



Boletín CEAZAMar ABRIL 2021





Índice

» ¿QUÉ ES CEAZA? ¿QUÉ ES CEAZAMar?	03
» CRÉDITOS Y AGRADECIMIENTOS	04
» ESTRUCTURA DEL BOLETÍN Y RESUMEN EJECUTIVO	05
» DIAGNÓSTICO DE LAS CONDICIONES ATMOSFÉRICAS Y OCEANOGRÁFICAS DE LA REGIÓN DE COQUIMBO	06
» Observaciones regionales	06
» Anomalía Mensual de la Temperatura Superficial del Mar (TSM)	06
» Condiciones Climáticas: Índices El-Niño Chileno y El-Niño Este Pacífico (El-Niño EP)	07
» Nivel del Mar	08
» Velocidad y Dirección del Viento	10
» Temperatura Superficial del Mar (TSM)	12
» Clorofila superficial	14
» Observaciones locales	16
» Localización de las estaciones de monitoreo costeras en la Región de Coquimbo	16
» Variables oceanográficas (sólo Tongoy)	16
» Parámetros e instrumentos de las estaciones de monitoreo costeras	17
» Punta de Choros	18
» Sistema Bahía de Tongoy - Punta Lengua de Vaca	21
» ANÁLISIS, CONCLUSIONES FINALES E IMPACTOS EN LOS SECTORES PRODUCTIVOS	26
» INVESTIGACIÓN CEAZAMar	27
» GLOSARIO	31
» ANEXO	34





» ¿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 actividades 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, buscará 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.
- ✓ 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.
- ✓ De esta manera, se espera que CEAZAMar sea un instrumento público de apoyo a procesos de adaptación productiva y socio-ecológica ante los escenarios de cambio climático de la Región de Coquimbo.



» CRÉDITOS Y AGRADECIMIENTOS



El Boletín CEAZAMar es un producto del proyecto “Programa de Investigación para la Planificación de la Acción del Clima” (CLAP) otorgado en el año 2021 y financiado 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 cuenta con el patrocinio del Gobierno Regional de la región de Coquimbo y el apoyo de la Universidad Católica del Norte (UCN), OSTIMAR S.A. y el Servicio Nacional de Pesca (SERNAPECSA).



EQUIPO CEAZAMar

Coordinadora General:

Laura Ramajo

Generación de productos atmosféricos y oceanográficos:

Orlando Astudillo, Boris Dewitte, José Rutllant, María Valladares

Investigadores:

Víctor Aguilera, Claudio Álvarez, Orlando Astudillo, Boris Dewitte, Carlos Henríquez, Jorge Inostroza, Cristian Orrego, Laura Ramajo, Marcelo Rivadeneira, José Rutllant, María Valladares

Transferencia y Vinculación:

Pilar Molina

Diseño y Diagramación:

Janina Guerrero

Diseño y Mantenimiento de Plataforma Web:

Carlo Guggiana-Díaz

Equipo Directivo CEAZA:

Carlos Olavarría

Claudio Vásquez

Agradecimientos: Fondecyt 11190999

Contacto:

ceazamar@ceaza.cl

www.ceazamar.cl (en preparación)

Citar como:

Boletín CEAZAMar-Marzo 2021 (2021). Análisis de las condiciones atmosféricas y Oceanográficas de la Región de Coquimbo (Diciembre 2020 - Febrero 2021). 34 páginas.

DOI: 10.6084/m9.figshare.24456898





» ESTRUCTURA DEL BOLETÍN Y RESUMEN EJECUTIVO



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 proveerá información de variables del sistema atmosférico y oceanográfico que resultan claves 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, este Boletín consistentemente provee información relativa al viento, temperatura atmosférica y del mar, nivel del mar, 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 de las condiciones costeras que alberga la Región de Coquimbo a través del uso de mapas y series de tiempo de las 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.

El Boletín CEAZAMar presenta un diagnóstico de las condiciones del sistema atmosférico-oceánico desde un ámbito regional (costa del Pacífico suroriental) al costero de la Región para el periodo comprendido entre el 1 Diciembre de 2020 al 28 de Febrero de 2021. Al igual que gran parte del 2020, durante este periodo las costas de Ecuador, Perú y Chile en el océano Pacífico suroriental, estuvieron bajo el efecto de La Niña (i.e. índice El Niño negativo). Se discute también las potenciales implicaciones que estas condiciones podrían haber tenido sobre los sectores productivos de la Región basado en previos estudios e investigaciones científicas. A escala local, el periodo corresponde al verano austral y marca el inicio del decaimiento en la intensidad del viento desde los máximos valores observados durante la primavera, y donde la componente sur que predomina en la banda costera de la Región, se concentra en el centro del territorio (Punta Lengua de Vaca). El período de verano se caracteriza también por valores de Temperatura Superficial del Mar (TSM) más altos en relación a las otras estaciones del año, debido a la mayor irradiación solar del período. Sin embargo, la acción sostenida del viento estimula la surgencia costera (*ver glosario*) y el surgimiento e ingreso de agua profunda y fría a las bahías de la Región. En respuesta a la surgencia y la elevada radiación solar del periodo estival, la concentración de microalgas marinas que contienen clorofila alcanzan los máximos valores anuales, aunque con importantes variaciones en las distintas localidades del territorio.



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

Observaciones regionales

Anomalia Mensual de la Temperatura Superficial del Mar (TSM)

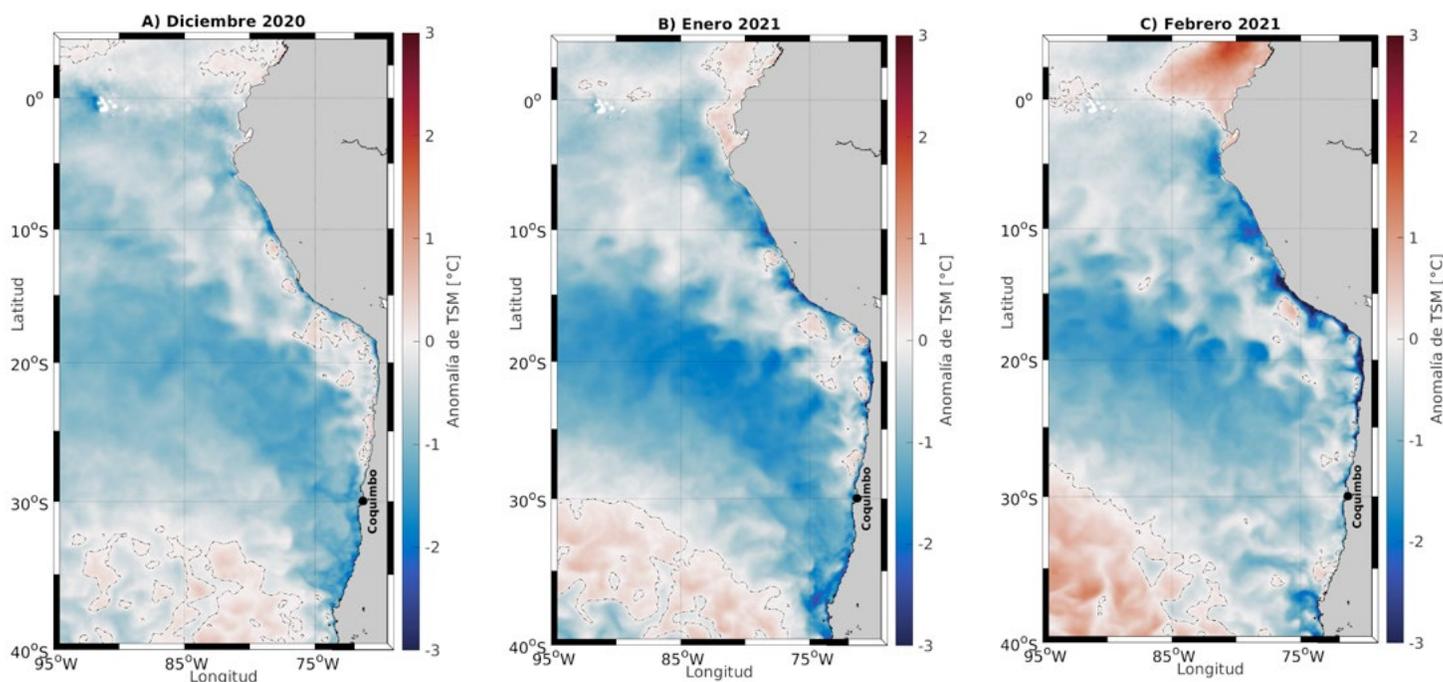


Figura 1. Anomalia mensual de la Temperatura Superficial del Mar (TSM) (°C) de (A) Diciembre de 2020, (B) Enero de 2021 y (C) Febrero de 2021. Las anomalías de TSM se calcularon con respecto al periodo 2006-2019. Los colores rojos en el mapa indican zonas en las que la TSM mostró valores por encima del promedio para ese mes, mientras que los colores azules señalan TSMs por debajo del promedio mensual histórico (2006-2019). Los contornos punteados indican las localizaciones en las que la anomalía de TSM es igual a cero. Se muestra con un punto negro la localidad de Coquimbo.

Para el trimestre comprendido entre Diciembre de 2020 y Febrero de 2021, la anomalía de la temperatura superficial del mar (TSM) (es decir, la desviación de esta variable con respecto a un registro histórico calculado entre el año 2006 y año 2019) fue en general negativa (aguas más frías - colores azules) con disminuciones promedios en la TSM de entre 0,5°C a 1,5°C. Estas condiciones relativamente frías se relacionan con la predominancia que la fase fría de El Niño, La Niña, ha ejercido en la región del Pacífico suroriental durante todo el 2020. Estas variaciones frías fueron más pronunciadas en la costa norte (desde Península Mejillones) y sur de Chile, frente a la Región del Bío-Bío en Enero y Febrero

de 2021. Dentro de este periodo relativamente frío fue también posible observar condiciones neutras (contornos punteados) y anomalías de TSM positivas, es decir, aguas más cálidas (colores rojos). Estos episodios de TSM más alta se concentraron en torno al Ecuador (0°), con valores de hasta +1°C en Febrero 2021 sobre el promedio histórico. Frente a las costas de Perú y Chile, variaciones un poco más leves pero aun positivas de 0,5°C en la TSM, se produjeron entre Diciembre de 2020 y Enero de 2021. Finalmente, se observaron aguas más cálidas de hasta +1°C en una zona amplia en la parte sudoeste del mapa entre Diciembre de 2020 y Febrero de 2021.



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

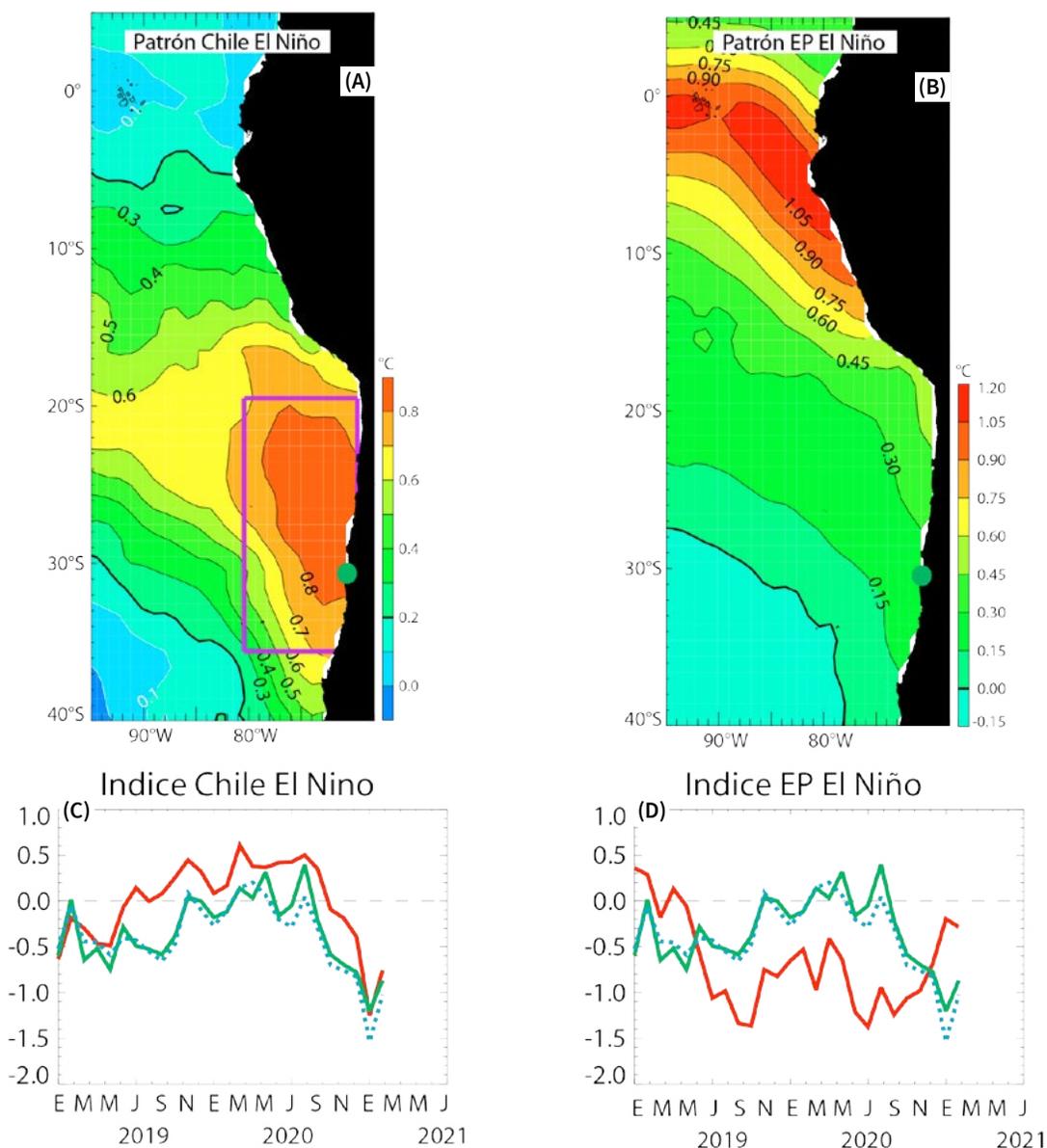


Figura 2. Patrones e índices climáticos para la Región de Coquimbo: (A) Patrón del modo climático Chile El Niño (CEN). Colores y contornos indican anomalías de temperatura en °C. (B) Patrón del modo climático El Niño (EN) del Pacífico Este. Colores y contornos indican anomalías de temperatura en °C. (C) Evolución del índice Chile El Niño (CEN) (roja), de las anomalías de TSM en Punta Lengua Vaca para las observaciones (verde) y la solución de un modelo estadístico (azul punteada) entre Enero de 2018 y Febrero de 2020. El modelo estadístico está basado en regresión multilineal para las anomalías de TSM en Punta Lengua Vaca usando como predictores los dos índices climáticos (CEN y EN). (D) Evolución del índice El Niño del Pacífico Este (roja), de las anomalías de TSM en Punta Lengua Vaca para las observaciones (verde) y la solución de un modelo estadístico (azul punteada) entre Enero 2018 y Febrero 2021.

