



**UNIVERSIDAD ARTURO PRAT**  
**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES**

**PROGRAMA BIO-OCEANOGRÁFICO-PESQUERO**  
**DE LA ZONA NORTE DE CHILE (18°S-23°S)**  
**UNAP-CIAM**

**ANÁLISIS DE LA CONDICIÓN AMBIENTAL**  
**DURANTE EL PERIODO DE OTOÑO DE 2020**  
**Y SU ASOCIACIÓN CON LAS CAPTURAS DE ANCHOVETA**

**JUNIO DE 2020**

**REQUIRENTE**

**CENTRO DE INVESTIGACION APLICADA DEL MAR (CIAM)**

**EJECUTOR**

**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES  
UNIVERSIDAD ARTURO PRAT**

**AUTORES**

**EDGARDO SANTANDER PULGAR  
LILIANA HERRERA CAMPOS**

## INDICE

RESUMEN EJECUTIVO .....	4
INTRODUCCIÓN .....	5
OBJETIVO .....	5
METODOLOGÍA .....	5
RESULTADOS .....	7
Condición regional.....	7
Condiciones oceanográficas en el norte de Chile .....	7
Análisis Comparativo Condiciones Ambientales .....	11
Relación entre las Capturas de Anchoqueta y las Condiciones Ambientales .....	13
DISCUSION Y CONCLUSIONES .....	14
LITERATURA CITADA.....	15

## RESUMEN EJECUTIVO

Utilizando información satelital, se realizó el análisis de las condiciones oceanográficas físicas, química y biológicas imperantes durante la época de otoño de 2020, en el área comprendida entre los 18,3°S y los 24°S, y entre la costa y los -72°W.

Se trabajó con registros de temperatura, salinidad, altimetría y biomasa del fitoplancton (clorofila-a), obtenidos en los meses de abril, mayo y junio. Se extrajeron desde las cartas satelitales los puntos históricos de los cruceros realizados en la misma época entre 2015 y 2019, para realizar comparaciones y determinar los cambios temporales de las variables analizadas.

Durante los meses de abril y mayo la región se encontró bajo una condición cálida, registrándose valores de temperatura superiores a 23°C y salinidades por sobre 35 ups, que revelaron la presencia del Agua Subtropical Superficial (ASS) en la región oceánica (>20 mn) y al norte de los 21°S. En junio la temperatura descendió y el ASS se encontró replegada más allá de las 40 mn. En todo el periodo, al sur de los 22°S y especialmente frente a Mejillones (23°S), la zona estuvo dominada principalmente por el Agua Subantártica (ASAA). En la banda costera (1-20 mn) se registraron focos con temperaturas inferiores a 17 °C, salinidades menores a 35 ups y valores de biomasa fitoplanctónica mayores a 5,0 mg/m<sup>3</sup>, evidenciando la influencia de eventos de surgencia. Los resultados del análisis comparativo revelaron que la temperatura, la salinidad y la biomasa fitoplanctónica durante el otoño de 2020, exhibieron valores dentro de los rangos registrados en campañas anteriores, excepto en comparación a los otoños de 2015 y 2016 que estuvieron bajo un régimen El Niño. Respecto de la asociación entre las condiciones ambientales y el ambiente, las variables que ejercieron mayor influencia en la distribución del recurso anchoveta durante el otoño de 2020, fueron la altimetría, la TSM y la biomasa fitoplanctónica.

En general, la condición ambiental transitó desde una condición cálida, con influencia del ASS, a una fría con predominancia de Agua Subantártica (ASAA) desde abril a junio. Esta tendencia al enfriamiento estuvo en concordancia con la época del año (escala estacional, otoño-invierno). Al respecto, CIIFEN informa que durante el otoño del 2020 el norte de Chile evolucionó de una condición cálida a una fría, proceso que continuará en el siguiente trimestre, principalmente en el Pacífico ecuatorial.

## INTRODUCCIÓN

El presente informe contiene un análisis de las condiciones oceanográficas imperantes en el norte de Chile (18°S-23°S) durante el otoño de 2020, y su asociación con las capturas del recurso anchoveta, requerido por el Centro de Investigación Aplicada del Mar (CIAM) y elaborado por la Facultad de Recursos Naturales Renovables (FRNR) de la Universidad Aturo Prat.

## OBJETIVO

- Determinar las condiciones oceanográficas, físicas y biológicas, imperantes en la zona norte de Chile (18°S-23°S), y su variabilidad espacial y temporal.
- Explorar la relación entre las condiciones ambientales y la distribución y capturas del recurso anchoveta.

## METODOLOGÍA

### Área de estudio

El área de estudio comprendió la zona entre Arica (18°25'S) y Antofagasta (24°00'S), y entre la costa y los 72°W (Figura 1).

