UNIVERSIDAD ARTURO PRAT

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

Informe

"Estudio Bio-Oceanográfico frente a las instalaciones de la Empresa Corpesca de Arica "

Por:

Dr. Rosalino Fuenzalida Fuenzalida

Dra. Liliana Herrera Campos

Febrero 2021

Iquique-Chile

INDICE

1. INTRODUCCION 3
2. OBJETIVOS 5
2. 1. OBJETIVO GENERAL 5
2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS 5
3. METODOLOGÍA 6
3.1 Información oceanográfica física-química 6
3.2 Información fitoplanctónica 7
4. RESULTADOS 9
4.1. Oceanografía física-química 9
4.2. Fitoplancton 22
4.3 Modelos Numéricos del Oxígeno Disuelto 24
4. DISCUSION 27
5. CONCLUSIONES 30
6. REFERENCIAS 32

1. INTRODUCCION

El océano Pacífico Suroriental (PSO) es reconocido como una de las áreas más productiva del océano mundial, debido a que, dentro de esta región extensa, se localiza el ecosistema de surgencia costera de Perú y Chile. Esta región se caracteriza por una alta productividad primaria que se descompone dentro de la columna de agua, consumiendo el oxígeno disuelto (OD). La alta demanda de OD en la región, combinada con una débil ventilación producen en el agua subsuperficial e intermedia del PSO, la Zona Mínima de Oxígeno o Capa Mínima de Oxígeno (ZMO o CMO) (Wyrtki, 1962, Helly y Levin, 2004, Fuenzalida *et. al* 2009).

La CMO se caracteriza por un espesor aproximado de 500 m y de una concentración de OD muy baja (<20 µmol kg^{-1}). La profundidad más somera de su límite superior (25-50 m) es alcanzada en las costas de Perú y norte de Chile (e.g. Morales *et al*., 1996; Strub *et al*., 1998). Su concentración de OD disminuye y su límite superior se profundiza más hacia el sur (e.g. ~100 m fuera de Concepción a ~37°S) (Atkinson *et al*., 2002).

La CMO en las costas de Chile está asociada al Agua Ecuatorial Subsuperficial (**AESS**) que es transportada de norte a sur a lo largo de la pendiente continental por la Corriente subsuperficial Perú-Chile hasta alcanzar 48°S (Silva y Neshyba, 1979). El **AESS** está limitada por agua con baja salinidad y alto contenido de oxígeno disuelto en su parte superior: El Agua Intermedia Superior del Pacifico Sur Oriental (**AIPSO**) (Emery y Meincke, 1986) en su parte superior y Agua Intermedia Antártica (**AIAA**) (McCartney, 1977) en su base. Ambas capas superior e inferior son las candidatas potenciales para ventilar la CMO.

La presencia de la CMO determina las características de la mayoría de las poblaciones pelágicas y bentónicas (Grantham *et al*., 2004). Es probable que la intensidad de las CMO aumente a partir del calentamiento global y del enriquecimiento de nutrientes que sustraen el oxígeno del océano (Levin, 2002). Levin sostiene que su expansión pudiera tener un efecto devastador en la pesca comercial. Asimismo, también se observa frecuentemente una intensa actividad biológica y biogeoquímica cerca del límite superior e inferior de la CMO (Mullins *et al*., 1985; Thompson *et al*., 1985; Wishner *et al*., 1990; Levin *et al*., 1991).

La posición, intensidad, y espesor de la CMO en la columna de agua puede ser modificada considerablemente por El Niño/La Niña, llevando a grandes cambios en la estructura de la comunidad y la transferencia trófica, así como cambios en la productividad y en los ciclos biogeoquímicos (por ejemplo, Morales *et al*., 1999; Ulloa *et al*., 2001; Escribano *et al*., 2004).

A pesar de la importancia de la CMO en la zona norte de Chile, su extensión total horizontal y vertical ha estimado a gran escala previamente como también algunos procesos físicos que la mantienen (Fuenzalida *et al*., 2009). Sin embargo, se desconocen los efectos sobre la conducta, distribución y dinámica poblacional, que estas variaciones de la CMO pudieran ejercer sobre los recursos marinos.

Asociados a los factores fisicoquímicos que pueden afectar a los estadios tempranos de los recursos pelágicos, están algunos factores biológicos como la depredación. En este sentido ha sido señalado que entre los principales depredadores de las fases de historia de vida temprana de anchoveta se encuentra el zooplancton gelatinoso, compuesto por cnidarios, ctenóforos, sifonóforos y quetognatos. Los últimos depredan sólo sobre larvas, ya que detectan a las presas por sus movimientos (Purcell 1992).

En la zona de Chile los eventos de surgencia pueden favorecer la agregación del zooplancton gelatinoso (Palma y Apablaza, 2004) y así ejercer un mayor efecto de depredación sobre huevos y larvas de peces. La agregación en los estratos superficiales ocurriría esencialmente por un efecto de la CMO, la cual, al ascender a la capa somera, restringe al zooplancton gelatinoso ya que éste requiere un ambiente oxigenado (Ulloa *et al*., 2000). Por otra parte, se han reportado altas abundancia de gelatinosos depredadores, tales como el sifonóforo *Muggiaea atlantica* en los sistemas de corrientes de Benguela y de Humboldt (Palma, 1994; Palma y Rosales, 1995; Ulloa *et al*., 2000**)**.

Resulta relevante entonces entender la relación entre las variaciones de la surgencia, el ascenso/descenso de la CMO, la presencia y agregación del zooplancton gelatinoso, y como tales procesos pudieran modular la sobrevivencia de huevos y larvas de peces, considerando

que los cambios en estas tasas de sobrevivencia son fundamentales para explicar las variaciones en el reclutamiento de la especie.

Finalmente, el conocimiento de efectos y la comprensión de las interacciones de la CMO con los recursos pueden llegar a constituir una herramienta de gran utilidad para el sector pesquero local y permitirá optimizar el manejo y administración de las pesquerías pelágicas y bentónicas de la región norte del país.

2. OBJETIVOS

2. 1. OBJETIVO GENERAL

- Comprender los efectos de la variabilidad de la capa mínima de oxígeno en la zona de las instalaciones de la Empresa Corpesca de Arica y su relación con las especies recursos en el Sector de Arica Chile.

2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

2.2.1. Determinar el efecto de la capa de mínimo de oxígeno frente a la instalación de la Empresa Corpesca de Arica.

2.2.2. Determinar e identificación la abundancia de la especie de fitoplancton causante de la discoloración frente a la instalación de la Empresa Corpesca de Arica.

2.2.3. Determinar el efecto de la capa de mínimo de oxígeno mediante modelos.

2.2.4. Determinar el efecto de la capa de mínimo de oxígeno en las poblaciones bentónicas de interés comercial en la proximidad de las instalaciones de la Empresa Corpesca de Arica.

3. METODOLOGÍA

Se realizó el muestreo de la columna de agua y de fitoplancton a lo largo de 3 transectos sur-norte, en 9 estaciones georreferenciadas que cubren toda la zona de influencia de la Empresa Corpesca de Arica, más 1 estaciones fuera del área en el Terminal Pesquero de Corpesca de Arica.

3.1 Información oceanográfica física-química

Se realizaron 3 transectas y en cada una de las transectas se realizaron 3 estaciones oceanográficas, con un total de 9 estaciones, durante el 23 de febrero 2021. En cada una de las estaciones de la grilla de muestreo, se obtuvieron registros continuos de temperatura (ºC), salinidad (psu), concentración de oxígeno disuelto (mL/L) y fluorescencia (Unidades relativas de Cla) con profundidad (dbar), hasta un máximo de 32 dbar, mediante el uso de un CTDOF marca SEA BIRD 19.

La tabla 1a presentan las coordenadas geográficas de las estaciones para el monitoreo, frente a la Empresa Corpesca de Arica, en tanto que la figura 1 presentan un esquema de la posición de las estaciones.

Tabla 1a. Coordenadas geográficas de las estaciones oceanográficas. Se incluye la profundidad máxima de muestreo en Empresa Corpesca de Arica, durante el 23 de febrero de 2021.

Estaciones	Latitud	Longitud	Zmáx (m)
TCS_1	18° 31' 18,54"	70° 19' 27,90"	8
TCS_2	18° 31' 14,70"	70° 19' 41,76"	21
TCS_3	18° 31' 11,88"	70° 20' 09,66"	32
TCC_4	18° 30' 36,60"	70° 19' 18,66"	8
TCC_5	18° 30' 33,30"	70° 19' 43,74"	27
TCC_6	18° 30' 44,28"	70° 20' 14,40"	32
TCN_7	18° 30' 13,20"	70° 19' 24,18"	7
TCN_8	18° 30' 15,42"	70° 19' 37,50"	16
TCN_9	18° 30' 14,94"	70° 20' 13,80"	32

Para el procesamiento de la información se aplicaron métodos computacionales convencionales.

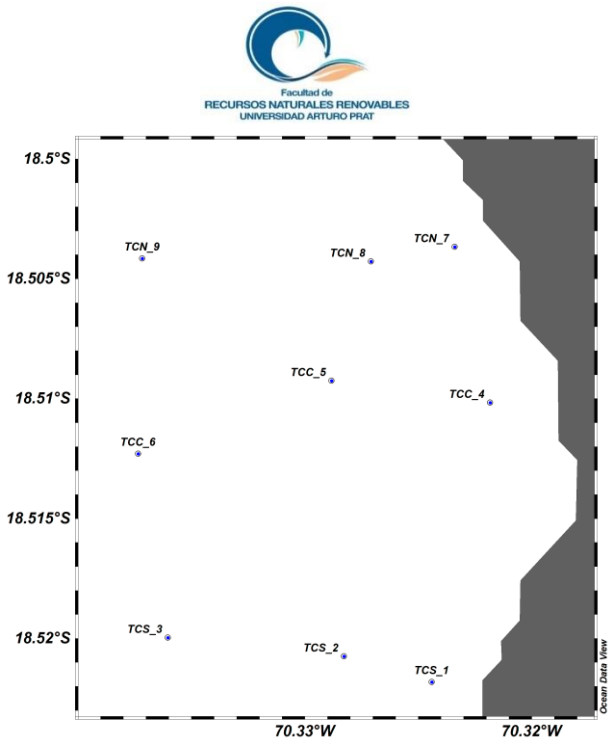

Figura 1. Posición geográfica de las estaciones oceanográficas física-química, durante el 23 de febrero 2021, a bordo de la Lancha de Servicios JC Oviedo de Corpesca. TCS: Transecta Corpesca Sur, TCC: Transecta Corpesca Centro y TCN: Transecta Corpesca Norte.

3.2 Información fitoplanctónica

En el sector adyacente a la planta Corpesca de Arica, se establecieron 6 estaciones de muestreo a una distancia aproximada de 1 mn de la costa, cubriendo el área entre el puerto de la empresa, hasta el sector sur (Figura 2).

La tabla 1b presentan las coordenadas geográficas de las estaciones para el monitoreo, frente a la Empresa Corpesca de Arica, en tanto que la figura 2 presentan un esquema de la posición de las estaciones.

Tabla 1b. Coordenadas geográficas de las estaciones de las estaciones de monitoreo de fitoplancton en la Empresa Corpesca de Arica, durante el 23 de febrero de 2021.

