

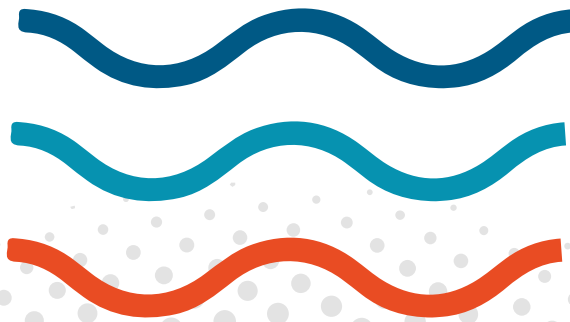


Boletín

CEAZAMar

ABRIL

2023





Índice

» ¿QUÉ ES CEAZA? ¿QUÉ ES CEAZAMar?	03
» CRÉDITOS Y AGRADECIMIENTOS	04
» RESUMEN	05
» MENSAJES DESTACADOS	06
» ESTRUCTURA DEL BOLETÍN	07
» DIAGNÓSTICO DE LAS CONDICIONES ATMOSFÉRICAS Y OCEANOGRÁFICAS DE LA REGIÓN DE COQUIMBO	08
» Observaciones de la región Pacífico Sur Oriental	08
» Anomalía Mensual de la Temperatura Superficial del Mar (TSM)	08
» Condiciones Climáticas: Índices El-Niño Chileno y El-Niño Este Pacífico (El-Niño EP)	09
» Nivel del Mar	10
» Velocidad y Dirección del Viento	12
» Temperatura Superficial del Mar (TSM)	14
» Clorofila superficial	16
» Observaciones locales	18
» Localización de las estaciones costeras en la Región de Coquimbo	18
» Punta de Choros	19
» Sistema Bahía de Tongoy - Punta Lengua de Vaca	22
» Diagnóstico de los sectores productivos	24
» Diagnóstico de las condiciones de la Bahía de Tongoy y su relación con la productividad del recurso ostión durante los años 2022 y 2023	24
» PRONÓSTICO A CORTO PLAZO	27
» Temperatura Superficial del Mar (TSM), oleaje, mareas y viento	27
» INFOGRAFÍA	28
» GLOSARIO	29
» ANEXOS	33
» Parámetros e instrumentos de las estaciones de monitoreo costeras	33
» Procedencia de los datos analizados	34

Nuevo
pronóstico





» ¿QUÉ ES CEAZA?



El Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas (CEAZA) es un Centro Regional de Investigación Científica y Tecnológica localizado en la Región de Coquimbo. El CEAZA, fundado en el año 2003 tras el Segundo Concurso de Creación de Unidades Regionales de Desarrollo Científico y Tecnológico del entonces CONICYT (actual ANID), es un consorcio científico formado por la Universidad de La Serena (ULS), la Universidad Católica del Norte (UCN), el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA-Intihuasi), y el Gobierno Regional de Coquimbo (GORE Coquimbo).

CEAZA tiene como misión promover el desarrollo científico y tecnológico, a través de la realización de ciencia básica y avanzada a nivel inter, multi y transdisciplinario en zonas áridas, ciencias biológicas y ciencias de la tierra, desde y para la Región de Coquimbo con un alto impacto en el territorio, sus ecosistemas terrestres y marinos, y actividades socioeconómicas.

La investigación y vinculación que desarrolla CEAZA está orientada a mejorar la calidad de vida de las personas y actividades productivas y no productivas de la Región de Coquimbo, promoviendo la participación ciudadana en la ciencia a través de acciones de generación y transferencia del conocimiento.

» ¿QUÉ ES CEAZAMar?



CEAZAMar es una unidad de investigación y desarrollo de CEAZA creada el año 2021, destinada a implementar y mantener un sistema de observación y predicción de las condiciones oceanográficas y la salud del océano en la Región de Coquimbo.

CEAZAMar, a través de la transferencia de los resultados científicos y tecnológicos, busca generar un impacto en la competitividad de empresas locales (pesca, acuicultura, turismo, entre otros), en la planificación del territorio marítimo, y en general, en apoyar con evidencia científica la toma de decisiones de actores de los sectores público y privado.

CEAZAMar tiene como objetivos principales:

- ✓ Obtener información de variables oceanográficas relevantes a partir de estaciones oceanográficas y procesamiento de imágenes satelitales para monitorear la circulación oceánica y estudiar los procesos asociados a su variabilidad.
- ✓ Generar productos de modelos numéricos y estadísticos, incluyendo pronósticos a corto y mediano plazo.
- ✓ Ayudar a los usuarios del mar y las diferentes actividades productivas de la Región de Coquimbo en la toma de decisiones a partir del uso y aplicación de la información que provean las observaciones y proyecciones.
- ✓ Ser un instrumento público de apoyo a procesos de adaptación productiva y socio-ecológica ante escenarios de cambio climático de la Región de Coquimbo.

!NUEVA WEB!

» Para saber más sobre CEAZAMar, ingresa a:

www.ceazamar.cl





» CRÉDITOS Y AGRADECIMIENTOS



El Boletín CEAZAMar es un producto del proyecto R20F0008 “Programa de Investigación para la Planificación de la Acción Climática” (CLAP), adjudicado en el año 2021 a CEAZA por el “Concurso de Fortalecimiento al Desarrollo Científico de Centros Regionales 2020” de la Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo (ANID).

El boletín del CEAZAMar además cuenta con el patrocinio del Gobierno Regional de Coquimbo y el apoyo de la Universidad Católica del Norte (UCN), OSTIMAR S.A., el Servicio Nacional de Pesca (SERNAPESCA), la Asociación de Industriales Pesqueros (AIP) y el Programa Transforma MASMAR.

CONTACTO:

✉ ceazamar@ceaza.cl

🖱 www.ceazamar.cl



Si usted o alguno de sus contactos desea recibir las próximos Boletines CEAZAMar en su correo electrónico, por favor, use el siguiente **LINK**.

Si desea desuscribirse y no recibir las futuras versiones del Boletín CEAZAMar en su correo electrónico, por favor, escriba a ceazamar@ceaza.cl

EQUIPO CEAZAMar

Coordinador General:

Orlando Astudillo

Análisis atmosféricos, oceanográficos y productivos:

Orlando Astudillo, Boris Dewitte, Lucas Glasner, Carlos Henríquez, Jorge Inostroza, Pilar Molina, Cristian Orrego, Esteban Quevedo, José Rutllant, Pablo Salinas.

Investigadores:

Víctor Aguilera, Claudio Álvarez, Orlando Astudillo, Boris Dewitte, Lucas Glasner, Carlos Henríquez, Laura Ramajo, Marcelo Rivadeneira, José Rutllant.

Transferencia y Vinculación:

Pilar Molina

Comunicación:

Marcela Zavala, Catalina Velasco

Divulgación y Difusión:

Valentina Aliste, Paloma Núñez, José Luis Rojas

Diseño y Diagramación:

Janina Guerrero

Diseño y Mantención de Plataforma Web:

Carlo Guggiana-Díaz

Comité Externo:

Guillermo Molina (Programa Transforma MASMAR), Héctor Téllez (Asociación de Industriales Pesqueros)

Equipo Directivo CEAZA:

Carlos Olavarría, Claudio Vásquez

Agradecimientos: Fondecyt 11190999

Citar como:

Boletín CEAZAMar - Abril (2023). Análisis de las Condiciones Atmosféricas y Oceanográficas de la Región de Coquimbo (Diciembre 2022 - Febrero 2023). 34 páginas. DOI: 10.6084/m9.figshare.22705003





» RESUMEN



El presente Boletín CEAZAMar contiene un diagnóstico de las condiciones atmosféricas y oceánicas generales del Pacífico suroriental, y en detalle para la Región de Coquimbo durante el período comprendido entre el 1 de diciembre de 2022 y el 28 de febrero de 2023. Adicionalmente, se incluye un diagnóstico de la productividad del Ostión del Norte en la Bahía de Tongoy para el periodo 2018-2020.

Durante este trimestre, la Temperatura Superficial del Mar (TSM) en el Pacífico suroriental mostró una rápida transición de condiciones frías, observadas en diciembre, a condiciones neutras en enero y un calentamiento generalizado en febrero. El calentamiento anómalo de febrero, que se aprecia especialmente frente a las costas de Ecuador y Norte del Perú, se incrementó notablemente en los meses posteriores al periodo de estudio (marzo y abril de 2023), anticipando la transición hacia la fase cálida del ciclo ENOS (El Niño).

La persistencia de las condiciones frías (La Niña) en la región ecuatorial hasta fines del 2022 y su posterior evolución hacia condiciones más cálidas, ha significado un incremento en el índice El Niño del Pacífico Este (EN) a partir de enero, principalmente como resultado del calentamiento frente a la costa Norte del Perú y Ecuador. En sintonía con el índice EN, se observó un aumento de la TSM en la bahía de Tongoy.

Frente a la costa de la Región de Coquimbo, la TSM registró valores normales en diciembre y levemente fríos en los dos meses siguientes. Adicionalmente, en diciembre de 2022 se gatilló una onda de Kelvin de hundimiento en el Pacífico oeste, la cual se propagó hasta la costa de Ecuador arribando a la Región de Coquimbo en el mes de marzo de 2023 como se mencionó anteriormente.

Consistente con el verano austral, el viento satelital superficial (10 metros) registró una reducción en su magnitud a lo largo de la costa en relación a la primavera, con velocidades medias en torno a 6 m/s y dirección dominante sur (70% del periodo). También se registraron períodos con velocidades medias superiores a 8 m/s entre el 1 y 8 de diciembre, y entre el 24 de enero y 1 de febrero. Por otra parte, los dos períodos de vientos más débiles se registraron entre el 15 y 23 de enero, y entre el 2 y 10 de febrero, con velocidades promedio inferiores a 5 m/s. Por otra parte, los eventos de viento con dirección norte fueron menos frecuentes que en el año anterior (ver boletín abril 2022), destacando sólo las localidades de Huentelauquén y Los Vilos por presentar esta condición un 5.6% del trimestre.

A pesar del calentamiento oceánico superficial del verano y el desarrollo de anomalías positivas en la TSM a escala regional a lo largo de la costa, se observaron eventos de surgencia asociados a reducción en la TSM a fines de los meses de diciembre y enero, además de entre el 16 y el 24 de febrero.

El sistema de bahías de Coquimbo resalta por una concentración de clorofila, medida por el satélite, por encima de los 5 mg/m³ a fines de diciembre y principios de enero, alcanzando un máximo de 11.6 mg/m³

entre el 6 y el 14 de enero. Desde fines de enero y hasta fines de febrero, se observó un incremento en la productividad biológica en la faja costera de la zona sur de la Región, superando los 8 mg/m³ entre el 11 al 19 de febrero, lo cual coincide con los pulsos fríos observados en la TSM en el entorno de Huentelauquén y Los Vilos.

A nivel local, durante la primera quincena de enero se observaron días con concentraciones de clorofila satelital superiores a 15 mg/m³ en la zona norte centro de la región, particularmente en Punta de Choros, Bahía de Coquimbo y Bahía de Tongoy mientras que en la zona sur, estos valores se observaron a fines de diciembre en Huentelauquén y durante todo el trimestre en Los Vilos. En contraposición a esto, se destaca la baja productividad fitoplanctónica en Isla Chañaral durante todo el trimestre, con una concentración de clorofila promedio bajo los 2 mg/m³.

Para la localidad de Punta de Choros, el índice de surgencia derivado del viento muestra que, a pesar de un sostenido transporte de aguas costa afuera, nunca se superó los 2 m³/s. Esto se explica, a diferencia con la temporada pasada y el año anterior, por la falta de eventos sucesivos y duraderos de viento intenso, reflejado parcialmente en que las anomalías sinópticas negativas de la TSM no hayan superado 1 °C en ningún momento del trimestre. Aun así, se observaron dos eventos moderados de surgencia de larga duración. El primero, que comenzó el 22 de enero, duró 12 días y se caracterizó por una anomalía con un enfriamiento integrado de ~3°C. El segundo, que comenzó el 14 de febrero, duró 11 días y tuvo un enfriamiento integrado de ~4°C.

En el caso de Tongoy, eventos de intensificación y relajación de los vientos favorables a la surgencia amortiguaron la tendencia al calentamiento en la bahía. Por otra parte, el alza y variabilidad observada durante el trimestre en la concentración de oxígeno disuelto, ocurrió en concordancia con el aumento y variaciones en la TSM. Finalmente, la salinidad se redujo a lo largo del trimestre, manteniéndose dentro de los promedios históricos para el verano, salvo entre el 4 de enero y el 11 de febrero en que se mantuvo en el límite inferior de los valores climatológicos.

Respecto al análisis del sector productivo, tal como se reportó en el boletín anterior, las condiciones ambientales durante el año 2022 estuvieron más cercanas a los promedios históricos, sin embargo, esto no significó un cambio positivo ni en los tiempos de cultivo, ni el calibre del recurso ostión. Por lo tanto, los menores tiempos de cultivo y calibres se explicarían más bien por decisiones de la industria relacionadas a demanda del mercado y no por las condiciones ambientales imperantes.

Finalmente, de acuerdo las observaciones y diagnósticos oceanográficos y atmosféricos, la tendencia de las condiciones ambientales en la región de Coquimbo se mantendrían, es decir, se proyecta una tendencia a condiciones más cálidas. De establecerse la condición El Niño, durante los próximos meses, podríamos ver una influencia positiva en el manejo y productividad del recurso durante el presente año.



» MENSAJES DESTACADOS

**1**

Desde diciembre de 2022 se observa una tendencia marcada al incremento de las temperaturas oceánicas y costeras en el Pacífico Este, sugiriendo la posibilidad de una transición hacia condiciones El Niño los próximos meses.

2

La costa de la región de Coquimbo registró un alza progresiva de la temperatura superficial del mar (TSM) durante el trimestre diciembre-enero-febrero, alcanzando durante el mes de marzo un peak de 18 °C en la bahía de Tongoy.

3

Las concentraciones de oxígeno en la bahía de Tongoy se mantuvieron por sobre el promedio histórico e incrementaron su correlación con la TSM a diferencia de los dos años anteriores.

4

El régimen de viento se mantuvo dentro del rango histórico para los meses de verano.

5

Los eventos de intensificación y relajación del viento sur, favorable a la surgencia, promovieron posteriormente el alza de las concentraciones de clorofila, observándose valores mayores a lo registrado en los dos años precedentes.

6

La cosecha de calibres medianos y tiempos de cultivo acotados siguieron determinados por la demanda de los mercados y la presencia de anomalías frías durante los años 2021-2022 producto de la presencia de La Niña.

7

El análisis de los datos productivos durante los años 2020-2022 (1000 eventos de cosecha), nos indica que una posible transición hacia la condición El Niño, podría influir positivamente en el manejo y productividad del ostión durante el presente año.

» PRONÓSTICOS REGIONALES Y LOCALES

CEAZAMar provee pronósticos regionales y locales para la Región de Coquimbo para los próximos 10 días de viento en superficie, Temperatura Superficial del Mar (TSM), oleaje y mareas (ver en www.ceazamar.cl). Más información sobre cómo se construyen los pronósticos en la página xx de este boletín.

Pronóstico Temperatura Superficial del Mar (TSM), viento, oleaje y mareas

AQUÍ



» ESTRUCTURA DEL BOLETÍN



El Boletín CEAZAMar surge del quehacer científico desarrollado en el borde costero y del océano de la Región de Coquimbo por el Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas (CEAZA). Este boletín busca constituirse como una **herramienta de orientación y consulta** para las múltiples actividades productivas y no productivas que tienen lugar en las costas de la Región de Coquimbo.

Para tal efecto, el Boletín provee información de variables del sistema atmosférico y oceanográfico que resultan **clave para la planificación de las actividades en el mar**, con el fin de mejorar la toma de decisiones de los usuarios, y aportar a la capacidad adaptativa de las comunidades costeras frente a la variabilidad ambiental y climática.

A través de información satelital y de equipos de monitoreo desplegados a lo largo de la costa de la Región de Coquimbo, este Boletín provee información relativa al **viento, Temperatura Superficial del Mar (TSM), productividad biológica marina,**

entre otras, las cuales se relacionan con el estado del mar y la ocurrencia de surgencia costera (viento), productividad (concentración de clorofila), y presencia o ausencia de distintas facetas de El Niño.

Este análisis atmosférico y oceanográfico trata de representar la heterogeneidad espacial y temporal de las condiciones hidrográficas costeras que alberga la Región de Coquimbo. Esto a través del uso de mapas y series de tiempo y análisis trimestrales de dichas variables ambientales, para múltiples localidades de la Región, tales como Chañaral de Aceituno, Punta de Choros, Bahía de Coquimbo, bahía de Tongoy, Punta Lengua de Vaca, La Cebada, Huentelauquén y Los Vilos.

Finalmente, se vincula el diagnóstico de las condiciones atmosféricas y oceanográficas de la Región de Coquimbo con los indicadores de productividad acuícola disponibles para el periodo de interés.



