

UNIVERSIDAD ARTURO PRAT
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

INFORME
CARACTERIZACION EVENTO DE DISCOLORACIÓN
Y CONDICIONES OCEANOGRÁFICAS IMPERANTES
ARICA (18°30'S-18°40'S)

MAYO DE 2021

REQUIRENTE

CENTRO DE INVESTIGACION APLICADA DEL MAR (CIAM)

EJECUTOR

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

AUTORES

**LILIANA HERRERA CAMPOS
EDGARDO SANTANDER PULGAR**

EQUIPO DE MUESTREO

MILTON AVILÉS LAZCANO

INDICE

INTRODUCCIÓN	3
METODOLOGÍA	3
RESULTADOS	5
<i>CONDICIONES OCEANOGRÁFICA FÍSICAS Y QUÍMICAS</i>	5
<i>COMUNIDAD FITOPLANCTÓNICA</i>	10
ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	15
LITERATURA CITADA Y CONSULTADA.....	16

INTRODUCCIÓN

Durante el mes de mayo la zona de Arica ($18^{\circ}30'S$) se ha visto afectada por un intensa discoloración o marea roja que fue observada a lo largo de todo el borde costero de la ciudad.

Con el objetivo de analizar las características y extensión del evento se planificó un crucero en un sector alejado del borde costero, que incluyó la identificación del organismo fitoplanctónico causante y la descripción de las condiciones oceanográficas físicas y químicas imperantes.

METODOLOGÍA

El muestreo y registro de información se realizó el día 17 de mayo de 2021 en la embarcación PAM “Eperva 56”, proporcionada por la empresa pesquera CORPESCA S.A.

La zona se localizó entre Arica ($18^{\circ}30'S$) y punta Baquedano ($18^{\circ}40'S$), donde se establecieron dos transectas perpendiculares a la costa con estaciones localizadas a 10, 15, 20, 25 millas náuticas (mn) de la costa (Figura 1). En cada una de las estaciones se realizaron perfiles verticales de temperatura, salinidad y densidad utilizando un CTD Minos AML Oceanographic, y con el uso de botellas oceanográficas Niskin se obtuvieron muestras de agua entre la superficie y los 20 m de profundidad para la identificación y recuento de fitoplancton, y la determinación de la biomasa fitoplanctónica y concentración de oxígeno disuelto.

La identificación de especies y la determinación de la abundancia del fitoplancton se realizó mediante microscopía invertida, utilizando literatura especializada y siguiendo la metodología descrita por UNESCO (1978) y Villafañe y Reid (1995). La biomasa fitoplanctónica, expresada en términos de la concentración de clorofila-a, se estimó de acuerdo con el método fluorométrico descrito en Parsons *et al.* (1984), y el análisis del oxígeno disuelto fue realizado según la modificación de Carpenter (1965) para el método de Winkler (Parsons *et al.*, 1984). La información se presenta en tablas y gráficos de distribución horizontal y vertical.

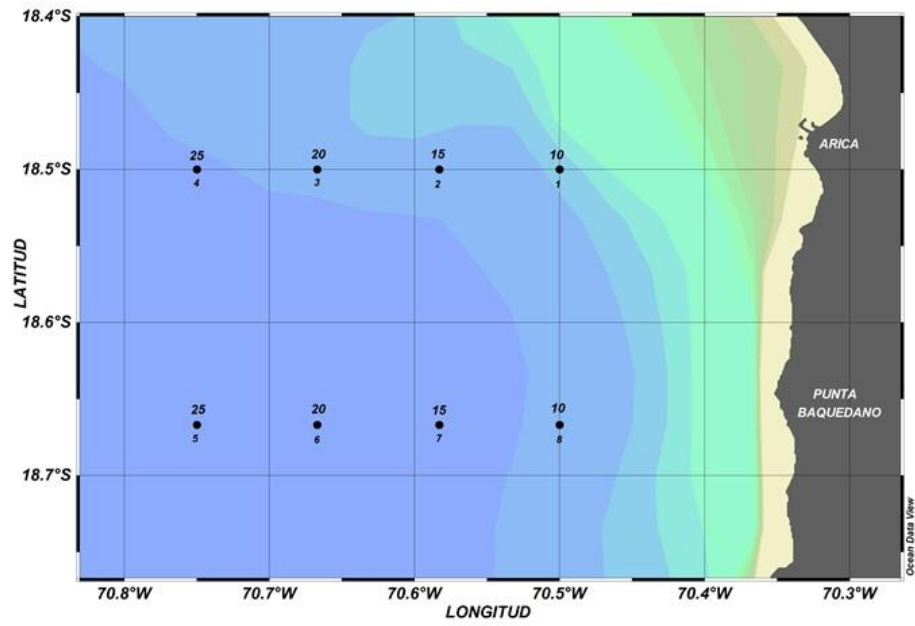


Figura 1. Área de estudio y localización de las estaciones del muestreo realizado el 17 de mayo de 2021.

RESULTADOS

CONDICIONES OCEANOGRÁFICA FÍSICAS Y QUÍMICAS

La temperatura superficial del mar (TSM) fluctuó entre 16,5 y 20,3°C. La distribución exhibió un gradiente caracterizado por el incremento de los valores de norte a sur. En el norte (18°30'S) predominaron temperaturas inferiores a los 18°C, observándose el núcleo de mínima (16,5°C) a 10 mn de la costa, mientras que en el sector sur (18°40'S), valores superiores a 19°C dominaron a lo largo de toda la transecta, registrándose el máximo de 20,3°C a 20 mn de la costa (Figura 2A).