Estaciones	Latitud	Longitud
CS_1	18° 31' 18,54"	70° 19' 27,90"
CS_2	18° 31' 14,70"	70° 19' 41,76"
CC_4	18° 30' 36,60"	70° 19' 18,66"
CC_5	18° 30' 33,30"	70° 19' 43,74"
CN_7	18° 30' 13,20"	70° 19' 24,18"
PC_10	18° 28' 25,86"	70° 19' 23,52"

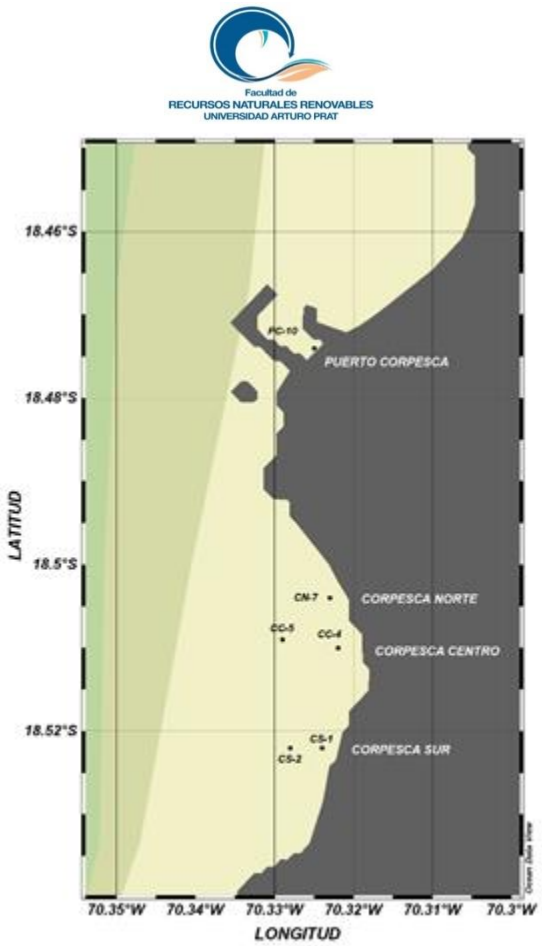

Figura 2. Área de estudio y posición de las estaciones de muestreo durante el 23 de febrero 2021, a bordo de la Lancha de Servicios JC Oviedo de Corpesca. PC: Puerto Corpesca, CN: Corpesca Norte, CC: Corpesca Centro, CS: Corpesca Sur

En cada una de las estaciones, con el uso de botellas oceanográficas Niskin, se obtuvieron muestras de agua desde la superficie para la identificación y determinación de la abundancia de la especie de fitoplancton causante de la discoloración. Este análisis se realizó el con el método para microscopio invertido siguiendo las recomendaciones de UNESCO (1978) y Villafañe & Reid (2005).

4. RESULTADOS

4.1. Oceanografía física-química

Temperatura

La distribución de la temperatura superficial del mar en el sector de estudio fluctuó entre 14,49°C y 15,97°C, siendo la distribución de las temperaturas relativamente bajas para el período de verano de 2021 (Figura 2a). La distribución térmica en la capa superficial frente a las instalaciones de la Empresa Corpesca se presentó homogénea presentando un valor promedio del orden de 15,39°C. Hacia el sector central de la Empresa Corpesca, se observó un núcleo con valores relativamente superiores a 15,50°C, hacia el sector oceánico aumentaron levemente los valores alcanzando valores del orden de 15,97°C y hacia el sector norte se observó un núcleo con valores inferiores a 14,50°C (Tabla 2, 3 y 4 y Figura 3a).

La distribución de la temperatura del mar en la máxima profundidad de muestreo en el sector de estudio varió entre 12,95°C y 13,41°C, siendo también la distribución de las temperaturas relativamente bajas para la época con un valor promedio de 13,10°C (Tabla 2, 3 y 4 y Figura 4a).

En cuanto a la estructura térmica vertical frente a la Empresa Corpesca, la capa de mezcla fluctuó entre 2 a 3m y la termoclina se ubicó entre 3m y 8m de profundidad entre la parte Sur y Central de la Empresa Corpesca, en cambio, en el sector norte la termoclina se ubicó entre 4 a 10m de profundidad, siendo la más profunda la estación TCN_8 (10m). Paralelamente, se observaron relativamente débiles gradientes térmicos verticales en todo el sector de estudio de la Empresa Corpesca, debido a la débil estratificación de la columna de agua (Figuras 6a, 7a, 8a).

Salinidad

La distribución de salinidad superficial del mar fluctuó entre 34,690 psu a 34,868 psu, presentando un valor promedio del orden de 34,820 psu. Hacia el sector norte y central se ubica un máximo relativo salino con valores superiores a 34,85 psu que se extiende hacia el oeste y hacia el sector norte-sur y hacia el oeste de la Empresa Corpesca, la salinidad

disminuyo generando valores < 34,80 psu. Paralelamente, en el sector norte hacia el oeste disminuye la salinidad drásticamente alcanzando valores inferiores a 34,70 psu (Tabla 2, 3 y 4 y Figura 3b).

La distribución de salinidad en la máxima profundidad de muestreo osciló entre 34,817 psu a 34,878 psu, presentando un valor promedio de 34,861 psu. Hacia el sector sur y próximo a la costa de la Empresa Corpesca, la salinidad disminuyo, alcanzando valores < 34,82 psu. En cambio, hacia el sector central y norte, la salinidad aumento relativamente con valores del orden de 34,85 psu (Tabla 2, 3 y 4 y Figura 4b).

La estructura vertical salina presentó aguas relativamente con bajas salinidades a nivel superficial en el sector norte hacia el oeste de la Empresa Corpesca, con valores del orden de 34,70 psu asociada al Agua Intermedia Superior del Pacifico Sur Oriental (AIPSO), luego la salinidad se incrementa paulatinamente con profundidad. En cambio, en el sector centro-sur de la Empresa Corpesca la salinidad se incrementa levemente. Finalmente, a nivel subsuperficial se ubica un relativo máximo salino con valores > 34.85 psu asociado al agua Ecuatorial Subsuperficial (AESS) (Figuras 6b, 7b, 8b).

Densidad

La distribución superficial de densidad en el sector de estudio osciló entre 25,525 kg/m3 y 25,986 kg/m3, presentando un valor promedio del orden de 25,756 kg/m3. Hacia el sector norte de la Empresa Corpesca, se observó un relativo aumento del campo de densidad con valores del orden de 25,90 kg/m3 y hacia el sector oeste una relativa disminución de la densidad con valores < 25,70 kg/m3. Hacia el sector central y sur la densidad es relativamente homogénea con valores entre 25,63 kg/m3 a 25,75 kg/m3 (Tabla 2, 3 y 4 y Figura 3c).

La distribución de densidad en la máxima profundidad de muestreo en el sector de estudio fluctuó entre 25,208 kg/m3 y 26,457 kg/m3, con un valor promedio del orden de 26,361 kg/m3. Además, la distribución de las isopícnas presentó un relativo aumento de la densidad

desde la costa hacia el oeste del área de estudio que fluctúo entre 26,20 kg/m3 a 26,45 kg/m3 (Tabla 2, 3 y 4 y Figura 4c).

De acuerdo con la distribución vertical de densidad se observa una picnoclina levemente desarrollada, representada por la isopícna de 26,00 kg/m3 y asociada con la termoclina en el sector de la Empresa Corpesca. Además, se observaron relativamente débiles gradientes verticales de densidad asociados a una relativamente débil estratificación en la columna de agua en toda el área de estudio de la Empresa Corpesca (Figuras 6c, 7c, 8c).

Clorofila-a

La distribución superficial de Clorofila-a (Cla)en el sector de estudio osciló entre 0,170 unidades relativas de Cla y 62,075 unidades relativas de Cla, presentando un valor promedio del orden de 10,610 unidades relativas de Cla. Hacia el sector central y sur de la Empresa Corpesca, se observó en el sector un núcleo de Clorofila-a con un valor máximo de 62,075 unidades relativas de Cla (Tabla 2, 3 y 4 y Figura 3d).

La distribución de Clorofila-a en la máxima profundidad de muestreo en el sector de estudio fluctuó entre 1,656 unidades relativas de Cla y 3,376 unidades relativas de Cla, con un valor promedio del orden de 2,40 unidades relativas de Cla. En todo el sector de estudio se observó que la distribución de la Clorofila-a es homogénea, presentando muy bajos valores entre 2 unidades relativas de Cla a 3 unidades relativas de Cla (Tabla 5, 6, 7, 8 y 9 y Figura 3d).

De acuerdo con la distribución vertical de Clorofila-a presenta una capa superficial costera entre 0 y 5m de profundidad valores entre 5 unidades relativas de Cla a 10 unidades relativas de Cla en el sector sur y entre 5 unidades relativas de Cla a 60 unidades relativas de Cla en el sector central de la Empresa Corpesca, disminuyendo hacia los niveles más profundos y hacia el oeste donde alcanzan valores de 2 unidades relativas de Cla (Figuras 6d, 7d, 8d).

Oxígeno Disuelto

La distribución del contenido de oxígeno superficial en el sector de estudio presentó relativamente bajos valores que oscilan, en general, entre 2,347 mL/L a 4,520 mL/L con un valor promedio del orden de 3,047 mL/L. En la parte del sector central de la Empresa Corpesca, se observa un relativo alto contenido de oxígeno disuelto con valores < 4,5 mL/L, y hacia el sector norte y sur disminuye, alcanzando valores < 3,0 mL/L y 2,0 mL/L respectivamente. Hacia el oeste, en todo el sector de estudio el oxígeno disuelto disminuye alcanzando valores de 2,5 mL/L, luego se incrementa levemente (Tabla 2, 3 y 4 y Figura 3e).

La distribución del contenido de oxígeno en la máxima profundidad de muestreo presentó valores que fluctúan, en general, entre 0,033 mL/L a 0,106 mL/L, en general el área de estudio presenta muy bajos valores, con un valor promedio del orden de 0,065 mL/L, siendo un claro indicador de hipoxia. En la parte central y hacia la zona costera de la Empresa Corpesca, se observa un núcleo de muy bajo contenido de oxígeno disuelto < 0.1 mL/L, y hacia el sector sur y norte, disminuye aun mas el oxígeno disuelto alcanzando valores < 0,060 mL/L (Tabla 2, 3 y 4 y Figura 4e).

La distribución vertical del contenido de oxígeno disuelto presentó una capa superficial poco oxigenada con valores entre 2 mL/L y 3 mL/L en el sector costero del área de estudio de la Empresa Corpesca, disminuyendo hacia los niveles más profundos, alcanzando valores inferiores a 0,5 mL/L entre 4 a 6m de profundidad el sector sur, 3 y 8m de profundidad en el sector central y de 4 a 5m de profundidad en el sector norte, con excepción la estación TCN_8 que alcanzo 10m de profundidad. Posteriormente, en el nivel de máxima profundidad alcanzaron valores inferiores a 0,1 mL/L, destacándose una hipoxia (Figuras 6e, 7e, 8e).

Tabla 2. Resultados de Temperatura (°C), Salinidad (psu), Densidad (kg/m^3), Clorofila-a (Unidades Relativas) y Oxígeno disuelto (mL/L) en la columna de agua, para las estaciones oceanográficas; TCS_1, TCS_2 y TCS_3, durante el 23 de febrero del 2021, frente a las instalaciones de la Empresa Corpesca de Arica.

