



# Boletín CEAZAMar JULIO 2021





# Índice

» ¿QUÉ ES CEAZA? ¿QUÉ ES CEAZAMar? .....	03
» CRÉDITOS Y AGRADECIMIENTOS .....	04
» ESTRUCTURA DEL BOLETÍN .....	05
» RESUMEN EJECUTIVO .....	06
» MENSAJES DESTACADOS .....	07
» DIAGNÓSTICO DE LA REGIÓN DE COQUIMBO .....	08
» Observaciones regionales .....	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 de monitoreo costeras en la Región de Coquimbo .....	18
» Sistema Bahía de Tongoy - Punta Lengua de Vaca .....	19
» Punta de Choros .....	24
» INVESTIGACIÓN CEAZAMar .....	26
» NOTICIAS CEAZAMar .....	29
» INFOGRAFÍA .....	33
» GLOSARIO .....	34
» ANEXO .....	37
» Parámetros e instrumentos de las estaciones de monitoreo costeras .....	37
» Procedencia de los datos analizados .....	38





## » ¿QUÉ ES CEAZA?



**E**l 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?

**C**EAZAMar 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 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 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 Coquimbo y el apoyo de la Universidad Católica del Norte (UCN), OSTIMAR S.A. y el Servicio Nacional de Pesca (SERNAPESCA).

### CONTACTO:

✉ [ceazamar@ceaza.cl](mailto:ceazamar@ceaza.cl)

🖱 [www.ceazamar.cl](http://www.ceazamar.cl)  
(en preparación)



### 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

#### Comunicación:

Patricio Jofré, Marcela Zavala

#### Diseño y Diagramación:

Janina Guerrero

#### Diseño y Mantención de Plataforma Web:

Carlo Guggiana-Díaz

#### Equipo Directivo CEAZA:

Carlos Olavarría  
Claudio Vásquez

**Agradecimientos:** Fondecyt 11190999

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

» Si desea desuscribirse y no recibir las futuras versiones del Boletín CEAZAMar en su correo electrónico, por favor, escriba a [ceazamar@ceaza.cl](mailto:ceazamar@ceaza.cl)

### Citar como:

Boletín CEAZAMar - Julio 2021 (2021). Análisis de las Condiciones Atmosféricas y Oceanográficas de la Región de Coquimbo (Marzo 2021 - Mayo 2021). 38 páginas. DOI: 10.6084/m9.figshare.15067866





## » 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 proveerá 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, este Boletín

provee información relativa al viento, Temperatura Superficial del Mar (TSM), 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 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.



## » RESUMEN EJECUTIVO



El presente 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 Marzo al 31 de Mayo de 2021.

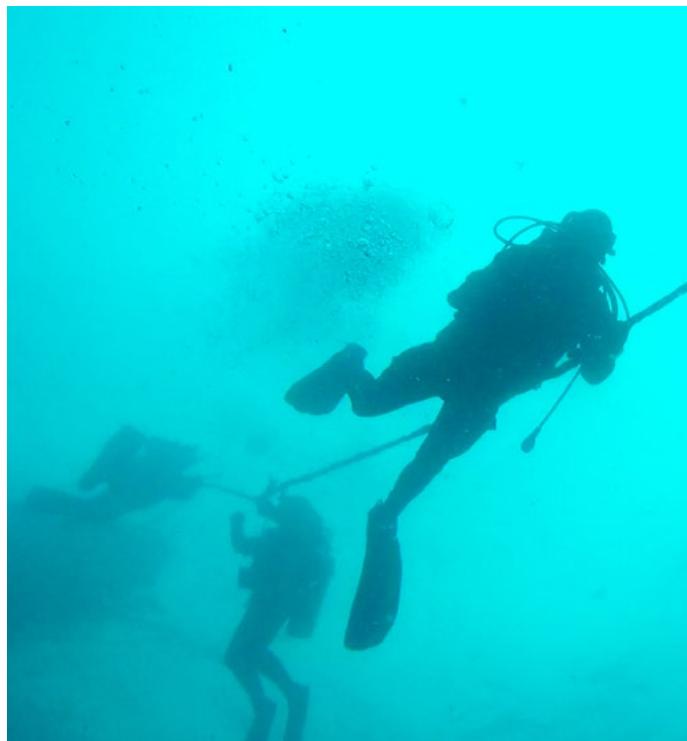
El análisis de Temperatura Superficial del Mar (TSM) a escala regional para este período muestra una importante diferencia con respecto al trimestre anterior (ver **Boletín CEAZAMar - Abril 2021**). Para el trimestre de análisis se observó un debilitamiento de La Niña, fase fría de El Niño Oscilación del Sur (ENOS), y un retorno a condiciones neutrales en los meses de junio y julio de acuerdo a los reportes del centro de predicciones climáticas NCARG de la agencia norteamericana **NOAA**.

Sin embargo, tanto en el Ecuador como en el Pacífico Suroriental, este aparente debilitamiento de La Niña no ha sido tan evidente debido a la ocurrencia periódica de surgencia. Esto es debido a que el agua profunda y fría que asciende a la superficie ha mantenido la costa relativamente fría, independientemente también de la menor irradiación solar que ocurre durante el otoño austral.

En efecto, el análisis de viento (intensidad y dirección) para la Región de Coquimbo indica que a pesar de las importantes variaciones observadas a lo largo del territorio durante el trimestre, la dirección predominante de los vientos fue Sur y Suroeste, vientos que son favorables para la aparición de la surgencia.

A nivel más local, Tongoy y La Cebada fueron las localidades costeras que presentaron entre Marzo y Mayo del 2021 la mayor intensidad del viento. Por el contrario, aquellas localidades situadas en los extremos norte y sur de la Región de Coquimbo (Isla Chañaral, Punta de Choros, Huentelauquén y Los Vilos) presentaron las menores intensidades de viento.

Los equipos atmosféricos y oceanográficos desplegados en la Bahía de Tongoy (balsa de Tongoy) dan cuenta de dos eventos destacados de surgencia Marzo-Abril con diferentes impactos en la temperatura del mar, oxígeno disuelto y concentraciones de clorofila. Cabe destacar que estudios recientes sobre el recurso ostión del norte (*Argopecten purpuratus*) han observado que la surgencia y su intensidad (velocidad del viento, enfriamiento del mar) afectan positiva y negativamente



tanto las tasas de crecimiento como de mortalidad de esta importante especie en respuesta a su frecuencia, duración e intensidad.

Debido a la menor irradiación solar (menos energía) con respecto al trimestre anterior (verano), la persistencia del viento favorable a la surgencia y la complejidad geográfica de la costa de la región, generaron una alta variabilidad en la concentración superficial de clorofila en múltiples localidades de la Región de Coquimbo, pero por sobre todo más baja que durante el periodo de verano (ver **Boletín CEAZAMar Abril 2021**).

Entre las actividades científicas que ha desarrollado el Equipo CEAZAMar destacamos el despliegue de boyas perfiladoras ARGO en las costas de la Región de Coquimbo y Atacama, boyas que pretenden proveer valiosa información de la variabilidad oceanográfica en el Pacífico Sur oriental. A raíz de este hito para la observación del océano frente a Chile, el presente Boletín CEAZAMar incluye material educativo y de divulgación (ver sección infografía) con información detallada sobre **¿Qué son las Boyas Argo, y para qué sirven?**



## » MENSAJES DESTACADOS



**1**

La Niña muestra un debilitamiento en el Pacífico ecuatorial y frente a la costa de Chile.

**2**

Una onda de Kelvin cálida (hundimiento) se generó en el Pacífico ecuatorial en Abril y alcanzó las costas de Coquimbo a finales del mismo mes, produciendo un aumento del nivel del mar.

**3**

Un mismo tipo de onda de Kelvin se generó posteriormente en el mes de Mayo frente al Pacífico Ecuatorial, lo que podría generar un aumento en el nivel del mar frente a las costas de la Región de Coquimbo en los próximos meses.

**4**

Un total de tres eventos destacados de surgencia (vientos sur y suroeste) afectaron la Región de Coquimbo. En particular, para la Bahía de Tongoy se midieron dos eventos de surgencia de importancia que produjeron cambios en las características de la columna de agua (enfriamiento de temperatura del mar, reducción de oxígeno disuelto y/o aumento en la concentración de clorofila).

**5**

La surgencia, que produce enfriamiento en las aguas superficiales por el ascenso de aguas profundas y frías, atenuó la percepción del debilitamiento de La Niña.

**6**

La concentración de clorofila observada en la Región de Coquimbo durante el trimestre marzo a mayo fue más baja que lo observado en el trimestre previo (meses de verano).

**7**

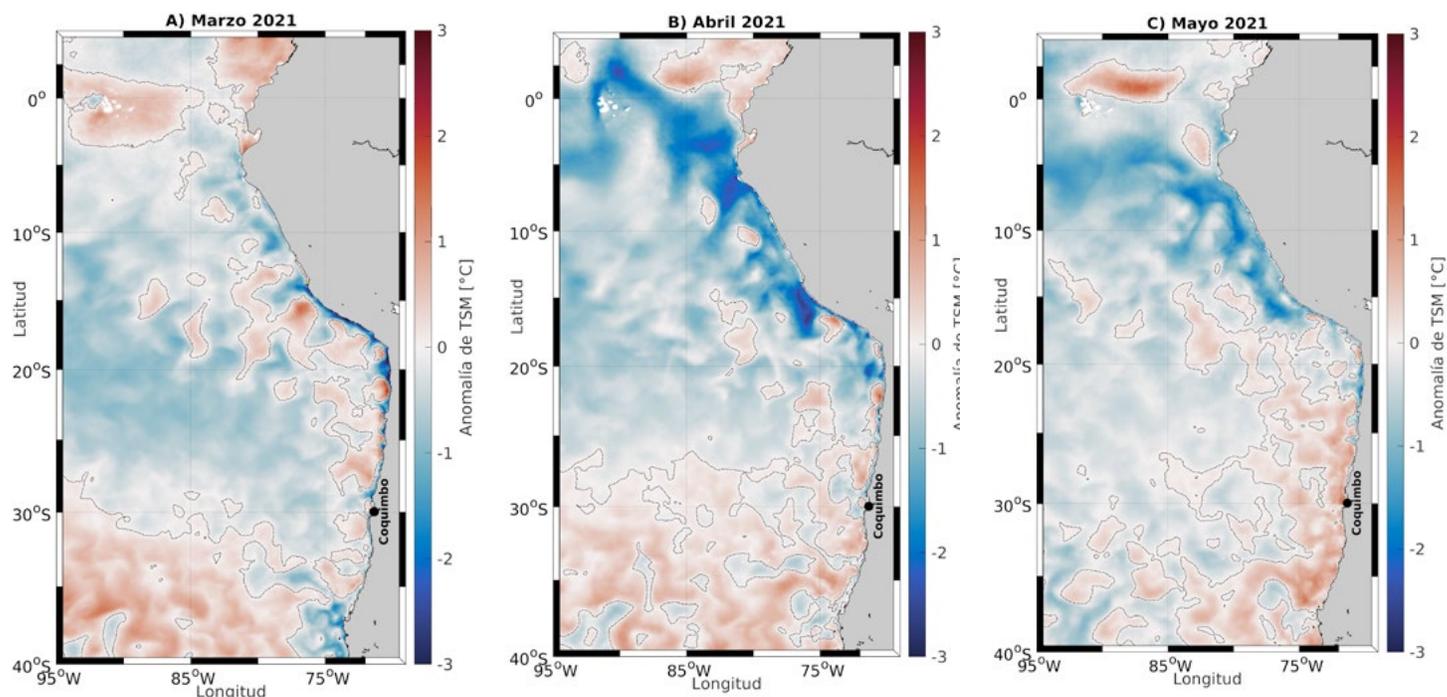
La Bahía de Coquimbo y la Bahía de Tongoy registraron en promedio las mayores concentraciones de clorofila en superficie mientras que las localidades de La Cebada y Huentelauquén presentaron registros mínimos en la Región de Coquimbo.