En la componente vertical, la sección del norte mostró la presencia de un estrato con el predominio de valores inferiores a 17°C entre la superficie y los 10 m de profundidad, detectándose un incremento a temperaturas cercanas a los 18°C localizadas en la estación más alejada de la costa (25 mn). La sección del sur evidenció la presencia del agua cálida (>19°C) restringida a los primeros 10 m de profundidad, extendiéndose entre las 10 y 25 mn, con la predominancia de temperaturas entre 14°C y 15°C hacia los estratos más profundos (Figura 3-panel superior). La isoterma de 15°C se mantuvo alrededor de los 15 m de profundidad a lo largo de toda la transecta norte (18°30'S), sugiriendo, como proxy, una somera capa de mezcla, mientras que en el sur (18°40'S) la capa de mezcla se profundizó, observándose la isoterma de 15°C cercana a los 20 m (Figura 2B).

La salinidad en superficie fluctuó entre 34,80 y 35,07 ups. Asociados a las menores temperaturas (<18°C) que caracterizaron el sector norte (18°30'S), valores cercanos a 34,9 ups ocuparon toda la transecta, con mínimos de 34,8 ups coincidentes con los focos fríos (16,5°C-16,9°C). En la transecta localizada al sur (18°40'S) predominaron salinidades superiores a 35 ups, con el máximo de 35,07 ups ubicado a 20 mn de la costa. Estos valores junto a los de temperatura, revelan la presencia del Agua Subtropical Superficial (ASS) (Figura 2C).

La sección vertical del norte (18°30'S) evidenció el dominio en toda la columna de agua de salinidades cercanas y menores a 34,8 ups, sugiriendo la mezcla entre el Agua Subantártica (ASAA) y Agua Ecuatorial Subsuperficial (AESS), con mayor participación del ASAA evidenciada por la presencia de un foco de 34,74 ups. La distribución vertical de la salinidad en el sur (18°40'S), reveló que la presencia del ASS se restringió a los primeros 10 m de profundidad, y hacia los estratos más profundos salinidades cercanas a 34,85 ocuparon la columna de agua (Figura 3-panel central).

La densidad (σ_t) en superficie presentó valores extremos de 24,69 y 25,48. La distribución, siguiendo el patrón de la temperatura y salinidad, se caracterizó por exhibir valores inferiores a 25 en el sector sur (18°40'S) con el mínimo (24,69) localizado a 20 mn de la costa. Por el contrario, a lo largo de la transecta norte (18°30'S) la densidad se mantuvo sobre los 25 y el máximo se asoció al núcleo frío de baja salinidad (Figura 2D).

La distribución vertical en el sector norte ($18^{\circ}30'S$) mostró las densidades cercanas a 25 ocupando la capa superficial hasta los 15 m de profundidad, y en la transecta del sur ($18^{\circ}40'S$) predominaron valores menores a 25 en el estrato dominado por las mayores temperaturas y salinidades. En ambas secciones se registran densidades superiores a 26 bajo los 20 m de profundidad (Figura 3-panel inferior).

El oxígeno disuelto a nivel superficial fluctuó entre 5,7 y 12,5 mL O_2/L . La distribución mostró la presencia de valores superiores a 8,0 mL O_2/L a lo largo de toda la transecta norte ($18^{\circ}30'S$), con el foco de máxima concentración (12,5 mL O_2/L) localizado a 10 mn de la costa. Hacia el sur ($18^{\circ}40'S$) se observó un fuerte gradiente caracterizado por la disminución de los valores, hasta un mínimo de 5,7 mL O_2/L registrado a 20 mn (Figura 4-panel izquierdo).

En la componente vertical, se observó que los altos valores ($>6,0$ mL O_2/L) registrados en el norte ($18^{\circ}30'S$) se restringieron a los primeros 5 m de profundidad, mientras que hacia los estratos más profundos éstos se mantuvieron por debajo de los 3,0 mL O_2/L . Por el contrario, en la sección del sur ($18^{\circ}40'S$), si bien las concentraciones fueron menores, magnitudes superiores a 4,0 mL O_2/L influenciaron gran parte de la columna de agua. No obstante, en ninguna de las dos transectas se registró la presencia del límite superior de la zona de mínima concentración de oxígeno (ZMO) (oxilínea de 1,0 mL O_2/L) sobre los 20 m de profundidad (Figura 4-panel derecho).

