

BOLETÍN CLIMÁTICO DE BCS

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

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

novedades del
clima regional

Fotografía de portada y contraportada:
Laboratorio SERVANT

Año 1 | Núm. 2 | febrero 2025

BOLETÍN CLIMÁTICO DE BCS

DIRECTORIO

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

Coordinación

Armando Trasviña Castro trasvi@cicese.mx

Eduardo González Rodríguez egonzale@cicese.mx

Cotsikayala Pacheco Ramírez
Editor

Alfredo Aguirre Estrada
Editor Técnico

ELABORACIÓN

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

Dr. Eduardo González - Rodríguez CICESE-UALP

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

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

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

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

Dr. Hugo Herrera Cervantes - CICESE-U Académica LP

Dr. Luis Manuel Farfán Molina - CICESE-U Académica LP

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

Laboratorio
SERVANT



BOLETÍN CLIMÁTICO DE BCS, año 1, núm. 2, febrero 2025, es una publicación mensual electrónica, editada por el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California. Unidad Académica La Paz, BCS, Miraflores No. 334 e/ Mulegú y La Paz. C.P. 23050. La Paz, BCS, México, cicese.ulp@gmail.com, (612) 121-3031. <<https://ulp.cicese.mx/>>. Editor responsable: Armando Trasviña Castro. ISSN pendiente. Responsable de la última actualización de este número: Cotsikayala Pacheco Ramírez.

BOLETÍN CLIMÁTICO DE BCS

Año 1 | Número 2 | febrero 2025

DOI: pendiente

Novedades del clima regional Contenido

Presentación	3
1. Introducción	
2. Nivel del mar absoluto	
Armando Trasviña Castro	5
3. Temperatura Superficial del Mar, Productividad Primaria y Altimetría satelital	
Eduardo González Rodríguez	12
4. Paisaje Pelágico	
Romeo Saldívar-Lucio	20
5. Monitoreo satelital de florecimientos algales	
Cotsikayala Pacheco Ramírez	25
6. Viento (VTO) in situ	
Jorge Cortés Ramos	31
7. Condiciones meteorológicas en la Bahía de la Paz: período: enero - febrero, 2025	
Hugo Herrera Cervantes	37
8. Temperatura, humedad relativa y evapotranspiración potencial (ETo) en el Valle de Santo Domingo	
José Denis Osuna Amador	42
9. Condiciones Meteorológicas en aeropuertos	
Luis Manuel Farfán Molina	47
10. Temperatura del aire en el Golfo de California	
Carlos Robinson M.	51

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.



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

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

1. Introducción

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

El boletín contiene artículos especializados según la variable de interés. Además en muchos de los artículos se eligieron tres sitios específicos para describir su variabilidad (Figura 1.1): San Juanico (costa occidental, océano pacífico), Bahía de La Paz (costa del golfo de California) y parque nacional Cabo Pulmo (Entrada al Golfo de California). En estas localidades reportamos series de tiempo a partir de datos satelitales, reanálisis (modelos que incorporan observaciones satelitales) y en algunos casos observaciones *in situ*. El área de estudio corresponde al océano costero del estado de BCS (Figura 1.1). Los círculos de colores en la figura 1 indican los sitios de interés en donde presentamos análisis de series de tiempo de diferentes variables, de sur a norte: Entrada al Golfo de California (Parque Nacional Cabo Pulmo), Bahía de La Paz y Golfo de Ulloa (San Juanico).

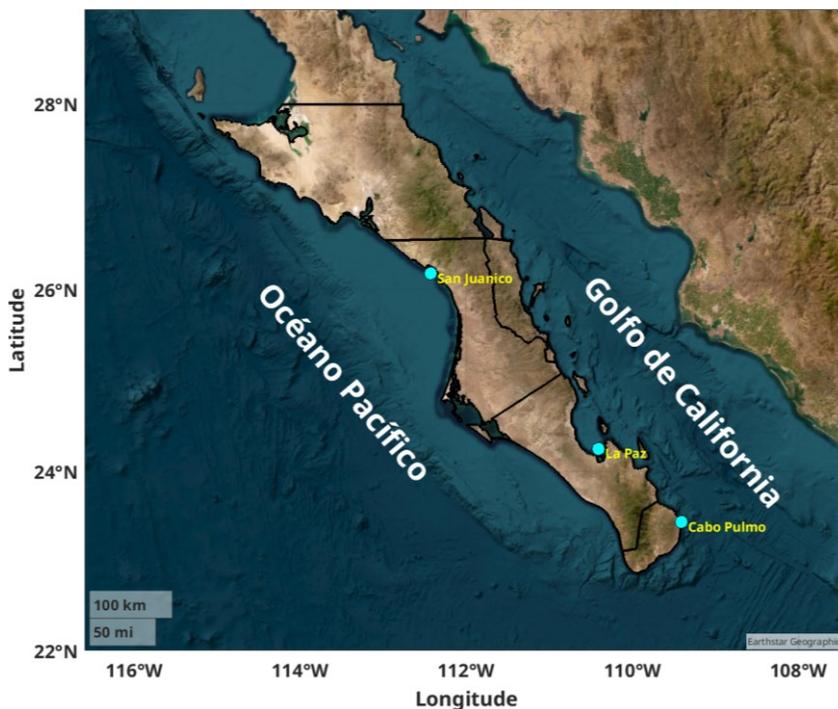


Figura 1.1: Océano costero de Baja California Sur, dentro de la región oceanográfica del Pacífico Tropical Oriental y de la Corriente de California. Los círculos de colores marcan sitios donde presentamos series de tiempo de diferentes variables.

2. Nivel del mar absoluto

Armando Trasviña Castro
trasvi@cicese.mx

Resumen | El análisis de los últimos años del nivel del mar absoluto exhibe los efectos de la Niña 2022, El Niño 2023 y La Niña 2024. En particular, destacamos la transición hacia La Niña del 2024 que precede a las condiciones frías de los primeros meses de 2025. En este invierno de 2025 hay reportes de la ocurrencia de especies en sitios inesperados, particularmente hay Ballena Gris en el interior del Golfo de California, desde Cabo Pulmo hasta el Parque Nacional Bahía de Loreto. Abajo destaco dos noticias.

1. Presencia de ballena gris en el Parque Nacional Cabo Pulmo

<https://oem.com.mx/elsudcaliforniano/local/sorprendente-avistamiento-de-ballenas-grises-en-cabo-pulmo-21790056>

2. Ausencia de tiburón ballena en la Bahía de La Paz

<https://www.diarioel Independiente.mx/2025/03/continuan-suspendidas-las-actividades-recreativas-con-el-tiburon-ballena-en-la-bahia-de-la-paz>

Los cambios en la distribución de la megafauna marina representa solo uno de los impactos de las anomalías que estamos reportando en este boletín.

Introducción

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

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

Esta variable permite visualizar la variación debida a la expansión y contracción del nivel del mar debidas al calentamiento y enfriamiento estacional. Se aprecian las variaciones interanuales debidas a fenómenos tipo El Niño/La Niña, y la tendencia de largo período debida al calentamiento global. Desde luego también incluye la influencia en el nivel del mar de eventos transitorios, como el paso de huracanes o tormentas.

Área de estudio

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

Los diagramas de evolución en el tiempo (tiempo vs latitud, también conocidos como diagramas de Hovmoller), abarcan desde la entrada al Golfo de California (23 latitud N) hasta

el Alto Golfo de California, mientras que por la costa del Pacífico, llegan hasta el puerto de Ensenada (30 latitud N).

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

Metodología

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

Esta información se descarga de dos bases de datos:

Global Ocean Gridded L 4 Sea Surface Heights And Derived Variables Reprocessed 1993 Ongoing

Product ID SEALEVEL_GLO_PHY_L4_MY_008_047

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

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

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

1.

Global Ocean Gridded L 4 Sea Surface Heights And Derived Variables Nrt

G

Product ID SEALEVEL_GLO_PHY_L4_NRT_008_046

https://data.marine.copernicus.eu/product/SEALEVEL_GLO_PHY_L4_NRT_008_046/description

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

Resultados

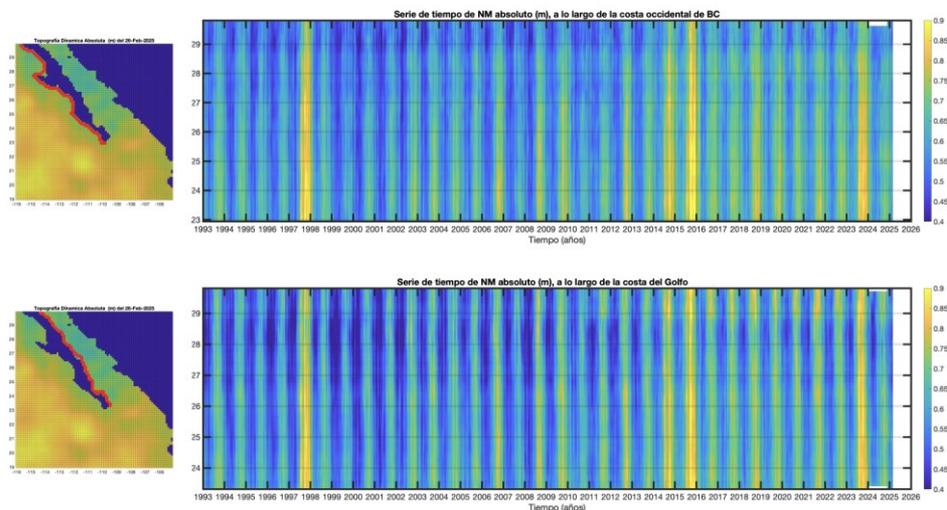


Figura 2.1: Evolución del nivel del mar (NM absoluto) a lo largo de las dos costas de la península de BC desde enero de 1993 hasta febrero de 2025. Arriba: costa occidental; abajo: costa del Golfo de California.

Estos diagramas muestran la evolución del nivel del mar absoluto (NMA) a lo largo de la costa (Figura 2.1). Las unidades son metros (m) y destacan los máximos que corresponden a eventos cálidos, en tonos amarillos. El mapa de la zona muestra el campo promedio mensual del nivel del mar para el 26 de febrero de 2025.

La variación estacional se nota en los contrastes entre invierno y verano. En invierno (tonos azules) desciende y en verano (tonos amarillos) se eleva. El rango estacional es de alrededor de 0.5 m, aunque existen diferencias interanuales y también entre ambos lados de la península. En la costa del Golfo de California (panel inferior) casi todos los años el nivel del mar desciende más que en la Costa Occidental, por esto los tonos azules son un poco más intensos.

También podemos observar que en Alto Golfo de California (parte alta del panel inferior) los máximos extremos (> 0.85 en amarillo) se vuelven más comunes de 2014 a la fecha.

La variabilidad interanual se destaca, por ejemplo en los eventos cálidos (en amarillo) El Niño de 1997-1998, El Blob cálido de 2014, El Niño de 2015 y El Niño de 2023 (Peng et. al, 2024) que, es importante destacar, alcanza una elevación anómala comparable con la del 2015. El año de 2023, fue más intenso (más amarillo) en el interior del Golfo de California (panel inferior) que en la Costa Occidental (panel superior).

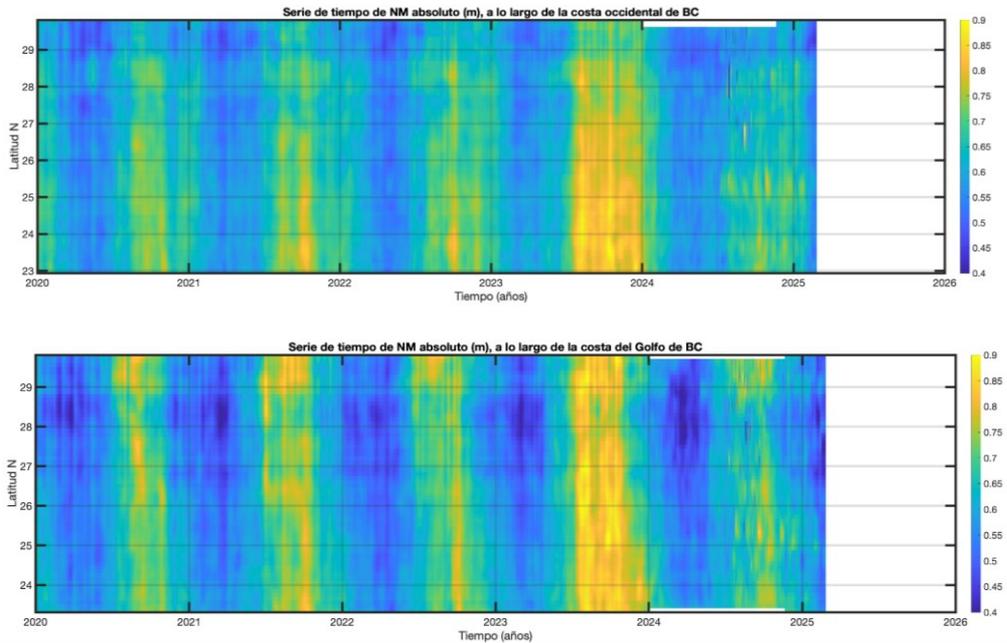


Figura 2.2: Los últimos años de la evolución del nivel del mar (NM absoluto) a lo largo de las dos costas de la península de BC desde enero de 2020 hasta febrero de 2025. Arriba: costa occidental; abajo: costa del Golfo de California.

