO DE BCS

Año 2 | Número 8 | agosto 2026

Novedades del clima regional Contenido

Presentación	4
Resumen	5
Introducción	6
1. Eventos extremos	7
Jorge Cortés Ramos	
2. Nivel del mar absoluto	11
Armando Trasviña Castro	
3. Temperatura Superficial del Mar, Productividad Primaria y Altimetría satelital	19
Eduardo González Rodríguez	
4. Paisaje Pelágico	32
Romeo Saldívar-Lucio	
5. Ondas de calor marinas	38
José Alejandro Ramos Rodríguez	
6. Actividad de mesoescala: Remolinos y frentes térmicos	47
Emmanuel Romero, Amelia Sánchez-Pérez	
7. Monitoreo satelital de florecimientos algales	59
Cotsikayala Pacheco-Ramírez	
8. Monitoreo del viento en superficie	63
Jorge Cortés Ramos	
9. Condiciones meteorológicas registradas en La Bahía de La Paz	71
Hugo Herrera Cervantes	
10. Clima en el Valle de Santo Domingo	76
José Denis Osuna Amador	
11. Sistemas frontales	82
Luis Manuel Farfán Molina	
12. Análisis Mensual de la Temperatura del Aire a 10 m en el Pacífico y en el Golfo de California (1980–2026)	86
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.

Resumen

El **nivel del mar absoluto** en agosto de 2026 en La Bahía de La Paz alcanzó valores sin precedentes en 33 años de datos. Aquí reportamos valores de > 1 m (sobre el geoide), sin incluir la altura de la marea. Estos son los primeros síntomas del Niño 2026. Las tendencias a la elevación del nivel del mar se ha estabilizado los últimos 13 años a valores de un orden de magnitud menores a los de la década precedente.

Los datos satelitales de anomalías de nivel de mar, productividad primaria (PP) y temperatura superficial del mar (TSM), en conjunto, mostraron durante julio condiciones consistentes con un escenario regional de calentamiento. **Cabo Pulmo y La Paz** presentaron niveles del mar y TSM por encima de sus climatologías, acompañados por una disminución de la PP. **San Juanico** mostró igualmente un incremento del nivel del mar y una TSM positiva, mientras que la PP permaneció por debajo de su climatología. **Ensenada** presentó un comportamiento similar en el nivel del mar y la PP, aunque la TSM se mantuvo cercana a su valor climatológico. En las cuatro localidades, la PP fue inferior a la climatología durante julio, mientras que las anomalías históricas de TSM permanecieron predominantemente positivas. Este comportamiento, junto con el incremento del MEI de **1.52 a 2.41**, refuerza la señal de fortalecimiento de las condiciones asociadas con **El Niño**.

En las localidades de La Paz y Cabo Pulmo se observó a inicios del año una mayor presencia de aguas cálidas y de menores concentraciones de clorofila, generalmente asociadas a la influencia de aguas tropicales representadas parcialmente por las categorías de hábitats pelágicos H15 y H3. Aunque su presencia es propia del verano, podrían seguir expandiéndose durante los próximos meses en respuesta al esperado fenómeno de El Niño. Cabe destacar que en la localidad más norteña, en el Golfo de Ulloa, no se observa la influencia de aguas tropicales y poco productivas. Por el contrario, se ha expandido el área ocupada por H21 por encima del promedio, indicando un mayor predominio de aguas templadas y con alta concentración de clorofila.

El promedio mensual de los principales grupos fitoplanctónicos descendió abruptamente en toda la región durante julio, particularmente en San Juanico, donde esta tendencia parece continuar en agosto. Este descenso contrasta con las concentraciones elevadas registradas entre marzo y junio de este año. La variación deberá evaluarse durante los meses siguientes y analizarse en conjunto con las condiciones ambientales, ya que podría corresponder a un patrón temporal.

Introducción

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

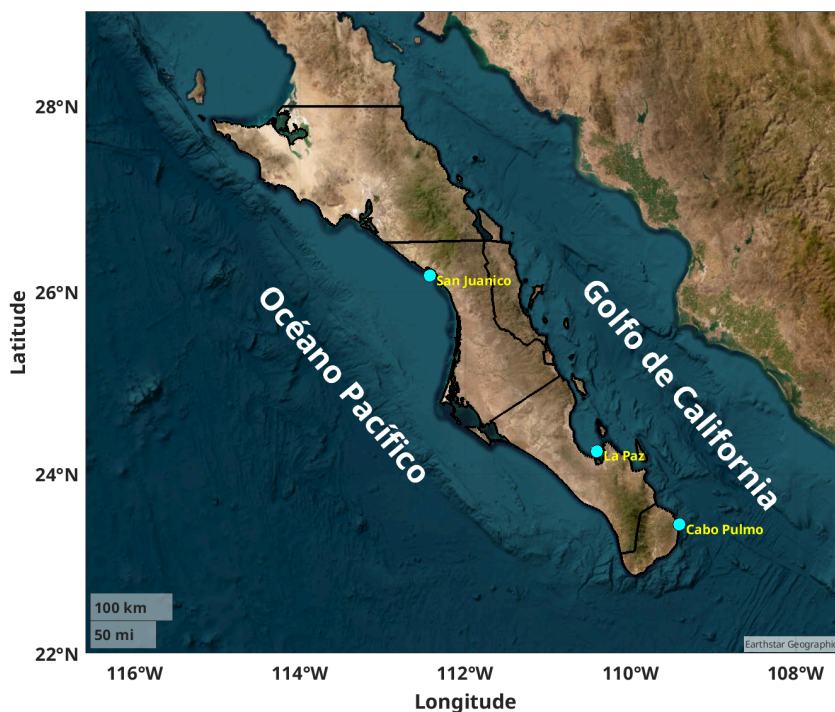


Figura 1.1: Océano costero de Baja California Sur, dentro de la región oceanográfica del Pacífico Tropical Oriental y de la Corriente de California. Los círculos de colores marcan sitios donde presentamos series de tiempo de diferentes variables.

1. Eventos extremos

Jorge Cortés Ramos
jorgecr@cicese.edu.mx

Durante los primeros **ocho meses de 2026** se han registrado diversos eventos extremos en el sur de la península de Baja California, destacando la persistencia y recurrencia de ondas de calor, así como algunos eventos puntuales de precipitación. En esta sección se presenta un análisis descriptivo para tres estaciones climatológicas representativas del estado: La Paz, Cabo San Lucas y Loreto, utilizando umbrales climatológicos construidos a partir del periodo de referencia 1991–2020.

La [Figura 1.1.1](#) muestra la evolución diaria de la temperatura máxima (Tmax) observada durante 2026 en comparación con la climatología histórica de referencia. La banda sombreada representa el rango comprendido entre los percentiles diarios 10 y 90 (P10–P90), mientras que los periodos identificados como ondas de calor corresponden a secuencias de al menos tres días con Tmax superior al P90 mensual, permitiendo un día puente consecutivo.

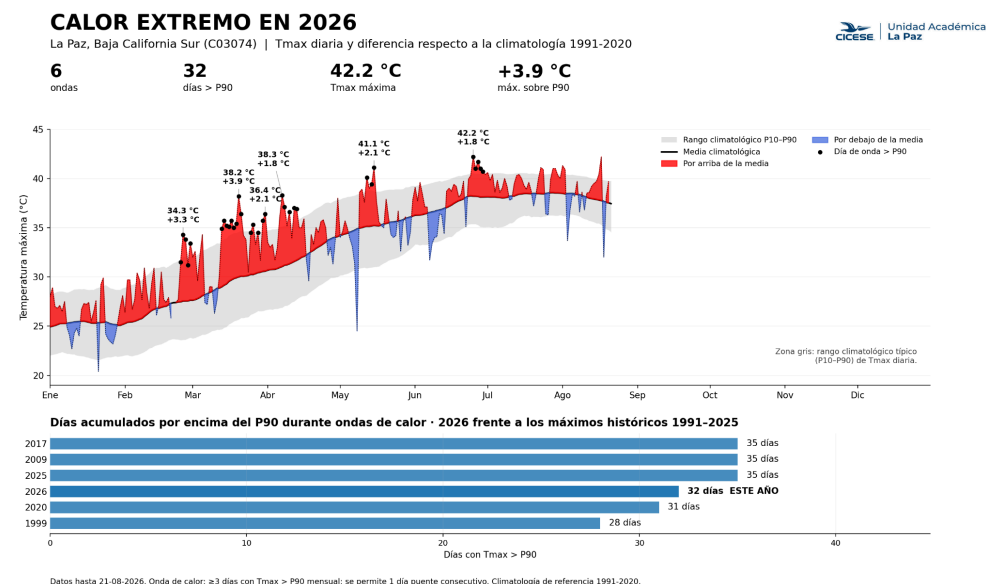


Figura 1.1.1: Evolución diaria de la temperatura máxima (Tmax) durante 2026 en estaciones representativas de Baja California Sur: La Paz, Cabo San Lucas y Loreto. La línea negra representa la climatología media correspondiente al periodo 1991–2020 y la banda gris indica el rango climatológico entre los percentiles diarios 10 y 90. Las áreas rojas y azules representan temperaturas por encima y por debajo de la media climatológica,

respectivamente, mientras que los puntos negros identifican los días pertenecientes a ondas de calor con T_{max} superior al P90 mensual. El panel inferior muestra los días acumulados por encima del P90 durante ondas de calor en 2026 respecto a los mayores valores anuales de la serie histórica. **Última actualización: 21/08/2026 .**

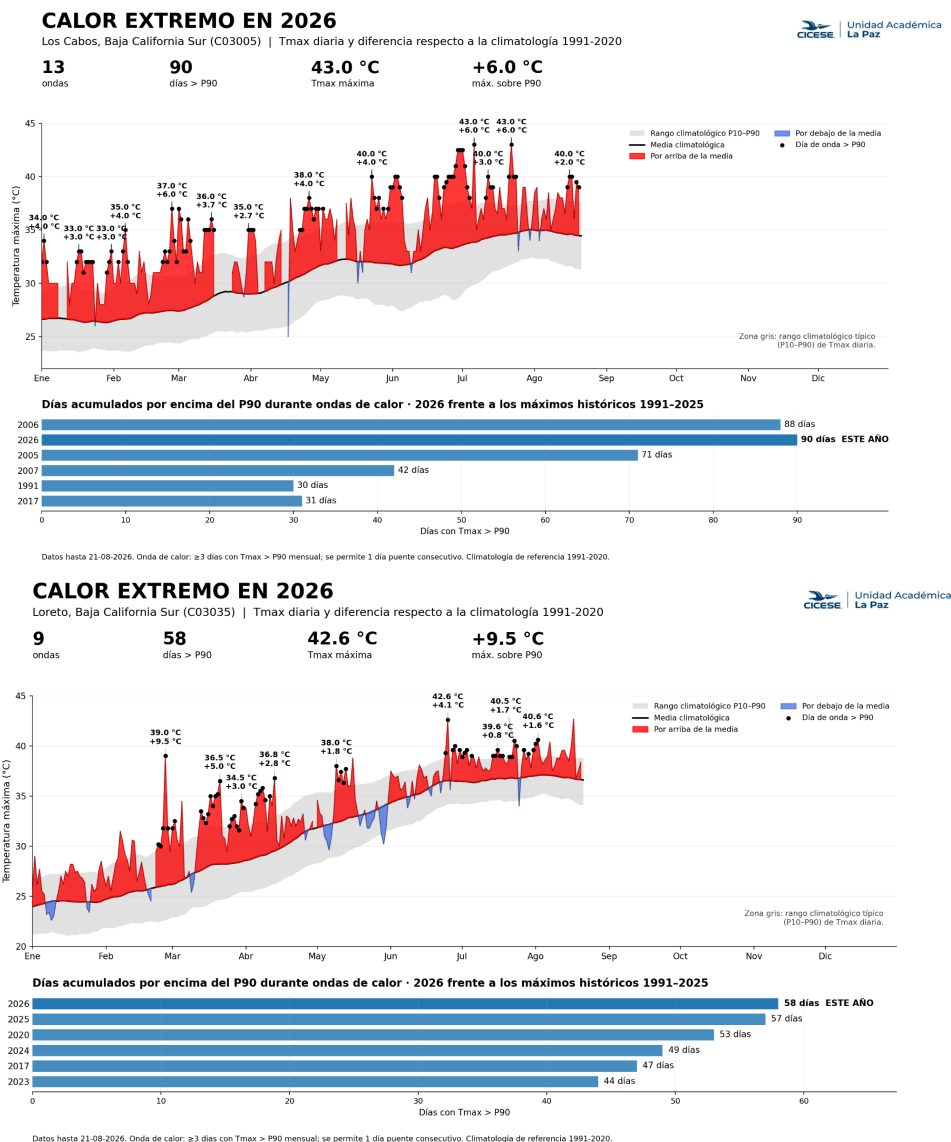


Figura 1.1.1 (cont).

Las tres estaciones muestran múltiples periodos con temperaturas máximas superiores a los valores climatológicos durante 2026, aunque con diferencias importantes en su persistencia. Hasta el 21 de agosto, **Cabo San Lucas acumula 13 ondas de calor y 90 días por encima del P90 durante estos eventos**, mientras que **Loreto registra 9 ondas y 58 días y La Paz 6 ondas y 32 días**.

La persistencia observada en 2026 adquiere relevancia al compararla con los registros históricos disponibles. En **Cabo San Lucas, los 90 días acumulados en 2026 superan los 88 registrados en 2006**, que constituían el mayor valor previo de la serie 1991–2025. De manera similar, **Loreto alcanza 58 días, superando los 57 registrados en 2025**. En La Paz, los 32 días acumulados hasta el momento se encuentran próximos a los mayores registros históricos disponibles, de 35 días en 2009, 2017 y 2025. Debe considerarse que los valores de 2026 corresponden a un año aún en curso.

Durante junio y julio también se alcanzaron temperaturas máximas destacadas dentro de los registros mensuales de algunas estaciones. En **Cabo San Lucas** se establecieron nuevos máximos históricos para junio y julio, alcanzando **43.0 °C** como máxima del año hasta el momento. En **Loreto**, la máxima de **42.6 °C** registrada durante junio se ubicó entre los valores más altos observados históricamente para ese mes. En **La Paz**, la máxima registrada durante 2026 ha sido de **42.2 °C**. En conjunto, estos registros documentan tanto la magnitud como la persistencia de las condiciones cálidas observadas durante 2026, sin atribuir por el momento los mecanismos responsables de su ocurrencia.

Con el objetivo de documentar sistemáticamente la ocurrencia de eventos extremos durante 2026, a continuación se presentan tablas resumen correspondientes a las tres estaciones analizadas. Estas incluyen la identificación de ondas de calor y eventos de precipitación clasificados de acuerdo con los criterios climatológicos empleados en este boletín. Durante agosto continuó la ocurrencia de ondas de calor en Loreto y Cabo San Lucas, con eventos del **27 de julio al 2 de agosto** y del **15 al 20 de agosto**, respectivamente. En cuanto a la precipitación, durante agosto se registraron nuevos eventos en las tres estaciones analizadas, incluyendo un evento clasificado como **extremo en La Paz el 17 de agosto, con 19.9 mm**, además de eventos fuertes o moderados en La Paz, Loreto y Cabo San Lucas.

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
La Paz (03074)	12-15 mayo	4	41.1	39.0	2.1
La Paz (03074)	25-29 junio	5	42.2	40.4	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
Loreto (03035)	9-13 mayo	5	38.0	36.2	1.8
Loreto (03035)	24 junio-5 julio	12	42.6	38.5	4.1
Loreto (03035)	14-18 julio	5	39.6	38.8	0.8
Loreto (03035)	21-24 julio	4	40.5	38.8	1.7
Loreto (03035)	27 julio-2 agosto	7	40.6	38.8	1.6
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
Cabo San Lucas (03005)	12-14 mayo	3	38.0	36.0	2.0
Cabo San Lucas (03005)	23 mayo-5 junio	14	40.0	36.0	4.0
Cabo San Lucas (03005)	19 junio-6 julio	18	43.0	37.5	5.5
Cabo San Lucas (03005)	11-14 julio	4	40.0	37.5	2.5
Cabo San Lucas (03005)	21-24 julio	4	43.0	37.5	5.5
Cabo San Lucas (03005)	15-20 agosto	6	40.0	38.0	2.0

Tabla 2. Eventos de precipitación extrema (mensual)				
Estación	Fecha	Precipitación (mm)	Categoría	P90 (mm)
La Paz (03074)	23-ene	25.6	Extrema	17.3
La Paz (03074)	19-jul	16	Fuerte	17.9
La Paz (03074)	09-ago	15.6	Fuerte	19.8
La Paz (03074)	17-ago	19.9	Extrema	19.8
Loreto (03035)	23-ene	21.6	Extrema	19.4
Loreto (03035)	17-ago	15.1	Moderada	37.3
Cabo San Lucas (03005)	23-ene	27	Extrema	16.5
Cabo San Lucas (03005)	24-ene	5	Moderada	16.5
Cabo San Lucas (03005)	02-ago	19	Moderada	46.0

2. Nivel del mar absoluto

Armando Trasviña Castro
trasvi@cicese.edu.mx

Resumen | El análisis de los últimos años del nivel del mar absoluto exhibe los efectos de la Niña 2022, El Niño 2023, La Niña 2024 y EL Niño 2026. La transición hacia La Niña del 2024 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 y otras variables oceanográficas. Para septiembre de 2025 el Pacífico Ecuatorial estuvo claramente en fase fría (La Niña). Sin embargo, el invierno de 2025 a 2026 registra baja intensidad en descenso del nivel del mar. Esto se debe a las temperaturas del mar relativamente altas durante este invierno. El **nivel del mar absoluto** en agosto de 2026 en La Bahía de La Paz alcanzó valores sin precedentes en 33 años de datos. Aquí reportamos valores de > 1 m (sobre el geode), sin incluir la altura de la marea. Estos valores reflejan la llegada del Niño 2026. Las tendencia a la elevación del nivel del mar se ha estabilizado los últimos 13 años a valores de un orden de magnitud menores a los de la década precedente.

Introducción

En esta sección presentamos la variación del nivel del mar absoluto (NMA). Esta es la variación determinada con referencia al geode, es decir, con respecto al nivel del mar en reposo. No contiene la variación del nivel del mar debida a la marea pero incluye la variación estacional debida a la expansión y contracción del nivel del mar. Se aprecian las variaciones interanuales debidas a fenómenos tipo El Niño/La Niña, y la tendencia de largo período debida al calentamiento global. También incluye la influencia en el nivel del mar de eventos transitorios, como el paso de huracanes o tormentas.

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

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, y por la costa del Pacífico, 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 ~12.5 x 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° × 0.125°. Desde 31 dic 1992 hasta 2026. Resolución temporal diaria.

Dataset	
Product identifier	SEALEVEL_GLO_PHY_L4_MY_008_047
Product name	Global Ocean Gridded L 4 Sea Surface Heights And Derived Variables Reprocessed 1993 Ongoing
Dataset	Please choose one of the datasets in this product: Daily · cmems_obs-sl_glo_phy-ssh_my_allsat-l4-duacs-0.125deg_P1D

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° × 0.125°. Desde 31 dic 2021 hasta el presente. Resolución temporal diaria.

Dataset	
Product identifier	SEALEVEL_GLO_PHY_L4_NRT_008_046
Product name	Global Ocean Gridded L 4 Sea Surface Heights And Derived Variables Nrt
Dataset	Please choose one of the datasets in this product: 0.125 degree · cmems_obs-sl_glo_phy-ssh_nrt_allsat-l4-duacs-0.125deg_P1D

Resultados

Estos diagramas muestran la evolución del nivel del mar absoluto (NMA) a lo largo de la costa (Figura 2.1). Las unidades son metros (m) y destacan los máximos que corresponden a eventos de elevación/depresión (cálidos/fríos) del nivel del mar en tonos amarillos/azules. El mapa de la izquierda muestra las estaciones (puntos rojos) y el nivel del mar para el 28 de agosto de 2026 y se observa el Golfo de California mas elevado que (mas amarillo) que la costa occidental y la region de la Corriente de California (en tonos verdes). La figura de arriba destaca con puntos rojos los sitios de la Costa Occidental y la de abajo los del Golfo de California.

Los diagramas de latitud vs. tiempo muestran el cambio del nivel del mar a lo largo de la costa desde 1993 al presente.