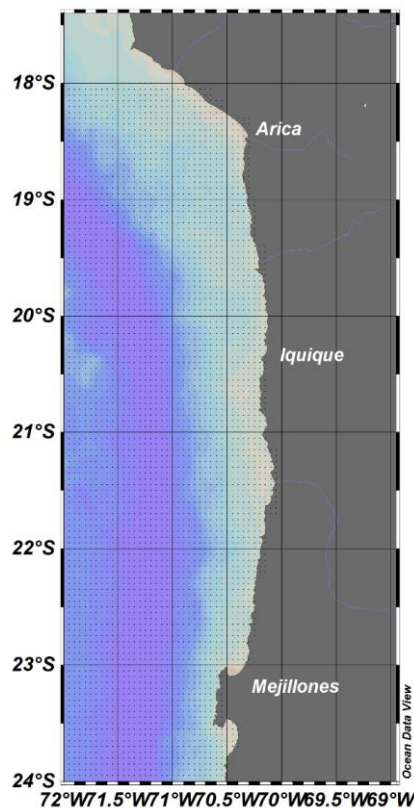


Figura 1. Área de estudio y grilla de estaciones con una resolución espacial de 4x4 km.

## Origen de la información

El análisis fue realizado con información proveniente de los meses de abril, mayo y junio de 2020.

Para obtener una perspectiva regional, se utilizaron datos de la temperatura superficial del mar (TSM) de la región ecuatorial del océano Pacífico. Para esto se descargó información de la estación El Niño 1,2 y del Índice Oceánico de “El Niño” (ONI, de su sigla en inglés) (<https://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/>).

Para el análisis a escala regional y local, CIAM proporcionó información satelital de temperatura superficial del mar (TSM, °C), salinidad (SAL, ups) y altimetría (ALT, m) en una escala semanal, por lo que fue necesario estimar el promedio, para cada punto de la grilla, y así obtener la señal mensual ajustada geográficamente al área comprendida entre los 18,3°S y 24°S y entre la costa y los -72°W.

En el caso de la biomasa fitoplanctónica (clorofila-a) se utilizó información satelital correspondiente a los promedios mensuales de abril, mayo y junio de 2020, con una resolución espacial de 4x4 km, producto final L3. Los archivos, en formato netCDF fueron descargados de la plataforma que alberga la información generada por el satélite MODIS-AQUA (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) distribuidas por el programa Ocean Color Web (<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov>).

Para determinar la variabilidad temporal, se realizó un análisis comparativo con datos obtenidos en campañas realizadas en los periodos de otoño entre 2015 y 2019, tomando en cuenta las posiciones históricas de las estaciones de los cruceros. Desde estos puntos se extrajo la información de TSM, salinidad superficial del mar (SSM) y concentración de clorofila-a (Cl-a), empleando la función RESIDUALS del programa computacional SURFER 16™. Mediante la función `kruskal.test` de la plataforma R, se aplicó el análisis de varianza por rangos de Kruskal-Wallis para comparar la información de TSM, SSM y Cl-a con aquella obtenida durante los otoños de 2015 a 2019. Cuando se encontraron diferencias estadísticamente significativas, se realizó la prueba de comparación múltiple de rangos después de Kruskal-Wallis para determinar el periodo que las generó, empleando la función `kruskalmc`. Los resultados se presentan en tablas y gráficos de cajas y bigotes.

La información diaria y georreferenciada de las capturas de anchoveta, realizadas durante los meses de abril, mayo y junio del 2020, fue proporcionada por CIAM. Para obtener un dato mensual, se estimó el promedio en cada punto geográfico, y desde éstos se extrajeron los datos de TSM, SSM y clorofila-a (Cl-a), empleando la función RESIDUALS del programa computacional SURFER 16™. Una vez alineada la información de captura mensual con la información satelital ambiental, se exploró la relación a través de la aplicación de modelos aditivos generalizados (GAM) disponible en el paquete `mgcv` del programa R. Para esto, se trabajó con las variables explicativas de manera individual y agrupadas en diferentes fórmulas.

## RESULTADOS

### Condición regional

Para establecer cuál fue la condición regional, se analizó en primer lugar, la evolución de la TSM, proveniente de la región El Niño 1,2 (línea roja), junto con el ONI (línea azul). Al analizar los cambios temporales, desde enero de 2015 a junio del 2020, de ambas variables, se puede observar claramente el evento El Niño 2015-2016 y el Niño costero de 2017 (serie EN 1,2). Durante 2020, el ONI ha presentado anomalías positivas mayores o iguales a 0,5 entre enero y marzo, cambiando a una condición neutra en abril, mayo y junio. La estación EN 1,2 mostró anomalías positivas más altas (respecto del ONI) entre febrero y marzo, para transitar a condiciones frías con anomalías negativas  $>0,5$  °C a contar de abril, y con una tendencia a seguir enfriándose (Figura 2).