Distintas regiones climáticas se encuentran en el Pacífico Sudeste, las cuales condicionan las características de la circulación costera y ambientales a lo largo de la costa de Chile central. Este diagnóstico para el periodo comprendido entre el 1 de Diciembre de 2020 y 28 de Febrero de 2021 indica que las condiciones climáticas (temperatura superficial del mar, TSM) de los últimos meses son muy parecidas

a las del modo de variabilidad asociado al fenómeno Chile El Niño. En particular desde Septiembre 2020 se encontró una anomalía negativa de TSM frente a Coquimbo con un mínimo que ocurrió en Enero de 2021. La evolución de los índices climáticos para los últimos meses (Enero 2021 - actualidad) sugiere que la tendencia se invirtió (ver Figura 2C y Figura 2D).



Nivel del mar

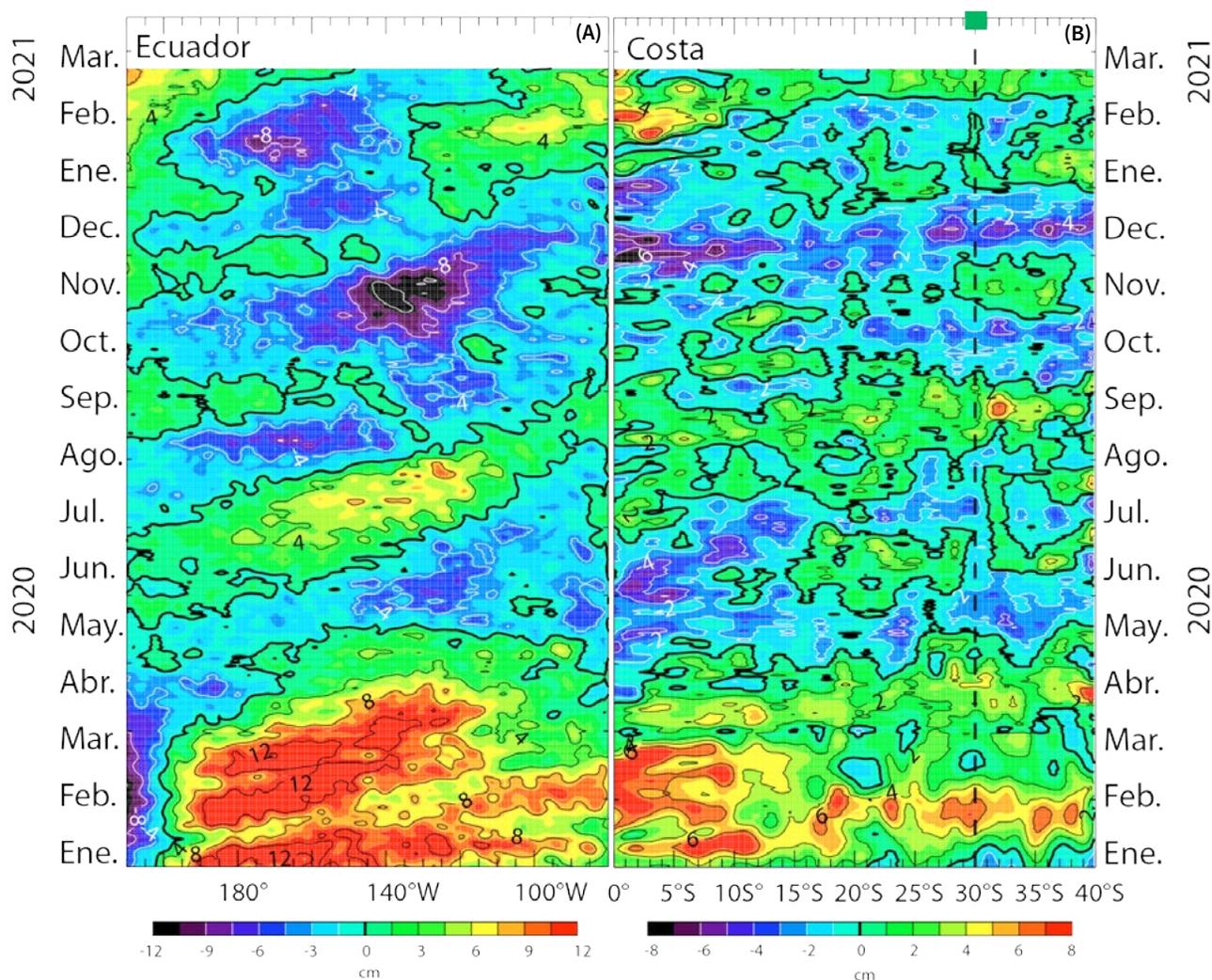
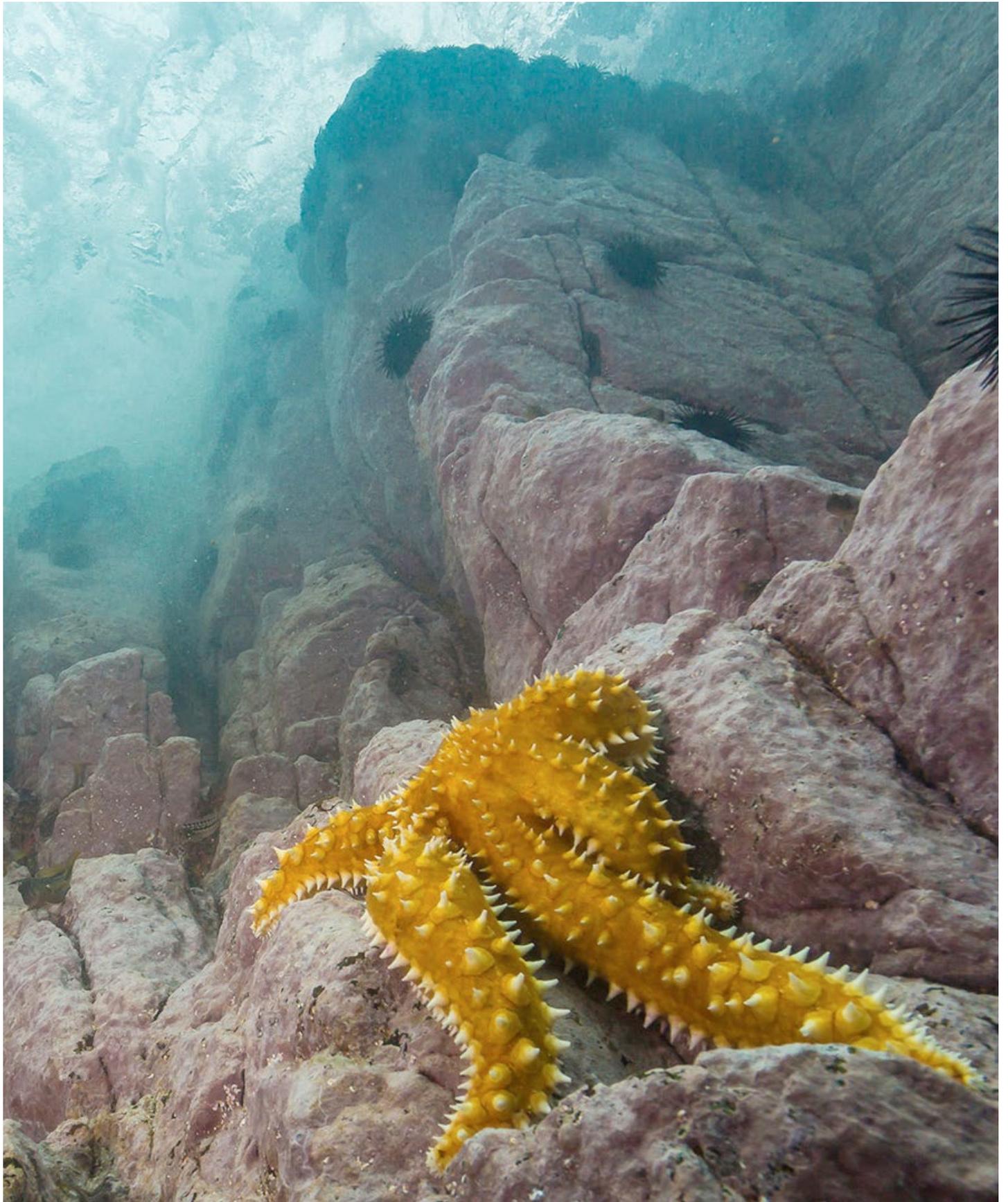


Figura 3: Evolución de las anomalías del nivel del mar a lo largo del (A) ecuador y (B) de la costa para el período 1 Enero de 2020 al 11 de Marzo de 2021. Los cambios en el nivel del mar se muestran en centímetros (cm).

Las fluctuaciones del nivel del mar proporcionan información sobre la actividad de ondas planetarias (*ver glosario*) que se forman por el viento en el océano. A lo largo del Ecuador, pulsos de vientos del oeste generan *Ondas de Kelvin* ecuatoriales (*ver glosario*) que generan anomalías positivas y negativas en el nivel del mar (es decir, subida del nivel mar y hundimiento de aguas hacia zonas más profundas) que pueden producir un calentamiento o enfriamiento de las aguas superficiales por procesos de advección vertical. Estas *Ondas de Kelvin* se propagan de oeste al este en el Pacífico ecuatorial en tres meses aproximadamente. Al llegar a la costa de América del Sur se transforman en ondas atrapadas a la costa (es decir, la costa actúa como la guía de las ondas) y se propagan hacia el sur.

Entre Mayo del 2020 y Febrero del 2021 se detectaron varios episodios de *Ondas de Kelvin* de surgencia a lo largo del Ecuador. Una de esas ondas alcanzó en Noviembre de 2020 la costa de Ecuador y siguió su propagación hacia el Sur a lo largo de la costa para llegar a la latitud de Coquimbo en Diciembre del 2020 (*ver línea punteada vertical en el panel de derecha, y recuadro verde de la Figura 3*), lo que produjo condiciones frías. Desde el 15 de Enero del 2021, la generación de una onda de hundimiento frente a Ecuador parece haber interrumpido la tendencia anterior (ondas de surgencia observada) que había hasta ese momento. El 11 de Marzo de 2021, el nivel del mar en Coquimbo es ligeramente más alto que lo normal (anomalía positiva de aproximadamente +2 cm) lo que sugiere un retorno a condiciones más cálidas en los próximos meses.





Velocidad y Dirección del Viento

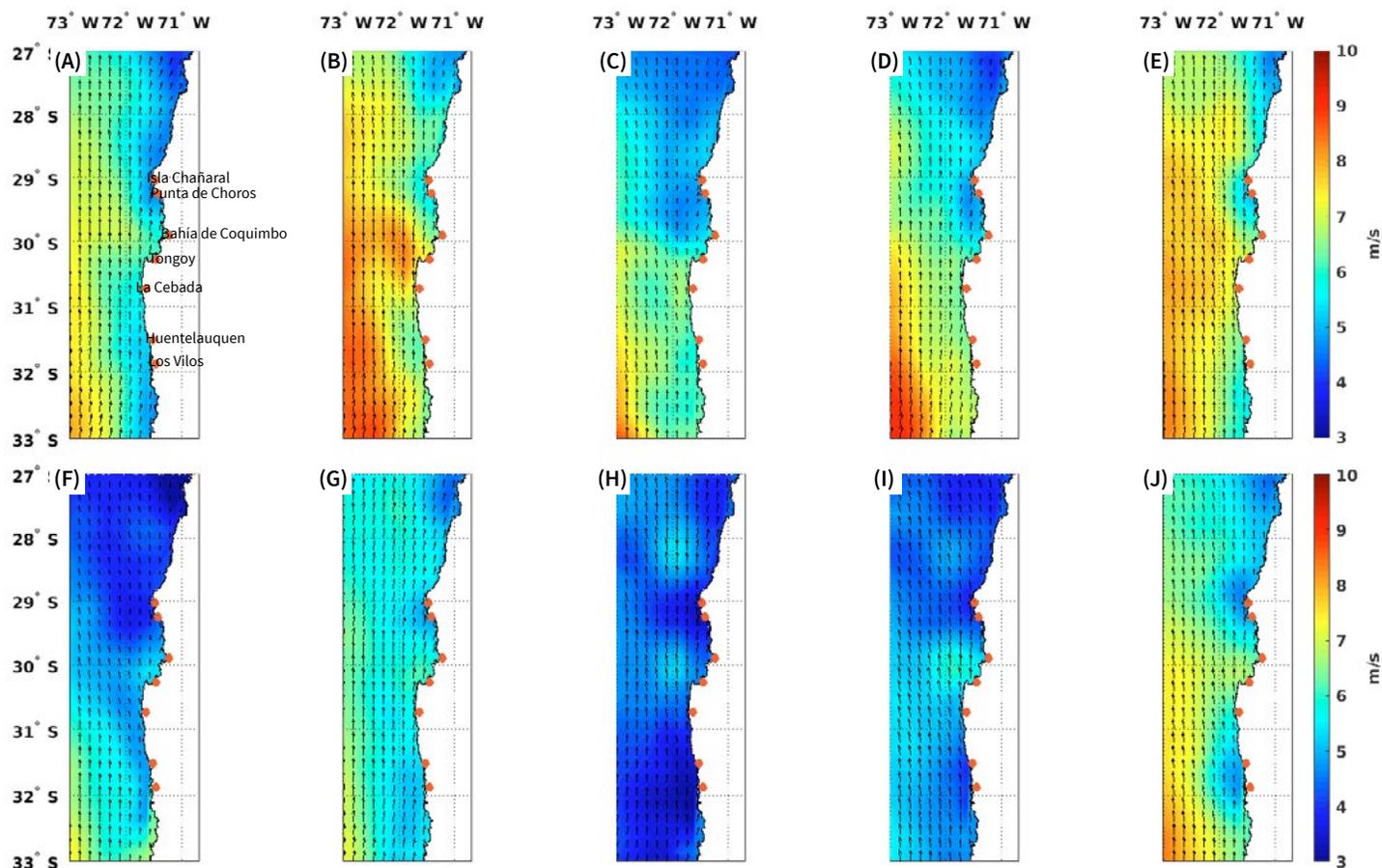


Figura 4. Promedio de la velocidad (m/s) y dirección de viento estimada mediante observación satelital a 10 metros sobre el mar frente a la Región de Coquimbo, entre el 1 Diciembre del 2020 al 28 de Febrero del 2021.