Estación	Z [m]	Temperatura [°C]	Salinidad [psu]	Densidad [kg/m^3]	CHL [U. Relativas]	Oxigeno [mL/L]
TCS_1	1	15,247	34,793	25,7671	19,625	2,455
	2	15,157	34,788	25,7878	7,501	1,492
	3	14,790	34,631	25,7513	3,240	1,081
	4	14,189	34,801	26,0159	1,037	0,548
	5	14,141	34,765	26,0025	1,469	0,325
	6	14,054	34,748	26,0122	1,773	0,214
	7	13,850	34,771	26,0773	2,193	0,107
	8	13,411	34,817	26,2082	2,594	0,033
TCS_2	1	15,631	34,847	25,7231	2,498	2,898
	2	15,401	34,823	25,7603	6,094	2,727
	3	15,133	34,724	25,7476	7,424	1,979
	4	14,248	34,750	25,9643	1,671	0,636
	5	13,854	34,792	26,0840	0,859	0,261
	6	13,698	34,782	26,1127	0,889	0,163
	7	13,483	34,805	26,1796	0,890	0,097
	8	13,356	34,832	26,2307	0,865	0,087
	9	13,282	34,838	26,2551	0,981	0,084
	10	13,234	34,849	26,2780	1,023	0,081
	11	13,192	34,860	26,2993	1,004	0,077
	12	13,174	34,863	26,3098	1,087	0,074
	13	13,168	34,865	26,3167	1,139	0,073
	14	13,166	34,864	26,3214	1,170	0,072
	15	13,161	34,862	26,3252	1,200	0,071
	16	13,151	34,861	26,3307	1,218	0,070
	17	13,144	34,860	26,3363	1,251	0,069
	18	13,127	34,863	26,3464	1,491	0,068
	19	13,117	34,864	26,3534	1,719	0,068
	20	13,105	34,862	26,3590	1,900	0,066
	21	13,091	34,867	26,3701	2,000	0,066
TCS_3	1	15,802	34,772	25,6261	1,641	2,956
	2	15,430	34,781	25,7215	2,525	2,596
	3	14,926	34,771	25,8299	1,684	1,964
	4	14,605	34,798	25,9243	0,948	1,532
	5	14,073	34,771	26,0213	0,600	0,798
	6	13,806	34,763	26,0758	0,643	0,468
	7	13,470	34,786	26,1673	0,801	0,142
	8	13,330	34,823	26,2289	0,858	0,077
	9	13,240	34,854	26,2761	0,844	0,080
	10	13,215	34,860	26,2897	0,814	0,083
	11	13,203	34,861	26,2982	0,816	0,081
	12	13,192	34,862	26,3051	0,859	0,077
	13	13,181	34,862	26,3118	0,878	0,074
	14	13,167	34,860	26,3175	0,878	0,072
	15	13,151	34,859	26,3248	0,896	0,071
	16	13,135	34,860	26,3335	0,913	0,071
	17	13,124	34,862	26,3418	0,918	0,070
	18	13,117	34,864	26,3488	0,938	0,070
	19	13,105	34,864	26,3557	1,087	0,069
	20	13,093	34,864	26,3626	1,385	0,068
	21	13,089	34,864	26,3685	1,500	0,068
	22	13,080	34,866	26,3761	1,748	0,066
	23	13,070	34,867	26,3834	1,916	0,066
	24	13,068	34,867	26,3885	1,958	0,066
	25	13,065	34,867	26,3936	2,050	0,065
	26	13,061	34,867	26,3989	2,151	0,065
	27	13,058	34,868	26,4046	2,212	0,065
	28	13,056	34,868	26,4092	2,196	0,063
	29	13,052	34,867	26,4138	2,151	0,063
	30	13,043	34,866	26,4194	2,113	0,063
	31	13,035	34,861	26,4217	2,185	0,065
	32	13,009	34,854	26,4265	2,236	0,064

Tabla 3. Resultados de Temperatura (°C), Salinidad (psu), Densidad (kg/m^3), Clorofila-a (Unidades Relativas) y Oxígeno disuelto (mL/L) en la columna de agua, para las estaciones oceanográficas; TCC_4, TCC_5 y TCC_6, durante el 23 de febrero del 2021, frente a las instalaciones de la Empresa Corpesca de Arica.

Estación	Z [m]	Temperatura [°C]	Salinidad [psu]	Densidad [kg/m^3]	CHL [U. Relativas]	Oxigeno [mL/L]
TCC_4	1	15,562	34,851	25,7414	62,075	4,520
	2	15,454	34,828	25,7525	20,828	3,841
	3	14,148	34,629	25,8872	3,297	0,547
	4	13,843	34,656	25,9765	2,615	0,206
	5	13,773	34,681	26,0150	2,581	0,195
	6	13,503	34,766	26,1409	2,238	0,135
	7	13,263	34,836	26,2480	2,139	0,098
	8	13,185	34,869	26,2945	2,461	0,106
TCC_5	1	15,124	34,857	25,8432	1,502	2,347
	2	15,076	34,772	25,7933	4,587	2,104
	3	14,618	34,736	25,8691	3,643	1,319
	4	14,294	34,818	26,0068	3,128	1,056
	5	14,264	34,825	26,0231	3,005	1,017
	6	14,211	34,815	26,0311	2,568	0,907
	7	14,107	34,803	26,0482	1,946	0,733
	8	13,930	34,788	26,0780	1,316	0,492
	9	13,689	34,792	26,1358	1,020	0,255
	10	13,508	34,813	26,1943	0,968	0,130
	11	13,390	34,840	26,2435	0,962	0,087
	12	13,328	34,846	26,2651	1,034	0,086
	13	13,265	34,842	26,2799	1,286	0,084
	14	13,199	34,844	26,2992	1,680	0,080
	15	13,142	34,854	26,3228	2,073	0,077
	16	13,106	34,865	26,3432	2,292	0,074
	17	13,097	34,868	26,3519	2,299	0,072
	18	13,092	34,868	26,3570	2,331	0,071
	19	13,085	34,867	26,3621	2,421	0,069
	20	13,079	34,865	26,3662	2,478	0,068
	21	13,058	34,860	26,3711	2,547	0,068
	22	13,021	34,859	26,3827	2,569	0,067
	23	12,993	34,864	26,3967	2,554	0,066
	24	12,981	34,868	26,4069	2,514	0,066
	25	12,976	34,869	26,4129	2,437	0,065
	26	12,972	34,869	26,4181	2,360	0,065
	27	12,970	34,870	26,4235	2,399	0,065
TCC_6	1	15,638	34,868	25,7375	2,434	3,258
	2	15,283	34,661	25,6620	6,733	1,940
	3	14,491	34,758	25,9137	0,412	1,218
	4	14,457	34,730	25,9039	0,776	1,083
	5	14,324	34,719	25,9286	0,796	0,878
	6	14,160	34,723	25,9708	0,804	0,664
	7	13,941	34,734	26,0295	0,810	0,428
	8	13,668	34,762	26,1123	0,810	0,202
	9	13,457	34,798	26,1882	0,798	0,101
	10	13,331	34,831	26,2438	0,791	0,082
	11	13,266	34,852	26,2783	0,792	0,086
	12	13,241	34,858	26,2925	0,819	0,088
	13	13,224	34,858	26,3005	0,873	0,087
	14	13,202	34,858	26,3092	0,947	0,084
	15	13,180	34,858	26,3183	1,012	0,081
	16	13,164	34,858	26,3261	1,089	0,079
	17	13,148	34,859	26,3341	1,190	0,078
	18	13,130	34,860	26,3433	1,331	0,081
	19	13,114	34,863	26,3530	1,490	0,086
	20	13,100	34,866	26,3629	1,630	0,090
	21	13,091	34,867	26,3702	1,741	0,086
	22	13,084	34,868	26,3764	1,868	0,077
	23	13,080	34,868	26,3819	1,994	0,072
	24	13,076	34,867	26,3870	2,123	0,070
	25	13,071	34,867	26,3921	2,206	0,070
	26	13,065	34,866	26,3973	2,217	0,070
	27	13,057	34,865	26,4024	2,150	0,070
	28	13,048	34,862	26,4068	2,045	0,070
	29	13,032	34,859	26,4123	1,961	0,070
	30	13,010	34,852	26,4159	1,841	0,071
	31	12,972	34,859	26,4333	1,840	0,071
	32	12,950	34,878	26,4569	1,656	0,072

Tabla 4. Resultados de Temperatura (°C), Salinidad (psu), Densidad (kg/m3), Clorofila-a (Unidades Relativas) y Oxígeno disuelto (mL/L) en la columna de agua, para las estaciones oceanográficas; TCN_7, TCN_8 y TCN_9, durante el 23 de febrero del 2021, frente a las instalaciones de la Empresa Corpesca de Arica.

Estación	Z [m]	Temperatura [°C]	Salinidad [psu]	Densidad [kg/m^3]	CHL [U. Relativas]	Oxigeno [mL/L]
TCN_7	1	14,448	34,851	25,9858	0,395	3,365
	2	14,443	34,843	25,9849	0,508	3,338
	3	14,421	34,793	25,9556	0,713	3,026
	4	14,205	34,728	25,9558	1,311	1,202
	5	13,925	34,712	26,0072	1,554	0,792
	6	13,497	34,762	26,1388	1,966	0,213
	7	13,210	34,850	26,2696	2,205	0,034
TCN_8	1	15,053	34,851	25,8546	5,146	2,447
	2	15,015	34,846	25,8633	9,992	2,306
	3	14,635	34,845	25,9500	6,666	1,634
	4	14,551	34,846	25,9737	5,039	1,481
	5	14,541	34,847	25,9805	4,898	1,474
	6	14,527	34,840	25,9826	4,570	1,431
	7	14,492	34,828	25,9854	3,951	1,329
	8	14,431	34,805	25,9850	3,217	1,168
	9	14,309	34,773	25,9911	2,328	0,912
	10	14,143	34,745	26,0093	1,680	0,650
	11	13,897	34,728	26,0521	1,308	0,385
	12	13,556	34,744	26,1396	1,364	0,156
	13	13,279	34,798	26,2426	2,035	0,086
	14	13,127	34,856	26,3226	2,832	0,089
	15	13,095	34,870	26,3450	3,179	0,090
	16	13,092	34,871	26,3508	3,376	0,083
TCN_9	1	15,972	34,690	25,5249	0,170	3,180
	2	15,627	34,641	25,5695	6,073	2,620
	3	14,289	34,698	25,9107	1,489	0,703
	4	13,952	34,754	26,0290	0,689	0,448
	5	13,840	34,780	26,0776	0,676	0,383
	6	13,777	34,789	26,1020	0,734	0,345
	7	13,629	34,800	26,1454	0,821	0,246
	8	13,420	34,818	26,2071	0,869	0,120
	9	13,323	34,836	26,2448	0,901	0,089
	10	13,257	34,848	26,2727	1,009	0,087
	11	13,200	34,854	26,2932	1,106	0,085
	12	13,176	34,857	26,3046	1,116	0,082
	13	13,155	34,859	26,3148	1,193	0,080
	14	13,114	34,864	26,3316	1,596	0,084
	15	13,107	34,866	26,3389	1,744	0,095
	16	13,100	34,867	26,3460	1,889	0,107
	17	13,095	34,868	26,3523	2,056	0,114
	18	13,090	34,868	26,3579	2,198	0,103
	19	13,087	34,868	26,3627	2,214	0,086
	20	13,082	34,867	26,3674	2,205	0,071
	21	13,073	34,865	26,3721	2,265	0,068
	22	13,060	34,864	26,3785	2,347	0,069
	23	13,048	34,863	26,3849	2,330	0,069
	24	13,029	34,862	26,3925	2,235	0,068
	25	13,010	34,863	26,4014	2,176	0,067
	26	12,993	34,866	26,4113	2,169	0,067
	27	12,983	34,868	26,4198	2,200	0,067
	28	12,979	34,869	26,4257	2,202	0,067
	29	12,977	34,869	26,4308	2,138	0,066
	30	12,976	34,869	26,4353	2,164	0,065
	31	12,975	34,869	26,4401	2,230	0,065
	32	12,974	34,869	26,4453	2,671	0,066