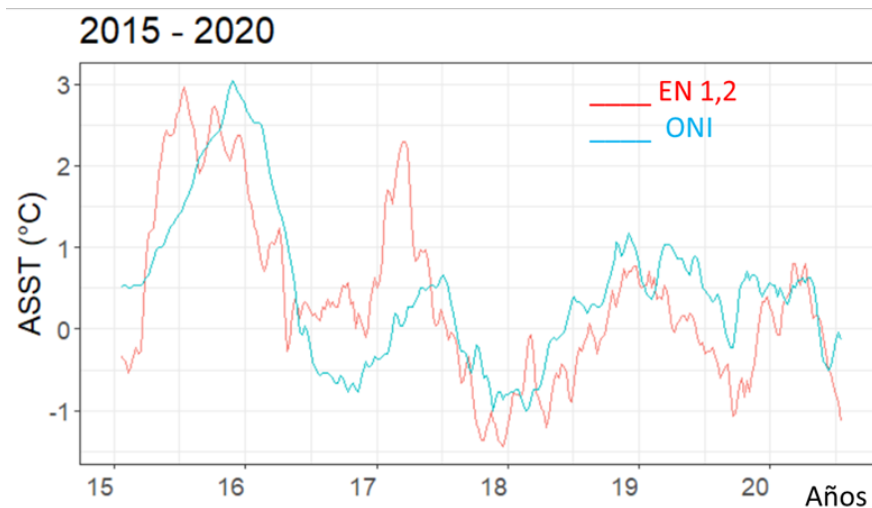


Figura 2. Promedio móvil cada 3 meses de la anomalía de la temperatura superficial del mar (°C) (EN 1,2) y del índice oceánico de “El Niño” (ONI).

### Condiciones oceanográficas en el norte de Chile

En el periodo analizado, la TSM presentó valores extremos de 15°C y 24°C (Tabla 1). Durante los tres meses (abril, mayo y junio de 2020), la distribución superficial mostró una banda costera (1-20 mn) con temperaturas menores a 20°C, y otra oceánica con valores superiores a 21°C. Esta banda oceánica, durante abril y mayo se acercó a la costa, generando un marcado gradiente longitudinal, retrocediendo gradualmente hacia el mes de junio, cuando la TSM exhibió una distribución más homogénea. La presencia de focos de valores mínimos en el margen costero, que sugieren la ocurrencia de eventos de surgencia, durante abril y mayo fueron evidentes alrededor de los 21°S. Hacia junio, en la medida que

el agua cálida se replegó hacia el sector oceánico, las temperaturas inferiores a 17°C avanzaron y se extendieron a través de toda la banda costera (Figura 3).

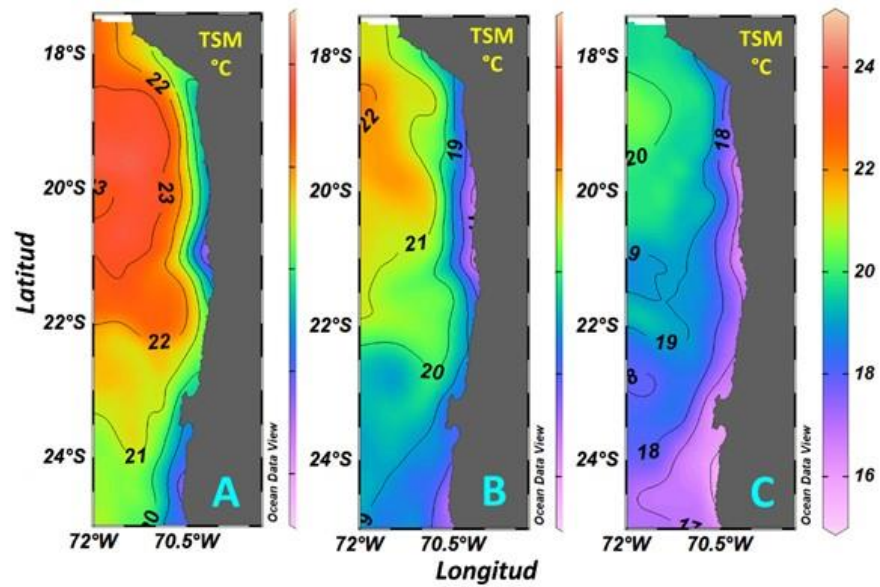


Figura 3. Distribución superficial de Temperatura (°C), durante A: abril, B: mayo y C: junio de 2020.