La [Figura 2.2](#) muestra con mayor detalle el comportamiento estacional del año 2020 al presente. En el semestre de invierno ambas costas muestran el descenso del nivel del mar (tonos azules), siempre más pronunciado en el Golfo de California. El mes de julio es típicamente cuando ocurre el máximo (tonos amarillos). Por ejemplo, en el verano de 2023 el máximo es muy intenso debido al fenómeno cálido del Niño. Este antecede al verano débil de 2024 que coincide con el inicio del evento frío de La Niña.

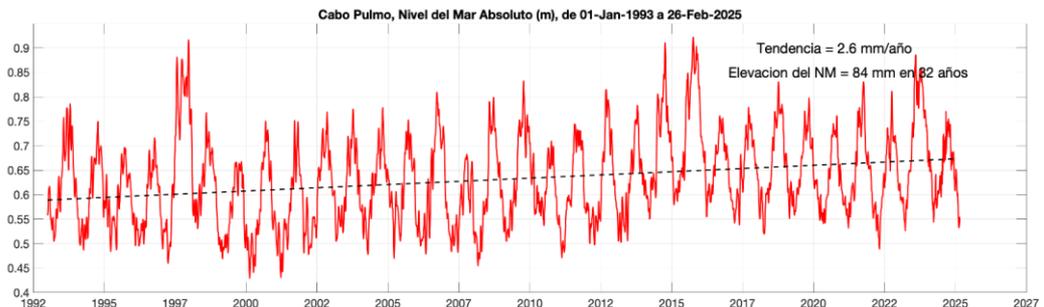


Figura 2.3: Nivel del mar absoluto (m) en Cabo Pulmo, BCS. Inicia en enero de 1993 y termina en febrero de 2025. Incluye el nivel del mar con referencia al geode y la tendencia de largo período debida al calentamiento global. Este sitio representa la variabilidad de la entrada al Golfo de California.

La **Figura 2.3** contiene la serie de tiempo del nivel del mar absoluto (m) en Cabo Pulmo, desde enero de 1993 hasta febrero de 2025. La variación estacional consiste en la elevación del nivel del mar en verano y el descenso en invierno. Sin embargo, destacan los máximos de 1997-1998, asociado a un evento de El Niño, el de 2014 debido al Blob cálido, y el de 2015 debido a otro evento El Niño. El año 2023 se encuentra entre los máximos del registro por 2 razones: a) el evento El Niño que calentó el Pacífico Tropical Oriental y, b) el incremento del nivel del mar por calentamiento global. Ambos fenómenos contribuyen a la elevación del nivel del mar que se reporta aquí. El incremento del nivel del mar debido al calentamiento global en esta localidad tiene una tendencia de 2.6 mm/año, para un total de 84 mm en los 32 años de registro.

Es importante notar que durante el verano de 2024 sólo se alcanza un máximo débil. Uno de los más débiles del registro. Y a esto le sigue la caída estacional del nivel del mar rumbo al invierno. La respuesta que observamos aquí no es exclusiva de la zona costera. Este sitio es representativo de la Entrada al Golfo de California.

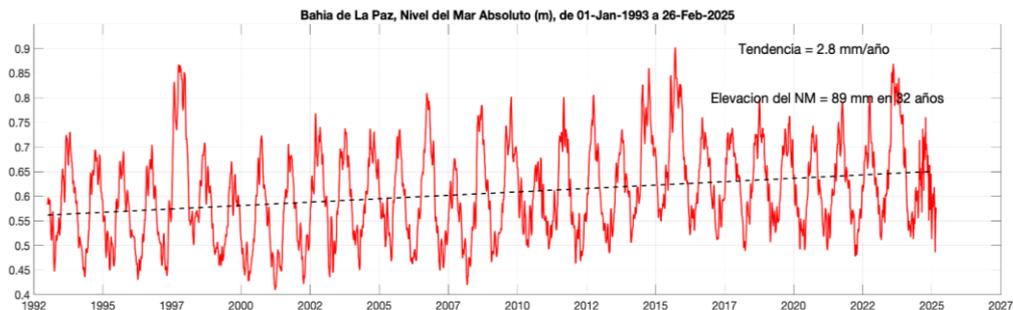


Figura 2.4: Nivel del mar absoluto (m) en la bahía de La Paz, BCS. Inicia en enero de 1993 y termina en febrero de 2025. Incluye el nivel del mar con referencia al geoide y la tendencia de largo período debida al calentamiento global.

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 febrero de 2025.

Su variación estacional 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 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 2.8 mm/año, para un total de 89 mm en los 32 años de registro.

En julio de 2024 el nivel del mar alcanza un débil máximo de verano, mucho menor que el verano de 2023 y comparable solamente con el verano de 2010 en los 32 años del registro.

En febrero de 2025 se alcanza un mínimo comparable con los más extremos del registro, aunque aún falta parte del invierno.

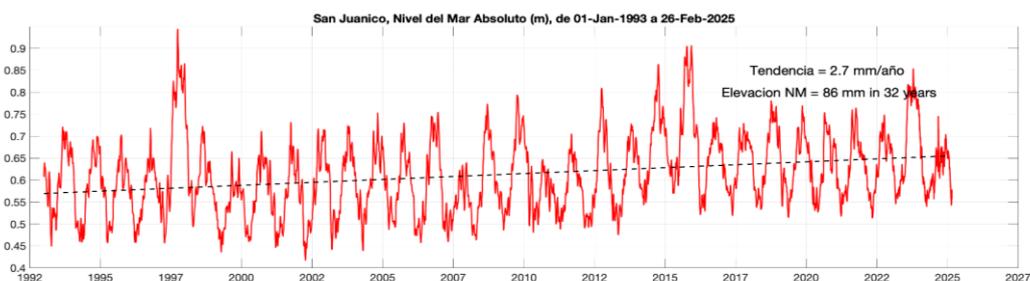


Figura 2.5: Nivel del mar absoluto (m) en la San Juanico, BCS, costa pacífico norte de BCS. Inicia en enero de 1993 y termina en febrero de 2025. Incluye el nivel del mar con referencia al geode y la tendencia de largo periodo debida al calentamiento global. Este sitio representa la variabilidad del 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 febrero de 2025. La variación estacional consiste en la elevación del nivel del mar en verano y el descenso en invierno. Sin embargo, destacan los máximos de 1997-1998, asociado a un evento de El Niño, el de 2014 debido al Blob cálido, y el de 2015 debido a otro evento El Niño.

En esta localidad, a diferencia de La Paz y Cabo Pulmo, el año 2023 no destaca como uno de los máximos del registro. Esto se debe a que el evento El Niño no ejerció tanta influencia a esta latitud de la costa occidental de Baja California.

El incremento del nivel del mar debido al calentamiento global en esta localidad tiene una tendencia de 2.7 mm/año, para un total de 86 mm en los 32 años de registro. El mes de julio

de 2024 registra un débil máximo de verano, con los máximos de nivel del mar absoluto no superan elevaciones de 0.6 m, excepto por un evento aislado.

Discusión

Estos primeros meses de 2025 son claramente anómalos en términos de nivel del mar, temperatura del mar y otras variables oceanográficas (Figura 3.4, Figura 3.5 y Figura 3.6). Al mismo tiempo hemos recibido reportes de ocurrencia de especies marinas en sitios inusuales. Abajo destaco dos noticias.

3. Presencia de ballena gris en el Parque Nacional Cabo Pulmo

<https://oem.com.mx/elsudcaliforniano/local/sorprendente-avistamiento-de-ballenas-grises-en-cabo-pulmo-21790056>

4. Ausencia de tiburón ballena en la Bahía de La Paz

<https://www.diarioelindependiente.mx/2025/03/continuan-suspendidas-las-actividades-recreativas-con-el-tiburon-ballena-en-la-bahia-de-la-paz>

Los cambios en la distribución de la megafauna marina es solo uno de los efectos de las anomalías oceanográficas, seguramente habrá otros.

Referencias

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

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

Eduardo González Rodríguez
egonzale@cicese.mx

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

Introducción

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

Área de estudio

El área de estudio corresponde a las aguas oceánicas frente a las costas del estado de BCS, comprendidas en el cuadrante -120 a -108 de longitud y 22 29 de latitud ([figura 1.1](#)). Los círculos de color cian en la figura 1 indican los sitios de interés en donde se hicieron análisis de series de tiempo para las variables PPN, TSM y Altimetría, de sur a norte, parque nacional

Cabo Pulmo, La Paz y en San Juanico.

Metodología

Temperatura Superficial del Mar (TSM). El término TSM se refiere a la capa o piel del océano y representa la temperatura de la capa subsuperficial a una profundidad entre 10–20 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). Es un producto global que no presenta huecos por nubosidad con una resolución temporal diaria y espacial de 1x1 km (Chin et al., 2017) (<https://doi.org/10.5067/GHGMR-4FJ04>), accedido el 5 de marzo de 2025.

Productividad Primaria(PP). La PP es el producto de la fijación de carbono por parte de las plantas a través de la fotosíntesis, es el resultado del total del carbono producido (bruto) menos el utilizado para la respiración. La PP utilizada es derivada de información satelital y está basada en el modelo generalizado de producción vertical propuesto por [Behrenfeld y Falkowski](#) (1997) y está basado en las estimaciones de clorofila satelital. Es un producto mensual proporcionado por el Copernicus Marine Environment Monitoring Service (CMEMS, <https://doi.org/10.48670/moi-00281>, Garnesson et. al. 2019) con una resolución espacial de 4x4 km, accedido el 5 de marzo de 2025.

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

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

Análisis de series de tiempo

Para el análisis de series de tiempo se seleccionaron, el parque nacional Cabo Pulmo (-109.41, 23.435), Bahía de La Paz (-110.41, 24.25) y San Juanico, BCS (-112.43, 26.17). Las series resultantes corresponden a los valores mensuales a partir de 2002 hasta la fecha (marzo de 2025), así como las anomalías de las variables a lo largo del tiempo.

Adicionalmente, se descargaron los datos mensuales para el periodo 2002-2024 del índice multivariado de El Niño versión 2 (MEI, <https://psl.noaa.gov/enso/mei/>) con la intención de ver una posible relación de este índice y las series de las variables.

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

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

Todo el procesado de la información, recorte, generación de series de tiempo, cálculo de climatologías y anomalías, generación de mapas se llevó a cabo con el lenguaje de programación Matlab 2021a.

Resultados

Mapas mensuales de distribución

Temperatura Superficial del Mar (TSM). Las condiciones de TSM durante el mes de febrero de 2025 se muestran en la [Figura 3.1](#). El mapa del panel A muestra las temperaturas promedio registradas, cuyo rango estuvo entre 15.03 y 22.22 °C, valores ligeramente menores respecto a los de enero (15.15 y 22.86 °C). El panel B muestra las anomalías con respecto al promedio histórico o climatológico de datos desde 2002, el rango de febrero estuvo entre -2.63 y 0.63 °C, rango mayor en comparación a los valores de -3.21 y 0.26 °C del mes anterior. En términos generales, febrero fue un mes con anomalías negativas, dominando toda la región del pacífico y la entrada al Golfo de California, la parte central del golfo presentó condiciones cercanas al promedio o ligeramente positivas. Destacan las anomalías negativas menores a -3 °C en la región cercana a la costa occidental, al sur de los 24 °N.