Cada imagen muestra el promedio para ambas variables (velocidad y dirección de viento) para un período de 9 días (A) 1-Dic-2020 a 9-Dic-2020 (B) 10-Dic-2020 a 18-Dic-2020, (C) 19-Dic-2020 a 27-Dic-2020, (D) 28-Dic-2020 a 5-Ene-2021, (E) 6-Ene-2021 a 14-Ene-2021, (F) 15-Ene-2021 a 23-Ene-2021, (G) 24-Ene-2021 a 1-Feb-2021, (H) 2-Feb-2021 a 10-Feb-2021, (I) 11-Feb-2021 a 19-Feb-2021, y (J) 20-Feb-2021 a 28-Feb-2021. 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.

Durante el periodo comprendido entre el 1 de Diciembre de 2020 y el 28 de Febrero de 2021, se observaron importantes cambios en la velocidad y dirección del viento. Específicamente, en los periodos del 10 al 18 de Diciembre de 2020 (Figura 4B) y del 6 al 14 de Enero de 2021 (Figura 4E) se observó una intensificación de la velocidad del viento sur, alcanzando valores promedios a lo largo de la costa de

la Región de Coquimbo de 6,5 y 6,3 m/s (12,6 y 12,3 nudos), respectivamente. Por otra parte, los periodos del 15 al 23 de Enero de 2021 (Figura 4F) y del 02 al 19 de Febrero de 2021 (Figura 4H y Figura 4I) registraron las menores magnitudes de viento con promedios a lo largo de la costa de la Región de 4,8 y 4,3 m/s (9,3 y 8,4 nudos), respectivamente.

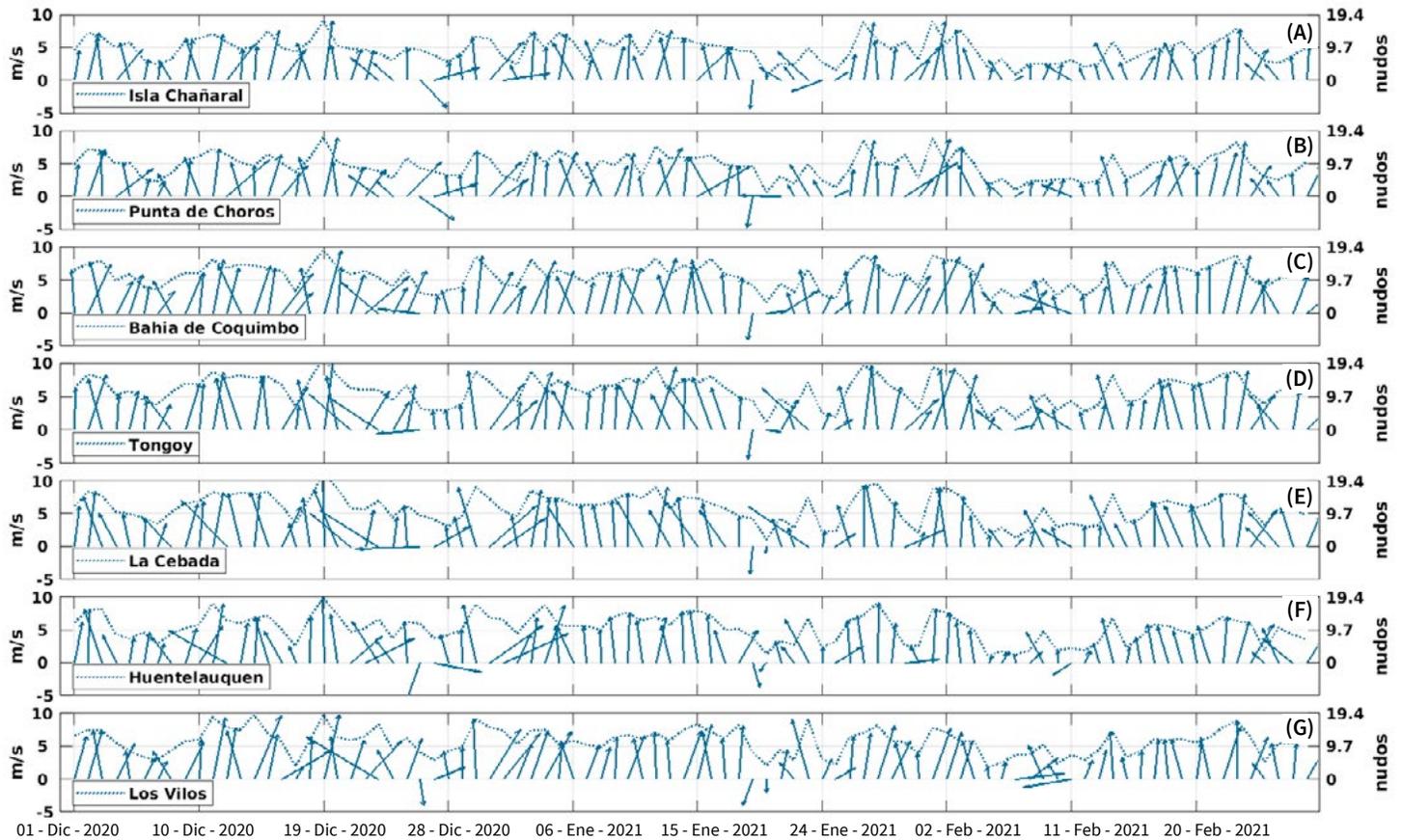


Figura 5. Series diarias de la velocidad y dirección de viento promedio satelital (en m/s y nudos) para las localidades de Chañaral de Aceituno, Punta de Choros, Bahía de Coquimbo, Bahía de Tongoy, La Cebada, Huentelauquén y Los Vilos desde el 1 de Diciembre de 2020 al 28 de Febrero del 2021.

Los registros de viento satelital indican que las localidades de Tongoy y La Cebada (Figura 5D y Figura 5E), entre el 10 al 18 de Diciembre de 2020, mostraron la mayor intensidad de viento, con promedios máximos sobre los 7 m/s (13,6 nudos). Por otra parte, entre el 2 al 10 de Febrero de 2021, se registraron los valores promedios mínimos a lo largo de la costa en la Isla Chañaral y Punta de Choros, con inten-

sidades de viento bajo los 3,5 m/s (6,8 nudos). En cuanto a la dirección predominante del viento durante el trimestre, todas las localidades costeras (Chañaral de Aceituno, Punta de Choros, Bahía de Coquimbo, Bahía de Tongoy, La Cebada, Huentelauquén y Los Vilos) mostraron predominancia de la componente sur del viento alrededor del 78% entre Diciembre de 2020 y Febrero de 2021.



Temperatura Superficial del Mar (TSM)

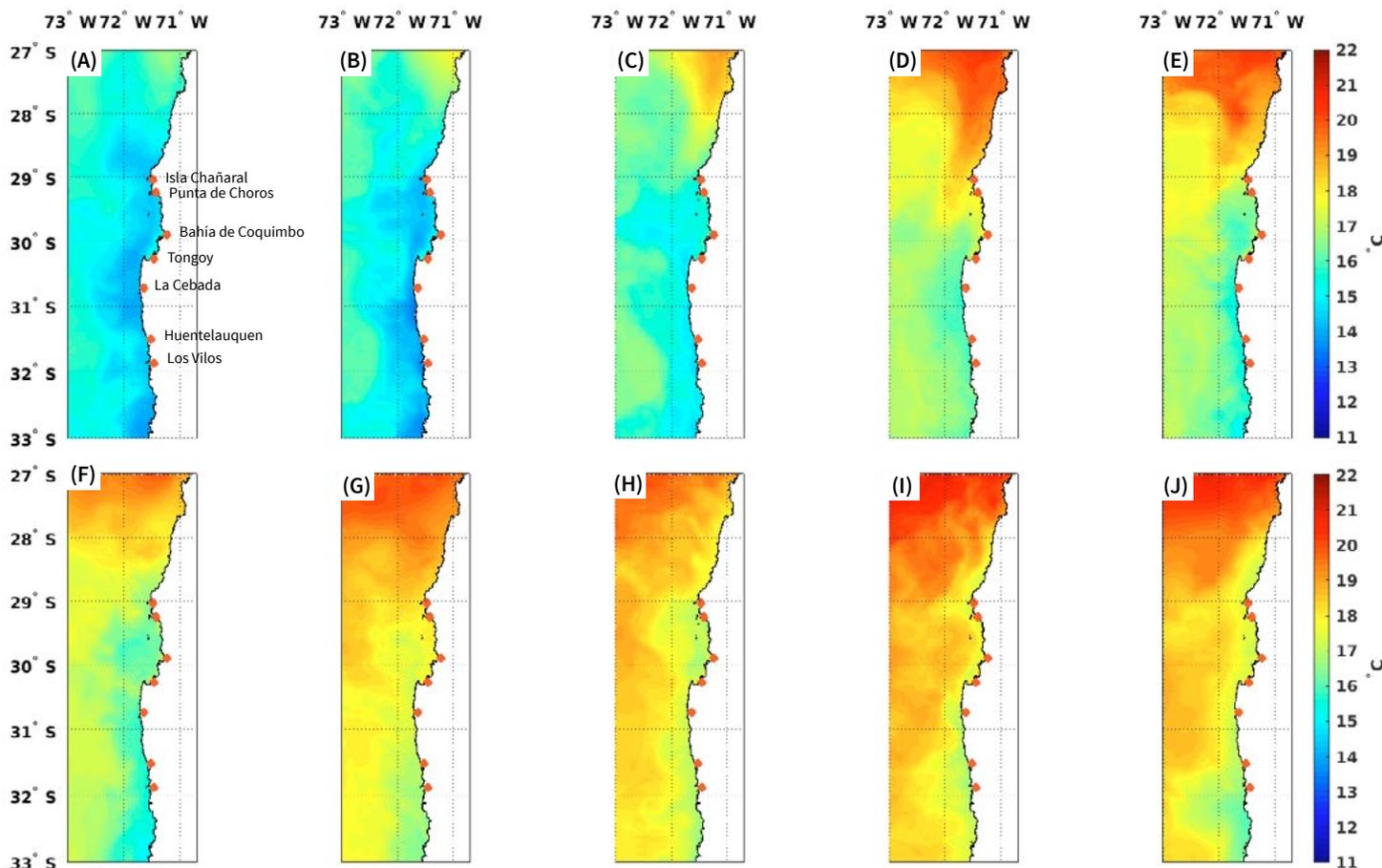


Figura 6. Temperatura Superficial del Mar (TSM) (°C) de la Región de Coquimbo entre el 1 Diciembre del 2020 al 28 de Febrero del 2021.

Cada imagen muestra el promedio de la TSM para un período de 9 días (A) 1-Dic-2020 a 9-Dic-2020 (B) 10-Dic-2020 a 18-Dic-2020, (C) 19-Dic-2020 a 27-Dic-2020, (D) 28-Dic-2020 a 5-Ene-2021, (E) 6-Ene-2021 a 14-Ene-2021, (F) 15-Ene-2021 a 23-Ene-2021, (G) 24-Ene-2021 a 1-Ene-2021, (H) 2-Ene-2021 a 10-Ene-2021, (I) 11-Ene-2021 a 19-Ene-2021 y (J) 20-Ene-2021 a 28-Ene-2021.

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.

En el periodo, se registró un calentamiento regional progresivo (mayores valores de TSM) en respuesta al incremento de la radiación solar durante los meses de verano. A su vez, se observa claramente las diferencias en la TSM, las cuales fueron más frías en la región costera que en el océano abierto (entre los 28°S y 33°S). En efecto, el periodo con menor TSM en la banda costera coincide con el de mayor intensidad del viento entre el 10 y el 18 de Diciembre de 2020 (ver Figura 6B). Por otra parte, el máximo de TSM en la banda costera estuvo asociado a periodos con menor intensidad de viento entre el 24 de Enero y el 19 de Febrero de 2021 (ver Figura 6G a Figura 6I).



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.