La salinidad superficial fluctuó entre 34,6 y 35,5 ups (Tabla 1). La distribución en superficie mostró una banda costera (1-20 mn) con valores inferiores a 35 ups que se extendió por toda el área, proyectándose hacia el sector oceánico desde los 23°S hacia el sur, destacando la intrusión de la isohalina de 35 ups alrededor de los 22°S. A diferencia de la estructura termal, este patrón no se modificó entre abril y junio (Figura 4).

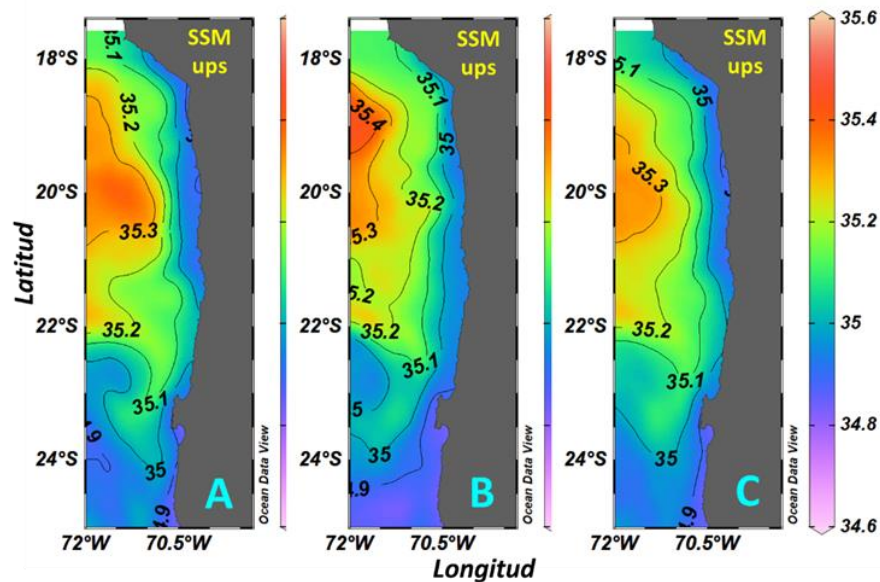


Figura 4. Distribución superficial de Salinidad (ups) durante A: abril, B: mayo y C: junio de 2020.



Respecto de la altimetría o nivel del mar, éste fluctuó entre un mínimo de -0,02 m, registrado en junio, y un máximo de 0,18 m, detectado en abril y mayo de 2020 (Tabla 1). En abril y mayo, la distribución espacial se caracterizó por presentar altos valores (>0,07) entre Arica (18,3°S) y Mejillones (23°S), los que se incrementaron hacia el sector oceánico (>20 mn) con núcleos de máximos (>0,1 m) a la altura de los 19°S. Desde los 23°S al sur, bajas altimetrías ocuparon longitudinalmente toda la zona. En junio se registró una distribución más homogénea con magnitudes cercanas a 0,07 m en gran parte del área, excepto al sur de Mejillones (23°S) donde se el patrón observado en los meses previos. Los bajos valores de altimetría se asocian a la presencia de aguas más frías producto del surgencia costera (Figura 5).

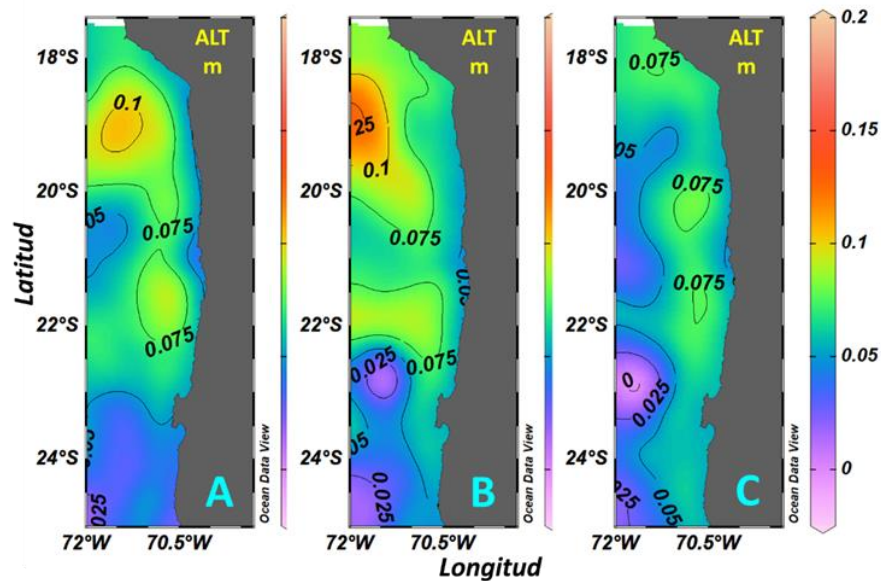


Figura 5. Distribución superficial de los valores de altimetría (m) durante A: abril, B: mayo y C: junio de 2020.