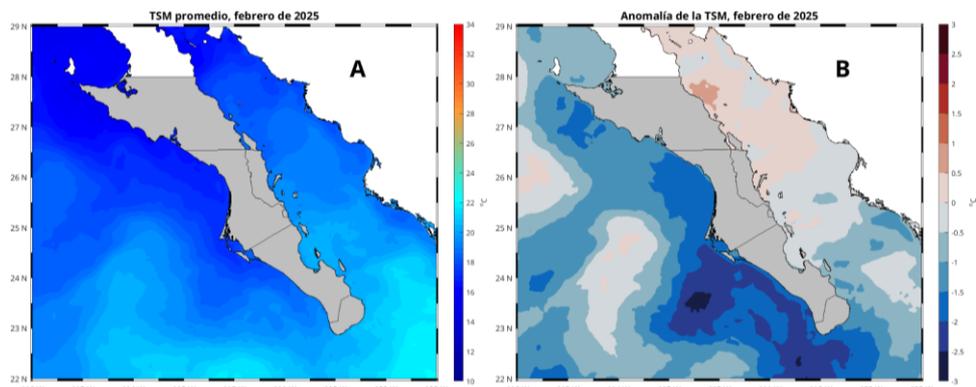


Figura 3.1. Condiciones de TSM durante el mes de febrero de 2025. Panel A, condiciones mensuales promedio y panel B, anomalías mensuales

Productividad Primaria (PP). Las condiciones de PP durante febrero de 2025 se presentan en la [Figura 3.2](#). El mapa del panel A muestra la PP promedio registrada, cuyo rango estuvo entre 316 y 4721 $\text{mg C m}^2 \text{ d}$, valores mayores respecto a los de enero (301 y 3902 $\text{mg C m}^2 \text{ d}$). El panel B muestra las anomalías con respecto al promedio histórico o climatológico de datos desde 2002, el rango de enero estuvo entre -330 y 1982 $\text{mg C m}^2 \text{ d}$, rango mayor en comparación a los valores de -460 y 1725 $\text{mg C m}^2 \text{ d}$ del mes anterior. En términos generales, febrero fue un mes con anomalías positivas, dominando toda la región, principalmente toda la región costera, la entrada al Golfo de California presentó condiciones ligeramente negativas.

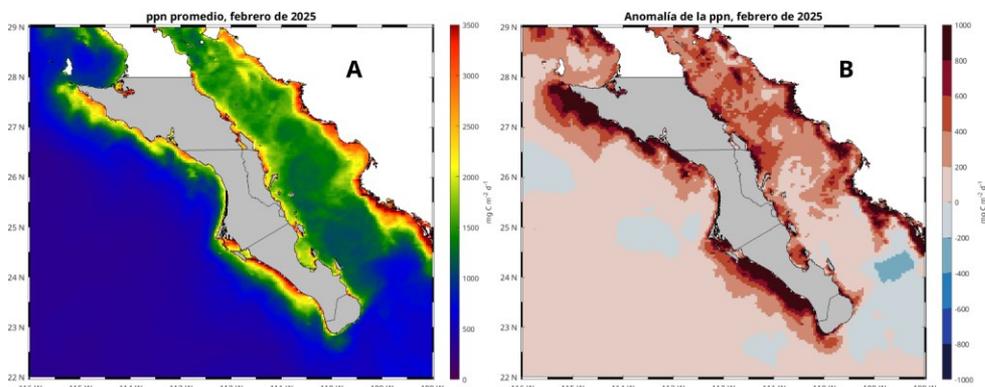


Figura 3.2. Condiciones de PPN durante el mes de febrero de 2025. Panel A, condiciones mensuales promedio y panel B, anomalías mensuales.

Altimetría (ADT, SLA y CORR). Las condiciones de altimetría durante febrero de 2025 se presentan en la [Figura 3.3](#). El mapa del panel A muestra el promedio de la denominada altura dinámica (ADT), su rango se ubicó entre 0.41 y 0.77 m, valores similares respecto a los de enero de 0.47 y 0.77 m. El panel B muestra las anomalías del nivel del mar (SLA) con

respecto al promedio climatológico, sus valores se ubicaron entre -0.08 y 0.16 m, similar a los -0.02 y 0.15 m de enero. Las corrientes se pueden observar, tanto en el panel A como en el B, ya que están superpuestas a la ADT y SLA, su velocidad se ubicó entre 0.003 y 0.5 $m\ s^{-1}$. En la costa occidental, la circulación es de norte a sur paralela a la costa, mientras que dentro del golfo, se observan estructuras tipo remolinos. En términos generales, la ADT es negativa dentro del Golfo de California y positiva en la costa continental.

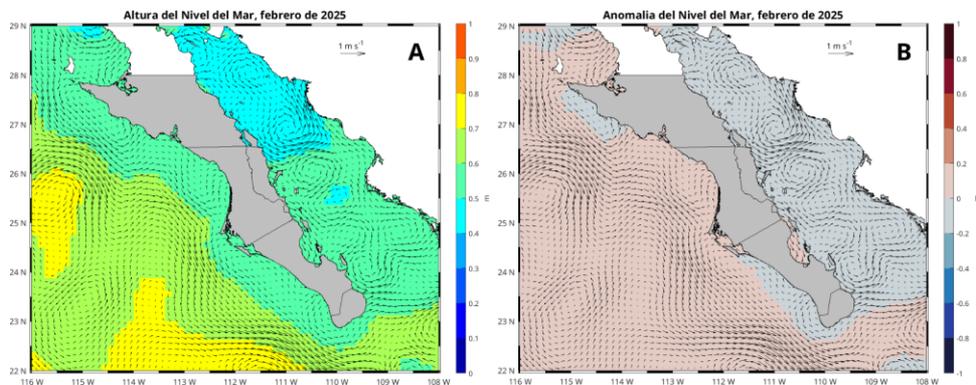


Figura 3.3. Condiciones de altimetría durante el mes de febrero de 2025. Panel A, condiciones promedio de altura del mar (ADT) y panel B, anomalías del nivel del mar (SLA), en ambos casos con las corrientes geostróficas (CORR) superpuestas.

Series de tiempo

El análisis de series de tiempo sobre los tres sitios seleccionados, Cabo Pulmo, La Paz y San Juanico se describe a continuación.

Cabo Pulmo. Las condiciones climatológicas y de anomalías de TSM, PPN y SLA a lo largo del tiempo (2002- 2025) se muestran en la [Figura 3.4](#). En febrero de 2025 (panel A, círculo verde), la TSM tuvo un valor promedio de 20.5 $^{\circ}C$, por debajo de su valor climatológico de 21.5 $^{\circ}C$, menor respecto a los 20.6 $^{\circ}C$ de enero. Las anomalías (panel B), se han mantenido negativas desde noviembre de 2024, al parecer como una respuesta a los valores negativos del MEI, cuyo valor a febrero de 2025 es de -0.83 . La PP presentó un valor de 1755 $mg \cdot C\ m^{-2}\ d^{-1}$, muy por encima de su valor climatológico de 1224 $mg \cdot C\ m^{-2}\ d^{-1}$ (panel C, círculo verde); menor en comparación con enero, que tuvo un valor de 2132 $mg \cdot C\ m^{-2}\ d^{-1}$. Desde julio de 2024 las anomalías se han mantenido positivas (paneles C y D), pero especialmente los tres últimos meses con valores muy altos. Al parecer, el efecto de los valores negativos del MEI por siete meses seguidos (típicos de La Niña) ya se reflejan en un aumento de los niveles de PP. En enero de 2025, las anomalías del nivel del Mar (SLA), registraron un valor de -0.026 m, inferior a su valor climatológico de -0.01 m ([Figura 3.4](#), paneles E y F), menor en comparación con enero (0.036 m), retomando la tendencia negativa que se asocia con La Niña.

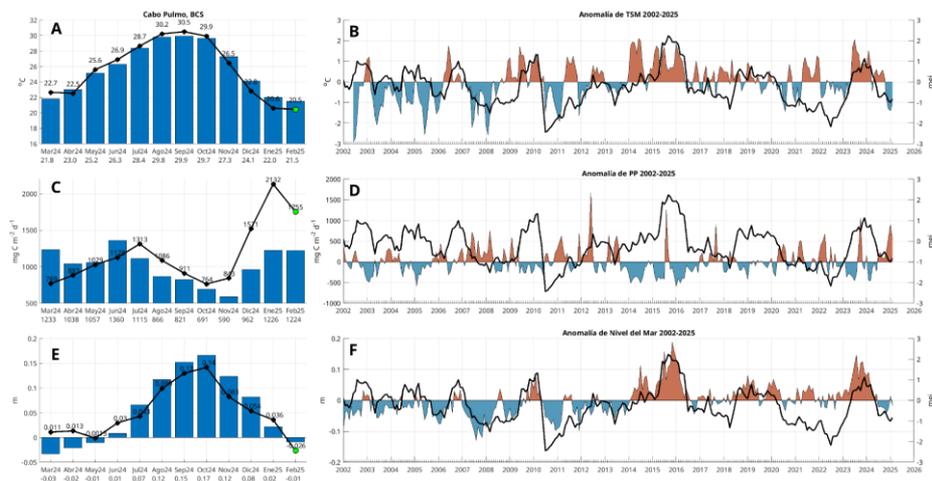


Figura 3.4. Condiciones climatológicas y de anomalías en Cabo Pulmo para TSM, PPN y SLA a lo largo del tiempo (2002- 2025). Las barras en los paneles A, C y E, muestran las climatologías mensuales, las líneas negras con círculos indican los valores de los últimos 12 meses (hasta febrero de 2025, círculo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

La Paz. Las condiciones climatológicas y de anomalías de TSM, PPN y SLA a lo largo del tiempo (2002- 2025) se muestran en la [Figura 3.5](#). En febrero de 2025 (panel A, círculo verde), la TSM tuvo un valor promedio de 20.2 °C, ligeramente por debajo de su valor climatológico de 20.6 °C, menor respecto a los 20.9 °C de enero. Las anomalías (panel B), se han mantenido negativas desde julio de 2024, al parecer como una respuesta a los valores negativos del MEI, cuyo valor a enero de 2025 es de -0.83. La PPN presentó un valor de 1982 mg·C m⁻² d⁻¹, mayor a su valor climatológico de 1548 mg·C m⁻² d⁻¹ (panel C, círculo verde); prácticamente igual al de enero de 1985 mg·C m⁻² d⁻¹. Desde julio de 2024 las anomalías se han mantenido positivas (paneles C y D) Al parecer, el efecto de los valores negativos del MEI por más de siete meses seguidos (típicos de La Niña) ya se reflejan en un aumento de los niveles de PPN. En febrero de 2025, las anomalías del nivel del Mar (SLA), fueron marginalmente positivas con un valor de 0.0018 m, respecto a su valor climatológico de -0.01 m ([Figura 3.5](#), paneles E y F), menor en comparación con enero (0.029 m), primer valor positivo en ocho meses, rompiendo la tendencia negativa que se asocia con La Niña.

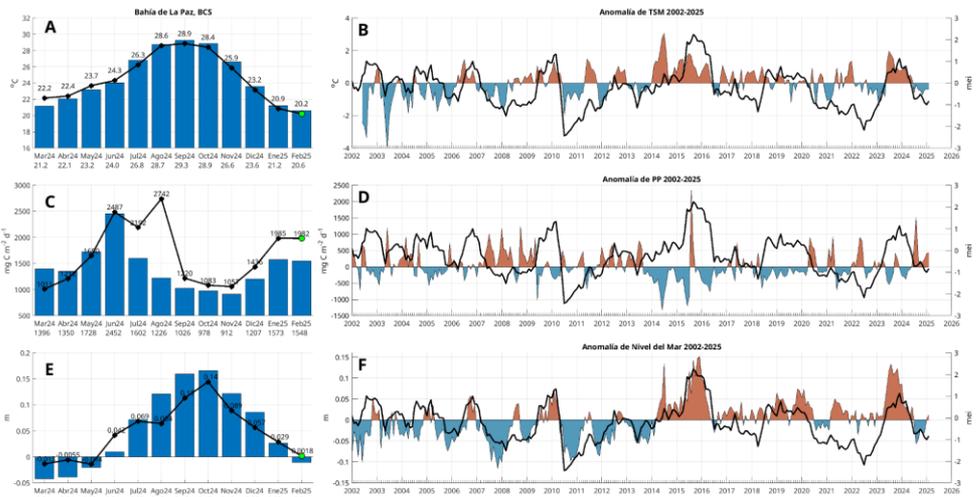


Figura 3.5. Condiciones climatológicas y de anomalías de TSM, PPN y SLA a lo largo del tiempo (2002- 2025). Las barras en los paneles A, C y E, muestran las climatologías mensuales, las líneas negras con círculos indican los valores de los últimos 12 meses (hasta febrero de 2025, círculo verde), los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

San Juanico. Las condiciones climatológicas y de anomalías de TSM, PPN y SLA a lo largo del tiempo (2002- 2025) se muestran en la Figura 3.6. En febrero de 2025 (panel A, círculo verde), la TSM tuvo un valor promedio de 16.9 °C, por debajo de su valor climatológico de 18.3 °C, menor respecto a los 17.7 °C de enero. Las anomalías (panel B), se han mantenido negativas desde abril de 2024, al parecer como una respuesta a los valores negativos del MEI, cuyo valor a enero de 2025 es de -0.83. La PPN presentó un valor de 2038 mg-C m⁻² d⁻¹, mayor a su valor climatológico de 1575 mg-C m⁻² d⁻¹ (panel C, círculo verde); mayor en comparación con enero, que tuvo un valor de 1486 mg-C m⁻² d⁻¹. Desde mayo de 2024 las anomalías se han mantenido positivas (paneles C y D) Al parecer, el efecto de los valores negativos del MEI por siete meses seguidos (típicos de La Niña) ya se reflejan en un aumento de los niveles de PPN. En febrero de 2025, las anomalías del nivel del Mar (SLA), fueron marginalmente positivas con un valor de 0.0003 m, pero negativas respecto a su valor climatológico de 0.03 m (Figura 3.6, paneles E y F), menor en comparación con enero (0.083 m), retornando a la tendencia negativa que se asocia con La Niña desde 2024.