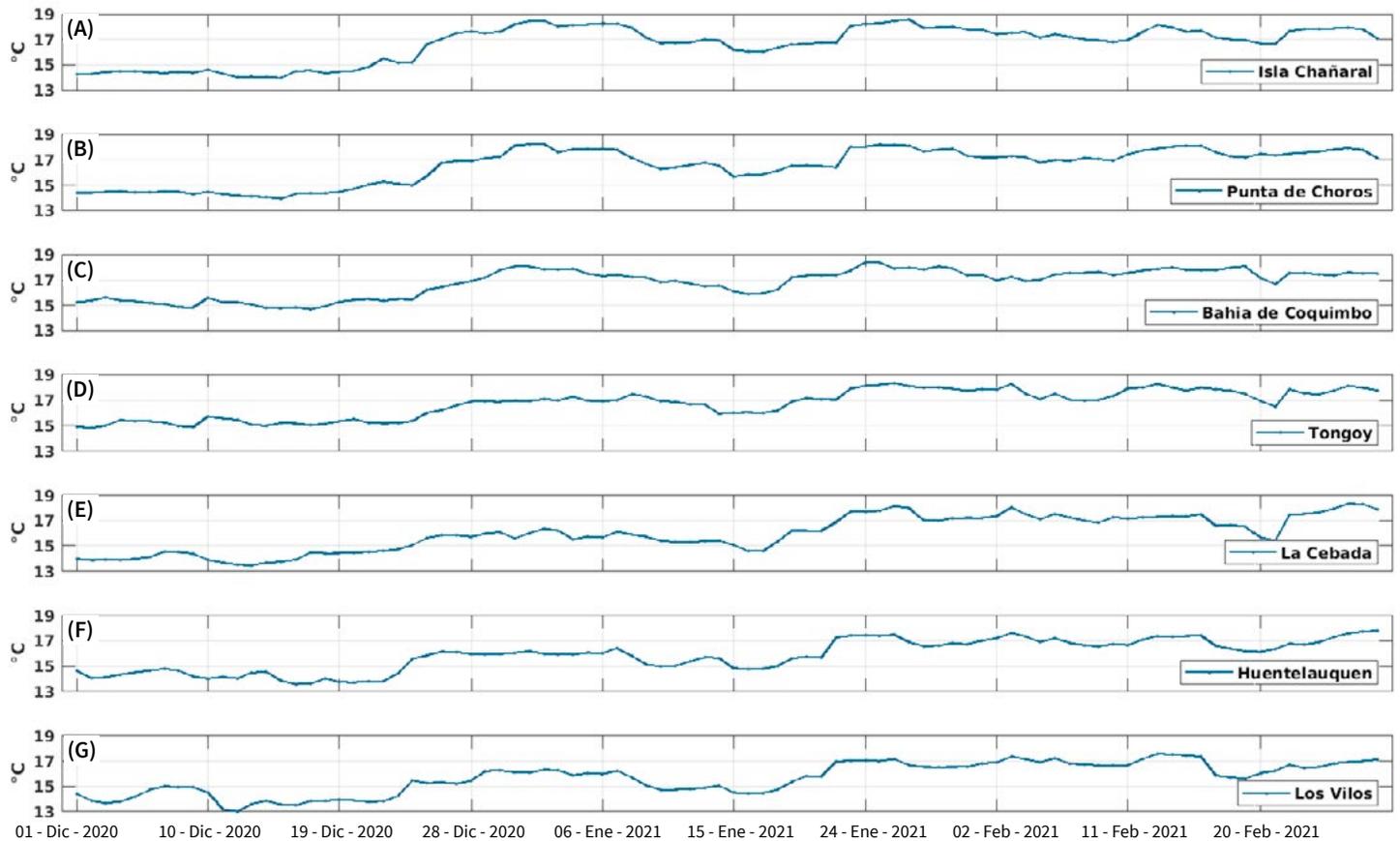


Figura 7. Series diarias de la Temperatura Superficial del Mar (TSM) (°C) para las localidades de Chañaral de Aceituno, Punta de Choros, Bahía de Coquimbo, Bahía de Tongoy, La Cebada, Huentelauquén y Los Vilos desde el 1 de Diciembre 2020 al 28 de Febrero del 2021.

Las observaciones satelitales diarias en las principales localidades costeras de la Región indican que para el periodo del 10 al 18 de Diciembre 2020 (periodo de viento sur intenso), se registraron temperaturas promedio mínimas de aproximadamente 14,3°C. Las localidades de La Cebada (Figura 7E) y Los Vilos (Figura 7G) presentaron la menor temperatura superficial del mar (TSM), con un promedio de aproximadamente 13,7°C en comparación con las otras

localidades costeras de la Región de Coquimbo. En contraste, las temperaturas promedio máximas del mar fueron de 17,0°C, y se registraron entre el 24 de Enero de 2021 al 19 de Febrero de 2021 (período de viento Sur débil). Las mayores temperaturas superficiales del mar promedio (TSM) se registraron en Chañaral de Aceituno (Figura 7A) y Tongoy (Figura 7D) con valores cercanos a los 18,0°C.



Clorofila superficial

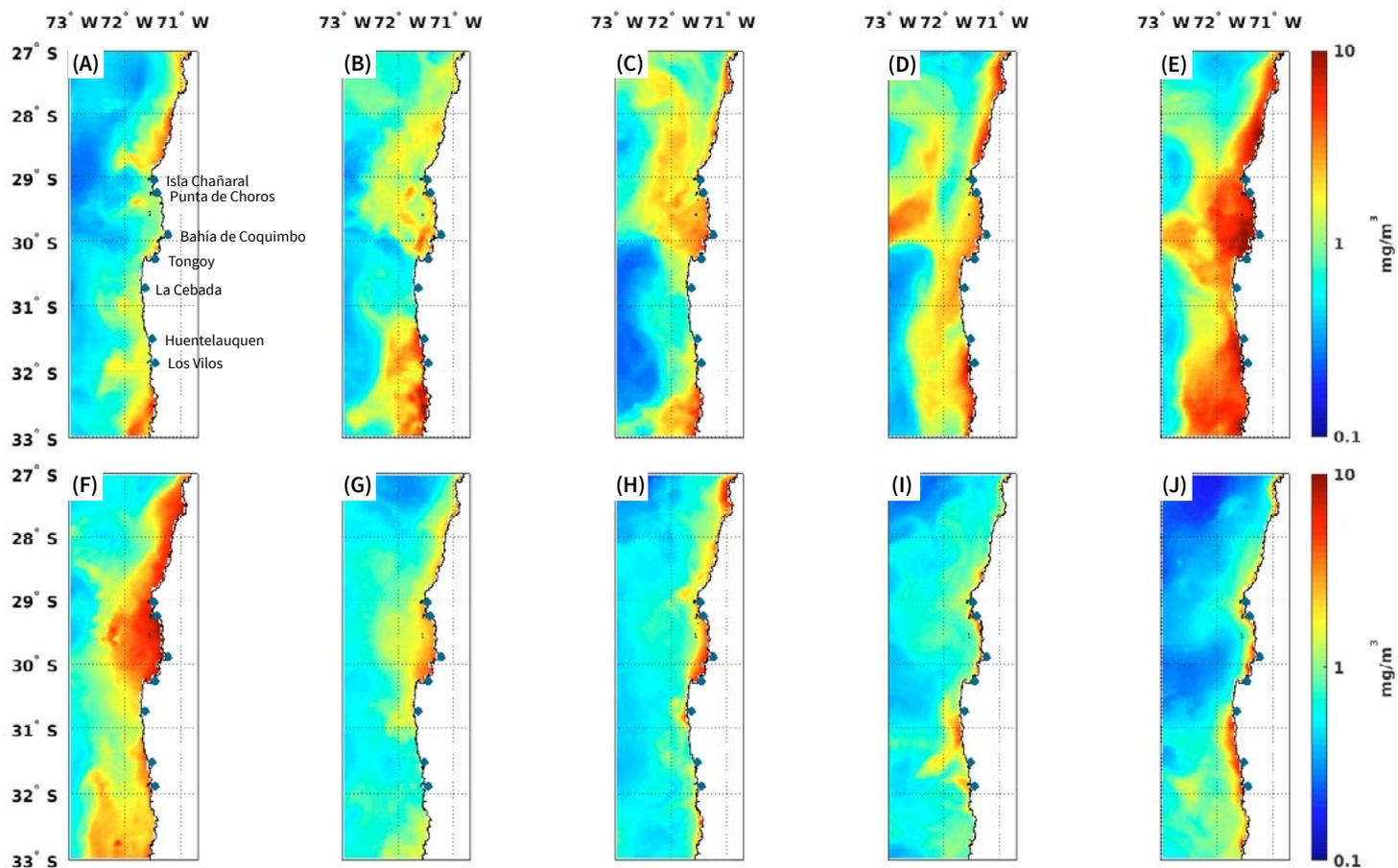


Figura 8. Concentración de clorofila satelital (superficial) (mg/m^3) para la región de Coquimbo entre el 1 Diciembre del 2020 al 28 de Febrero del 2021. Cada imagen muestra el promedio de la clorofila superficial para un período de 9 días (A) 1-Dic-2020 a 9-Dic-2020 (B) 10-Dic-2020 a 18-Dic-2020, (C) 19-Dic-2020 a 27-Dic-2020, (D) 28-Dic-2020 a 5-Ene-2021, (E) 6-Ene-2021 a 14-Ene-2021, (F) 15-Ene-2021 a 23-Ene-2021, (G) 24-Ene-2021 a 1-Feb-2021, (H) 2-Feb-2021 a 10-Feb-2021, (I) 11-Feb-2021 a 19-Feb-2021, y (J) 20-Feb-2021 a 28-Feb-2021. Se muestran con puntos verdes las localidades de Chañaral de Aceituno, Punta de Choros, Bahía de Coquimbo, Bahía de Tongoy, La Cebada, Huentelauquén y Los Vilos.

Para el periodo comprendido entre el 1 de Diciembre 2020 al 28 de Febrero de 2021 se observaron mayores concentraciones de clorofila en la banda costera que en el océano abierto, lo que indica un aumento en la biomasa de fitoplancton, y por lo tanto, un potencial aumento en la disponibilidad de alimento para las especies marinas que se alimentan de fitoplancton. Los valores máximos de clorofila se registraron en el periodo del 28 de Diciembre de 2020 al 23 de Enero de 2021 (Figura 8D a Figura 8F), lo cual contrasta fuertemente con el periodo del 1 al 9 de Diciembre de 2020 (Figura 8A) que mostró la menor concentración de clorofila de todo el periodo monitoreado.



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.

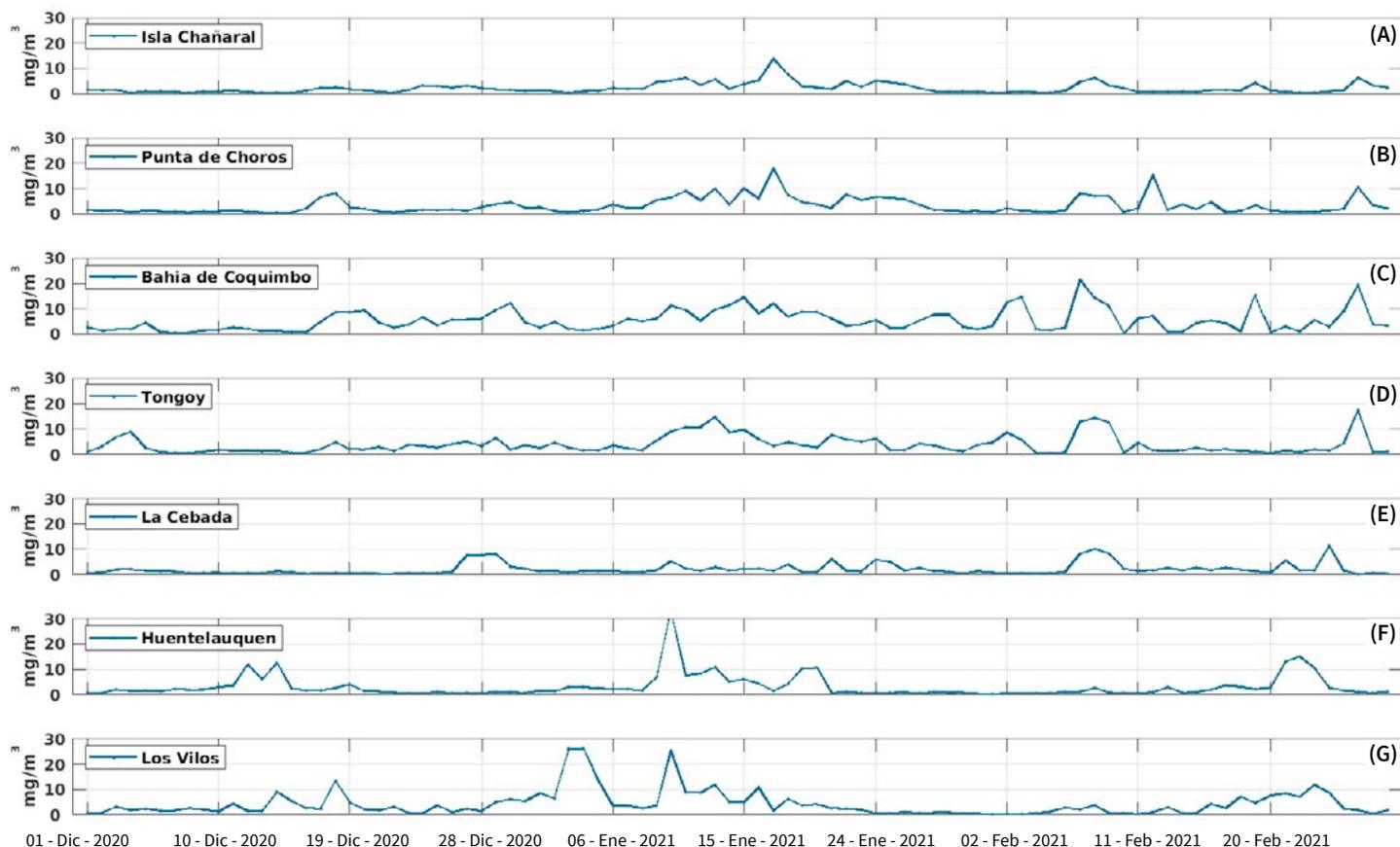


Figura 9. Series diarias de clorofila satelital (superficial) (mg/m^3) para las localidades de Chañaral de Aceituno, Punta de Choros, Bahía de Coquimbo, Bahía de Tongoy, La Cebada, Huentelauquén y Los Vilos desde el 1 de Diciembre de 2020 al 28 de Febrero del 2021.