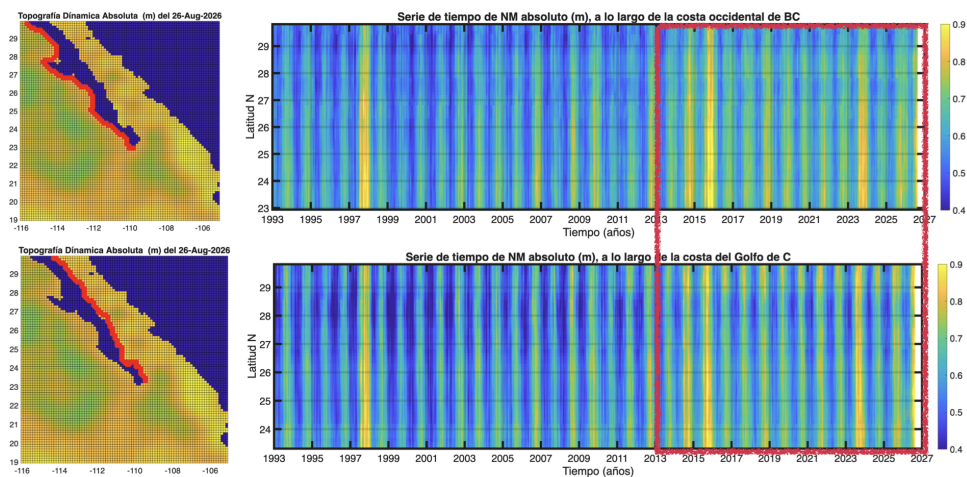


Figura 2.1: Evolución del nivel del mar (NM absoluto) a lo largo de las dos costas de la península de BC desde enero de 1993 hasta agosto de 2026. Arriba: costa occidental; abajo: costa del Golfo de California.

La alternancia de tonos amarillos y azules es la variación estacional. El agua se expande, en el verano (tonos amarillos) y se contrae en el invierno (tonos azules). El rango estacional es de unos 50 cm (0.5 m), aunque cambia año con año. Por ejemplo, los años de elevaciones máximas (amarillos intensos) corresponden casi siempre a evento cálidos El Niño, por ejemplo de 1997 a 1998, 2015 a 2016, 2023 a 2024 (Peng et al, 2024). Eventos fríos, o La Niña, también están presentes en este registro, el más reciente ocurrió de 2024 a 2025 y estos son la causa de disminuciones (tonos azules más intensos) en la serie de nivel del mar.

Hay diferencias significativas entre ambas costas. En la costa del golfo (panel inferior) el nivel del mar invernal presenta tonos más azules, es decir, desciende más que en la costa occidental (panel superior). Y 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.

El recuadro rojo destaca un comportamiento común a ambos litorales. El nivel del mar promedio se elevó a mediados de 2013 y no ha recuperado su nivel anterior. Esto es la causa de los tonos amarillos más intensos en ambos diagramas, de 2013 a la fecha. Esto se discute en más detalle al final de este capítulo.

La [Figura 2.2](#) muestra el comportamiento típico del nivel del mar de los últimos 7 años (del año 2020 al presente). El descenso de invierno en tonos azules es seguido por la elevación de verano en tonos amarillos. Destaca El Niño de 2023 con elevaciones comparables con las del 2015, seguido por La Niña 2024 que se reflejó en un verano menos cálido de lo normal. Al final de este período empieza a registrarse el efecto del Niño 2026. La línea quebrada marca el 1 de julio de 2023 y 2026. Las anomalías del Niño de 2026 iniciaron un poco antes que en 2023.

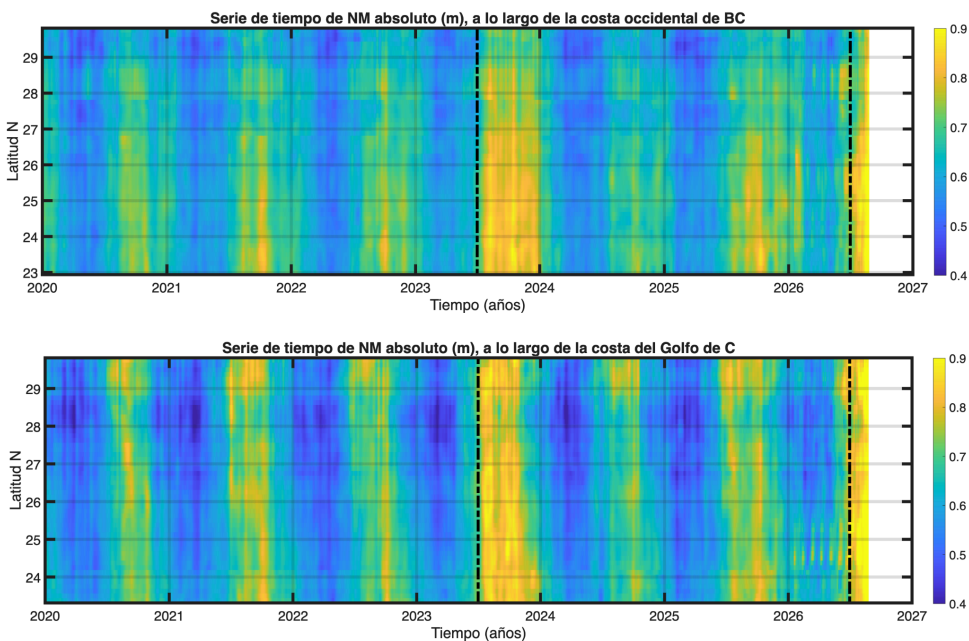


Figura 2.2: Los últimos años de la evolución del nivel del mar (NM absoluto) a lo largo de las dos costas de la península de BC desde enero de 2020 hasta agosto de 2026. Arriba: costa occidental; abajo: costa del Golfo de California.

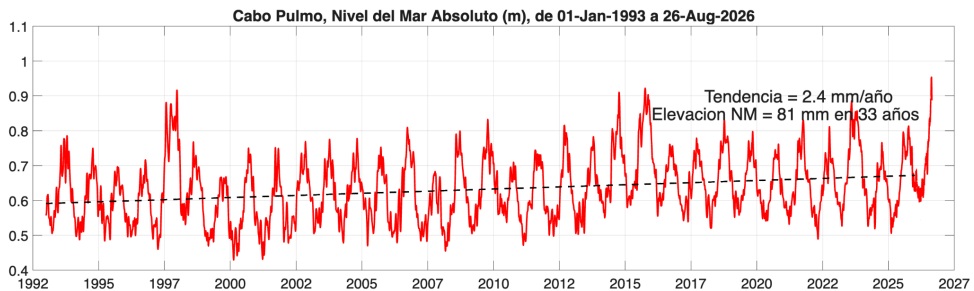


Figura 2.3: Nivel del mar absoluto (m) en Cabo Pulmo, BCS. Inicia en enero de 1993 y termina en agosto de 2026. Incluye el nivel del mar con referencia al geode y la tendencia de largo período debida al calentamiento global. Este sitio representa la variabilidad de la entrada al Golfo de California.

La [Figura 2.3](#) contiene la serie de tiempo del nivel del mar absoluto (m) en Cabo Pulmo, desde enero de 1993 hasta agosto 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 2.4 mm/año, para un total de 81 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, seguido en octubre de 2025 de un segundo pico de nivel del mar. Los datos más recientes ya incluyen los máximos de elevación asociados a la llegada de la señal del Niño 2026 y superan a todos los anteriores en el registro. 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.

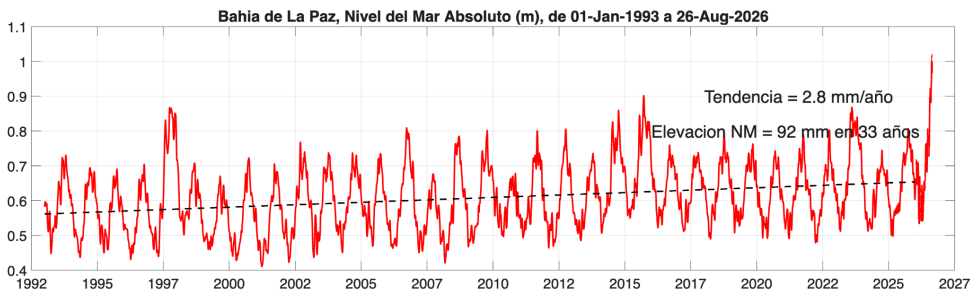


Figura 2.4: Nivel del mar absoluto (m) en la bahía de La Paz, BCS. Inicia en enero de 1993 y termina en agosto de 2026. Incluye el nivel del mar con referencia al geoide y la tendencia de largo período debida al calentamiento global.

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 agosto 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, el de 2015 debido al Niño y el máximo de agosto de 2026 que es el mayor de todo el registro y de los 3 sitios. En este último influyen varios procesos: el evento del Niño 2026, el calentamiento intenso de este verano, y la tendencia a elevación por calentamiento global. Este verano ha sido uno de los más cálidos del registro, como lo reportan otros autores en este boletín. 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 92 mm en los 33 años de registro.

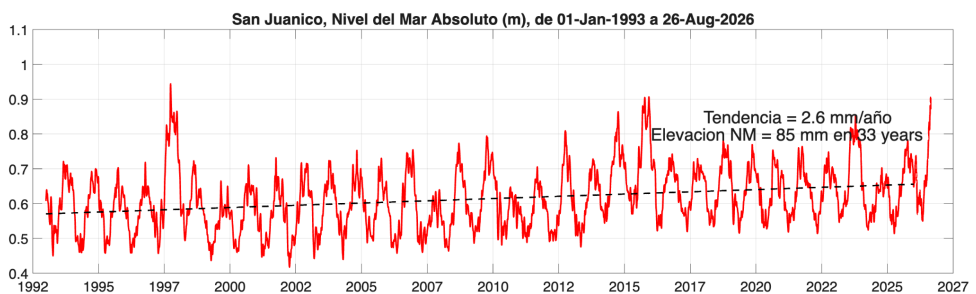


Figura 2.5: Nivel del mar absoluto (m) en San Juanico, BCS, costa pacífico norte de BCS. Inicia en enero de 1993 y termina en agosto de 2026. Incluye el nivel del mar con referencia al geoide y la tendencia de largo período debida al calentamiento global. Este sitio representa la variabilidad del Golfo 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 agosto 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. Destaca El Niño de 2023 con elevaciones comparables con las del 2015, seguido por La Niña 2024 que se reflejó en un verano con elevaciones menores a lo normal. En agosto de 2026 ya registramos valores extremos de nivel del mar que se pueden asociar al Niño. 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 85 mm en los 33 años de registro.

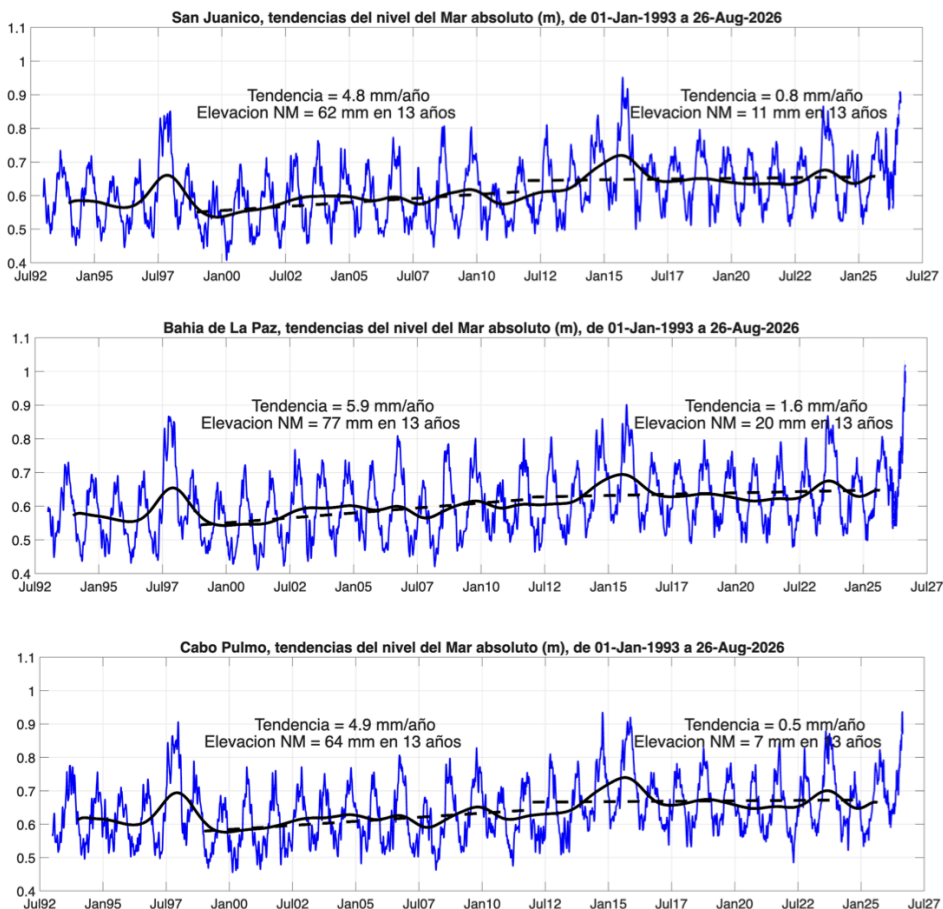


Figura 2.6: Nivel del mar absoluto (m) en los 3 sitios: San Juanico, BCS (arriba), Bahía de La Paz (centro), Cabo Pulmo (abajo). Entre 1993 y 2026 las oscilaciones de baja frecuencia (paso bajo, elimina la tendencia estacional, línea negra) sufren un cambio significativo. Las líneas entrecortadas marcan la tendencia lineal entre 1999 y 2012 y de 2013 a 2026.

La [Figura 2.6](#) compara las tendencias del nivel del mar antes y después de 2013, La línea negra es al paso bajo (aplicamos un filtro pasa bajo, de 365 días a la serie diaria). Las líneas entrecortadas marcan la tendencia de largo período entre 1999 y 2012 y de 2013 a 2026. Los últimos 13 años la tendencia al calentamiento ha disminuido significativamente por un orden de magnitud. La variación de baja frecuencia elimina las variaciones estacionales para mostrar la aceleración inicial del nivel del mar y después la estabilización en una meseta cálida que ya supera los 13 años de duración (2013 a >2025).

Discusión

En este período ya reportamos comportamientos anómalos del nivel del mar absoluto claramente debidos a la llegada del Niño 2026. Los valores de agosto de 2026 en La Bahía de La Paz y en la entrada al Golfo de California muestran los máximos de todo el registro, consecuencia de la elevación del nivel del mar debida al calentamiento global, y al Niño 2026. La Bahía de La Paz alcanzó valores mayores a 1 m, sin precedentes. Las pendientes que miden la tendencia del nivel del mar se han estabilizado los últimos 13 años en valores de un orden de magnitud menor a los de la década precedente.

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 julio 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 julio 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 18 de julio 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 18 de julio de 2026.

Temperatura Superficial del Mar (TSM). El término TSM se refiere a la capa o piel del océano y representa la temperatura de la capa subsuperficial a una profundidad entre 10–20 μm . La TSM es un producto proporcionado por el laboratorio de oceanografía de propulsión a chorro de la agencia espacial de los Estados Unidos (JPL y NASA, respectivamente, por sus siglas en inglés, <https://doi.org/10.5067/GHGMR-4FJo4>). Es un producto global que no presenta huecos, con una resolución temporal diaria y espacial de 1×1 km (Chin *et al.*, 2017), accedido por última vez el 18 de julio 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 julio 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:

$$anomalía = datomensual - climatologíamensual$$

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

Resultados

Mapas mensuales de distribución

Altimetría (ADT, SLA y CORR). Las condiciones de altura de nivel de mar y corrientes (ADT y CORR) durante julio de 2026 se presentan en la [Figura 3.1](#). El panel A muestra las condiciones promedio de altura del nivel del mar en la región de estudio. En la costa occidental de la península dominaron valores entre 0.58 y 0.92 m, mientras que dentro del Golfo de California los valores se ubicaron principalmente entre 0.60 y 0.80 m. Las corrientes geostróficas muestran una circulación más compleja frente a la costa occidental de la península, con un flujo predominante hacia el sur y diversos remolinos distribuidos a lo largo de la región. Dentro del Golfo de California se observan corrientes orientadas principalmente a lo largo de su eje, acompañadas por algunos remolinos de menor escala, particularmente en la porción norte y central del golfo. Las velocidades de las corrientes se ubicaron entre 0.002 y 0.482 m s⁻¹.

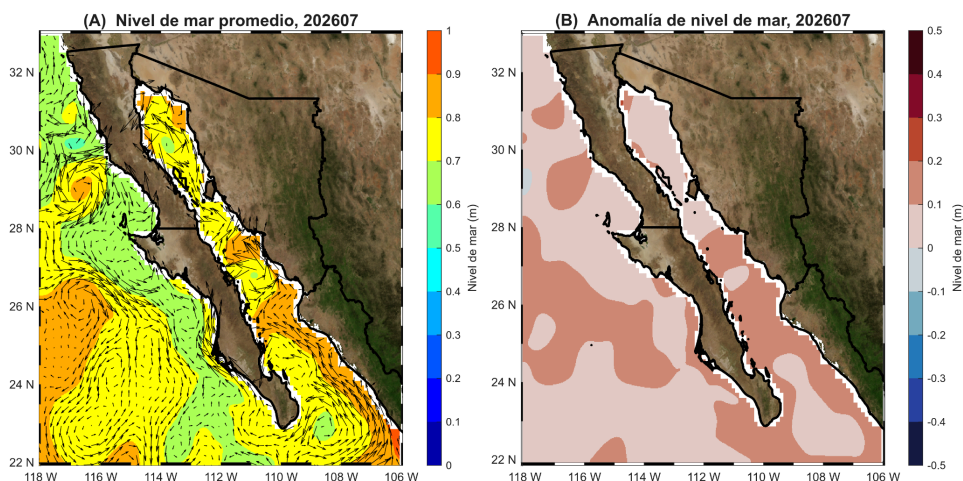


Figura 3.1: Condiciones mensuales durante julio de 2026. Panel A, altura de nivel de mar (ADT) y corrientes geostróficas (CORR) en forma de flechas (sin escala). Panel B, anomalías de nivel del mar.

El **panel B** (Figura 3.1) muestra las anomalías mensuales del nivel del mar (SLA), las cuales fueron predominantemente positivas en prácticamente toda la región. Los valores oscilaron entre -0.04 y 0.62 m, aunque la mayor parte del área presentó anomalías comprendidas entre 0 y 0.20 m. Las anomalías positivas más extensas se localizaron frente a la costa occidental de la península y dentro del Golfo de California, particularmente en su porción central y sur. Las anomalías negativas fueron muy reducidas y estuvieron restringidas a pequeñas áreas aisladas. En comparación con junio, julio mantuvo el predominio de anomalías positivas, aunque se observa una mayor extensión de las zonas con valores entre 0.1 y 0.2 m y un incremento del valor máximo registrado.

Productividad Primaria (PP). Las condiciones de PP durante julio de 2026 se presentan en la Figura 3.2. El **panel A** muestra la distribución espacial de la productividad primaria promedio, con valores entre 337 y 9976 mg C m⁻² d⁻¹. En la costa occidental de la península se observaron los valores más elevados, particularmente entre los 25 y 27 °N, donde se localizaron zonas con valores superiores a 5000 mg C m⁻² d⁻¹ y máximos cercanos a 10 000 mg C m⁻² d⁻¹. También se observaron valores elevados en algunos sectores costeros de la península y de la costa continental del Golfo de California. Dentro del golfo, la productividad presentó valores generalmente menores, predominando entre 500 y 1500 mg C m⁻² d⁻¹, aunque en la región norte se observaron valores superiores a 2000 mg C m⁻² d⁻¹. En la región central y sur del Golfo de California predominaron valores inferiores a 1000 mg C m⁻² d⁻¹, con los valores más bajos localizados principalmente en la región

central y oceánica del golfo.

El **panel B** (Figura 3.2) muestra las anomalías mensuales de productividad primaria (PP), con valores comprendidos entre -2029 y $4863 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. Frente a la costa occidental de la península predominaron anomalías positivas, particularmente al norte de los 28°N y en algunos sectores entre los 26 y 28°N , donde se observaron valores superiores a $1000 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ y máximos localizados superiores a $2000 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. En contraste, dentro del Golfo de California dominaron las anomalías negativas, especialmente en la región central y en la costa occidental del golfo, con valores inferiores a $-500 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ y mínimos localizados cercanos a $-2000 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. En la porción sur y frente a la costa de Baja California Sur también predominaron anomalías negativas, mientras que algunos sectores de la costa continental presentaron anomalías positivas.

En comparación con junio, julio muestra un contraste más marcado entre la costa occidental de la península y el Golfo de California: mientras que frente a la costa occidental se mantuvieron e intensificaron las condiciones de productividad positiva, dentro del golfo predominó una disminución de la PP respecto a los valores climatológicos.

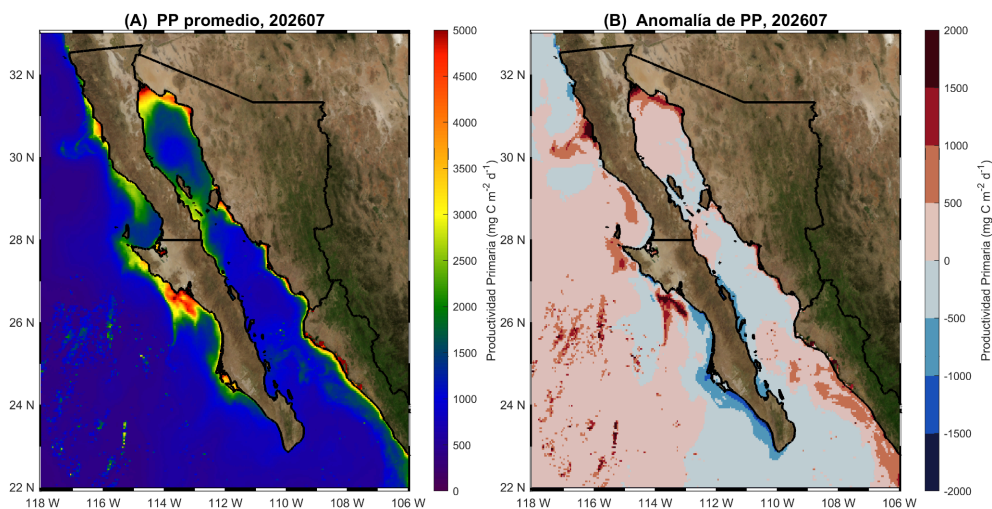


Figura 3.2: Condiciones mensuales durante julio de 2026. Panel A, promedio de productividad primaria (PP); panel B, anomalías promedio de PP.