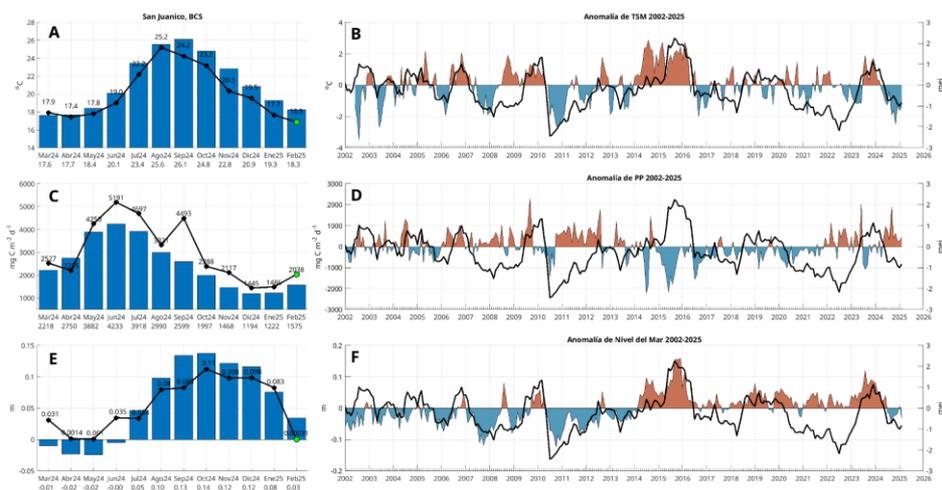


Figura 3.6. Condiciones climatológicas y de anomalías de TSM, PPN y SLA a lo largo del tiempo (2002- 2025). Las barras en los paneles A, C y E, muestran las climatologías mensuales, las líneas negras con círculos indican los valores de los últimos 12 meses (hasta febrero de 2025, círculo verde), los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

Discusión

Tanto los resultados de los mapas de distribución de TSM, PP y Altimetría como los análisis de series de tiempo indican que las condiciones de la región son de tendencia a condiciones anómalamente frías, con temperaturas por debajo de condiciones normales. Esto repercute en un aumento en los niveles de PP y en una disminución del nivel del mar. Los datos del MEI indican que desde 2024 se han presentado condiciones del tipo La Niña, que sería la razón del enfriamiento detectado en la región.

Referencias

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

4. Paisaje Pelágico

Romeo Saldívar-Lucio
rsaldivar@cicese.edu.mx

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

Introducción

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

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

Área de estudio

El área de estudio corresponde a las aguas oceánicas frente a las costas del estado de BCS, comprendidas en el cuadrante -120 a -108 de longitud y 22 29 de latitud (Figura 1.1). Los círculos de colores en la figura 1 indican los sitios para los cuáles se realiza la descripción de los cambios en el Paisaje Pelágico; parque nacional Cabo Pulmo, La Paz y el Golfo de Ulloa.

Metodología

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

El archivo de datos original fue descargado en formato *.nc, con resolución temporal mensual, desde enero de 2003 hasta la actualización más reciente del producto. El archivo se reestructura como un objeto *sat* de clase 4, para posteriormente realizar la extracción y visualización de datos con el apoyo de la biblioteca *sat* (Villalobos y González-Rodríguez, 2022) en el lenguaje de programación R (R Core Team, 2025). El área recortada para cada localidad se considera como el 100%, para posteriormente calcular la cobertura relativa de los hábitats presentes mediante el conteo automatizado de píxeles por clase (fig. 4.1.2, 4.2.2, 4.3.2).

Resultados

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

En el periodo enero-octubre de 2024, se observan procesos alternados de contracción y expansión de H15 respecto a las condiciones promedio, con variaciones de alrededor del 20%. H15 llegó a sus valores más bajos entre agosto y octubre, representando una contracción del 30%. H15 prácticamente desapareció en los últimos meses y se le observa cerca de la costa en octubre pero desapareció por completo en noviembre y diciembre, muy distinto a lo que suele suceder bajo condiciones promedio cuando llega a cubrir cerca del 60% (Figura 4.1.1 y 4.1.2). En diciembre de 2024 se observa que las aguas más frías y más productivas representadas en H21, se acercan por el norte y van cediendo espacio a aguas menos productivas hacia el sur y hacia la porción más oceánica (H3, H11). Ambos hábitats presentan expansiones anómalas, H3 en el periodo de septiembre a diciembre superando hasta en 40% al promedio, mientras que H11 lo rebasó hasta en 50% en noviembre y diciembre (Figura 4.1.2).

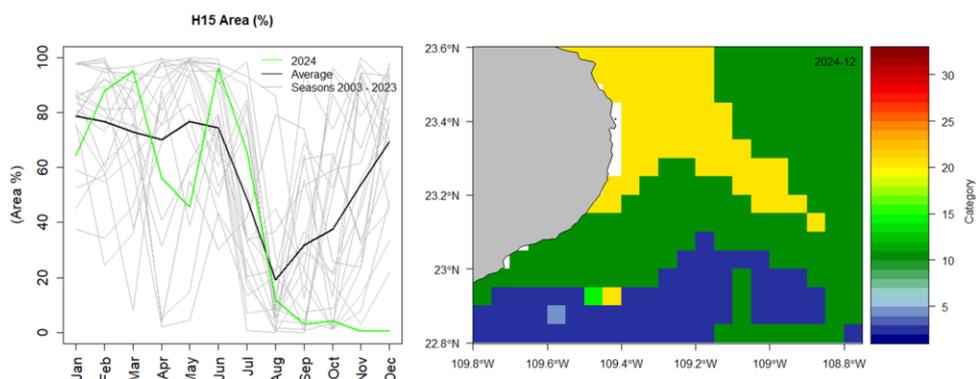


Figura 4.1: Paisaje Pelágico frente a Cabo Pulmo. 4.1.1) Panel izquierdo: Comportamiento estacional del hábitat dominante H15 (2003-2024). 4.1.2) Panel derecho: Distribución espacial promedio de los hábitats pelágicos durante diciembre de 2024.

El hábitat pelágico H15 es dominante en la Bahía de La Paz, presentando dos expansiones en el año, la primera en abril-mayo y la segunda en octubre-diciembre cuando puede ocupar hasta más del 90 % del área de la bahía y la zona adyacente (Figura 4.2.1). La categoría H15 se conforma en torno a condiciones de temperatura superficial de 25.35 °C, salinidad de 35.4 ups, y concentración de clorofila de 0.32 mg-m⁻³.

En febrero y marzo, H15 presentó expansiones importantes, superando hasta en 50% al promedio, sin embargo se acercó a las condiciones habituales entre abril y agosto, para posteriormente contraerse hasta casi desaparecer de la zona, una condición sin precedentes (Figura 4.2.1). La contracción de H15 fue ocupada por H3 y H11, ambos con importantes crecimientos por encima del promedio, lo que se traduce en la entrada de aguas de menor temperatura. De agosto a octubre se aprecia la expansión anómala de H3 (24.12 °C, 35.34 ups, y 0.15 mg-m⁻³ de clorofila), alcanzando a cubrir cerca del 70% del área considerada, muy por encima del 10% que suele ocupar bajo condiciones promedio (Figura 4.2.1). Durante diciembre las aguas más productivas cubrieron todo el interior de la bahía, mientras que una mayor diversidad de condiciones se observó en la zona adyacente, con valores de clorofila cercanos al promedio pero de considerable menor temperatura (Figura 4.2.2).

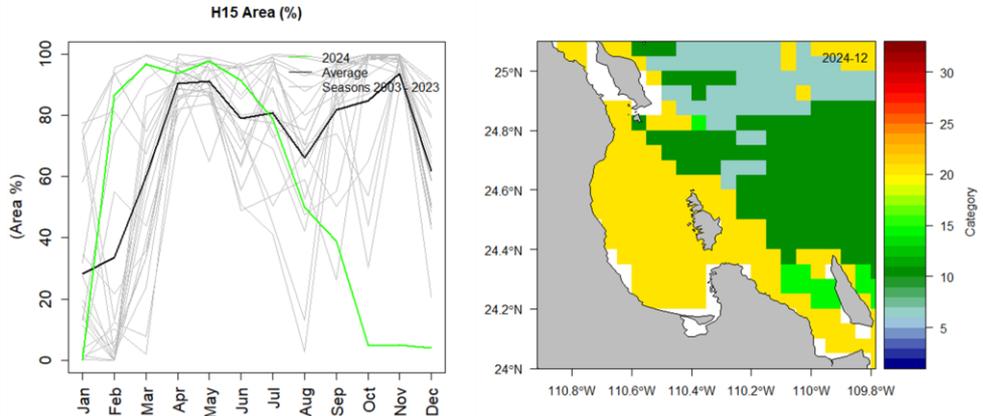


Figura 4.2: Paisaje Pelágico en la Bahía de La Paz. 4.2.1) Panel izquierdo: Comportamiento estacional del hábitat H3 (2003-2024). 4.2.2) Panel derecho: Distribución espacial promedio de los hábitats pelágicos en diciembre de 2024.

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).

Las variaciones históricas de H17 indican que en el pasado ya se han presentado otros colapsos del área de este hábitat pelágico, un tanto similares en porcentaje a los de 2006-2007, 2014-2015 y 2015-2016, cuando incluso llegó a desaparecer brevemente (Figura 4.3.2). En la porción más oceánica, la reducción de H17, ha sido acompañada por la expansión de otras categorías asociadas a aguas más frías, de mayor salinidad y menor concentración de clorofila (~0.28-0.84 mg·m⁻³).

En diciembre de 2024 se observa en el Golfo de Ulloa un gradiente de aguas más frías y más productivas de la costa hacia mar adentro (Figura 4.3.2). Particularmente la categoría más productiva de todas, H21, se mantiene replegada a la costa, ocupando poco más del 15% del área total, y se aprecia que de junio a noviembre ha ocupado un área mayor al promedio. Asimismo, H2 fue la categoría más dominante con aguas configuradas en torno a los 12.93 °C, 34.43ups y 0.12 mg·m⁻³, cubriendo áreas mucho más grandes que el promedio (Figura 4.3.2). Categorías como H11 y H21, retornaron a sus áreas promedio, después de haberse expandido considerablemente entre junio y noviembre (Figura 4.3.2).

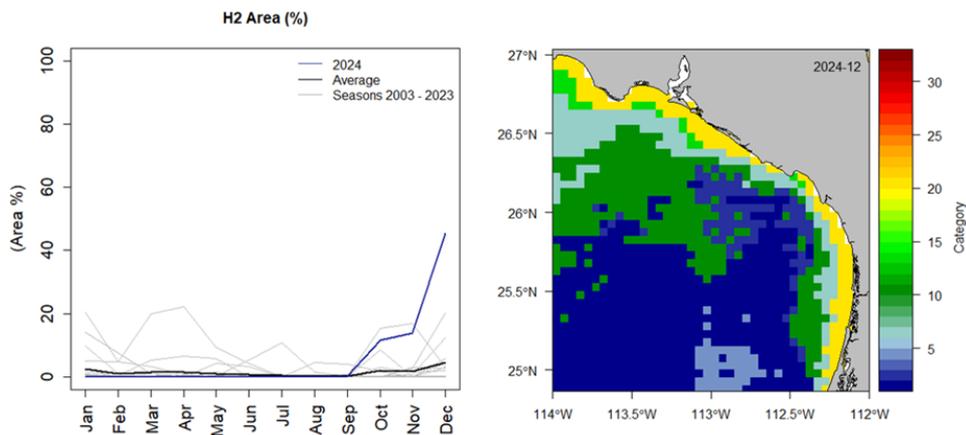


Figura 4.3: Paisaje Pelágico en el Golfo de Ulla. 4.3.1) Panel izquierdo: Comportamiento estacional (2003-2024) del hábitat H21 en el Golfo de Ulla. 4.3.2) Panel derecho: Distribución espacial promedio de los hábitats pelágicos durante diciembre de 2024.