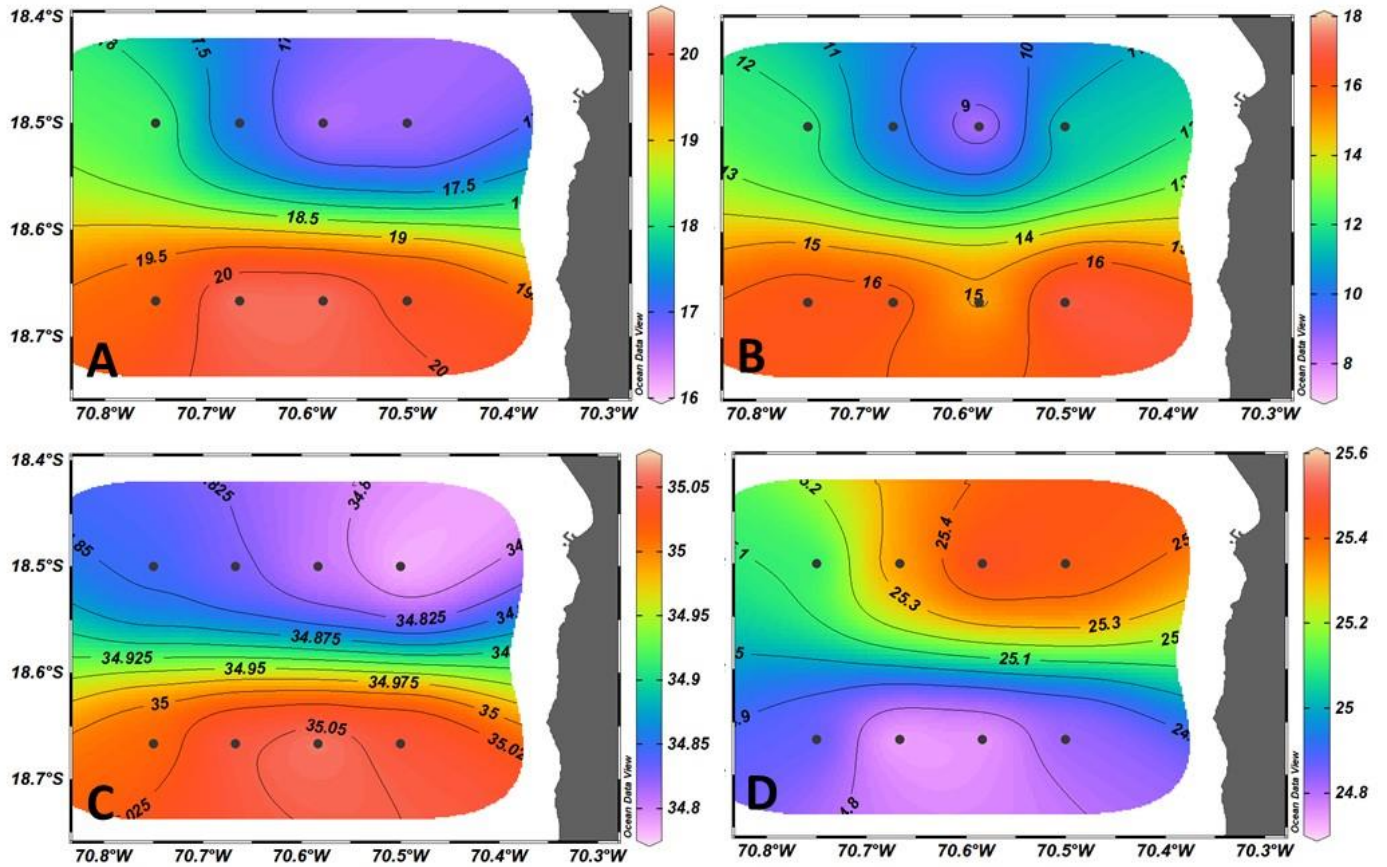


Figura 2. A: Distribución superficial de temperatura (°C), B: profundidad de la isoterma de 15°C (m), C: distribución superficial de la salinidad (ups) y D: distribución superficial de la densidad (sigma-t) el 17 de mayo de 2021.