Las localidades costeras de Chañaral de Aceituno, Punta de Choros, Bahía de Coquimbo, Bahía de Tongoy, La Cebada, Huentelauquén y Los Vilos presentaron mayores concentraciones de clorofila entre el 28 de Diciembre de 2020 y el 24 de Enero de 2021. Valores de clorofila relativamente altos de

33, 26, 18 y $14 \text{ mg}/\text{m}^3$ fueron observados en Los Vilos, Huentelauquén, Tongoy y Punta de Choros, respectivamente. Por otra parte, las concentraciones mínimas de clorofila se registraron principalmente a inicios de Diciembre de 2020, y mayoritariamente en el extremo norte de la Región de Coquimbo.



Observaciones locales

» Localización de las estaciones costeras en la Región de Coquimbo

Esta sección presenta un diagnóstico de la información meteorológica y oceanográfica de las estaciones costeras de Punta de Choros y el Sistema Tongoy-Punta Lengua de Vaca para el trimestre comprendido entre el 1 de Diciembre de 2020 hasta el 28 de Febrero de 2021. Todos los datos analizados en esta sección son de dominio público y en el caso de Punta Choros y Tongoy entregados en tiempo real a través de la plataforma web CEAZAMet (www.ceazamet.cl).

Las estación de Punta Lengua de Vaca no se encuentra en línea debido a la limitación de conexión en esta localidad. La situación actual de la pandemia Covid-19 no ha permitido recuperar los datos autocontenidos de esta estación meteorológicas. Es por ello, que el análisis de la serie de tiempo de Punta Lengua de Vaca finaliza el 25 de Enero de 2021.

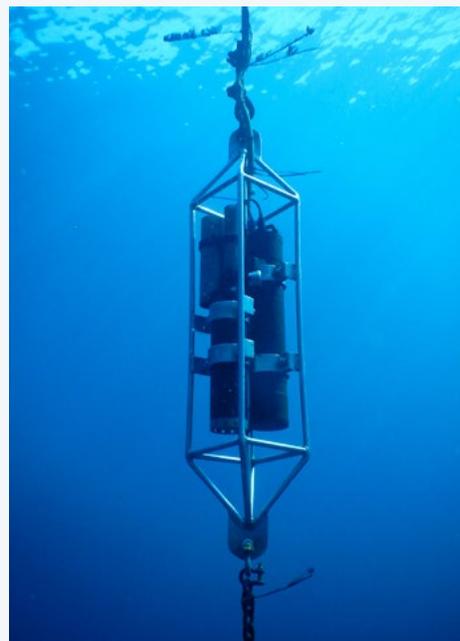


» Variables oceanográficas (sólo Tongoy)

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 hasta el día de hoy se encuentra 100% operativa y con conectividad en línea a la plataforma con reporte de datos cada una hora.

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 temperatura del agua, el oxígeno disuelto o la clorofila y turbidez de la Bahía de Tongoy. Estos datos, de gran importancia para los sectores productivos como la acuicultura y la pesca que se desarrollan en la Bahía de Tongoy, están disponibles en tiempo real en la página web de CEAZAMet (www.ceazamet.cl), y próximamente en la plataforma web de CEAZAmar (www.ceazamar.cl).





» Parámetros e instrumentos de las estaciones 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)	Instrumentos de Medición			Rango/ sensibilidad	Precisión	Resolución	
	Parámetro	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%	

» Punta de Choros

Para el trimestre comprendido entre el 1 de Diciembre de 2020 al 28 de Febrero 2021, Punta de Choros presentó un patrón de viento sur favorable a la surgencia durante un 95% de todo el periodo. Sin embargo, las intensidades de viento fueron menores al promedio histórico observado entre el 2015 al 2020. Solo

dos periodos mostraron intensidades de viento sobre los años precedentes que fueron seguidos por periodos de enfriamiento de la superficie del mar (disminución de la TSM) e incrementos en las concentraciones de clorofila superficial de acuerdo al análisis de los datos satelitales presentado previamente.





Índice de surgencia

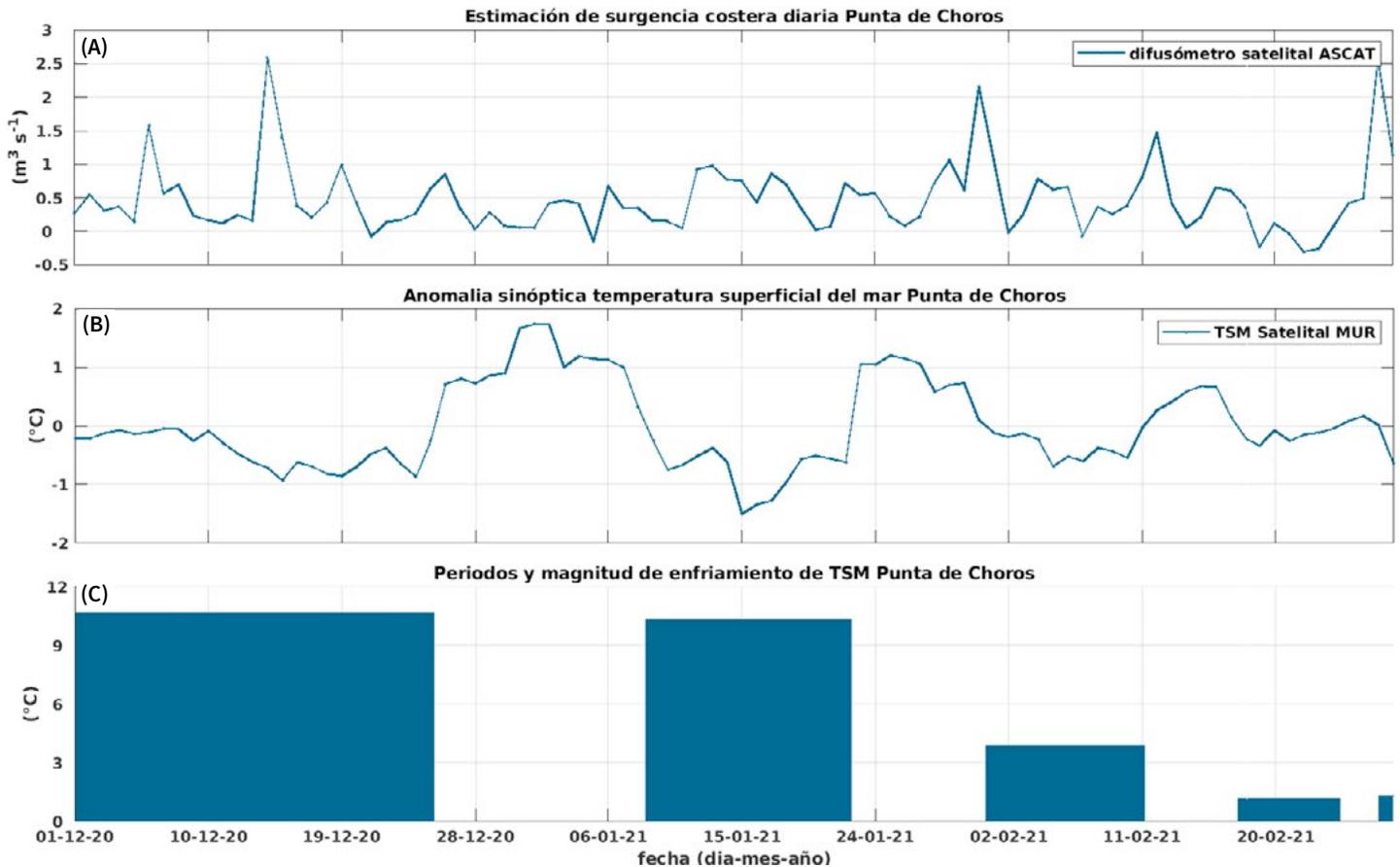


Figura 10. Indicadores de intensidad y duración de la surgencia costera en Punta de Choros. (A) Índice de surgencia costera (UI) estimado a partir del estrés del viento, (B) Anomalías sinópticas de la Temperatura Superficial del Mar (TSM) (°C), (C) Índice termal de surgencia costera (enfriamiento costero superficial) estimado a partir de las anomalías sinópticas 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.

En esta figura se presenta una cuantificación de la intensidad y duración de la surgencia costera en Punta de Choros mediante dos índices diferentes. Primeramente, se presenta un índice de surgencia costera UI (acrónimo del inglés Upwelling Index) construido a partir de las observaciones satelitales del estrés del viento sobre la superficie oceánica. Este índice (Figura 10A) provee de una estimación del volumen hipotético de agua fría que asciende a la superficie por unidad de tiempo ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ por metro de costa) en respuesta al forzamiento del viento. De acuerdo a esta métrica el transporte de surgencia en Punta de Choros presentó volúmenes máximos entre el 10 al 18 de Diciembre, 06 al 14 de Enero y 24 de Enero al 01 de Febrero acumulando 5,41, 5,19 y 5,21 $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ por metro de costa, respectivamente. Asimismo, el mínimo volumen de

surgencia se registró entre el 15 al 23 de Enero con solo 1,97 $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ por metro de costa.

Adicionalmente, se presenta un segundo índice de surgencia costera, el cual se estima a partir de las anomalías diarias de las observaciones satelitales de la temperatura superficial del mar (TSM), que permite identificar y cuantificar los periodos de enfriamiento o calentamiento en respuesta a eventos de intensificación o relajación del viento sur que favorecen la surgencia. Para el trimestre comprendido entre el 1 de Diciembre de 2020 y el 28 de Febrero de 2021 se identificaron 3 periodos destacables con una duración de 26, 18 y 12 días que estuvieron asociados a un enfriamiento de 11,2, 16,8 y 3,6°C por evento en los meses de Diciembre, Enero y Febrero, respectivamente (ver Figura 10C).