» DIAGNÓSTICO DE LAS CONDICIONES ATMOSFÉRICAS Y OCEANOGRÁFICAS DE LA REGIÓN DE COQUIMBO

Observaciones de la región Pacífico Sur Oriental

Anomalia Mensual de la Temperatura Superficial del Mar (TSM)

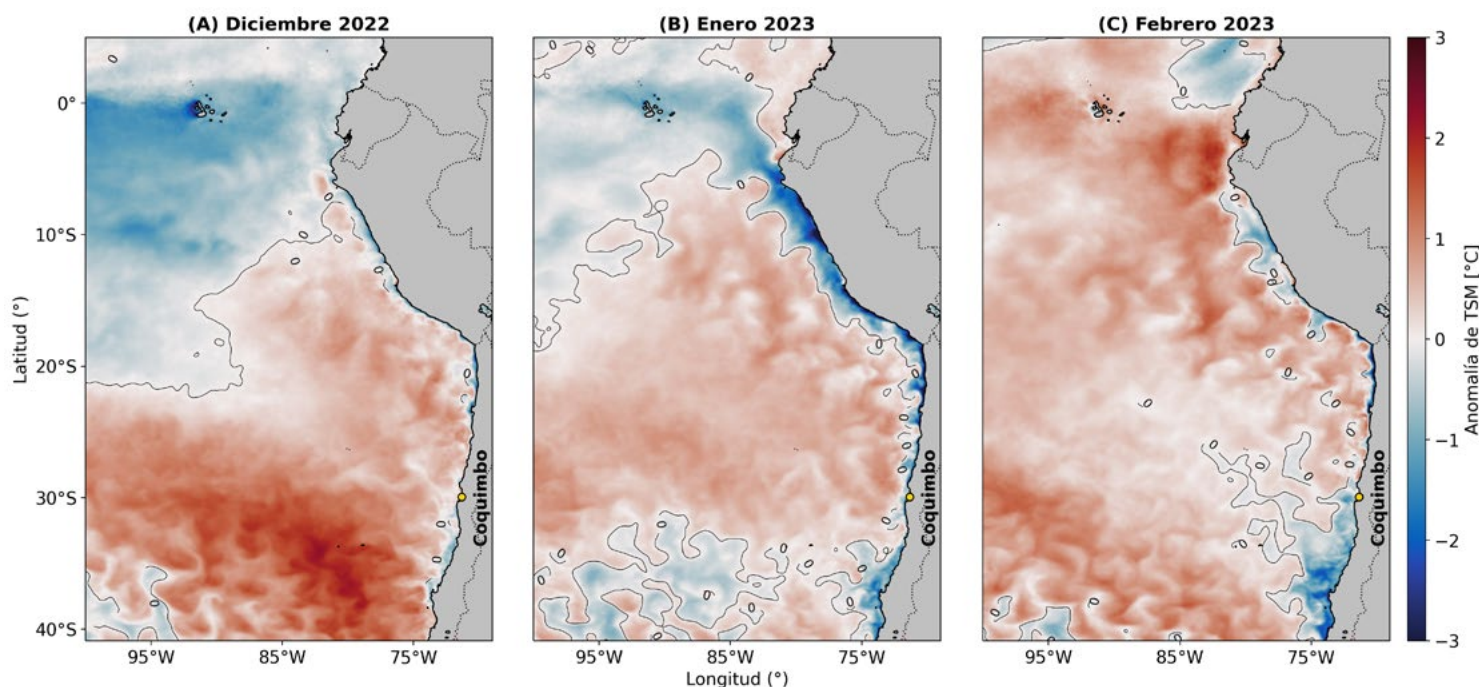


Figura 1. Anomalia mensual de la Temperatura Superficial del Mar (TSM) (°C) de (A) diciembre de 2022, (B) enero de 2023 y (C) febrero de 2023. Las anomalías de TSM se calcularon con respecto al periodo 2007-2020. Los colores rojos en el mapa indican zonas en las que la TSM mostró valores por encima del promedio histórico para ese mes, mientras que los colores azules señalan TSMs por debajo del promedio mensual histórico observado entre los años 2006 y 2019. Los contornos punteados indican las localizaciones en las que la anomalía de TSM es igual a cero (valores similares a lo observado en el período comprendido entre el año 2008 y 2020). Se muestra con un punto amarillo la localidad de Coquimbo.

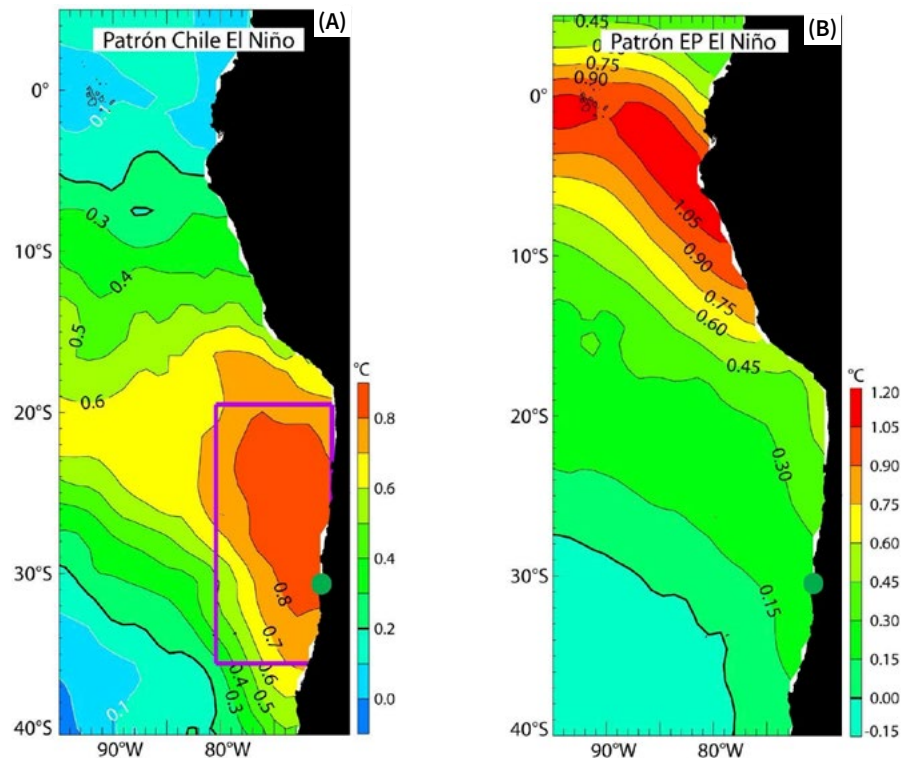
Para el período comprendido entre diciembre de 2022 y febrero de 2023, se observa un notorio calentamiento del pacífico sur oriental, desapareciendo las anomalías frías de la banda ecuatorial típicas de la condición “La Niña”. Esta condición fría y anómala se mantuvo sostenida por los últimos 3 años y en este trimestre se observa por primera vez el retorno a condiciones neutras, las cuales en enero quedan ilustradas por valores menores a 0.5°C (Figura 1b). A

nivel regional, en diciembre se observó una anomalía cálida mayor a 1°C frente a Chile centro-sur, la cuál no permaneció en los meses posteriores (Figura 1a). Sin embargo a nivel continental, y conforme al retroceso de la condición fría, se observa el desarrollo de una perturbación cálida en el Pacífico Oriental y Ecuatorial, de manera que para el mes de febrero se observan anomalías mayores a 1°C en la costa de Ecuador y el norte de Perú (Figura 1c).



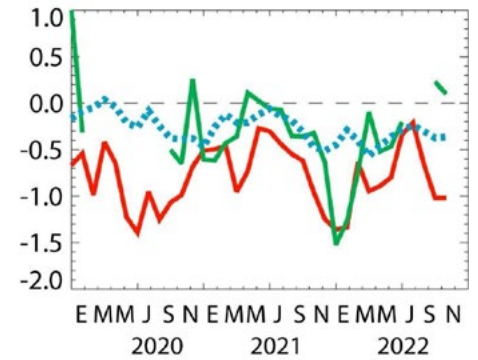
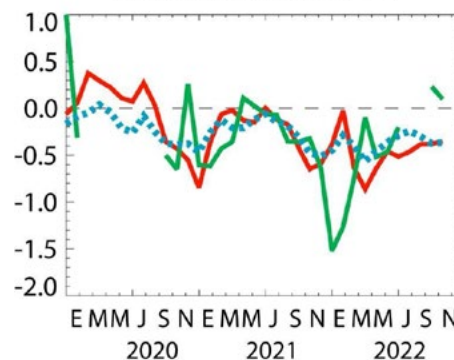
Condiciones climáticas: Índices El-Niño Chileno y El-Niño Este Pacífico (El-Niño EP)

Figura 2. Patrones e índices climáticos para la Región de Coquimbo: (A) Patrón del modo climático Chile El Niño (CEN). Colores y contornos indican anomalías de temperatura superficial del mar (TSM) en °C. (B) Patrón del modo climático El Niño (EN) del Pacífico Este. Colores y contornos indican anomalías de temperatura superficial del mar (TSM) en °C. (C) Comparación de la evolución del índice Chile El Niño (CEN) (roja), de las anomalías de la temperatura superficial del mar (TSM) en Tongoy entre las observaciones (en verde) y la solución de un modelo estadístico (en azul punteado) entre abril de 2020 y febrero de 2023. El modelo estadístico está basado en una regresión multilínea para las anomalías de (TSM) en Tongoy usando como predictores los dos índices climáticos (CEN y EN). (D) Comparación de la evolución del índice El Niño del Pacífico Este (en rojo) de las anomalías de la temperatura superficial del mar (TSM) en Tongoy para las observaciones (en verde) y la solución de un modelo estadístico (en azul punteado) entre abril de 2020 y febrero de 2023. Las anomalías en temperatura superficial del mar (TSM) fueron calculadas usando como referencia el período comprendido entre 1960 y 2019.



Índice Chile El Niño

Índice EP El Niño



Los distintos modos climáticos que se encuentran en el Pacífico Sudeste condicionan las características de la circulación costera y por ende el ambiente a gran escala a lo largo de la costa de Chile central.

Debido a condiciones La Niña persistentes en la región ecuatorial, el índice EN (El Niño EP) se ha incrementado a partir de enero pero ha mantenido valores negativos hasta el fin del año 2022. No obstante, a partir de Enero 2023 ha experimentado una subida abrupta debido a un calentamiento frente a Ecuador y Perú (ver Figura 1C). Por otro lado, se ha mantenido los últimos meses valores ligeramente negativos del índice CEN lo cual informa sobre la variabilidad de TSM en la región costera frente a Coquimbo, excepto con un pico de anomalías positivas en diciembre de 2022. Desde enero de 2023, la temperatura en la bahía de Tongoy ha incrementado al igual que el índice EN. Las condiciones observadas sugieren un cambio de fase (fría a cálida) frente a la costa de la región de Coquimbo de origen ecuatorial.



EL NIÑO: Es un fenómeno climático que se desarrolla en el Océano Pacífico tropical. Está asociado a un debilitamiento de los vientos alisios, lo cual produce ondas oceánicas de hundimiento que se propagan a lo largo del ecuador hacia el este y que profundizan la termoclina, produciendo un calentamiento. La ubicación de la zona a lo largo del ecuador en la que aumenta la Temperatura de la Superficie del Mar (TSM), define si estos eventos se llaman El Niño del Pacífico Central o El Niño del Pacífico Este. Los El Niño del Pacífico Este son los más intensos y los que más influyen la costa de Chile. Estos eventos en general son seguidos por una fase fría (La Niña), lo que resulta en una oscilación conocida por el nombre de El Niño Oscilación del Sur (ENOS). Eventos de calentamiento a escala más regional han sido también llamados “eventos El Niño”, como los que ocurren a lo largo de Perú (El Niño costero) o de Chile (Chile El Niño). Estos eventos son más breves y se relacionan con procesos locales de interacción océano-atmósfera.

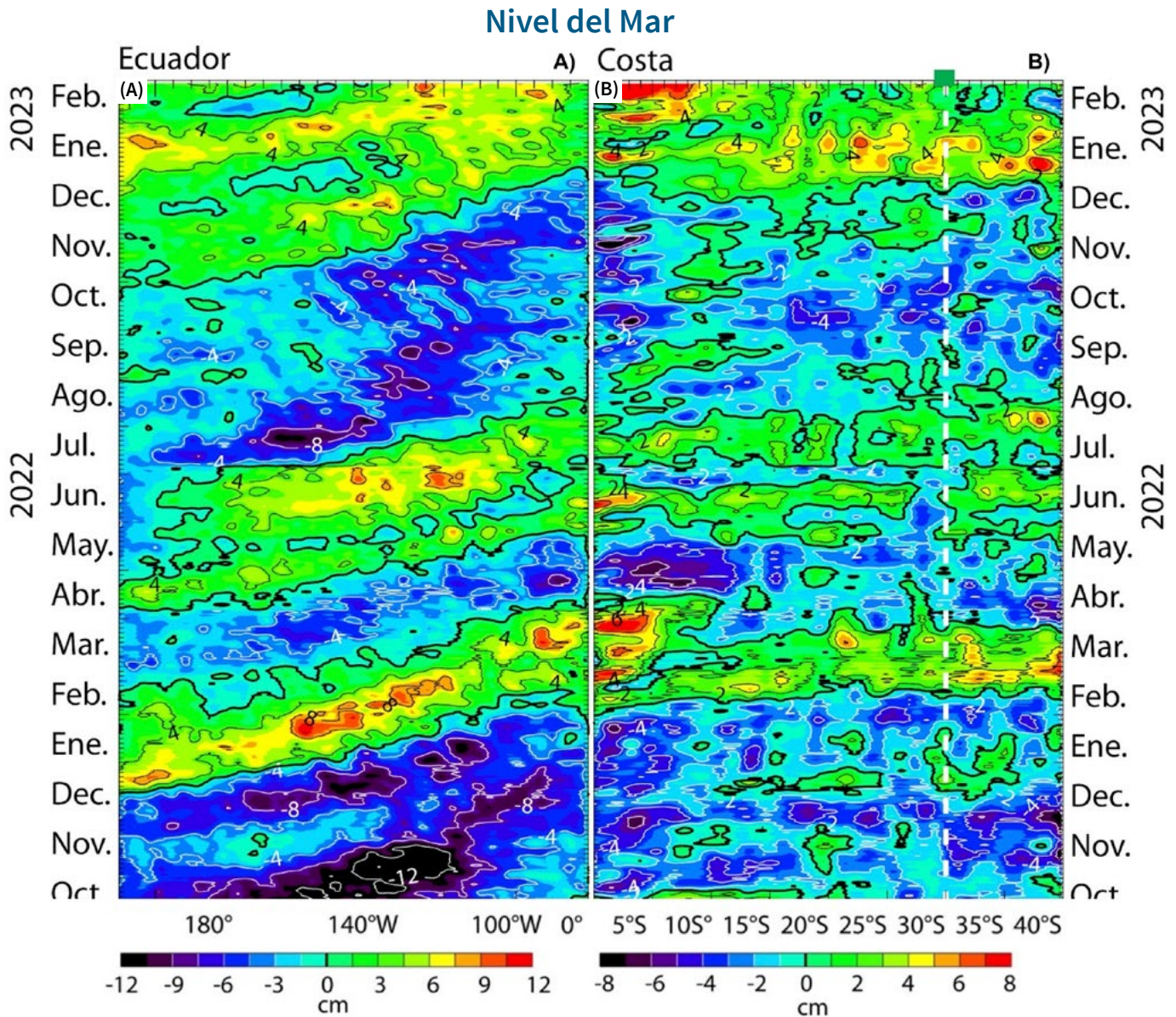
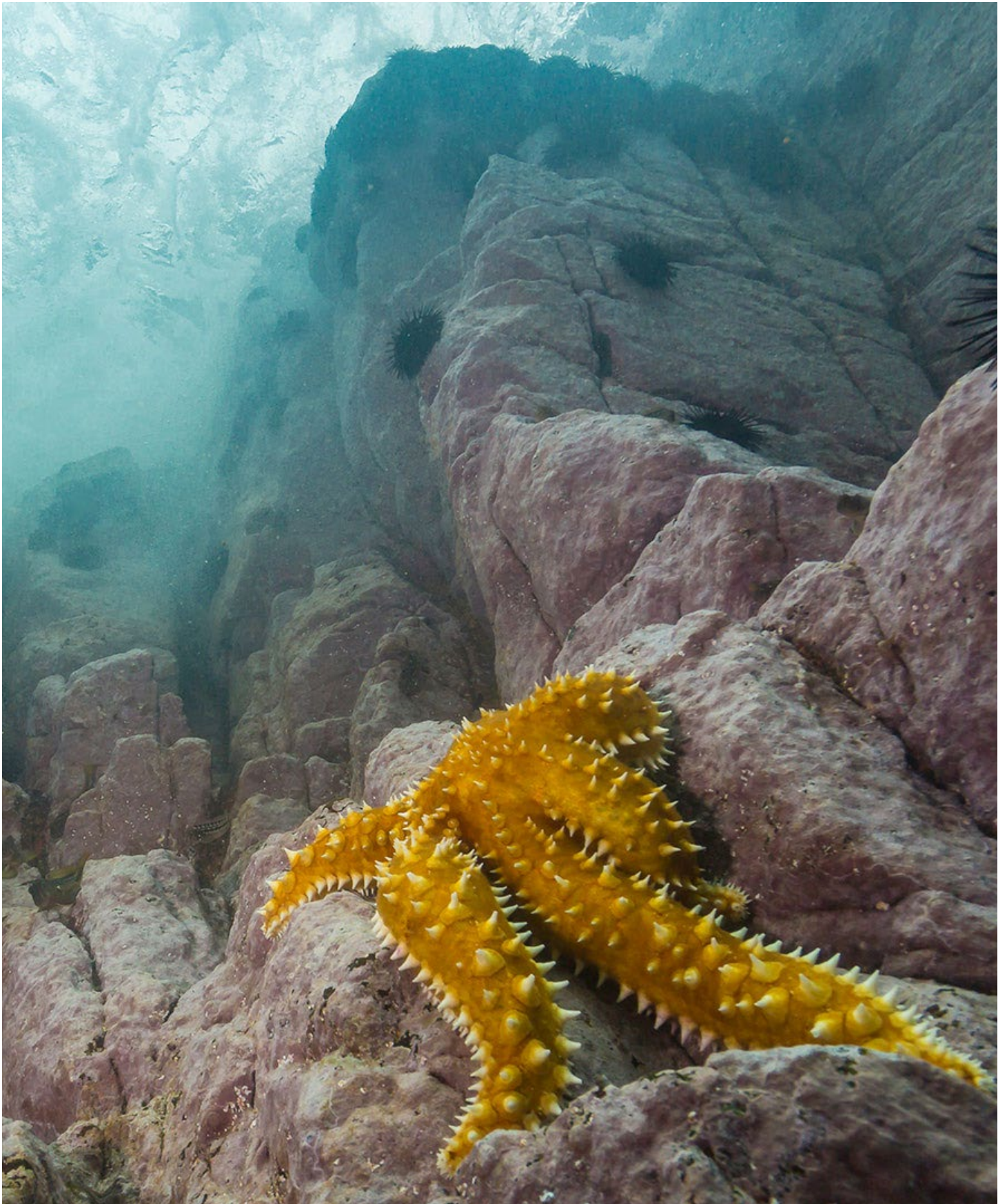


Figura 3: Evolución de las anomalías del nivel del mar a lo largo (A) del Ecuador y (B) de la costa para el período comprendido entre el 1 octubre de 2021 al 28 de febrero de 2023. Los cambios en el nivel del mar se muestran en centímetros (cm).