La biomasa fitoplanctónica varió entre 0,1 y 23,5 mg Cl-a/m<sup>3</sup>, ambos valores detectados en mayo de 2020 (Tabla 1). Espacialmente, se registraron concentraciones superiores a 5,0 mg Cl-a/m<sup>3</sup> restringidas a la banda costera (1-20 mn), mientras que, hacia la región oceánica, toda el área estuvo dominada por biomazas cercanas a 0,5 mg Cl-a/m<sup>3</sup>. En abril, al norte de los 19°S, se observó una proyección de altos valores (>10,0 mg Cl-a/m<sup>3</sup>) hacia el sector oceánico. En mayo concentraciones inferiores a 1,0 mg Cl-a/m<sup>3</sup> alcanzaron el sector costero al sur de los 23,4°S, los que durante junio ocuparon toda la zona, excepto en Arica (18,3°S) y entre los 21° y 22°S, donde se mantuvieron los focos superiores a 10,0 mg Cl-a/m<sup>3</sup> (Figura 6).

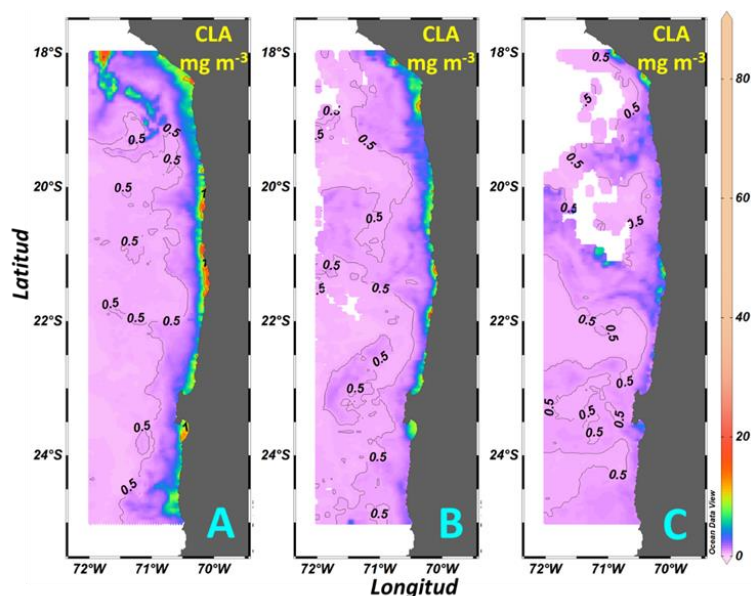


Figura 6. Distribución superficial de la Biomasa Fitoplanctónica ( $\text{mg Cl-a/m}^3$ ) durante A: abril, B: mayo y C: junio de 2020.

Tabla 1. Resumen descriptivo de las variables analizadas. TSM: temperatura superficial del mar ( $^{\circ}\text{C}$ ), SSM: salinidad superficial del mar (ups), ALT: altimetría (m), BF: biomasa fitoplanctónica ( $\text{mg Cl-a/m}^3$ ), Des. Est.: desviación estándar.

Mes	Estadístico	TSM ( $^{\circ}\text{C}$ )	SSM (ups)	ALT (m)	BF ( $\text{mg Cl-a/m}^3$ )
Abril	Mínimo	16,7	34,7	0,00	0,2
	Máximo	24,0	35,5	0,18	21,9
	Media	21,7	35,1	0,08	1,4
	Des. Est.	1,4	0,2	0,03	2,2
Mayo	Mínimo	16,3	34,7	-0,01	0,1
	Máximo	22,3	35,5	0,18	23,5
	Media	20,2	35,1	0,08	1,0
	Des. Est.	1,3	0,2	0,03	1,5
Junio	Mínimo	15,0	34,6	-0,02	0,2
	Máximo	20,8	35,5	0,12	13,3
	Media	18,5	35,1	0,06	0,8
	Des. Est.	1,1	0,2	0,03	0,8

## Análisis Comparativo Condiciones Ambientales

Los resultados del análisis comparativo revelaron la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre las tres variables registradas durante otoño de 2020 y en los otoños entre 2015 y 2019 (Tabla 2).

Tabla 2. Resultados del análisis comparativo entre las variables analizadas durante los otoños de 2015 a 2020. K-W: estadístico de Kruskal-Wallis, NS: nivel de significancia, s: significativa.