Viento

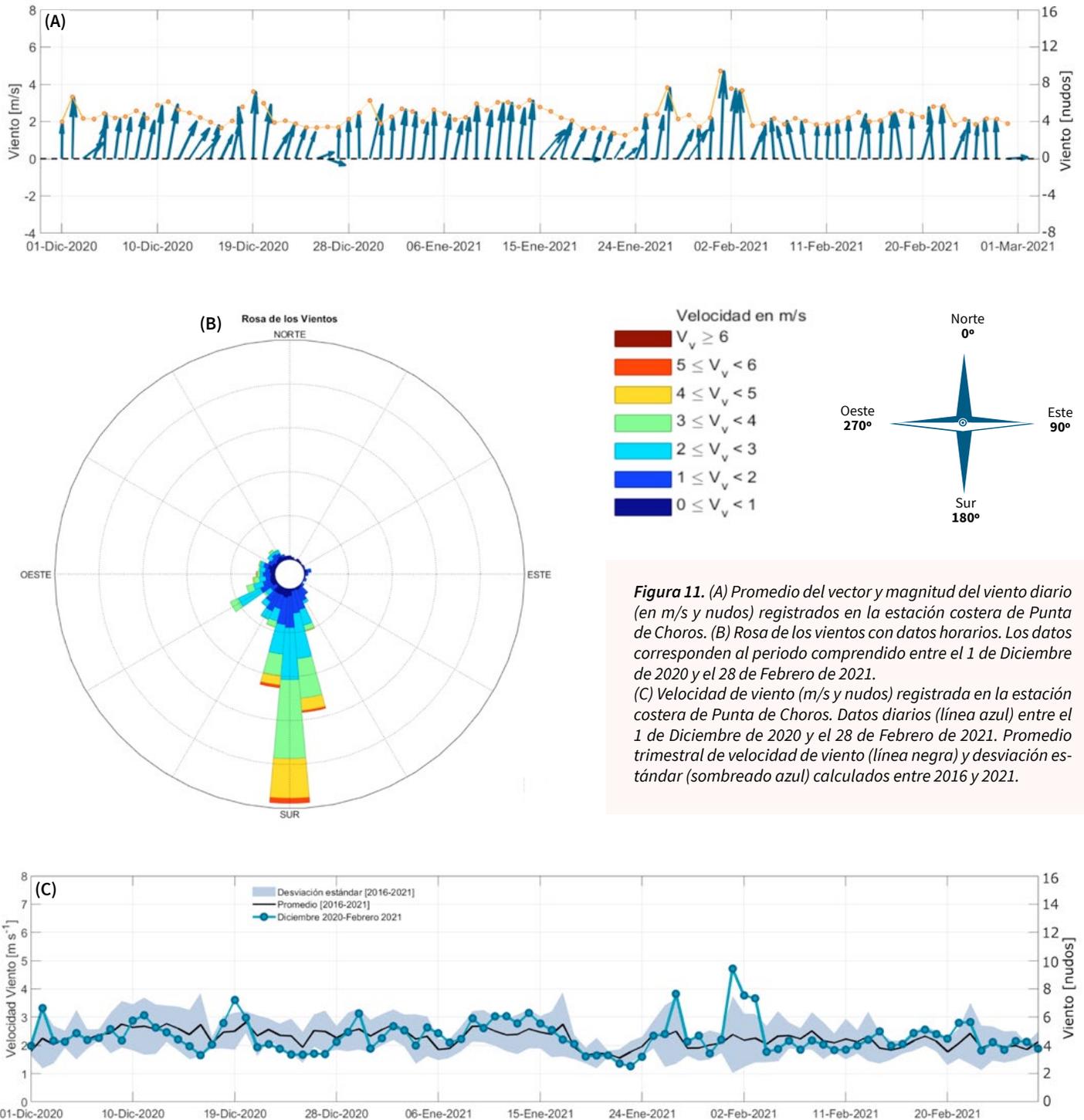
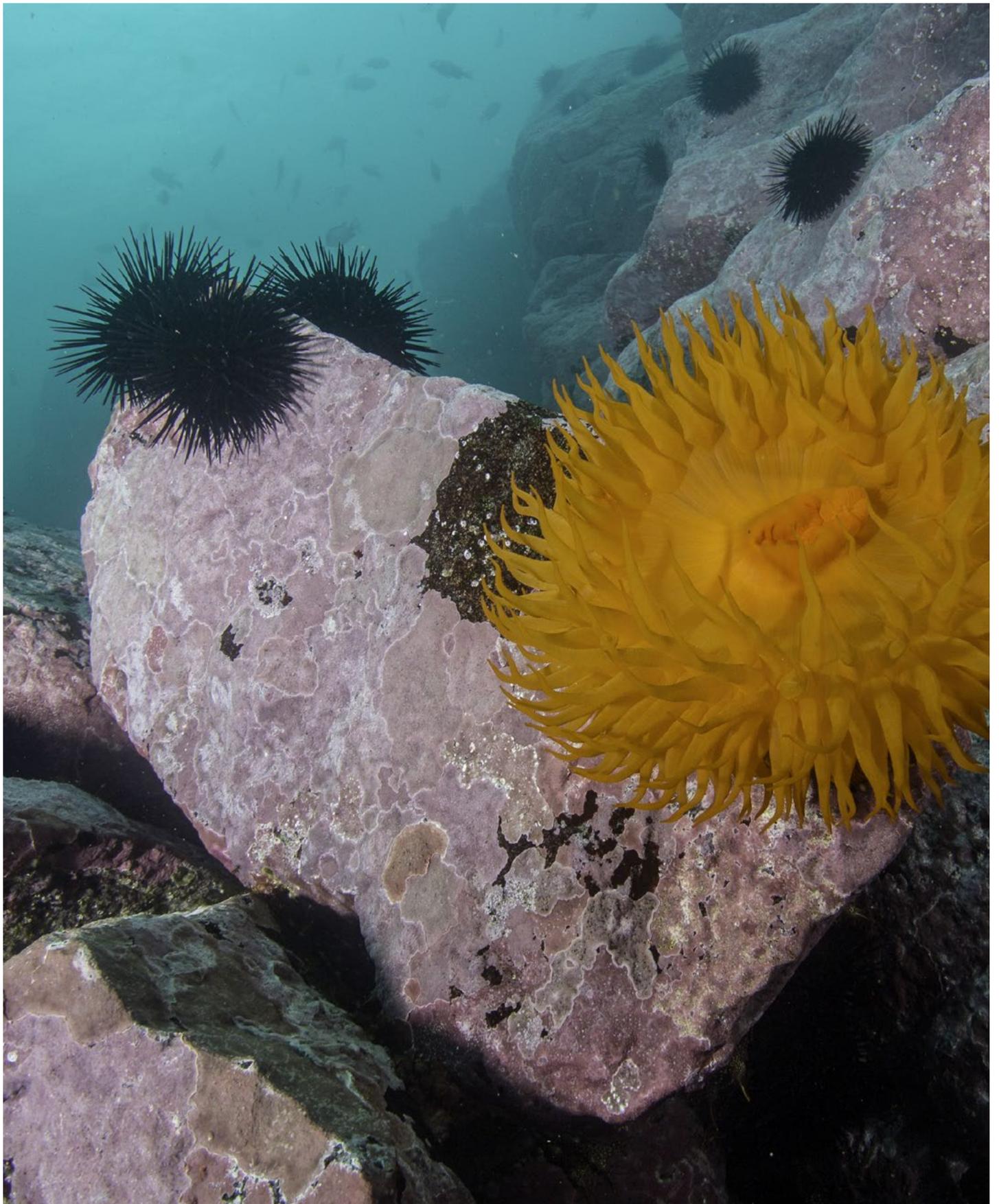


Figura 11. (A) Promedio del vector y magnitud del viento diario (en m/s y nudos) registrados en la estación costera de Punta de Choros. (B) Rosa de los vientos con datos horarios. Los datos corresponden al periodo comprendido entre el 1 de Diciembre de 2020 y el 28 de Febrero de 2021. (C) Velocidad de viento (m/s y nudos) registrada en la estación costera de Punta de Choros. Datos diarios (línea azul) entre el 1 de Diciembre de 2020 y el 28 de Febrero de 2021. Promedio trimestral de velocidad de viento (línea negra) y desviación estándar (sombreado azul) calculados entre 2016 y 2021.

Durante el trimestre en análisis, las mediciones de viento de la estación CEAZAMET de Punta de Choros, registraron en general, valores cercanos o bajo del rango observado en igual fecha durante los años 2016 al 2020. No obstante, se midieron dos periodos de viento (6 al 15 de Enero y a comienzos de Febrero) por sobre el rango de las mediciones precedentes en igual fecha. En cuanto al mínimo obser-

vado (1 m/s) se alcanzó entre el 22 al 23 de Enero de 2021.

En cuanto a la orientación del viento en Punta de Choros, se midieron vientos predominantes del Sur por un total de 62 días y de dirección Suroeste por un total de 25 días, intercalado con eventos esporádicos de viento Oeste (4 días).





» Sistema Bahía de Tongoy - Punta Lengua de Vaca



En la Bahía de Tongoy se observaron para el periodo de estudio (1 de Diciembre de 2020 al 28 de Febrero de 2021) un total de 3 eventos de entrada de agua de surgencia costera (Figura 12). Estos periodos de viento sur más intensos se registraron entre el 10 al 18 de Diciembre 2020 y del 6 al 14 de Enero de 2021 para toda la Región (Figura 4B y Figura 4E), pero con mayores velocidades de viento en la zona de Punta Lengua de Vaca (Figura 4B, Figura 4E y Figura 13A, Figura 13B y Figura 13C).

Estos periodos de viento favorable a la surgencia generaron una respuesta en la temperatura del agua (a 0 y 10m de profundidad) debido al ascenso de aguas profundas más frías hacia la superficie (ver surgencia en Glosario). El periodo con menores Temperaturas Superficiales del Mar (TSM) en Punta Lengua de Vaca y la Bahía de Tongoy (Figura 6B y Figura 7D) se asocia con el primer periodo de mayor intensidad de viento sur (10 al 18 de Diciembre de 2020). Por su parte, los datos de temperatura del agua a 10 m de profundidad (Figura 13D), que provienen de los instrumentos de la Balsa de Tongoy, marcaron tres periodos de descenso de temperatura asociados a la entrada de agua de surgencia los cuales estuvieron altamente correlacionados con los vientos favorables a la surgencia (Figura

13A, Figura 13B y Figura 13C) registrados en Punta Lengua de Vaca, así como con los 2 índices de surgencia costera estimados para este periodo de tiempo (Figura 12A y Figura 12C).

El enfriamiento más pronunciado y de mayor duración a 10 m de profundidad medidos por la Balsa de Tongoy (Figura 13D) se registró entre el 31 de Enero al 9 de Febrero de 2021. Estos 3 periodos de enfriamiento identificados a 10m de profundidad se correlacionan con una importante disminución de oxígeno disuelto (y saturación de oxígeno) (Figura 13E y Figura 13F) (ver Glosario).

Las aguas de surgencia cargadas con nutrientes estimulan el crecimiento de microalgas o fitoplancton (ver Glosario) al alcanzar la superficie. Es por ello, que se observó un aumento en la clorofila superficial (Figura 8 y Figura 9D) y en la clorofila in-situ a 10 m de profundidad medida por la Balsa de Tongoy (Figura 13G). Este aumento en las concentraciones de clorofila a 0 y 10m de profundidad se registró en días posteriores a los máximos de vientos sur-sudoeste (Figura 13A, Figura 13B y Figura 13C), desfase temporal típico que existe entre que los nutrientes están disponibles y son usados por el fitoplancton.



Índice de surgencia (Bahía de Tongoy)

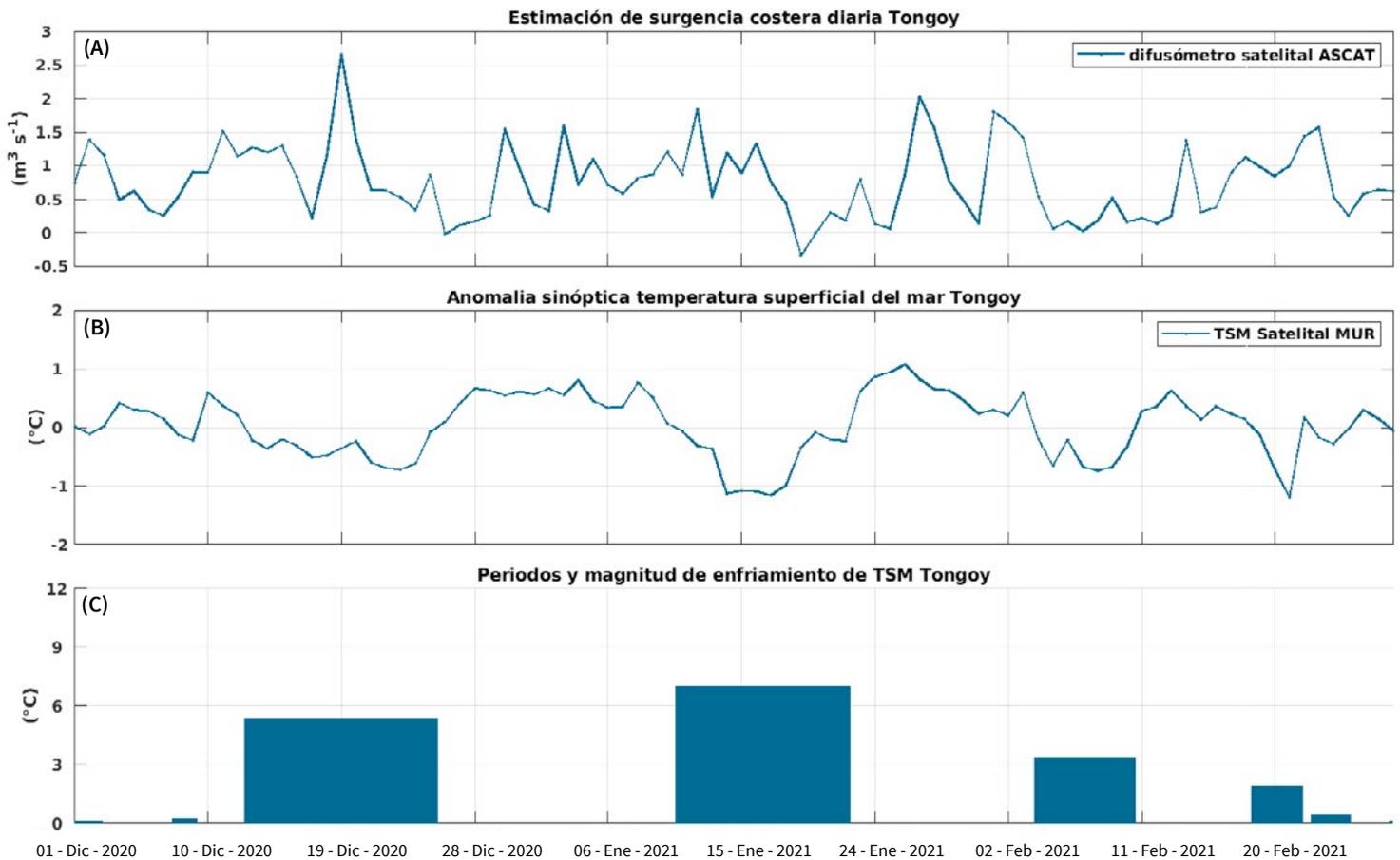


Figura 12. Indicadores de intensidad y duración de la surgencia costera en la Bahía de Tongoy. (A) Índice de surgencia costera (UI) estimado a partir del estrés del viento, (B) Anomalías sinópticas de la Temperatura Superficial del Mar (TSM) ($^{\circ}C$); (C) Índice termal de surgencia costera (enfriamiento costero superficial) estimado a partir de las anomalías sinópticas de la Temperatura Superficial del Mar (TSM). Las anomalías de temperatura se obtienen sus-trayendo el promedio móvil de 30 días de la serie diaria de TSM satelital en la localidad de interés.

El análisis de los periodos de surgencia estimado a partir del forzamiento del viento nos indica que los periodos del 10 al 18 de Diciembre, 06 al 14 de Enero y 24 de Enero al 01 de Febrero acumularon los mayores volúmenes de transporte de surgencia con 9,52, 8,63 y 7,84 $m^3 s^{-1}$ por m de costa, respectivamente. En contraste, el periodo del 15 al 23 de Enero registró un volumen acumulado mínimo de 4,35 $m^3 s^{-1}$ por m de costa. Note que las mediciones de viento

in-situ CEAZAMet muestran extremos de viento coincidentes a lo observado satelitalmente (Figura 12A).

En base al segundo índice basado en las anomalías sinópticas de temperatura, se identifican 3 periodos destacables de anomalías negativas de TSM con una duración de 15, 14 y 7 días de duración asociados a un enfriamiento integrado de 5,94, 6,76 y 1,92 $^{\circ}C$ por evento en los meses de Diciembre, Enero y Febrero, respectivamente (Figura 12B y Figura 12C).