Temperatura Superficial del Mar (TSM). Las condiciones de TSM durante julio de 2026 se muestran en la Figura 3.3. El **panel A** muestra la distribución promedio de la temperatura superficial del mar, cuyos valores oscilaron entre 19.9 y 31.9°C en toda la región. Los valores mínimos se localizaron frente a la costa occidental de la península de Baja California, particularmente en la región norte, mientras que los máximos se registraron en la porción sur del Golfo de California y frente a la costa continental. Frente a la costa occidental se mantuvo una franja de temperaturas relativamente bajas, con valores

inferiores a 22 °C en la región norte y entre 22 y 24 °C hacia la región oceánica. Dentro del Golfo de California predominaron temperaturas superiores a 26 °C, con valores cercanos o superiores a 30 °C en la región central y sur.

El **panel B** muestra las anomalías mensuales de la TSM, que fueron positivas en toda la región, con valores comprendidos entre 0.45 y 3.14 °C. Las anomalías más intensas se localizaron dentro del Golfo de California, particularmente en la región norte y central, así como en la porción sur, donde se observaron valores superiores a +2 °C y máximos cercanos a +3 °C. Frente a la costa occidental también predominaron anomalías positivas, con valores generalmente entre +1 y +2 °C, aunque se observaron áreas con anomalías superiores a +2 °C en la región oceánica frente a la península.

En comparación con junio, julio muestra un **mayor calentamiento y una señal positiva más extendida**, particularmente dentro del Golfo de California, donde prácticamente toda la región presentó anomalías superiores a +1 °C. La costa occidental mantiene temperaturas superficiales menores debido a la influencia de las surgencias, pero incluso en esta región las anomalías permanecieron positivas.

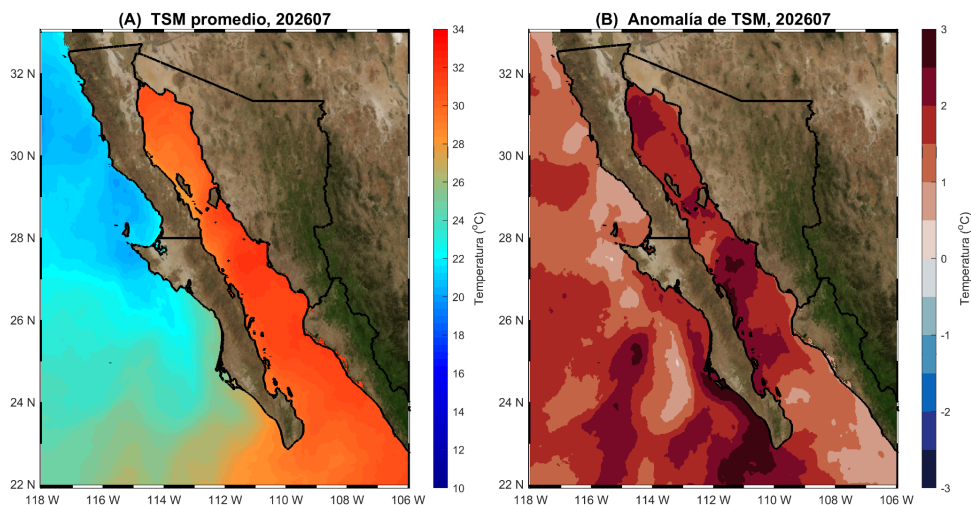


Figura 3.3. Condiciones mensuales durante julio de 2026. Panel A, promedio de temperatura superficial del mar (TSM); panel B, anomalías promedio de TSM.

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 del nivel del mar (SLA, barras azules), junto con los datos

mensuales correspondientes al periodo comprendido entre agosto de 2025 y julio de 2026 (línea negra). Desde julio de 2025, los valores mensuales se han mantenido por encima de sus promedios climatológicos, dando lugar a anomalías positivas persistentes. En julio de 2026 se registró un valor de 0.18 m, superior al valor climatológico de 0.12 m, manteniendo la tendencia ascendente observada desde marzo de 2026 y constituyendo el valor más alto del periodo reciente. Este comportamiento también se observa en la serie histórica de anomalías (**panel B, Figura 3.4B**), donde la parte final del registro continúa dominada por anomalías positivas. El índice MEI mantuvo durante julio la tendencia positiva observada desde junio, alcanzando valores claramente positivos. La persistencia de las anomalías positivas del nivel del mar, junto con el incremento del MEI, es consistente con el establecimiento de condiciones oceánicas asociadas con un posible evento de El Niño.

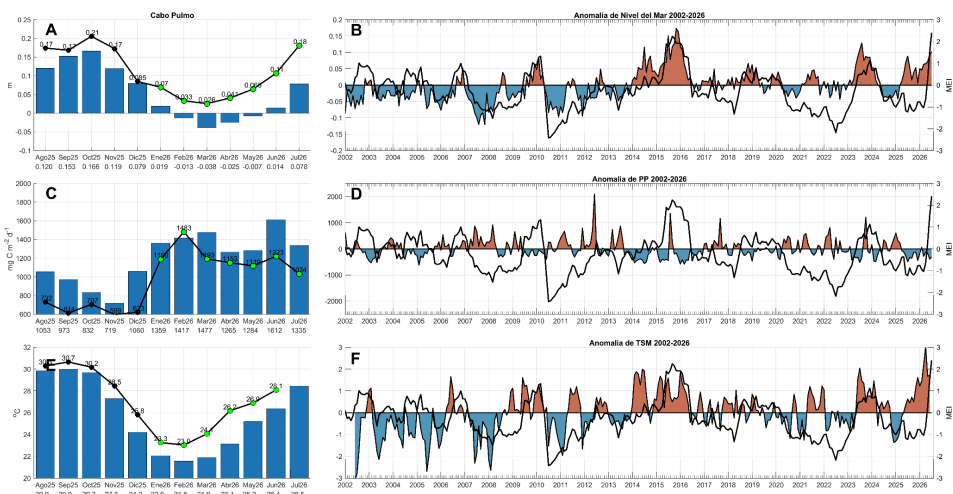


Figura 3.4: Condiciones climatológicas y de anomalías para SLA, PP y TSM a lo largo del tiempo (2002-2026) en Cabo Pulmo, Baja California Sur. Las barras en los paneles A, C y E, muestran las climatologías mensuales, las líneas negras son los valores mensuales, los círculos negros indican los meses de 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 climatología mensual de la productividad primaria (PP) y la serie correspondiente a los últimos doce meses se presentan en el **panel C (Figura 3.4C)**. Durante 2026, la PP se mantuvo por debajo de sus valores climatológicos en la mayoría de los meses, y julio no fue la excepción. En julio de 2026 se registró un valor de **1034 mg C m⁻² d⁻¹**, inferior al promedio climatológico de **1335 mg C m⁻² d⁻¹**, manteniendo una anomalía negativa. Este valor representa además una disminución respecto a junio, cuando la PP alcanzó 1223 mg

$\text{C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. Este comportamiento también se aprecia en la serie histórica del **panel D** (Figura 3.4D) donde la parte final del registro continúa mostrando un predominio de valores negativos. La persistencia de una PP inferior a la climatología, mientras aumentan el nivel del mar y la temperatura superficial, es consistente con una reducción de la productividad asociada con condiciones oceánicas más cálidas y estables.

La evolución de la temperatura superficial del mar (TSM) se muestra en el **panel E** (Figura 3.4). Durante julio de 2026 se registró una temperatura de **28.5 °C**, ligeramente superior a su valor climatológico, manteniendo las anomalías positivas observadas durante los meses anteriores. La serie de anomalías históricas del **panel F** (Figura 3.4), muestra que la parte final del registro está dominada por valores positivos, con un incremento particularmente marcado durante 2026. El aumento de la TSM, acompañado por las anomalías positivas persistentes del nivel del mar y el incremento del MEI, refuerza la señal de un calentamiento regional y de una posible evolución hacia condiciones asociadas con un evento de El Niño. La combinación de estas condiciones con la disminución de la productividad primaria durante julio constituye una señal consistente con los cambios oceanográficos esperados durante el desarrollo de un periodo cálido.

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. El **panel A** (Figura 3.5A) muestra las climatologías mensuales del nivel del mar (SLA, barras azules), junto con los datos mensuales correspondientes al periodo comprendido entre agosto de 2025 y julio de 2026 (línea negra). Durante todo este periodo los valores mensuales se han mantenido por encima de sus promedios climatológicos, dando lugar a anomalías positivas persistentes. En julio de 2026 se registró un valor de **0.21 m**, superior al valor climatológico de **0.09 m**, manteniendo la tendencia ascendente observada desde abril y alcanzando el valor más elevado del periodo reciente. Este comportamiento también se aprecia en la serie histórica de anomalías del **panel B** (Figura 3.5B), donde la parte final del registro continúa dominada por anomalías positivas. El índice MEI también mostró un incremento durante los últimos meses, reforzando la señal de condiciones oceánicas y atmosféricas compatibles con el posible desarrollo de un evento de El Niño.

La climatología mensual de la productividad primaria (PP) y la serie correspondiente a los últimos doce meses se presentan en el **panel C** (Figura 3.5C). En julio de 2026, la PP registró un valor de **1085 $\text{mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$** , inferior al valor climatológico de **1809 $\text{mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$** , dando lugar a una anomalía negativa. Este valor representa una disminución importante respecto a junio, cuando se registraron **1820 $\text{mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$** , y mantiene la reducción de la productividad observada desde el cambio registrado en junio. El comportamiento reciente también se aprecia en la serie histórica de anomalías del **panel D** (Figura 3.5D), donde durante los últimos meses se observa un predominio de anomalías

negativas. La persistencia de valores de PP inferiores a la climatología, simultáneamente con el incremento del nivel del mar, es consistente con condiciones de mayor estabilidad de la columna de agua y menor disponibilidad de nutrientes para la producción primaria.

La evolución de la temperatura superficial del mar (TSM) se presenta en el **panel E** (Figura 3.5E). En julio de 2026 se registró una temperatura de **26.9 °C**, valor cercano a su climatología mensual, después de las anomalías positivas observadas durante los meses anteriores. El comportamiento de las anomalías se muestra en el **panel F** (Figura 3.5F), donde la parte final del registro continúa mostrando un marcado predominio de valores positivos, con un incremento particularmente evidente durante 2026. Aunque en julio la TSM se aproximó a su valor climatológico local, la persistencia de anomalías positivas del nivel del mar, el aumento del MEI y la disminución simultánea de la PP mantienen una señal de cambio en las condiciones oceanográficas regionales. En conjunto, estas condiciones continúan siendo compatibles con un escenario de transición hacia un posible evento de El Niño, aunque su establecimiento y evolución deberán confirmarse mediante la persistencia de estas señales durante los próximos meses.

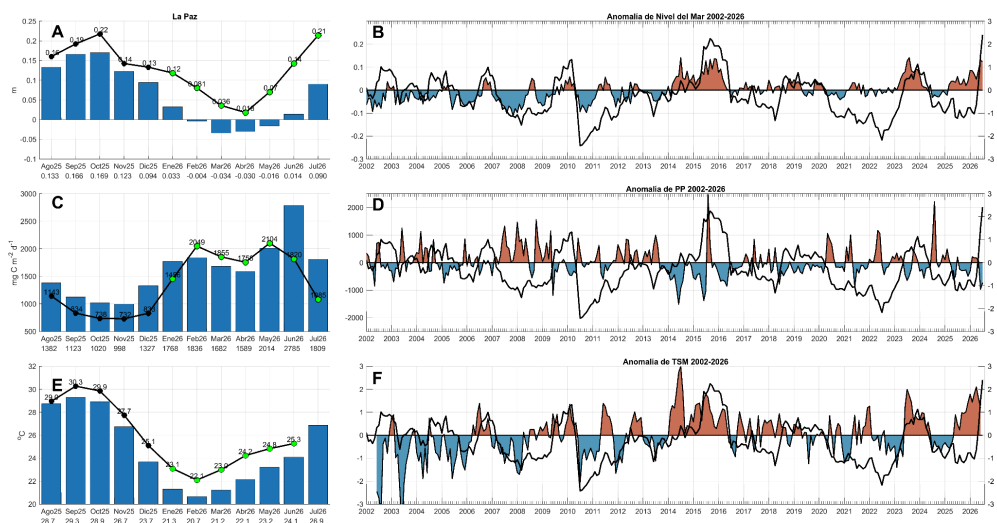


Figura 3.5: Condiciones climatológicas y de anomalías para SLA, PP y TSM a lo largo del tiempo (2002-2026) en La Paz, Baja California Sur. Las barras en los paneles A, C y E, muestran las climatologías mensuales, las líneas negras son los valores mensuales, los círculos negros indican los meses de 2025, 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**. El **panel A** (Figura 3.6A) muestra

A San Juanico

B Anomalia de Nivel del Mar 2002-2026

C

D Anomalia de PP 2002-2026

E

F Anomalia de TSM 2002-2026

La climatología mensual de la productividad primaria (**PP**) y la serie correspondiente a los últimos doce meses se muestran en el **panel C** ([Figura 3.6C](#)). En julio de 2026 se registró un valor de **2686 mg C m⁻² d⁻¹**, inferior a la climatología correspondiente de **3708 mg C m⁻² d⁻¹**, dando lugar a una anomalía negativa de aproximadamente **-1022 mg C m⁻² d⁻¹**. Aunque la productividad continúa por encima de los valores registrados durante el periodo de diciembre de 2025 a marzo de 2026, se observa una disminución respecto a los valores

de mayo y junio, cuando se registraron **4161 y 3369 mg C m⁻² d⁻¹**, respectivamente. El comportamiento de las anomalías se muestra en el **panel D (Figura 3.6D)**, donde se observa una marcada variabilidad temporal, con alternancia de anomalías positivas y negativas. El valor negativo de julio indica un debilitamiento de la productividad respecto a las condiciones climatológicas, coincidente con el incremento reciente del nivel del mar y el fortalecimiento de las condiciones asociadas con El Niño.

La evolución de la temperatura superficial del mar (**TSM**) se presenta en el **panel E (Figura 3.6E)**. Durante julio de 2026 se registró una temperatura de **23.4 °C**, superior al valor climatológico de aproximadamente **22.7 °C**, manteniendo condiciones cálidas respecto al promedio histórico. El comportamiento de las anomalías se observa en el **panel F (Figura 3.6F)**, donde las anomalías positivas dominan nuevamente la parte final de la serie, alcanzando durante 2026 algunos de los valores más elevados del periodo reciente. El incremento del MEI hasta **2.41 en julio**, junto con las anomalías positivas del nivel del mar y de la TSM, constituye una señal consistente con el fortalecimiento de las condiciones asociadas con El Niño. Al mismo tiempo, la disminución de la PP respecto a su climatología sugiere que el calentamiento y la mayor estabilidad de la columna de agua podrían estar comenzando a tener efectos sobre la productividad en esta región.

En conjunto, durante julio San Juanico presentó **niveles del mar y TSM por encima de sus climatologías, acompañados por una disminución de la PP respecto a su promedio**, mientras que el fuerte incremento del MEI refuerza la señal de un cambio hacia condiciones cálidas asociadas con El Niño.

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 el **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 el incremento del índice, de 1.52 en junio a 2.41 en julio.

La climatología mensual de la productividad primaria (**PP**) y la serie correspondiente a los últimos doce meses se presentan en el **panel C (Figura 3.7C)**. Después de la recuperación observada entre marzo y junio, la PP disminuyó nuevamente en julio de 2026, cuando se registró un valor de **2423 mg C m⁻² d⁻¹**, inferior al valor climatológico de **3339 mg C m⁻² d⁻¹**, dando lugar a una anomalía negativa de aproximadamente **-916 mg C m⁻² d⁻¹**.

El comportamiento de las anomalías se muestra en el **panel D** (Figura 3.7D), donde la parte final de la serie continúa mostrando una alternancia entre anomalías positivas y negativas, aunque durante los meses más recientes predominan nuevamente las anomalías negativas. La disminución de la productividad en julio, simultánea con el incremento del nivel del mar, es consistente con un escenario de mayor estabilidad de la columna de agua y una posible reducción de la disponibilidad de nutrientes.

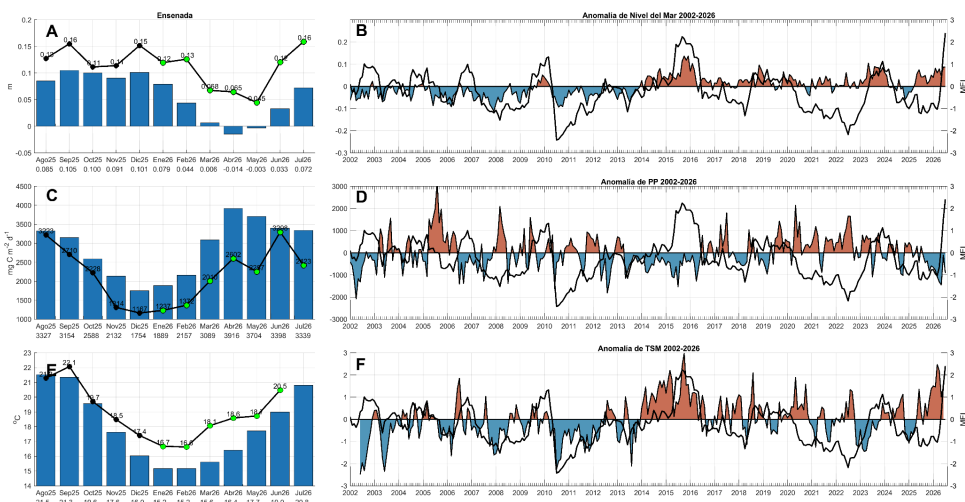


Figura 3.7: Condiciones climatológicas y de anomalías para SLA, PP y TSM a lo largo del tiempo (2002-2026) en Ensenada, Baja California. Las barras en los paneles A, C y E, muestran las climatologías mensuales, las líneas negras son los valores mensuales, los círculos negros indican los meses de 2025,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

La evolución de la temperatura superficial del mar (TSM) se presenta en el **panel E** (Figura 3.7E). Durante julio de 2026 se registró una temperatura de **20.8 °C**, prácticamente igual al valor climatológico correspondiente de **20.8 °C**, por lo que en este sitio la TSM no presentó una anomalía significativa durante el mes. No obstante, el valor de julio representa un incremento respecto a los **20.5 °C** registrados en junio. El comportamiento de las anomalías se muestra en el **panel F** (Figura 3.7F), donde la parte final del registro muestra un rápido incremento de las anomalías positivas, particularmente durante los últimos meses y de manera muy marcada hacia julio. La evolución del MEI, que alcanzó **2.41 en julio**, coincide temporalmente con este fortalecimiento de las condiciones cálidas a escala regional, aunque en Ensenada la temperatura superficial ya alcanzó su valor climatológico.

En términos generales, **julio se caracterizó por un incremento importante del**

nivel del mar, una disminución de la productividad primaria respecto a su climatología y una TSM cercana a su valor normal en Ensenada. El comportamiento del nivel del mar y de la productividad, junto con el fuerte incremento del MEI, es consistente con el cambio hacia condiciones oceánicas asociadas con El Niño, aunque la respuesta térmica local en Ensenada fue menos marcada que en otros sitios de la región.

Discusión

Las condiciones oceanográficas observadas durante **julio de 2026** muestran un fortalecimiento de la señal cálida que ya se había comenzado a identificar durante los meses anteriores en el noroeste de México y el Golfo de California. El patrón espacial se caracteriza por **anomalías positivas generalizadas del nivel del mar y de la TSM**, acompañadas por una disminución de la productividad primaria en buena parte de la región. Este comportamiento adquiere especial relevancia debido al incremento del índice MEI, que pasó de **1.52 en junio a 2.41 en julio de 2026**, reforzando la evidencia de una transición hacia condiciones asociadas con un evento de **El Niño**.

Los mapas de altimetría muestran que las anomalías del nivel del mar continuaron siendo predominantemente positivas en la región de estudio. Esta señal también se manifestó claramente en las series temporales de **Cabo Pulmo, La Paz, San Juanico y Ensenada**, donde los cuatro sitios registraron durante julio valores de nivel del mar superiores a sus respectivas climatologías. Los valores alcanzaron **0.18 m en Cabo Pulmo, 0.21 m en La Paz, 0.17 m en San Juanico y 0.16 m en Ensenada**, todos ellos asociados con anomalías positivas. La coincidencia de esta señal en sitios separados geográficamente y con condiciones oceanográficas diferentes indica que el incremento del nivel del mar no corresponde únicamente a una variación local, sino que probablemente forma parte de un proceso de mayor escala.