La evolución de la actividad de ondas de Kelvin ecuatoriales indican que desde diciembre 2022 hemos entrado en una periodo de actividades de ondas de Kelvin de hundimiento (anomalías positivas del nivel del mar, calentamiento) de amplitud débil (~4 cm) (Figura 3 izquierda). En diciembre de 2022 se gatilló una onda de Kelvin en el Pacífico Oeste la cual se propagó hasta la costa de Ecuador, llegando a la región en Marzo de 2023, amplificando las condiciones ya cálidas observadas desde Enero a lo largo de Ecuador y norte de Perú. Esa onda debería propagarse a lo largo de la costa de Perú y Chile y aumentar la temperatura del mar.



ONDAS DE KELVIN: Ondas que se generan en la zona ecuatorial del océano Pacífico a consecuencia de las variaciones en los vientos alisios que soplan desde el este al oeste. Una vez generadas, estas ondas viajan hacia el Ecuador (Este) modulando a la vez el nivel del mar y la profundidad de la termoclina. Al alcanzar la costa en el Ecuador, estas se desplazan hacia los polos, apegadas a la línea costera haciendo subir el nivel y temperatura del mar. Dado que las costas de Chile y Perú suelen ser frías por el efecto de la corriente de Humboldt y la surgencia costera, las perturbaciones en la temperatura del mar generadas por la ondas de Kelvin pueden tener importantes consecuencias en la biología y propiedades del mar en las costas de estos países.





Velocidad y dirección del viento

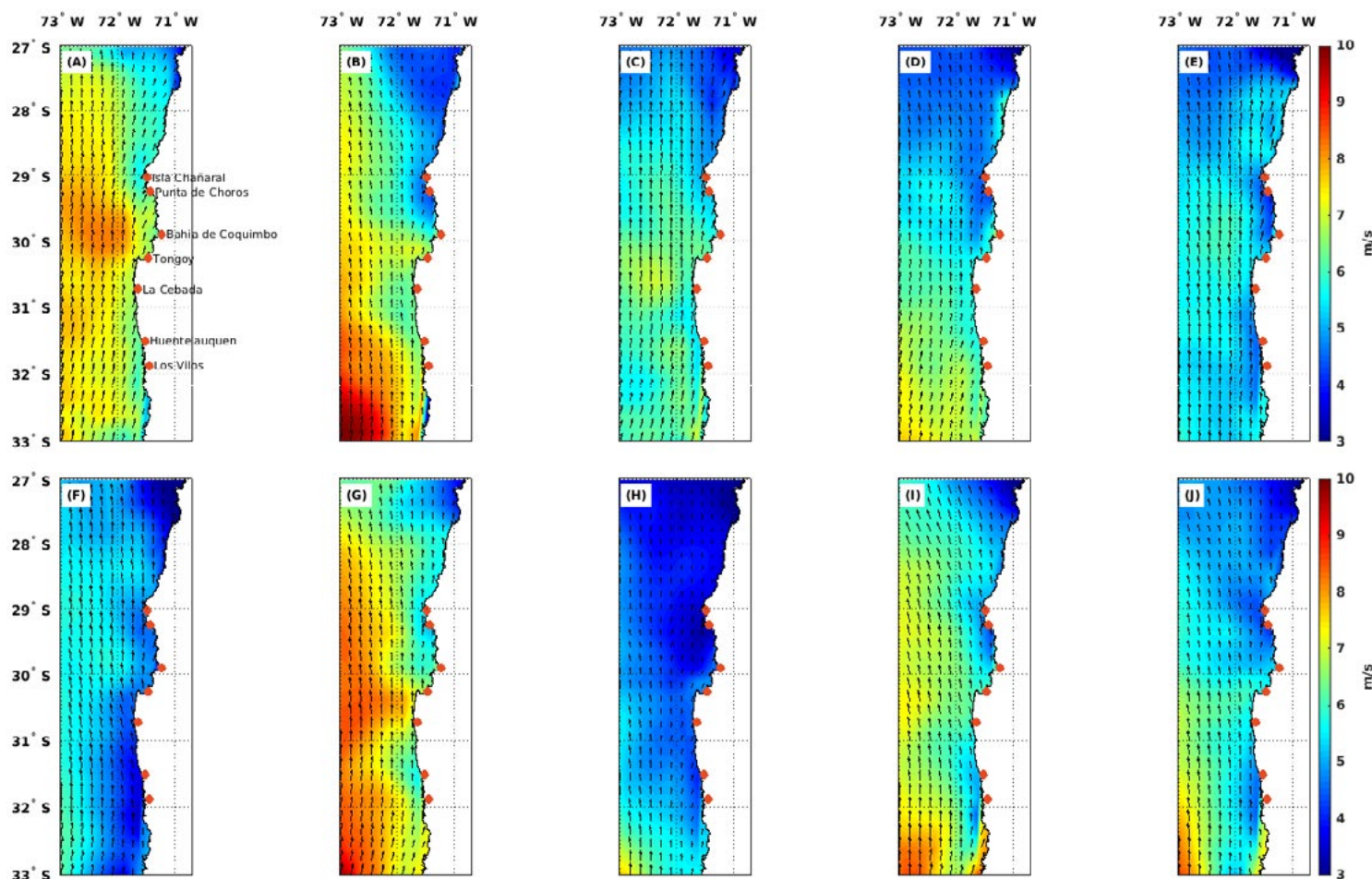


Figura 4. Promedio de la velocidad (m/s) y dirección de viento estimada a través de la observación satelital a 10 metros sobre el nivel del mar frente a la Región de Coquimbo desde el 1 de diciembre de 2022 al 28 de febrero de 2023. Cada imagen muestra el promedio para ambas variables (velocidad y dirección de viento) para un período de 9 días (A) 1-dic-2022 a 9-dic-2022 (B) 10-dic-2022 a 18-dic-2022, (C) 19-dic-2022 a 27-dic-2022, (D) 28-dic-2022 a 05-ene-2023, (E) 6-ene-2023 a 14-ene-2023, (F) 15-ene-2023 a 23-ene-2023, (G) 24-ene-2023 a 1-feb-2023, (H) 2-feb-2023 a 10-feb-2023, (I) 11-feb-2023 a 19-feb-2023, y (J) 20-feb-2023 a 28-feb-2023. Se muestran con puntos rojos las localidades de Chañaral de Aceituno, Punta de Choros, Bahía de Coquimbo, Bahía de Tongoy, La Cebada, Huentelauquén y Los Vilos.

Para el trimestre en revisión se observa una reducción en la magnitud del viento respecto a la condición primaveral (ver boletín de enero 2022), lo cual es consistente con la natural respuesta de los vientos locales al verano austral. En la proximidad de la costa, se registran mayoritariamente velocidades medias entorno a 6 m/s (11.7 nudos), sin embargo destacan los períodos del 1 al 18 de diciembre de 2022 y del 24 de enero al 1 de febrero de 2023 por presentar

velocidades superiores a 8 m/s (15.5 nudos) (Figura 4 A, B y G). En contraposición, destacan por su calma los períodos del 15 al 23 de enero y del 2 al 10 de febrero, ya que la magnitud del viento no superó los 5 m/s (9.7 nudos) (Figura 4 F y H). Finalmente, cabe resaltar que en el promedio, los vientos costeros mantuvieron una sostenida dirección del sur, lo cual es lo esperado para el verano de la región.

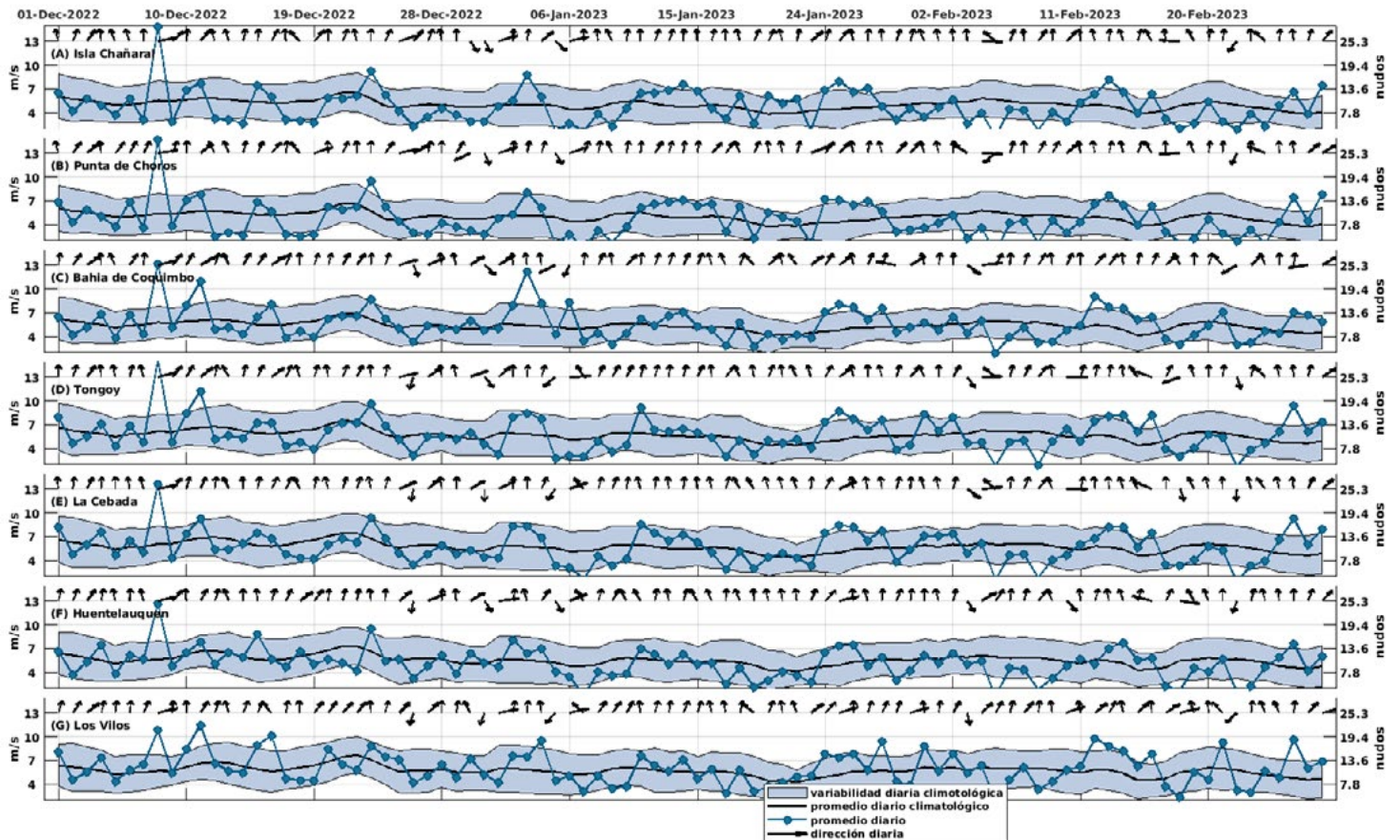


Figura 5. Series diarias de la velocidad (curva azul) y dirección (vectores) del viento promedio diario satelital (m/s y nudos) para las localidades de (A) Chañaral de Aceituno, (B) Punta de Choros, (C) Bahía de Coquimbo, Bahía de Tongoy, La Cebada, (F) Huentelauquén y (G) Los Vilos desde el 1 de diciembre de 2022 al 28 de febrero del 2023 (curva azul punteada). Adicionalmente, se incluye el promedio diario histórico de velocidad de viento (curva negra) y su anomalía (sombreado azul), es decir, su desviación estándar respecto al período histórico comprendido entre el año 2008 y 2020.

Respecto a los vientos próximos a la costa, se observa una similar evolución entre localidades para la mayoría del trimestre. Las mayores diferencias se observan sólo en los eventos de mayor intensidad, como es el caso del 8 de diciembre, 3 de enero, 25 de enero y 12 de febrero, donde las mayores ráfagas ocurrieron hacia el norte de la región. En particular resalta el máximo del trimestre de 14.9 m/s (29 nudos) en Isla Chañaral el 8 de diciembre, como también el 3 enero con un máximo diario de 12.2 m/s (23.7 nudos) en la bahía de Coquimbo. Fuera de estos eventos, el viento se mantuvo dentro del promedio climatológico durante la gran mayoría del trimestre.

Respecto a la dirección del viento, se observa que durante todo el trimestre, las localidades presentaron mayoritariamente un viento del sur, favorable a la surgencia, resaltando la Isla Chañaral y la Cebada por mantener la condición durante un 73.3% y 75.6% del trimestre. Los eventos de viento norte fueron menos frecuentes que en el año anterior (ver boletín abril 2022), destacando sólo las localidades de Huentelauquén y Los Vilos por presentar esta condición un 5.6% del trimestre.



Temperatura superficial del mar (TSM)

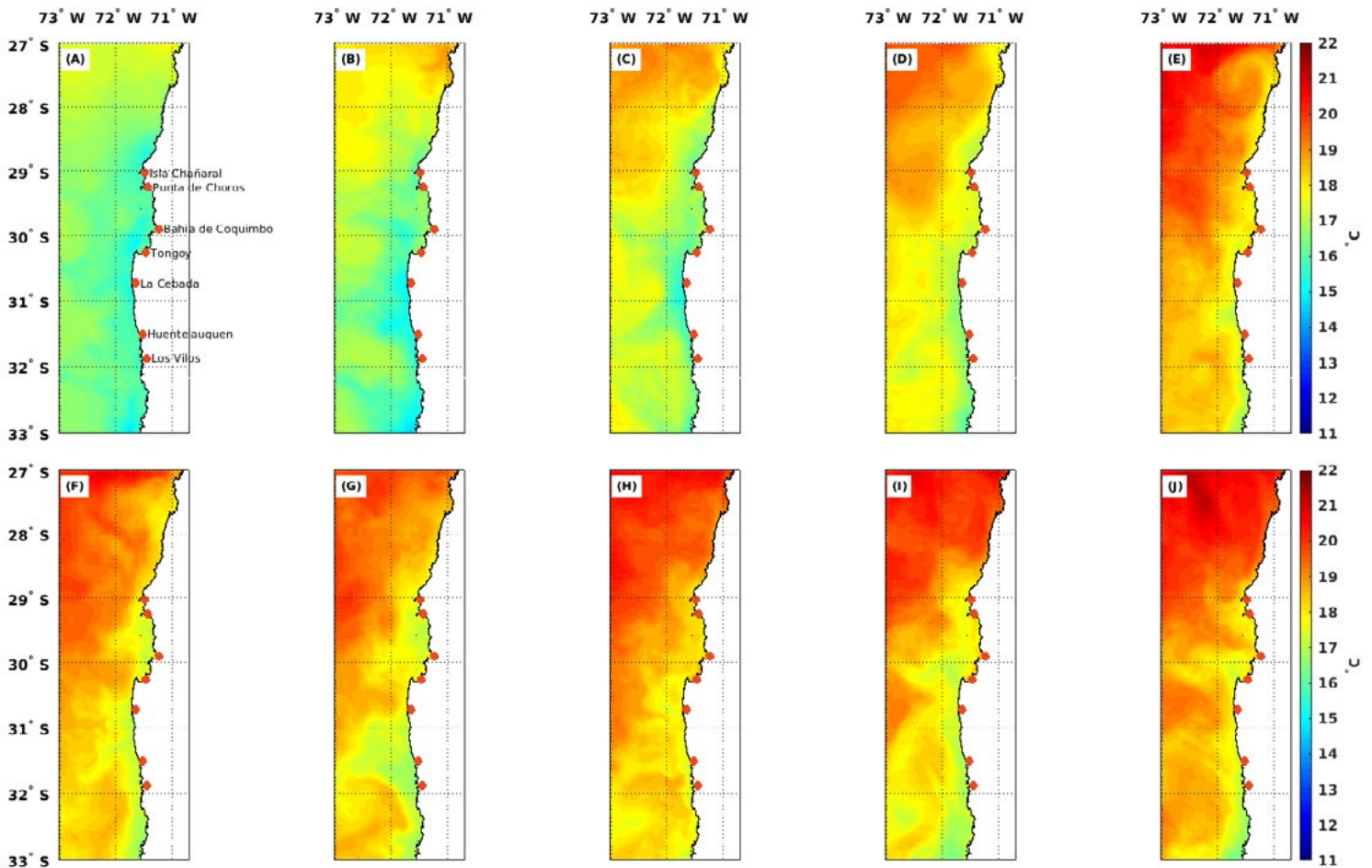


Figura 6. Temperatura Superficial del Mar (TSM) (°C) estimada a través de la observación satelital de la superficie oceánica frente a la Región de Coquimbo desde el 1 de diciembre de 2022 al 28 de febrero de 2023. Cada imagen muestra el promedio para la TSM para un periodo de 9 días A) 1-dic-2022 a 9-dic-2022 (B) 10-dic-2022 a 18-dic-2022, (C) 19-dic-2022 a 27-dic-2022, (D) 28-dic-2022 a 05-ene-2023, (E) 6-ene-2023 a 14-ene-2023, (F) 15-ene-2023 a 23-ene-2023, (G) 24-ene-2023 a 1-feb-2023, (H) 2-feb-2023 a 10-feb-2023, (I) 11-feb-2023 a 19-feb-2023, y (J) 20-feb-2023 a 28-feb-2023. Se muestran con puntos rojos las localidades de Chañaral de Aceituno, Punta de Choros, Bahía de Coquimbo, Bahía de Tongoy, La Cebada, Huentelauquén y Los Vilos.