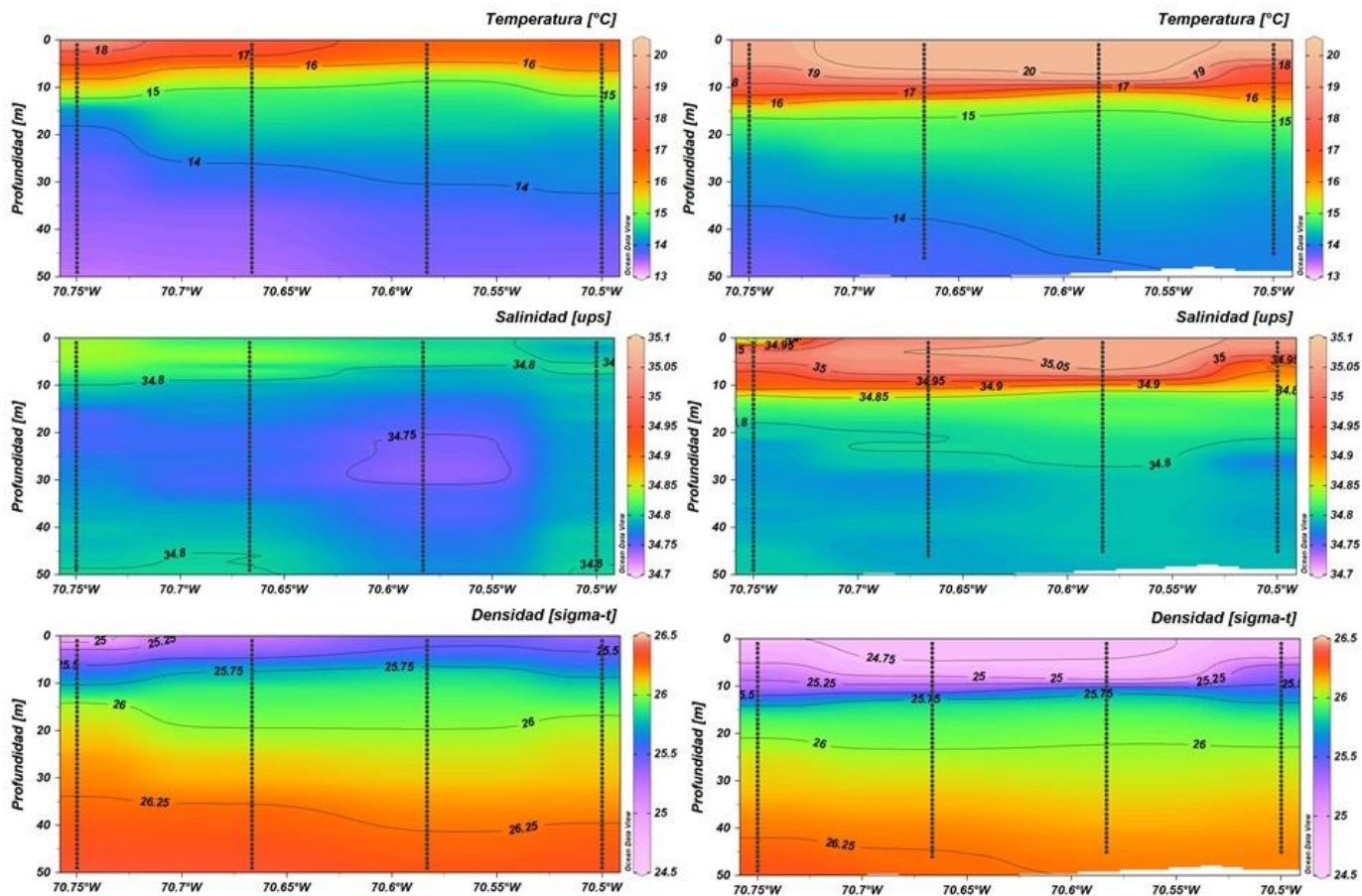


Figura 3. Distribución vertical de temperatura (°C), salinidad (ups) y densidad (sigma-t) en el sector norte (18°30'S) (panel izquierdo) y en el sector sur (18°40'S) (panel derecho) el 17 de mayo de 2021.

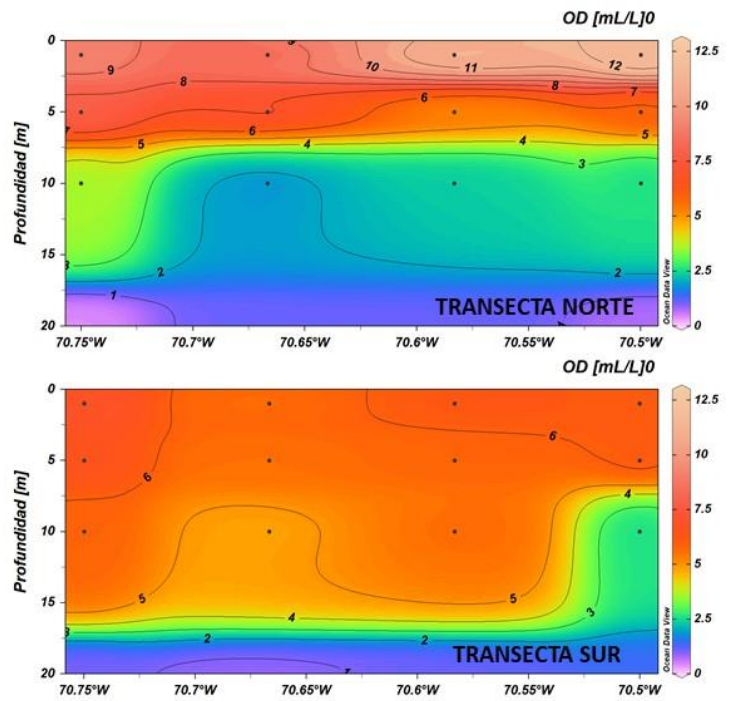
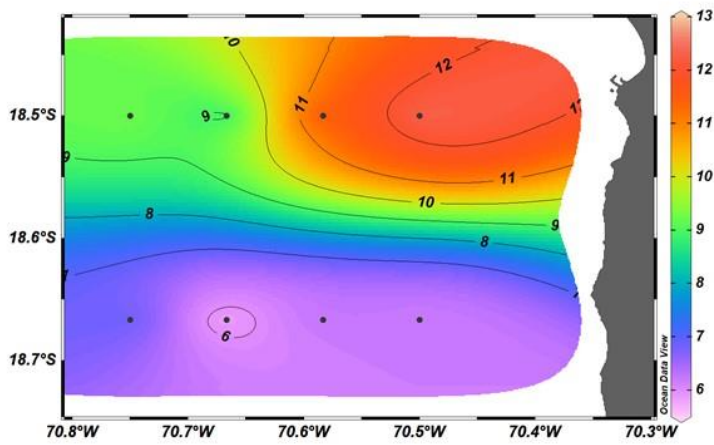


Figura 4. Distribución superficial (panel izquierdo) y distribución vertical en el sector norte (18°30'S) y sector sur (18°40'S) (panel izquierdo) de la concentración de oxígeno disuelto (mL O₂/L) el 17 de mayo de 2021.

COMUNIDAD FITOPLANCTÓNICA

El análisis de la composición del fitoplancton permitió determinar que el organismo que generó el evento de discoloración se trató de un dinoflagelado tecado perteneciente al género *Heterocapsa*. Junto a éste se identificó un total de 22 formas, especies y géneros de flagelados. *Heterocapsa* sp. exhibió las mayores concentraciones, con un máximo de 3.818 cél/mL en el sector norte (18°30'S) y un aporte del 97% al total. En segundo lugar, se ubicaron *Akashiwo sanguinea*, *Eutreptiella marina*, *Polykrikos* sp. y *Prorocentrum gracile*, que escasamente superaron las 50 cél/mL. En el sur (18°40'S) el grupo estuvo escasamente representado y aunque se mantuvo la dominancia de *Heterocapsa* sp., éste alcanzó un máximo de sólo 136 cél/mL (Tabla 1).

El otro componente del fitoplancton, las diatomeas, estuvo representado por un total de 34 especies y géneros. Este grupo presentó sus mayores abundancias en el sector sur (18°40'S), donde destacó *Guinardia striata* con un máximo de 686 cél/mL y una contribución porcentual del 67,6%, seguida de *Asterionellopsis glacialis* y *Pseudo-nitzschia* sp. que exhibieron máximas cercanas a las 100 cél/mL. Estas últimas dos especies mantuvieron sus concentraciones en el norte (18°30'S) (Tabla 2).