La señal térmica fue todavía más evidente en los mapas. Las **anomalías positivas de TSM dominaron prácticamente toda la región**, con valores entre **+0.45 y +3.14 °C**, y las mayores anomalías se localizaron alrededor de la península de Baja California y en el Pacífico adyacente. Dentro del Golfo de California también persistieron condiciones cálidas, aunque con una distribución espacial menos homogénea. La magnitud y extensión de estas anomalías son particularmente relevantes porque representan una continuación del calentamiento observado durante junio, en lugar de una anomalía aislada. Las series temporales confirman esta señal regional: aunque en los cuatro sitios las temperaturas de julio se aproximaron a sus respectivos valores climatológicos, la serie histórica muestra que **2026 continúa dominada por anomalías positivas**, especialmente durante los meses

más recientes.

La combinación de anomalías positivas de nivel del mar y TSM constituye una señal particularmente consistente con un **aumento del contenido de calor de la capa superior del océano**. El incremento del nivel del mar puede estar relacionado con la expansión térmica y con cambios en la estructura vertical del océano, mientras que el calentamiento superficial favorece una mayor estratificación de la columna de agua. En conjunto, estos procesos pueden contribuir a reducir el intercambio vertical y limitar el suministro de nutrientes hacia la zona eufótica.

Esta respuesta se refleja en la **productividad primaria**. A diferencia de junio, cuando la respuesta espacial de la PP era más contrastante, durante julio se observa un debilitamiento de la productividad en buena parte del Golfo de California, mientras que frente a la costa occidental de la península persisten áreas con anomalías positivas asociadas con la actividad de las surgencias. Los valores de PP de los cuatro sitios también muestran una respuesta consistente: **Cabo Pulmo registró 1034 mg C m⁻² d⁻¹, La Paz 1085 mg C m⁻² d⁻¹, San Juanico 2686 mg C m⁻² d⁻¹ y Ensenada 2423 mg C m⁻² d⁻¹**, todos por debajo de sus respectivos valores climatológicos de julio. Por lo tanto, la disminución de la productividad ya no se limita a los sitios ubicados dentro del Golfo de California, sino que también se observa en San Juanico y Ensenada.

El desacoplamiento entre la temperatura y la productividad resulta especialmente importante. Mientras las condiciones térmicas permanecen anómalamente cálidas a escala regional, la PP presenta valores inferiores a la climatología en los cuatro sitios analizados. Este comportamiento es compatible con un **fortalecimiento de la estratificación**, que puede reducir el transporte vertical de nutrientes y, en consecuencia, limitar la producción primaria. Sin embargo, la respuesta no es espacialmente uniforme: las anomalías positivas de PP frente a la costa occidental indican que las **surgencias costeras continúan funcionando como un mecanismo capaz de compensar parcialmente el efecto de la estratificación**. Esto explica el contraste entre las regiones oceánicas y costeras, particularmente evidente en los mapas de julio.

Las series de tiempo proporcionan además una señal temporal importante. En los cuatro sitios, julio muestra simultáneamente **niveles del mar superiores a la climatología y una PP inferior a la climatología**, mientras que las anomalías históricas de TSM permanecen predominantemente positivas. Esta coincidencia es más clara que durante los meses anteriores y sugiere que el sistema está respondiendo de manera coherente a un cambio de mayor escala. El hecho de que esta señal se presente tanto en Cabo Pulmo y La Paz como en San Juanico y Ensenada refuerza la interpretación de que no se trata

exclusivamente de procesos locales.

El comportamiento del **MEI** constituye un elemento adicional de gran importancia. El incremento de **1.52 en junio a 2.41 en julio** representa un cambio sustancial en solamente un mes y coincide temporalmente con la persistencia de las anomalías positivas de nivel del mar y TSM y con el debilitamiento de la productividad. Por sí solo, el MEI no permite establecer que un evento de El Niño se encuentre plenamente establecido, pero la coincidencia entre su incremento y la respuesta observada en las variables oceanográficas proporciona una evidencia adicional de que **las condiciones asociadas con El Niño se están fortaleciendo**.

En consecuencia, **julio de 2026 representa un fortalecimiento claro de la señal cálida observada desde los meses anteriores**. La persistencia de anomalías positivas de nivel del mar, la extensión regional de las anomalías positivas de TSM, el descenso de la productividad primaria y el incremento del MEI hasta 2.41 conforman un patrón coherente con una transición hacia condiciones de El Niño en el Pacífico oriental y el Golfo de California. No obstante, será necesario evaluar la persistencia de estas condiciones durante los siguientes meses para determinar si esta señal se consolida como un evento de mayor duración y magnitud, particularmente considerando que la actividad de las surgencias continúa modulando la respuesta de la costa occidental de Baja California.

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 hidrografía, 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 (Figuras 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.

De enero a junio de 2026, la categoría H15 tuvo comportamientos anómalos, con contracciones y expansiones que rebasaron la media prácticamente mes con mes. En enero de 2026, H15 cubrió apenas el 30% del área considerada, cuando comúnmente cubre cerca del 80%, pero en febrero se acercó al valor promedio y en marzo se expandió a más del 95% del área total. No obstante, en abril volvió a colapsar al ocupar casi el 10%, subiendo ligeramente en mayo y repuntando rápidamente hacia junio cuando volvió a acercarse al promedio típico de la temporada, cubriendo cerca del 75% del área (Figura 4.1.1). El comportamiento anómalo de H15 estuvo acompañado de la expansión de H11 en

enero-febrero y en abril-mayo. También H3 presentó una expansión notoriamente anómala en abril-mayo, cuando pasó del 20% promedio al 75%. En el mapa (Figura 4.1.2) se puede observar la presencia de H3 en la porción más oceánica, mientras que H15 se extiende casi homogéneamente en la costa y mar abierto.

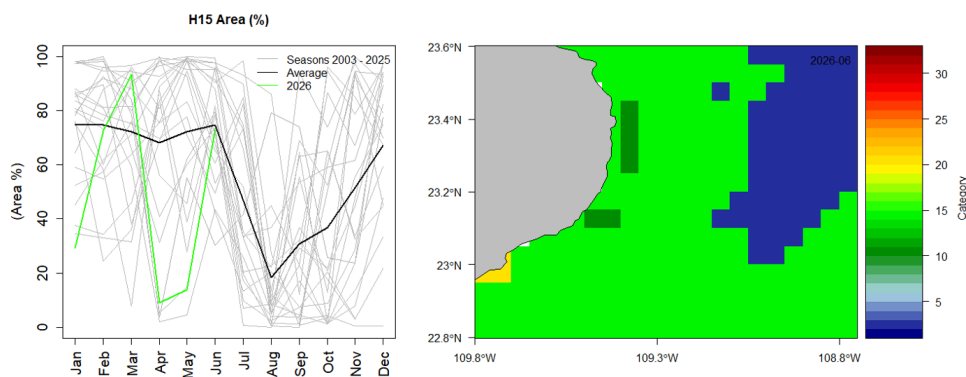


Figura 4.1: Paisaje Pelágico frente a Cabo Pulmo. 4.1.1) Panel izquierdo: Comportamiento estacional del hábitat dominante H15 (2003-2026). 4.1.2) Panel derecho: Distribución espacial promedio de los hábitats pelágicos durante junio de 2026.

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 mg·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 mg·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.

En la Bahía de La Paz, H15 fluctuó cerca de los valores promedio, pero en mayo se observó una contracción importante cuando pasó del 90% promedio al 40%, no obstante H15 se recuperó rápidamente para el mes de junio (Figura 4.2.1). Cabe destacar que la reducción de H15 en mayo, ha sido la más pronunciada desde que se tiene registro (2003), además de que mayo suele ser un mes con condiciones relativamente estables en cuanto a sus hábitats pelágicos. El mapa de la Figura 4.2.2 muestra el repliegue de H21 en la zona costera,

mientras que H15 cubre zonas más profundas de la bahía y aguas aledañas del Golfo de California, al tiempo que H3 tiene presencia en un pequeño parche hacia el centro del golfo.

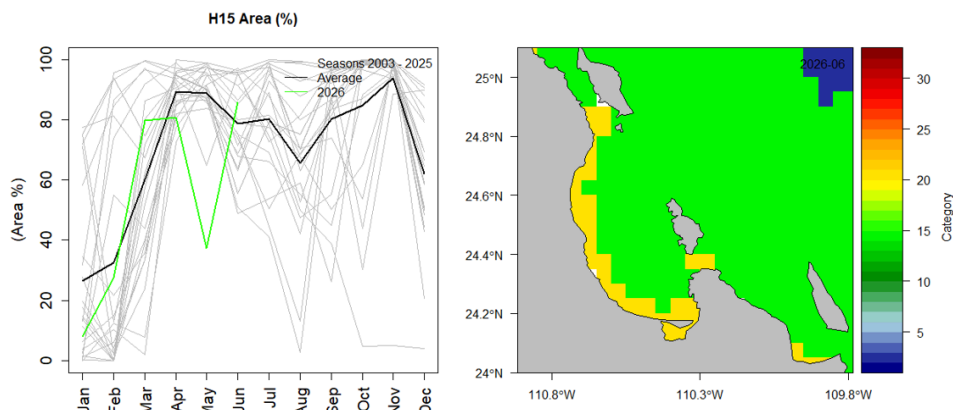


Figura 4.2: Paisaje Pelágico en la Bahía de La Paz. 4.2.1) Panel izquierdo: Comportamiento estacional del hábitat H15 (2003-2026). 4.2.2) Panel derecho: Paisaje pelágico en la Bahía de La Paz en junio de 2026.

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 el Golfo de Ulloa se observa que H21 tuvo una ligera reducción en marzo y abril, seguida de una expansión del 40 al 60% en mayo-junio (Figura 4.3.1). Por su parte, H15 presentó valores bajos típicos durante el periodo enero-junio, mientras que en enero-abril, H17 estuvo muy por encima de la media, alcanzando a cubrir hasta el 70% del área cuando en promedio suele ser alrededor del 30%, aunque hacia mayo y junio se redujo y se acercó a sus valores promedio. H7 es una categoría que suele presentarse cubriendo 20-30% en promedio de enero a julio y luego desaparece de agosto a noviembre, pero durante el primer semestre de 2026 ha permanecido prácticamente ausente, con excepción de un 10% de área ocupada durante febrero.

Desde diciembre de 2024 se observó en el Golfo de Ulloa un gradiente de aguas más frías y más productivas, disminuyendo de la costa hacia mar adentro, mismo que se ha mantenido

hasta junio de 2026, cubriendo un área importante de hasta el 58% (Figura 4.3.2).

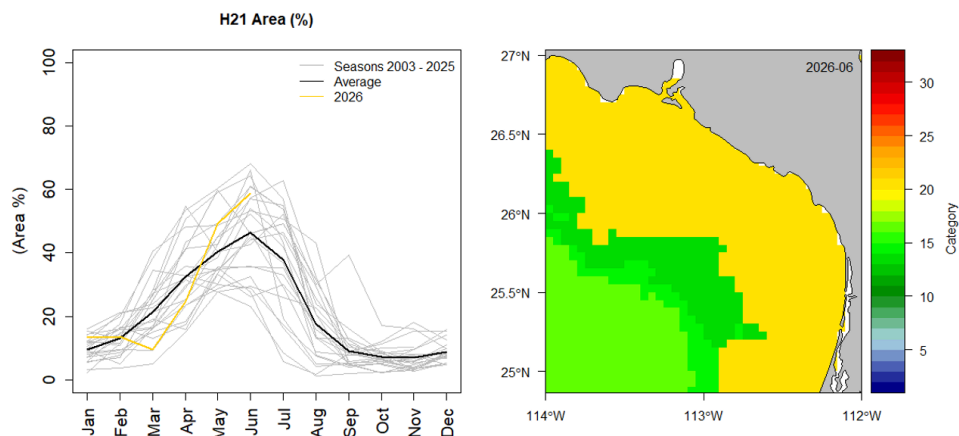


Figura 4.3: Paisaje Pelágico en el Golfo de Ulloa. 4.3.1) Panel izquierdo: Comportamiento estacional (2003-2026) del hábitat H21 en el Golfo de Ulloa. 4.3.2) Panel derecho: Distribución espacial promedio de los hábitats pelágicos durante junio de 2026.

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. 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 ($\sim 0.28-0.84 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$).

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 julio 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, pero, a diferencia del mes anterior, se observa un aumento en la frecuencia, con una gran incidencia de ondas de calor marinas en la región de la entrada y en el interior del golfo de California. Sin embargo, al igual que el mes de junio, se redujeron el registro de ondas con categorías de 3 y 4. En el interior del golfo, se registra la presencia de ondas de categoría 1 y 2, con muy poca presencia de ondas de categoría 3, salvo Bahía Concepción. Como se mencionó, para la porción oceánica del Pacífico aledaña a la península, las ondas de calor marino se registraron en toda la porción oceánica, y algunas regiones costeras. Las categorías registradas en esta región fueron de categorías 1 y 2 en su mayoría, sin la presencia de ondas de calor de categoría 3 y 4. Para las tres regiones consideradas a detalle, el mes de julio mostró una mayor incidencia en la presencia de días de ondas de calor en Bahía de la Paz y Cabo Pulmo donde se observó una alta presencia, prácticamente durante todo el mes, de ondas de calor.

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.

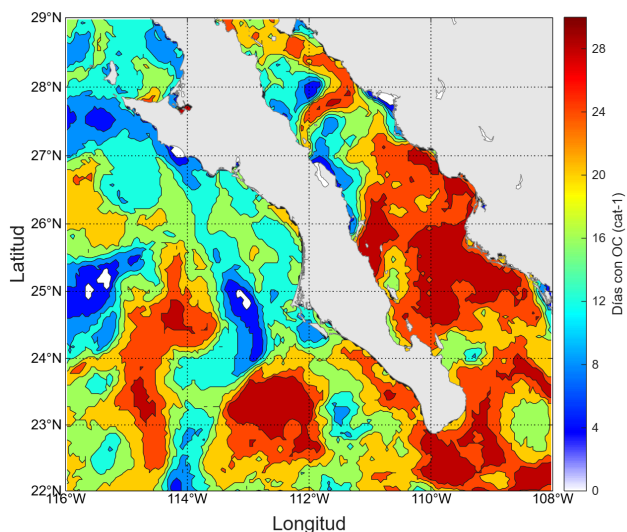
Para cada región mencionada en el área de estudio, se descargaron los datos correspondientes a los días del mes de julio de 2026. Como se mencionó, estos son archivos globales, diarios en formato NetCDF, y se procesaron en MATLAB ver. 2026a. Primero se recortó solo el área de interés; posteriormente, 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 julio de 2026

Las ondas de calor marinas registradas para julio de 2026 fueron de intensidad moderada, abarcando casi en su totalidad categorías 1 y 2 en toda la región, con unos pocos días de categoría 3 en Bahía Concepción. En caso de las ondas de calor categoría 1 en la zona

costera, se registraron menor cantidad días con ondas de calor -4 a 8- en la porción occidental de Punta Eugenia, así en la parte externa de Bahía Magdalena, aunque como se verá mas adelante, esta aparente disminución, en realidad se ve “cubierta” por ondas de categoría 2. En general, se registraron entre 4 a 28 días con ondas de calor en toda la región de Baja California Sur. Como se mencionó, la mayor cantidad de días con ondas de calor se observan al sur, en la zona oceánica de la parte occidental de la península, y en la entrada y en la porción sur del golfo de California, donde se registran entre 4 a 30 días con ondas de calor de categoría 1, en particular para en la porción central, sur y cerca de la costa de Sinaloa.



(Figura 5.1).

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

En caso de ondas de calor categoría 2, durante julio se registró una mayor presencia de estas comparado al mes de junio. Su incidencia fue en el sureste de la zona de estudio, en mar abierto, al norte y sur de Punta Eugenia, Laguna de San Ignacio y toda Bahía Magdalena. En todos los casos se registró la presencia de entre 4 a 16 días con ondas de calor de dicha categoría (Figura 5.2). Dentro del Golfo, se observan particularmente en la zona sureste, central y norte, con la presencia de días al este de Bahía de la Paz, y alrededor de isla San José, la región aledaña a Bahía Concepción, sur de Isla Tiburón, y al sur-centro de la costa de Sinaloa. En todos los casos se observan entre 4 a 20 días de ondas de calor de categoría 2 durante el mes.

Para las ondas de calor categoría 3, durante julio se redujo la presencia de días en toda la región, desapareciendo prácticamente del área de estudio. De forma excepcional se observan 4 días dentro de la laguna Ojo de Liebre y dentro de bahía Concepción (ver Figura 5.3). Cabe resaltar que no se registraron ondas de calor de categoría 4.

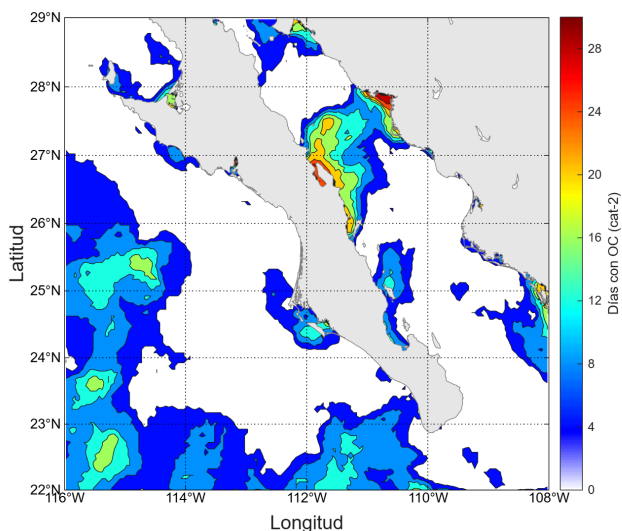


Figura 5.2: Días con ondas de calor categoría 2 en el área de estudio para julio de 2026.

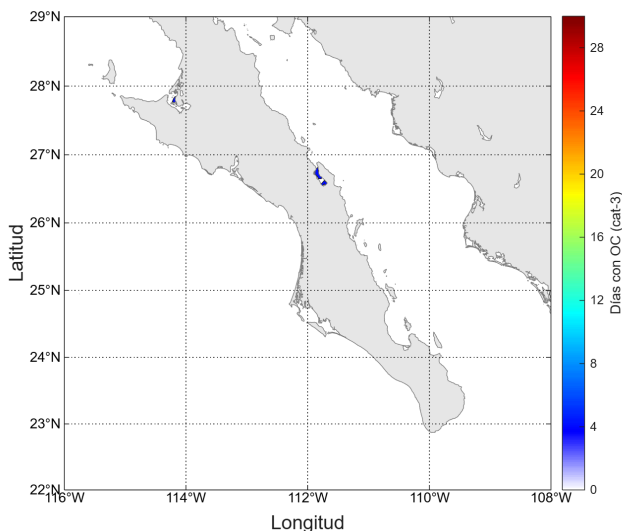


Figura 5.3: Días con ondas de calor categoría 3 en el área de estudio para julio de 2026.

Para la región aledaña a Cabo Pulmo, no se observaron ondas de calor marinas de categoría 3 y 4, sólo de categorías inferiores. En caso de días con ondas de calor de categoría 1 ([Figura 5.4](#)), se observaron entre 10 a 30 días. Con la mayor cantidad hacia el centro-sur de esta región, con la zona del parque nacional con entre 12 a 24 días. La cantidad de días de ondas de calor categoría 2 osciló entre 1 y 2 días, registradas en un parche al suroeste ([Figura 5.5](#)). En caso de las ondas de calor categorías 3 y 4, Cabo Pulmo no registró días con ondas de calor para dichas categorías.

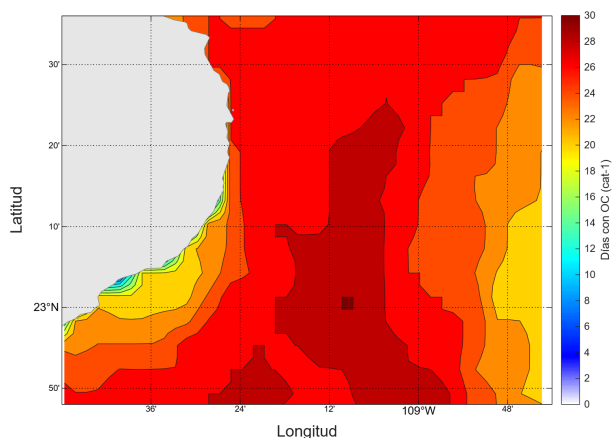


Figura 5.4: Cantidad con días con ondas de calor de categoría 1 en Cabo Pulmo y zonas aledañas para julio de 2026.