## » 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) Marzo de 2021, (B) Abril de 2021 y (C) Mayo 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 de 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 Marzo y Mayo 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) cambió su tendencia con respecto al trimestre anterior. Entre el periodo comprendido entre Diciembre de 2020 a Febrero de 2021) (ver Figura 1 del **Boletín CEAZAMAR - Abril 2021**), se presentaron anomalías negativas de TSM (aguas más frías – color azul), lo cual se debió a la predominancia de la fase negativa de El Niño, es decir, La Niña. Sin embargo, en el presente periodo (Marzo - Mayo 2021), a pesar de que se identificaron zonas con anomalías negativas (aguas más frías – color azul) (ver en la estrecha banda costera a lo largo de la costa de Chile y Perú) (Figura 1B y Figura 1C), también se observaron amplias áreas con anomalías ligeramente

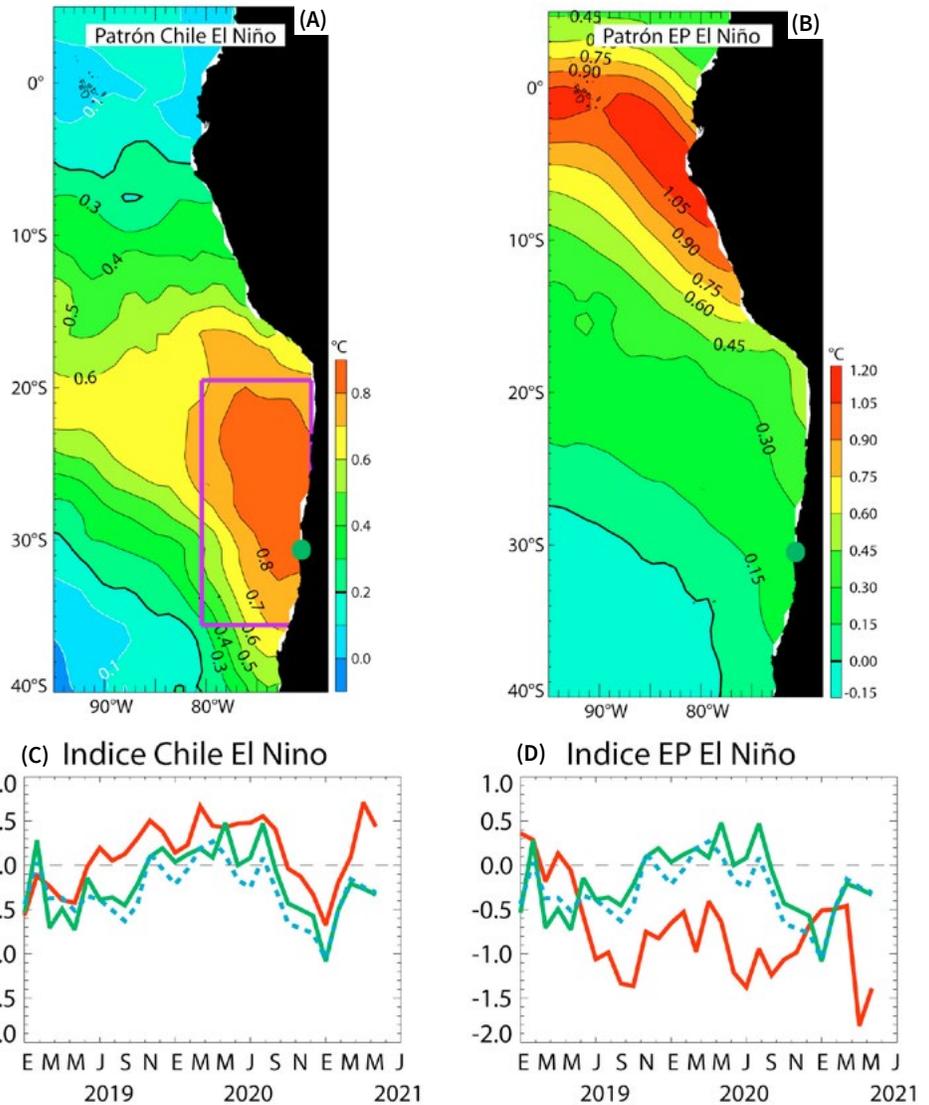
positivas de TSM (aguas más cálidas – color rojo) con incrementos de temperatura que estuvieron entre los 0.5°C y 1.0°C. Esta condición se relaciona con el debilitamiento de La Niña (fase fría de El Niño), condición que ha predominado en la región del Pacífico suroriental durante todo el 2020, y la transición hacia condiciones ENOS-neutro.

Dentro de este trimestre (Marzo - Mayo 2021), fue también posible observar condiciones neutras (contornos punteados) y se mantienen las anomalías de TSM positivas (aguas más cálidas - colores rojos) identificadas en el anterior trimestre, en torno al Ecuador (0°) y en una zona amplia en la parte sudoeste del mapa con valores de hasta +1°C sobre el promedio calculado entre 2006 y 2019 (Figura 1A, Figura 1B y 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 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 2019 y Mayo de 2021. 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 2019 y Mayo 2021. Anomalía calculada utilizó como referencia el periodo comprendido entre 1960 a 2019.



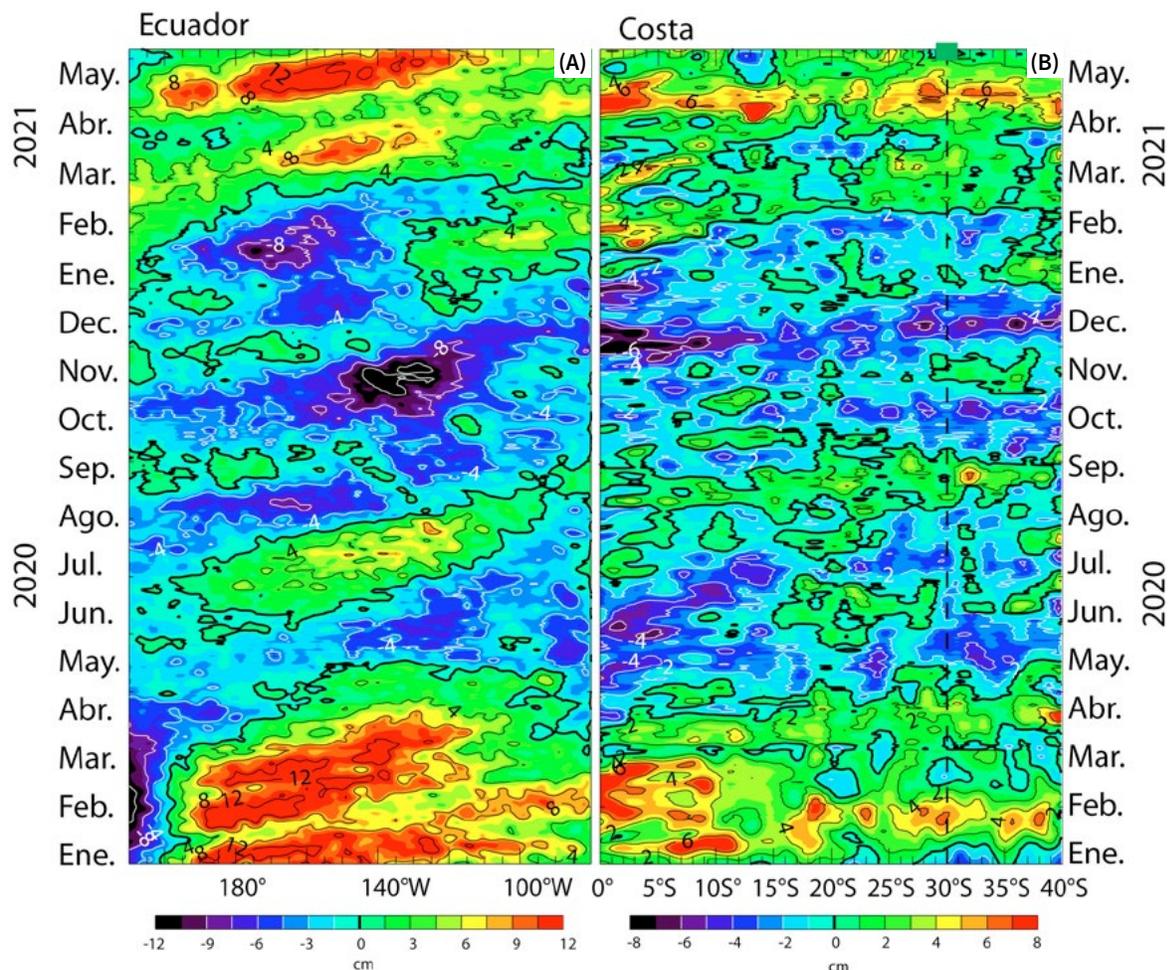
Las distintas regiones climáticas que se encuentran en el Pacífico Sudeste condicionan las características de la circulación costera y ambientales a lo largo de la costa de Chile central. Para el periodo comprendido entre el 1 de Marzo de 2021 y 15 de mayo de 2021, el análisis de las condiciones climáticas (temperatura superficial del mar, TSM) indica que la amplitud del índice CEN (Chile El Niño) sigue relativamente débil (positivo, ~0.5), mientras que el índice EN (El Niño EP) sigue con valores negativos significativos reflejando las condiciones frías muy marcadas frente a Perú (ver Figura 1B). Estas condiciones regionales frías persistentes (La Niña) tienden a mantener las anomalías de temperatura frente a la región de Coquimbo en condiciones casi neutras a pesar de la tendencia a calentarse por el modo de variabilidad Chile El Niño.



**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.



## Nivel del Mar



**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 Enero de 2020 al 21 de Mayo de 2021. Los cambios en el nivel del mar se muestran en centímetros (cm).

Entre Mayo del 2020 y Febrero del 2021 se detectaron varios episodios de Ondas de Kelvin de surgencia a lo largo del Ecuador. Específicamente, una de esas ondas alcanzó la costa de Ecuador en Noviembre de 2020 y siguió su propagación hacia el Sur a lo largo de la costa, llegando a la latitud de Coquimbo en Diciembre del 2020 (ver línea punteada vertical de la *Figura 3B*), lo que produjo condiciones frías.

Posteriormente, en Marzo del 2021, se generó una onda de hundimiento en el Pacífico central a lo largo del Ecuador, la cual llegó a la costa de Ecuador en Abril de 2021 y se propagó hacia el Sur a lo largo de costa produciendo anomalías ligeramente positivas del nivel mar (condición más cálida) en Coquimbo a fines de Abril de 2021 (*Figura 3B*). Estas anomalías positivas se han reducido desde entonces, sin embargo, los cambios observados en el nivel del mar a lo largo del Ecuador durante Mayo de 2021 (*Figura 3A*), estarían sugiriendo un incremento en el nivel del mar (anomalías positivas - condición más cálida) frente a Coquimbo en Julio de 2021.

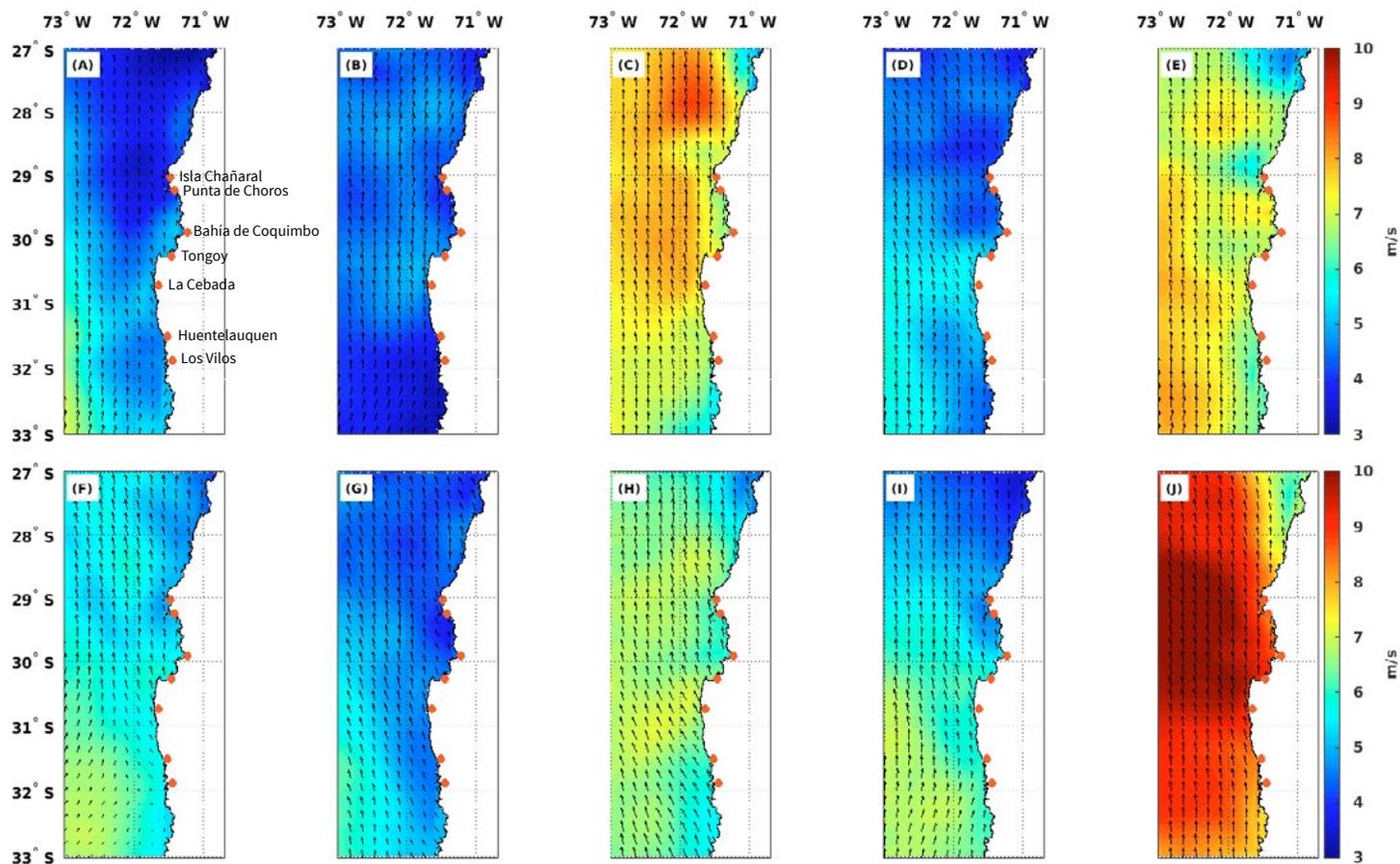


**ONDAS DE KELVIN:** Ondas que se generan en la zona ecuatorial del océano Pacífico a consecuencia de las variaciones en los vientos alisios que soplan desde el Este al Oeste. Una vez generadas, estas ondas viajan hacia el Ecuador (Este) modulando a la vez el nivel del mar y la profundidad de la termoclina. 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