Variable	K-W	valor-p	NS
TEMPERATURA (°C)	35,572	0,00	s
SALINIDAD (ups)	31,191	0,00	s
BIOMASA FITOPLANCTONICA (mg Cl-a/m <sup>3</sup> )	13,800	0,02	s

Las diferencias en la temperatura fueron generadas por los otoños de 2015 y 2016, que son los más cálidos de la serie, y por el otoño de 2018 que, por el contrario, ha sido el más frío (Tabla 3, Figura 7). En relación con la salinidad, durante 2015 se han detectado los mayores valores, por el contrario de lo observado durante los otoños de 2017, 2018 y 2019 (Tabla 3, Figura 8). Mientras que para la biomasa fitoplanctónica las diferencias estuvieron relacionadas a las menores concentraciones detectadas en la campaña de 2018, en comparación a aquellas registradas en los otoños de 2016 y 2017 (Tabla 3, Figura 9).

Tabla 3. Resultados de la prueba de comparación múltiple de rangos después de Kruskal-Wallis para las variables analizadas durante los otoños de 2015 a 2020. dif. obs.: diferencias observadas, dif. crit.: diferencias críticas

Variable	Campañas	dif. obs	dif. crit
TEMPERATURA (°C)	2015-2018	44,23	30,00
	2016-2018	35,81	29,51
	2017-2018	42,77	30,00
	2018-2020	48,15	27,99
	2019-2020	29,71	27,99
SALINIDAD (ups)	2015-2016	32,62	30,00
	2015-2017	47,47	30,48
	2015-2018	46,06	30,00
	2015-2019	43,81	30,00
BIOMASA FITOPLANCTONICA (mg Cl-a/m <sup>3</sup> )	2016-2018	30,56	30,11
	2017-2018	32,13	30,11

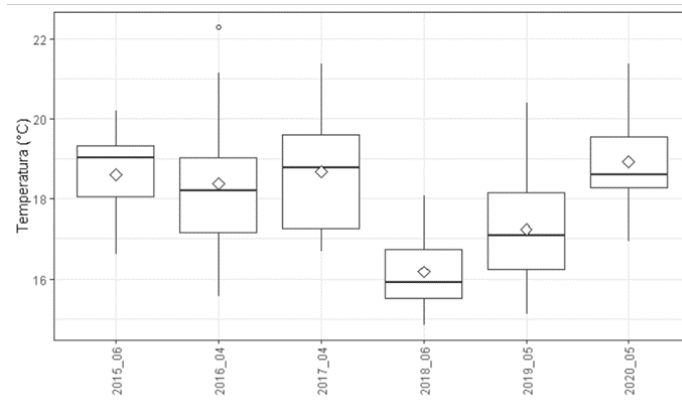


Figura 7. Gráficos de cajas y bigotes resultantes del análisis comparativo entre la información de Temperatura (°C) registrada durante los otoños de 2015 a 2020.

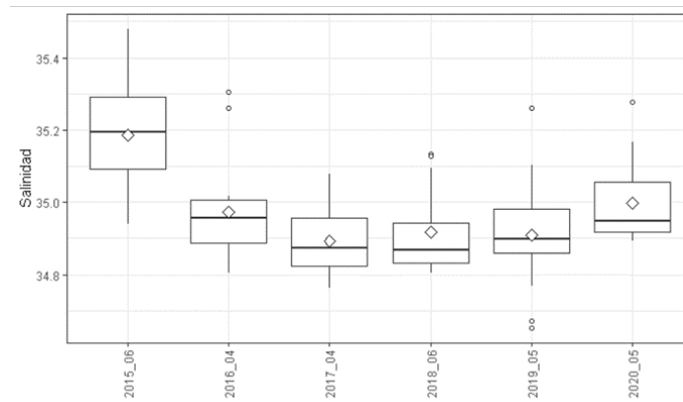


Figura 8. Gráficos de cajas y bigotes resultantes del análisis comparativo entre la información de Salinidad (ups) registrada durante los otoños de 2015 a 2020.

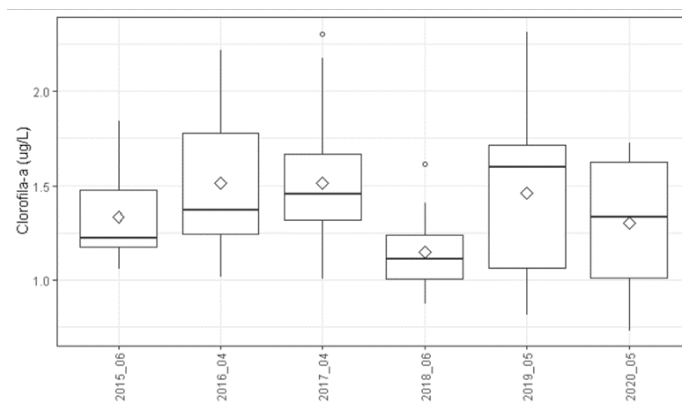


Figura 9. Gráficos de cajas y bigotes resultantes del análisis comparativo entre la información de Biomasa Fitoplanctónica (mg Cl-a/m<sup>3</sup>) registrada durante los otoños de 2015 a 2020.