La distribución horizontal de la abundancia de los flagelados se caracterizó por la presencia de un foco de 3.936 cél/mL, generado por la presencia de *Heterocapsa* sp., que se localizó a 10 mn y se extendió hasta las 25 mn con valores superiores a las 1.000 cél/mL. Hacia el sur (18°40'S) las concentraciones disminuyeron a valores cercanos a 100 cél/mL (Figura 5-panel izquierdo). Al analizar la distribución vertical, en la sección del norte (18°30'S) se observó que *Heterocapsa* sp. se mantuvo restringida a la superficie, y bajo los 5 m de profundidad las abundancias descendieron de 500 cél/mL. En el sur (18°40'S) se detectó un pequeño núcleo superficial de 139 cél/mL localizado a 25 mn, mientras que el resto de la transecta y de la columna de agua exhibió concentraciones inferiores a 10 cél/mL (Figura 5-panel derecho).

La distribución de la abundancia de las diatomeas en superficie mostró el dominio de este grupo en el sector sur (18°40'S), donde presentó concentraciones superiores a 200 cél/mL entre las 10 y 25 mn, distancia en la que alcanzó un máximo de 625 cél/mL debido a la presencia de *Guinardia striata*. Hacia el norte (18°30'S) el grupo disminuyó sus abundancias, las que se mantuvieron entre 50 y 100 cél/mL (Figura 6-panel izquierdo). Esto también se observó en la distribución vertical en el norte, donde las diatomeas se distribuyeron de manera relativamente homogénea en toda la columna de agua, manteniendo ese rango de concentración. En el sector sur (18°40'S), el foco registrado en superficie se asoció a la máxima concentración que se localizó a 5 m de profundidad y que alcanzó las 971 cél/mL, valor al que aportaron, además de *G. striata*, *A. glacialis* y el género *Pseudo-nitzschia*. De igual manera, las altas concentraciones (>300 cél/mL) se distribuyeron en toda la columna de agua (Figura 6-panel derecho).

Con relación a la biomasa fitoplanctónica, ésta fluctuó entre 0,3 y 151,2 $\mu\text{g Cl-a/L}$. La distribución superficial en el norte ($18^{\circ}30'S$) siguió el patrón de ocurrencia de la abundancia de los flagelados, observándose valores superiores a 50 $\mu\text{g Cl-a/L}$ a lo largo de toda la transecta asociados a la presencia de *Heterocapsa sp.*, con máximos de 101,4 y 151,2 $\mu\text{g Cl-a/L}$ localizados a 10 y 15 mn de la costa respectivamente. Hacia el sur ($18^{\circ}40'S$) se detectó una fuerte disminución de la concentración de clorofila-a, registrándose un foco de 6,7 $\mu\text{g Cl-a/L}$ a 25 mn, coincidente con el máximo superficial de las diatomeas (Figura 7-panel izquierdo).

En la componente vertical, la sección del norte ($18^{\circ}30'S$) reveló la presencia de las concentraciones superiores a 50 $\mu\text{g Cl-a/L}$ restringidas a la superficie. Bajo los 5 m de profundidad, la columna de agua exhibió el predominio de valores menores a 10,0 $\mu\text{g Cl-a/L}$. En la sección vertical del sur ($18^{\circ}40'S$) dominaron biomásas inferiores a 5,0 $\mu\text{g Cl-a/L}$, excepto por un foco subsuperficial de 8,2 $\mu\text{g Cl-a/L}$, ubicado a 5 m, y asociado al máximo superficial y a la presencia del grupo de las diatomeas (Figura 7-panel derecho).

Tabla 1. Formas, géneros y especies de flagelados presentes en la zona de Arica ($18^{\circ}30'S$ - $18^{\circ}40'S$) el día 17 de mayo de 2021. ABMAX: abundancia máxima (cél/mL), AP: aporte porcentual (%), TN: transecta norte, TS: transecta sur.

FLAGELADOS	TN ($18^{\circ}30'S$)		TS ($18^{\circ}40'S$)	
	ABMAX (cél/mL)	AP (%)	ABMAX (cél/mL)	AP (%)
<i>Akashiwo sanguinea</i>	25,6	0,4	0,4	0,4
<i>Brachidinium capitatum</i>	0,4	0,0	2,4	1,3
<i>Ceratium fusus</i>	0,8	0,0		
<i>Ceratium massiliense</i>	0,4	0,0		
<i>Cochlodinium sp.</i>	0,8	0,0	1,2	1,9
<i>Corythodinium diploconus</i>	0,4	0,0		
<i>Corythodinium tessellatum</i>			0,2	0,2
<i>Dictyocha fibula</i>	4,8	0,1	2,0	1,7
<i>Dinophysis acuminata</i>	3,2	0,0		
<i>Dinophysis caudata</i>	0,8	0,0	0,8	0,6
<i>Distephanus speculum</i>	1,2	0,0		
<i>Eutreptiella marina</i>	31,6	0,4	0,8	0,4
<i>Gonyaulax taylorii</i>	0,4	0,0		
<i>Gymnodinium sp.</i>	9,6	0,3	4,0	4,1
<i>Gyrodinium sp.</i>	32,4	0,9	2,4	10,1
<i>Heterocapsa sp.</i>	3818,4	97,0	135,6	78,2
Formas Kareniaceas	4,0	0,1	1,2	1,1
<i>Oxytoxum oxytoxoides</i>	0,8	0,0		
<i>Polykrikos sp.</i>	56,0	0,5		
<i>Prorocentrum gracile</i>	22,8	0,2		
<i>Prorocentrum micans</i>	0,4	0,0		
<i>Protoperidinium pellucidum</i>	1,6	0,0		
<i>Protoperidinium steinii</i>	0,4	0,0		

Tabla 2. Géneros y especies de diatomeas presentes en la zona de Arica (18°30'S-18°40'S) el día 17 de mayo de 2021. ABMAX: abundancia máxima (cél/mL), AP: aporte porcentual (%), TN: transecta norte, TS: transecta sur.