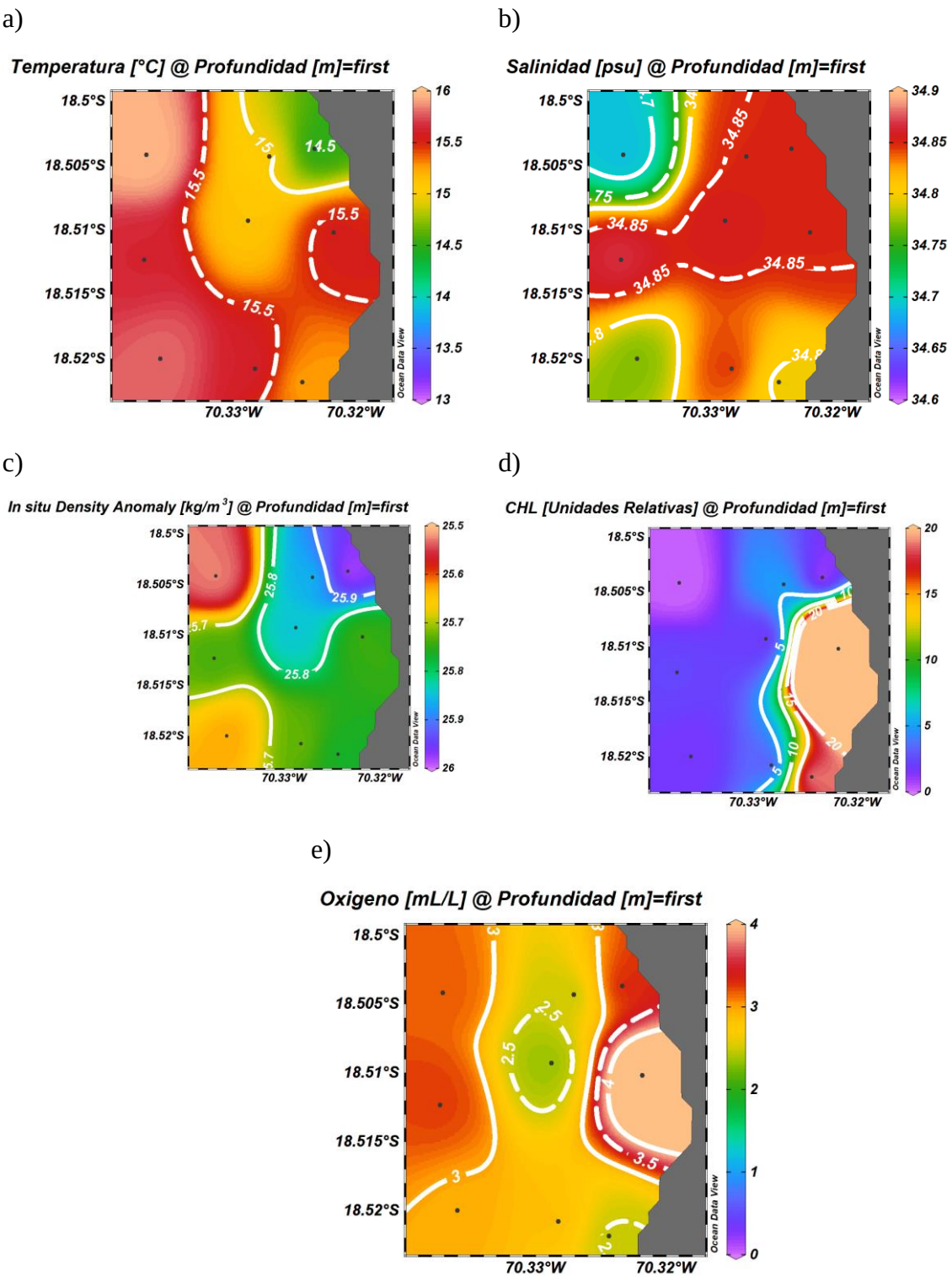

Figura 3. Distribución superficial de (a) Temperatura (°C), (b) Salinidad (psu), (c) Densidad (kg/m^3), (d) Clorofila-a (Unidades Relativas) y (e) Oxígeno disuelto (mL/L), durante el 23 de febrero del 2021, frente a la instalación de la Empresa Corpesca de Arica.

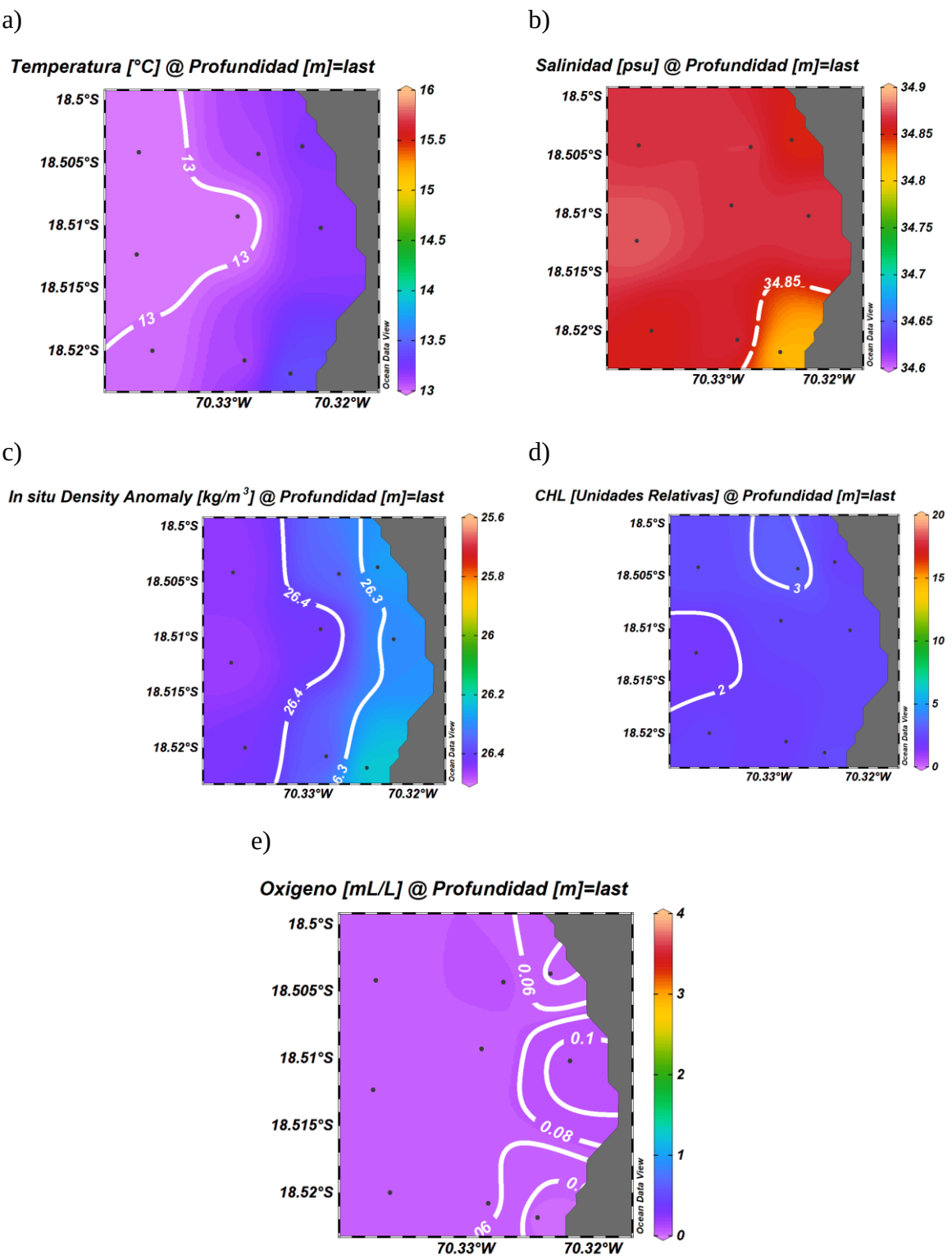

Figura 4. Distribución de (a) Temperatura (°C), (b) Salinidad (psu), (c) Densidad (kg/m^3), (d) Clorofila-a (Unidades Relativas) y (e) Oxígeno disuelto (mL/L) en la máxima profundidad de muestreo, durante el 23 de febrero del 2021, frente a la instalación de la Empresa Corpesca de Arica.

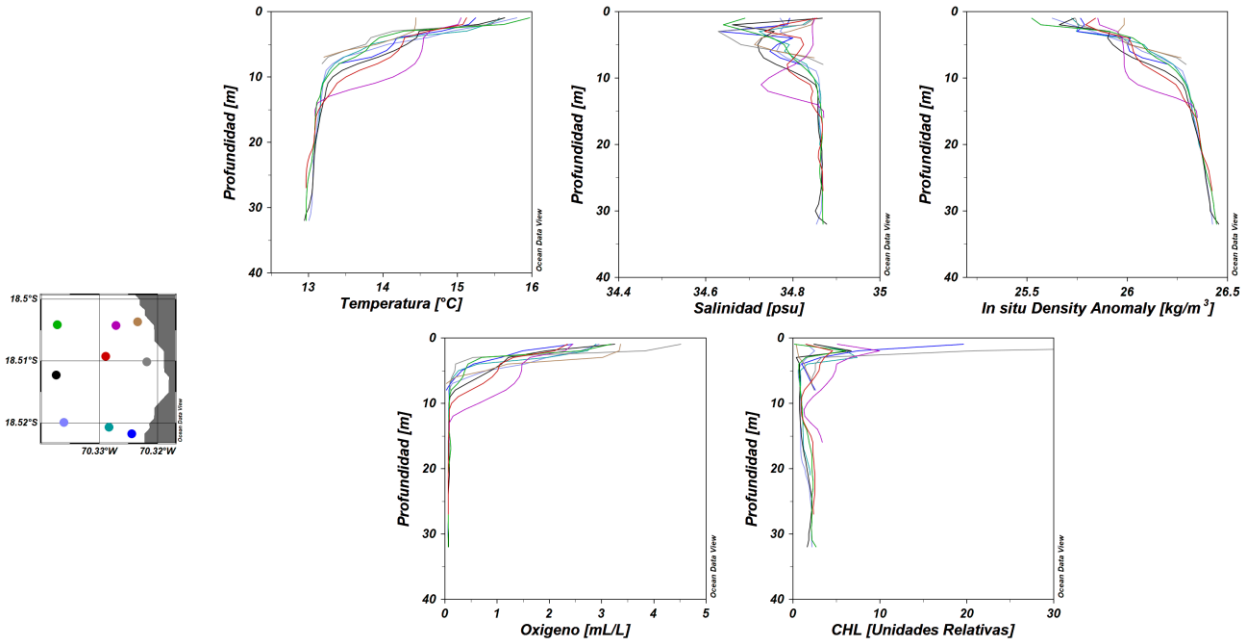

Figura 5. Perfiles verticales de (a) Temperatura (°C), (b) Salinidad (psu), (c) Densidad (kg/m^3), (d) Clorofila-a (Unidades Relativas) y (e) Oxígeno disuelto (mL/L) en estaciones oceanográficas (TCS_1, TCS_2, TCS_3, TCC_4, TCC_5, TCC_6, TCN_7, TCN_8 y TCN_9, durante el 23 de febrero del 2021, frente a la instalación de la Empresa Corpesca de Arica.