Condiciones Atmosféricas y Oceanográficas

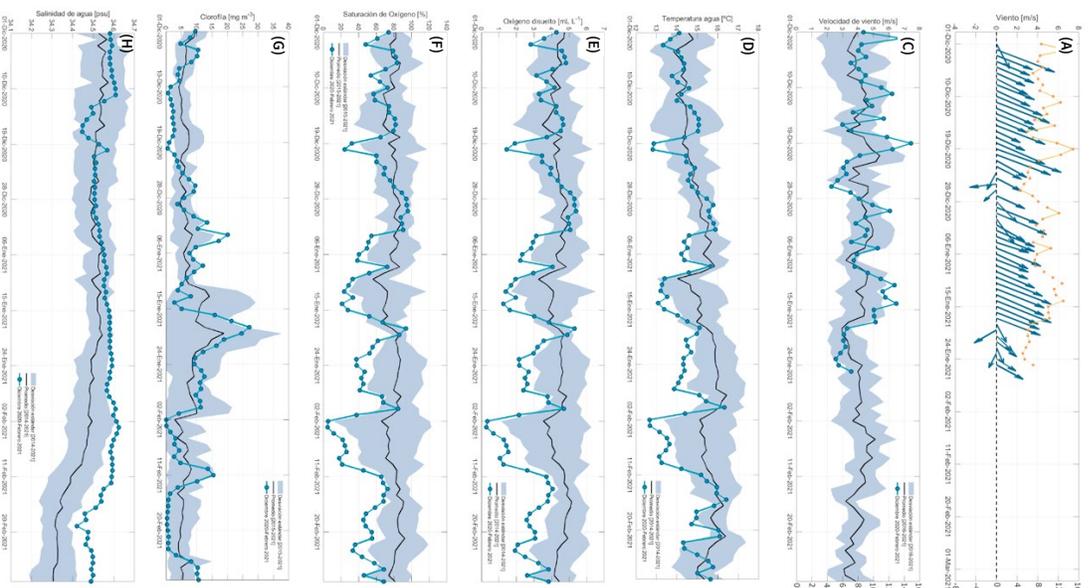
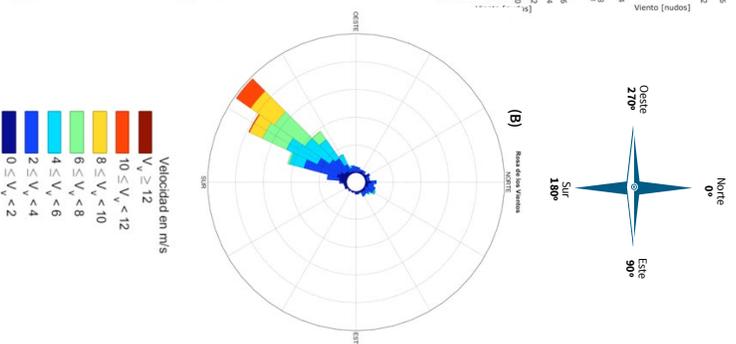


Figura 13. (A) Promedio del vector y magnitud del viento diario (en m/s y nudos). (B) Rosa de los vientos con datos horarios. (C) Velocidad de viento (m/s y nudos) registrada en la estación costera de Punta Lengua de Vaca. Datos diarios (línea azul) entre el 1 de Diciembre de 2020 y el 25 de Enero de 2021. Promedio trimestral de velocidad de viento (línea negra) y desviación estándar (sombreado azul) calculados entre 2013 y 2021. (D) Temperatura del agua (°C). (E) Oxígeno disuelto (mg/L). (F) Saturación de oxígeno (%). (G) Clorofila (mg/m³) y (H) 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 2020 y el 28 de Febrero de 2021. Promedio trimestral (línea negra) y desviación estándar (sombreado azul) calculados entre 2013 y 2021. (I) Temperatura del agua (°C) calculados entre 2014 y 2021 para los variables temperatura del agua, oxígeno disuelto, salinidad y entre 2014 y 2021. Para la saturación de oxígeno y clorofila.



Las observaciones de viento CEAZAMet disponibles para Punta Lengua de Vaca (Figura 13A, Figura 13B y Figura 13C) en el periodo de estudio presentaron, en general, promedios diarios dentro de los rangos medidos (área sombreada en azul claro) entre los años 2013 y 2021. Los promedios diarios mínimos y máximos se mantuvieron cercanos a las observaciones precedentes en igual periodo alcanzando 2,3 m/s (4,5 nudos) y 7,4 m/s (14,4 nudos) el 26 de Diciembre de 2020 y el 19 de Diciembre de 2020, respectivamente. En cuanto a la dirección del viento, la estación de Punta Lengua de Vaca presentó 48 días de viento predominante del Suroeste y este-casos días de viento proveniente del Oeste (5 días), Noroeste (2 días) y Norte (1 día).

2

OXÍGENO DISUUELTO. La concentración de oxígeno disuelto que encontramos en los océanos depende de múltiples factores físico-químicos (f), biológicos (b), fotosíntesis, respiración, etc.). Las costas de Chile son afectadas por una de las zonas mínimas de oxígeno (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 glaciario). 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.

Dentro de la Bahía de Tongoy, se obtuvieron datos de temperatura del agua (Figura 13D), oxígeno disuelto (Figura 13E), saturación de oxígeno (Figura 13F), clorofila (Figura 13G) y salinidad (Figura 13H) medidos por un instrumento oceano-gráfico instalado a 10 m de profundidad.

Durante el periodo de estudio, la temperatura del agua (Figura 13D) presentó menores valores promedio y máximo respecto a las observaciones para el mismo trimestre entre 2014-2021. En promedio se registró 14,5°C (promedio entre 2014-2021 = 15,2°C), con un máximo de temperatura del agua de 16,4°C alcanzado el 15 de Febrero de 2021 (máximo entre 2014-2021 = 17,8°C) y un mínimo de 12,7°C el día 2 de Febrero de 2021 (mínimo entre 2014-2021 = 12,5°C).

Se observan tres periodos importantes de descenso de la temperatura del agua (Figura 13D) a 10 m de profundidad (17 de Diciembre, 8 de Enero y 31 de Enero) con una duración aproximada de 2-3 días a más de una semana. Estos tres periodos presentan valores mínimos y fuera de los rangos medidos (área sombreada en azul claro) entre los años 2014 y 2021.

En cuanto a la variable oxígeno disuelto (Figura 13E), durante el periodo de estudio se observó un menor promedio trimestral con 3,2 mg/L, respecto al promedio 2014-2021 de 4,4 mg/L y un menor máximo de oxígeno disuelto con 5,4 mg/L, registrado el 30 de Diciembre de 2020 respecto al máximo de 6,8 mg/L calculado entre 2014 y 2021 para este trimestre. El valor mínimo trimestral es de 0,3 mg/L alcanzado el día 2 de Febrero de 2021, e igual al mínimo registrado entre 2014 y 2021.

Para la saturación de oxígeno (%) (Figura 13F), observamos que presenta un menor valor promedio trimestral con 56,1% respecto al promedio 2015-2021 de 79,4% y un menor máximo con 95,6% registrado el 30 de Diciembre de 2020 respecto al máximo de 122% calculado entre 2015 y 2021 para este trimestre. El valor mínimo trimestral es de 4,65% registrado el día 2 de Febrero de 2021, e igual al mínimo calculado entre 2015 y 2021.

Al igual que la temperatura del agua, el oxígeno disuelto y la saturación de oxígeno (Figura 13E y Figura 13F) presentaron tres importantes periodos de disminución (17 de Diciembre de 2020, 8 de Enero de 2021 y 31 de Enero 2021) con una duración aproximada de entre 2-3 días a más de una semana y cuyos valores se encuentran fuera de los rangos medidos (área sombreada en azul claro) entre 2014 y 2021.

La clorofila (Figura 13G) presentó un valor promedio trimestral de 7,1 mg/m³, similar al promedio de 7 mg/m³ calculado para este trimestre entre 2015 y 2021. Los valores mínimos trimestrales entre 2015 y 2021 son iguales con 0,1 mg/m³ (registrado el día 2 de Febrero de 2021), mientras que el valor máximo del periodo de estudio es menor con 27,1 mg/m³ (8 de Enero de 2021) respecto al máximo de clorofila de 43,1 mg/m³ calculado entre 2015 y 2021. Para el periodo de análisis, la clorofila presentó promedios diarios dentro de los rangos medidos (área sombreada en azul claro) entre los años 2015 y 2021.

Además, destacan tres máximos en las concentraciones de clorofila (Figura 13G) en la Bahía de Tongoy de 20, 27 y 15 mg/m³ los días 3, 18 de Enero de 2021 y 11 de Febrero de 2021, respectivamente. Por el contrario, se registraron tres periodos con valores muy bajos de clorofila, el primero de ellos entre el 10 y el 20 de Diciembre de 2020 con valores entre los 0 y 3 mg/m³, el segundo entre el 12 y 9 de Febrero de 2021 con valores entre 0 y 5 mg/m³, y el tercero entre el 14 y 23 de Febrero de 2021 con valores entre 0 y 1 mg/m³.

Por último, la salinidad (Figura 13H) dentro de la Bahía de Tongoy en el periodo de estudio (1 de Diciembre de 2020 y el 28 de Febrero de 2021) presentó el mismo valor promedio que el calculado entre 2014 y 2021 (34,5 psu), los promedios diarios mínimos y máximos se mantuvieron cercanos a los valores calculados entre 2014 y 2021 para este trimestre, alcanzando 34,4 y 34,6 psu el 19 de Febrero de 2021 y el 3 de Febrero de 2021, respectivamente. La salinidad se encuentra dentro del rango (área sombreada en azul claro) hasta mediados de Enero de 2021. A partir de esta fecha, se observa que la salinidad aumenta con respecto al promedio y variabilidad calculados entre 2014 y 2021.



ANÁLISIS DE LAS CONDICIONES ATMOSFÉRICAS Y OCEANOGRÁFICAS DE LA REGIÓN DE COQUIMBO Y SU IMPACTO EN LOS SECTORES PRODUCTIVOS



A escala regional, los últimos meses del año 2020 estuvieron caracterizados por condiciones frías a escala del Pacífico Sudeste (ver Figura 1), lo que en parte está relacionado con las condiciones que genera La Niña (ver Glosario) que desde el año 2020 han sido persistentes en el Pacífico ecuatorial. Cabe destacar que el actual fenómeno de La Niña es el más intenso en, prácticamente, una década. Esta condición, podría explicar el leve aumento en los desembarques de peces, algas y crustáceos en la región de Coquimbo, en comparación a 2019 (ver Boletín Sectorial cuarto trimestre 2020 de SERNAPESCA).

Frente a la Región de Coquimbo, desde el mes de Noviembre de 2020 se ha observado una disminución rápida de la Temperatura Superficial del Mar (TSM) que ha estado asociado a la presencia del modo climático Chile El Niño (ver Figura 2 y Glosario). Sin embargo, desde el mes de Enero de 2021, esta situación parece haberse invertido (ver Figura 2D) y explicaría el incremento de Temperaturas Superficiales del Mar (TSM) que se observaron a partir de Enero de 2021 (ver Figura 2C y Figura 2D).

Por otra parte, las observaciones de las anomalías del nivel del mar (ver Figura 3A) indican la propagación de una Onda de Kelvin de hundimiento (ver Glosario) desde el ecuador a partir de Enero de 2020 lo que generó a lo largo de la Región de Coquimbo un aumento del nivel de mar del orden de los 2 cm (Figura 3B) y un calentamiento de la capa superficial del océano (ver Figura 1). Esto se encuentra en total coherencia con lo observado en relación con el índice Chile El Niño discutido anteriormente (ver Figura 2). Esta condición podría influir en un desplazamiento de especies de peces pelágicos a zonas más profundas o desplazarse hacia áreas con menor temperatura (ver informe técnico FIPA FIP-IT 93-01).

A nivel local, la circulación atmosférica medida satelitalmente sobre el océano frente a la Región de Coquimbo registró tres periodos destacados que presentaron viento sur con una velocidad máxima de entre 5,45 a 6,5 m/s (10,6 a 12,6 nudos). Esto favoreció la presencia de eventos importantes de surgencia costera (ver Glosario) entre el 10 al 27 de Diciembre de 2020, el 6 al 23 de Enero de 2021, y del 2 al 10 de Febrero de 2021. En efecto, las estimaciones del volumen de surgencia para la bahía de Tongoy superó durante los tres periodos los 5 m³/s por metro de costa. Adicionalmente, y como consecuencia de la surgencia costera, la Temperatura Superficial del Mar (TSM) respondió con un marcado enfriamiento en cada uno de estos periodos, en particular durante los dos primeros eventos (del 10 al 27 de Diciembre de 2020 y del 6 al 23 de Enero de 2021) (ver Figura 6



y Figura 7). Asimismo, la biomasa de fitoplancton (ver Glosario) medida satelitalmente a partir de la concentración de clorofila superficial (ver Figura 8 y Figura 9), evidenció valores máximos en dichos meses, en particular durante el mes de Enero de 2021 en los que se registraron valores que superaron los 10 mg/m³ desde Punta de Choros hasta los Vilos (ver Figura 8 y Figura 9), con valores máximos por sobre los 20 mg/m³ en el extremo sur de la Región de Coquimbo (ver Figura 8 y Figura 9).

Estudios recientes sobre el recurso ostión del norte (*Argopecten purpuratus*) han observado que la surgencia y su intensidad (velocidad del viento, enfriamiento del mar) afecta tanto las tasas de crecimiento como de mortalidad de esta importante especie. La información que se tiene hasta la fecha indica que eventos de surgencia (viento sur sostenido en el tiempo y de gran intensidad) genera condiciones estresantes para este recurso cultivado en la Bahía de Tongoy lo que se ve reflejado, por ejemplo, en mayores tasas de mortalidad. Esto principalmente se debe a que las aguas de surgencia, aparte de ser frías y ricas en nutrientes, son también bajas en el contenido de oxígeno. Finalmente, la alta disponibilidad de alimento (alta concentración de clorofila observadas durante los periodos de surgencia, ver Figura 8 y Figura 9) es un importante factor a tener en cuenta a la hora de determinar el impacto de la surgencia sobre el cultivo de ostión, ya que altas concentraciones de clorofila permitiría al ostión poder resistir las condiciones frías y bajas de oxígeno que genera la surgencia (ver sección Investigación CEAZAMar).