A modo general la temperatura superficial del mar ha ido en aumento desde el trimestre anterior (ver boletín enero 2022), lo cual es consistente con la transición de la primavera al verano. Superpuesto a este calentamiento estacional, se observa el efecto de la surgencia, donde destacan los períodos del 15 al 23 de enero, del 24 de enero al 1 de febrero y del 11 al 19 de febrero por sus bajas temperaturas costeras (17°C), las cuales contrastan con las mayores temperaturas del océano abierto (20°C) (Figura 6 F, G e I).

Comparando con el año anterior (ver boletín abril 2022), se observa que las aguas de surgencia comprenden una menor extensión geográfica, y en general se observa un calentamiento regional desde principios de enero (especialmente al norte de la región), lo cual es consistente con el contexto general del pacífico suroriental y el término de la condición “La Niña” (ver Figura 1).

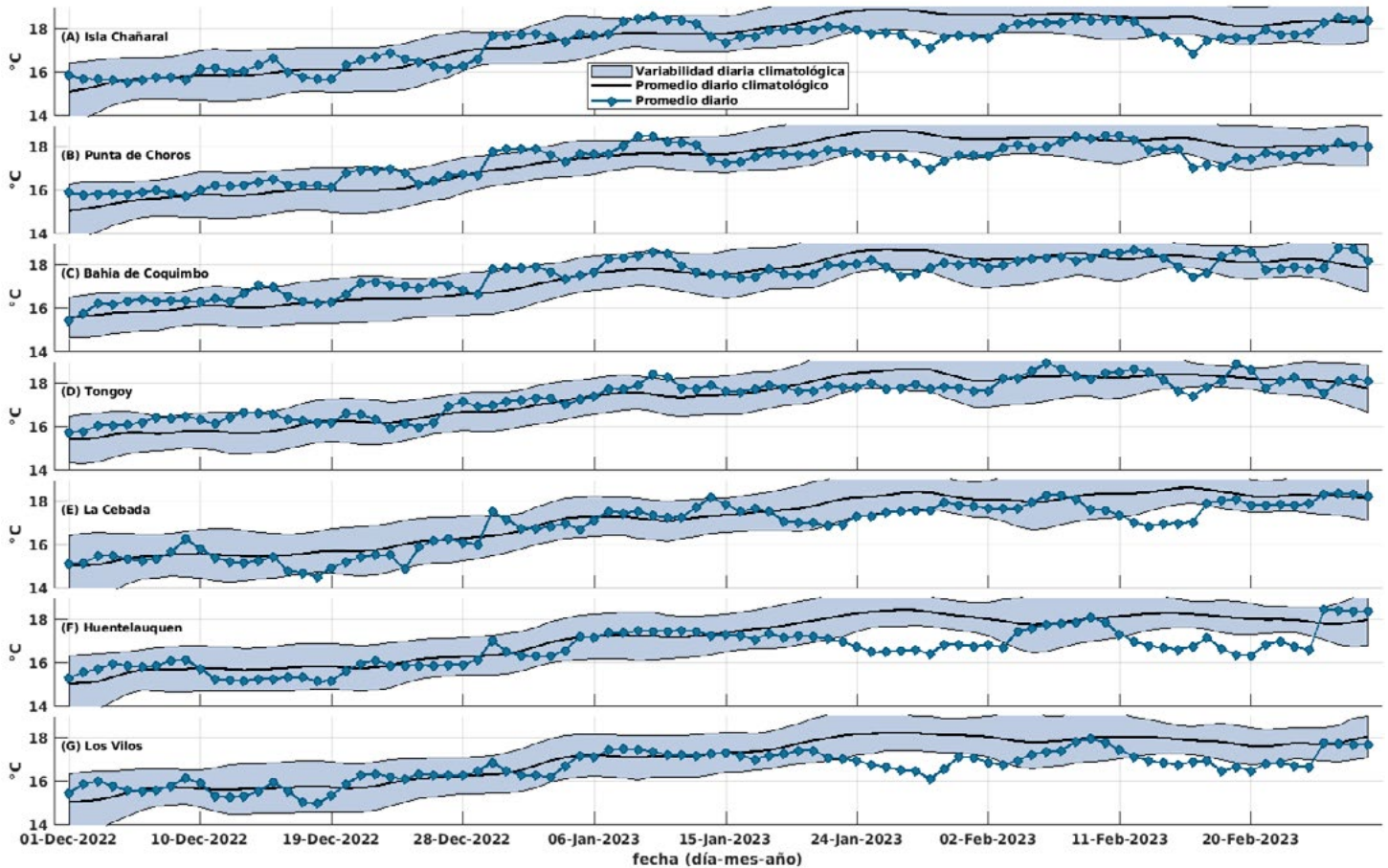


Figura 7. Series diarias de la Temperatura Superficial del Mar (TSM) (°C) para las localidades de (A) Chañaral de Aceituno, (B) Punta de Choros, (C) Bahía de Coquimbo, (D) Bahía de Tongoy, (E) La Cebada, (F) Huentelauquén y (G) Los Vilos desde el 1 de diciembre de 2022 al 28 de febrero de 2023 (curva azul punteada). Promedio diario histórico de TSM (curva negra) y desviación estándar (sombreado azul) calculados entre 2008 y 2020.



TEMPERATURA DEL AGUA: La temperatura del agua depende de la radiación solar, la latitud, y de otros procesos atmosféricos-oceanográficos de diferente escala espacial y temporal. En términos generales, las aguas superficiales varían con la temperatura del aire, mientras que las más profundas se ven afectadas por las corrientes. Además, en la Región de Coquimbo, específicamente en la zona de Punta Lengua de Vaca, se encuentra uno de los focos más intensos de surgencia (ver Glosario) que produce un ascenso de aguas más profundas hacia la superficie generando una disminución en la temperatura del agua, además de modificar otras propiedades. La temperatura del agua a nivel regional también se ve afectada por procesos de mayor escala espacial, como por ejemplo las ondas de Kelvin, y temporal, como el ciclo ENOS (ver glosario). La temperatura del agua, en conjunto con otros parámetros, influyen en varios procesos biológicos-fisiológicos (crecimiento, reproducción) y en la distribución de los organismos marinos, entre otros.

Para el trimestre en revisión la mayoría de las localidades costeras presentaron temperaturas dentro de los rangos climatológicos. En la Bahía de Coquimbo y Tongoy no se observaron eventos que significativamente alejen la temperatura fuera de lo normal por más de 5 días. No así los extremos de la región, donde un pulso de surgencia generó la mínima de 16.1 °C el 29 de enero en Los Vilos, casi 2°C más fría que lo esperado para esas fechas. Así mismo, destacan los días del 11 al 24 de febrero, donde la surgencia mantuvo la TSM en Huentelauquén y La Cebada por debajo de los 17°C. Ambos eventos generaron anomalías frías en Punta de Choros e Isla Chañaral, pero de menor intensidad y duración.

Cabe señalar algunos episodios de altas temperaturas que por poco exceden los rangos normales. Por ejemplo, la localidad de Tongoy el 18 de febrero resalta con el máximo del trimestre de 18.9°C. También destacan las localidades de Punta de Choros y Coquimbo, que en los últimos días de diciembre y principios de enero alcanzaron temperaturas mayores a 18°C, las cuales se mantuvieron por alrededor de 5 días en tres eventos.



Clorofila superficial

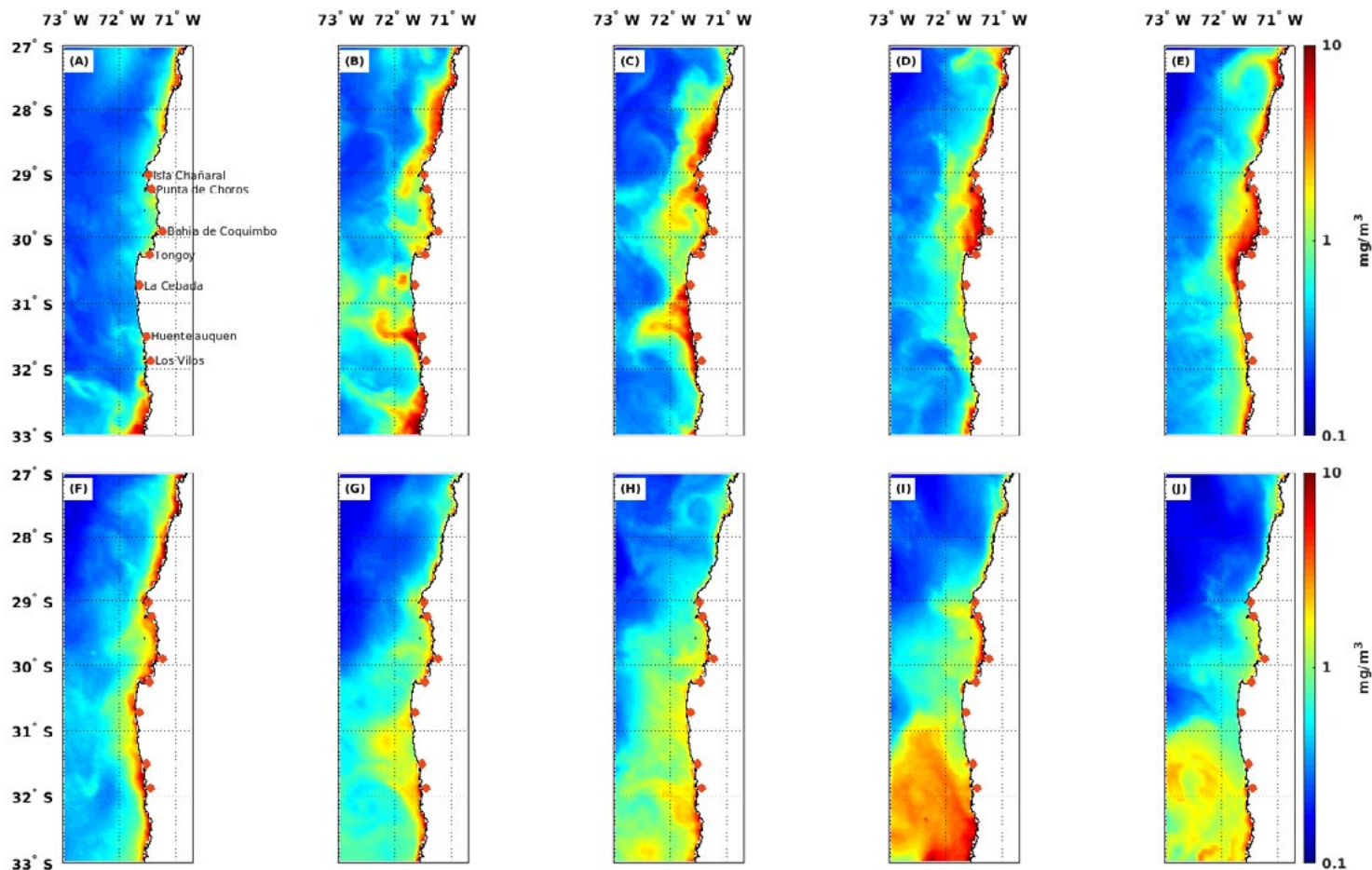


Figura 8. Concentración de clorofila superficial estimada a través de observaciones satelitales (mg/m^3) para la Región de Coquimbo desde el 1 de diciembre de 2022 al 28 de febrero de 2023. Cada imagen muestra el promedio para la concentración de clorofila para un período de 9 días A) 1-dic-2022 a 9-dic-2022 (B) 10-dic-2022 a 18-dic-2022, (C) 19-dic-2022 a 27-dic-2022, (D) 28-dic-2022 a 05-ene-2023, (E) 6-ene-2023 a 14-ene-2023, (F) 15-ene-2023 a 23-ene-2023, (G) 24-ene-2023 a 1-feb-2023, (H) 2-feb-2023 a 10-feb-2023, (I) 11-feb-2023 a 19-feb-2023, y (J) 20-feb-2023 a 28-feb-2023. Se muestran con puntos azules las localidades de Chañaral de Aceituno, Punta de Choros, Bahía de Coquimbo, Bahía de Tongoy, La Cebada, Huentelauquén y Los Vilos.

Durante el trimestre en revisión, destacan los períodos del 10 al 18 de diciembre y del 19 al 27 de diciembre (Figuras 8 B y C), por mostrar una mayor variabilidad regional de la clorofila, lo cual se asocia a la surgencia y al posterior transporte por corrientes de mar abierto (notar que filamentos fríos de la figura 6C coinciden con zonas de alta clorofila en 8C). Por otro lado, el sistema de bahías de Coquimbo resalta por su magnitud superior a $5 \text{ mg}/\text{m}^3$ a fines de diciembre y principios de enero, alcanzando el máximo de $11.6 \text{ mg}/\text{m}^3$ en el período del 6 al 14 de enero (Figura 6E). Desde fines de enero hasta fines de febrero resalta la zona sur de la región por su alta productividad biológica en la banda costera, especialmente el período del 11 al 19 de febrero (Figura 8) donde se superan los $8 \text{ mg}/\text{m}^3$, coincidiendo con los pulsos fríos vistos en la temperatura de Huentelauquén y Los Vilos (Figura 7 F y G).



CLOROFILA: La clorofila es un pigmento presente en el fitoplancton o microalgas marinas, empleado en la fotosíntesis para absorber dióxido de carbono atmosférico, para producir azúcares como combustible y liberar oxígeno. La clorofila es responsable del color verdoso del fitoplancton. La medición de la concentración de clorofila en el océano permite estimar la concentración del fitoplancton y por lo tanto, de la actividad biológica de éste, o incluso la disponibilidad de alimento para organismos que filtran (filtradores), así como las capturas de peces sujetos a pesquerías, o el éxito de la producción acuícola.

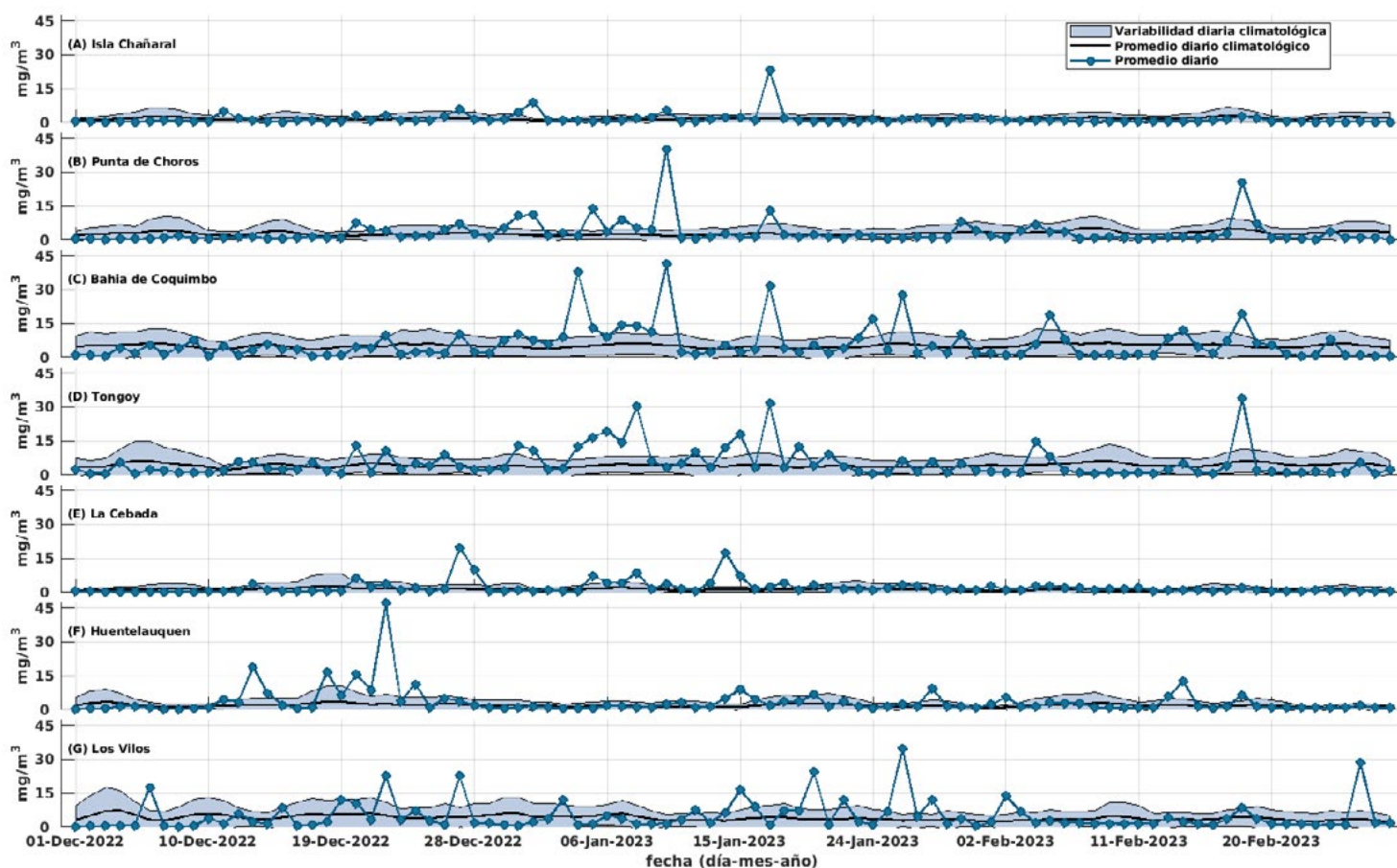


Figura 9. Series diarias de clorofila satelital (superficial) (mg/m^3) para las localidades de (A) Chañaral de Aceituno, (B) Punta de Choros, (C) Bahía de Coquimbo, (D) Bahía de Tongoy, (E) La Cebada, (F) Huentelauquén y (G) Los Vilos entre el 1 de diciembre del 2022 al 28 de febrero del 2023. Se muestran los datos diarios de clorofila (curva azul punteada), el promedio diario histórico (línea negra) y su desviación estándar (sombreado azul) calculados entre 2008 y 2020.