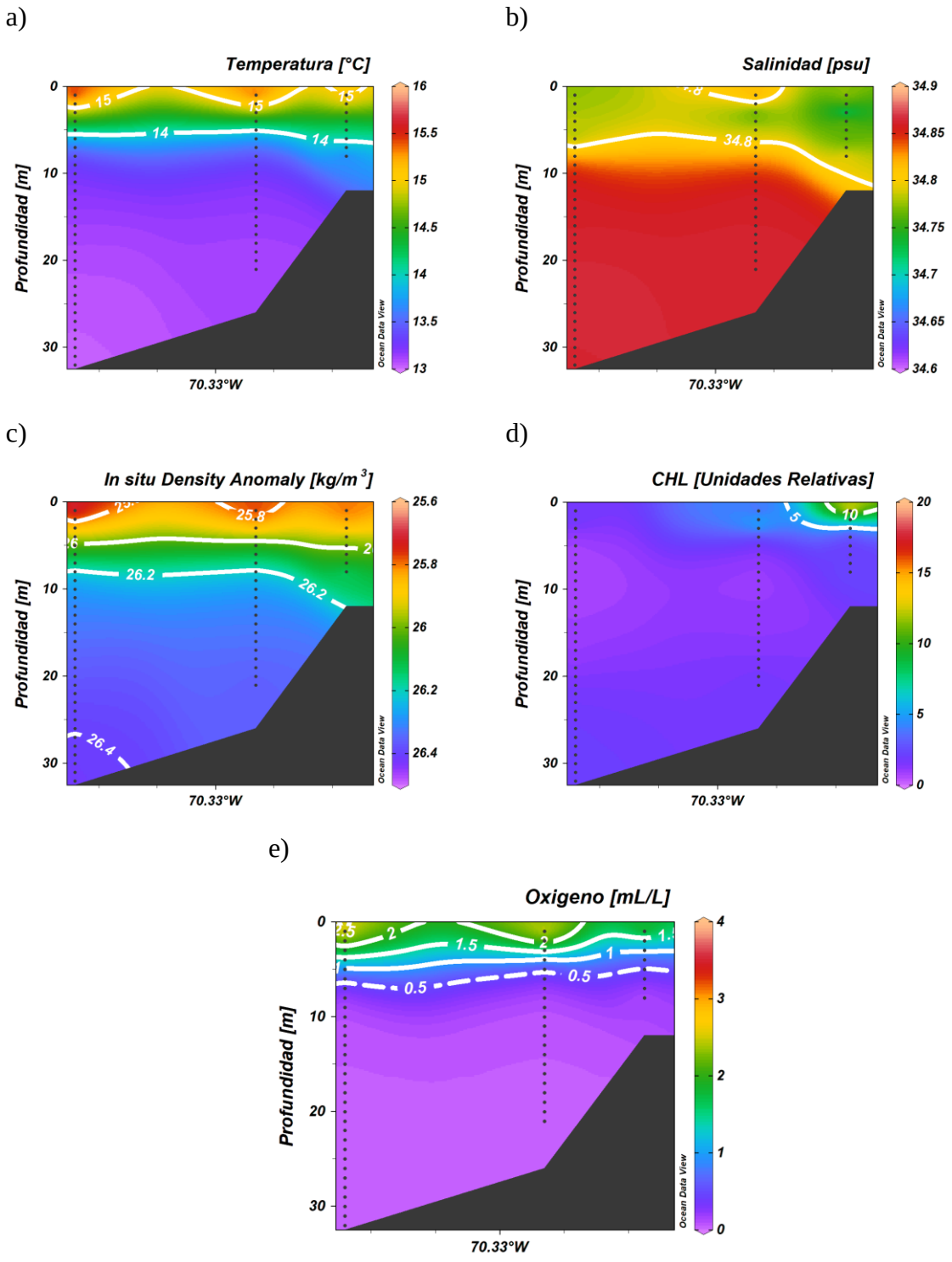

Figura 6. Distribución vertical de (a) Temperatura (°C), (b) Salinidad (psu), (c) Densidad (kg/m^3), (d) Clorofila-a (Unidades Relativas) y (e) Oxígeno disuelto (mL/L) en la Transecta Corpesca Sur (TCS_1, TCS_2 y TCS_3), durante el 23 de febrero del 2021, frente a la instalación de la Empresa Corpesca de Arica.

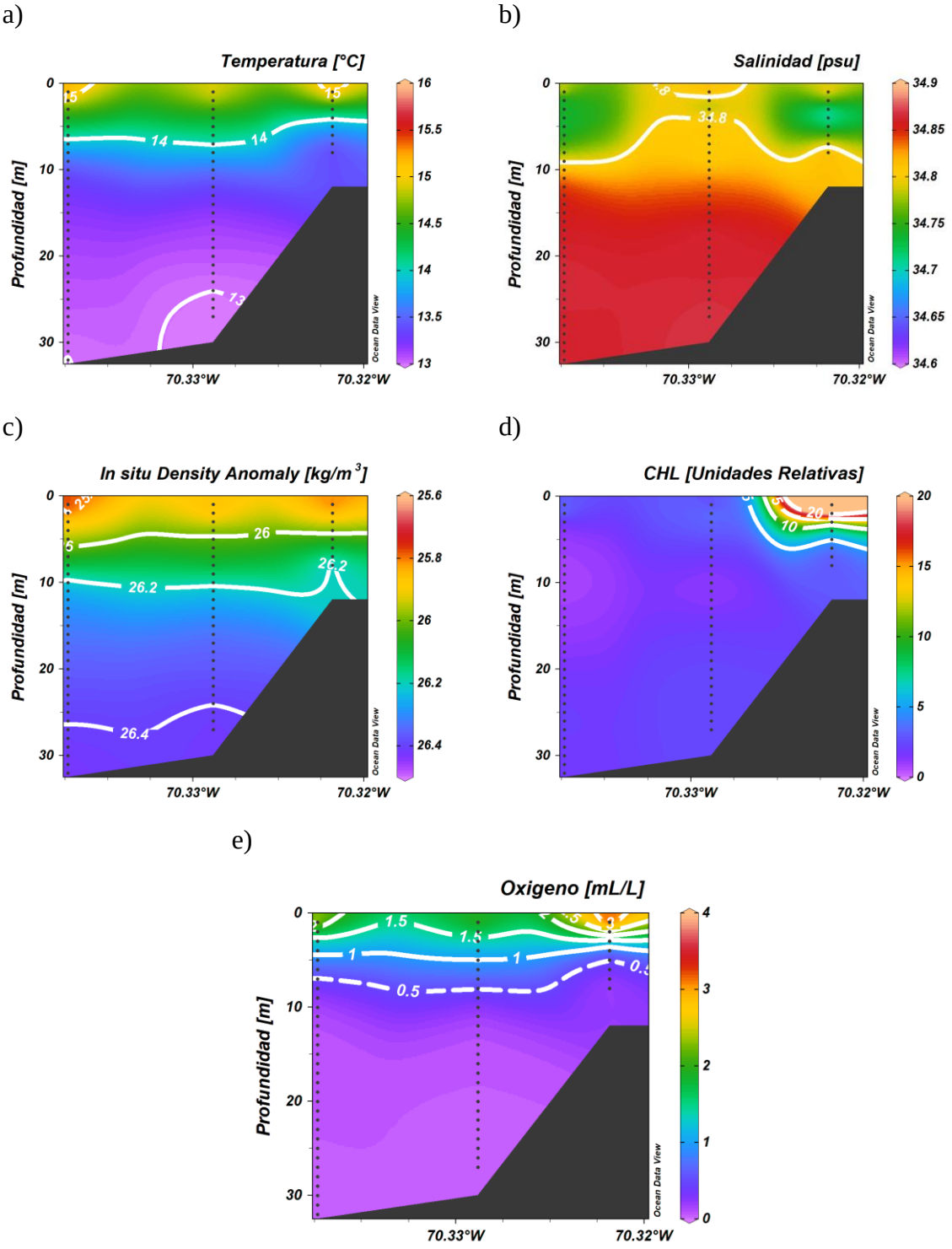

Figura 7. Distribución vertical de (a) Temperatura (°C), (b) Salinidad (psu), (c) Densidad (kg/m^3), (d) Clorofila-a (Unidades Relativas) y (e) Oxígeno disuelto (mL/L) en la Transecta Corpesca Central (TCC_4, TCC_5 y TCC_6), durante el 23 de febrero del 2021, frente a la instalación de la Empresa Corpesca de Arica.

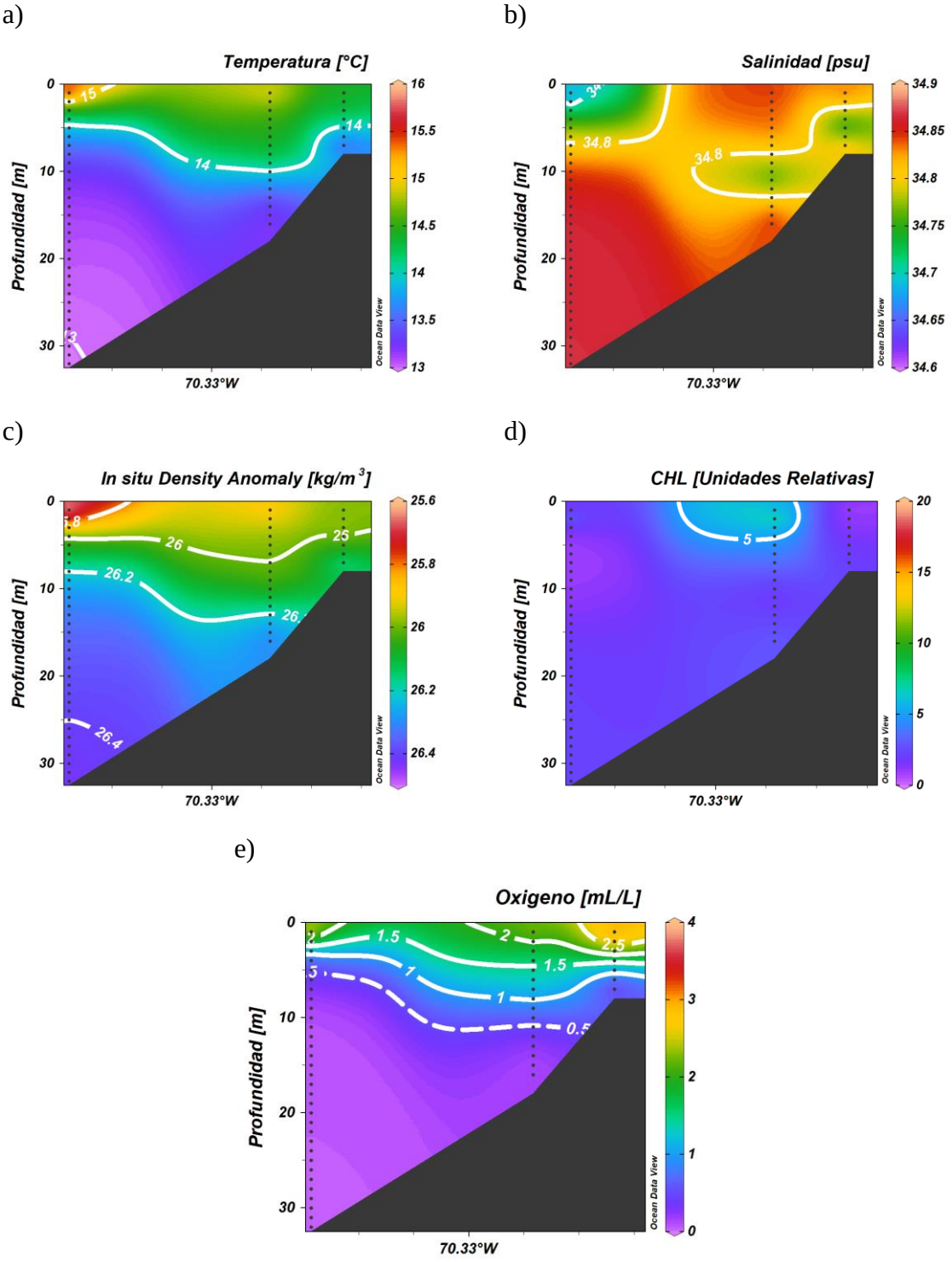

Figura 8. Distribución vertical de (a) Temperatura (°C), (b) Salinidad (psu), (c) Densidad (kg/m^3), (d) Clorofila-a (Unidades Relativas) y (e) Oxígeno disuelto (mL/L) en la Transecta Corpesca Norte (TCN_7, TCN_8 y TCN_9), durante el 23 de febrero del 2021, frente a la instalación de la Empresa Corpesca de Arica.