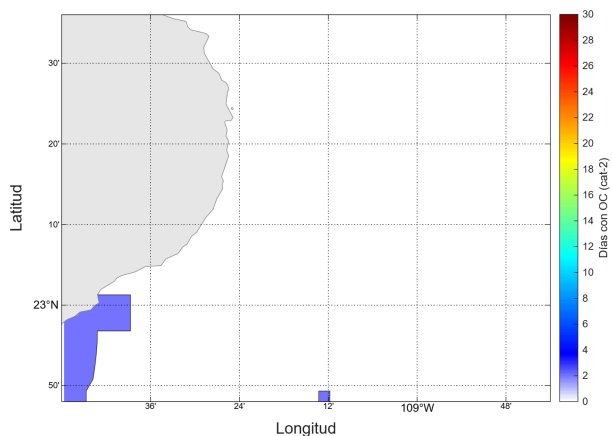


Figura 5.5: Cantidad con días con ondas de calor de categoría 2 en Cabo Pulmo y zonas aledañas para julio de 2026.

El mes de julio, para porción suroeste 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 categorías 3 y 4, pero si de categorías 1 y 2. En caso de días de ondas de calor marinas de categoría 1 (Figura 5.6), esta región registró su presencia entre 12 a 30 días, distribuidas el este, noreste y un parche al noroeste, con menor incidencia de ondas de calor en la porción occidental de bahía de la Paz, la parte occidental y al noreste de isla San José, con entre 12 a 20 días con ondas de calor. Como se mencionó, la región nororiental fue la que presentó mayor incidencia de días con ondas de calor alcanzando los 30 días. La región aledaña a Isla Cerralvo registró entre 12 y 26 días con presencia de ondas de calor de

categoría 1.

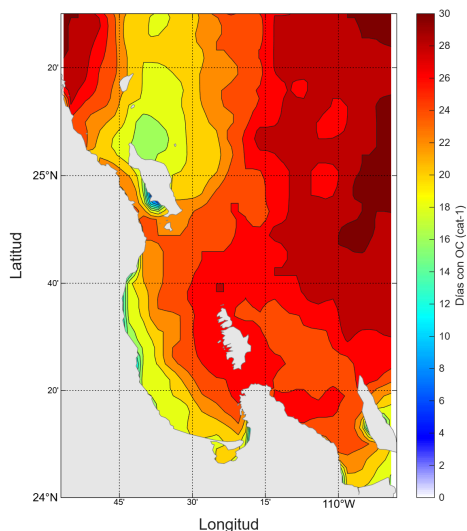


Figura 5.6: Cantidad de días con ondas de calor categoría 1 para la región comprendida entre Isla Cerralvo a isla San José, incluyendo la bahía de La Paz.

En sentido de ondas de calor de categoría 2 para el mes de julio, para la misma región su presencia aumento con respecto al mes de junio ([Figura 5.7](#)), registrando entre 2 a 12 días al sur y oeste de Bahía de la Paz, alrededor de isla San José y en dirección norte y noreste, aumentando la cantidad de días en esa dirección. El resto de la región no presentó días con ondas de calor de dicha categoría.

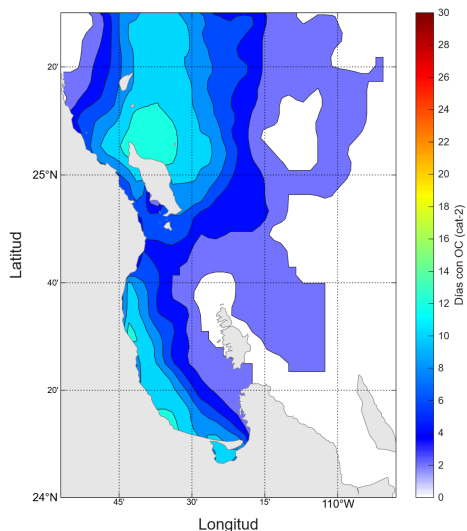


Figura 5.7: Cantidad de días con ondas de calor categoría 2 para la región comprendida entre Isla Cerralvo a isla San José, incluyendo la bahía de La Paz.

En caso de ondas de calor de categorías 3 y 4, no se registraron para el mes de julio.

Para julio de 2026, en la región aledaña a San Juanico se registraron únicamente días con ondas de calor de categoría 1 y 2. Para días con ondas de categoría 1, se registró su incidencia en la zona oceánica y dentro de la laguna de San Ignacio, oscilando entre 2 y 24 días, en un gradiente suroeste a noreste, con el registro de solo 2 días con ondas de calor al sur, y alcanzando los 18 a 24 días al suroeste, y los 22 días al norte de Bahía Magdalena ([Figura 5.8](#)).

Para las ondas de calor de categoría 2 en la región aledaña a San Juanico ([Figura 5.9](#)), se observa una presencia reducida de días para la región, registrando únicamente dentro de la laguna de San Ignacio, al norte de Bahia Magdalena y un parche al noroeste. Dentro de la laguna se registraron entre 4 y 22 días con ondas de calor de categoría 2; mientras que las regiones con presencia, previamente mencionadas, tuvieron entre 4 y 8 días.

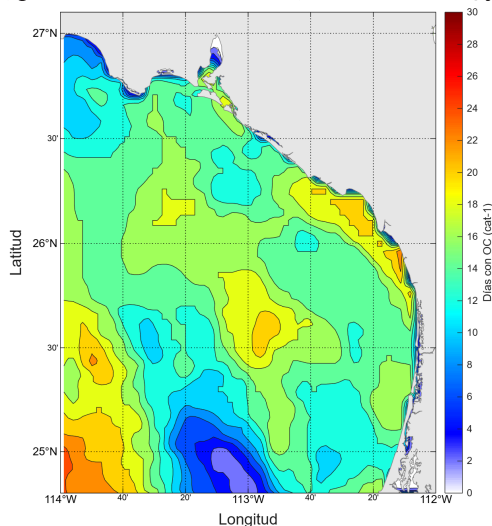


Figura 5.8: Cantidad de días con ondas de calor categoría 1 para el mes de julio de 2026 para la región aledaña a San Juanico, incluyendo la porción norte de bahía Magdalena.

Para las categorías 3 y 4, a diferencia de todos los meses anteriores del año donde se registraron al interior de la laguna de San Ignacio u en otras regiones, este es el primer mes de año donde no se registró un solo día con una onda de calor de dichas categorías para esta región.

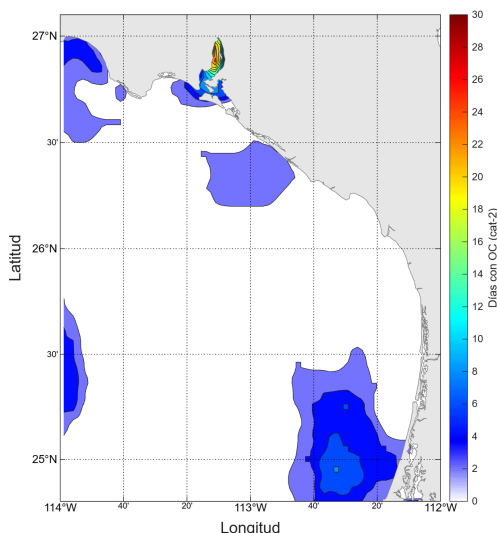


Figura 5.9: Cantidad de días con ondas de calor categoría 2 para el mes de julio de 2026 para la región aledaña a San Juanico, incluyendo la porción norte de bahía Magdalena.

Conclusiones

El mes de julio de 2026, se mantiene la incidencia de ondas de calor comparada con los meses previos, pero siendo mayormente de categorías 1 y 2. Es de remarcar que la presencia de ondas de calor de categorías 3 y 4 se redujo de manera significativa en el Pacífico, y dentro del golfo, pero la presencia de categoría 3 se mantiene en Laguna Ojo de Liebre y en Bahía Concepción. Sin embargo, se siguen observando los efectos de dichas ondas de calor en las anomalías de temperatura, y continúan 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. Benthuyssen, M.T. Burrows, M.G. Donat, N.J. Holbrook, P.J. Moore, M.S. Thomsen, T. Wernberg, and D.A. Smale. 2018. Categorizing and naming marine heatwaves. *Oceanography* 31(2):162–173, <https://doi.org/10.5670/oceanog.2018.205>.

McGregor, G. 2024. *Heatwaves: Causes, consequences and responses*. Springer Nature, Switzerland

Oliver, E.C.J., Donat, M.G., Burrows, M.T. et al. Longer and more frequent marine heatwaves over the past century. *Nat Commun* 9, 1324 (2018). <https://doi.org/10.1038/s41467-018-03732-9>.

6. Actividad de mesoescala: Remolinos y frentes térmicos

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

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

Introducción

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

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

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

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

Área de estudio

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

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

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

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

Datos y métodos

Los datos de velocidad geostrófica superficial 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 julio de 2026.

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

otros parámetros. A partir de las componentes zonal y meridional de la velocidad geostrófica superficial (u y v) se calculó la velocidad geostrófica 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 $(Ndf / Ndm) \times 100\%$, 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 62 remolinos de mesoescala durante el periodo analizado. De estos, 28 eran anticiclónicos y 34 ciclónicos. Se formaron 11 remolinos anticiclónicos y 10 ciclónicos durante el mes de estudio, mientras que 14 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 disminuyó en 3. 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 activas y con desplazamiento hacia el oeste, mientras que en el Golfo de California fueron principalmente estacionarios, con algunos remolinos que se dirigieron al norte y al oeste.

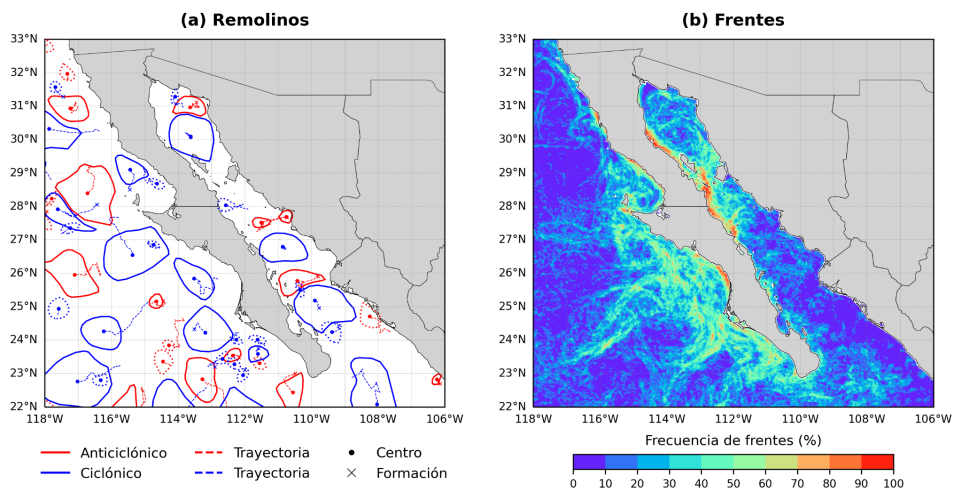


Figura 6.1: (a) Remolinos oceánicos presentes en el área de estudio y (b) frecuencia de ocurrencia de frentes térmicos. Los remolinos representados con líneas continuas permanecen activos, mientras que aquellos con líneas punteadas se disiparon durante el periodo analizado.

Durante el periodo analizado, la frecuencia de frentes térmicos (Figura 6.1b) mantuvo una distribución espacial altamente variable en las aguas adyacentes a la Península de Baja California. En comparación con el mes anterior, la actividad frontal se debilitó dentro del Golfo de California y las frecuencias más elevadas se concentraron en el Archipiélago Central y en los sectores adyacentes de la costa oriental de la península. En el Norte del Golfo, las frecuencias disminuyeron y se mantuvieron por debajo del 40%, aunque se observaron parches de hasta 60% y una banda estrecha próxima al margen peninsular con valores superiores al 80%. La organización de los frentes alrededor del giro estacional reversible continuó siendo perceptible, aunque presentó una configuración menos definida y frecuencias inferiores al 40%.

En el Archipiélago Central, la cobertura espacial de la actividad frontal disminuyó, mientras que los valores superiores al 80% que persistieron desde el mes anterior se concentraron al sur de las islas Ángel de la Guarda y San Lorenzo; así como en sectores próximos a la costa oriental de la península. La banda frontal con frecuencias elevadas, que en el periodo anterior se extendía hacia el sur desde el archipiélago, presentó durante este mes una menor extensión en esa dirección y una configuración más estrecha; además, sus frecuencias disminuyeron manteniendo valores entre 50%-80%. En contraste, hacia el margen continental predominaron frecuencias inferiores al 20%, con valores por debajo del 10% en gran parte del Sur del Golfo. En la Bahía de La Paz, la actividad frontal también disminuyó

notablemente respecto al periodo anterior, con frecuencias predominantemente entre 10%-30%. Una reducción similar se observó en la boca del Golfo, donde la mayor parte de los valores se mantuvo por debajo del 30%, aunque algunas bandas aisladas alcanzaron el 50%.

En el margen occidental de la península, las frecuencias más elevadas continuaron concentrándose cerca de la costa. En gran parte de mar abierto, la actividad frontal aumentó su cobertura espacial respecto al mes anterior y se organizó en bandas de configuración curva, posiblemente asociadas con estructuras de mesoescala. No obstante, predominaron frecuencias inferiores al 50%, con pequeños núcleos que alcanzaron el 70%. En contraste, al suroeste, desde Cabo San Lucas hacia el Pacífico, estas bandas se debilitaron, presentando una menor cobertura espacial y frecuencias entre 30% y 60%. En el Golfo de Ulloa, la distribución de las frecuencias se volvió más heterogénea, con valores entre 30%-60%, mientras que los máximos costeros observados en periodos anteriores disminuyeron ligeramente y se mantuvieron por debajo del 80%. Finalmente, hacia el noroeste de la península continuaron predominando valores inferiores al 10% en mar abierto, mientras que la actividad frontal se concentró en una franja costera estrecha, con frecuencias generalmente entre 20%- 40% y algunos máximos locales cercanos al 90%.

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, seis 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.

Frente a Ensenada ([Figura 6.2a](#)), se identificaron dos remolinos anticiclónicos y uno ciclónico. A18 fue el remolino más grande (igual que en el periodo anterior), con un radio efectivo de 39.07 ± 8.63 km, una amplitud de ~ 0.04 m y velocidades de 0.21 ± 0.02 m s⁻¹. A20 también se mantuvo desde el periodo anterior, pero se disipó durante este. Su radio fue de 28.24 ± 4.33 km, su amplitud de ~ 0.02 m y velocidades de 0.15 ± 0.02 m s⁻¹. C34

apareció y se disipó durante este periodo, con un radio de 27.08 ± 4.29 km, una amplitud de ~ 0.02 m y velocidades de 0.13 ± 0.02 m s⁻¹. En esta región no se observaron valores elevados de velocidad geostrófica ni de EKE. En el Golfo de Ulloa (Figura 6.2b) se observaron dos remolinos ciclónicos y uno anticiclónico, el cual se disipó. C30 permaneció en la región desde el periodo anterior y la dominó casi por completo, con un radio efectivo de 55.83 ± 21.79 km, una amplitud de 0.04 ± 0.02 m y velocidades de 0.19 ± 0.06 m s⁻¹. C35 apenas tuvo influencia en el golfo. A21 estuvo presente en el periodo anterior. Durante este periodo presentó un radio de 68.81 ± 2.32 km, una amplitud de 0.04 m y velocidades de 0.17 ± 0.01 m s⁻¹. Al igual que en la región de Ensenada, no se identificaron valores elevados de velocidad geostrófica ni de EKE.

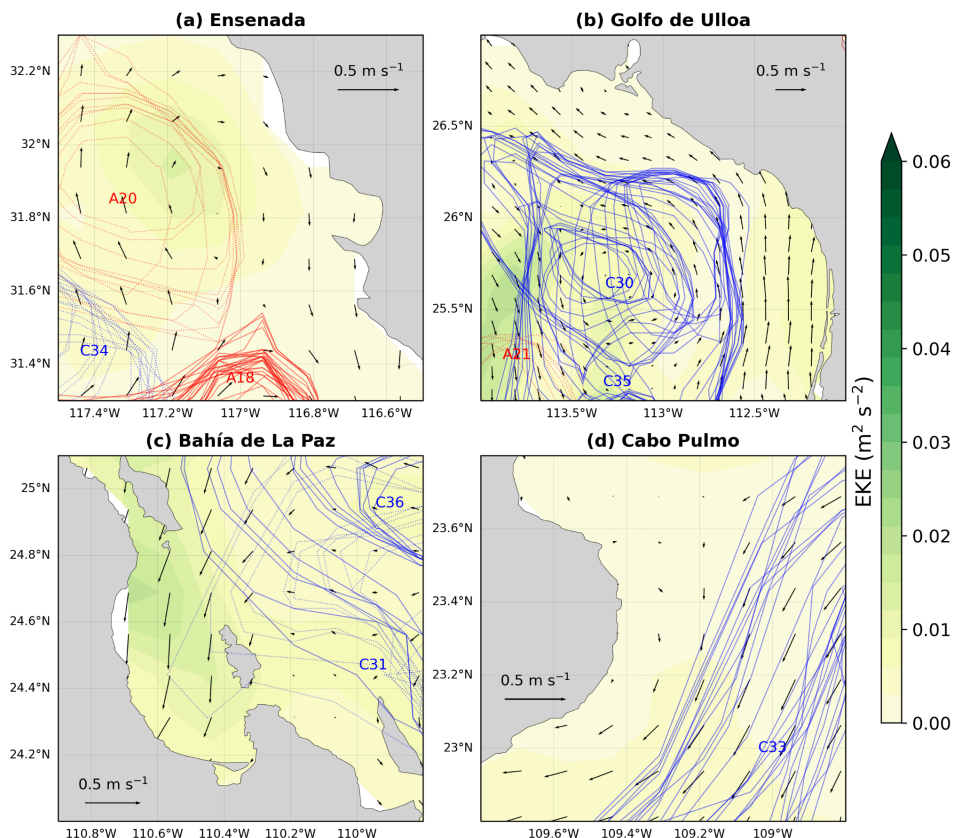


Figura 6.2: Energía cinética de remolinos (EKE) intraestacional promedio, velocidades geostróficas promedio y contornos de los remolinos que estuvieron presentes en (a) Ensenada, (b) el Golfo de Ulloa, (c) la Bahía de La Paz y (d) el Parque Nacional Cabo Pulmo.

En la Bahía de La Paz (Figura 6.2c) se identificaron dos remolinos ciclónicos. C31, que se desplazó desde la región de Cabo Pulmo el periodo anterior y se disipó durante este. Fue el remolino de mayor tamaño y presentó un radio efectivo de 57.39 ± 12.26 km, una amplitud de 0.05 ± 0.02 m y velocidades de 0.19 ± 0.06 m s⁻¹. C36 mostró un radio de 43.60 ± 23.38 km, una amplitud de 0.04 ± 0.04 m y velocidades de 0.22 ± 0.09 m s⁻¹. En esta región se mantuvieron valores elevados de velocidad geostrófica y EKE, principalmente al norte de la bahía. En el Parque Nacional Cabo Pulmo (Figura 6.2d) se identificó solo al remolino ciclónico C33. C33 tuvo un mayor tamaño que el periodo anterior, con un radio efectivo de 103.68 ± 29.63 km, una amplitud de 0.08 ± 0.03 m y velocidades de 0.26 ± 0.03 m s⁻¹. En esta región se observaron valores de velocidad geostrófica y EKE comparables con los de la Bahía de La Paz.

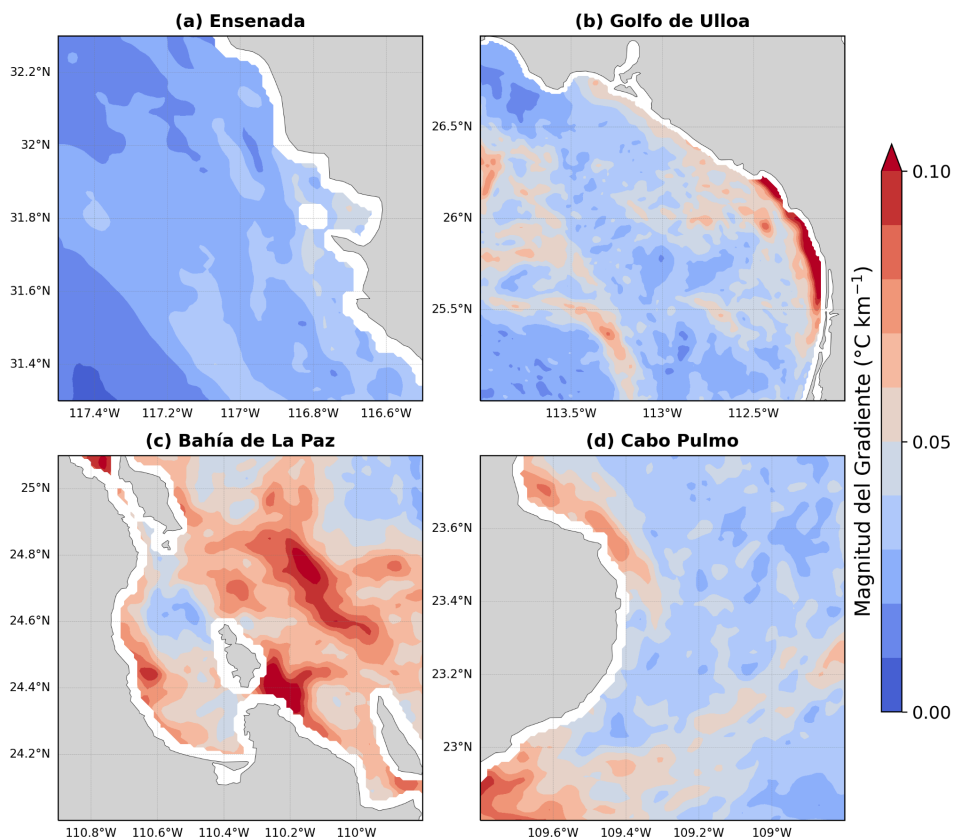


Figura 6.3: Magnitud promedio del gradiente horizontal de la temperatura superficial del mar en (a) Ensenada, (b) Golfo de Ulloa, (c) Bahía de la Paz y (d) el Parque Nacional Cabo Pulmo.