A nivel de localidades costeras, destacan Punta de Choros, Bahía de Coquimbo, Tongoy, Huentelauquén y Los Vilos en su variabilidad temporal por sobre Isla Chañaral y La Cebada. Se observa que frecuentemente ocurrieron días con valores superiores a $15 \text{ mg}/\text{m}^3$, destacando Punta de Choros, Bahía de Coquimbo y Tongoy durante la primera mitad de enero, Huentelauquén a fines de diciembre y Los Vilos durante todo el trimestre. El máximo del trimestre se

detectó en Huentelauquén con $47 \text{ mg}/\text{m}^3$ el 22 de diciembre, aunque también resaltan los máximos de 40.4 y $41.4 \text{ mg}/\text{m}^3$ en Punta de Choros y Bahía de Coquimbo el 10 de enero. En contraposición destaca la Isla Chañaral por la baja productividad de fitoplancton, donde se observa un promedio de clorofila bajo los $2 \text{ mg}/\text{m}^3$ durante el trimestre, a excepción del único máximo de $23.3 \text{ mg}/\text{m}^3$ el 17 de enero.



Observaciones locales

» Localización de las estaciones costeras en la Región de Coquimbo

Esta sección presenta un diagnóstico de la información meteorológica y oceanográfica para el trimestre comprendido entre el 1 de diciembre de 2022 hasta el 28 de febrero de 2023 para las estaciones costeras de Punta de Choros y del Sistema Tongoy-Punta Lengua de Vaca.

Todos los datos analizados en esta sección son de dominio público y en el caso de Punta Choros y Tongoy son entregados en tiempo real a través de la plataforma web CEAZAMet (www.ceazamet.cl) y CEAZAMar (www.ceazamar.cl).



Variables oceanográficas (sólo Tongoy)

En la bahía de Tongoy se encuentra instalada una balsa (30.275°S; 71.561°W) que monitorea las condiciones atmosféricas y oceanográficas de la Bahía de Tongoy. La estación comenzó su funcionamiento en junio de 2014, y actualmente cuenta con conectividad, transmisión y actualización de los datos en línea cada una hora. Durante el trimestre de estudio, se realizó mantención a la plataforma y se registraron ~2 meses de datos oceanográficos.

La balsa de Tongoy se encuentra en un área concesionada para la empresa acuícola OSTIMAR S.A. quien colabora

en su mantenimiento y operatividad. Además, la balsa de Tongoy es parte de la Red Mundial de Observación de la Acidificación del Océano (GOA-ON).

Los datos oceanográficos provienen de un conjunto de sensores localizados a 10 metros de profundidad que monitorean la temperatura del agua, su salinidad, el oxígeno disuelto, la clorofila y turbidez de la bahía de Tongoy. Estos datos son de gran importancia para los sectores productivos como la acuicultura y la pesca que se desarrollan en la bahía de Tongoy (ver www.ceazamet.cl).



» Punta de Choros

Condiciones atmosféricas

La intensidad del viento Punta de Choros se observó dentro del rango histórico con magnitud en general bajo los registros históricos, salvo por períodos intercalados de intensificación y relajación del viento (ver curva azul en Figura 10), coincidiendo en gran medida con las

observaciones del satélite (ver Figura 5b). Destacamos los períodos de intensificación de viento de surgencia que maximizaron las concentraciones de clorofila (ver Figura 9b) entre el 19 de diciembre y el 24 de enero, como también entre el 11 y 20 de febrero.

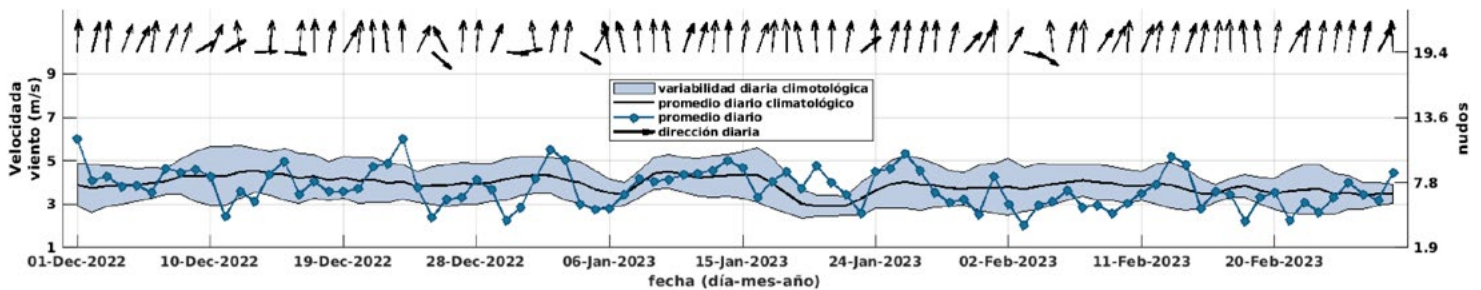


Figura 10. Serie diaria de la velocidad (curva azul punteada) y dirección (vectores) del viento promedio diario satelital (m/s y nudos) para la localidad de Punta de Choros desde el 1 de diciembre de 2022 al 28 de febrero del 2023. Adicionalmente, se incluye el promedio diario histórico de velocidad de viento (curva negra) y su anomalía (sombreado azul), es decir, su desviación estándar respecto al período histórico comprendido entre el año 2016 y 2020.

Para la localidad de Punta de Choros, el índice derivado del viento (Figura 10A) muestra que, a diferencia del trimestre anterior (ver boletín octubre 2022), el transporte de Ekman fue casi en la totalidad un flujo costa afuera, alcanzando el máximo promedio de $1.9 \text{ m}^3/\text{s}$ el período del 19 al 27 de septiembre, con un máximo transporte diario de $4.1 \text{ m}^3/\text{s}$ el día 22. Este evento, a pesar de ser el máximo en términos de transporte, no generó un enfriamiento tan significativo como en los eventos posteriores lo que indica que durante septiembre todavía prevalecían condiciones bien mezcladas en la capa superficial oceánica de Punta de Choros.

Más notoriamente en el trimestre, destacan por sus mayores repercusiones tanto en las temperaturas como en la clorofila satelital los eventos comprendidos entre el 6 al 16 de octubre, el 21 de octubre al 3 de noviembre, y el 16 al 22 de noviembre (Figura 10B y 9B). Estos eventos tuvieron una duración aproximada de 11, 14 y 7 días con un calentamiento integrado de 4.5°C , 6°C y 2.8°C , respectivamente. Por otro lado, sobresale el evento del 16 al 22 de noviembre que alcanzó una anomalía sinóptica de -1°C coincidente con un máximo de clorofila satelital de $16.7 \text{ mg}/\text{m}^3$ (Figura 9B).



SURGENCIA: La surgencia, o afloramiento de aguas profundas, es un proceso oceanográfico provocado por la interacción entre el viento, la superficie del mar y la rotación de la Tierra, cuyo resultado es el movimiento y reemplazo de las aguas superficiales del océano por aguas más profundas. El viento que sopla paralelo a la costa, de sur a norte en el Hemisferio Sur, provoca el movimiento o transporte del agua superficial hacia mar abierto (hacia el oeste). Este transporte del agua superficial (llamado transporte de Ekman) permite

que aguas más profundas la reemplacen. Estas aguas más profundas son más frías lo que genera fuertes contrastes en la Temperatura Superficial del Mar (TSM), pero también presentan elevados niveles de nutrientes que estimulan el crecimiento de las microalgas o fitoplancton. Finalmente, las aguas de surgencia también presentan altas concentraciones de CO_2 (elevada acidez) y bajas concentraciones de oxígeno disuelto lo que genera eventos locales de acidificación y desoxigenación del océano, respectivamente.



Índice de surgencia

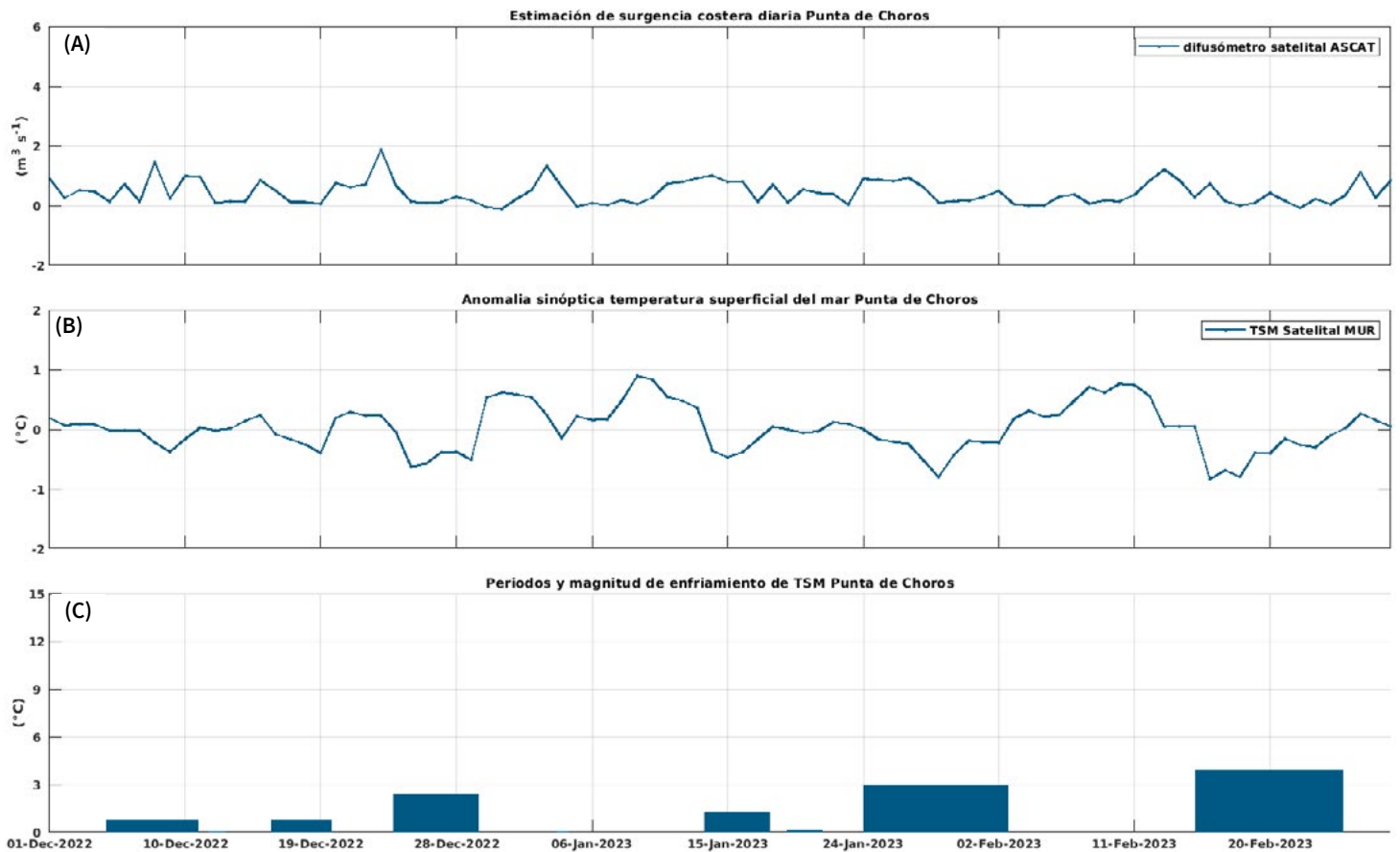


Figura 11. Indicadores de intensidad y duración de la surgencia costera en Punta de Choros entre el 1 de diciembre de 2022 al 28 de febrero de 2023. (A) Índice de surgencia costera (UI) estimado a partir del estrés del viento. (B) Anomalías sinópticas de la temperatura superficial del mar (TSM) ($^{\circ}C$). (C) Índice termal de surgencia costera (enfriamiento costero superficial) estimado a partir de las anomalías sinópticas de la Temperatura Superficial del Mar (TSM). Las anomalías de temperatura se obtienen sustrayendo el promedio móvil de 30 días de la serie diaria de TSM satelital en la localidad de interés.

Para la localidad de Punta de Choros, el índice derivado del viento (Figura 11A) muestra un sostenido transporte de aguas costa afuera, pero que nunca superó los $2 m^3/s$, magnitud que si fue superada en dos ocasiones el año anterior (ver boletín abril 2022). La ausencia de eventos continuos de viento intenso (ver Figuras 11A y 5B) explica parcialmente que las anomalías sinópticas negativas de temperatura no hayan superado $1^{\circ}C$ en ningún momento del trimestre, como sí lo hicieron en la temporada pasada

y en el año anterior (ver boletines enero 2023 y abril 2022). Aún así, se destacan los eventos moderados que ocurrieron a fines de enero y febrero. El primero, comenzó el 22 de enero, duró 12 días y se caracterizó por un enfriamiento integrado de $\sim 3^{\circ}C$, y el segundo comenzó el 14 de febrero, duró 11 días y tuvo un enfriamiento integrado de $\sim 4^{\circ}C$. A pesar de que ambos eventos tuvieron un efecto en la temperatura, sólo el segundo generó una moderada respuesta en la clorofila satelital (ver Figura 9B).



OXÍGENO DISUELTO: La concentración de oxígeno disuelto que encontramos en los océanos depende de múltiples factores físico-químicos (ej. intercambio atmósfera-océano, temperatura, etc.) y biológicos (ej., fotosíntesis, respiración, etc.). Las costas de Chile son afectadas por una de las zonas mínimas de oxígeno las cuales presentan valores muy bajos de oxígeno disuelto (en algunos puntos valores cercanos a 0). Además, en nuestra región, la surgencia costera transporta agua con bajo contenido en oxígeno desde capas más profundas hacia la superficie (ver glosario). El cambio climático y la descarga de exceso de nutrientes desde ríos al océano generan importantes disminuciones en la concentración de oxígeno disuelto en el océano, produciendo en ocasiones eventos de hipoxia (contenidos de oxígeno muy bajos). La cantidad de oxígeno disuelto presente en el agua de mar es importante para los organismos marinos, ya que afecta su crecimiento, mortalidad, éxito reproductivo, además de la distribución de especies, entre otros.