4.2. Fitoplancton

La abundancia total del fitoplancton fluctuó entre 64,8 y 2.640,4 cél/mL, registrándose los mayores valores (>2.000 cél/mL) en las estaciones Puerto Corpesca (PC-10) y Corpesca Centro (CC-4). Los flagelados exhibieron las mayores concentraciones celulares, realizando aportes superiores al 90% en todos los puntos de muestreo (Tabla 5).

El análisis permitió identificar un total de 29 especies, de las cuales 19 pertenecieron a formas flageladas y 10 a diatomeas. Entre las formas flageladas destacó un dinoflagelado atecado del género *Gymnodinium*, con abundancias que fluctuaron entre 30 y 2.500 cél/mL, siendo responsable de los totales registrados y del evento de discoloración o marea roja. En segundo lugar, se encontró el dinoflagelado tecado *Prorocentrum micans*, pero sus abundancias no superaron las 100 cél/mL. El resto de las especies, tanto de diatomeas como de flagelados, presentaron concentraciones desestimables (Tabla 6).

La distribución de la abundancia de los flagelados reveló la presencia de las mayores concentraciones de *Gymnodinium* en el sector Puerto Corpesca (PC-10) y Corpesca Centro (CC-4), donde se registraron valores de 2.636,8 y 2.638,8 cél/mL respectivamente. En los otros puntos de muestreo, la abundancia descendió de las 1.000 cél/mL (Figura 9A). Las diatomeas, con magnitudes uno y dos órdenes inferiores, exhibieron sus mayores abundancias en los sitios donde el dinoflagelado presentó menores concentraciones, registrándose un máximo de 25,6 cél/mL en la estación Corpesca Norte (CN-7) (Figura 9B).

Tabla 5. Abundancia fitoplanctónica total (AB-TOTAL) (cél/mL) y por grupo, y aporte porcentual (%) de diatomeas (AP-DIATO) y flagelados (AP-FLAGE). PC: Puerto Corpesca, CN: Corpesca Norte, CC: Corpesca Centro, CS: Corpesca Sur.

ESTACIONES	AB-TOTAL (cél/mL)	DIATOMEAS (cél/mL)	FLAGELADOS (cél/mL)	AP-DIATO (%)	AP-FLAGE (%)
PC-10	2.639,6	2,8	2.636,8	0,1	99,9
CN-7	64,8	25,6	39,2	39,5	60,5
CC-5	332,8	17,2	315,6	5,2	94,8
CC-4	2.640,4	1,6	2.638,8	0,1	99,9
CS-2	848,0	6,4	841,6	0,8	99,2
CS-1	854,4	16,0	838,4	1,9	98,1

Tabla 6. Abundancia de las especies de diatomeas y flagelados identificadas por estación en el sector Corpesca Arica. PC: Puerto Corpesca, CN: Corpesca Norte, CC: Corpesca Centro, CS: Corpesca Sur.

GRUPOS	**ESTACIONES**					
Flagelados	**PC-10**	**CN-7**	**CC-5**	**CC-4**	**CS-2**	**CS-1**
Akashiwo sanguinea				0,4		
Ceratium dens					0,4	
Ceratium furca var. berghii	0,8					
Ceratium fusus var. seta	1,6					0,4
Ceratium massiliense					0,4	
Corythodinium longiceps	0,4					
Dictyocha fibula		0,8	0,4	0,8	0,4	0,8
Dinophysis acuminata	0,4	0,4		0,8		1,2
Diplopsalis minor	2,0			0,8		
Distephanus speculum			0,4			
Eutreptiella marina	0,4	1,6	0,4	0,4		1,6
Gonyaulax taylorii	0,4		0,4			
Gymnodinium sp.	2.556,0	29,6	288,0	2.560,8	835,2	806,4
Gyrodinium sp.	0,4		4,0	0,8	1,6	6,0
Oxyphysis oxytosoides		1,6		0,4		0,4
Polykrikos kofoidii	0,4	0,8		0,4		
Prorocentrum gracile	9,2		7,6	15,2	2,4	1,2
Prorocentrum micans	64,0	4,0	14,4	57,2	0,8	20,4
Protoperidinium pyrum	0,8	0,4		0,8	0,4	
Diatomeas	**PC-10**	**CN-7**	**CC-5**	**CC-4**	**CS-2**	**CS-1**
Asterionellopsis glacialis					2,0	
Chaetoceros tortissimus		6,4				
Cylindrotheca closterium	0,4	0,4	1,2			0,8
Detonula pumila						4,0
Eucampia zodiacus		5,2	9,6			10,4
Guinardia delicatula		4,4				
Lithodesmium undulatum						0,8
Pseudo-nitzschia sp.	0,8		2,0		2,8	
Skeletonema sp.		9,2	3,6	1,6	1,6	
Thalassionema nitzschioides	1,6		0,8			

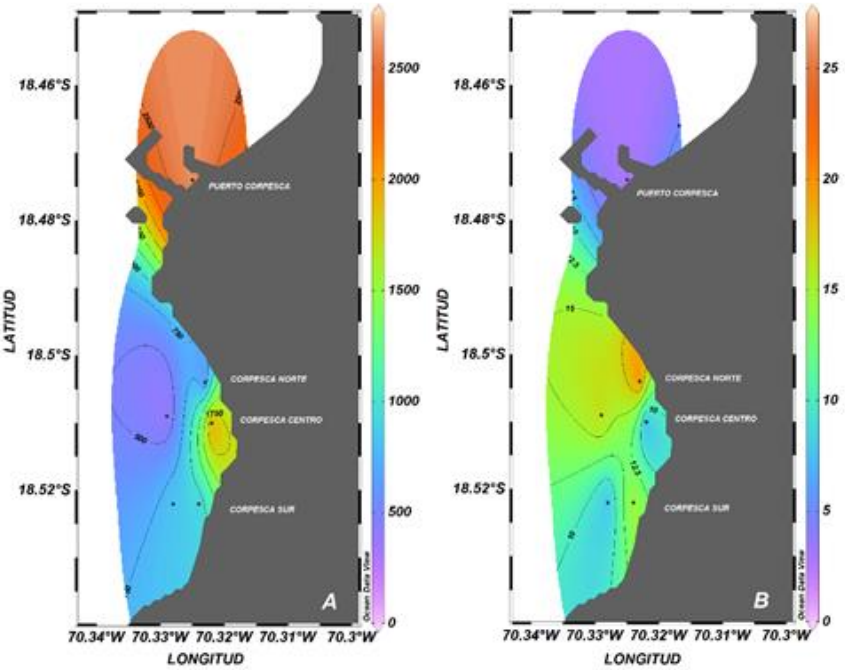

Figura 9. Distribución de la abundancia (cél/mL) de A: flagelados y B: diatomeas, en el sector de Corpesca Arica.

4.3 Modelos Numéricos del Oxígeno Disuelto

Fuenzalida *et al*., 2009, implementaron un modelo numérico que permitió reproducir el comportamiento de la distribución da la Capa Mínima de Oxígeno en la zona Norte de Chile, realizando simulaciones con un modelo tridimensional de volumen finito, destacando el caso del Oxígeno Disuelto después de 30 días de estabilización. Donde encontraron que tanto en invierno como en verano obtuvieron una franja costera con niveles de oxígeno disuelto menor producto del ascenso de aguas por la surgencia, siendo mayor su área de influencia en la costa peruana. De acuerdo con las simulaciones y los datos promedio para el mes de invierno que utilizaron, es en este periodo del año cuando la mínima de oxígeno está más superficial y cubre una mayor extensión fuera de la costa (Figura 10).

Por otra parte, Fuenzalida et al., 2009, indicaron que las secciones muestran que en verano la columna de agua está más oxigenada, y que en la costa el agua con menos concentración de oxígeno asciende. En verano valores de 2 mg/l de oxígeno disuelto se encuentran hasta los 200 m de profundidad mientras que en invierno esta concentración se encuentra sobre los 100 m de profundidad (Figura 11).

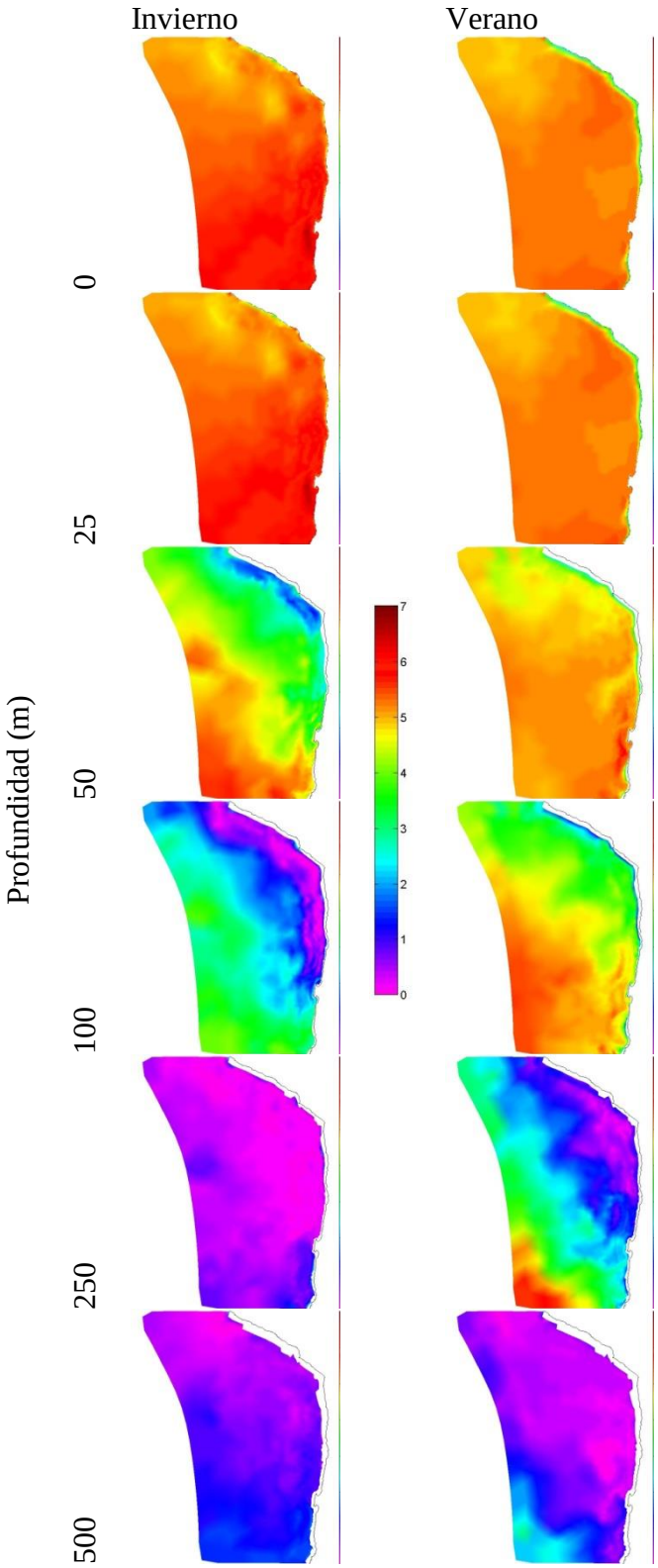

Figura 10. Variación del oxígeno disuelto a 0, 25, 50, 100, 250 y 500 m de profundidad al término del período de estabilización en invierno y verano (Fuenzalida et al., 2009).