» INVESTIGACIÓN CEAZAmar



La intensidad del viento afecta la mortalidad del ostión del norte en la Bahía de Tongoy



Los resultados del estudio, donde participaron investigadores de CEAZA y otras instituciones nacionales e internacionales, indican que cuando se intensifican los vientos en la gran Bahía de Tongoy, las aguas de la Bahía son más frías, más ácidas y contienen menos oxígeno disponible (surgencia). Estos cambios generaron un impacto importante sobre el cultivo del ostión del norte que se desarrolla en la Bahía de Tongoy, y vientos más intensos y mayor duración se tradujeron en mayores mortalidades de este importante recurso para la Región de Coquimbo.



Palabras claves: surgencia, viento, oxígeno, temperatura, ostión, Tongoy, crecimiento, mortalidad



<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140949>

Referencias:

Laura Ramajo, María Valladares, Orlando Astudillo, Carolina Fernández, Alejandro B. Rodríguez-Navarro, Paul Watt-Arévalo, Manuel Núñez, Christian Grenier, Rocío Román, Paulina Aguayo, Marco A. Lardies, Bernardo Broitman, Pamela Tapia and Christian Tapia (2020). Upwelling intensity modulates the fitness and physiological performance of coastal species: implications for the aquaculture of the scallop *Argopecten purpuratus* in the Humboldt Current System. *Science of the Total Environment* 745: 140949.

Un 'Paleo-kindergarten' de tiburones blancos en Tongoy



El tiburón blanco es el pez depredador más grande en la actualidad, y su presencia en la costa de Chile es esporádica y aislada. El estudio de restos de abundantes dientes fósiles de tiburón blanco hallados en Tongoy revela que esta especie habitó y fue muy abundante en esta localidad hace millones de años. Más aún, la dominancia de dientes de pequeño tamaño, indica la presencia predominante de juveniles, lo que sugiere que Tongoy fue un área de crianza de pequeños tiburones blancos. Esta es la primera área de crianza fósil conocida para la especie a nivel mundial, y sugiere que las condiciones oceanográficas de bahía Tongoy fueron radicalmente distintas hace millones de años.



Palabras claves: tiburón blanco, Tongoy, paleoceanografía



<https://www.nature.com/articles/s41598-020-65101-1>

Referencias:

Jaime A. Villafaña, Sebastian Hernandez, Alonso Alvarado, Kenshu Shimada, Catalina Pimiento, Marcelo M. Rivadeneira & Jürgen Kriwet (2020). First evidence of a palaeo-nursery area of the great white shark. *Sci Rep* 10, 8502



¿Qué podemos aprender de la **caca** de las **ballenas**?



Conocer la dieta de las ballenas es importante para el desarrollo de estrategias de conservación en sus áreas de alimentación. Las presas de ballenas azul, fin, sei y jorobadas a lo largo de la costa de Chile, incluyendo el Archipiélago de Humboldt, fueron determinadas a partir de fecas, encontrándose que tres tipos de ballenas (azul, fin y jorobada) se alimentan principalmente de krill, mientras que la ballena sei se alimenta de langostino de los canales. La investigación también encontró presencia de microplásticos en las fecas de estos mamíferos marinos.

Palabras claves: ballenas, fecas, alimentación, Archipiélago de Humboldt, plásticos

 <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/mms.12782>

Referencias:

Susannah J. Buchan, Paulina Vásquez, Carlos Olavarría, Leonardo R. Castro. 2021. Prey items of baleen whale species off the coast of Chile from fecal plume analysis. *Marine Mammal Science* DOI: 10.1111/mms.12782

Investigación estudia



cuáles son las óptimas maneras de cultivar la **CORVINA** en la **Región de Coquimbo**

La corvina es una especie para la diversificación acuícola en la zona norte de Chile, incluyendo a la región de Coquimbo. Al día de hoy, Fundación Chile está liderando su producción en cautiverio, y junto a investigadores de CEAZA y UCN están investigando cuáles son las óptimas condiciones para cultivar este recurso. Los resultados sugieren que las corvinas juveniles toleran altas densidades de población (al menos 35 kg / m³) sin generar un estrés crónico ni disminuir su capacidad de respuesta a la baja disponibilidad de oxígeno.

Palabras claves: corvina, acuicultura, oxígeno, hipoxia

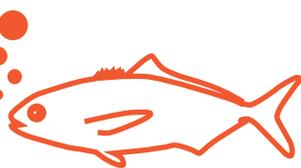
 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140949>

Referencias:

Claudio Alvarez, Jerez-Cepa, I.; Cárcamo, C. B.; Toledo, P.; Flores, H.; Brokordt, K. Growth performance, physiological responses to hypoxia and flesh quality of Chilean croaker (*Cilus gilberti*) stocked at different densities. *Aquaculture* 2020, 525, 735316



Cojinobas, unos muy buenos nadadores



La cojinoba es un recurso marino de gran interés para la pesca y acuicultura de la región de Coquimbo. En este estudio investigadores de CEAZA y UCN entregan información sobre la capacidad de nado que tienen estos peces a diferentes intensidades de las corrientes de agua. Los resultados evidencian que las cojinobas utilizan sus aletas pectorales a bajas velocidades de flujo, un comportamiento observado en peces que se mueven en cardumen. Además la composición de músculo rojo y blanco en su aleta caudal le permitiría mantener una natación sostenida a corrientes marinas de alta velocidad.



Palabras claves: cojinoba, capacidad de nado, acuicultura



doi:10.1016/j.aquaculture.2020.735968

Referencias:

Peter Allen, Katherina Brokordt, Marcia Oliva, Katherine Alveal, Héctor Flores, Claudio A. Álvarez. *Physiological insights for aquaculture diversification: swimming capacity and efficiency, and metabolic scope for activity in cojinoba *Serirolella violacea**. *Aquaculture* 2021, 531

CEAZA, en colaboración con la Universidad Católica del Norte y Pontificia Universidad Católica de Chile buscan entender bajo qué condiciones pueden ocurrir eventos de marea roja



Este proyecto busca establecer bajo qué condiciones hidrográficas y ecológicas, la diatomea *Pseudo-nitzschia* sp. puede desarrollar proliferaciones masivas o “blooms” en la bahía de Tongoy. Esta especie de diatomea es capaz de producir ácido domoico, el cual se acumula (bioacumula) en moluscos que filtran su alimento desde el agua. El ácido domoico es una neurotoxina con efectos nocivos para la salud humana.



Proyecto “Especiación y adaptación de cocolitofóridos y diatomeas marinas” Proyecto FONDECYT 1181614 (2018 - 2021)

Referencias:

Peter von Dassow, Victor M. Aguilera & Sylvain Faugeron



¿Qué es CLAP y cómo aporta a CEAZAMar y su Boletín?

CLAP son las siglas en inglés de Research Program for Climate Action Planning (Programa de Investigación para la Planificación de la Acción Climática) del reciente proyecto de investigación adjudicado a CEAZA por la Subdirección de Centros de Excelencia de la Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo (ANID).

CLAP permitirá el desarrollo y fortalecimiento de los objetivos del reciente fundado CEAZAMar, y con ello uno de sus grandes productos, el Boletín CEAZAMar. El Boletín CEAZAMar, al igual que ya hace el Boletín CEAZAMet, aporta con información basada en ciencia a los usuarios del mar y tomadores de decisiones para el desarrollo de sus actividades. Por ello, CLAP y CEAZAMar apostará en los próximos 5 años fortalecer el sistema de observación costero de la Región de Coquimbo lo que mejorará el entendimiento del porqué de las condiciones actuales (diagnóstico) así como más acertados pronósticos para la costa de la Región.

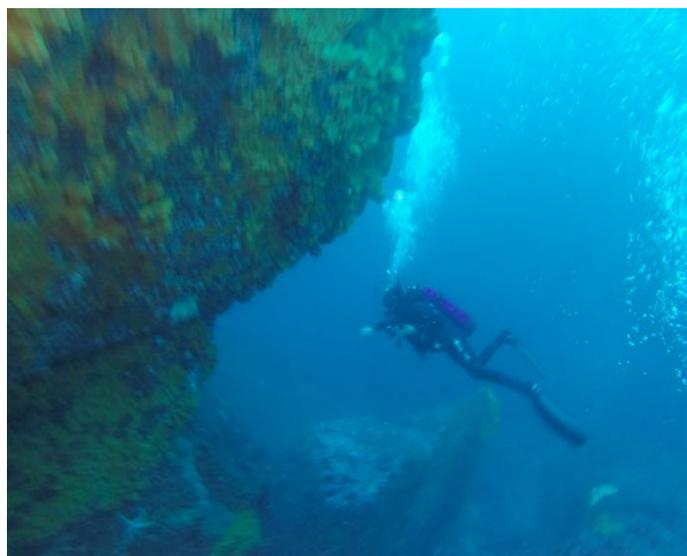
CEAZAMar y su boletín busca ayudar y guiar en la planificación a corto y mediano plazo a la toma de decisiones de las diferentes actividades productivas y no-productivas de la Región de Coquimbo que se desarrolla en sus costas, mientras que a largo plazo se espera impacte sobre el desarrollo e implementación de las mejores y más efectivas medidas de adaptación y mitigación.



Palabras claves: *cambio climático, adaptación, mitigación, Coquimbo, investigación*



Más información sobre CLAP : <http://www.ceaza.cl/2020/12/16/inversion-anid-ceaza-financiaran-ciencia-marco-la-planificacion-frente-al-cambio-climatico/>





» GLOSARIO



Altimetría: La altimetría es el estudio de la altura o la medición de la altitud y se usa en la oceanografía desde la década de los 70s 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 pueden 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.

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

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.

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

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). 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 (perfiles) 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: El Niño es un fenómeno climático que se desarrolla en el Pacífico tropical. Está asociado a un debilitamiento de los alisios, lo cual produce ondas oceánicas que se propagan a lo largo del ecuador hacia el este y que profundice la termoclina produciendo un calentamiento. Dependiendo de donde a lo largo del ecuador se calienta la Temperatura de la Superficie del Mar (TSM), 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. Están en general seguidos por una fase fría (La Niña), lo cual resulta en una oscilación conocida por el nombre de El Niño Oscilación del Sur (ENOS).



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.

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 coccolitóforos recubiertos de calcio.

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.

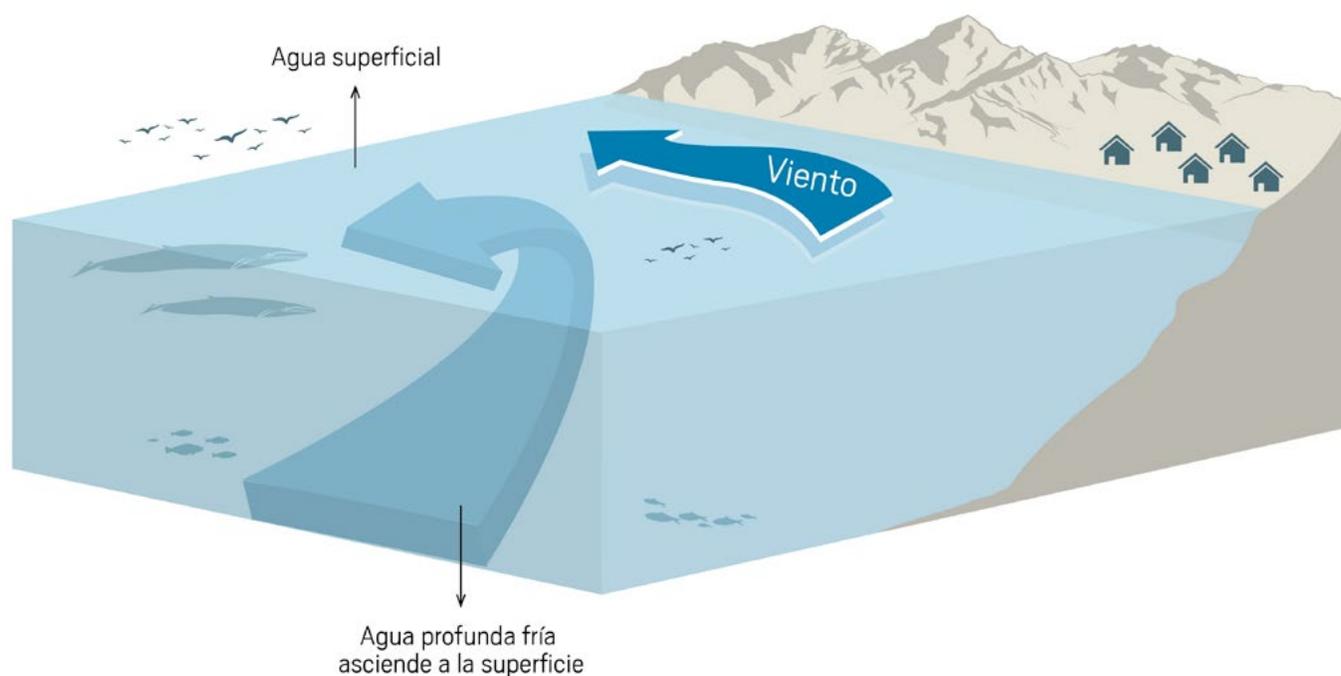
La Niña: Fase fría de la oscilación ENOS vinculada al enfriamiento periódico de las temperaturas de la superficie del océano en el Pacífico ecuatorial central y centro-este que ocurre cada 3 a 5 años aproximadamente. La Niña representa la fase fría del ciclo El Niño / Oscilación del Sur (ENSO).

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 las 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.

Oscilación Interdecadal del Pacífico (IPO): Oscilación a largo plazo de las Temperaturas de la Superficie 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.

SURGENCIA





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.

Productividad primaria: La producción primaria es la síntesis de sustancias orgánicas por organismos autótrofos (principalmente fitoplancton) a partir de dióxido de carbono (CO_2) 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 CO_2 (elevada acidez) y bajas concentraciones de oxígeno disuelto lo que generan 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. Ésta 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 ($\pm 1^\circ\text{C}$).



 > ANEXO


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
2021