En la [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.

En la región de Ensenada ([Figura 6.3a](#)), los gradientes térmicos permanecieron por debajo del umbral de $0.05\text{ }^{\circ}\text{C km}^{-1}$ en gran parte del dominio. No obstante, a diferencia del periodo anterior, se distinguieron dos estructuras localizadas que superaron este valor. Una banda alargada se ubicó en el sector norte-central, mientras que un núcleo próximo a la costa apareció en el sector centro-oriental; ambos alcanzaron máximos cercanos a $0.07\text{ }^{\circ}\text{C km}^{-1}$. Estos valores indican la presencia de actividad frontal débil y espacialmente limitada. En el Golfo de Ulloa ([Figura 6.3b](#)), la franja de gradientes intensos próxima a la costa oriental se mantuvo como la estructura dominante, aunque la magnitud de los gradientes disminuyó ligeramente respecto al mes previo. En la mayor parte de esta franja, los gradientes fueron de $0.08\text{--}0.10\text{ }^{\circ}\text{C km}^{-1}$, aunque algunos sectores conservaron valores superiores. En el resto del dominio, la distribución de los gradientes se volvió más heterogénea y predominaron valores de $0.04\text{--}0.06\text{ }^{\circ}\text{C km}^{-1}$, con numerosos parches que presentaron gradientes de $0.07\text{--}0.09\text{ }^{\circ}\text{C km}^{-1}$.

En la región de la Bahía de La Paz ([Figura 6.3c](#)), la actividad frontal se debilitó notablemente respecto al periodo anterior, tanto en intensidad como en cobertura espacial. Dentro de la bahía predominaron gradientes inferiores a $0.05\text{ }^{\circ}\text{C km}^{-1}$, mientras que los valores superiores al umbral se limitaron a estructuras aisladas al norte y al este de Isla Espíritu Santo, con máximos cercanos a $0.06\text{ }^{\circ}\text{C km}^{-1}$. Finalmente, en Cabo Pulmo ([Figura 6.3d](#)), los gradientes se mantuvieron bajos en la mayor parte del dominio, con valores inferiores a $0.05\text{ }^{\circ}\text{C km}^{-1}$. La estructura próxima a la costa en el sector noroeste persistió, aunque con menor intensidad que en el mes anterior, conservando un pequeño núcleo de aproximadamente $0.07\text{ }^{\circ}\text{C km}^{-1}$. En el borde sur, la banda frontal permaneció poco definida, con gradientes ligeramente superiores al umbral, mientras que hacia el sureste dejaron de observarse estructuras frontales.

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, 104–118, <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, 103–118, <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, 107–118, <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, e2019JC015 499, <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., deSzoeki, S. P., Xie, S. P., O'Neill, L., Seo, H., Song, Q., Cornillon, P., Spall, M., and Minobe, S.: Air–sea interaction over ocean fronts and eddies, *Dynamics of Atmospheres and Oceans*, 45, 274–319, <https://doi.org/10.1016/j.dynatmoce.2008.01.001>, 2008.

Sudre, F., Hernández-Carrasco, I., Mazoyer, C., Sudre, J., Dewitte, B., Garçon, V., and Rossi, V.: An ocean front dataset for the Mediterranean sea and southwest Indian ocean, *Scientific*

Data, 10, 730, <https://doi.org/10.1038/s41597-023-02615-z>, 2023.

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

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

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

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

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

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

7. Monitoreo satelital de florecimientos algales

Cotsikayala Pacheco-Ramírez
cotsi.pacheco@gmail.com

Resumen | En esta sección se presenta parte de mi tesis doctoral centrada en la teledetección de grupos funcionales del fitoplancton y de la señal de clorofila oceánica, con énfasis en diatomeas y dinoflagelados, grupos que incluyen especies con potencial para formar florecimientos algales nocivos (FAN) y que, por ello, requieren un monitoreo continuo y sistemático. Durante julio, las diatomeas, dinoflagelados y cocolitofóridos mostraron un descenso en su distribución regional en la bahía de la Paz y San Juanico, lo que sugiere condiciones ambientales adversas para su desarrollo. Asimismo, el análisis de imágenes satelitales Sentinel-3 no permitió monitorear zonas con coloración anómala debido a mucha nubosidad durante todo el mes de estudio. No se han reportado cierres precautorios a moluscos por presencia de especies tóxicas o mortandades de especies marinas durante lo que va del año.

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 (B.C.S.) 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 B.C.S. 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 B.C.S., 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 julio 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 COPENICUS. 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 COPENICUS. 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-julio de 2026.

En bahía de La Paz (Figura 7.1) y San Juanico (Figura 7.2), las concentraciones fitoplanctónicas se mantuvieron por debajo del promedio climatológico. En contraste, en Cabo Pulmo se observó, desde marzo, una tendencia hacia valores cercanos al límite superior del promedio climatológico para las concentraciones de diatomeas, dinoflagelados y cocolitofóridos (Figura 7.2).

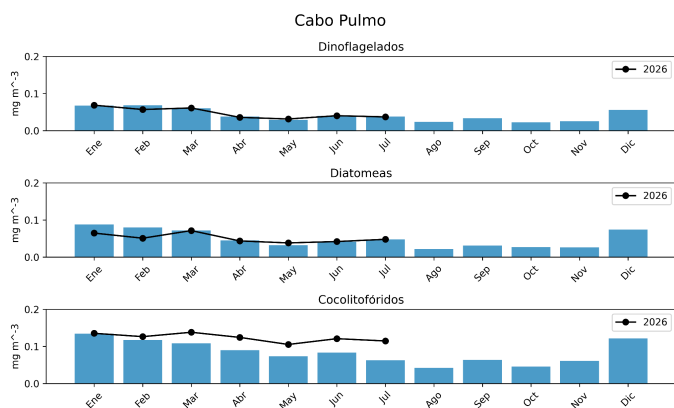


Figura 7.1: Climatología de la concentración de grupos fitoplanctónicos, expresada como clorofila-a (CLO, mg m⁻³) en el agua de mar, correspondiente a Cabo Pulmo en julio de 2026.

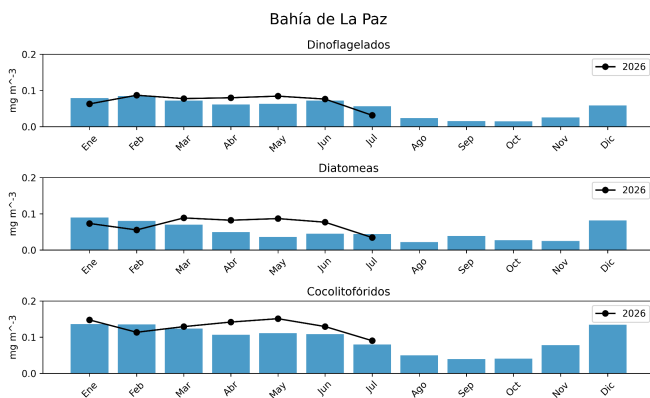


Figura 7.2: Climatología de la concentración de grupos fitoplanctónicos, expresada como clorofila-a (CLO, mg m⁻³) en el agua de mar, correspondiente a la bahía de La Paz en julio de 2026.

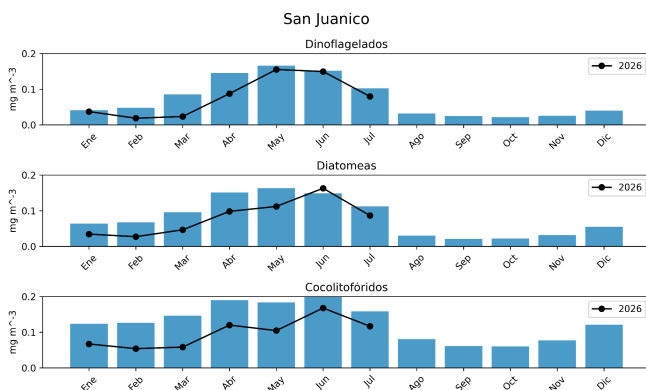


Figura 7.3: Climatología de la concentración de grupos fitoplanctónicos, expresada como clorofila-a (CLO, mg m⁻³) en el agua de mar, correspondiente a San Juanico en julio de 2026.

Referencia

- IOCCG. 2014. Phytoplankton Functional Types from Space. Pp: 100-120 In: Sathyendranath, S. (ed.), Reports of the International Ocean-Colour Coordinating Group, No. 15, IOCCG, Dartmouth, Canada.
- Núñez-Vázquez, E.J., Band-Schmidt, C.J., Hernández-Sandoval, F.E., Bustillos-Guzmán, J.J., López-Cortés, D.J., Cordero-Tapia, A., Heredia-Tapia, A., García-Mendoza, E., Peña-Manjarréz, J.L., M.C. Ruíz de la Torre & Medina-Elizalde, J. 2016. Impactos de los FAN en la salud pública y animal (silvestres y de cultivo) en el Golfo de California. Pp: 197-211 En: Florecimientos Algales Nocivos en México. García-Mendoza, E., Quijano-Sandoval, M., C. Parada & Torres R. 2018. CICESE. 438 p.
- Leyva-Valencia, I., J.E. Hernández-Castro, C.J. Band-Schmidt, A.D. Turner, A. O'Neill, E. Núñez-Vázquez, D.J. López-Cortés, J.J. Bustillos-Guzmán y F.E., Hernández-Sandoval. 2021. Lipophilic toxins in wild bivalves from the southern Gulf of California, Mexico. Marine Drugs 19 (2): 1-19.
- Weeks, S.J., G.C. Pitcher & S. Bernard. 2004. Satellite Monitoring of the Evolution of a Coccolithophorid Bloom in the Southern Benguela Upwelling System. Oceanography 17(1): 83-89.

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.

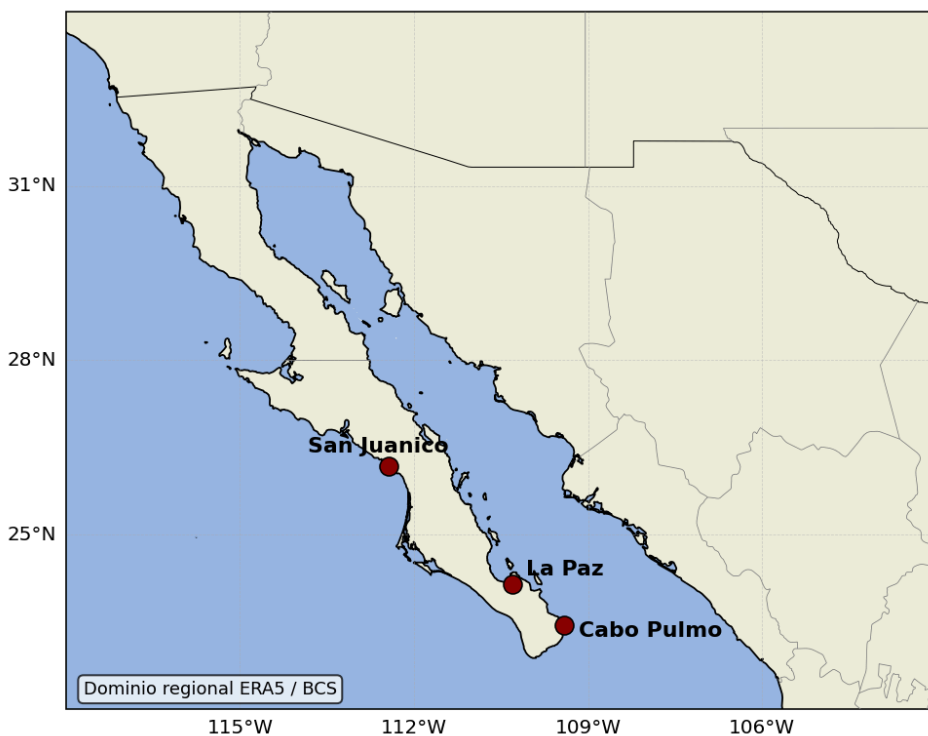


Figura 8.1: Área de estudio y ubicación de las estaciones meteorológicas utilizadas para el monitoreo del viento superficial en Baja California Sur. Los círculos indican los sitios de análisis in situ localizados en San Juanico (deshabilitado), La Paz y Cabo Pulmo. El dominio mostrado corresponde a la 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 **julio de 2026**, el comportamiento del viento registrado en la estación de Cabo Pulmo mantuvo características similares a la climatología local correspondiente al periodo **2014–2025** (Figura 8.2). La distribución direccional continúa dominada por vientos provenientes del sector **sur-sureste**, acompañados por contribuciones secundarias del **suroeste, norte y noroeste**. La comparación con la climatología muestra una estructura direccional semejante, conservándose la marcada contribución de los vientos del sur-sureste que caracteriza al sitio durante este mes.

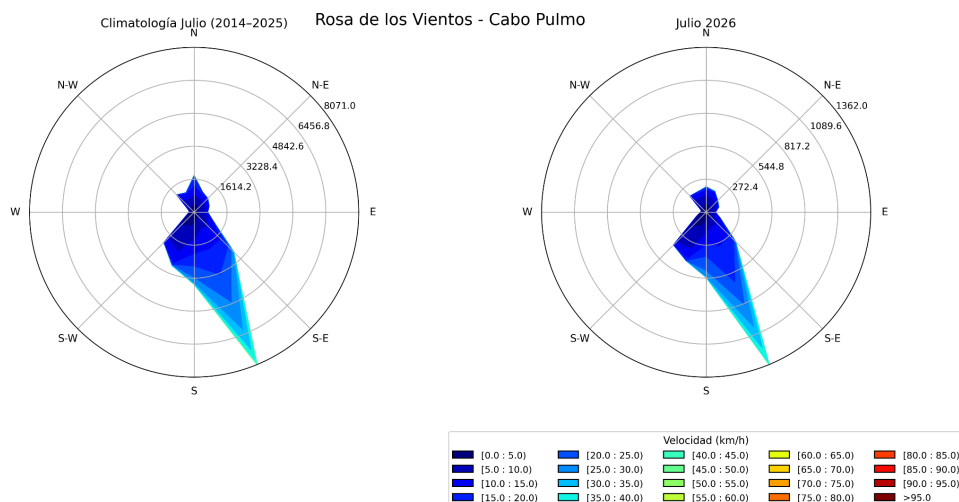


Figura 8.2: Climatología vs. observaciones de la dirección e intensidad de los vientos en la estación **Cabo Pulmo** durante el mes de **julio** de 2026.

La distribución de velocidades del viento durante **julio de 2026** tampoco presenta diferencias importantes respecto a los años previos disponibles (Figura 8.3). La mediana se mantiene cercana a **10–11 km h⁻¹**, con un rango intercuartílico comparable al observado en gran parte de la serie histórica. Aunque se registran valores atípicos asociados a velocidades mayores, éstos permanecen dentro de la variabilidad previamente observada y son inferiores a algunos de los máximos registrados en años anteriores.

En conjunto, los registros indican que durante **julio de 2026** las condiciones locales del viento en Cabo Pulmo permanecieron dentro de la variabilidad esperada para el sitio, sin evidencia de cambios persistentes en la dirección predominante o en la intensidad del viento.

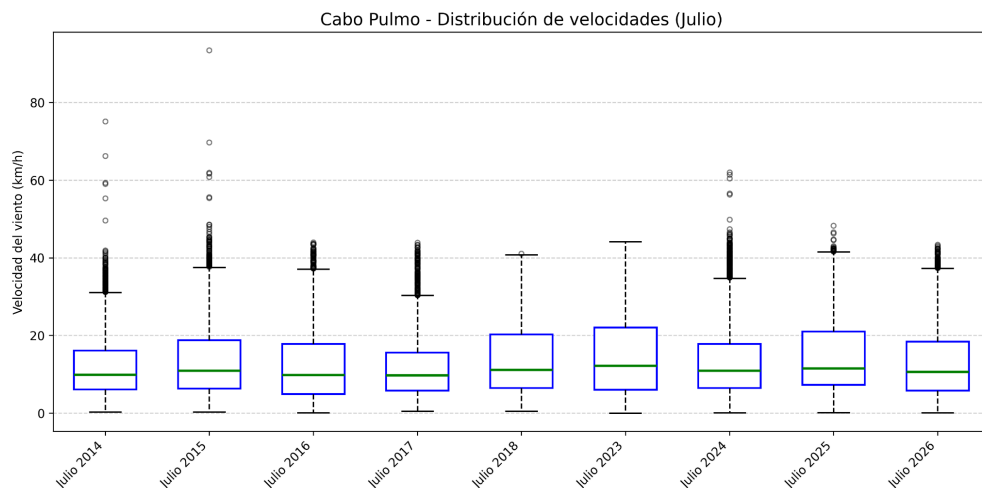


Figura 8.3: Análisis de cajas de la intensidad de los vientos en la estación **Cabo Pulmo** durante el mes de **julio** de 2026. Los valores atípicos (outliers) se representan mediante círculos.

VTO in situ en la ciudad de La Paz, BCS

Durante **julio de 2026**, el patrón del viento observado en la estación meteorológica de La Paz mantuvo la dominancia de los vientos provenientes del **sector sur**, característica de la climatología local correspondiente al periodo **2016–2025** (Figura 8.4). Sin embargo, durante julio de 2026 se aprecia una **mayor contribución relativa de los vientos provenientes del noroeste** respecto a la climatología, mientras que el sector sur continúa representando la dirección predominante.

Este cambio no implica una reorganización completa del régimen local, pero sí muestra una mayor participación del componente noroeste dentro de la distribución direccional observada durante el mes. Respecto a la intensidad, la distribución de velocidades observada durante **julio de 2026** se mantiene dentro del rango registrado en años anteriores (Figura 8.5). La mediana se sitúa alrededor de **10 km h⁻¹**, ligeramente por debajo de varios años de la serie disponible, mientras que la dispersión central permanece dentro de la variabilidad interanual observada. Los valores atípicos son escasos y, salvo algunos registros aislados, las velocidades máximas resultan menores que las observadas durante episodios extremos de años anteriores, particularmente en 2022.

En conjunto, las observaciones indican que las velocidades del viento en La Paz durante julio permanecieron dentro de la variabilidad histórica del sitio, aunque la distribución direccional muestra una **mayor contribución de vientos del noroeste respecto al patrón climatológico del mes**.

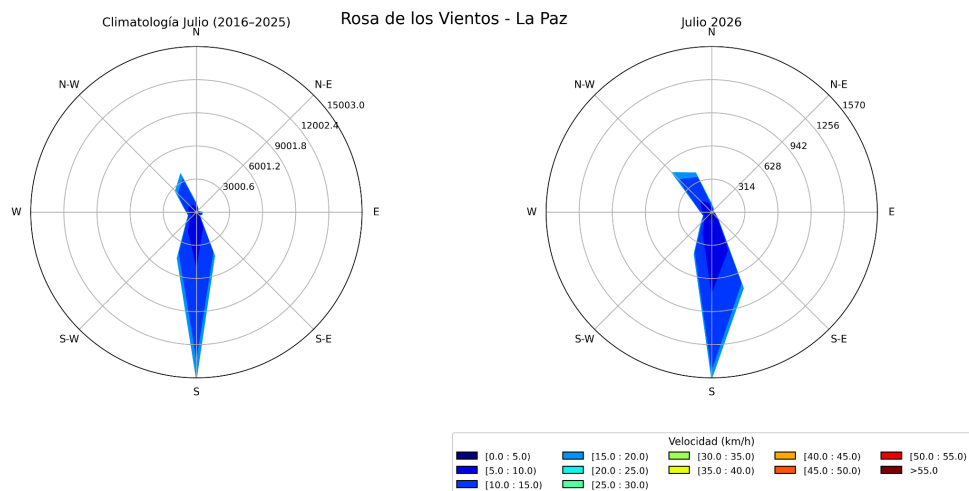


Figura 8.4: Climatología vs. observaciones de la dirección e intensidad de los vientos en la estación ESIME de **La Paz** durante **julio** de 2026.