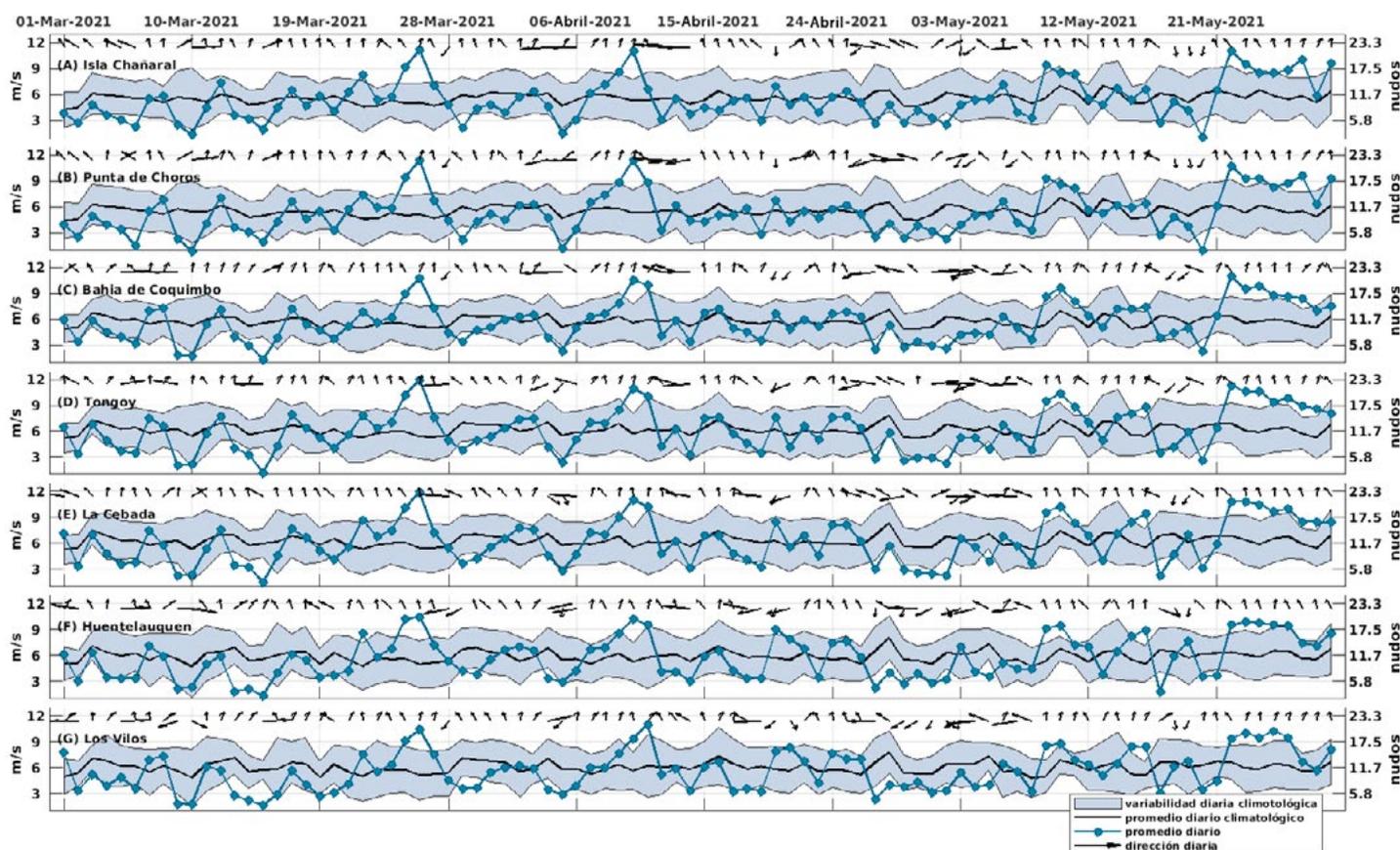


**Figura 4.** Promedio de la velocidad (m/s) y dirección de viento estimada mediante observación satelital a 10 metros sobre el mar frente a la Región de Coquimbo, entre el 1 de Marzo al 29 de Mayo del 2021.

Cada imagen muestra el promedio para ambas variables (velocidad y dirección de viento) para un período de 9 días (A) 1-Mar-2021 a 9-Mar-2021 (B) 10-Mar-2021 a 18-Mar-2021, (C) 19-Mar-2021 a 27-Mar-2021, (D) 28-Mar-2021 a 5-Abr-2021, (E) 6-Abr-2021 a 14-Abr-2021, (F) 15-Abr-2021 a 23-Abr-2021, (G) 24-Abr-2021 a 2-May-2021, (H) 3-May-2021 a 11-May-2021, (I) 12-May-2021 a 20-May-2021, y (J) 21-May-2021 a 29-May-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 trimestre comprendido entre Marzo y Mayo del 2021 se observaron variaciones importantes en el patrón de viento superficial oceánico regional. En particular, en los periodos comprendidos entre el 1 al 18 de Marzo, 28 de Marzo al 5 de Abril y 24 de Abril al 2 de Mayo (Figura 4A, Figura 4B, Figura 4D y Figura 4G) se registraron vientos de intensidad menor en relación a los periodos del 19 al 27 de marzo, 6 al

14 de Abril y 21 al 29 de Mayo (Figura 4C, Figura 4E y Figura 4J), periodos que registraron las mayores intensidades del trimestre. Adicionalmente, los periodos del 10 al 18 de Marzo y del 21 al 29 de Mayo (Figura 4B y Figura 4J) registraron las magnitudes mínimas y máximas del trimestre a lo largo de la costa con 4.2 m/s (8.2 nudos) y 8.7 m/s (16.9 nudos), respectivamente.



**Figura 5.** Series diarias de la velocidad (en m/s y nudos) y dirección de viento promedio diario satelital para las localidades de Chañaral de Aceituno, Punta de Choros, Bahía de Coquimbo, Bahía de Tongoy, La Cebada, Huentelauquén y Los Vilos entre el 1 de Marzo al 29 de Mayo del 2021 (curva azul punteada). Adicionalmente, se incluye el promedio diario histórico de velocidad de viento (curva negra) y su desviación estándar (sombreado azul) calculados entre 2008 y 2020.

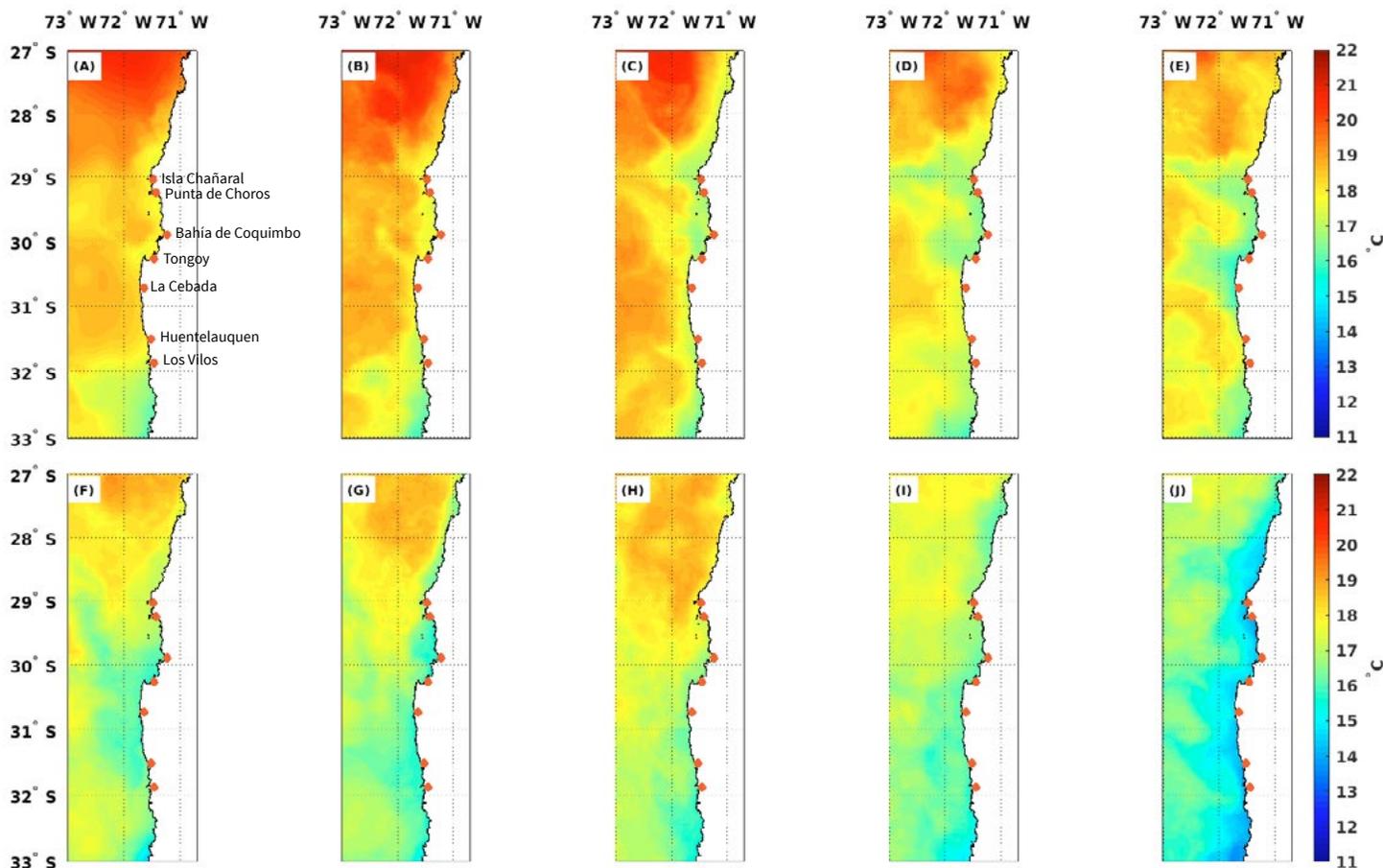
El análisis de los registros de viento satelital para las localidades costeras (ver Figura 5) nos indica que Tongoy y La Cebada registraron a fines de Mayo los valores promedios máximos del trimestre superando los registros históricos con 9.3 y 9.2 m/s (18.07 y 17.88 nudos), respectivamente (Figura 5D y Figura 5E).

Por otra parte, las localidades de Isla Chañaral, Punta de Choros, Huentelauquén y Los Vilos, en los extremos norte y sur de la región, exhibieron a inicios de Marzo magnitudes promedio mínimas de viento entre 3.6 y 3.9 m/s (7 y 7.6 nudos), respectivamente.

En cuanto a la dirección predominante del viento, la totalidad de localidades costeras seleccionadas registró un predominio del viento suroeste (62 a 69% del trimestre), seguido de lejos por viento proveniente del oeste (7 a 20% del trimestre). En términos de días con dirección de viento favorable a la surgencia (suroeste-sur-sureste, también llamados surazos) se contabilizaron 65, 67, 67, 64, 59, 62 y 66 días en las localidades de Chañaral de Aceituno, Punta de Choros, Bahía de Coquimbo, Bahía de Tongoy, La Cebada, Huentelauquén y Los Vilos, respectivamente. En el caso de viento no favorable a la surgencia (noroeste-norte-noreste) se midieron 15, 16, 14, 13, 12, 18 y 16 días en las localidades antes mencionadas, respectivamente.



## Temperatura Superficial del Mar (TSM)



**Figura 6.** Temperatura Superficial del Mar (TSM) (°C) de la Región de Coquimbo entre el 1 Marzo al 29 de Mayo del 2021. Cada imagen muestra el promedio de la TSM para un período de 9 días (A) 1-Mar-2021 a 9-Mar-2021 (B) 10-Mar-2021 a 18-Mar-2021, (C) 19-Mar-2021 a 27-Mar-2021, (D) 28-Mar-2021 a 5-Abr-2021, (E) 6-Abr-2021 a 14-Abr-2021, (F) 15-Abr-2021 a 23-Abr-2021, (G) 24-Abr-2021 a 2-May-2021, (H) 3-May-2021 a 11-May-2021, (I) 12-May-2021 a 20-May-2021, y (J) 21-May-2021 a 29-May-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 trimestre comprendido entre Marzo-Mayo del 2021 se observó un enfriamiento progresivo de la Temperatura Superficial del Mar (TSM) en la región oceánica, en respuesta a la reducción de la radiación solar con el inicio de los meses de otoño. El enfriamiento se focalizó inicialmente en el extremo sur de la región y a lo largo de la costa, donde se observó una reducción de 18.0 a 14.5°C desde inicios de Marzo a fines de Mayo, respectivamente (ver Figura 6). Adicionalmente el mayor contraste entre la región costera y el océano abierto se produjo justamente a fines de mayo (ver Figura 6J) en sincronía con el periodo de mayor intensidad de viento favorable a la surgencia (Figura 4J) para el trimestre en diagnóstico (Marzo a Mayo de 2021).