DIATOMEAS	TN (18°30'S)		TS (18°40'S)	
	ABMAX (cél/mL)	AP (%)	ABMAX (cél/mL)	AP (%)
<i>Asterionellopsis glacialis</i>	117,6	31,0	112,8	7,4
<i>Asteromphalus arachne</i>	1,2	0,1		
<i>Asteromphalus heptactis</i>	0,4	0,1		
<i>Cerataulina pelagica</i>	0,8	0,2		
<i>Chaetoceros affinis</i>	1,2	0,1	7,2	0,2
<i>Chaetoceros compressus</i>	34,4	8,8	69,6	3,5
<i>Chaetoceros convolutus</i>			0,2	0,0
<i>Chaetoceros curvisetus</i>	11,6	3,7	14	0,7
<i>Chaetoceros danicus</i>	3,2	1,3	2,4	0,2
<i>Chaetoceros dichaeta</i>			14	0,7
<i>Chaetoceros eibonii</i>			1,6	0,0
<i>Chaetoceros laciniosus</i>			22,4	1,0
<i>Chaetoceros lorenzianus</i>	8,4	4,0	20,8	1,8
<i>Chaetoceros protuberans</i>	1,6	0,1	4,8	0,1
<i>Cylindrotheca closterium</i>	6,4	3,0	3,6	0,4
<i>Dactyliosolen fragilissimus</i>	3,2	0,7	17,6	1,8
<i>Detonula pumila</i>	8,4	1,3	3,2	0,1
<i>Eucampia zodiacus</i>	10,8	4,0	7,6	0,3
<i>Guinardia delicatula</i>	13,6	4,0	19,2	0,8
<i>Guinardia striata</i>	7,6	3,6	686,4	67,6
<i>Hemiaulus sinensis</i>	0,8	0,1		
<i>Leptocylindrus mediterraneus</i>	4,4	0,7	2,8	0,2
<i>Lioloma delicatulum</i>			0,8	0,0
<i>Lioloma pacificum</i>			0,4	0,0
<i>Lithodesmium undulatum</i>	7,2	2,2	3,2	0,2
<i>Nitzschia longissima</i>	0,8	0,1	0,4	0,0
<i>Planktoniella sol</i>	0,4	0,0		
<i>Pseudo-nitzschia sp.</i>	40,8	18,3	91,2	10,8
<i>Rhizosolenia setigera</i>	0,4	0,2	0,4	0,0
<i>Skeletonema sp.</i>	22	6,2	30,8	0,9
<i>Thalassionema frauenfeldii</i>	0,4	0,0	0,8	0,0
<i>Thalassionema nitzschioides</i>			1,2	0,0
<i>Thalassiosira minuscula</i>			1,2	0,0
<i>Thalassiosira rotula</i>	13,6	6,1	15,2	0,9

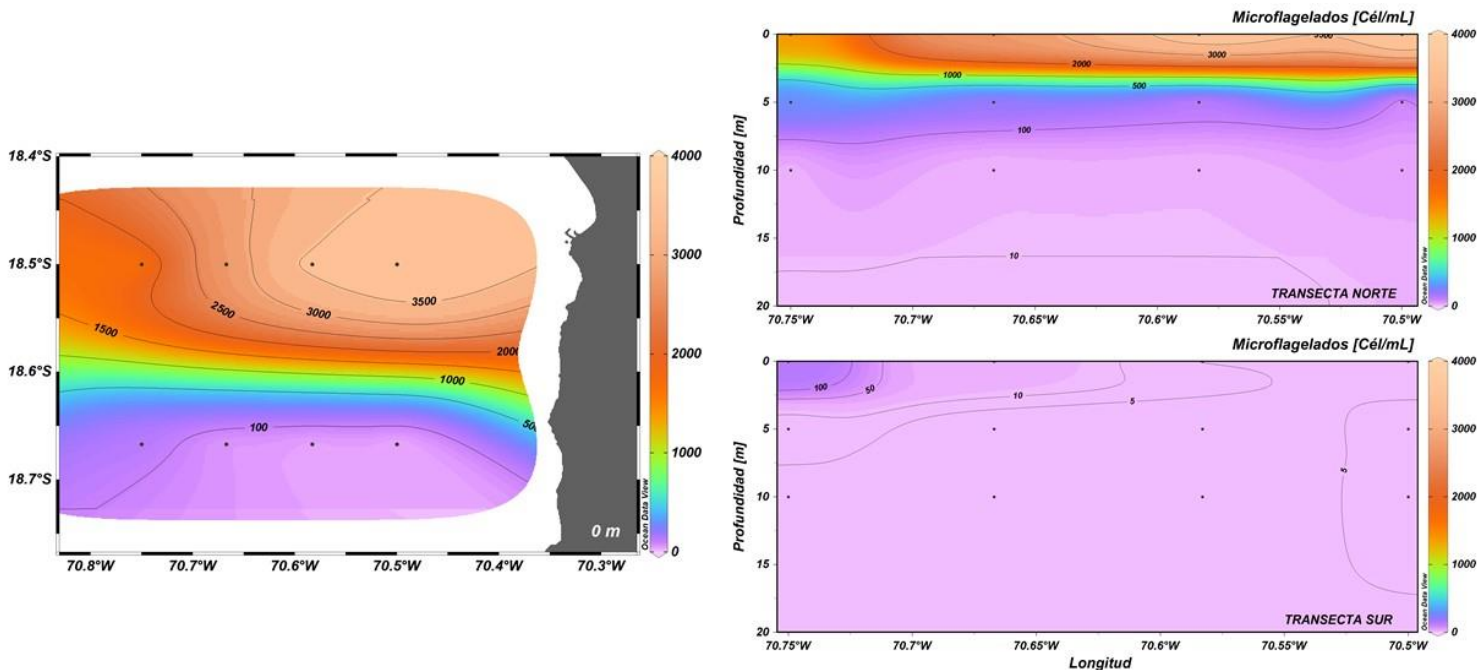


Figura 5. Distribución superficial (panel izquierdo) y distribución vertical en el sector norte (18°30'S) y sector sur (18°40'S) (panel derecho) de la abundancia (cél/mL) del grupo de los flagelados el 17 de mayo de 2021.