## Relación entre las Capturas de Anchoveta y las Condiciones Ambientales

Las capturas diarias de anchoveta mostraron una alta variabilidad, principalmente durante los meses de mayo y junio, fluctuando desde valores inferiores a 500 Ton, a un máximo de 1.868 Ton registrado en mayo (Figura 10 A). Este valor generó que, en promedio, este mes exhibiera la mayor de las capturas del periodo de otoño (Figura 10 B).

La distribución espacial de la actividad pesquera reflejó la tendencia del recurso a concentrarse en la banda costera, excepto durante abril, mes en el cual la pesca se realizó más allá de las 40 mn (Figura 10 C), motivo por el cual los datos de abril no fueron incluidos en el análisis exploratorio.

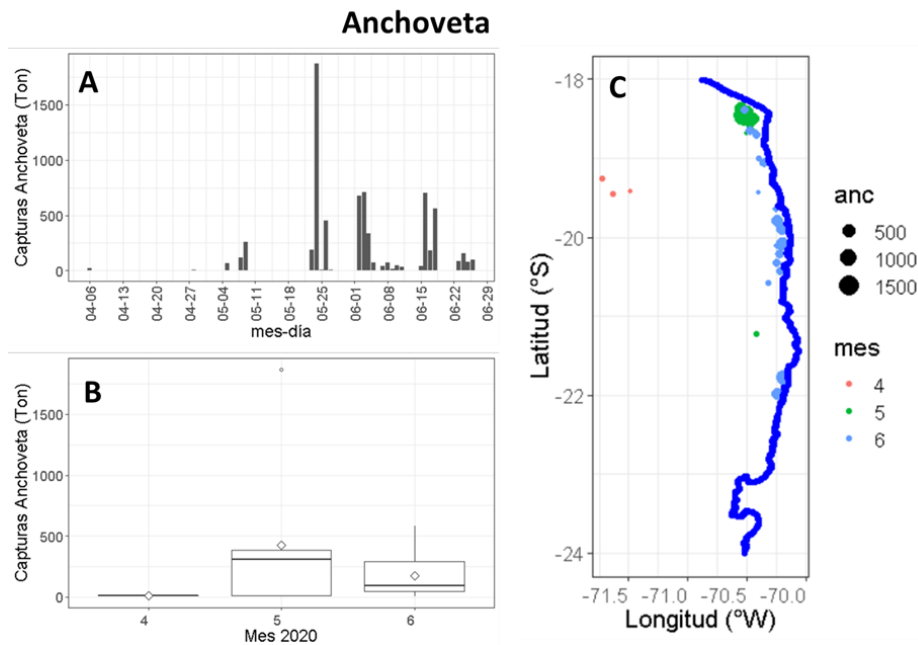


Figura 10. A: Fluctuación diaria de las capturas de anchoveta (Ton) durante los meses de abril, mayo y junio de 2020, B: Gráficos de cajas y bigotes resultante del análisis del promedio mensual, y C: Distribución espacial de la actividad pesquera durante abril (4), mayo (5) y junio (6) de 2020.

Los resultados del análisis exploratorio revelaron que, para el periodo analizado, las variables que individualmente ejercieron una mayor influencia sobre el recurso anchoveta fueron la altimetría, la clorofila-a y la TSM, con valores de devianza de 41%, 31% y 21% respectivamente. Lo anterior, condujo a lograr un mejor ajuste al utilizar un modelo que incluyó las tres variables, alcanzando un 84,5 % de devianza explicada (Tabla 4, Figura 11).

Tabla 4. Resultado del análisis exploratorio. Alt: altimetría (m), Cl-a: clorofila-a (mg/m<sup>3</sup>), SSS: salinidad superficial del mar (ups), TSM: temperatura superficial del mar (°C), REML: verosimilitud marginal restringida, NS: nivel de significancia.

Modelo	DE (%)	REML	NS
anc ~ s(Alt)	41,1	196,4	< 0,01
anc ~ s(Cl-a)	20,1	197,9	< 0,05
anc ~ s(SSS)	0,6	200,8	> 0,05
anc ~ s(TSM)	31,0	198,1	< 0,05
anc ~ s(Alt) + s(Cla) + s(TSM)	84,5	183,9	< 0,01