**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.

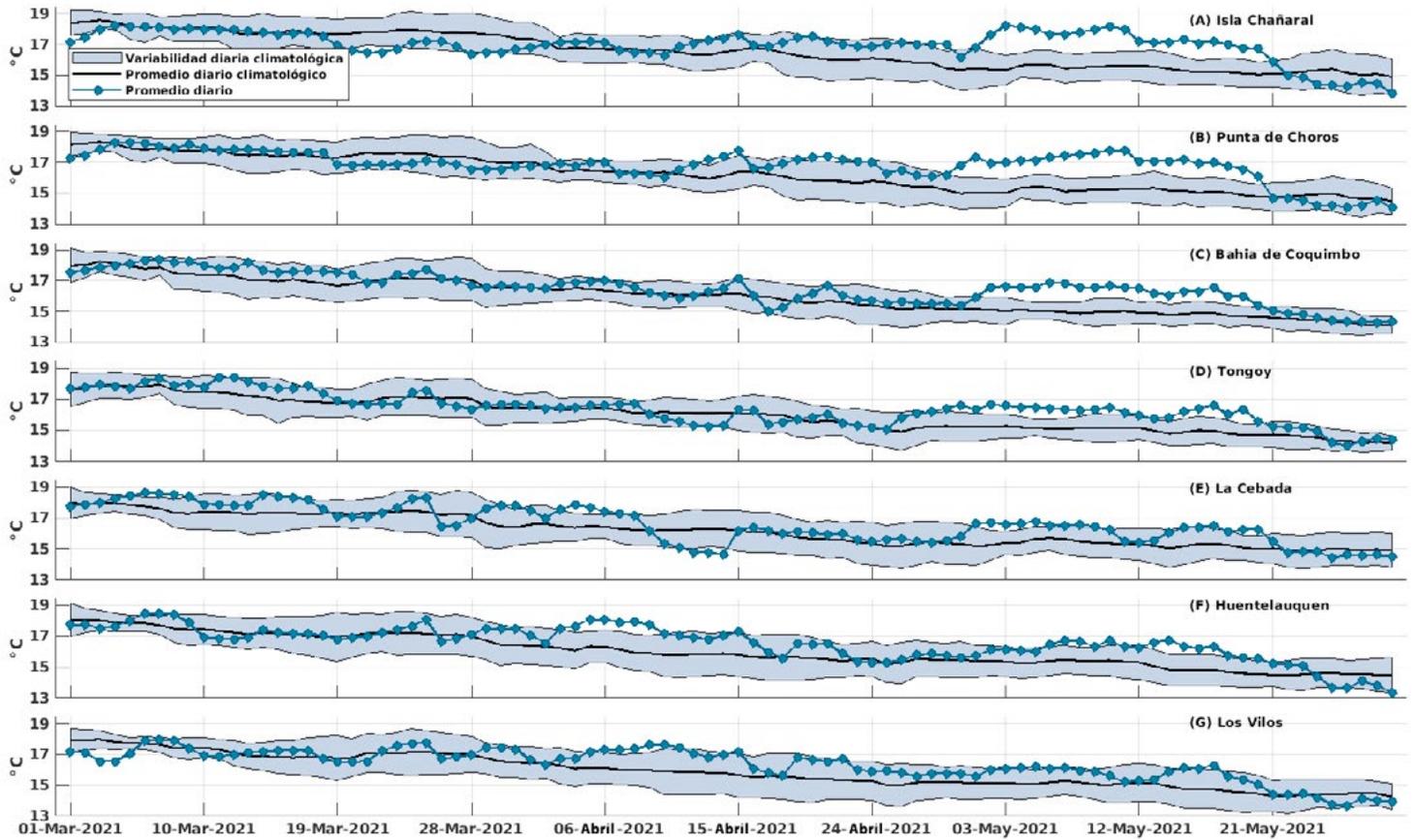


Figura 7. Series diarias de la Temperatura Superficial del Mar (TSM) (°C) para las localidades de Chañaral de Aceituno, Punta de Choros, Bahía de Coquimbo, Bahía de Tongoy, La Cebada, Huentelauquén y Los Vilos desde el 1 de Marzo al 29 de Mayo del 2021 (curva azul punteada). Promedio diario histórico de TSM (curva negra) y desviación estándar (sombreado azul) calculados entre 2008 y 2020.

Las observaciones satelitales de TSM en las localidades costeras de la región de Coquimbo registraron temperatura superficial máxima (18.6°C) y mínima (13.6°C) a inicios de Marzo y fines de Mayo en las localidades de La Cebada y Los Vilos, respectivamente.

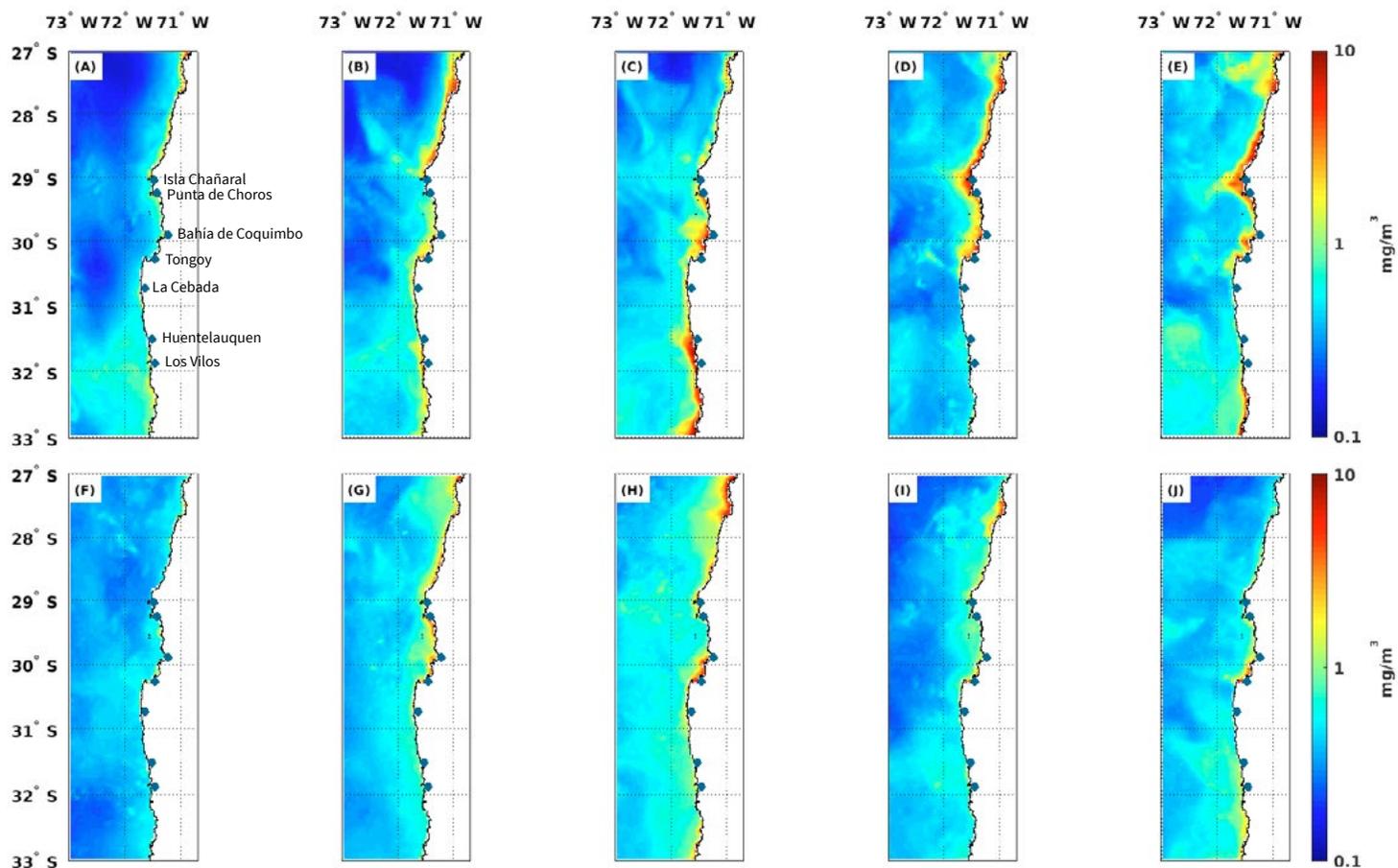
Por otra parte, todas las localidades registraron valores de la temperatura superficial del mar (TSM) por sobre la media histórica (promedio del periodo 2008 - 2020) desde

el 1 al 21 de mayo, registrándose en particular valores sobre el rango de variabilidad climatológica en las localidades del extremo norte de la región desde Tongoy a la Isla Chañaral (Ver Figura 7).

Finalmente, en los últimos días de mayo y como respuesta a la intensificación del viento de surgencia, las temperaturas regresaron a valores cercanos o bajo el promedio climatológico en toda las localidades costeras.



## Clorofila Superficial



**Figura 8.** Concentración de clorofila satelital (superficial) ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) para la región de Coquimbo entre el 1 de marzo al 29 de Mayo del 2021. Cada imagen muestra el promedio de la clorofila superficial para un período de 9 días (A) 1-Mar-2021 a 9-Mar-2021 (B) 10-Mar-2021 a 18-Mar-2021, (C) 19-Mar-2021 a 27-Mar-2021, (D) 28-Mar-2021 a 5-Abr-2021, (E) 6-Abr-2021 a 14-Abr-2021, (F) 15-Abr-2021 a 23-Abr-2021, (G) 24-Abr-2021 a 2-May-2021, (H) 3-May-2021 a 11-May-2021, (I) 12-May-2021 a 20-May-2021, y (J) 21-May-2021 a 29-May-2021. Se muestran con puntos verdes las localidades de Chañaral de Aceituno, Punta de Choros, Bahía de Coquimbo, Bahía de Tongoy, La Cebada, Huentelauquen y Los Vilos.

En el trimestre Marzo-Mayo del 2021, se registró en general bajas concentraciones de clorofila satelital en superficie a lo largo de la costa (ver Figura 8), en acuerdo con la reducción y eficiencia de la actividad de surgencia durante los meses de otoño e invierno. En particular, se observó a lo largo de la costa concentraciones promedio máximas de 3.9 a 2.9  $\text{mg}/\text{m}^3$  desde el 19 de Marzo al 5 de abril (ver Figura 8C, Figura 8D y Figura 8E). En el otro extremo, los periodos del 1 al 9 de Marzo, del 15 al 23 de Abril y del 12 al 20 de Mayo (Figura 8A, Figura 8F y Figura 8I) exhibieron valores mínimos de clorofila superficial en la banda costera (0.3 a 1.4  $\text{mg}/\text{m}^3$ ), coincidentes con periodos de intensidad de viento sur baja o moderada.



**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) ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) 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 Marzo al 29 de Mayo del 2021. Datos diarios de clorofila (curva azul punteada) entre el 1 de Marzo de 2021 y el 31 de Mayo de 2021. Promedio diario histórico de clorofila satelital (línea negra) y desviación estándar (sombreado azul) calculados entre 2008 y 2020.

A nivel de las localidades costeras, la Bahía de Tongoy y la Bahía de Coquimbo registraron las mayores concentraciones promedio del período (Marzo a Mayo de 2021) acumulando  $32$  y  $36 \text{ mg}/\text{m}^3$ , respectivamente (ver Figura 9). Por otra parte, las localidades de La Cebada y Huentelauquén exhibieron concentraciones mínimas, con una acumulación trimestral de  $12$  y  $13 \text{ mg}/\text{m}^3$ , respectivamente.

Adicionalmente, destacamos el reducido impacto en las concentraciones de clorofila durante el periodo de mayor duración e intensidad de viento favorable a la surgencia a finales del mes de Mayo en la mayoría de las localidades

costeras, a excepción de las bahías de Coquimbo y Tongoy que exhibieron máximos de  $4.17$  y  $16.54 \text{ mg}/\text{m}^3$  en dicho periodo, respectivamente. Lo anterior se puede atribuir a la dilución de la biomasa de fitoplancton dentro de la capa de mezcla oceánica que se está profundizando por los vientos fuertes y la reducción del aporte energético solar. Dichos factores limitan en consecuencia la respuesta biológica a los pulsos de viento sur por afloramiento u aporte de nutrientes minimizando la eficiencia de la surgencia costera para promover la proliferación del fitoplancton en la superficie oceánica.



## 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 del Sistema Tongoy-Punta Lengua de Vaca para el trimestre comprendido entre el 1 de Marzo de 2021 has-

ta el 31 de Mayo de 2021. 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](http://www.ceazamet.cl)).

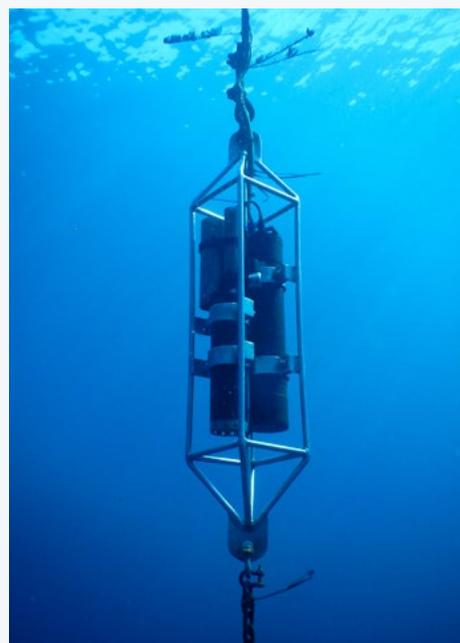


### Variables oceanográficas (sólo Tongoy)

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 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 la 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](http://www.ceazamet.cl)), y próximamente en la plataforma web de CEAZAmar ([www.ceazamar.cl](http://www.ceazamar.cl))





## » Sistema Bahía de Tongoy - Punta Lengua de Vaca



En el trimestre de estudio, se observó un descenso de la temperatura superficial del mar (TSM) en el sistema Bahía de Tongoy-Punta Lengua de Vaca, al igual que en todas las localizaciones costeras (Figura 6 y Figura 7), debido a la disminución de la radiación solar conforme avanza el otoño. Este enfriamiento también se registró en la temperatura del mar a 10m de profundidad obtenida por un instrumento oceanográfico instalado dentro de la Bahía de Tongoy (Figura 11D).