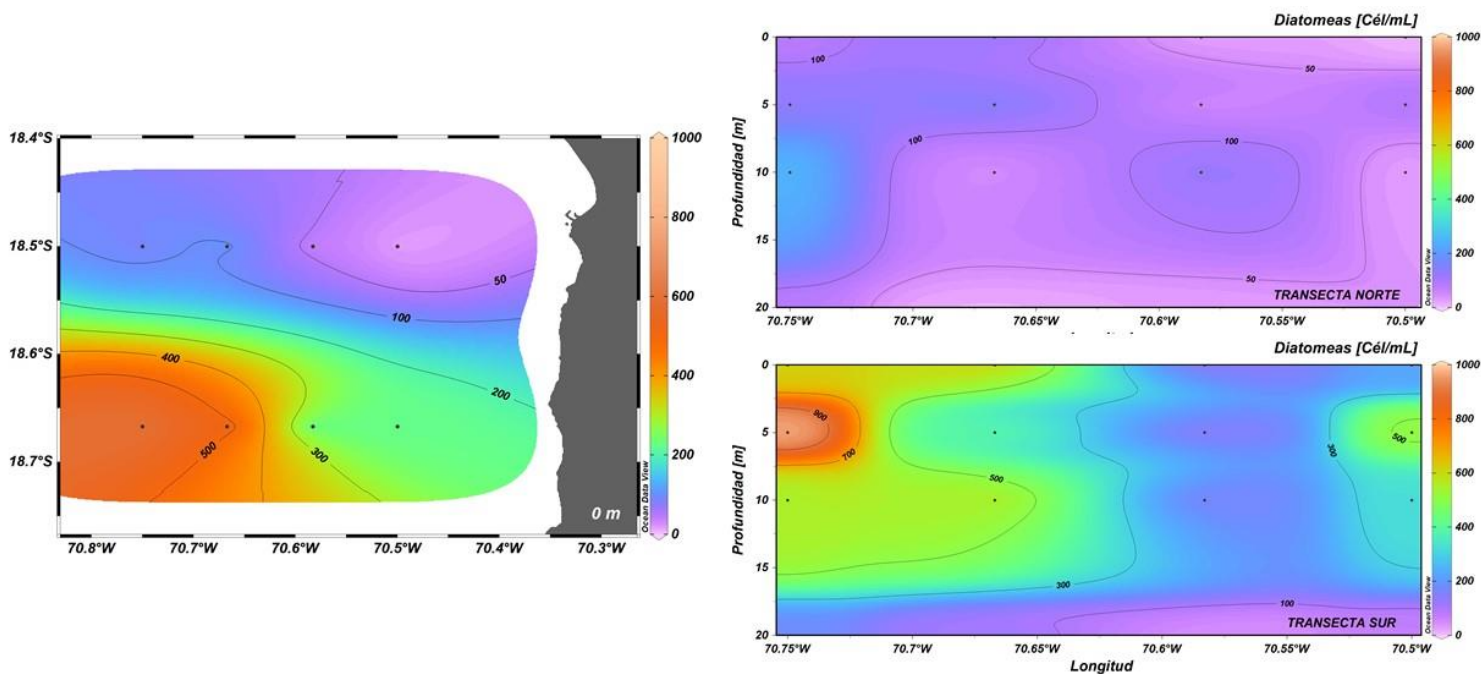


Figura 6. Distribución superficial (panel izquierdo) y distribución vertical en el sector norte (18°30'S) y sector sur (18°40'S) (panel derecho) de la abundancia (cél/mL) del grupo de las diatomeas el 17 de mayo de 2021.