Referencias

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

Scales, K. L., Alvarez-Berastegui, D., Embling, C., & Ingram, S. (2017). Pelagic seascapes. *Seascape Ecology*.

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

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

5. Monitoreo satelital de florecimientos algales

Cotsikayala Pacheco Ramírez
cotsi.pacheco@gmail.com

Resumen | En esta sección, pretendo dar a conocer parte de mi tesis doctoral sobre la teledetección de grupos funcionales fitoplanctónicos expresados en la clorofila del mar. Diatomeas y dinoflagelados son grupos que integran algunas especies con el potencial de formar florecimientos algales nocivos y están en vigilancia continua. En febrero de 2025 el promedio mensual de los dinoflagelados indica un incremento superior a su valor climatológico de febrero (2002-2024) en Cabo Pulmo y San Juanico. En febrero ocurrieron dos eventos locales que afectaron la coloración del mar, parches de coloración roja en las inmediaciones de la Isla Cerralvo y la descarga de aguas del Estero San José.

Introducción

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

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

Baja California Sur (BCS), es uno de los estados más afectados en términos de problemas de salud pública, por florecimientos algales tóxicos, de acuerdo con la Base de Datos de Eventos

de Algas Nocivas (<http://haedat.iode.org/>). La bahía de La Paz es la región mejor estudiada de la porción sur de BCS, debido a su importancia económica, en este sentido, las capacidades sinópticas que ofrecen los sensores remotos satelitales ayudarán a mejorar estas capacidades de monitoreo. Esto es de particular preocupación debido a la presencia constante de toxinas en moluscos comercializados en BCS, resaltando la importancia de un monitoreo continuo para garantizar la seguridad del consumo de mariscos en la región (Leyva-Valencia et al. 2021).

Área de estudio

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

Metodología

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

https://data.marine.copernicus.eu/product/OCEANCOLOUR_GLO_BGC_L3_MY_009_103/.

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

Resultados

Grupos fitoplanctónicos

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

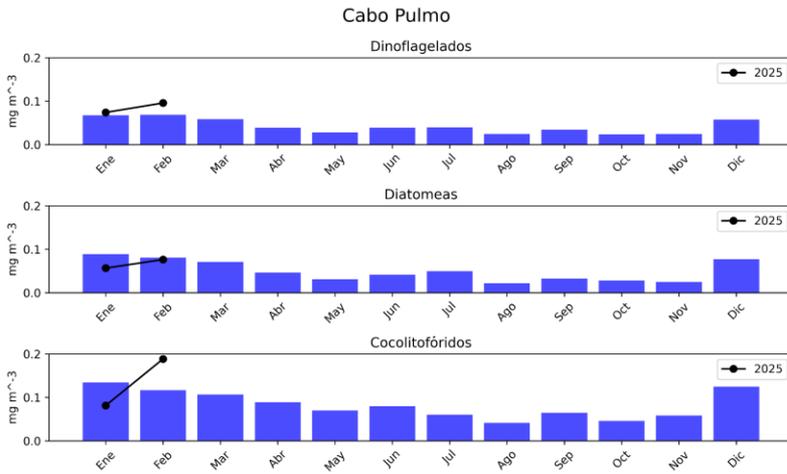


Figura 5.1: Climatologías de la concentración de grupos fitoplanctónicos expresada en CLO en el agua de mar en Cabo Pulmo durante el mes de febrero de 2025.

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

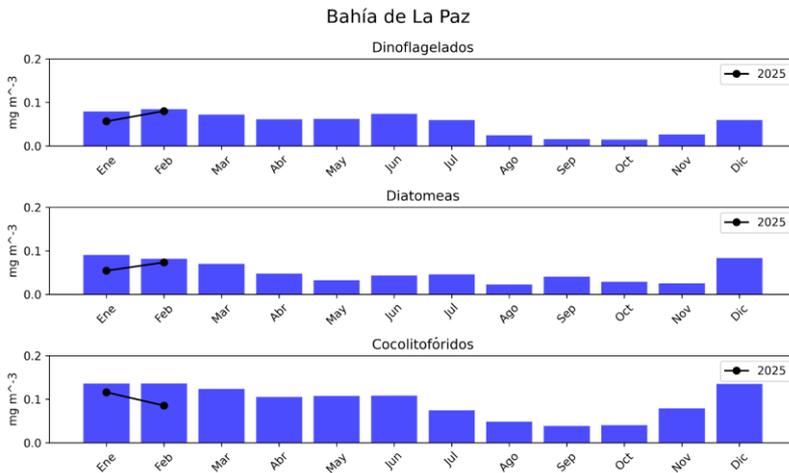


Figura 5.2: Climatologías de la concentración de grupos fitoplanctónicos expresada en CLO en el agua de mar en la bahía de La Paz durante el mes de febrero de 2025.

En San Juanico los resultados indican que el promedio mensual de las concentraciones de dinoflagelados y cocolitofóridos estuvo en el límite superior del promedio climatológico, particularmente para los diatomeas las concentraciones por encima de su valor climatológico. Las climatologías de los grupos fitoplanctónicos representativos: diatomeas, dinoflagelados y cocolitofóridos, se presentan en la [Figura 5.3](#). Las barras azules indican las climatologías de enero a diciembre del periodo 2002-2024, mientras que los puntos negros muestran el promedio mensual de febrero de 2025.

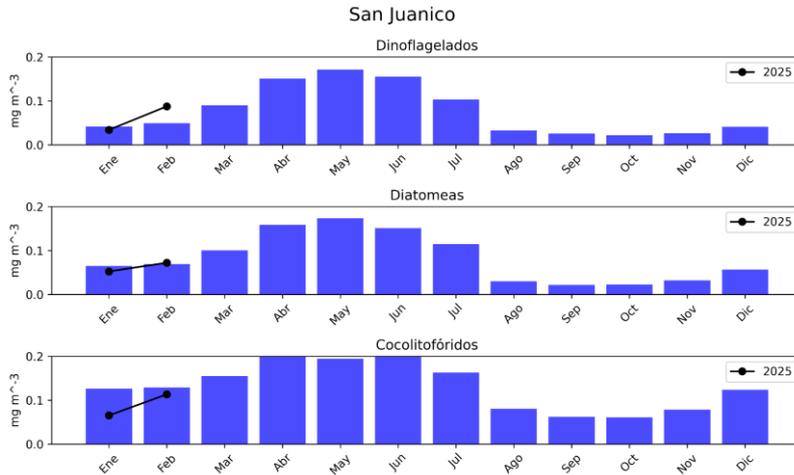


Figura 5.3: Climatologías de la concentración de grupos fitoplanctónicos expresada en CLO en el agua de mar en la bahía de San Juanico durante el mes de febrero de 2025.

Eventos locales

1. Un parche de coloración roja se formó entre Puerto Mexia y la Isla Cerralvo el día 4 de febrero, con una extensión de 1 km. El día 9 de febrero, parches dispersos de gran extensión cubrieron el canal interno de la Isla Cerralvo. El día 14 de febrero parches de 5 km arribaron a las costas desde Puerto Mexia hasta Las Cruces ([Figura 5.4](#)).



Figura 5.4: Parches de coloración roja en el canal interno de Isla Cerralvo, Sentinel 2 A/B RGB.

2. El Estero San José tuvo una descarga de agua hacia el mar el día 16 de febrero, con una extensión de 1.5 km, el día 21 de febrero la pluma de sedimentación se extendió por 4 km en dirección suroeste (Figura 5.5).

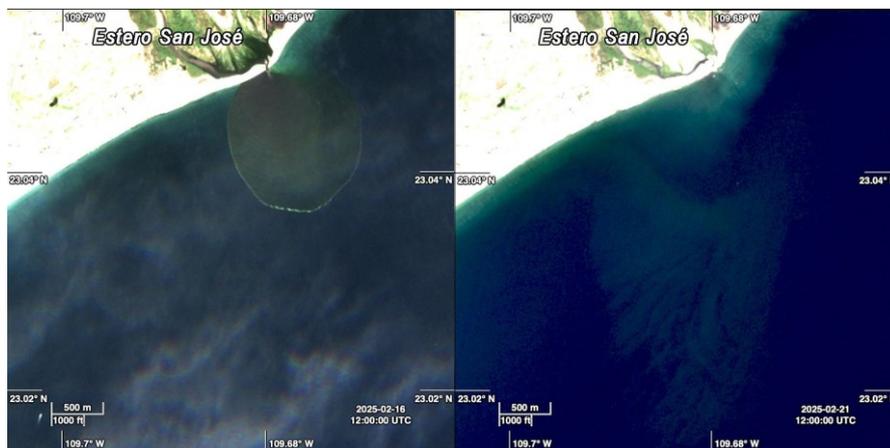


Figura 5.5: Apertura de la boca barra del Estero San José, Sentinel 2A RGB.

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.

6. Viento (VTO) in situ

Jorge Cortés Ramos
jorgecr@cicese.mx

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

Introducción

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

Área de estudio

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

Metodología

Los datos de viento se obtienen de la red de Estaciones Meteorológicas Automáticas (EMAs) del servicio meteorológico nacional (SMN). Su registro es cada 10 minutos y la forma de almacenamiento es en centrales de observación con comunicación satelital, internet o vía radio (véase: <https://smn.conagua.gob.mx/es/observando-el-tiempo/estaciones-meteorologicas-automaticas-ema-s>). Los datos se pre-procesan mediante código Python para identificar los valores espurios contenidos en la serie de tiempo y los vacíos de información. Estos huecos se dejan en blanco para evitar errores sistemáticos en su llenado dejando periodos de tiempo con cero observaciones. Existen algunos periodos de tiempo donde las observaciones nulas son mayores a un año. Estos periodos los atribuimos a daños en la estación, cambios o fallos en la telemetría.

Con los datos de velocidad y dirección del viento sostenido medido en las EMAs, se calcularon las normales climatológicas de la dirección e intensidad del viento mediante el método gráfico de la rosa de los vientos. Con este método podemos observar alguna distribución de valores atípicos del viento (magnitud y dirección) sin la necesidad de realizar algún filtrado para remover la variabilidad de alta frecuencia. Con un análisis de cajas (*boxplots*) se despliegan los valores anómalos (*outliers*) correspondientes a la intensidad del viento sostenido en cada mes. Con este análisis de cajas se pueden resaltar algunos fenómenos meteorológicos que promueven el aumento atípico en la intensidad de los vientos, tales como los ciclones tropicales.

VTO in situ en Cabo Pulmo, BCS

Durante el mes de febrero de 2025 se pueden observar cambios ligeros en el patrón característico de los vientos en la región de Cabo Pulmo, BCS. Se aprecia una disminución en la frecuencia de los vientos del Noroeste y Sureste, pues el patrón de vientos en 2025 contrasta con el umbral de dirección del viento definido por la climatología (2014-2025). Se observa que los vientos provenientes del Norte y Suroeste tienen mayor aporte al patrón de 2025 en comparación con lo que dicta la climatología (Figura 6.1).

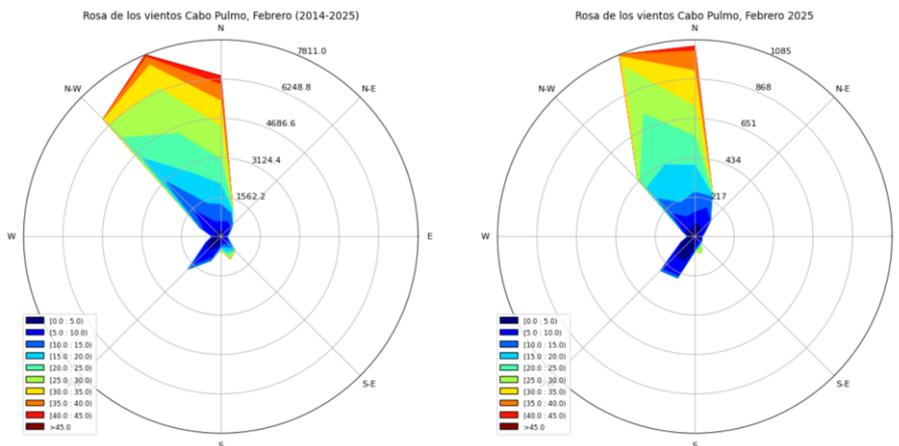


Figura 6.1: Climatología vs. observaciones de la dirección e intensidad de los vientos en la estación Cabo Pulmo durante el mes de febrero de 2025.

La intensidad del viento in situ registrada durante el mes de febrero de 2025, en Cabo Pulmo, no muestra una distribución de intensidades atípica en relación a otros años tal y como lo muestra la [Figura 6.2](#). Vientos superiores a los 40 km/h, para este sitio en este mes, entran dentro del límite de los valores más concurrentes de acuerdo al gráfico de cajas. No se detectan eventos atípicos como en 2018 o 2015. El valor mediano de la rapidez del viento en este sitio esta alrededor de los 10 km/h para este mes. Años como 2016, 2018 y 2023 rebasan considerablemente este valor mediano ([Figura 6.2](#)).