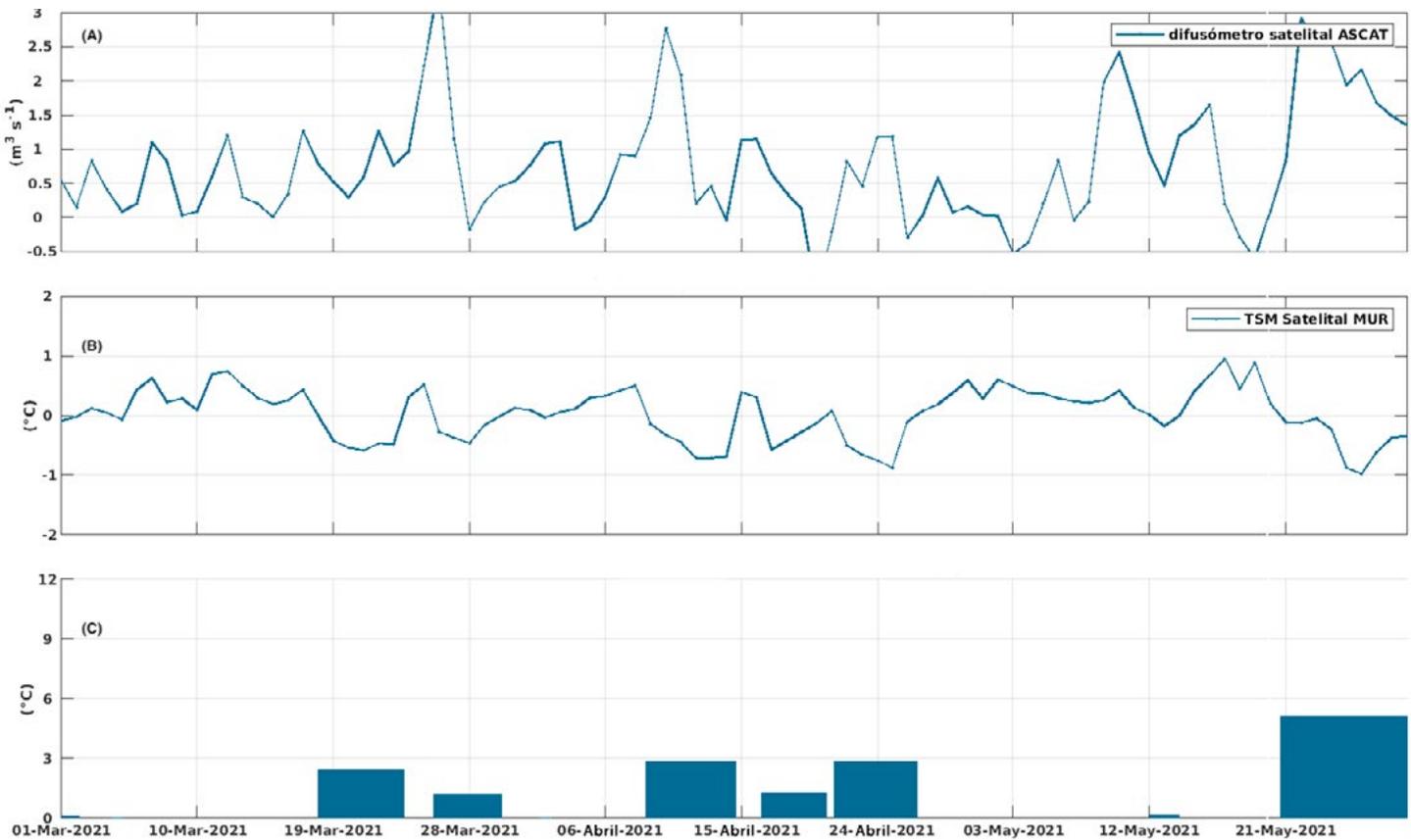
En el presente periodo de estudio (1 de Marzo al 31 de Mayo de 2021), se observaron dos eventos de mayor intensidad de viento favorable a la surgencia (sur-sudoeste). El primer evento de viento sur-sudoeste estuvo comprendido aproximadamente entre el 16 de marzo y el 10 de abril (Figura 4C; Figura 5D; Figura 10A; Figura 11A, Figura 11B y Figura 11C) y generó una disminución de la temperatura del mar (a 0 y 10 metros de profundidad) entre el 17 de marzo al 12 de abril de 2021 (Figura 6, Figura 7D, Figura 10C y Figura 11D), y de la concentración de oxígeno disuelto (y saturación de oxígeno) a 10 metros de profundidad (Figura 11E y Figura 11F) entre el 11 de marzo al 19 de abril de 2021, asociado a un ascenso de aguas profundas hacia

la superficie (ver surgencia en el Glosario). Estas aguas de surgencia cargadas con nutrientes estimularon el aumento de la concentración de clorofila (microalgas o fitoplancton) entre el 28 de marzo y 6 de abril a 0 y 10 metros (Figura 8C y Figura 8D; Figura 9D y Figura 11G), con un desfase temporal entre el forzamiento por viento, la disponibilización de nutrientes en la zona fótica y el crecimiento del fitoplancton.

El segundo periodo de viento intenso favorable a la surgencia comenzó entre el 20-21 de Mayo de 2021 hasta el final del trimestre de estudio (Figura 4J; Figura 5D; Figura 10A; Figura 11A, Figura 11B y Figura 11C). Este evento generó una disminución de la temperatura superficial del mar (TSM) (Figura 6J; Figura 7D; Figura 10C) a lo largo de la costa de la Región de Coquimbo y en el sistema Bahía de Tongoy-Punta Lengua de Vaca. La clorofila a 0 y 10 metros presentó un aumento importante en su concentración al final del periodo (Figura 8; Figura 9D), con valores máximos y fuera del rango de variabilidad histórica registrados a 10m de profundidad dentro de la Bahía de Tongoy (Figura 11G).



## Índice de Surgencia (Bahía de Tongoy)



**Figura 10.** 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) ( $^{\circ}\text{C}$ ); (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 periodos de surgencia en la Bahía de Tongoy estimado a partir del forzamiento del viento (ver Figura 10A) nos indica que los volúmenes máximos de transporte de surgencia se produjeron entre el 19 al 27 de Marzo, el 6 al 14 de Abril y el 21 al 29 de Mayo totalizando 9.37, 7.25 y 16.68  $\text{m}^3/\text{s}$ . En relación a los volúmenes mínimos de surgencia se registraron entre el 28 de Marzo al 5 de Abril, el 15 al 23 de Abril, y el 24 de Abril al 2 de Mayo con 2.21, 2.33 y 1.60  $\text{m}^3/\text{s}$ . Note que las mediciones de viento in-situ CEAZAMet (Figura 11A y Figura 11C) muestran extremos de viento coincidentes a lo observado satelitalmente (Figura 10A).

En base al segundo índice de surgencia basado en las anomalías sinópticas de temperatura, se identifican 4 eventos destacables de anomalías negativas de TSM con una duración de 7, 7, 6 y 15 días de duración asociados a un enfriamiento integrado de 2.43, 2.87, 2.86 y 5.14 $^{\circ}\text{C}$  en los meses de Marzo, Abril y Mayo-Junio, respectivamente (Figura 10B y Figura 10C).

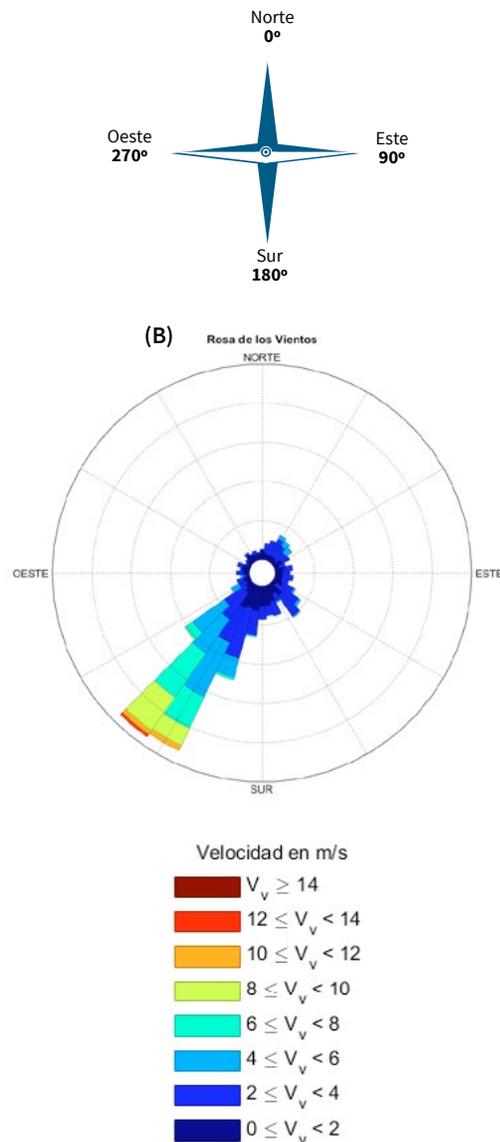
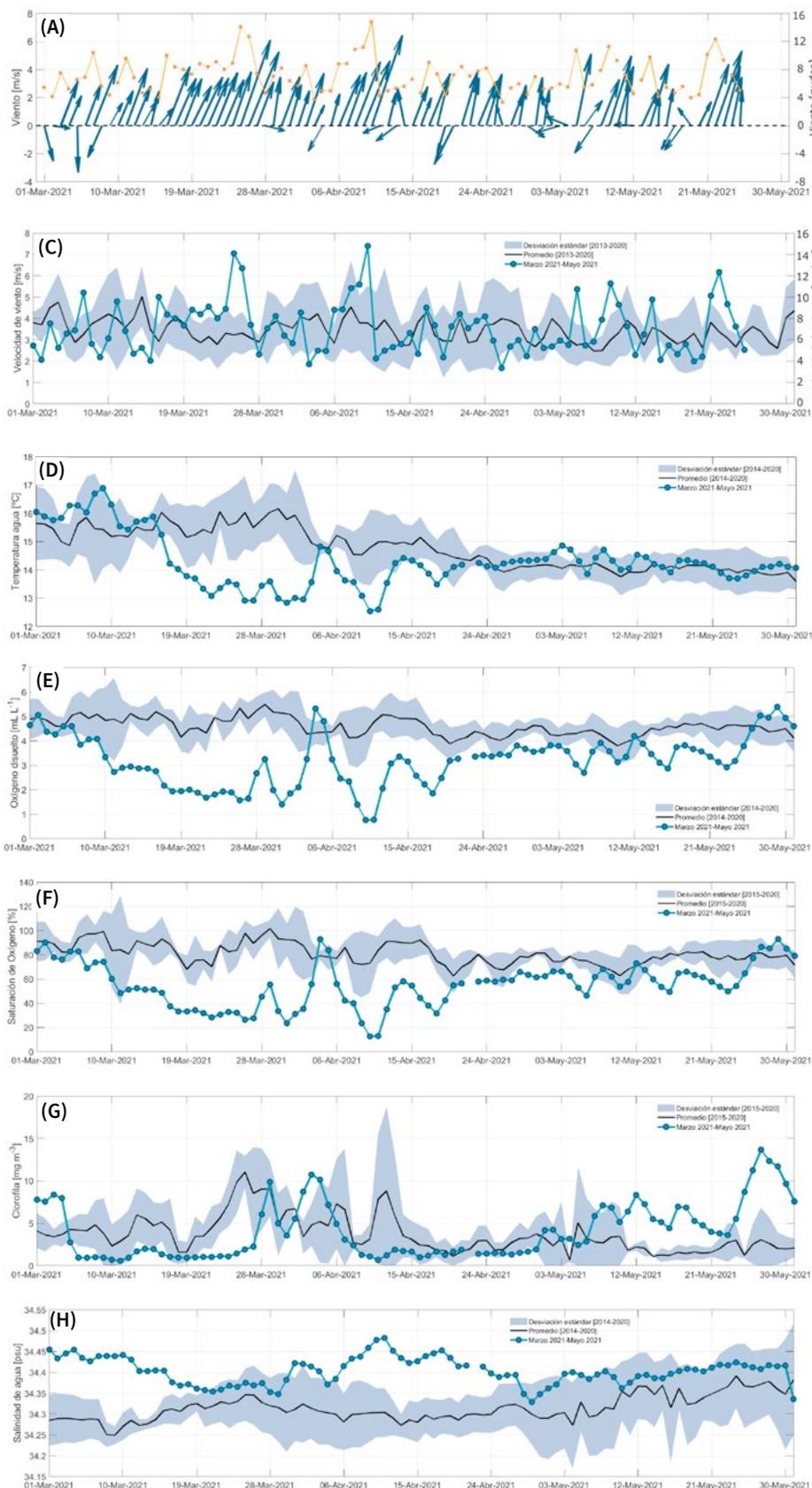


**SURGENCIA:** La surgencia, o afloramiento de aguas profundas, es un proceso oceanográfico resultante de la interacción entre el viento, la superficie del mar y la rotación de la Tierra, cuyo resultado es el movimiento y reemplazo de las aguas superficiales del océano por agua más profunda. El viento 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 las 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  $\text{CO}_2$  (elevada acidez) y bajas concentraciones de oxígeno disuelto lo que genera eventos locales de acidificación y desoxigenación del océano, respectivamente.





## Condiciones Atmosféricas y Oceanográficas



**Figura 11.** (A) Promedio del vector y magnitud del viento diario (en m/s y nudos) (B) Rosa de los vientos con datos horarios y (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 Marzo de 2021 y el 25 de Mayo de 2021. Promedio trimestral de velocidad de viento (línea negra) y desviación estándar (sombreado azul) calculados entre 2013 y 2020. (D) Temperatura del agua (°C), (E) Oxígeno disuelto (mL/L), (F) Saturación de oxígeno (%), (G) Clorofila (mg/m<sup>3</sup>) 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 Marzo de 2021 y el 31 de Mayo de 2021. 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.



Las observaciones de viento disponibles para la estación localizada en Punta Lengua de Vaca del CEAZAMet (*Figura 11A*, *Figura 11B* y *Figura 11C*) en el periodo de estudio (1 de Marzo de 2021 al 25 de Mayo de 2021) presentaron, en general, promedios diarios dentro de los rangos de variabilidad medidos entre los años 2013 y 2020 (*Figura 11C* - área sombreada en azul claro). Sin embargo, los promedios diarios mínimos y máximo se encuentran fuera del rango de la variabilidad histórica con valores de 1.7 m/s (3.3 nudos) y 7.4 m/s (14.4 nudos) alcanzados el 26 de Abril de 2021 y el 10 de Abril de 2021, respectivamente (*Figura 11A* y *Figura 11C*). En cuanto a la dirección del viento, la estación de Punta Lengua de Vaca registró vientos predominantes del Suroeste (SO) y del Sur (S) durante 50 y 16 días, respectivamente, y escasos días de viento proveniente del Noreste (8 días), Este (4 días), Oeste (3 días), Sudeste (3 días), Noroeste (1 día), y Norte (1 día) (*Figura 11A* y *Figura 11B*).