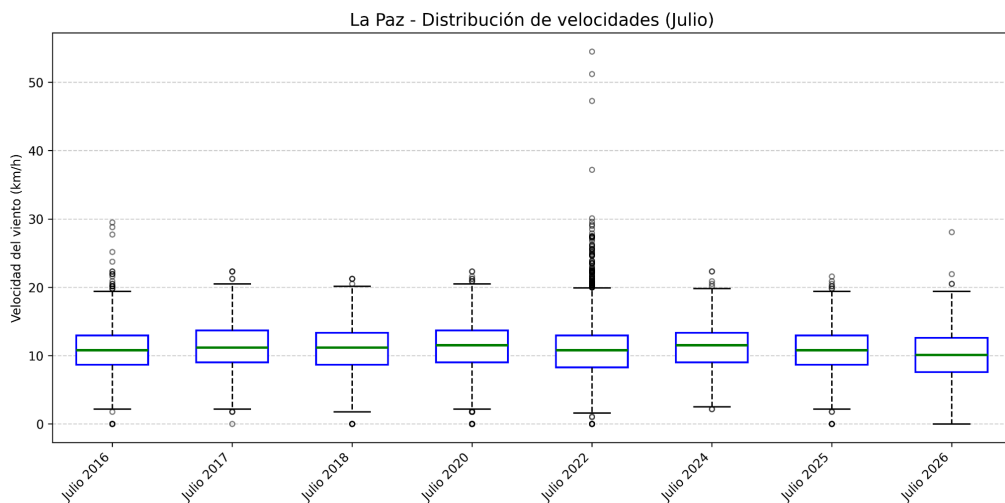


Figura 8.5: Análisis de cajas de la intensidad del viento en la ciudad de **La Paz**, BCS, durante el mes de **julio** de 2026. Los valores atípicos (outliers) se representan mediante círculos.

Análisis regional del viento superficial mediante ERA5

El análisis regional mediante ERA5 muestra que la climatología mensual de **julio** mantiene vientos superficiales relativamente intensos sobre el Pacífico oriental adyacente a Baja California Sur, con una circulación predominantemente paralela a la costa occidental de la península (Figura 8.6). En el Golfo de California las magnitudes son menores, mientras que sobre el continente se observa una circulación superficial característica del verano, con flujos que convergen hacia la región de la **Sierra Madre Occidental**. Esta configuración refleja la consolidación durante julio del patrón de circulación estival identificado desde junio, asociado al desarrollo del monzón de Norteamérica y proporciona el contexto regional para interpretar las condiciones observadas localmente en Cabo Pulmo y La Paz.

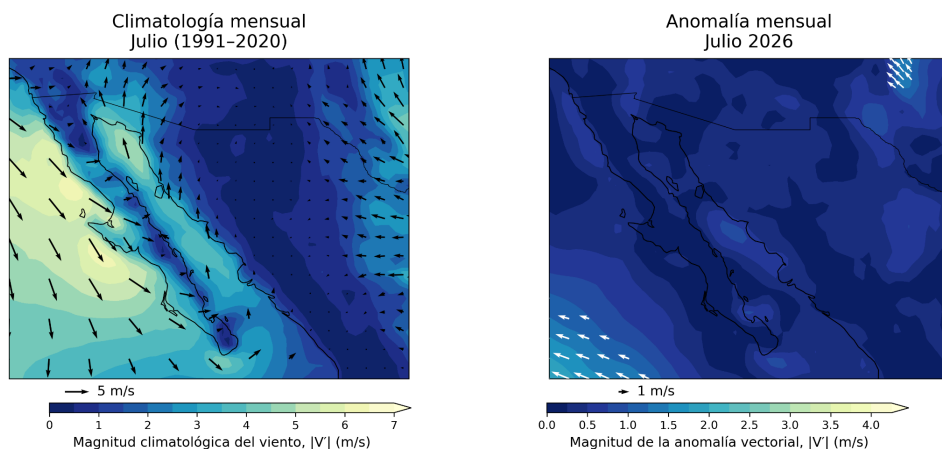


Figura 8.6: Climatología mensual y anomalía del viento superficial para **julio de 2026** a partir de productos combinados de reanálisis atmosférico. El panel izquierdo muestra la magnitud y dirección climatológica del viento a 10 m para el mes de **julio** durante el periodo **1991–2020**, mientras que el panel derecho presenta la anomalía mensual correspondiente a **julio de 2026** respecto a dicha climatología. Los colores representan la magnitud del viento o de su anomalía, mientras que los vectores muestran la dirección del flujo superficial integrando la información de ERA5 sobre océano y ERA5-Land sobre superficie continental.

Las anomalías mensuales de **julio de 2026** fueron, en términos generales, **débiles sobre la mayor parte del dominio**, con magnitudes predominantemente inferiores a 2 m s^{-1} . No obstante, se observan algunos núcleos localizados de mayor magnitud, particularmente sobre sectores del Pacífico y hacia los límites del dominio. Durante este mes se presentó

actividad ciclónica tropical en el Pacífico oriental, por lo que parte de estas señales puede estar asociada a modificaciones transitorias de la circulación producidas por el paso o influencia regional de estos sistemas. Al tratarse de un promedio mensual, estas anomalías representan la contribución integrada de dichos episodios al campo medio de julio y no necesariamente condiciones persistentes durante todo el mes.

En conjunto, el campo de viento superficial durante **julio de 2026** permaneció cercano al comportamiento climatológico esperado para la época del año sobre gran parte de la región. Las anomalías de mayor magnitud presentan una distribución espacial localizada y pueden estar parcialmente relacionadas con la actividad ciclónica tropical del mes, sin observarse una reorganización persistente de la circulación superficial a escala regional. A escala local, Cabo Pulmo mantuvo una distribución direccional semejante a su climatología, mientras que en La Paz destacó una mayor contribución de vientos provenientes del noroeste.

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 en la Bahía de la Paz. Período: Junio-julio de 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/>. En este reporte analizamos las condiciones observadas durante los meses de junio y julio de 2026 en BLPZ, condiciones previas al pronóstico de un evento de **El Niño** (<https://cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/MJO/enso.shtml>) a escala global. Los valores de la Temperatura Máxima y Mínima del aire (TMax-TMin) mostraron valores mayores a 38.0° y 40° C, con valores promedio de 30.2° C y mínimos oscilando entre 16.0° C. Los valores de Hum. Rel., mostraron el efecto inverso observado en la TMax., con valores de humedad máximos de ~90% el 20 de julio al inicio de la temporada de precipitaciones en la zona de estudio. Las rachas de viento máximas >8 m s⁻¹ se observaron durante 01-08 y del 22-28 de junio, con algunos periodos cortos de rachas de viento del sur y suroeste (20-25 de junio, 27-31 de julio). El viento mostró un comportamiento diferente, con predominancia de vientos del noreste y suroeste de moderados a débiles de 4 a 6 m s⁻¹, asociado al paso de esporádicos frentes fríos, y la presencia continua de canales de baja presión observados durante el inicio del monzón mexicano (verano).

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 1). En esta sección se analiza la evolución temporal de variables atmosféricas (Temperatura 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 de junio al 13 de agosto, del 2026, año pronosticado previo a un evento fuertes de El Niño (<https://cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/MJO/enso.shtml>).

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 BW_{hs}(x) de Koppen 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).

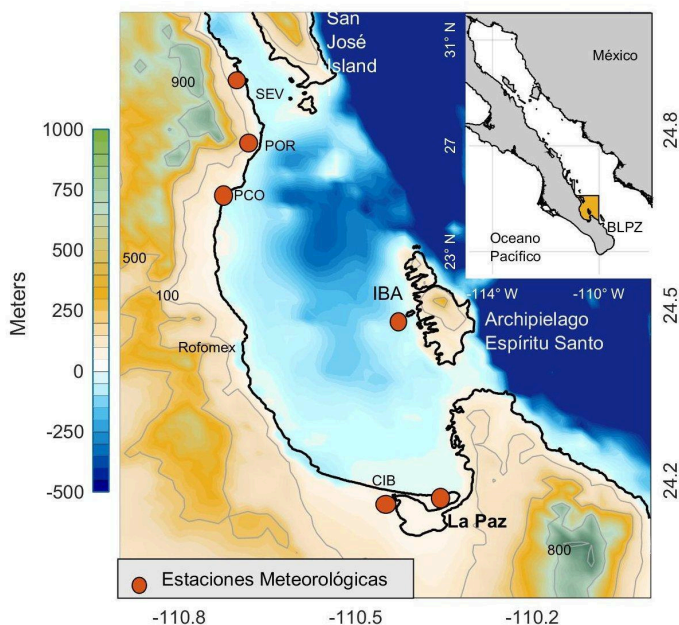


Figura 9.1: Mapa mostrando la Red de Estaciones Meteorológicas instaladas en la Bahía de La Paz, como parte del Proyecto Interno CICESE-UALP 691-109 “Laboratorio Ambiental para el estudio de la variabilidad Océano-Atmósfera en la Bahía de La Paz, B.C.S. Se incluyen las características batimétricas de 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 las series de tiempo de (a) la temperatura del aire (TMax y TMin), y (b) humedad relativa (Hr) cubriendo los periodos de 01 de junio al 12 de agosto del 2026 (TMax: líneas en rojo, TMin: Líneas en azul). Los datos se registraron en la estación ubicada al sur de la bahía de La Paz (La Paz, 24.14° Latitud norte y 110.3 Longitud oeste). Los valores máximos de Tair (40.0° C) se observaron a finales del mes de junio con un valor promedio de 30.7° y mínimas de 18.7 ° C, mostrando una tendencia ascendente durante junio y máximos durante julio. La humedad relativa (Hr) mostró valores máximos de 84% a finales de junio asociados con inicio del monzón mexicano. El 20 de julio se observaron máximos de Hr, asociados al inicio del ciclo de precipitaciones en la región.

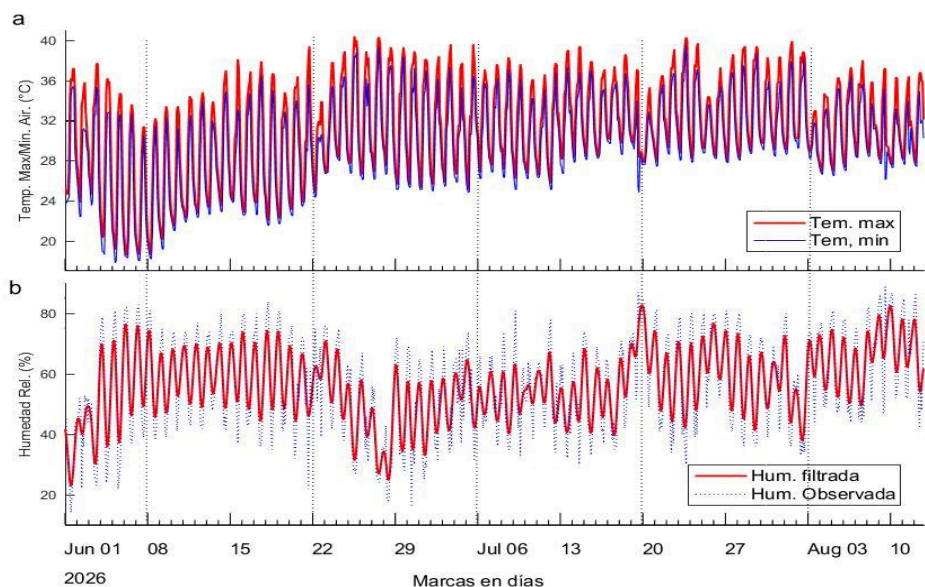


Figura 9.2: Series de tiempo de (a) Temperatura del aire, (b) Humedad Relativa registrados en Estaciones meteorológicas ubicadas al sur de la BLPZ, cubriendo el periodo del 01 de junio al 13 de agosto de 2026.

La Figura 9.3 muestra en (a) las rachas de viento (rojo) en forma de serie de tiempo cubriendo el período analizado (junio-julio) de 2026 y en (b) series en forma de vectores. En el panel (c), las rachas se representan en forma de rosa de vectores. La Rosa de vectores se muestra la diferencia en la dirección de las rachas de viento predominante asociada al inicio del monzón mexicano. En junio-julio del 2026 la dirección predominante fue del noreste (1er., cuadrante). Al inicio del verano, la presencia de canales de baja presión en la región noroeste de México se asocia a la entrada de humedad desde el Pacífico hacia la BLPZ (vectores en negro) con rachas de viento $> 5 \text{ m s}^{-1}$ (en rojo), y direcciones predominantes proveniente del noreste. Los vectores en rojo (Fig. 3c) indican los ejes principales de la dirección de máxima y mínima de la varianza del viento analizada al principio del verano para los 2 años catalogados como años El Niño.

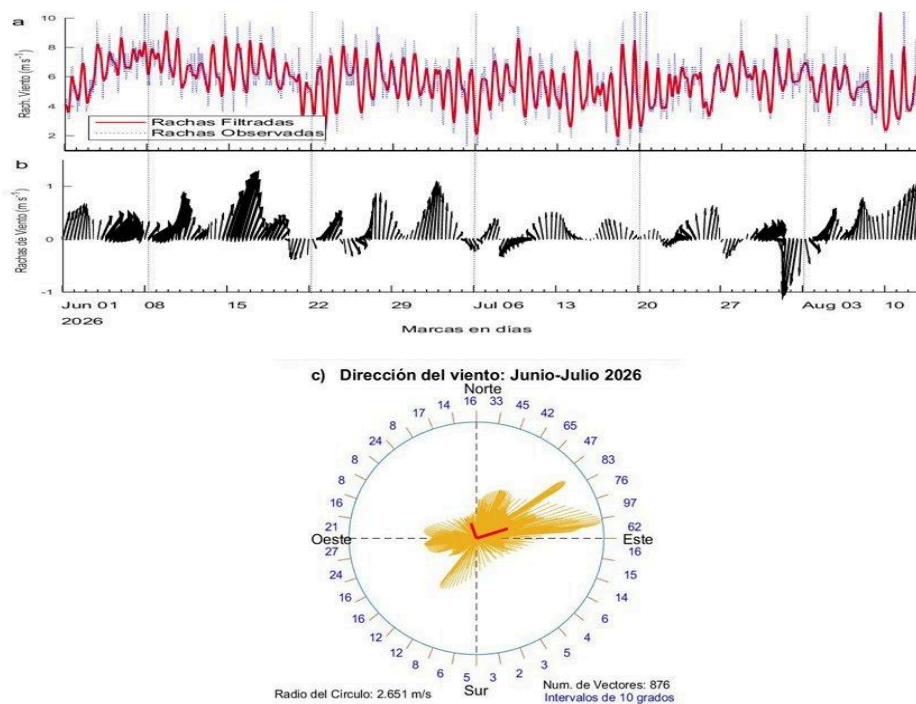


Figura 9.3: Panel (a), series de tiempo de rachas de viento registradas del 01 junio al 13 de agosto (verano) del 2026 (serie suavizada en rojo). En (b) se observan su representación en serie de vectores y en (c) Rosa de vectores de las rachas de viento registradas durante el monzón mexicano del 2026 indicando la frecuencia (cada 10 grados) de los vectores observados. Vectores en rojo indican los ejes principales promedio de la máxima y mínima varianza de la dirección del viento registrada durante el periodo analizado (verano previo a un evento El Niño).

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

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

SEMARNAT, 2014. Programa de manejo 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 junio 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 26.0 °C, valor que presentó una anomalía positiva de 0.8 °C con el promedio histórico del mes. Por su parte, el promedio mensual de la temperatura máxima fue de 34.6 °C, valor que presentó una anomalía negativa de 0.1 °C con respecto al valor histórico de junio. La temperatura mínima promedió 17.3 °C, valor que resultó con una anomalía positiva de 1.7 °C con respecto a datos históricos. La evapotranspiración potencial (ET_o) en el mes de junio promedió 7.5 mm/día. Este mes no se presentó precipitación, mientras que el valor promedio histórico del mes es de 0.6 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 junio 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 junio de 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 junio 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 junio 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 junio de 2026

La [Figura 10.1](#) muestra el comportamiento diario de la temperatura y humedad relativa al mes de junio de 2026. El día 27 de junio se presentó la temperatura más alta dentro del mes con un registro de 39.0 °C, mientras que el día 03 del mes se registró la temperatura más baja con 11.4 °C. El promedio de la humedad relativa máxima para el mes de junio fue de 86.4 %, mientras que la humedad relativa mínima promedió 29.6 %.

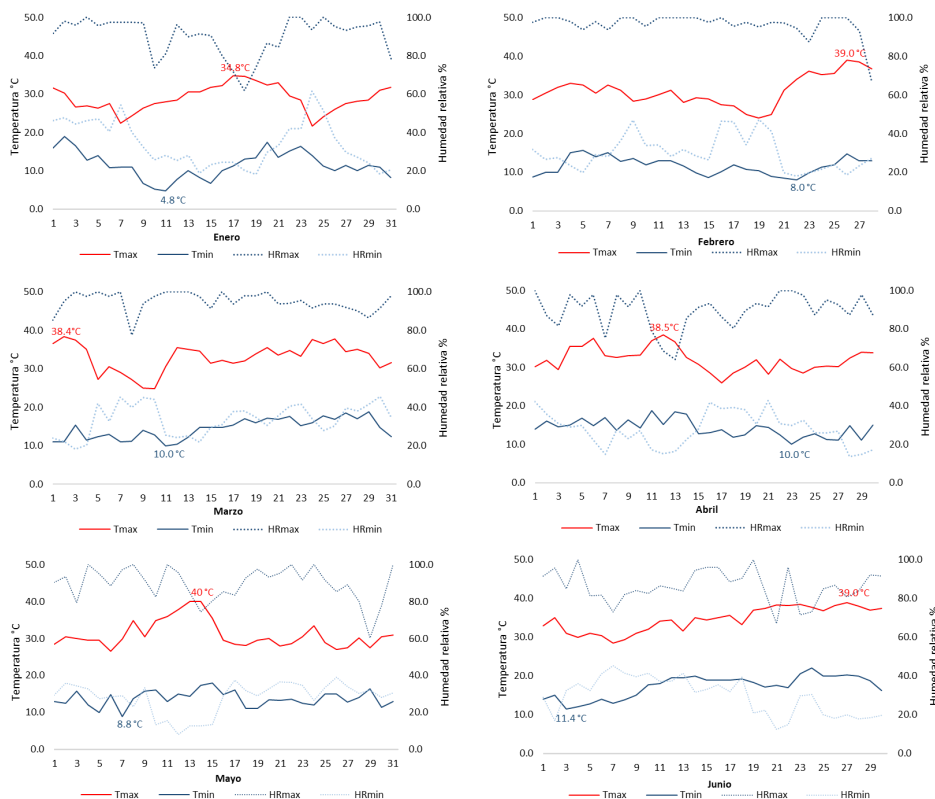


Figura 10.1: Comportamiento de la temperatura y humedad relativa al mes de junio de 2026. Tmax= Temperatura máxima. Tmin= Temperatura mínima. HRmax= Humedad relativa máxima. HRmin= Humedad relativa mínima. Los valores en rojo y azul dentro de cada mes, indican el valor más alto y el más bajo de las temperaturas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

Comportamiento de las temperaturas en junio de 2026 vs registros históricos

El mes de junio de 2026 presentó una temperatura promedio de 26.0 °C (Figura 10.2a), valor que presentó una anomalía positiva de 0.8 °C con respecto al 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 negativa de 0.1 °C, mientras que la segunda presentó una anomalía positiva de 1.7 °C (Figura 10.2b).

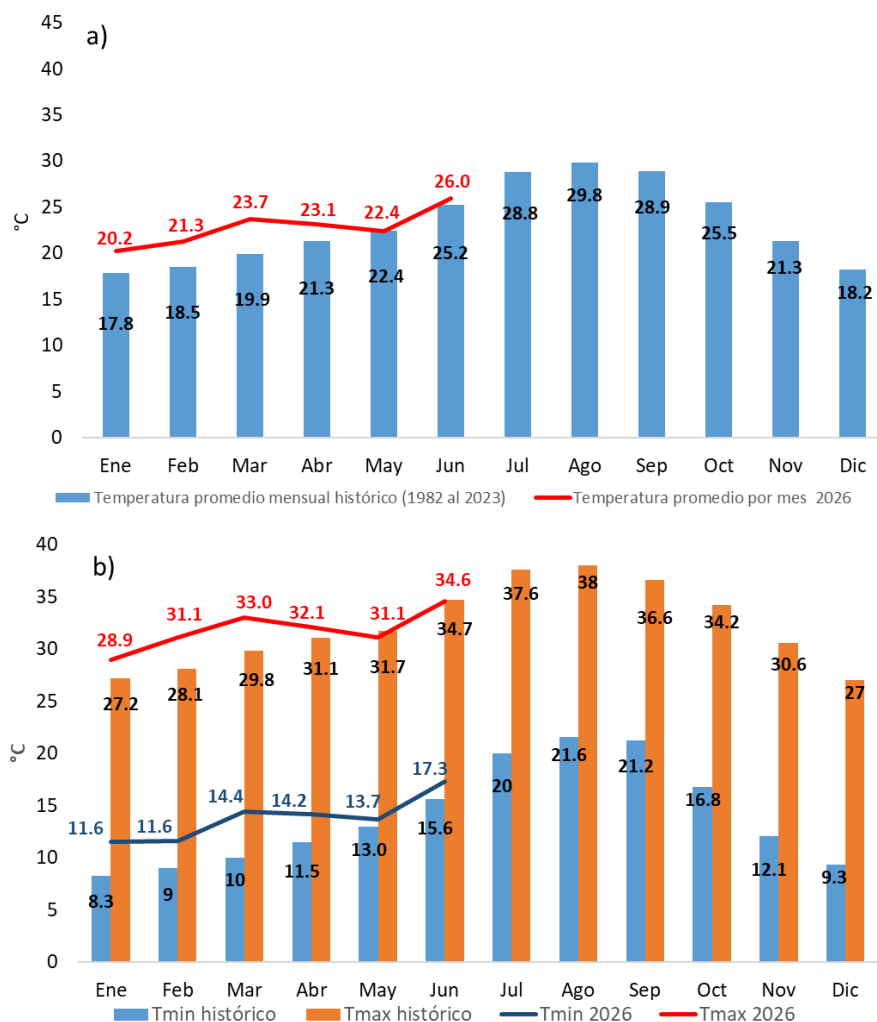


Figura 10.2: a) Comparativo de los promedios mensuales de la temperatura media (periodo 1982-2023) con respecto al registrado en el mes de junio de 2026. b) Comparativo entre promedios de temperaturas máximas y mínimas históricas (1982-2023) con respecto a promedios presentados en el mes de junio de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

Evapotranspiración potencial (ETo) en el mes de junio 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 junio 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 junio de

2026 fue de 7.5 mm/día con una desviación estándar de 1.29 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 mayo de 2026 fue de 75.0 ± 12.9 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.