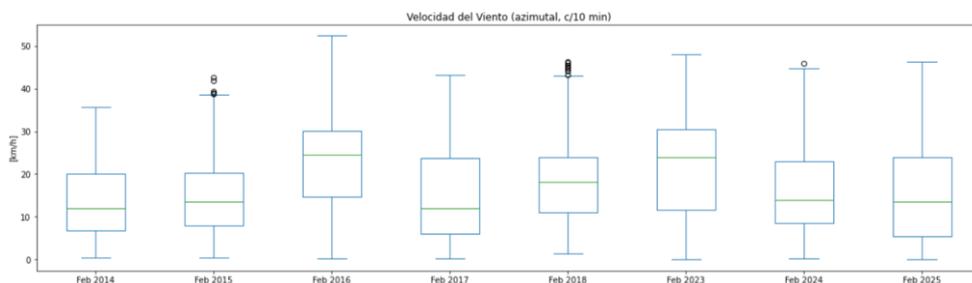


Figura 6.2: Análisis de cajas de la intensidad de los vientos en la estación Cabo Pulmo durante el mes de febrero de 2025. Los valores de viento atípico están dados en el gráfico de cajas por los outliers (círculos en negro).

VTO in situ en la ciudad de La Paz, BCS

Se observa que durante el mes de febrero de 2025 el patrón característico de los vientos dentro de la ciudad de La Paz contrasta [Figura 6.3](#) con la climatología (2016-2025) principalmente en la región Norte-Noreste donde los vientos se atenúan y el caso opuesto la

región Noroeste donde se acentúan. En cuanto a la intensidad de los vientos vista desde este gráfico no rebasa los 25 km/h.

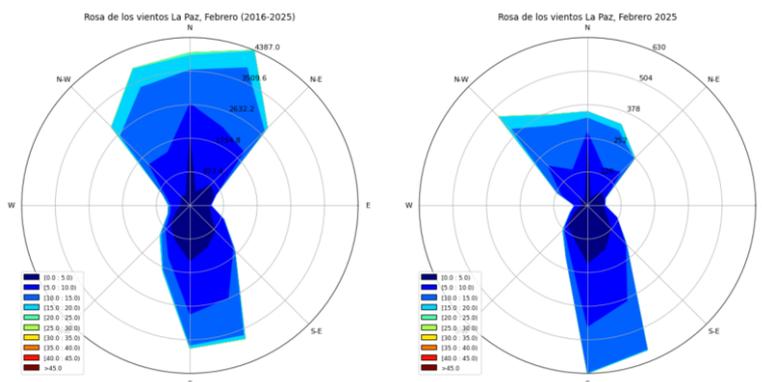


Figura 6.3: Climatología vs. observaciones de la dirección e intensidad de los vientos en la estación ESIME de La Paz durante febrero de 2025.

La intensidad del viento registrada in situ en este punto de la ciudad de La Paz durante el mes de febrero de 2025 no muestra valores atípicos mayores a los ocurridos durante el mismo mes en 2016, 2017 y 2018 (Figura 6.4, outliers). En comparación con el año previo (2024), los vientos cercanos a los 5 km/h fueron más frecuentes visto desde la distribución de los vientos dada por los boxplots. En lo que corresponde a los vientos superiores a 20 km/h estos no se consideraron para 2025 como outliers según los cálculos (Figura 6.4, boxplots).

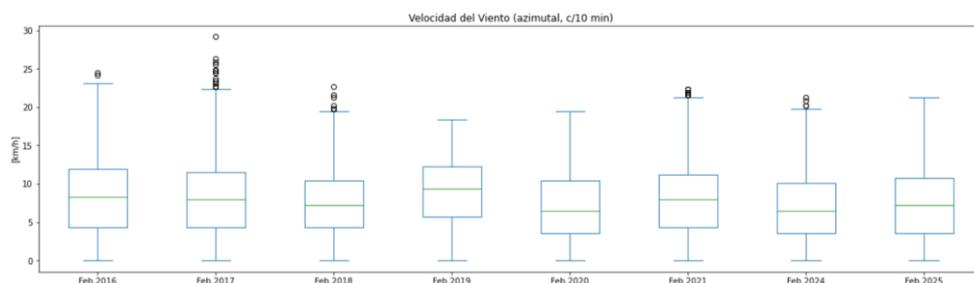


Figura 6.4: Análisis de cajas de la intensidad de los vientos en la ciudad de La Paz, BCS, durante el mes de febrero de 2025. Los valores de viento atípico u outliers se muestran con círculos en negro en la figura.

Referencia

Ahumada, R. (1989). Producción y destino de la Biomasa fitoplanctónica en un sistema de bahías en Chile Central: una hipótesis. *Biología Pesquera*, (18), 53-66.

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

7. Condiciones meteorológicas en la Bahía de la Paz: período: enero - febrero, 2025

Hugo Herrera Cervantes
hherrera@cicese.mx

Resumen | La Bahía de La Paz (BLPZ), ubicada en el suroeste del Golfo de California, es una región impactada por diferentes eventos meteorológicos e hidrometeorológicos severos, frentes fríos durante el invierno y ciclones tropicales en el verano, incluyendo periodos prolongados de sequía. En CICESE-UALP, se implementó desde 2015 un monitoreo de variables ambientales en la BLPZ bajo el Proyecto Interno 691-109 “Laboratorio Ambiental para el estudio de la variabilidad Océano-Atmósfera en la Bahía de La Paz, B.C.S”, en base a observaciones generadas por Estaciones Meteorológicas Autónomas (EMAs) y sensores marinos (<https://ulp.cicese.mx/condiciones-ambientales-observadas-en-la-Bahia-de-la-paz/>). El objetivo de este estudio es evaluar los ciclos anuales de variables atmosféricas en la bahía de La Paz y su relación con la productividad primaria (Chl-a) observada a partir de imágenes de satélite.

Introducción

En esta sección del Boletín Oceanográfico, se presenta un breve análisis de las condiciones atmosféricas que se observan mes con mes en la BLPZ utilizando la información generada a partir de las EMAs (Davis Vantage Pro II), ubicadas en el sur de la Bahía. El objetivo de esta sección es analizar mensualmente la evolución de las variables atmosféricas locales analizadas en la BLPZ (Temperatura del aire, Humedad relativa, velocidad y dirección del viento) y su relación con eventos climatológicos como frentes fríos en invierno, el monzón de Norte América a finales de la primavera y el paso de ciclones tropicales durante el verano (Herrera-Cervantes y Aguirre, 2023), junto con la producción biológica de la bahía representada por imágenes de satélite de Clorofila a superficial (Chl-a) publicadas por la NOAA (<https://coastwatch.pfeg.noaa.gov/erddap/index.html>).

Área de estudio

La BLPZ se ubica en el suroeste del Golfo de California entre las coordenadas 24.1° a 25.0° Norte y de 110.1°-111.0° Oeste. La bahía presenta un importante intercambiando agua con el Golfo de California a través de la boca grande ubicada en la parte norte de la bahía y del canal de San Lorenzo al sur (Obeso-Nieblas, et al., 2004). La BLPZ está delimitada en el norte por la Isla San José y al este por el Parque Nacional Archipiélago de la Isla Espíritu Santo, perteneciente a la red mundial de reservas de la biósfera de la UNESCO y recientemente designada como Área Marina Prioritaria (SEMARNAT, 2014).

Metodología

Los datos de las variables atmosféricas analizadas (temperatura del aire, humedad relativa, velocidad y rachas de viento y la dirección del viento), se recolectan cada 2 horas y se almacenan en archivos mensuales previo a su graficado en forma de series de tiempo y rosa de los vientos (los datos se suavizan utilizando un promedio corrido de 24 horas). Se incluyen los valores mínimos, promedio y máxima de cada variable, y la máxima y mínima varianza de los vectores del viento. Adicionalmente se utilizan imágenes (promedio de 8 días) del satélite Aqua MODIS de Chl-a superficial generadas por el Environmental Research Division's Data Acces Programm (ERDDAP) de la NOAA.

Resultados

La [Figura 7.1](#) muestra las series de tiempo de (a) Temp. Air, (b) Hum. Rel, (c) velocidad (línea en negro) y rachas de viento (línea punteada en rojo) y (d) la dirección del viento (vectores) registrados cada 2 horas por la Estación La Paz, ubicada al sur de la BLPZ. Los valores máximos de Temp. Air (31.1°C) se observaron durante febrero (4 y 24 de febrero) con un valor promedio de 19.0° y temperaturas mínimas de 11.4°C durante enero, mostrando un incremento paulatino de la Temperatura a partir de febrero (final del invierno). Los valores máximos, promedio y mínimos de Hum. Rel. (86 %, 56% y 11%, respectivamente), se observaron durante enero (8-10 de enero y 4 y 16 de febrero), asociado a un periodo estable en la atmósfera (6-16 de febrero, temporada seca y fría de invierno). El viento mostró valores máximos de rachas de viento de 8 a 12 m s⁻¹ principalmente durante enero asociados al paso de frentes fríos propios de la temporada invernal (frente frío # 24, del 20 al 27 de enero, barra en azul). Se observan periodos cortos de rachas de viento del sur y suroeste (5 -10 m s⁻¹) previos al ingreso de moderados frentes fríos (14-18 de enero), asociados con aire húmedo y frío proveniente del Pacífico. La dirección predominante del viento fue alternada durante ambos meses, cambiando del norte-noreste al suroeste, sobresaliendo los eventos asociados a frentes fríos (barra en azul).

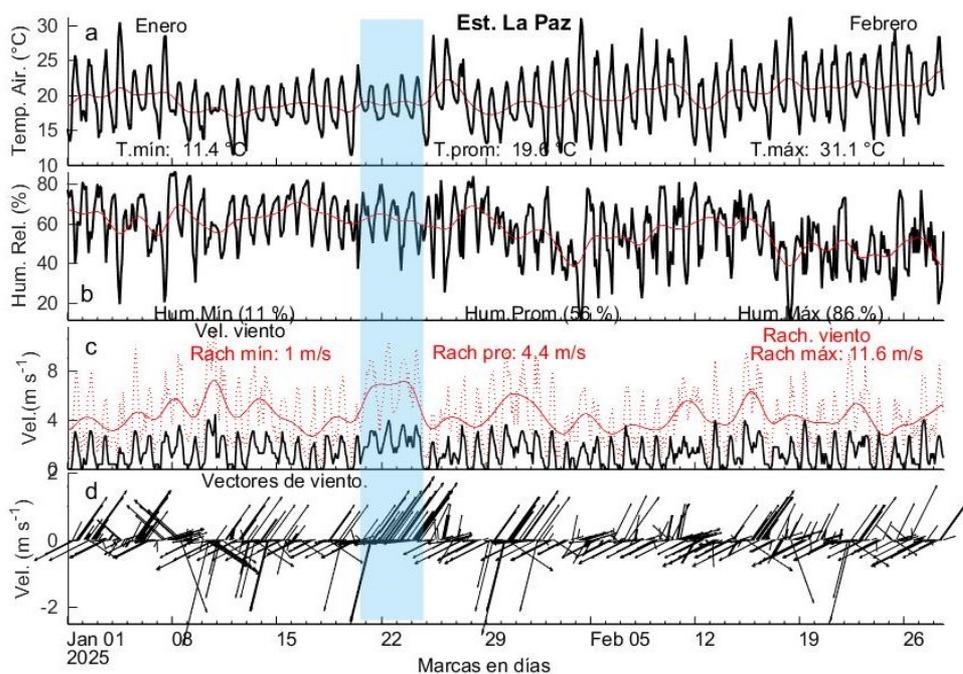


Figura 7.1: Series de tiempo de: (a) Temperatura del aire, (b) Humedad Relativa, (c) Velocidad (en negro) y Rachas (línea en rojo) del viento y (d) la dirección del vector del viento. Datos registrados en la Estación La Paz, del 01 de enero al 31 de febrero de 2025. Las líneas en rojo indican el promedio corrido de 24 hrs. La barra en azul indica el período (18 al 25 de enero) de una onda fría asociada al frente frío # 24 (<https://smn.conagua.gob.mx/es/>) y su efecto sobre las variables analizadas en la bahía de La Paz.