» Sistema Bahía de Tongoy - Punta Lengua de Vaca

Condiciones atmosféricas y oceanográficas

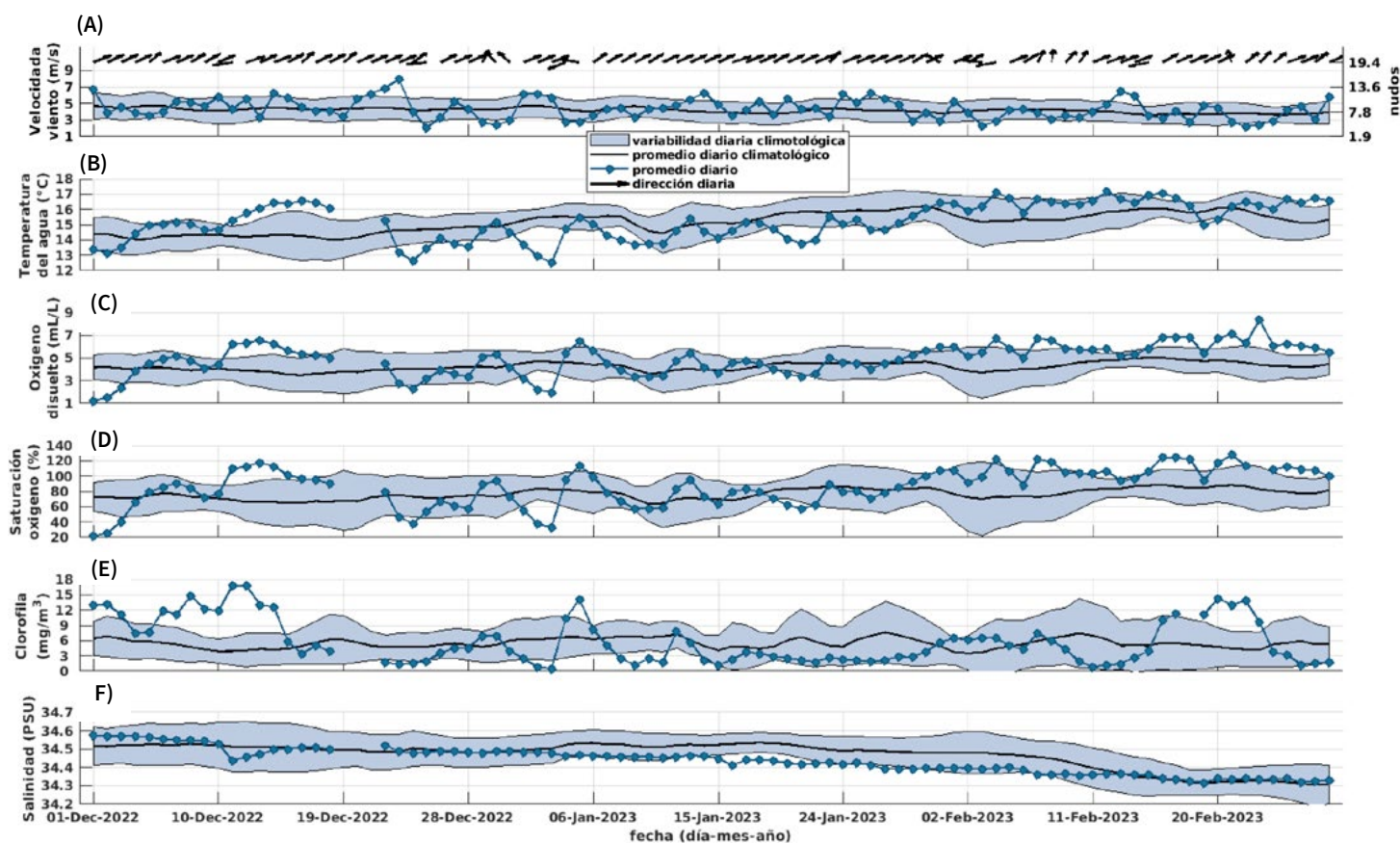


Figura 12. (A) Serie diaria de la velocidad (curva azul punteada) y dirección (vectores) del viento promedio diario satelital (m/s y nudos) en Punta Lengua de Vaca desde el 1 de diciembre de 2022 al 28 de febrero del 2023. Promedio trimestral de velocidad de viento (línea negra) y desviación estándar (sombreado azul) calculados entre 2013 y 2020. (B) Temperatura del agua (°C), (C) Oxígeno disuelto (mL/L), (D) Saturación de oxígeno (%), (E) Clorofila (mg/m^3) y (F) Salinidad (psu) registrados a 10 m de profundidad por la estación de monitoreo localizada en la Bahía de Tongoy. Datos diarios (línea azul) entre el 1 de diciembre de 2022 y el 28 de febrero de 2023. Promedio trimestral (línea negra) y desviación estándar (sombreado azul) calculados entre 2014 y 2020 para las variables temperatura del agua, oxígeno disuelto y salinidad; y entre 2015 y 2020 para saturación de oxígeno y clorofila.

Para la bahía de Tongoy, el trimestre de estudio se caracterizó por un forzamiento atmosférico dentro del rango histórico con periodos intercalados de intensificación y relajación del viento (ver Figura 12a) consistentes con los observados por el satélite (ver Figura 5d). El impacto de estos eventos intercalados módulo la tendencia al calentamiento de la TSM (ver Figura 12a) así como la concentración de clorofila (ver Figura 12e), la cual se incrementó al unísono con las temperaturas y en paralelo con la reducción de la magnitud del viento, esta alternación del forzamiento del viento y la respuesta de la temperatura del agua activó los episodios de incremento de biomasa fitoplanctónica. Por otro parte, los meses de verano del trimestre diciembre-enero-febrero estuvieron caracterizados

por un alza de las concentraciones de oxígeno en el agua (ver Figuras 12 c y d), la cual presenta una variabilidad correlacionada fuertemente con la de la TSM, a diferencia de lo observado en igual periodo de los dos años previos. Marcando un regreso de las concentraciones de oxígeno a niveles sobre el promedio histórico de observaciones de la boya de CEAZAMAR en la bahía de Tongoy. Finalmente, la salinidad (ver Figura 12f) muestra una tendencia a la reducción, propia de los meses de verano, con valores dentro del promedio histórico, salvo por el periodo del 4 de enero al 11 de febrero que se mantuvo en el rango inferior de los valores climatológicos.



Índice de surgencia (Bahía de Tongoy)

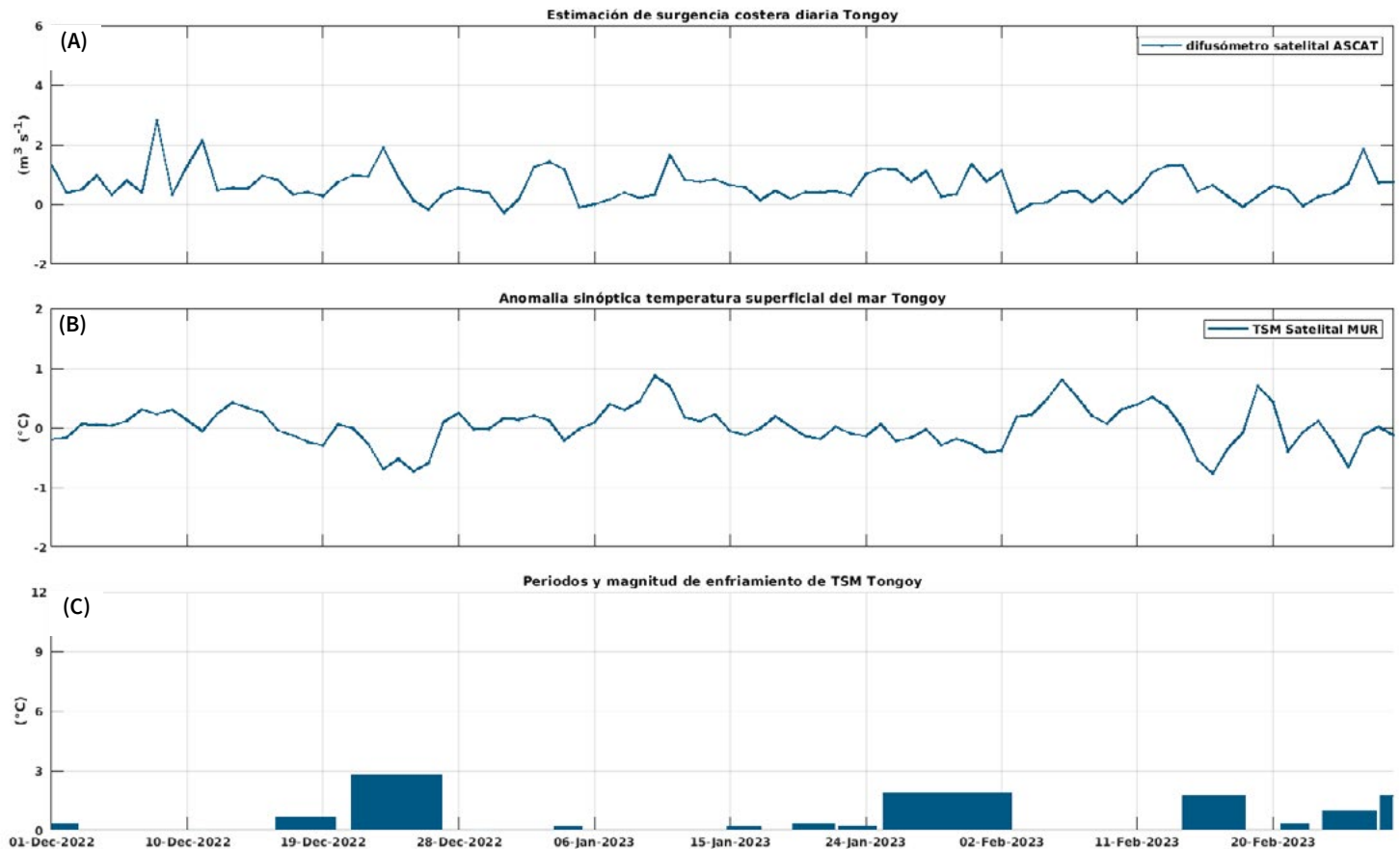


Figura 13. Indicadores de intensidad y duración de la surgencia costera en la Bahía de Tongoy entre el 1 de diciembre de 2022 al 28 de febrero de 2022. (A) Índice de surgencia costera (UI) estimado a partir del estrés del viento. (B) Anomalías sinópticas de la Temperatura Superficial del Mar (TSM) (°C). (C) Índice termal de surgencia costera (enfriamiento costero superficial) estimado a partir de las anomalías sinópticas (ver Glosario) de la Temperatura Superficial del Mar (TSM). Las anomalías de temperatura se obtienen sustrayendo el promedio móvil de 30 días de la serie diaria de TSM satelital en la localidad de interés.

El análisis de los períodos de surgencia en la Bahía de Tongoy, estimado a partir del forzamiento del viento, indica que hubo un sostenido transporte costa afuera durante el trimestre pero a nivel diario sólo se superó los 2 m³/s el 7 y 11 de diciembre. En respuesta a lo observado en el viento, sólo se observan pulsos de enfriamiento moderados a fines de diciembre, fines enero y febrero, destacándose mayoritariamente el mes de enero por su baja variabilidad en la temperatura del mar. Aún así, el mayor evento de surgencia ocurrió el 20 de diciembre, de 6

días de duración, que generó un enfriamiento integrado de 2.7°C producto a un transporte costa afuera de casi 2 m³/s. Por último, conviene enfatizar que durante el mes de enero sólo hubo un evento anómalo y cálido, de 0.9°C por sobre lo normal, el que junto a la poca variabilidad en los vientos, puede explicar la mayor dispersión que se observó en la clorofila del mes de enero (ver Figura 9D y 12A).



Diagnóstico de los sectores productivos

En la Región de Coquimbo, la industria del Ostión del Norte se concentra casi exclusivamente en las bahías de Tongoy y Guanaqueros, las cuales representan el 94% del desembarque a nivel nacional (FAO 2022. Estadísticas de pesca y acuicultura 2019). La mayor parte de los cultivos se ubican en la bahía de Tongoy, donde existen diferencias en la disponibilidad de alimento, el que se concentra principalmente en la boca norte, lo que podría explicar diferencias productivas entre algunas empresas. También sabemos que el “peak” de fitoplancton (y por ende, la mayor disponibilidad de alimento), ocurre entre los 0 y 5 metros. Sin embargo, los sistemas de cultivos se instalan entre los 8 y 13 metros de profundidad con el objeto de evitar el “biofouling”, principalmente la incrustación de epibiontes.

Adicionalmente, se ha reportado que la disponibilidad total de alimento es altamente dependiente de la intensidad de los vientos que son favorables a la surgencia costera, los que además exhiben una variabilidad a distintas escalas de tiempo (sinóptica, intraestacional, estacional, anual e interanual) (ver estudios Ramajo et al., 2020 y Ramajo et al., 2022) .



» Diagnóstico de las condiciones de la Bahía de Tongoy y su relación con la productividad del recurso ostión durante los años 2022 y 2023

La década del 2010 al 2020 estuvo marcada por condiciones oceánicas frías, en particular en la Bahía de Tongoy, lo que solo se vio interrumpido brevemente por el período El Niño 2015-2016, que trajo consigo condiciones favorables para la industria, dejando después de dicho evento, cosechas de 37 millones de

ostiones en el 2017. Durante el periodo 2018-2020 se observaron anomalías positivas de temperaturas, sin embargo la magnitud no es “suficiente” para ser catalogado como periodo niño (ver Figura 14, Niño EP).

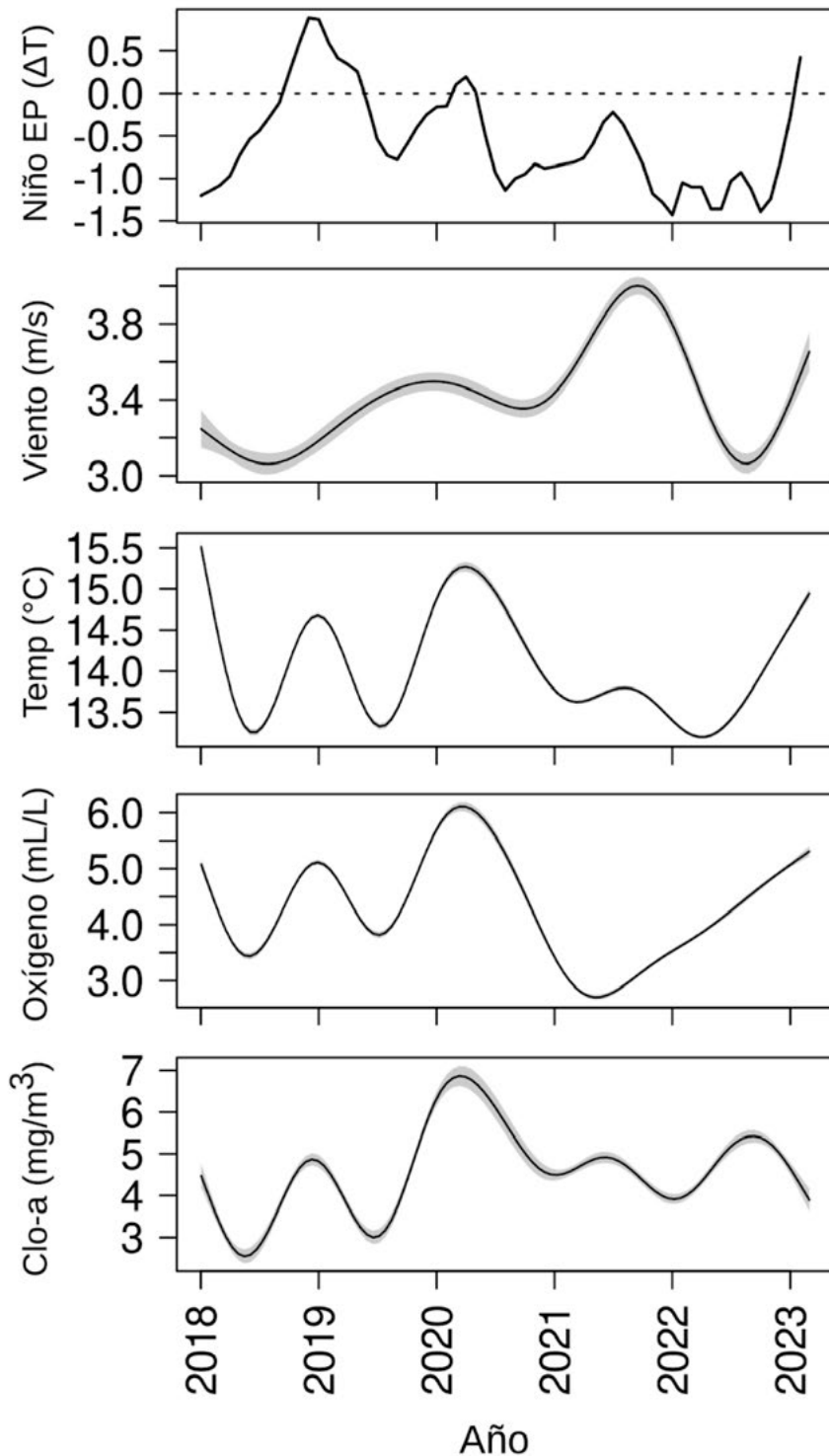


Figura 14. Series temporales de variables ambientales en la bahía de Tongoy. Se muestran los índices utilizados para definir los eventos de El Niño y La Niña (índice El Niño EP), y los diferentes parámetros oceanográficos obtenidos desde la boya localizada en la bahía de Tongoy un modelo aditivo generalizado. Las bandas sombreadas que rodean las tendencias estimadas son los intervalos de confianza aproximados del 95% a lo largo de la función.

Desde el año 2018 a 2022, se observó un aumento sostenido de la velocidad promedio del viento para la zona (ver Figura 14). En respuesta a la intensidad y persistencia de los vientos del sur, se reportaron eventos de surgencia intensos, los cuales disminuyeron la temperatura y el contenido de oxígeno disuelto en la columna de agua e incrementó la productividad natural, como se puede apreciar en el contenido de clorofila en la bahía (ver Figura 14, boletín Enero 2022). Si bien los eventos de surgencia son necesarios para proveer de alimento a los ostiones bajo cultivo, cuando estas condiciones ocurren con mayor intensidad pueden producir efectos negativos en la industria. Durante el año 2021, la acuicultura de Ostión del Norte sufrió una permanente baja en la concentración de oxígeno en el agua y una alta presencia de organismos incrustantes, condiciones que afectaron la productividad, con una merma importante en los desembarques. En contraste, a lo largo de todo el año 2022, a pesar de mantenerse las condiciones de “La Niña” (ver Figuras 1c y 14), se observó una intensidad de viento y niveles tanto de oxígeno disuelto, como de temperatura y clorofila en el rango promedio para la bahía (ver Figura 12 a, e y f y Figura 14).

En este boletín presentamos un análisis de la producción del recurso Ostión del Norte en términos de calibre, talla media y tiempos de cultivo para los años 2020, 2021 y 2022. Podemos destacar la evidente disminución en los tiempos de cultivo, es decir, el periodo comprendido entre la siembra de semillas y la extracción del recurso. Como consecuencia, se observa una disminución en el calibre de los individuos cosechados. Durante el año 2020, particularmente en el periodo de primavera, se extrajo la mayor cantidad de individuos de calibre A (Ostiones que tienen la mayor talla media; Figura 15 colores cálidos), lo cual es reflejo de las condiciones positivas asociadas a anomalías cálidas de temperatura. No obstante, desde la primavera del mismo año se observa una disminución sostenida en los tiempos de cultivo, lo cual produjo una cosecha mayoritaria de ostiones de calibre B (Figura 17, colores fríos), seguido de individuos con calibre C, e incluso desembarques de individuos con calibre D.