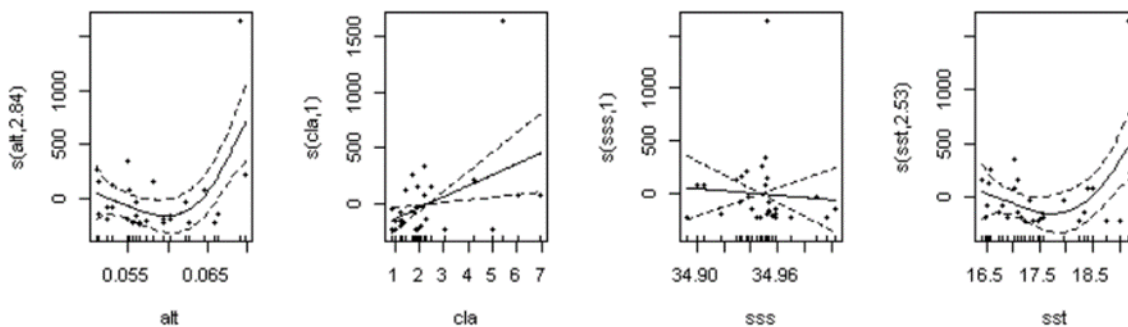


Figura 11. Contorno de respuesta del ajuste de GAM. alt: altimetría (m), cla: clorofila-a (mg/m<sup>3</sup>), sss: salinidad superficial del mar (ups); sst: temperatura superficial del mar (°C).

## DISCUSION Y CONCLUSIONES

La información del Pacífico ecuatorial mostró evidencia de una transición hacia un evento La Niña que, como parte del ciclo ENSO, corresponde a su fase más fría. De acuerdo con los datos analizados, se observó la evolución en la temperatura, asociada a la típica señal anual, caracterizada por exhibir mayores valores en la época de verano-otoño disminuyendo hacia el periodo de invierno.

Se registró una importante intrusión del Agua Superficial Subtropical (ASS) en la región, principalmente al norte de los 20°S, la cual se mantuvo durante abril y mayo. En la costa la surgencia se evidenció por focos de temperaturas inferiores a 17°C, los que se observaron en los tres meses, en Arica (18,3°S), entre los 21° y 22°S, y en Mejillones (23°S). Al respecto, el análisis exploratorio reveló que, para el otoño de 2020, el modelo que mejor explica e influencia la distribución del recurso anchoveta, es el que combina la altimetría, la

TSM y la biomasa fitoplanctónica (cl-a), mientras que la salinidad no resultó una variable determinante.

En general, la condición ambiental transitó desde cálida, con influencia del ASS, a una fría con escasa participación del ASS y predominancia de Agua Subantártica (ASAA) al sur de los 22°S, principalmente en junio de 2020. Esta tendencia al enfriamiento estuvo en concordancia con la época del año (escala estacional, otoño-invierno). De acuerdo con CIIFEN, en julio de 2020 se mantiene la condición fría en el Pacífico Suroriental (Figura 12).

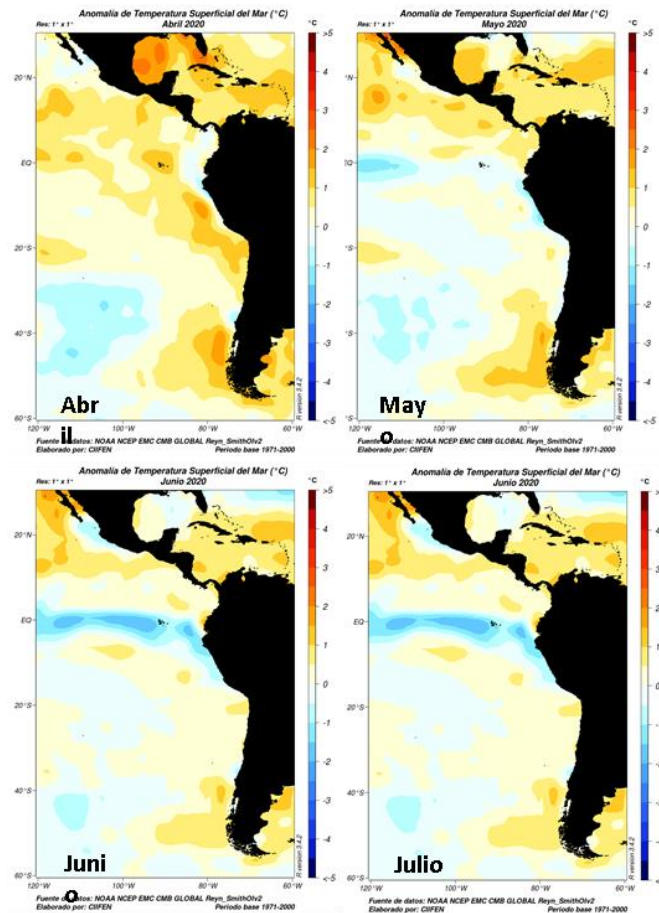


Figura 12. Anomalia de la Temperatura Superficial del Mar (°C) en el Pacífico Suroriental entre abril y julio del 2020 (fuente: [www.ciifen.org](http://www.ciifen.org)).

## LITERATURA CITADA

Boletín CIIFEN El Niño/La Niña en América Latina. Julio 2020. [www.ciifen.org](http://www.ciifen.org).