La [Figura 7.2](#) muestra los datos de velocidad y dirección del viento en forma de (a) rosa de los vientos y (b) rosa de vectores. La dirección predominante, fue del 1er. y 4to. cuadrante (período enero-febrero, 2025). Los frentes fríos se asocian con velocidades de viento fuerte mayores a 5 m s⁻¹ direcciones predominantes provenientes del norte y noreste (>20%) con

el correspondiente ingreso de aire frío. Eventos de viento del sur y suroeste (2.5-3.0 m s⁻¹, del 3er, cuadrante) representan un porcentaje menor (10% de la ocurrencia del viento). Los vectores en rojo indican los ejes principales de la dirección de máxima y mínima varianza en los datos analizados.

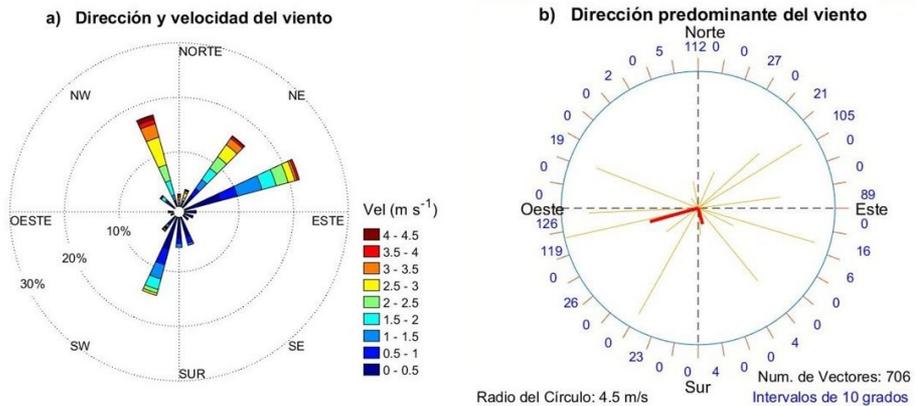


Figura 7.2. Velocidad y dirección predominante del viento registrado durante el período enero-febrero, 2025 en la bahía de La Paz: a) Rosa del viento (dirección y velocidad) y (b) vectores del viento que indica la frecuencia y el número de vectores calculados (cada 10 grados). Los vectores en rojo indican los ejes principales promedio de la máxima y mínima varianza del viento registrado durante el período analizado.

La [Figura 7.3](#) muestra el efecto del frente frío # 24 sobre la productividad biológica (Chl-a) observada en la BLPZ los días: a) 20 y b) 28 de enero, (ERDDAP, <https://coastwatch.pfeg.noaa.gov/erddap/index.html>), antes y después del paso del frente frío # 24 por el noroeste de México. En la imagen (promedio de 8 días) correspondiente al 20 de enero (Figura 7.3a) se observan valores de Chl-a relativamente bajos (~2 mg m⁻³) excepto en la zona costera (~5 mg m⁻³). En la imagen promedio del 28 de enero (Figura 7.3b), se observa un incremento pronunciado de los valores de Chl-a (>10 mg m⁻³) en gran parte de la BLPZ después del paso del frente frío # 24.

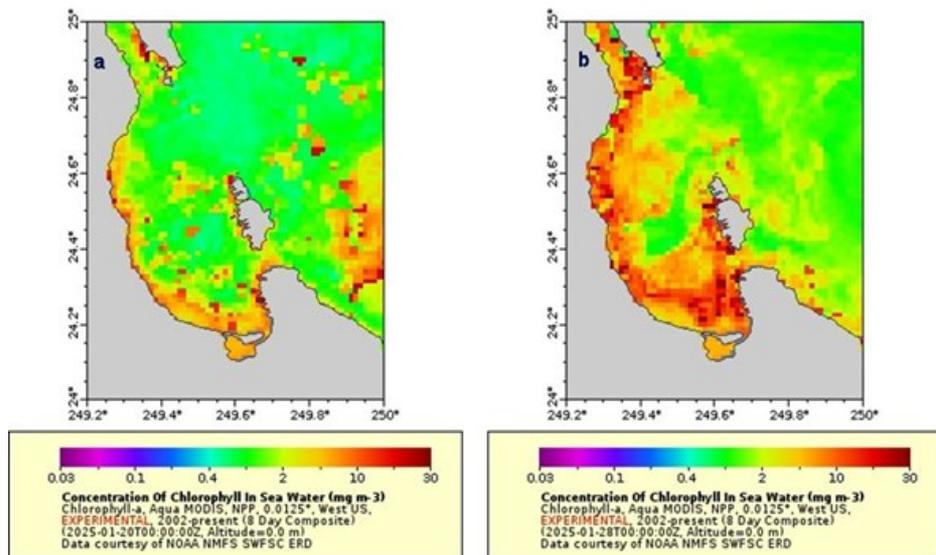


Figura 7.3. Imágenes promedio (8 días) de Clorofila a superficial (Chl-a) generadas a partir de datos obtenidos por el satélite Aqua MODIS para los días 20 (Figura 3a) y 28 de enero (Figura 3b) y publicados por el Environmental Research Division's Data Access Programm (<https://coastwatch.pfeg.noaa.gov/erddap/index.html>). El tamaño de celda utilizado es de 1.2 km x 1.2 km.

Referencias

- Herrera-Cervantes, H. y A. Aguirre, 2023. Interacción de ciclones tropicales y la productividad primaria en la bahía de La Paz. *Recursos Naturales y Sociedad*. 9 (2), 107–120. <http://doi:10.20937/ATM.2019.32.01.03>.
- INEGI, Encuesta Intercensal 2015; 2020: CONAPO, Proyecciones de la Población de los Municipios de México 2015-2030.
- Obeso-Nieblas, M., Shirisago, B., Sánchez-Velasco, L., Gaviño-Rodríguez, J.H., 2004. Hydrographic variability in bahía de La Paz, B. C. S, México, during the 1997–1998 El

Niño. Deep-Sea Research II 51, 689–710. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2004.05.005>.
SEMARNAT, 2014. Programa de manejo: Programa de manejo del Parque Nacional Zona Marina-Archipiélago Espíritu Santo. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México.

8. Temperatura, humedad relativa y evapotranspiración potencial (ETo) en el Valle de Santo Domingo

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

Resumen | El clima en una región determina diversos eventos agronómicos relevantes, por ejemplo, el crecimiento y desarrollo de plantas, la presencia de plagas y enfermedades, por lo que analizar su comportamiento es esencial. Con el propósito de conocer el comportamiento de las variables de clima en el mes de febrero de 2025 y comparar su comportamiento con respecto a datos históricos, fueron analizados datos proporcionados por el observatorio meteorológico no. 3132 localizado en Ciudad Constitución, Baja California Sur, México. Los resultados mostraron que la temperatura promedio del mes de febrero de 2025 alcanzó los 19.5 °C, con temperaturas máxima promedio y temperatura mínima promedio de 29.6 y 9.3 °C, respectivamente; las anomalías en las temperaturas con respecto a los registros históricos (1981-2017) para estas variables fueron positivas (rango de 0.4 a 1.5 °C). La evapotranspiración potencial (ETo) promedio para el mes de febrero de 2025 resultó en 4.9 mm/día, lo que fue equivalente a una pérdida de agua desde la superficie vegetal de referencia de 49 metros cúbicos por hectárea por día.

Introducción

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

Área de estudio

Los valores de las variables fueron proporcionados por el observatorio meteorológico no.

3132 del Servicio Meteorológico Nacional - Comisión Nacional del Agua localizado en el Valle de Santo Domingo (25.00 ° Latitud N, -111.64° Longitud Oeste, a 48.3 msnm), Ciudad Constitución, Comondú, México. En esta área se ubica el Valle de Santo Domingo, principal zona agrícola de la entidad en la cual se establecen 29,000 hectáreas de diversos cultivos, tales como, espárrago, alfalfa, maíz, trigo, naranja, tomate, papa, además de desarrollarse ganadería enfocada en la producción de carne y leche de bovinos, caprinos, ovinos y porcinos (SIAP, 2024a; SIAP, 2024b).

Metodología

Se utilizaron los registros diarios de temperaturas máximas y mínimas, así como de humedad relativa correspondientes al mes de febrero de 2025, para estimar la temperatura promedio para el mes de febrero de 2025, a la par de identificar el día en el que se presentó la temperatura más alta y la más baja. Adicionalmente, se realizó una comparativa entre las temperaturas presentadas en febrero de 2025 con respecto a registros históricos del mismo mes. Los valores promedios históricos utilizados fueron del periodo 1981-2017, reportados en el inventario de registros por década de la misma estación. También fue estimada la evapotranspiración potencial (ETo) para cada día del mes de febrero de 2025. La ETo representa la máxima cantidad de agua que puede perderse desde una superficie vegetal de referencia, cuando la cantidad de agua suministrada al suelo es ilimitada (Kirkham, 2005). El tomar en cuenta la ETo puede contribuir a la optimización del riego en cultivos agrícolas y de la producción de alimentos, además de generar una idea clara del volumen de agua que potencialmente se puede perder desde una superficie vegetal de referencia en función del comportamiento del clima (Cherlinka, 2025). Para el cálculo de la 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 febrero de 2025. La Figura 8.1 muestra el comportamiento diario de la temperatura y humedad relativa al mes de febrero de 2025. El día 01 de febrero de 2025 se presentó la temperatura más baja alcanzando un registro de 2.8 °C, mientras que el 27 de febrero hogaño se registró la temperatura más alta con 35.8 °C. En cuanto a la humedad relativa máxima del mes en análisis, el promedio mensual fue de 93.5 %; el promedio de la humedad relativa mínima fue de 25.6 %.

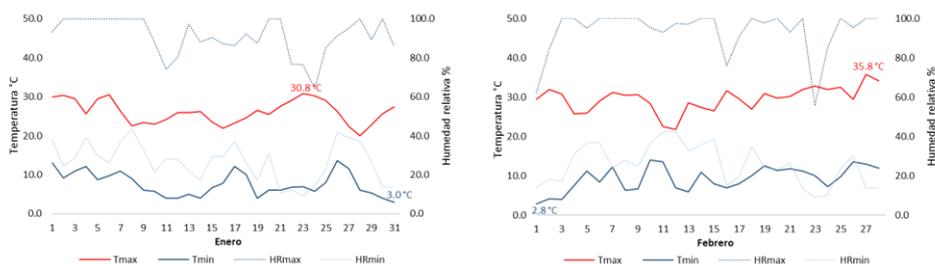


Figura 8.1: Comportamiento de la temperatura y humedad relativa al mes de febrero de 2025. Tmax= Temperatura máxima. Tmin= Temperatura mínima. HRmax= Humedad relativa máxima. HRmin= Humedad relativa mínima.

Comportamiento de las temperaturas en febrero de 2025 vs registros históricos.

El mes de febrero de 2025 presentó una temperatura promedio de 19.5 °C (Figura 8.2a), valor que se ubicó 1.0 °C por arriba del promedio histórico (datos 1981-2017) del mes. Asimismo, al comparar los promedios mensuales de las temperaturas máximas y mínimas con respecto a los promedios históricos, se registró una anomalía positiva de 1.5 °C en la temperatura máxima, mientras que en la temperatura mínima la anomalía positiva registrada fue de 0.4 °C (Figura 8.2b).

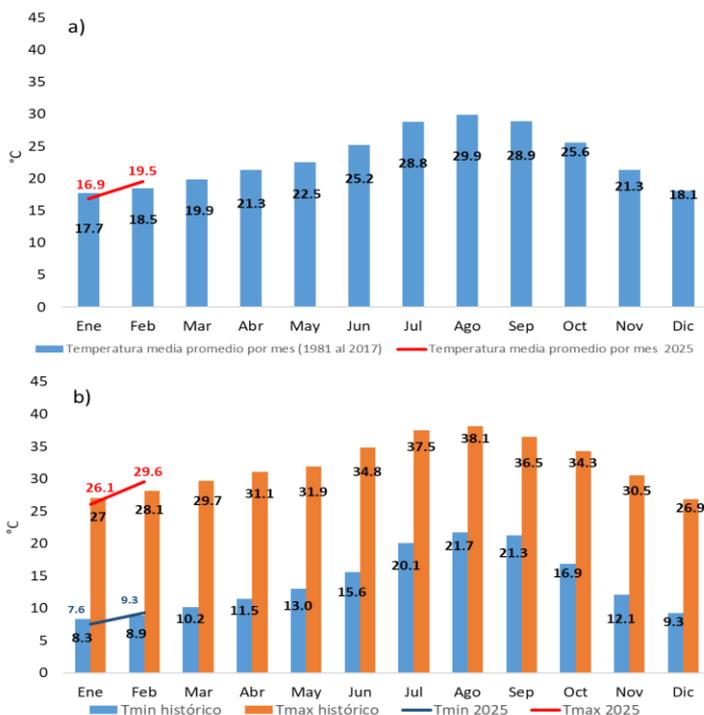


Figura 8.2. a) Comparativo de los promedios mensuales de la temperatura media (periodo 1981-2017) con respecto al registrado al mes de febrero de 2025. b) Comparativo entre los promedios de temperaturas máximas y mínimas históricas (1981-2017) con respecto a los promedios presentados al mes de febrero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

Evapotranspiración potencial (ETo) en el mes de febrero de 2025.