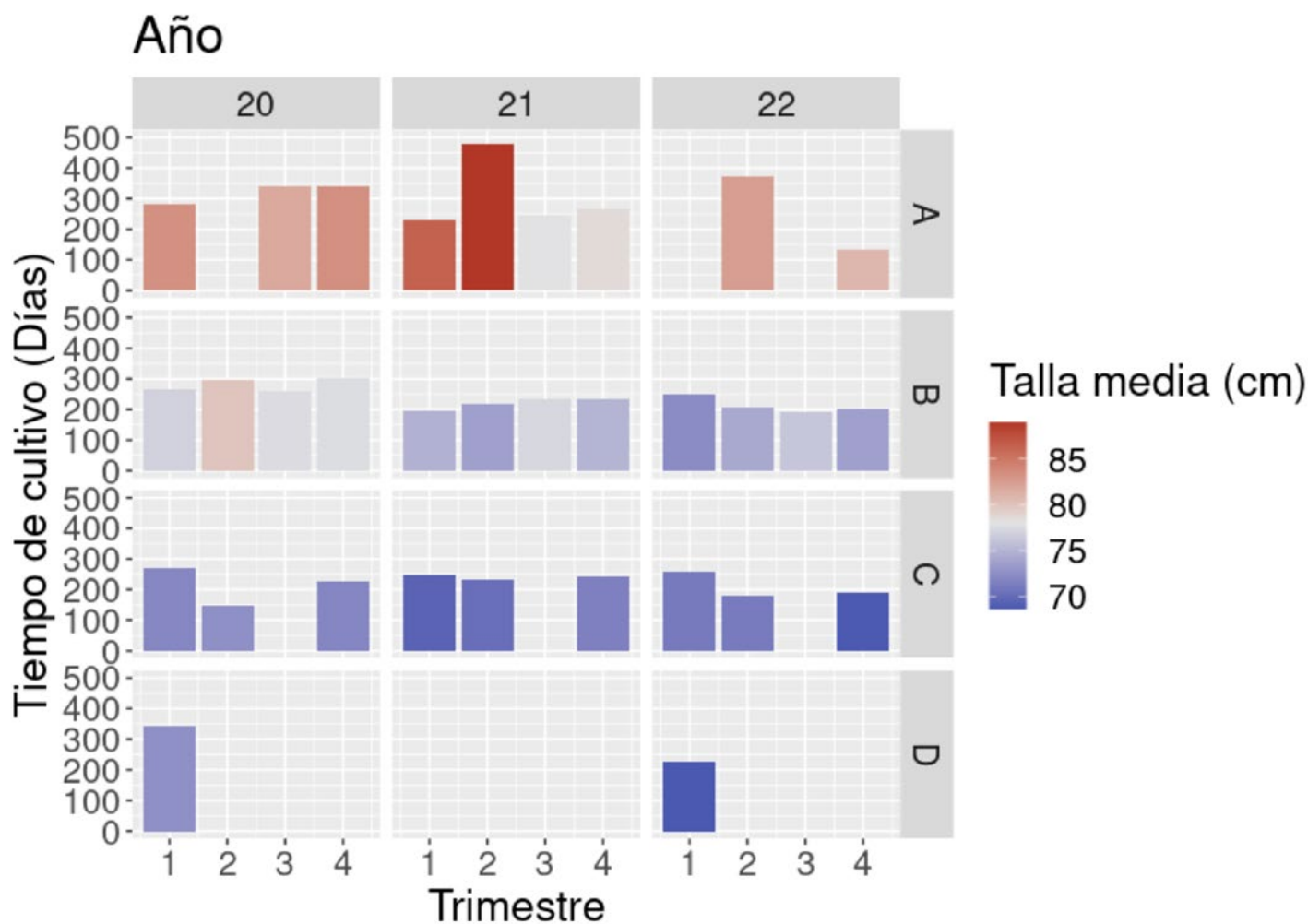


Figura 15. Gráfico de la relación entre el tiempo de cultivo del recurso ostión y su tamaño por trimestre entre los años 2020 y 2022. El eje x muestra los trimestres de cada año, mientras que el eje y representa el tiempo de cultivo en días (diferencia de días entre la siembra y la cosecha). Los colores de la barra indican la talla media en centímetros en cada punto de tiempo. los valores se encuentran separados por año y por calibre.

Como se reportó en el boletín anterior, las condiciones ambientales durante el año 2022 estuvieron más cercanas a los promedios históricos (ver Figura 12), Por lo tanto, los tiempos de cosecha, y como consecuencia desembarques con individuos con menor calibre, se explicaría más bien por decisiones de la industria relacionadas a demanda del mercado.

Finalmente, de acuerdo las observaciones y diagnósticos oceanográficos y atmosféricos, la tendencia de las condiciones ambientales en la región de Coquimbo se mantendrían, es decir, se proyecta una intensificación de la condición El Niño (ver figura 2 y 14), lo cual podría traer consigo una influencia positiva en el manejo y productividad del recurso durante el presente año.



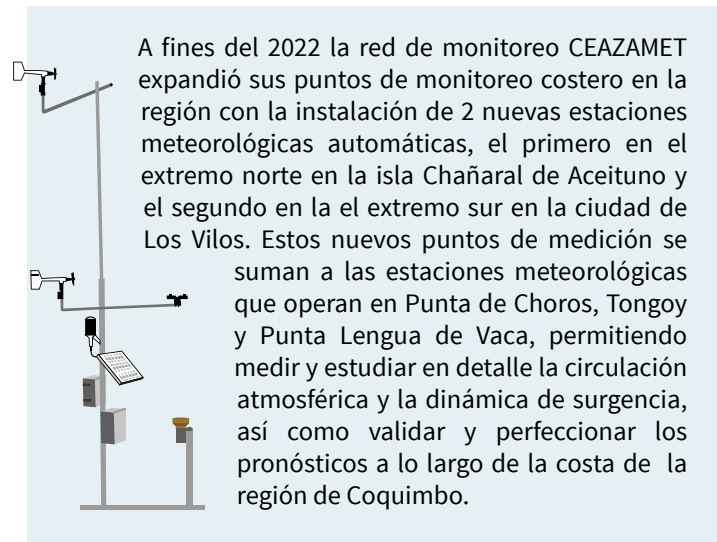
» PRONÓSTICOS A CORTO PLAZO

» Temperatura Superficial del Mar (TSM), oleaje, mareas y viento

En esta sección se introducen y presentan las predicciones del sistema de pronóstico atmosférico y oceanográfico de CEAZA. Los pronósticos de TSM, oleaje, mareas y viento a escala regional y local se encuentran en el portal CEAZAMar (www.ceazamar.cl) donde se muestra una síntesis de la evolución futura de estas variables para los próximos 10 días.

Adicionalmente, en esta versión del boletín se da a conocer una nueva actualización de los pronósticos locales, incluyendo ahora los cambios del nivel del mar producto de las mareas. Este nuevo servicio está basado en una simulación global llamada TPXO (<https://www.tpxo.net/>), la cual está diseñada para estimar las variaciones del nivel del mar producto de la gravedad y movimiento de la tierra, la luna y el sol. Este producto fue evaluado por CEAZA con las observaciones de los mareógrafos públicos del puerto de Coquimbo y Punta de Choros (SHOA). A partir de esta validación, se determinó que los errores de pronóstico a 10 días están en el orden de los centímetros de amplitud y unos pocos minutos de diferencia de fase.

A nivel gráfico el pronóstico de mareas se presenta embebido en el “oceanograma” de cada localidad, donde ahora se ilustran las oscilaciones pronosticadas del nivel del mar, junto a la amplitud y hora en que ocurrirán las pleamares y bajamares de cada día (mareas altas y bajas). Se espera que con este nuevo producto los usuarios del pronóstico puedan planificar de mejor manera sus actividades laborales, económicas, turísticas y recreativas en el borde costero de la región de Coquimbo.



LINKS DE ACCESO:

PRONÓSTICOS REGIONALES:

- ✓ VIENTOS
- ✓ OLAS
- ✓ TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL MAR (TSM)

¡Nuevo link!

PRONÓSTICOS LOCALES:

- ✓ OCEANOGRAMA POR CALETA ¡AHORA CON MAREAS!



» INFOGRAFÍA



MONITOREO DE LAS CONDICIONES ATMOSFÉRICAS Y OCEANOGRÁFICAS DE LA REGIÓN DE COQUIMBO

El Boletín del CEAZAMar realiza cada 3 meses un diagnóstico de las condiciones oceánicas y costeras en el último trimestre. Entre las variables analizadas destacamos la temperatura del mar, esta se analiza a nivel del Pacífico Sureste enfocándonos en las condiciones El Niño/La Niña y a nivel de la Región de Coquimbo, nos enfocamos en la actividad de la surgencia costera.

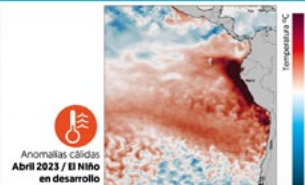
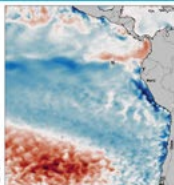


ANÁLISIS DE LA TEMPERATURA EN EL PACÍFICO SURESTE

INDICADORES DE CONDICIONES CÁLIDAS O FRÍAS EL NIÑO/LA NIÑA

Contraste de las anomalías de la temperatura del mar en condiciones de la La Niña durante abril de 2022 y de El Niño en desarrollo en abril 2023.

ANOMALÍA DE TEMPERATURA: Se refiere a la diferencia en los valores de la temperatura con respecto a su promedio histórico o climatológico.



ANÁLISIS DE LA TEMPERATURA DEL MAR EN LA REGIÓN DE COQUIMBO

INDICADORES DE LAS VARIACIONES DE LA TEMPERATURA GENERADAS POR EL VIENTO (SURGENCIA)

Surgencia costera: Es el afloramiento del agua de mar cargada con nutrientes, desde la profundidad a la superficie.

Identificación de eventos de surgencia:

1. Dirección: Viento sur
2. Velocidad: Más de 5 m/s
3. Periodo: Sobre 3 días

Características de la surgencia

- Temperaturas más frías
- Bajas concentraciones de oxígeno disuelto
- Derivados niveles de clorofila

MEDICIÓN, REGISTRO Y CARACTERIZACIÓN DE UN EVENTO DE SURGENCIA

Análisis de viento

3 periodos de viento que promueven eventos de surgencia



Temperatura Superficial del Mar (TSM)

En estos 3 periodos de viento, se registraron las temperaturas más bajas del periodo

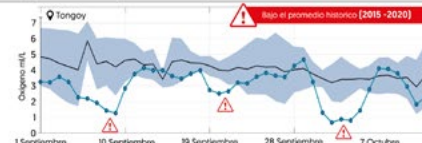
DATO: La temperatura del mar ha estado por debajo del promedio, como consecuencia de la fase fría del ciclo ENOS - La Niña.



Oxígeno disuelto

En estos 3 periodos de surgencia, la concentración de oxígeno, registró una importante disminución

importante disminución



Clorofila (microalgas)

Fase 1: La clorofila disminuye con los 3 periodos de viento intenso y aumentan los nutrientes.

Fase 2: Cuando baja la intensidad del viento SO, aumenta la clorofila (fitoplancton).

Sobre el promedio histórico [2015 - 2020]



Índice de surgencia de aguas profundas



SURGENCIA 1
 2 Alza en el transporte de nutrientes.
 - Enfriamiento: Moderado
 - Días: 14

SURGENCIA 2
 1 Alza en el transporte de nutrientes.
 - Enfriamiento: Bajo
 - Días: 3

SURGENCIA 3
 1 Alza en el transporte de nutrientes.
 - Enfriamiento: Moderado
 - Días: 7





» GLOSARIO



Advección vertical: El proceso de advección vertical se refiere al transporte de propiedades de aguas (calor, oxígeno, nutriente) en la dirección vertical cuando se genera una velocidad vertical a través de un gradiente vertical de esa propiedad. Por ejemplo, una onda de hundimiento a lo largo de la costa tiende a producir un calentamiento superficial por la generación de anomalías de velocidad vertical negativas (hundimiento de la termoclina) en la base de la capa de mezcla (i.e. donde hay un gradiente vertical de temperatura)

Altimetría: Estudio de la altura o la medición de la altitud y se usa en la oceanografía desde la década de los 70 's para estudiar superficies continentales, especialmente en las áreas de la hidrología y la glaciología. Actualmente nos referimos con altimetría a misiones altimétricas satelitales que tienen incorporado un radar. A través de la altimetría se puede inferir una variedad de parámetros incluida la altura de la superficie del mar, la topografía del océano (fondo marino), la extensión lateral del hielo marino y la altitud de grandes icebergs sobre el nivel del mar, además de la topografía de la tierra y las capas de hielo e incluso la del mar. La altimetría satelital también proporciona información útil para mapear las velocidades del viento en la superficie del mar y las alturas significativas de las olas.

Altura de ola: Diferencia vertical entre la cresta (máximo) y el valle (mínimo) de una única ola.

Altura significativa de ola: Media aritmética del tercio superior de todas las alturas de ola medidas durante un período de tiempo fijo. Esta variable se utiliza convencionalmente como una medida de las “máximas olas que se pueden observar en un instante dado”.

Anomalía: Se refiere a la desviación en los valores de una determinada variable o parámetro ambiental, con respecto a un promedio histórico o climatológico.

Anomalías sinópticas de la Temperatura Superficial del Mar (TSM): Se refiere a la diferencia entre el valor observado y el valor histórico de cierto parámetro. En este caso, corresponde a la diferencia entre el valor de Temperatura observado y el promedio histórico para el mismo período de tiempo. Por lo tanto, la anomalía sinóptica de la Temperatura Superficial del Mar (TSM) corresponde a un horizonte temporal que no excede de una o dos semanas.

Boya Oceanográfica: Plataforma para el estudio hidrográfico, diseñada para el monitoreo de las propiedades fisicoquímicas

del mar, generalmente utilizadas para estudios oceanográficos y climáticos, pero también con aplicación en la acuicultura. Las boyas oceanográficas tienen un punto de anclaje al piso marino, y en ellas se disponen diversos instrumentos (también llamados sensores) tanto atmosféricos como oceanográficos, que miden con precisión una multitud de parámetros como la velocidad y dirección del viento a través del diámetro de los rotores de las turbinas eólicas. Los sensores oceanográficos registran parámetros como la temperatura y salinidad del mar, turbidez, fluorescencia, clorofila, el oxígeno disuelto, la concentración de CO₂ y pH, corrientes, entre otros.

Calibres Ostión del Norte: Número de individuos de ostión por unidad de masa. Comúnmente expresada en libras o kilogramo. Así tenemos por ejemplo: el calibre A corresponde entre 22-44 unidades en un kilogramo, calibre B 44-66 unidades por kilogramo, calibre C 66-88 unidades por kilogramo, etc.

Climatología: Estudio de los parámetros y variables atmosféricas observadas en un período de al menos 30 años, que permite describir las características térmicas, pluviométricas y de nubosidad de una zona o región.

Clorofila: Pigmento presente en el fitoplancton o microalgas marinas, empleado en la fotosíntesis para absorber dióxido de carbono atmosférico, para producir azúcares como combustible y liberar oxígeno. La clorofila es responsable del color verdoso del fitoplancton. La medición de la concentración de clorofila en el océano permite estimar la concentración del fitoplancton y por lo tanto, de la actividad biológica de éste, o incluso la disponibilidad de alimento para organismos que filtran (filtradores). Los valores de clorofila superficial del mar pueden ser estimados en forma satelital. A través de la columna de agua, la concentración de clorofila se puede estimar o medir utilizando sensores oceanográficos, o mediante muestras discretas de agua tomadas con botellas oceanográficas (llamadas botellas Niskin), y analizadas posteriormente en un laboratorio.

Corrientes de Superficie: Las corrientes superficiales se originan en respuesta al viento, alcanzan importantes velocidades, y debido a que recorren largas distancias, son un efectivo mecanismo de transporte para la fauna marina. En la categoría de corrientes marinas superficiales se incluyen las corrientes permanentes de los océanos tales como la corriente de Humboldt, Deriva del Oeste, Kuroshio, Australiana, la del Golfo y las corrientes Ecuatoriales, las cuales son una parte importante de la circulación general de los océanos.



CTD: Es un acrónimo en inglés de Conductividad-Temperatura-Profundidad (en inglés, Conductivity-Temperature-Depth). Además, así se denomina al instrumento científico que se usa para determinar las propiedades físicas esenciales del agua de mar. El CTD brinda a los científicos información precisa y completa de la distribución y variación de la temperatura, la salinidad y la densidad a lo largo de la columna de agua. Este instrumento se puede utilizar para obtener información a diferentes profundidades o anclado a una determinada profundidad para generar series de tiempo sobre la variabilidad de estos parámetros. Al día de hoy, a los CTDs se le puede añadir más instrumentos de medición (sensores oceanográficos) de oxígeno disuelto, clorofila, turbidez, pH, concentración de CO₂ (pCO₂), entre otros, lo que entrega una información más completa de las propiedades de la columna de agua.