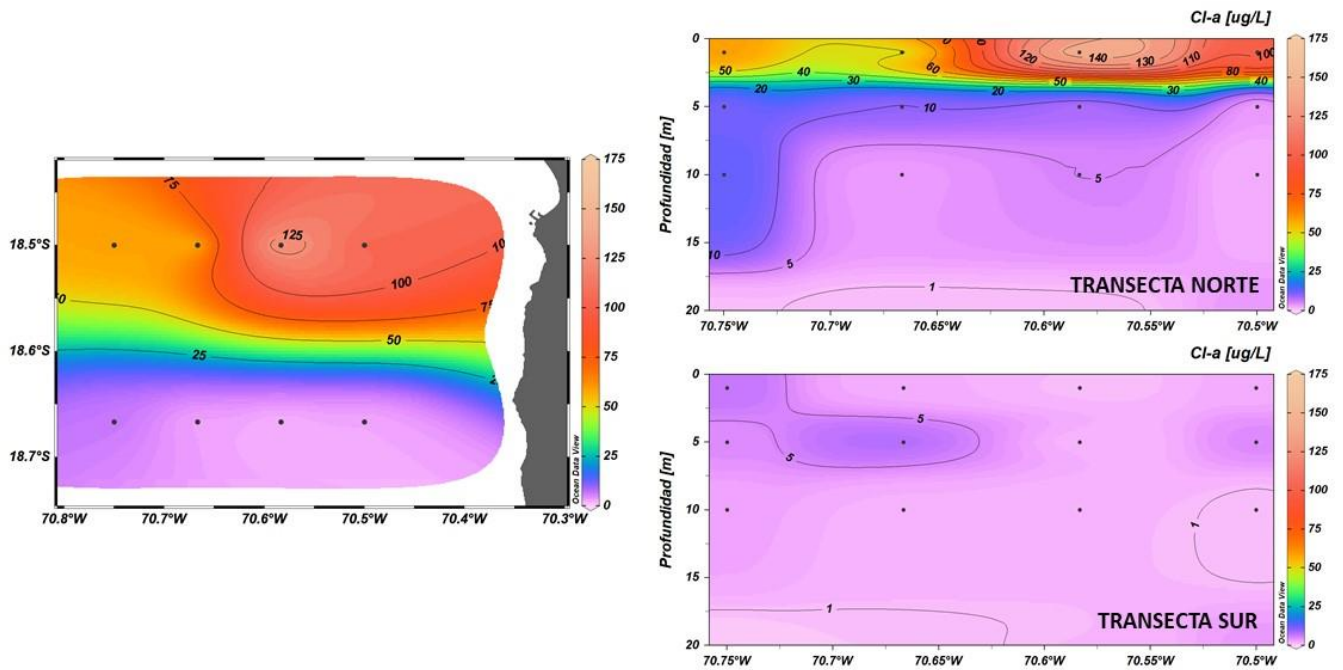


Figura 7. Distribución superficial (panel izquierdo) y distribución vertical en el sector norte (18°30'S) y sector sur (18°40'S) (panel derecho) de la biomasa fitoplanctónica ($\mu\text{g Cl-a/L}$) el 17 de mayo de 2021.

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

La forma fitoplanctónica identificada como causante del evento de discoloración, es coincidente con la información proporcionada por IFOP, en un análisis realizado en el sector costero de la ciudad de Arica, y por IMARPE para el sector sur de Perú. La presencia de concentraciones similares entre la costa y las 25 mn, sugiere el desplazamiento del organismo, desde el sector oceánico, vía procesos advectivos asociados al ASS.

Las condiciones oceanográficas registradas en la zona de muestreo no difieren de las de un periodo de otoño, con temperaturas y salinidades propias de las masas de agua que predominan en la región. Frente a Arica, es común la presencia del ASS durante todo el año, prevaleciendo un acercamiento hacia la costa en verano. Por otra parte, la actividad del afloramiento en este sector es permanente, pudiendo retener el avance hacia la costa del ASS durante los periodos de mayor intensidad que se producen en primavera y verano. La coincidencia de los altos valores de oxígeno con las máximas abundancias de *Heterocapsa* sp., indican el potencial de la actividad fotosintética de este organismo, que, junto a las diatomeas, generaron la oxigenación (>4,0 mL O₂/L) de los primeros 10 m de la columna de agua en los dos sectores analizados, registrándose la presencia del límite superior de la ZMO bajo los 20 m de profundidad, condición también característica de la zona en otoño e invierno. Se debe considerar, además, el aporte de oxígeno disuelto que realizan el ASS y particularmente el ASAA.

Con relación al organismo causante, es primera vez que se observa la presencia de *Heterocapsa* sp. en la zona en las abundancias registradas. Este es un género perteneciente al grupo de los dinoflagelados tecados, de amplia distribución mundial principalmente en aguas costeras. Tiene un tamaño mediano, que varía entre 20 y 40 µm, y forma irregular, fusiforme u ovoide. Es fotosintetizador, presentando numerosos cloroplastos. Se la caracteriza por generar intensas floraciones con varios millones de células por litro, causando discoloraciones en aguas costeras. Existe evidencia de muerte de peces relacionadas con floraciones de *Heterocapsa*, pero aparentemente no se deben a toxicidad, sino a la sobresaturación del agua con oxígeno durante el día o a la deficiencia de este gas que se genera durante la fase de descomposición. Por otra parte, dentro de los flagelados, se destaca la presencia, en menor concentración, de *Akashiwo sanguinea* y de *Prorocentrum gracile* que comúnmente generan mareas rojas en la región. También el hallazgo de formas kareniaceas en muy baja concentración (<5 cél/mL), pero que sí han sido citadas como tóxicas o potencialmente tóxicas.

Es importante considerar, además, la influencia remota, ya que, en marzo del presente, asociado al desplazamiento de una onda Kelvin ecuatorial cálida hacia el borde oriental del Pacífico, se registró un calentamiento en la región. Es probable que *Heterocapsa*, como ocurre con varias formas flageladas durante los periodos El Niño (i.e *Prorocentrum minimum*), pudo llegar a la zona y permanecer hasta que las condiciones ambientales le permitieron expandirse y expresar altas tasas de crecimiento. Considerando las predicciones de la TSM para mayo y junio de 2021, que sugieren valores bajo lo normal

en la costa de Sudamérica (CIIFEN, mayo 2021), además, de la estacionalidad (invierno-otoño), las condiciones no serán del todo favorables para el desarrollo de estos eventos en la zona.

LITERATURA CITADA Y CONSULTADA

Boletín CIIFEN El Niño/La Niña en América Latina, mayo 2021.

Heterocapsa F.Stein, 1883. <https://www.algaebase.org>

Parsons TR, Y Maita & CM Lalli. 1984. A Manual of Chemical and Biological Methods for Seawater Analysis. Pergamon Press. 173 pp.

Reporte: Identificación y Abundancia del Fitoplancton en muestras del litoral de Arica. Centro de Estudios de Algas Nocivas (CREAN). Instituto de Fomento Pesquero. 10 de mayo de 2021.

Reporte Técnico Floración Algal N°002-2021. Instituto del Mar del Perú. Mayo de 2021.

UNESCO. 1978. Phytoplankton Manual. A Sournia (Ed.). Monogr. Oceanogr. Methodology, 6, 337 pp.

Villafañe VE & FMH Reid. 1995. Métodos de microscopía para la cuantificación del fitoplancton. En: Manual de Métodos Ficológicos. K Alveal, ME Ferrario, EC Oliveira y E Sar (eds.). Universidad de Concepción, Concepción. 169-185 pp.