La **Figura 8.3a** muestra el comportamiento de las variables a partir de las cuales se calculó la ETo para cada día de febrero de 2025, mientras que la **Figura 8.3b** muestra los valores de ETo para cada día de febrero de 2025; el valor promedio de esta variable para febrero de 2025 fue de 4.9 mm/día con una desviación estándar de 0.78 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 puede perderse desde la superficie vegetal de referencia para el mes de febrero de 2025 fue de 49 ± 7.8 metros cúbicos por hectárea; volumen que habría que reponer a través del riego considerando un ajuste por eficiencia ligada al tipo de riego implementado.

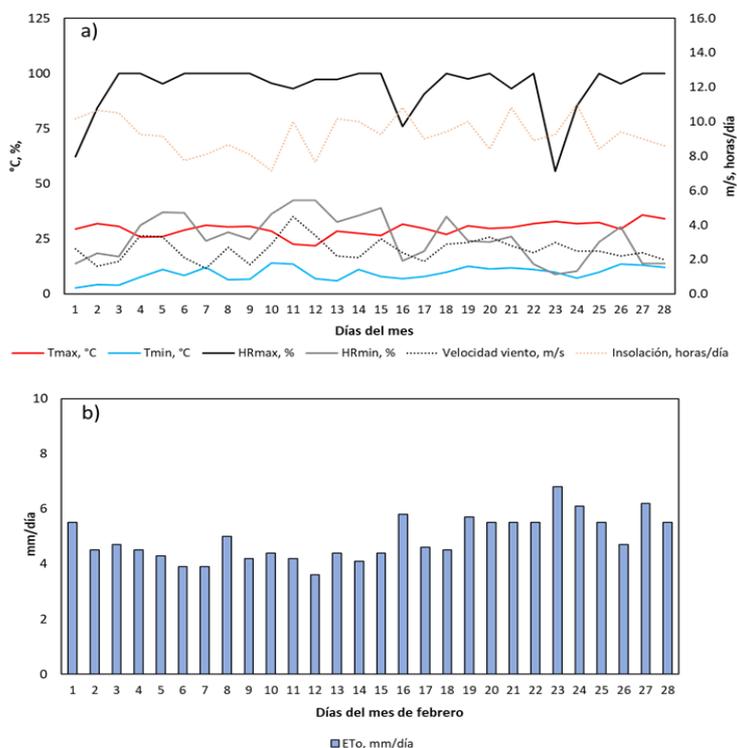


Figura 8.3. a) Comportamiento de la temperatura máxima (Tmax), temperatura mínima (Tmin), humedad relativa máxima (HRmax) y mínima (HRmin), velocidad del viento e insolación en el mes de febrero de 2025. b. Comportamiento de la evapotranspiración potencial (ETo) para el mes de febrero de 2025.

Referencias

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

9. Condiciones Meteorológicas en aeropuertos

Luis Manuel Farfán Molina
farfan@cicese.edu.mx

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

Introducción

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

Área de estudio

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

Metodología

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

almacenan diariamente para ser analizados al final de cada mes. Los datos se utilizan para calcular estadísticas (promedios, máximos, mínimos, etc.) aunque en este boletín solamente se muestran las estadísticas correspondientes a los tres aeropuertos internacionales en Baja California Sur.

Resultados

Durante el mes de enero ([Figura 9.1](#)), el aeropuerto de San José del Cabo tuvo temperatura mínima que durante todo el periodo osciló en el rango de 7–17°C mientras que la máxima fue desde 24°C hasta 31°C; el promedio de temperatura mínima y máxima fue de 12.3 y 27.8°C respectivamente. Al comparar con los promedios climatológicos de los cinco años anteriores (febrero 2020–2024), el promedio de mínima en enero de 2025 fue 1.9°C más frío (anomalía negativa) que el promedio de los años anteriores. En cambio, el promedio de la temperatura máxima fue mayor al de años anteriores por 1.9°C. Recordar que una anomalía negativa (positiva) representa un valor menor (mayor) al ser comparado con el promedio de referencia utilizado, desde 2020 a 2024 en este caso.

En La Paz, las temperaturas mínimas (máximas) oscilaron entre 4–17°C (23–31°C) con un promedio mensual de 9.4°C (26.8°C) mientras que hubo una anomalía negativa (–1.7°C) con respecto al promedio de mínima en años anteriores. En cambio, la anomalía fue positiva (+2.9°C) con respecto al promedio de máximas en años anteriores. Un aspecto sobresaliente fue que los reportes matutinos del 5 de febrero indicaron la presencia de niebla así como visibilidad moderada en el aeropuerto de La Paz y sus alrededores. En Loreto el promedio mensual fue de 17.2°C (14–21°C rango) y 24.4°C (22–27°C) para la temperatura mínima y máxima respectivamente; en ambos casos hubo anomalías positivas de hasta dos grados centígrados. El viento máximo (mayor a 30 km/h) tuvo un valor de hasta 56 km/h el 11 de febrero.

Durante el mes de febrero hubo cinco sistemas frontales que fueron contabilizados por parte del Servicio Meteorológico Nacional. La mayor parte de ellos afectó a los estados del norte del país y solamente uno se desplazó sobre la parte norte de la península de Baja California. La [Figura 9.2](#) muestra la distribución espacial de este sistema frontal (número 30) al estar por ingresar al estado de Baja California mientras que el frente frío número 29 se desplazaba sobre el norte del Golfo de México y el estado de Tamaulipas. La disminución en las temperaturas del 1-2 de febrero en el aeropuerto de La Paz ([Figura 9.1b](#)) no parece estar relacionada –directamente– al paso de un sistema frontal en el monitoreo realizado por el Servicio Meteorológico Nacional.

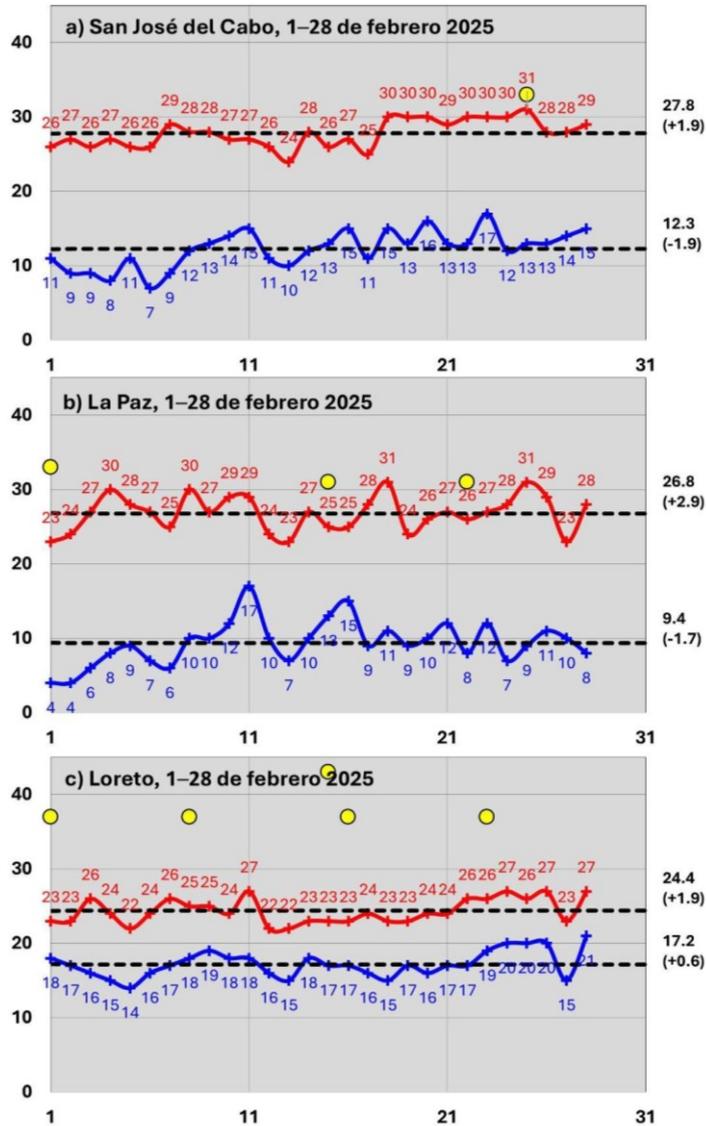


Figura 9.1: Temperatura (°C) mínima y máxima del aire en tres aeropuertos de Baja California Sur: a) San José del Cabo, b) La Paz y c) Loreto desde el 1 al 28 de febrero de 2025. Se incluyen los reportes diarios de temperatura máxima (°C, línea roja), mínima (°C, línea azul), punto de rocío (°C, línea verde) y magnitud del viento máximo (km/h, círculo amarillo). La línea gruesa representa el promedio de valores diarios de temperatura. Los valores a la derecha de cada eje vertical son promedios del mes, mientras que sus anomalías (respecto a 2020–2024) se indican en paréntesis.



Figura 9.2: Representación gráfica de condiciones del tiempo y sistemas meteorológicos relevantes el 27 de febrero de 2025 asociados al frentes fríos #30 sobre la península de Baja California. Material proporcionado por el Servicio Meteorológico Nacional.

10. Temperatura del aire en el Golfo de California

Carlos Robinson M.
robmen@unam.mx

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

Metodología

Temperatura Superficial del Mar (TSM). El término TSM se refiere a la capa o piel del océano y representa la temperatura de la capa subsuperficial a una profundidad entre 10–20 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). Es un producto global que no presenta huecos por nubosidad con una resolución temporal diaria y espacial de 1x1 km (Chin et al., 2017) (<https://doi.org/10.5067/GHGMR-4FJ04>), accedido el 5 de enero de 2025.

Resultados

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

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

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

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

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

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

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

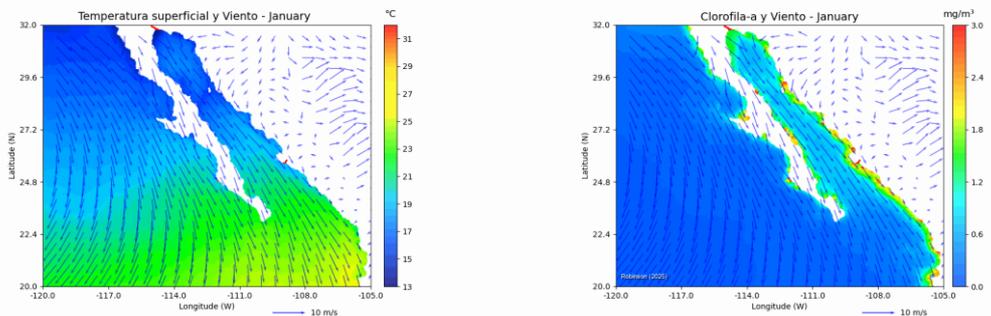


Figura 10.1 Animación de (izq) temperatura superficial del mar (SST) y viento; (der) clorofila y viento.

Referencia

Gutiérrez-Cárdenas, G. S., Morales-Acuña, E., Tenorio-Fernández, L., Gómez-Gutiérrez, J., Cervantes-Duarte, R., & Aguiñiga-García, S. (2024). El Niño–Southern Oscillation Diversity: Effect on Upwelling Center Intensity and Its Biological Response. *Journal of Marine Science and Engineering*, 12(7), 1061.

Heras-Sánchez, M. del C., Valdez-Holguín, J. E., Garatuza-Payán, J., Cisneros-Mata, M. Á., Díaz-Tenorio, L. M., & Robles-Morua, A. (2019). Regiones del Golfo de California determinadas por la distribución de temperatura superficial del mar y concentración de clorofila-a. *Biotecnica*, 21(1), 13-21.

BOLETÍN CLIMÁTICO DE BCS

AÑO 1 | NÚMERO 2 | FEBRERO 2025

CONTENIDO

PRESENTACIÓN

ARMANDO TRASVIÑA CASTRO

NOVEDADES

NIVEL DEL MAR

TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL MAR,
PRODUCTIVIDAD PRIMARIA Y ALTIMETRÍA
SATELITAL

PAISAJES PELÁGICOS

MONITOREO SATELITAL DE FLORECIMIENTOS
ALGALES

VIENTO (VTO) IN SITU

CONDICIONES METEOROLÓGICAS

TEMPERATURA DEL VALLE

TEMPERATURA DE AEROPUERTOS

TEMPERATURA DEL GOLFO DE CALIFORNIA

FOTOGRAFÍA DE PORTADA

Laboratorio SERVANT

Laboratorio

SERVANT