El Niño: Es un fenómeno climático que se desarrolla en el Océano Pacífico tropical. Está asociado a un debilitamiento de los vientos alisios, lo que produce ondas oceánicas de hundimiento que se propagan a lo largo del ecuador hacia el este y que profundizan la termoclina, produciendo un calentamiento. La ubicación de la zona a lo largo del ecuador en la que aumenta la Temperatura de la Superficie del Mar (TSM), define si estos eventos se llaman El Niño del Pacífico Central o El Niño del Pacífico Este. Los El Niño del Pacífico Este son los más intensos y los que más influyen a la costa de Chile. Estos eventos en general son seguidos por una fase fría (La Niña), lo que resulta en una oscilación conocida por el nombre de El Niño Oscilación del Sur (ENOS)**. Eventos de calentamiento a escala más regional han sido también llamados “eventos El Niño”, como los que ocurren a lo largo de Perú (El Niño costero) o de Chile (Chile El Niño). Estos eventos son más breves y se relacionan con procesos locales de interacción océano-atmósfera.

El Niño Chileno: Corresponde al modo dominante de la variabilidad de la temperatura superficial del mar (TSM) a escala de tiempo interanual frente a Chile central, y que es independiente del El Niño del Pacífico tropical

Epibiontes: Son organismos con movilidad reducida o nula en su estado adulto (sésiles) que habitan y crecen sobre otros seres vivos. Algunos ejemplos locales, corresponden a los cirripedios o picorocos y también algunas especies de algas que se encuentran sobre las conchas de los moluscos.

ENSO: Acrónimo de “El Niño” Southern Oscillation (El Niño/Oscilación del Sur ENOS en español). El ciclo ENOS se refiere a las variaciones coherentes y, a veces, muy fuertes de un año a otro en las temperaturas de la superficie del mar (TSM), la lluvia convectiva, la presión del aire en la superficie y la circulación atmosférica que ocurren a través del Océano Pacífico ecuatorial. El Niño y La Niña representan extremos opuestos en el ciclo ENOS.

Espectro direccional de olas: Se refiere a la variable que mide la distribución de energía de las olas a lo largo de un rango de frecuencias (períodos) y direcciones. Esta variable es la que se trabaja para evaluar las oscilaciones de la superficie libre del mar, ya que para cada instante y punto sobre el océano, el

espectro define las direcciones, frecuencias y alturas (energía) de las distintas olas que dan lugar en conjunto, a un estado de mar particular.

Estrés del viento: Fuerza por unidad de área sobre la superficie del mar ejercida por el viento que sopla por encima de ella.

Fitoplancton: Derivado de las palabras griegas *phyto* (planta) y *plancton* (hecho para desplazarse), el fitoplancton está compuesto por organismos microscópicos que viven en ambientes acuáticos, tanto salados como dulces. Entre los tipos más comunes se encuentran las cianobacterias, las diatomeas recubiertas de sílice, los dinoflagelados, las algas verdes o clorófitas y los cocolitóforos recubiertos de calcio.

Índice de surgencia costera: Corresponde a la determinación de un valor que posibilita estimar la actividad de surgencia a mesoescala, gracias al análisis de series de tiempo de datos oceanográficos. Por ejemplo, en el caso de los reportados en este boletín, se estimó el índice de surgencia costera (*UI, Upwelling index por su sigla en Inglés*) a partir del estrés del viento. Con lo anterior se obtiene un índice en valores relativos que permite clasificar la surgencia como alta, media, baja y muy baja.

La Niña: Fase fría de la oscilación ENOS vinculada al enfriamiento periódico de las temperaturas de la superficie del océano en el Pacífico ecuatorial central y centro-este que ocurre cada 3 a 5 años aproximadamente. La Niña representa la fase fría del ciclo El Niño / Oscilación del Sur (ENSO).

Mareas astronómicas: Se entiende como mareas astronómicas al ir y venir de la superficie del mar producto de las fuerzas gravitacionales que ejercen la Luna y el Sol sobre la tierra. Típicamente en unas horas generan cambios de unos cuantos metros en el nivel del mar, siendo esta amplitud muy dependiente de la localidad.

Mareas meteorológicas: Se entiende por marea meteorológica a los cambios del nivel del mar producto a las variaciones de presión atmosférica en la interfaz aire/agua. Típicamente generan cambios del nivel del mar mucho menores a los de la marea astronómica.

Mareas de sizigia: También llamadas “mareas vivas”, corresponden a los períodos en donde las órbitas de la tierra y la Luna están aproximadamente alineadas con el Sol, de manera que las fuerzas gravitacionales de la Luna y el Sol actúan en conjunto para aumentar la amplitud de la marea. Estos períodos se observan principalmente cuando la Luna está en su fase “llena” y “nueva”.

Mareas de cuadratura: También llamadas “mareas muertas”, corresponden a los períodos en donde el ángulo entre el Sol, la tierra y la Luna forma aproximadamente un ángulo recto (90°), de manera que las fuerzas gravitacionales del Sol y la Luna se



contrarrestan generando una menor amplitud en la marea. Estos períodos se observan principalmente cuando la Luna está en su fase de “cuarto menguante” y “cuarto creciente”.

Mar de fondo: Se entiende como mar de fondo a las características de las olas de baja frecuencia (alto período) del espectro de energía de oleaje. En otras palabras, se puede entender como aquellas olas que fueron generadas por tormentas de mar abierto, que no necesariamente afectan de manera directa, el punto de interés en el que se desea evaluar las condiciones de oleaje.

Mar de viento: Se entiende como mar de viento a las características de las olas de alta frecuencia (bajo período) del espectro de energía de oleaje. Lo cual, se puede entender como aquellas olas que fueron generadas localmente por el viento, afectando de manera directa y rápida, el sitio de interés en el que se desea evaluar las condiciones de oleaje.

Modo climático: También llamado modo de variabilidad climática, se refiere a la preferencia del sistema climático por ciertas pautas o patrones recurrentes tanto espaciales como temporales, los cuales están relacionados a la circulación atmosférica y a sus interacciones con las superficies terrestres y oceánicas. Algunos de los modos de variabilidad climática más estudiados son el Dipolo del Océano Índico (OID), El Niño-Oscilación del Sur (ENSO) y la Oscilación Multidecadal del Atlántico (AMO). El entendimiento de los patrones que generan los modos de variabilidad pueden ayudar a predecir las condiciones futuras del tiempo en el corto y mediano plazo.

Ondas de Kelvin: Ondas que se generan en la zona ecuatorial del océano Pacífico a consecuencia de las variaciones en los vientos alisios que soplan desde el este al oeste. Una vez generadas, estas ondas viajan hacia el ecuador (este) modulando a la vez el nivel del mar y la profundidad de la termoclina. Al alcanzar la costa en el ecuador, estas se desplazan hacia los polos, apegadas a la línea costera haciendo subir el nivel y temperatura del mar. Dado que las costas de Chile y Perú suelen ser frías por el efecto de la Corriente de Humboldt y la surgencia costera, las perturbaciones en la temperatura del mar generadas por la ondas de Kelvin pueden tener importantes consecuencias en la biología y propiedades del mar en las costas de estos países.

Ondas Planetarias: Son ondas que ocurren naturalmente en fluidos en rotación. Estas ondas se forman como resultado de la rotación del planeta, dentro del océano y la atmósfera de la Tierra y pueden afectar el tiempo y el clima del planeta. También son conocidas como ondas de Rossby.

Ondas atrapadas a la costa (OAC): Las ondas atrapadas a la costa son perturbaciones de la estratificación que se propagan a lo largo de la costa. La amplitud y velocidad de corrientes son máximas en la costa y disminuyen de forma exponencial mar adentro, viajando con la costa a la derecha (izquierda) de la dirección de propagación en el hemisferio norte (sur), por lo

que se propagan en sentido ciclónico alrededor de las grandes cuencas oceánicas.

Oscilación Interdecadal del Pacífico (IPO): Oscilación a largo plazo de las Temperaturas Superficiales del Mar (TSM) en el Océano Pacífico que puede durar de 20 a 30 años. Sus fases positivas y negativas afectan la fuerza y frecuencia de El Niño y La Niña.

Oxígeno disuelto (OD): El oxígeno disuelto es la cantidad de oxígeno gaseoso que está disuelto en el agua. El oxígeno libre es fundamental para la vida de los peces, plantas, algas, y otros organismos. La concentración de este elemento es resultado del oxígeno que entra en el sistema y el que se consume por los organismos vivos. La entrada de oxígeno puede estar provocada por muchas fuentes, pero la principal es el oxígeno absorbido de la atmósfera.

Período y frecuencia de olas: La frecuencia del oleaje se refiere al número de olas que pasan por un punto en un intervalo de tiempo dado, análogamente el período es el tiempo que demora en pasar entre una ola y otra.

Período pico o del peak espectral: Se refiere al período del máximo de energía del espectro de olas de un lugar e instante dado. Usualmente se ocupa para representar el período del oleaje predominante en un instante y lugar de interés.

Pleamar y bajamar: La pleamar y bajamar corresponden a los máximos y mínimos del nivel del mar en un día del año particular. Comúnmente se conocen como “mareas altas” y “mareas bajas” respectivamente, y su origen se debe a la rotación de la tierra y la forma en que la gravedad lunar y solar deforman los océanos. Aproximadamente ocurren dos pleamares cada 12 horas y 48 minutos, intervalo de tiempo determinado principalmente por la rotación de la tierra y el desfase de la órbita de la luna.

Productividad primaria: La producción primaria es la síntesis de sustancias orgánicas por organismos autótrofos (principalmente fitoplancton) a partir de dióxido de carbono (CO₂) atmosférico o acuoso. En general, la productividad marina es similar a la terrestre. La producción neta marina es de aproximadamente 35,000-50,000 millones de toneladas métricas por año, mientras que la producción terrestre alcanza los 50,000-70,000 mil millones de toneladas por año.

Saturación de Oxígeno: En ambientes acuáticos, la saturación de oxígeno en unidades de porcentaje (%) es una relación entre la concentración de oxígeno disuelto y la cantidad máxima de oxígeno que se disolverá en ese cuerpo de agua, a la temperatura y presión que constituyen las condiciones de equilibrio estable. Por ejemplo, en condiciones ideales en que el agua se encuentra bien aireada y sin productores o consumidores de oxígeno se dice que está 100% saturada de oxígeno.



Surgencia: La surgencia, o afloramiento de aguas profundas, es un proceso oceanográfico resultante de la interacción entre el viento, la superficie del mar y la rotación de la Tierra, cuyo resultado es el movimiento y reemplazo de las aguas superficiales del océano por agua más profunda. El viento que sopla paralelo a la costa, de sur a norte en el Hemisferio Sur, provoca el movimiento o transporte del agua superficial hacia mar abierto (hacia el oeste). Este transporte del agua superficial (llamado transporte de Ekman) permite que aguas más profundas la reemplacen. Estas aguas más profundas son más frías, lo que genera fuertes contrastes en la temperatura superficial del mar (TSM), pero también presentan elevados niveles de nutrientes que estimulan el crecimiento de las microalgas o fitoplancton. Finalmente, las aguas de surgencia también presentan altas concentraciones de CO₂ (elevada acidez) y bajas concentraciones de oxígeno disuelto lo que genera eventos locales de acidificación y desoxigenación del océano, respectivamente.

Temperatura superficial del mar (TSM): Corresponde a la temperatura obtenida utilizando percepción remota satelital del mar. Esta aplicación es posible debido a que todo cuerpo emite energía electromagnética de acuerdo, principalmente, a su temperatura. Los instrumentos satelitales (también llamados sensores) captan la emisión de superficie del mar, y se obtiene lo que se denomina temperatura superficial del mar (TSM) con un grado adecuado de confiabilidad ($\pm 1^\circ\text{C}$).

Zona fótica: Es la capa superior del océano, más cercana a la superficie. En esta zona penetra la suficiente luz para permitir la fotosíntesis, la cual es llevada a cabo por el fitoplancton, así como también por las algas fijadas en la superficie. La profundidad a la que se extiende la zona fótica está determinada en gran medida por la densidad de la materia que se encuentra suspendida en el agua.

Zonas mínimas de oxígeno (ZMO): Son regiones del océano con bajo contenido de oxígeno (menores a 1 ml por litro), que generalmente se encuentran entre 100-1000 m de profundidad. Son masas de agua pobremente ventiladas por la circulación oceánica de gran escala y se generan debido a la combinación de una circulación relativamente lenta y altas tasas de respiración de la materia orgánica. Las ZMOs cumplen un rol clave en el ecosistema marino y el clima, por ejemplo, comprimen el hábitat de los organismos ya que representan una barrera respiratoria e interviene en los ciclos biogeoquímicos globales (nitrógeno, carbono y fósforo, entre otros) y, en consecuencia son consideradas como una fuente de gases invernadero (óxido nítrico).



» ANEXOS



» Parámetros e instrumentos de las estaciones de monitoreo costeras

Estación Coordenadas Lat/Lon (WGS-84)	Instrumentos de Medición			Rango/ sensibilidad	Precisión	Resolución	
	Parámetro	Unidad	Altura de ubicación				Marca/Modelo
Punta de Choros (7 msnm) 29°14'50"S, 71°28'5"O	ATMOSFÉRICO						
	Temperatura del aire	°C	1,5 m	Campbell 107	-35° a +50°C	± 0,2°C	0,01°C
	Velocidad del viento	m/s	2 m	RM Young Marine Wind Monitor Model 05106	0 a 100 m/s	± 0,3 m/s	0,1 m/s
	Dirección del viento	°	2 m	RM Young Marine Wind Monitor Model 05106	0 a 360°C	± 3°	0,01°
	Radiación Solar Global	W/m ²	2 m	Licor Li200	400 a 1100 nm	± 5%	0,1
	Presión Atmosférica	hPa	2 m	Vaisala PTB110	500 a 1100 hPa	±0,3 hPa	0,1 hpa
Precipitación	mm	1,5 m	Texas Instrument TR-525M	0 a 700 mm/h	2 mm	1%	
Tongoy Balsa (0 msnm) 30°16'30"S, 71°33'42"O	ATMOSFÉRICO						
	Temperatura del aire	°C	1,5 m	Termistor Beta Therm/T109 (10K3A1iA)	-50°C a +70°C	± 0,2°C	0,1°C
	Velocidad del viento	m/s	5 m	Anemómetro RM Young/ Model 86000	0 a 75 m/s	30 m/s ± 2%	0,01 m/s
	Dirección del viento	°	5 m	Anemómetro RM Young/ Model 86000	0 a 360 °	± 2°	0,1°
	Presión Atmosférica	hPa	2 m	Vaisala/PTB110	500 a 110 hPa	± 0,3 hPa a 20°C	0,1 hPa
	OCEANOGRÁFICO						
	Oxígeno del agua	mL/L	-10 m	WetLabs/WQM	-	0,2 mL/L (a 0°C y 35 psu salinidad)	0,003 mL/L
	Saturación de oxígeno	%	-10 m	WetLabs/WQM	0 a 120% saturación	2% de saturación	0,035% de saturación (0,003 mL/L a 0°C, 35 psu)
	Conductividad	S/m	-10 m	WetLabs/WQM	0 a 9 S/m	0,0003 S/m	0,0005 S/m
	Temperatura del agua	°C	-10 m	WetLabs/WQM	-5°C a 35°C	0,002 °C	0,001 °C
Clorofila	mg/m ³	-10 m	WetLabs/WQM	0 a 50 mg/m ³	0,015 mg/m ³	0,01 mg/m ³	
Turbidez	NTU	-10 m	WetLabs/WQM	0 a 100 NTU	0,013 NTU	0,04% FSNTU	



Estación Coordenadas Lat/Lon (WGS-84)	Parámetro	Instrumentos de Medición			Rango/ sensibilidad	Precisión	Resolución
		Unidad	Altura de ubicación	Marca/Modelo			
Punta Lengua de Vaca (17 msnm) 30°14'42"S, 71°37'59"O	ATMOSFÉRICO						
	Temperatura del aire	°C	2 m	Vaisala/HMP155	-80°C a 60°C	± 0,2°C	0,001°C
	Humedad Relativa	%	2 m	Vaisala/HMP155	0 a 100%	± 1% RH	0,001%
	Velocidad del viento	m/s	5 m	RM Young/5103 Wind Monitor	0 a 100 m/s	± 0,3 m/s	0,01m/s
	Dirección del viento	°	5 m	RM Young/5103 Wind Monitor	0 a 360°C	± 3°C	0,01°
	Presión Atmosférica	hPa	2 m	Sutron/5600-0120	500 a 1100 mb (hPa)	± 0,5 mb	0,01 mb
Precipitación	mm	1,5 m	Texas Instrument TR-525M	0 a 700 mm/h	2 mm	1%	

» Procedencia de los datos analizados

PARÁMETRO	PRODUCTO SATELITAL	INSTITUCIÓN	RESOLUCIÓN ESPACIAL (EN KM) / TEMPORAL	FIGURA DEL BOLETÍN
Temperatura Superficial del Mar (TSM)	HadISST y ERSSTv5	The Hadley Centre (UK) y the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)	~100 km / mensual	2
	Operational Sea Surface Temperature and Sea Ice Analysis (OSTIA)	UK Meteorological Office	~4 km / diario	1
	Multi-Scale Ultra High Resolution (MUR) Sea Surface Temperature	NASA	~1 km / diario	6 y 7
Índices El-Niño Chileno y El-Niño Este Pacífico	HadISST y ERSSTv5	The Hadley Centre (UK) y the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)	~100 km / mensual	2
Nivel del mar	Ocean Surface topography from Altimetry (JASON3)	Copernicus Marine Environment Monitoring Service (CMEMS)	~25 km / diario	3
Viento (velocidad y dirección)	Satellite Metop, instrumento Advanced SCATterometer (ASCAT)	Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer (IFREMER)	~27 km / diario	4 y 5
Clorofila superficial	Aqua, Suomi-NPP, Sentinel-3a, JPSS-1 (NOAA-20), Sentinel-3b	Copernicus Marine Environment Monitoring Service (CMEMS)	~4km / diario	8 y 9

Boletín
CEAZAMar
ABRIL
2023