**O<sub>2</sub> OXÍGENO DISUELTTO:** 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.

Dentro de la Bahía de Tongoy, se obtuvieron datos de temperatura del agua (*Figura 11D*), oxígeno disuelto (*Figura 11E*), saturación de oxígeno (*Figura 11F*), clorofila (*Figura 11G*) y salinidad (*Figura 11H*) medidos por un instrumento oceanográfico instalado a 10 m de profundidad (*ver Variables oceanográficas (sólo Tongoy)*).

Durante el trimestre de estudio, se observaron dos periodos con vientos persistentes del Sur-Sudoeste (S - SO). El primer periodo, comprendido entre el 16 de Marzo y el 10 de Abril de 2021, presentó vientos con magnitudes mayores a 3 m/s (6 nudos) y, asociado a este evento de viento favorable a la surgencia (*ver Glosario*), se observó un descenso en la temperatura del agua (del 17 de Marzo al 12 de Abril de 2021) (*Figura 11D*) y una disminución del oxígeno disuelto y saturación de oxígeno (del 11 de Marzo al 19 de Abril de 2021) (*Figura 11E* y *Figura 11F*). Además, se registró un aumento abrupto de temperatura y de oxígeno disuelto en mitad del evento (4 de Abril de 2021) relacionado con una relajación del viento (*Figura 11A*, *Figura 11C*, *Figura 11D*, *Figura 11E* y *Figura 11F*).

El máximo de viento Sudoeste (SO) (*Figura 11A* y *Figura 11C*) fue registrado el 10 de Abril, y estuvo asociado a valores mínimos de temperatura del mar (12.5 °C) (*Figura 11D*), oxígeno disuelto (0.8 mL/L) (*Figura 11E*), saturación de oxígeno (12.6%) (*Figura 11F*) y valores máximos de salinidad (34.5 psu) (*Figura 11H*).

En cuanto a los niveles de clorofila, entre el 6 y 27 de Marzo se registraron valores muy bajos (0.5 a 2.3 mg/m<sup>3</sup>), con un mínimo de 0.6 mg/m<sup>3</sup> el día 11 de Marzo. En respuesta al forzamiento del viento del Sur-Sudoeste, se observó un aumento de la concentración de clorofila, con valores por encima de 5 mg/m<sup>3</sup> entre el 28 de Marzo y el 6 de Abril (*Figura 11G*).

Posterior a este primer evento de viento favorable a la surgencia, la temperatura del mar a 10 metros de profundidad presenta valores dentro del rango histórico calculado para el mismo periodo entre 2014 y 2020 (*Figura 11D*), con un valor promedio de 14.3°C entre el 24 de Abril hasta el 31 de Mayo de 2021. Para este mismo periodo, el oxígeno disuelto (y la saturación de oxígeno) mantuvo valores promedios menores al rango de variabilidad histórica (3.6 mL/L y 62.9%, respectivamente) (*Figura 11E* y *Figura 11F*). La clorofila mantuvo valores bajos y cercanos a las observaciones históricas, con un promedio de 1.6 mg/m<sup>3</sup> entre el 7 y 30 de Abril (*Figura 11G*).

A final del trimestre de estudio, se registró un segundo evento de viento Sur-Suroeste, que comenzó el 21 de Mayo (*Figura 11A* y *Figura 11C*). Dicho evento generó un aumento en la concentración de clorofila, que presentó valores por encima de su rango de variabilidad histórica, con un máximo de 13.7 mg/m<sup>3</sup> registrado el 27 de mayo (*Figura 11G*).



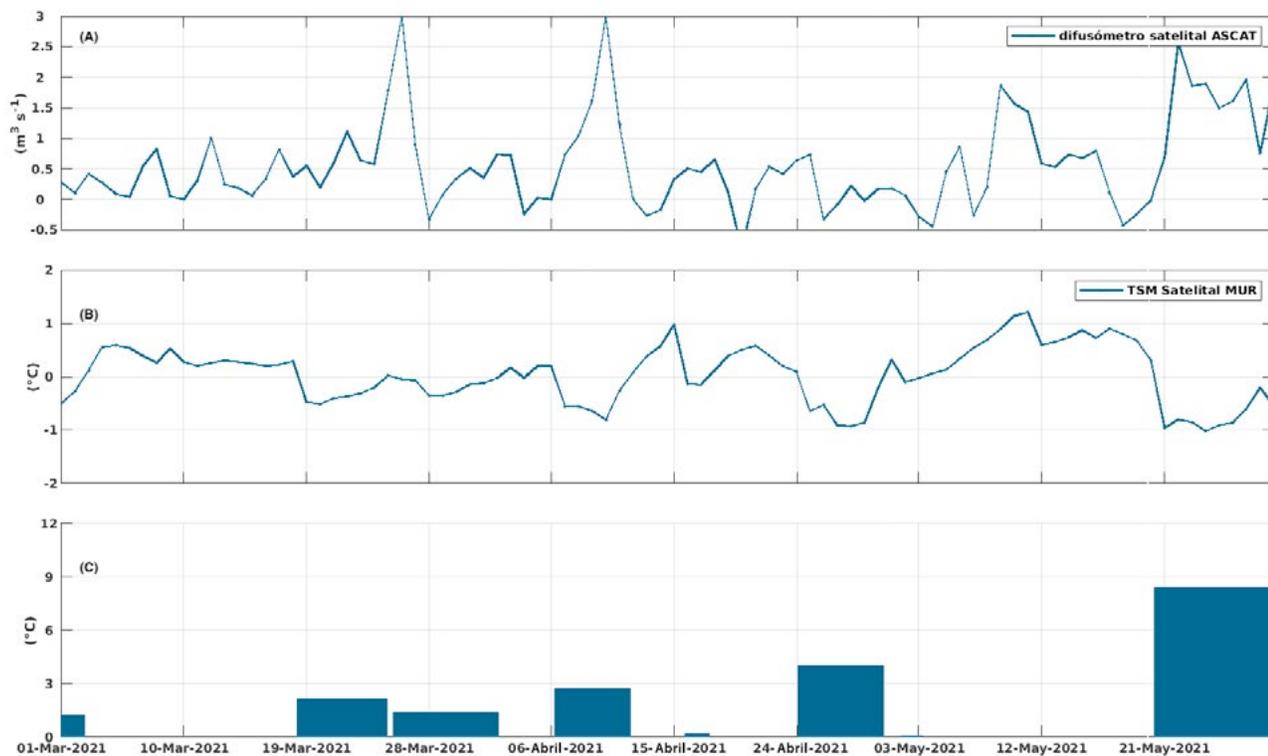
## » Punta de Choros

En el caso de Punta de Choros, el periodo comprendido entre el 1 de Marzo y el 31 de Mayo de 2021 presentó un patrón de viento favorable a la surgencia durante un 80% del periodo, con magnitudes de viento cercanas al promedio y variabilidad calculadas para el mismo trimestre entre 2016 y 2020 (Figura 13A, Figura 13B y Figura 13C). Se destacan 2 máximos que ocurrieron entre el 25-26 de Marzo y el 10 de Abril de 2021, en

sincronía con el régimen de vientos registrados en el sistema Bahía de Tongoy-Punta Lengua de Vaca, pero de menor magnitud en Punta de Choros.

Los índices de surgencia muestran 3 eventos de surgencia (Figura 12A) y 4 periodos de enfriamiento de la TSM (Figura 12C) en sincronía con los índices calculados en el sistema Bahía de Tongoy-Punta Lengua de Vaca.

### Índice de Surgencia



**Figura 12.** 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) ( $^{\circ}\text{C}$ ), (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.

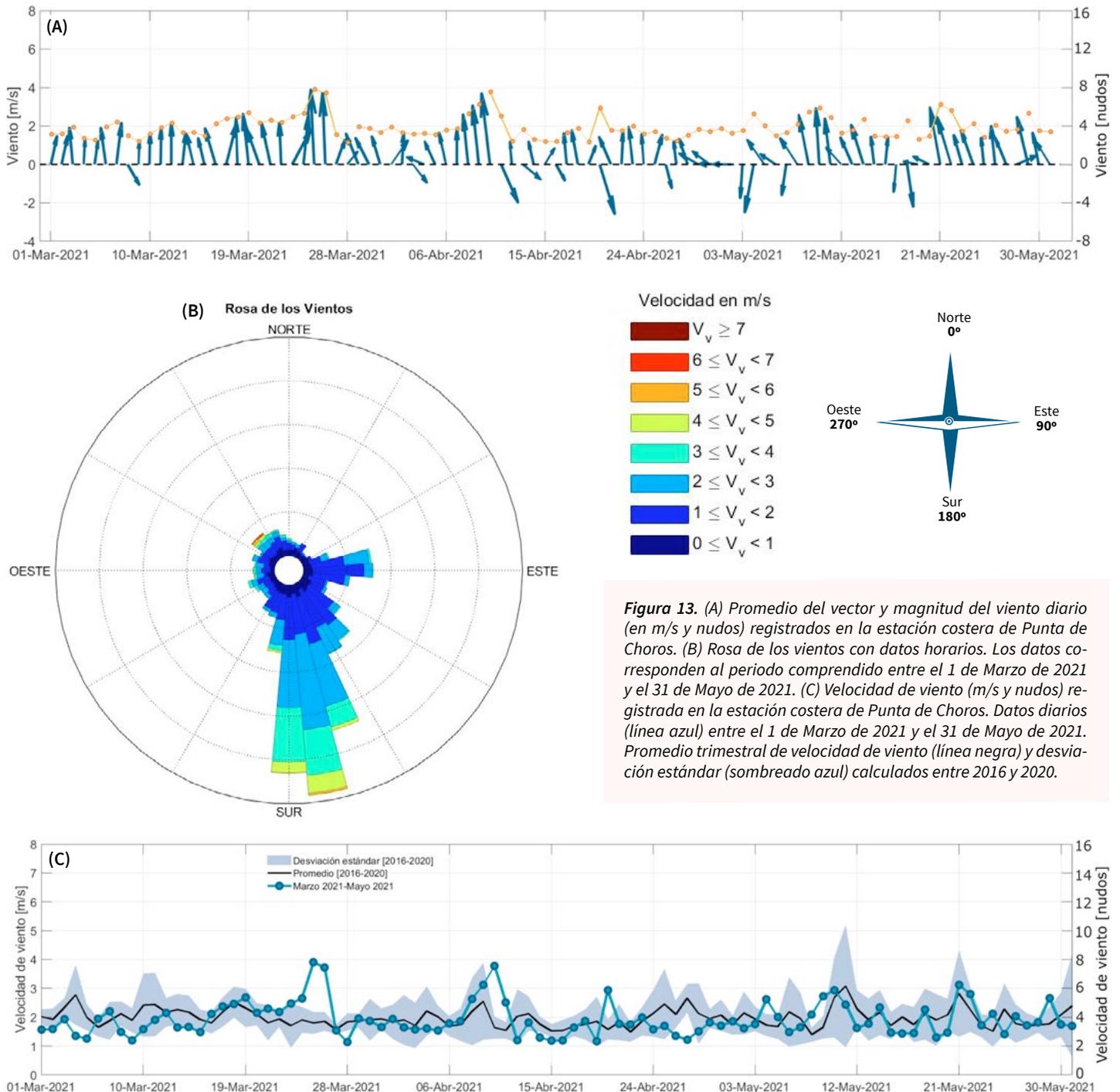
El análisis de los eventos de surgencia en Punta de Choros, estimado a partir del forzamiento del viento sobre la superficie oceánica (ver Figura 12A) nos indica la ocurrencia de 3 eventos intensos de surgencia con valores de 1.22, 9.06, y 17.51  $\text{m}^3/\text{s}$  en periodos coincidentes a lo observado en Tongoy (19 al 27 de Marzo, 6 al 14 de Abril y 21 al 29 de Mayo, respectivamente). El impacto de estos eventos de surgencia sobre las concentraciones de biomasa fitoplanctónica (clorofila superficial) fue capturado por las mediciones satelitales que registraron aumentos en las

concentraciones en sincronía con la intensificación del viento sur favorable a la surgencia (ver Figura 9B).

En cuanto al segundo índice de surgencia, estimado a partir de las anomalías sinópticas de temperatura, se identifican 4 periodos destacables de anomalías negativas de TSM, en simultáneo con los periodos de intensificación del viento sur, con una duración de 7, 7, 9 y 16 días asociados a un enfriamiento integrado de 2.18, 2.73, 4.0 y 8.43  $^{\circ}\text{C}$  por evento en los meses de Marzo, Abril y Mayo-Junio, respectivamente (Figura 12B y Figura 12C).



## Condiciones Atmosféricas



**Figura 13.** (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 Marzo de 2021 y el 31 de Mayo 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 Marzo de 2021 y el 31 de Mayo de 2021. Promedio trimestral de velocidad de viento (línea negra) y desviación estándar (sombreado azul) calculados entre 2016 y 2020.

Durante el trimestre en análisis (Marzo a Mayo de 2021), las mediciones de viento de la estación CEAZAMET de Punta de Choros, registraron en general, valores cercanos al rango observado en igual periodo entre 2016 al 2020 (Figura 13C). No obstante, los promedios diarios máximo y mínimo se encuentran fuera del rango de la variabilidad histórica con valores de 3.9 m/s (7.6 nudos) y 1.1 m/s (2.1 nudos) alcanzados entre el 25 al 26 de Marzo y el 28 de Marzo de 2021,

respectivamente (Figura 13C).