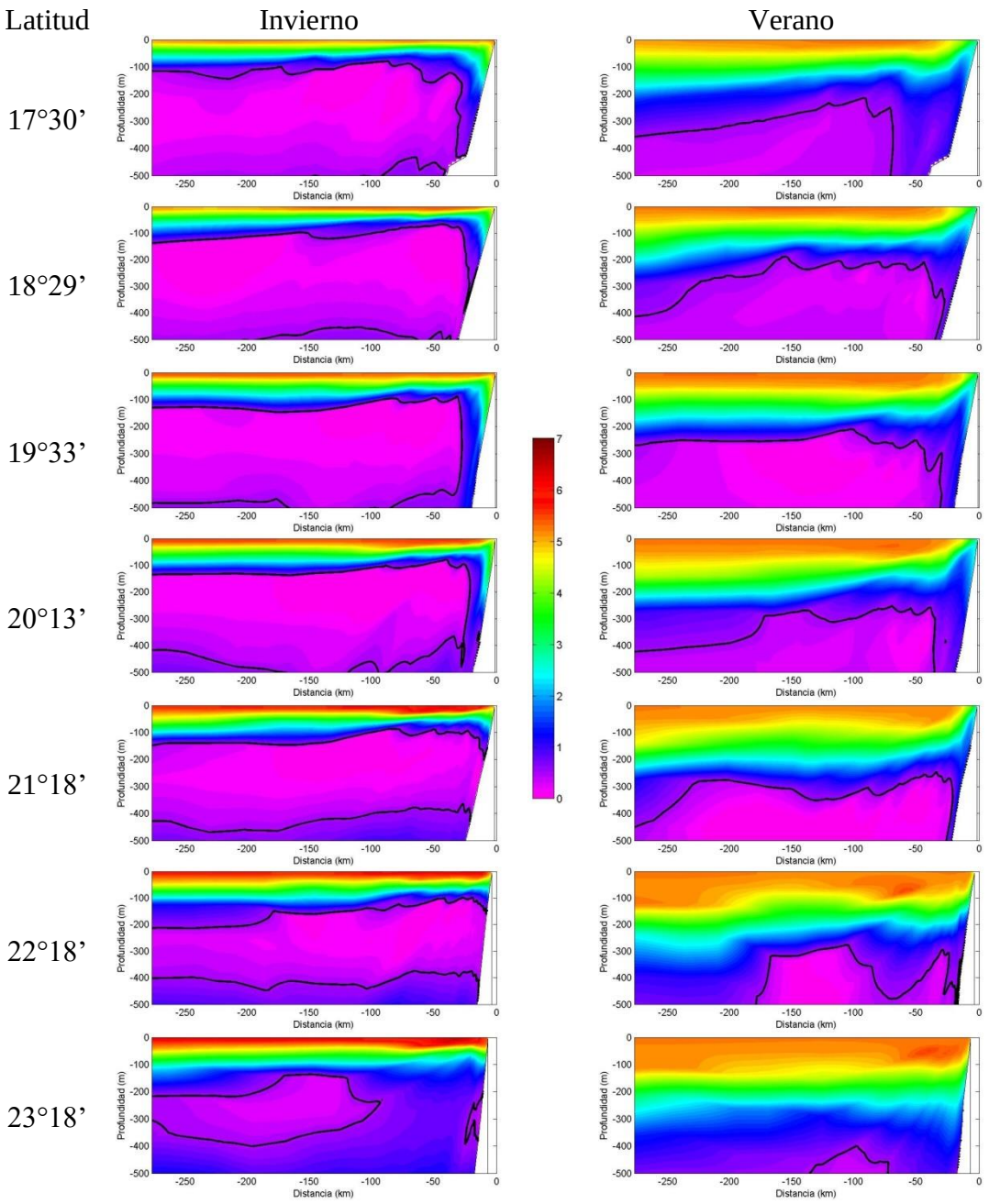

Figura 11. Variación del oxígeno disuelto en las secciones verticales al término del período de estabilización en invierno y verano (Fuenzalida et al., 2009).

4. DISCUSION

Para interpretar la variabilidad fisicoquímica de las condiciones oceanográficas en la Empresa Corpesca de Arica, durante la campaña de verano de 2021, se consideró en el estudio eventos de baja frecuencia, como El Niño y la Niña y eventos de alta frecuencia como son la surgencia costera.

Se pone de manifiesto que la época de muestreo correspondió a la fase de declinación de un período de perturbaciones oceanográficas de baja frecuencia, asociada a valores bajo lo normal en el Pacifico Tropical, mostrando potencialmente el desarrollo de un evento moderado de La Niña 2020-2021 que alcanzó su punto más álgido entre octubre y diciembre 2020 con anomalías negativas de la temperatura superficial del mar y para febrero a abril de 2021se espera que las anomalías se ubiquen en el intervalo de -0.3 a -1.0°C (NOAA). Sin embargo, para el periodo de estudio se considera que La Niña 2020-2021 se encuentra en una fase de declinación, donde la distribución de la temperatura superficial del mar frente a la Empresa Corpesca de Arica fue relativamente fría para el verano de 2021. Estas bajas temperaturas estuvieron asociadas a un aporte masivo de aguas frías por el Yet Humboldt (Fuenzalida et al., 2008), debido al deshielo continuo que se está desarrollando en la antártica, generando un aporte masivo de aguas frías y de relativamente baja salinidad en la zona norte de Chile asociadas al Cambio Climático.

Respecto a lo anteriormente señalado, la termoclina estacional, asociada a la isoterma de 14°C, se ubicó entre los 3 y 10 metros de profundidad, con una picnoclina levemente desarrollada, que mantuvo los mismos rangos de profundidad, asociado a relativamente débiles gradientes verticales y de la estratificación en la columna de agua en el sector de la Empresa Corpesca Arica.

El contenido salino presento en general aguas relativamente poco salinas en la capa superficial en el sector norte hacia el oeste de la Empresa Corpesca con valores del orden de 34,70 psu, asociada al Agua Intermedia Superior del Pacifico Sur Oriental (AIPSO), sin embargo, a nivel subsuperficial la salinidad se incrementó paulatinamente con profundidad, ubicándose un relativo máximo salino con valores > 34.85 psu asociado al Agua Ecuatorial

Subsuperficial (AESS), que se caracteriza por un máximo salino y bajo contenido de oxígeno disuelto.

La distribución de Clorofila-a presenta una capa superficial costera entre 0 y 5m de profundidad con valores entre 5 a 10 unidades relativas de Cla y entre 5 a 60 unidades relativas de Cla en el sector sur y central de la Empresa Corpesca de Arica donde se ubicaba con mayor intensidad la Marea Roja, En cambio, disminuyendo hacia los niveles más profundos y hacia el oeste donde alcanzan valores de 2 unidades relativas de Cla, donde la Marea Roja estaba casi ausente.

La distribución del contenido de oxígeno disuelto presentó una capa superficial poco oxigenada con valores entre 2 mL/L y 3 mL/L en el sector costero del área de estudio de la Empresa Corpesca de Arica, disminuyendo hacia los niveles más profundos, alcanzando valores inferiores a 0,5 mL/L entre 3 y 8m de profundidad, donde comienza la Zona Mínima de Oxígeno Disuelto. Luego, disminuye drásticamente el contenido de oxígeno disuelto < 0,1 mL/L alcanzando la hipoxia, lo que es letal para los organismos marinos.

En relación con el modelo, los resultados obtenidos son coherentes con el conocimiento que se tiene del sector (Fuenzalida *et al*. 2008, Fuenzalida *et al*. 2009), respecto a las concentraciones del oxígeno disuelto en verano en comparación con las de invierno, por lo que es necesario actualizar constantemente la información en la zona de estudio.

Fuenzalida et al., 2009, presenta la comparación en la sobrevivencia observada en las seis especies utilizadas en los experimentos de hipoxia, en la condición de 1,0 mL/L. La especie que mostró la mayor sobrevivencia es el locate (110 horas) y las que presentan la sobrevivencia más baja son pulpo y erizo (8 horas), debido a que son muy sensibles a las zonas hipóxicas. Sin embargo, en la zona de estudio frente a la Empresa Corpesca de Arica, los niveles de oxígeno disuelto inferiores a 0,5 mL/L se ubicaron en promedio a 5m de profundidad, lo que indica que los organismos que habitaban esa profundidad no podrían sobrevivir.

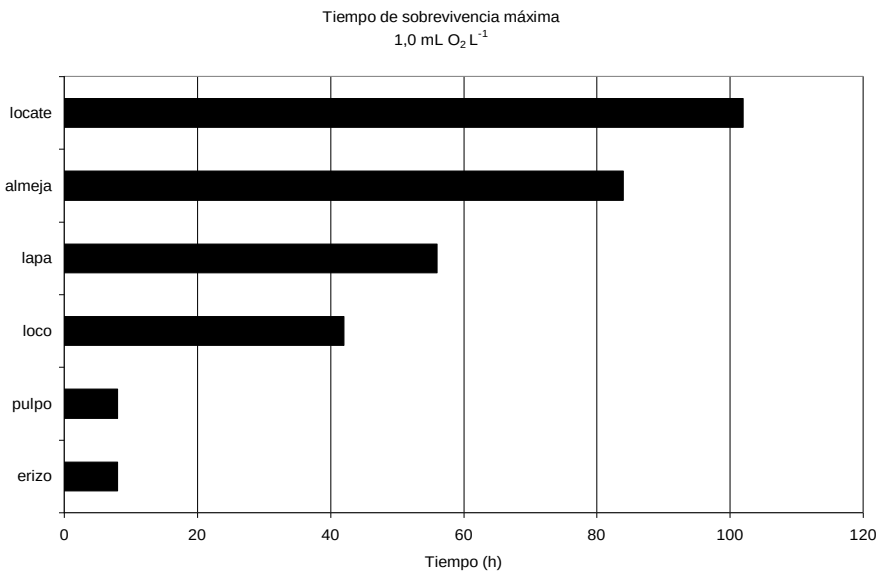

Figura 12. Comparación de la sobrevivencia de las seis especies estudiadas, considerando la condición experimental de 1,0 mL/L.

El estudio realizado de la Marea Roja se observó que en relación con el ejemplar dominante (Figura 13A), el género Gymnodinium se caracteriza por ser cosmopolita y sus representantes pueden encontrarse solitarios o formando cadenas. Su ventaja, respecto de otras formas fitoplanctónicas, es que puede combinar una alimentación de carácter fototrófica, fagotrófica o mixotrófica, permitiéndole mantenerse en ambientes pobres en nutrientes y de alta estabilidad. Varias especies producen extensas mareas rojas donde se ha registrado deficiencia de oxígeno y también toxicidad. En enero de 2019, en el sector de Pabellón de Pica se detectó yesotoxina, una toxina diarreica, en el tejido digestivo de estrellas de mar (Stichaster striatus) y erizos (Loxechinus albus), lo cual estuvo asociado a la ocurrencia de mareas rojas generadas por este organismo.

La otra especie que ocurrió en menor concentración, Prorocentrum micans (Figura 13B), es habitual de la zona y comúnmente produce eventos de discoloración en la región principalmente entre verano y otoño. Se le considera inofensiva, aunque se ha informado en Europa de mortalidad de moluscos atribuidos al agotamiento de oxígeno.