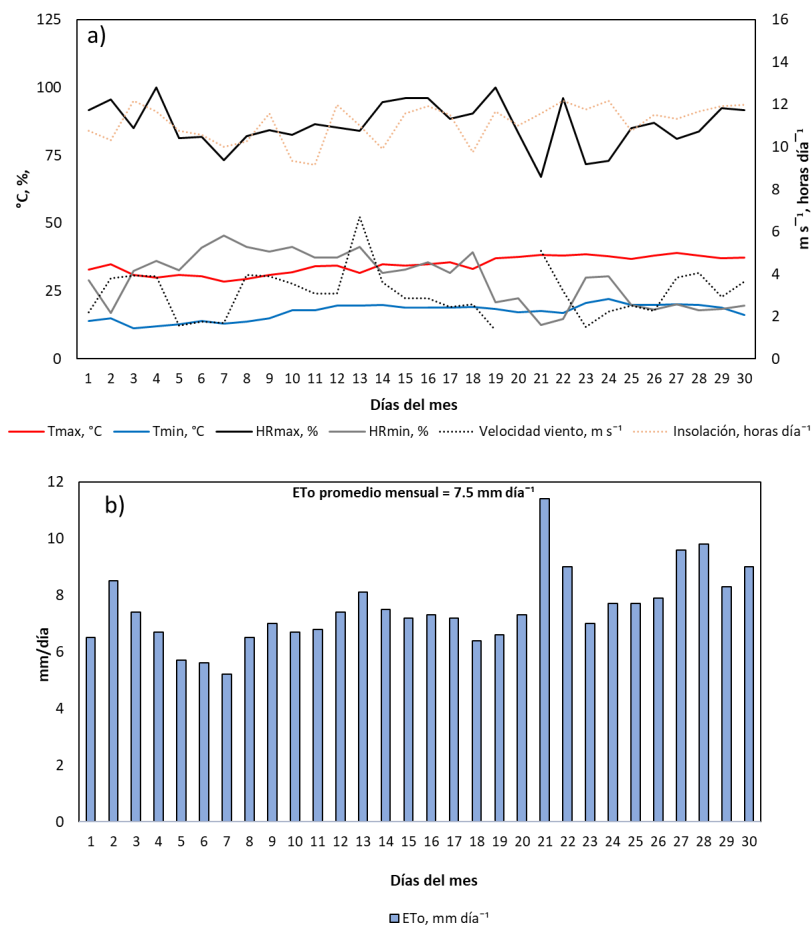


Figura 10.3: a) Comportamiento de la temperatura máxima (Tmax), temperatura mínima (Tmin), humedad relativa máxima (HRmax) y mínima (HRmin), velocidad del viento e insolación en el mes de junio de 2026. b) Comportamiento de la evapotranspiración potencial (ETo) en el mes de junio de 2026.

Precipitación acumulada

Durante el mes de junio de 2026 no se registraron eventos de precipitación (Figura 10.4). El promedio histórico para el mes de junio es de 0.6 mm de acuerdo con datos de la estación (Ruíz et al., 2006).

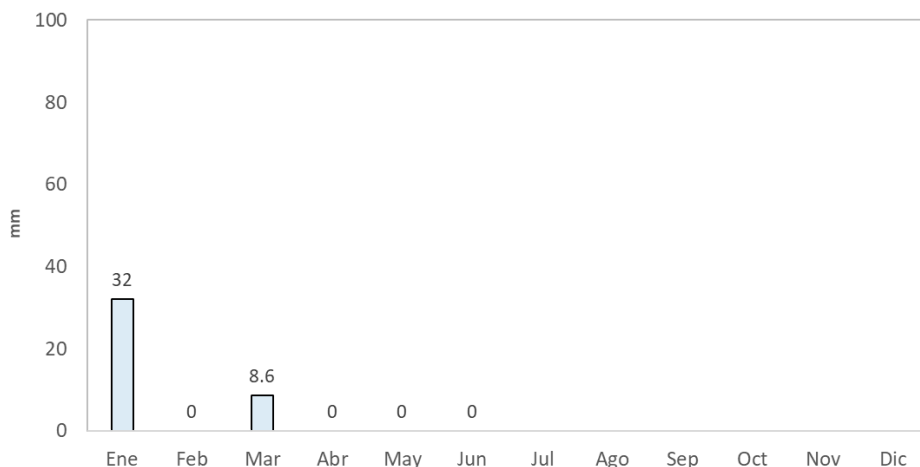


Figura 10.4: Precipitación registrada al mes de junio de 2026.

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 mayo sobre México. De acuerdo al Servicio Meteorológico Nacional (SMN) 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 mayo de 2026 se monitorearon un total de 2 sistemas frontales en México: desde el número 49 hasta el 50.

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=bc>).

Resultados

Durante el mes de mayo se presentaron 2 sistemas frontales: desde el número 49 hasta el número 50 (SMN, 2026). Este valor es menor al promedio de 3.6 frentes en meses de mayo durante el periodo histórico 1990–2020. Ninguno de estos frentes fríos logró aproximarse a la península de Baja California; lo hicieron solamente por el norte, noreste del país o Golfo de México.

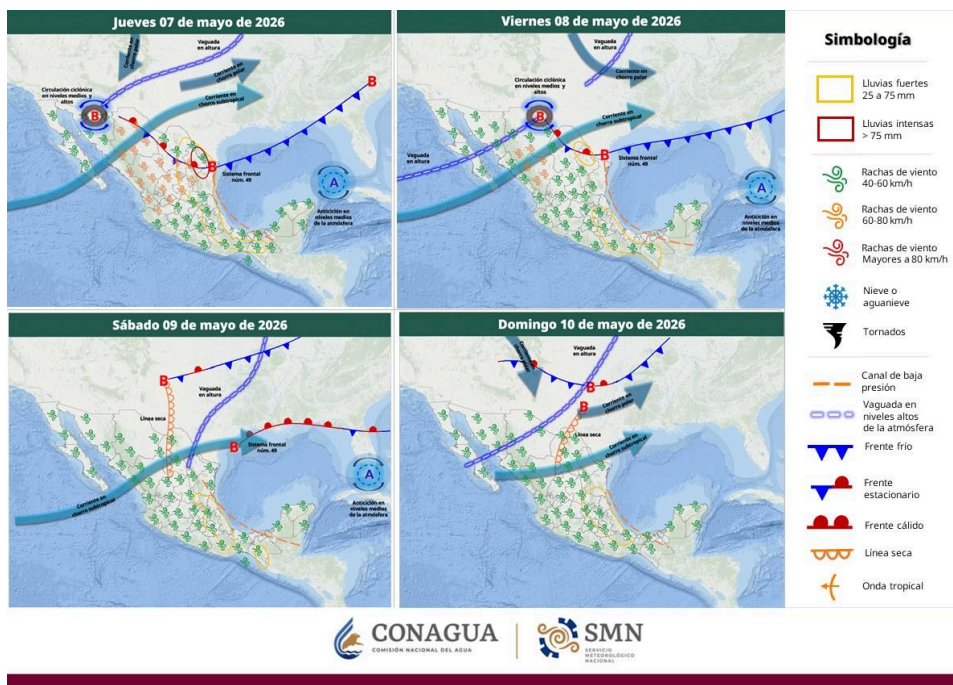


Figura 11.1: Representación gráfica de las condiciones meteorológicas para el 7-9 de mayo en 2026 y que se asocia al frente frío número 49 sobre el noreste de México. La figura se tomó de material proporcionado por el Servicio Meteorológico Nacional.

La [Figura 11.2](#) presenta la evolución diaria de las temperaturas extremas en dos sitios de La Paz: observatorio meteorológico del Servicio Meteorológico Nacional y el despacho meteorológico en el aeropuerto internacional. Tanto las temperaturas máximas como las mínimas estuvieron aumentando desde marzo; después, se nota un aumento de las temperaturas máximas hasta alcanzar un valor de 41.1°C el 15 de mayo. Un factor adicional que se ha analizado es el contenido de humedad en la atmósfera durante el mes de mayo; esto se hace mediante los radiosondeos del SMN en La Paz y se encontró que durante mayo hubo fluctuaciones relevantes que en general indicaron una disminución significativa entre los días 17-19 y que es consistente con una disminución de temperaturas extremas en la

Figura 11.2 además de mantener las máximas con valores menores a 38°C durante el resto del mes.

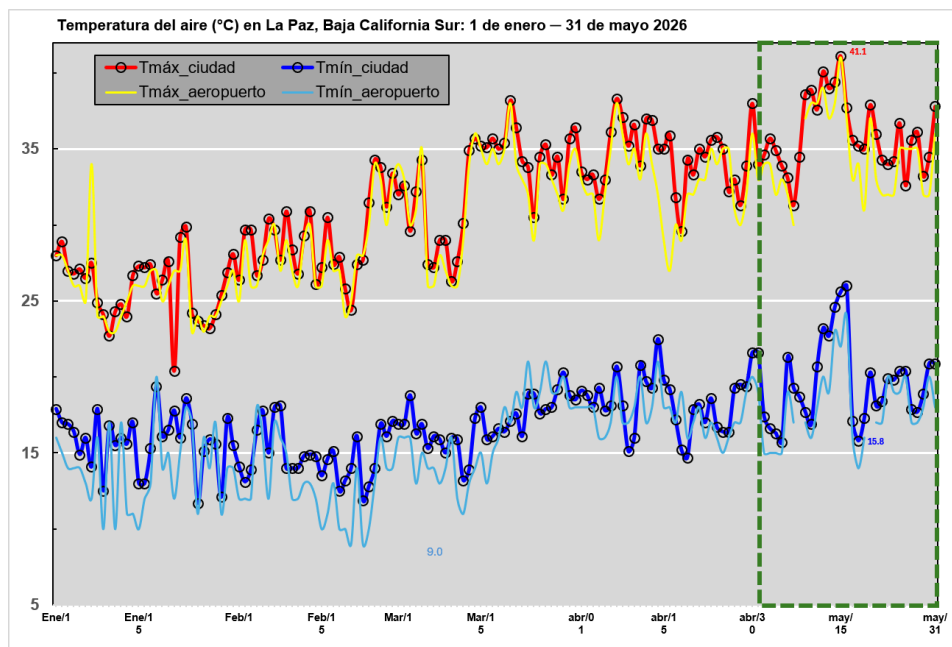


Figura 11.2: Serie de tiempo de temperaturas máximas (Tmáx, °C) y mínimas (Tmín, °C) tanto en la ciudad de La Paz como en su aeropuerto, del 1 de enero al 31 de mayo de 2026. El rectángulo verde indica el periodo de 31 días en mayo.

Durante el mes mayo hubo un periodo de alrededor de una hora que estuvo asociado al desarrollo de lluvias asiladas sobre el sur del estado el día 22 de mayo. El evento pudo ser el resultado de la entrada de aire húmedo desde la zona tropical al sur de la península de Baja California que resultó en los siguientes reportes de acumulación: 0.3 mm en La Paz, 1.0 en San Bartolo, 2.6 en Santiago y 3.0 en La Ribera. Además, hubo reportes de lluvia inapreciable en El Sargento, San Antonio y Santiago. La imagen 11.3 presenta una imagen de radar con la distribución de lluvia en los municipios de Los Cabos y La Paz así como en partes del Océano Pacífico y Golfo de California.

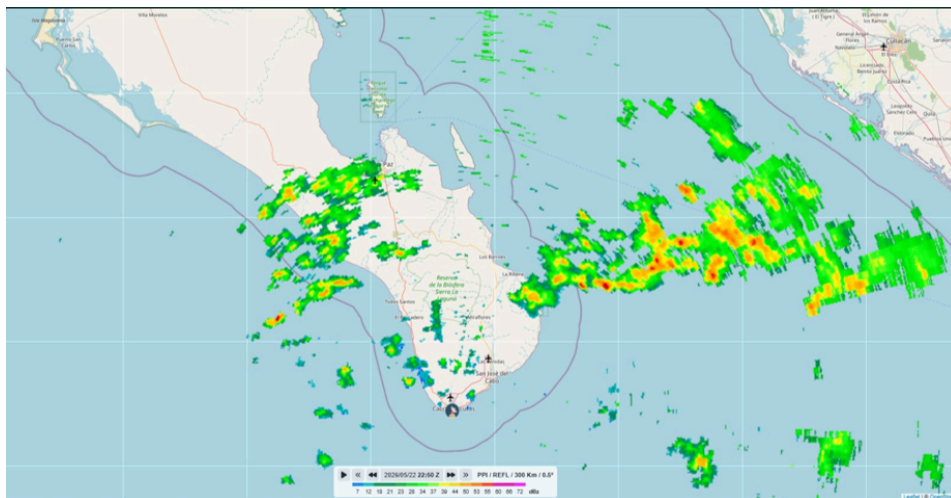


Figura 11.3: Imagen de reflectividad (unidades de dBZ) del radar meteorológico en Cabo San Lucas. La imagen es de la hora local 15:50, del 22 de mayo 2026. Los colores representan regiones con lluvia; en color naranja y rojo las de mayor intensidad. Cortesía del Servicio Meteorológico Nacional.

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: mayo 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-Mayo26.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.

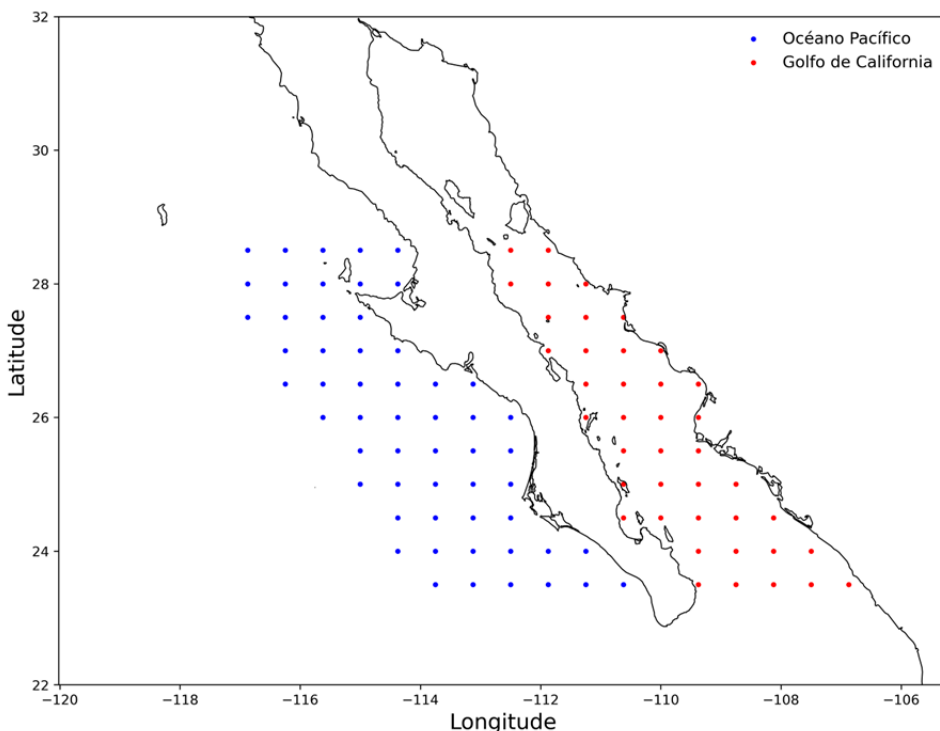


Figura 12.1: Ubicación de las celdas de MERRAS en el Golfo de California y la costa Oeste de la Península de Baja California.

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 $+1.5^{\circ}\text{C}$ y descensos por debajo de -1.5°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.

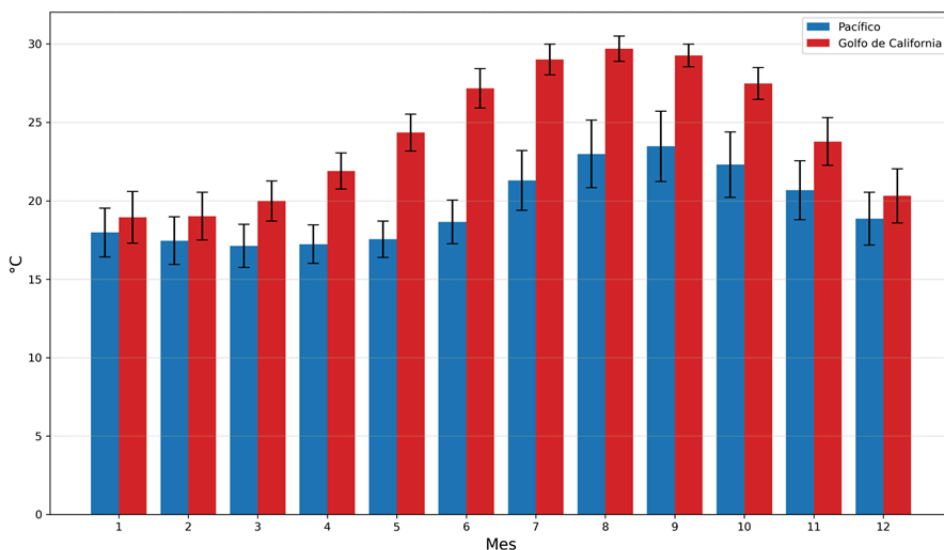


Figura 12.2: Temperatura media por mes y desviación estándar en ambas regiones.

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.

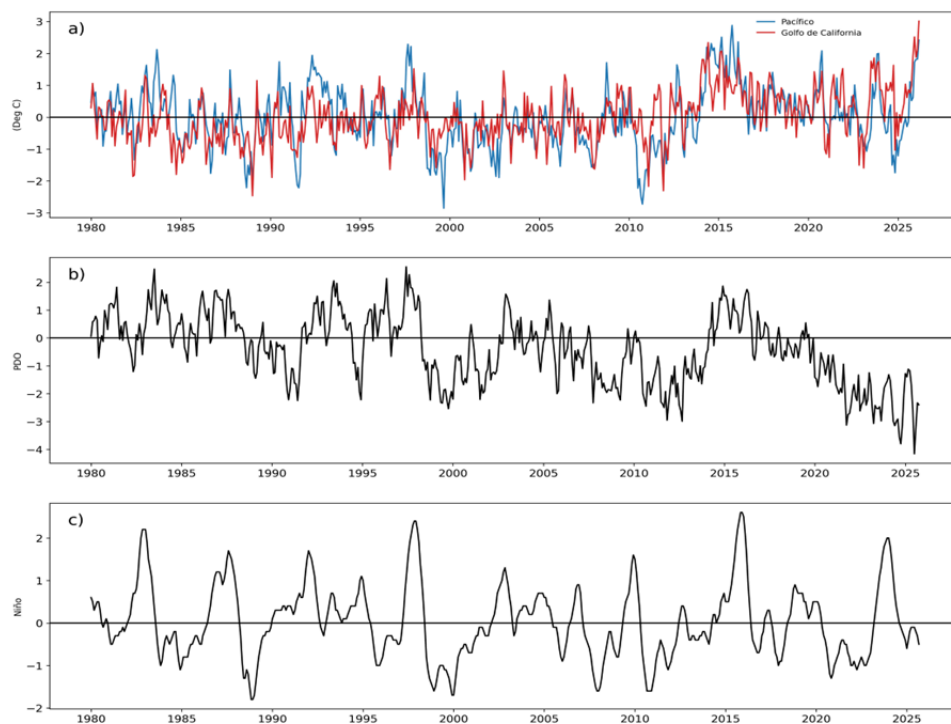


Figura 12.3: (a) Mediana de anomalías mensuales de temperatura del aire a 10 m en el Pacífico y en el Golfo de California de enero de 1980 a marzo de 2026, (b) índice de PDO (c) El Niño índice.

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 ($\approx 2.88^{\circ}\text{C}$), 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 8 | AGOSTO 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



octopicalservant cicese ualp