En cuanto a la orientación del viento en Punta de Choros, se midieron vientos predominantes del Sur por un total de 43 días y de dirección Sureste por un total de 21 días, intercalado con eventos esporádicos de viento proveniente del resto de direcciones (Figura 13A y Figura 13B).



## » INVESTIGACIÓN CEAZAmar



## Cambios recientes en la ocurrencia de los “surazos” frente a la costa de Chile



Los ciclos de los vientos que provienen del Sur y Sur-Oeste a lo largo de la costa centro-norte generan los procesos de surgencia que son muy importantes para la productividad de los ecosistemas costeros de la Región de Coquimbo. Debido a los cambios que estamos experimentando por el calentamiento global, es necesario poder anticipar el comportamiento de la frecuencia e intensidad de estos vientos, lo que nos podría ayudar a determinar los potenciales efectos sobre las actividades acuícolas y pesqueras.

Este reciente estudio muestra que la frecuencia y duración de estos surazos (vientos fuertes que provienen del sur y que favorecen la presencia de la surgencia) con velocidades superiores a los 10 m/s (20 nudos) han aumentado durante el invierno entre los 23°S (Región de Antofagasta) y los 45°S (Región de Los Lagos). Al mismo tiempo, estos mismos vientos surazos se han visto disminuidos durante el verano entre los 29°S (Región de Coquimbo) y 34°S (Región de O'Higgins). Estos cambios observados en los surazos se han relacionado con cambios en las presiones atmosféricas y en la frecuencia de los centros de alta presión fría que cruzan el continente hacia Argentina por la zona austral de Chile.



**Palabras claves:** surazos, surgencia, corriente de Humboldt, anticiclón



<https://doi.org/10.3390/atmos12040465>

### Referencias:

Aguirre Catalina, Valentina Flores-Aqueveque, Pablo Vilches, Alicia Vásquez, José A. Rutllant & René Garreaud (2021). Recent changes in the low-level jet along the subtropical west coast of South America. *Atmosphere*, 12, 465.

## El extinto tiburón sierra de Bahía Inglesa



Una especie extinta de tiburón sierra (*Pliotrema sp*) ha sido encontrada para la zona de Bahía Inglesa. Esta especie, habría vivido hace aproximadamente entre los 15 y los 4 millones de años antes del presente. Lo más interesante, es que hoy en día, formas similares de este tiburón sierra solo habían sido encontradas en el sur de África, registrando por primera vez esta especie animal para América del Sur.

Al día de hoy se cree que la extinción de esta especie podría haber sido debido a una disminución brusca de la temperatura e incremento en la salinidad.



**Palabras claves:** fósiles, tiburón, extinción, Chile, Bahía Inglesa



<https://doi.org/10.5710/AMGH.01.03.2021.3389>

### Referencias:

Guicharrouse-Vargas, Maurice., Villafaña, Jaime Andres., Carrillo-Briceño, Jorge., Oyanadel-Urbina, Pablo., Figueroa, Romina, Pérez-Marín, José, Rivadeneira, Marcelo y Kriwet, Jürgen, 2021. The First Fossil Record of the Sawshark *Pliotrema* (Pristiophoridae) from the Neogene of the Southeastern Pacific (Chile). *Ameghiniana*, 58(2), pp.122-131.



## Revelando la migración de ballenas jorobadas mediante su genética



La migración de las ballenas jorobadas es la más extensa de cualquier especie de mamífero del mundo superando los 8,000 kilómetros.

Desde Chile, las ballenas jorobadas llegan a aguas de Colombia y Ecuador durante el invierno para reproducirse, parir y criar a sus ballenatos. Durante el verano, las ballenas jorobadas migran hacia aguas Antárticas durante para alimentarse.

Este reciente estudio permitió evaluar el grado de conectividad entre las áreas reproductivas de Colombia y Ecuador, con la de alimentación de la Península Antártica, confirmando el vínculo y la ruta migratoria de las ballenas entre Colombia, Ecuador y Chile.



**Palabras claves:** ballenas, migración, antártica



<http://boletin.invemmar.org.co:8085/ojs/index.php/boletin/article/view/933>

### Referencias:

Caballero S, Steel D, Pallin L, Botero-Acosta N, Felix F, Olavarría C, Diazgranados MC, Bessudo S, Friedlander A, Baker CS. 2021. Migratory connections among breeding grounds off the Eastern Pacific and feeding areas in the Antarctic Peninsula based on genotype matching. *Bulletin of Marine and Coastal Research* 50 (Supl. Esp.), 31-40. DOI:

## Poblaciones de ballena fin se separan por cuencas oceánicas



Las ballenas fin fueron fuertemente cazadas en el pasado, especialmente en el hemisferio sur, incluyendo aguas chilenas. En la actualidad esta especie ha mostrado signos de recuperación poblacional, registrándose regularmente en varios lugares, tales como alrededor del Archipiélago de Humboldt, donde su presencia ha generado un auge en las actividades de turismo que realizan las mismas comunidades de pescadores.

En este estudio genético se evaluó la relación entre las poblaciones a nivel de cuencas oceánicas (Pacífico Norte, Atlántico Norte y Hemisferio Sur). Los resultados del estudio detectaron que estas poblaciones están aisladas, pero que en el pasado sí existieron eventos migratorios.

Este estudio además permitió confirmar que en el Hemisferio Sur existe solo una subespecie de ballena fin, a pesar que se habían propuesto dos en las últimas décadas.



**Palabras claves:** ballenas, Humboldt, caza, turismo



<https://doi.org/10.3389/fmars.2021.630233>

### Referencias:

Pérez-Álvarez MJ, Kraft S, Segovia N, Olavarría C, Nigenda-Morales S, Urbán J, Vilorio-Gómora L, Archer F, Moraga R, Sepúlveda M, Santos-Carvallo M, Pavez G, Poulin E. 2021. Contrasting phylogeographic patterns among Northern and Southern Hemisphere fin whale populations with new data from the Southern Pacific. *Frontiers in Marine Science*, 8: 630233.



## Los pingüinos, grandes recicladores de metales trazas en la Antártica



Los pingüinos son considerados importantes bioindicadores de la salud de los ecosistemas antárticos, pero también juegan un importante rol en procesos como el reciclaje de los metales traza.

Este mecanismo de reciclaje de metales traza ha sido demostrado en organismos antárticos como krill y ballenas, sin embargo, hasta la fecha muy pocos estudios abordan el mecanismo de reciclaje en los pingüinos, cuya fuente principal de alimento es el krill.

En este reciente estudio, a través de una revisión bibliográfica y análisis de muestras de guano, se evaluó la distribución de metales trazas como el hierro, cobre, manganeso, cadmio, níquel, plomo y muchos más en tejidos y guano de los pingüinos Chinstrap (*Pygoscelis antarcticus*), Adélie (*Pygoscelis adeliae*) y Gentoo (*Pygoscelis papua*).

Los resultados sugieren que los productos de excreción de los pingüinos son enriquecidos de metales traza esenciales. Se ha podido estimar que, durante una temporada de crianza, los pingüinos pueden liberar entre las 4 y 56 toneladas de metales como hierro, cobre, zinc y manganeso, representando una importante fuente de metales trazas en el Océano Austral.



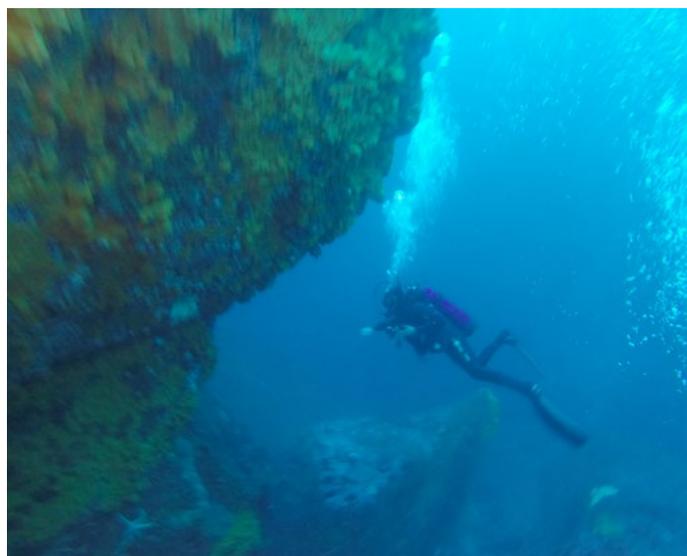
**Palabras claves:** pingüinos, antártica, guano, metales



<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653521018956>

### Referencias:

Erica Sparaventi, Araceli Rodríguez-Romero, Andrés Barbosa, Laura Ramajo, Antonio Tovar-Sánchez (2021). Trace elements in Antarctic penguins and the potential role of guano as source of recycled metals in the Southern Ocean. *Chemosphere*, 131423





## » NOTICIAS CEAZAMar



### » Fuertes marejadas durante el mes de junio en la costa de la Región de Coquimbo

Fuertes marejadas afectaron gran parte del litoral chileno durante la semana del 7 de junio de 2021. En la Región de Coquimbo se registraron alturas de olas de hasta 2 m cerca de la costa, siendo Pichidanguí una de las localidades más afectadas. Como se puede observar en las fotografías, los ecosistemas de playas de La Serena y Coquimbo modificaron su perfil y se erosionaron debido a la energía de la marejada.

*Fotografía: Diamela De Veer*



### » Potencian el monitoreo ambiental en sector de gran productividad de la costa de la Región de Coquimbo

El 8 de junio, el equipo de CEAZAMet, compuesto por Cristian Orrego, coordinador de ese laboratorio meteorológico, José Luis Castro y Sebastián Alfaro, técnicos de la misma área, junto al investigador CEAZAMar, Dr. Orlando Astudillo, llevaron a cabo la renovación de la Estación Meteorológica Automática (EMA) instalada en el sector de Punta Lengua de Vaca, próximo a la localidad de Puerto Aldea.

Dicha renovación incluyó la incorporación de un nuevo anemómetro de viento sónico especializado en medir la dirección y magnitud del viento en regiones costeras. El trabajo se realizó gracias al financiamiento del proyecto FONDECYT Regular 1171861 “Respuesta de los vientos favorables al afloramiento en el sistema de Humboldt al cambio climático: de la escala regional a la escala global” liderado por la Dra. Katerina Goubanova, investigadora y climatóloga de CEAZA.

Adicionalmente, el Dr. Astudillo instaló en paralelo un nuevo prototipo de EMA, optimizado para el estudio de las interacciones océano-atmósfera en el borde costero, lo cual fue financiado por el proyecto FONDECYT de Iniciación 11190999 “Acoplamiento océano-atmósfera-litoral en Chile central: la respuesta no lineal de la dinámica de surgencia a los patrones de viento en la región costera” que lidera el mismo investigador. El sector de Punta Lengua de Vaca es un punto histórico de monitoreo y se caracteriza por exhibir permanentes máximos regionales de viento en superficie, que lo convierten en el principal foco de surgencia regional; cualidad clave para el mantenimiento de la productividad biológica natural del ecosistema marino en la región de Coquimbo.

*Fotografía: Cristian Orrego*



## » CEAZAMar sigue aportando para mejorar e incrementar la observación del océano chileno



Tres boyas ARGO fueron desplegadas frente a las costas de las regiones de Coquimbo y Atacama para monitorear parámetros oceánicos y ambientales que ayudarán a comprender el papel de los océanos en el clima actual y futuro.

La iniciativa que cuenta con la participación de CEAZA y CEAZAMar, es impulsada por el proyecto Circulación del Pacífico Sudoriental de Boyas Argo (South Eastern Pacific Circulation from Argo Floats – **SEPICAF**).

Puedes ver **VIDEO** de cómo fueron desplegadas.

Si quieres saber más sobre ‘¿Qué son las boyas perfiladoras ARGO y para qué sirven?’, puedes verlo en la sección INFOGRAFÍAS del Boletín CEAZAMar (ver página 33).

## » CEAZAMar recoge inquietudes de los sectores públicos y productivos



Durante el último trimestre, investigadores de CEAZA se reunieron con integrantes del CONSEJO REGIONAL DE COQUIMBO, representantes de servicios públicos y del sector productivo acuícola-pesquero, artesanal e industrial de la Región de Coquimbo.

Todas las reuniones tuvieron como objetivo levantar requerimientos científico/técnicos de dichos sectores y dar a conocer la conformación del grupo de investigación CEAZAMar.

De esta forma, se espera proyectar el monitoreo de las condiciones del sistema océano-atmósfera como fuente de información local, para co-crear y generar herramientas para el apoyo a la toma de decisiones en el borde costero y la adaptación al cambio climático de la Región.

Estas reuniones estuvieron enmarcadas en el contexto del reciente proyecto adjudicado por CEAZA, “Programa de Investigación en Acción Climática” (CLAP), y los proyectos internacionales **SEPICAF** y **CE2COAST**.



## CHARLAS, WEBINARS Y SEMINARIOS CEAZAMar

Durante el último trimestre numerosos eventos se han desarrollado donde investigadores CEAZAMar han presentado los avances de sus investigaciones, y han participado de seminarios y webinars con la comunidad.

### » Investigador CEAZAMar invitado a Programa Mundial de Investigación del Clima

En el mes de Junio, el Dr. Boris Dewitte participó en el programa WCRP (Programa Mundial de Investigación del Clima) en la sesión titulada “My Climate Risk” (Mi riesgo climático) de la primera conferencia “**Sustainability Research & Innovation Congress**”, organizada por **Future Earth** y el **Belmont Forum**.

La sesión presentó y discutió formas de interacción entre ciencia climática y sociedad, de una manera participativa.

Esta discusión es parte de una encuesta a nivel internacional impulsada por el World Climate Research Programme (WCRP, por sus siglas en inglés) sobre la necesidad de transformar la manera de trabajar de los investigadores del clima, impulsar una dinámica más transdisciplinaria en su pensamiento y mitigar los sustanciales desequilibrios de poder entre el Norte Global y el Sur Global. Más información pinche **AQUÍ**.

### » Charla de Investigador CEAZAMar aporta a la formación de capital humano avanzado en el ámbito oceanográfico internacional

En el mes de Mayo, el Dr. Víctor Aguilera, presentó una charla en la serie **EBUS Webinars**. Esta es una instancia de conversación on-line, basada en investigación oceanográfica conducida en sistemas de surgencia de borde oriental (EBUS), dirigida principalmente a investigadores y estudiantes. En dicho contexto, se presentaron datos y

resultados de estudios de la química marina de los carbonatos llevados a cabo en distintas zonas del Océano Pacífico, incluyendo la costa norte de Chile, y su relación con la variabilidad de El Niño Oscilación del Sur (ENOS). El webinar (en inglés) se puede ver **AQUÍ**.

### » Científica CEAZAMar participa en II Conferencia Regional de Panel Intergubernamental de Cambio Climático

Durante el mes de Mayo, la investigadora CEAZAMar Laura Ramajo participó junto a Sylvia Earle de **Mission Blue**, **Philip Hamilton** (fotógrafo y documentalista) y Walde-mar Coutts (Ministerio de Relaciones Exteriores de Chile) en la Segunda Conferencia Regional de Cambio Climático del **Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC)** para conversar sobre cambio climático y conservación de ecosistemas marinos.

El evento online organizado por **Fundación MERI** durante mayo, reunió a numerosos expertos nacionales e internacionales en diferentes paneles que abordaron temas como el desarrollo sustentable, pobreza, mitigación y adaptación al cambio climático, desertificación, seguridad alimentaria, manejo de riesgos y desastres, impactos del cambio climático en los océanos, entre otros. Este evento se puede ver **AQUÍ**.



## » Abordan eventos extremos y la vida en el mar de la Región de Coquimbo de hace millones de años en café científico CEAZA

Durante los meses de mayo y junio, dos cafés científicos organizados por CEAZA se desarrollaron vía online en el contexto del proyecto CLAP (Programa Científico en Acción Climática, CLAP) y el **Núcleo Milenio UPWELL**.

El café científico desarrollado por el Dr. Boris Dewitte se focalizó en el estado de conocimiento de eventos extremos oceanográficos en la región y su relación con el calentamiento global. En relación a este último fenómeno, manifestó la necesidad de mejorar la comprensión de sus múltiples facetas asociadas a la relación estrecha entre calentamiento de la temperatura superficial del mar, la pérdida de oxígeno y acidificación del océano. También presen-

tó resultados de los últimos estudios sobre el aumento de la frecuencia y amplitud de los eventos El Niño del Pacífico Este.

Por otro lado, el Dr. Marcelo Rivadeneira presentó en su charla una visión de cómo habría sido la vida en el ecosistema marino del norte de Chile hace millones de años, durante el período Neógeno (entre los 23 a los 2,6 millones de años atrás). En la oportunidad el científico CEAZAMar destacó el potencial paleontológico de la costa de Coquimbo y Atacama, y la utilidad de los fósiles para reconstruir las condiciones paleoambientales. Este último café científico se puede ver **AQUÍ**.

## » Investigadores CEAZA lideran un monitoreo del nivel de agua en el humedal El Culebrón, Coquimbo



En abril de 2021 se dio inicio al monitoreo del nivel de agua en el humedal urbano El Culebrón, localizado en la comuna de Coquimbo. Los investigadores Jaime Cuevas y Etienne Bresciani, en conjunto con Paloma Núñez instalaron un sensor de nivel del agua y una regla en el humedal, además de un sensor de presión atmosférica con la colaboración de vecinos del barrio de Baquedano.

Este monitoreo se prolongará en el tiempo con el fin de conocer la variabilidad y tendencias estacionales y anuales del nivel de agua del humedal El Culebrón, un ecosistema de alto valor socio-ecológico impactado por diversas amenazas de origen antrópico. Los datos obtenidos con este monitoreo permitirán además observar la variación del nivel del agua en el humedal ante la ocurrencia de eventos extremos como marejadas o tsunamis.

Esta actividad es una iniciativa de investigación y ciencia ciudadana que se viene gestando en base a las observaciones de las personas sobre los cambios del nivel de agua del humedal en los últimos años. Igualmente, es una base de datos de interés para las organizaciones vinculadas a la protección de la playa y el humedal, como la Alianza por la Biodiversidad.

*Fotografías: Paloma Núñez, Jaime Cuevas y Etienne Bresciani*



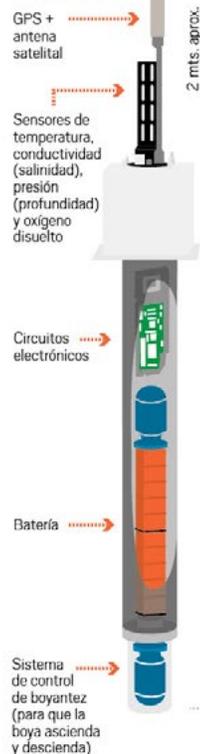
# » INFOGRAFÍA



## » ¿QUÉ SON LAS BOYAS PERFILADORAS ARGO Y PARA QUÉ SIRVEN?



### » PARTES DE UNA BOYA



ARGO es un programa internacional que utiliza boyas perfiladoras para medir variables como la temperatura, salinidad y oxígeno disuelto entre 0 y 2000 m (o 6000 m) de profundidad.

Este programa se inició hace aproximadamente 20 años y en la actualidad se contabiliza un número de 3907 boyas ARGO en funcionamiento repartidas por todos los océanos. Los datos son transmitidos en tiempo real a centros de oceanografía operacional para ser usados en sistemas de previsión.

Los datos obtenidos con estas boyas ARGO complementan el sistema de observación satelital, permiten mejorar los pronósticos estacionales y climáticos y aportan en el estudio de la circulación oceánica bajo el actual escenario de cambio climático. Los datos colectados frente a la Región de Coquimbo permiten estudiar el rol de la circulación sobre la variabilidad de la zona mínima de oxígeno y validar modelos oceanográficos desarrollados para estudiar la sensibilidad del ecosistema marino.

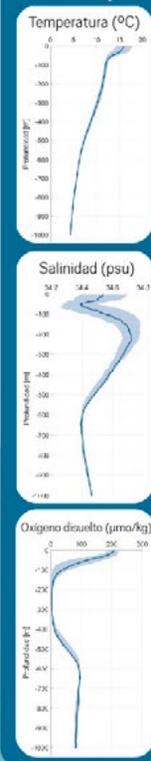
Los objetivos del programa ARGO para el año 2030 son duplicar la densidad de boyas (la densidad nominal inicial definida era de una boya en cuadros de 3° x 3° en longitud y latitud) y desarrollar el sistema para el océano profundo (bajo los 2000m, y hasta 6000 m de profundidad) con el programa DEEP ARGO.

Este programa surge de la colaboración internacional, y en este contexto Chile está involucrado a través de una colaboración nacional entre universidades, SHOA y centros de investigación del cual CEAZA participa a través del proyecto SEPICAF.

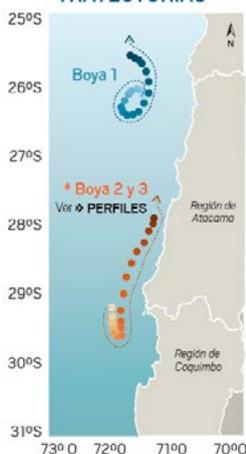


Editado de Taessig, <https://www.instagram.com/taessig/>

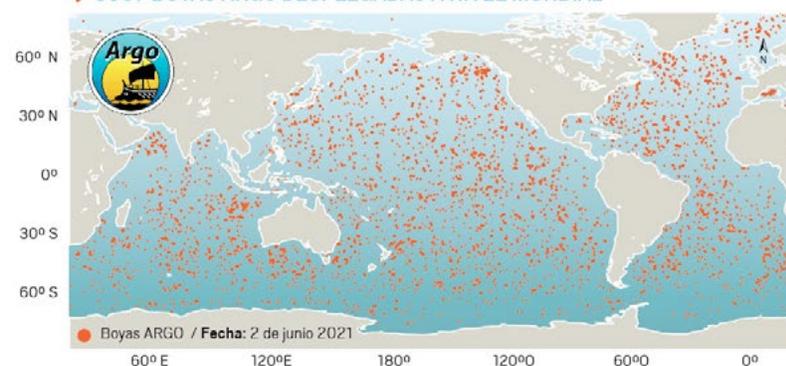
### » PERFILES \*Datos boya 2



### » BOYAS ARGO Y SUS TRAYECTORIAS



### » 3907 BOYAS ARGO DESPLEGADAS A NIVEL MUNDIAL



**03** boyas perfiladoras ARGO se desplegaron frente a las costas de Atacama y Coquimbo en el marco del proyecto SEPICAF

**17** perfiles realizados por cada boya

**2000 m** es la profundidad que miden las boyas Argo

\* Datos obtenidos el 2 de junio de 2021

Redacción: María Valladares, Boris Dewitte y Orlando Astudillo | Diseño: Janina Guerrero | Agradecimientos: Proyectos CLAP, SEPICAF y CE2COAST



## » 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:** 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 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 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.

**Anomalías sinópticas de la Temperatura Superficial del Mar (TSM):** Anomalía se refiere a 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 CO<sub>2</sub> 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 cuales 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 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 CO<sub>2</sub> (pCO<sub>2</sub>), 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 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 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

**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 clorofitas 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).

**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.

**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.

**Productividad primaria:** La producción primaria es la síntesis de sustancias orgánicas por organismos autótrofos (principalmente fitoplancton) a partir de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) 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.

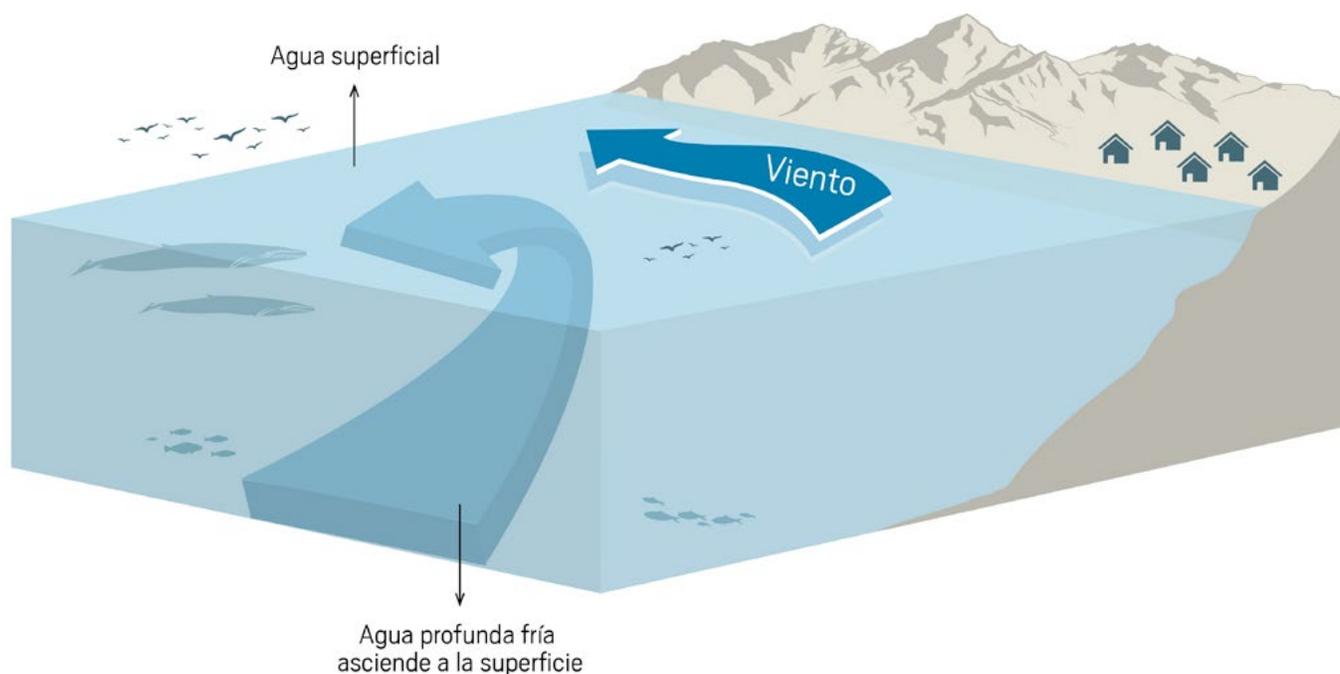
**Surgencia:** La surgencia, o afloramiento de aguas profundas, es un proceso oceanográfico resultante de la interacción entre el viento, la superficie del mar y la rotación de la Tierra, cuyo resultado es el movimiento y reemplazo de las aguas superficiales del océano por agua más profunda. El viento 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  $\text{CO}_2$  (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. 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 ( $\pm 1^\circ\text{C}$ ).

**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.

### SURGENCIA





## » 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
<b>Punta de Choros</b> (7 msnm) 29°14'50"S, 71°28'5"O	<b>ATMOSFÉRICO</b>						
	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 <sup>2</sup>	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%	
<b>Tongoy Balsa</b> (0 msnm) 30°16'30"S, 71°33'42"O	<b>ATMOSFÉRICO</b>						
	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
	<b>OCEANOGRÁFICO</b>						
	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 <sup>3</sup>	-10 m	WetLabs/WQM	0 a 50 mg/m <sup>3</sup>	0,015 mg/m <sup>3</sup>	0,01 mg/m <sup>3</sup>	
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
<b>Punta Lengua de Vaca</b> (17 msnm) 30°14'42"S, 71°37'59"O	<b>ATMOSFÉRICO</b>						
	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  
JULIO  
2021