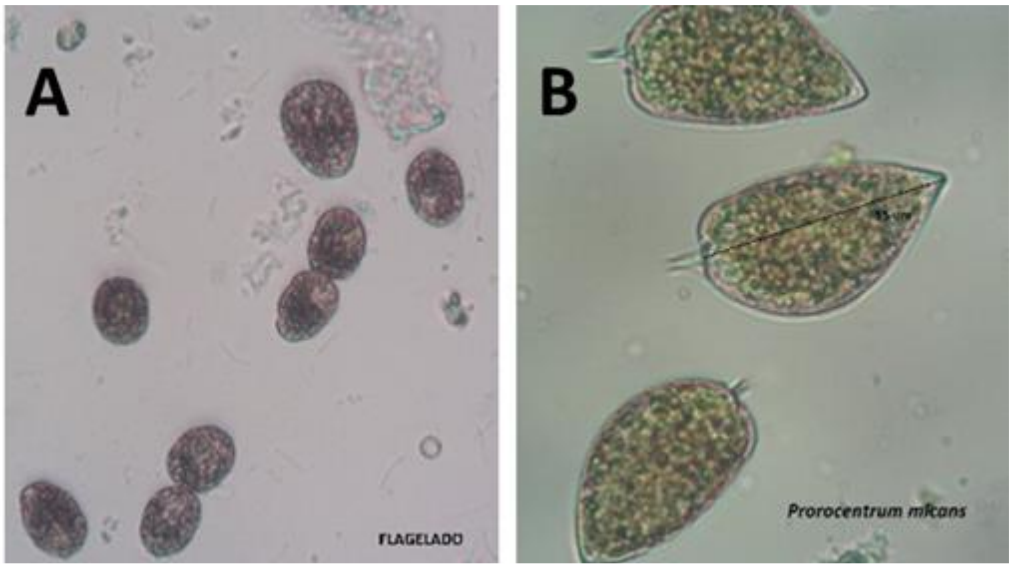

Figura 13. A: Ejemplar del dinoflagelado atecado del género *Gymnodinium* y B: Ejemplares del dinoflagelado *tecado Prorocentrum micans*.

5. CONCLUSIONES

Las condiciones oceanográficas detectadas para el verano de 2021, frente a la Empresa Corpesca de Arica, correspondió a la fase de declinación del evento moderado de La Niña 2020-2021 donde la distribución de la temperatura superficial del mar fue relativamente fría para el verano de 2021. Estas condiciones frías se mantienen, producto del masivo aporte de aguas del Yet Humboldt, el cual permite un mayor transporte de aguas fría y menos salinas, hacia la zona norte de Chile, por el borde continental, produciéndose de esta manera una mayor permanencia de aguas frías en relación con sus valores históricos propios del periodo de verano debido al Cambio Climático.

La termoclina estacional, asociada a la isoterma de 14°C, se ubicó entre los 3 y 10 metros de profundidad, con una picnoclina levemente desarrollada, que mantuvo los mismos rangos de profundidad, asociado a relativamente débiles gradientes verticales y de la estratificación en la columna de agua en el sector de la Empresa Corpesca Arica.

El contenido salino presento en general aguas relativamente poco salinas en la capa superficial asociada al Agua Intermedia Superior del Pacifico Sur Oriental (AIPSO) y a nivel subsuperficial se ubica un relativo máximo salino asociado al Agua Ecuatorial Subsuperficial (AESS), que se caracteriza por un máximo salino y bajo contenido de oxígeno disuelto.

La distribución de Clorofila-a presenta una capa superficial costera entre 0 y 5m de profundidad los mayores valores asociado con la Marea Roja y a nivel subsuperficial los valores disminuyeron considerablemente, donde la Marea Roja estaba casi ausente.

El contenido de oxígeno disuelto presentó una capa superficial poco oxigenada, disminuyendo hacia los niveles más profundos, ubicándose el límite superior de la Zona Mínima de Oxígeno Disuelto entre 3 y 8m de profundidad. Luego, disminuye drásticamente el contenido de oxígeno disuelto anoxia, lo que es letal para los organismos marinos.

Los resultados de los modelos son coherentes con el conocimiento que se tiene del sector, en correspondencia a las concentraciones del oxígeno disuelto en verano en comparación con las de invierno.

Si bien las mayores densidades para los recursos locos, erizos, lapas, pulpos y almejas se presentan en la parte bentónica más superficial, en donde es mayor la cantidad de oxígeno disuelto y dada que la probabilidad que se interne agua con mínimo de oxígeno disuelto es siempre posible, los recursos pulpo y erizo serían los más afectada en su sobrevivencia, lo que provocaría una alta mortalidad en las primeras 8 horas de invasión de la condición de mínimo de oxígeno disuelto, que para el caso del pulpo se debería a que presentan una alta tasa metabólica y por no tener mecanismos fisiológicos o morfológicos de protección a la hipoxia.

En la Marea Roja el ejemplar dominante, el género Gymnodinium se caracteriza por ser cosmopolita y sus representantes pueden encontrarse solitarios o formando cadenas. Su ventaja, respecto de otras formas fitoplanctónicas, es que puede combinar una alimentación de carácter fototrófica, fagotrófica o mixotrófica, permitiéndole mantenerse en ambientes

pobres en nutrientes y de alta estabilidad. Varias especies producen extensas mareas rojas donde se ha registrado deficiencia de oxígeno y también toxicidad.

En menor concentración, Prorocentrum micans, es habitual de la zona y comúnmente produce eventos de discoloración en la región principalmente entre verano y otoño. Se le considera inofensiva, aunque se ha informado en Europa de mortalidad de moluscos atribuidos al agotamiento de oxígeno.

6. REFERENCIAS

Atkinson, L.P., Valle-Levison, A., Figueroa, D., De Pol-Holz, R., Gallardo, V.A., Schneider, W., Schmidt, M., 2002. Oceanographic observations in Chilean coastal waters between Valdivia and Concepción. Journal of Geophysical Research 107, doi: 10.1029/2001JC000991.

Emery, W.J., Meincke, J., 1986. Global water masses: summary and review. Oceanologica. Acta, 9(4), 383-391.

Escribano, R., Daneri, G., Farias, L., Gallardo, V., González, H., Gutiérrez, D., Lange, C., Morales, C., Pizarro, O., Ulloa, O., Braun, M., 2004. Biological and chemical consequences of the 1997-1998 El Niño in the Chilean coastal upwelling system: a synthesis. Deep-Sea Research Part II, special volume Oceanography in the Eastern South Pacific, Part I, 51, 2389-2411.

Fuenzalida, R., Schneider W., Garcés-Vargas J., and Bravo L 2008. Satellite altimetry data reveal jet-like dynamics of the Humboldt Current, Journal of Geophysical Research, 113, C07043, doi:10.1029/2007JC004684.

Fuenzalida R, Schneider W, Garcés-Vargas J, Bravo L & Lange C 2009. Vertical and horizontal extension of the oxygen minimum zone in the eastern South Pacific Ocean. Deep Sea Research II – 56(2009) 1027-1038. doi:10.1016/j.dsr2.2008.11.001.

Fuenzalida R, Escribano R, Oliva M, Garcés-Vargas J, Rosales S, Claramunt G, Morales C, Herrera L, Santander E, Rojo M, Pizarro P, Carrasco C, Moreno P& Azocar C 2009. Efectos de la variabilidad de la capa de mínimo de oxígeno (CMO) en la distribución y la abundancia de los principales recursos pesqueros de la zona norte. FIP 2007-45, UNAP-Iquique.

Grantham, B., Chan, F., Nielsen, K., Fox, D., Barth, J., Huyer, A., Lubchenco, J., Menge, B., 2004. Upwelling-driven nearshore hypoxia signals ecosystem and oceanographic changes in the northeast Pacific. Nature 429, 749-754. doi:10.1038/nature02605.

Helly, J.J., Levin, L.A., 2004. Global distribution of naturally occurring marine hypoxia on continental margins. Deep-Sea Res. I 51, 1159– 1168.

Levin, L.A. 2002. Deep-ocean life where oxygen is scarce. American Scientist 90, 436-444. doi:10.1511/2002.5.436.

Levin, L.A., Huggett, C.L., Wishner, K.F., 1991. Control of deep-sea benthic community structure by oxygen and organic-matter gradients in the eastern Pacific Ocean. Journal of Marine Research 49, 763-800.

McCartney, M.S., 1977. Subantarctic mode water. In: Angel, M. (Ed.), A Voyage of Discovery, Pergamon Press, Oxford, 103-119.

Morales, C.E., Braun, M., Reyes,H., Blanco, J.L. y A. Davies. 1996. Anchovy larval distribution in the coastal zone off northern Chile: the effect of low dissolved oxygen concentration and of a cold-warm sequence 1990-95. Invest. Mar. Valparaiso. 24: 77-96.

Morales, C., Hormazábal, S., Blanco, J.L., 1999. Interannual variability in the mesoscale distribution of the depth of the upper boundary of the oxygen minimum layer off northern Chile (18-24ºS): Implications for the pelagic system and biogeochemical cycling. Journal of Marine Research 57, 909-932.

Mullins, H.T., Thompson, J.B., McDougall, K., Vercoutere, T.L., 1985. Oxygen-minimum zone edge effects, evidence from the central California coastal upwelling system. Geology 13, 491-494.

Palma, S. (1994). Composición y distribución del macroplancton gelatinoso recolectado frente a la costa central de Chile. Rev. Biol. Mar., Valparaíso, 29(1): 23-45.

Palma S., y Apablaza P. (2004). Abundancia estacional y distribución vertical del zooplancton gelatinoso carnivoro en un área de surgencia en el norte del sistema de la corriente Humboldt. Invest. Mar., Valparaíso, 32(1): 49-70.

Palma, S., y Rosales, S., (1995). Composición, abundancia y distribución estacional del macroplancton de la bahía de Valparaíso. Investigaciones Marinas 23, 49-66.

Purcell JE (1992) Effects of predation by the scyphomedusan Chrysaora quinquecirrha on zooplankton populations in Chesapeake Bay, USA. Mar Ecol Prog Ser 87:65–76

Silva, N., Neshyba, S., 1979. On the southernmost extension of the Peru-Chile Undercurrent. Deep-Sea Research Part A 26, 1387-1393.

Strub, P.T., Mesias, J.M., Montecino, V., Rutllant, J., Salinas, S., 1998. Coastal ocean circulation off western South America. Coastal segment (6,E). In: Robinson, A.R., Brink, K.H. (Eds.), The Sea, Vol. 11. John Wiley y Sons, New York. pp 273-313.

Thompson, J.B., Mullins, H.T., Newton, C.R., Vercoutere, T., 1985. Alternative biofacies model for dysaerobic communities. Lethaia 18, 167-179.

Ulloa, R., S. Palma, L. Linacre & N. Silva. (2000). Seasonal changes in the bathymetric distribution of siphonophores, chaetognaths and euphausiids associated to water masses off Valparaíso, Chile (Southeast Pacific). En: J. Farber (ed.). Oceanography in the Eastern Pacific. CICESE, Ensenada, 1: 72-83.

Ulloa, O., Escribano, R., Hormazabal, S., Quiñones, R.A., González, R.R., Ramos, M., 2001. Evolution and biological effects of the 1997-98 El Niño in the upwelling ecosystem off northern Chile. Geophysical Research Letters 28, 1591-1594.

Villafañe, V y F. Reid (2005). Métodos de microscopía para la cuantificación del fitoplancton. En: Manual de Métodos Ficológicos; Alveal, Ferrario, Oliveira y Sar (eds.) Univ. de Concepción, Chile. 169-186.

Wishner, K., Levin, L.A., Gowing, M., Mullineaux, L., 1990. Involvement of the oxygen minimum in the benthic zonation on a deep seamount. Nature 346, 57-59.

Wyrtki, K., 1962. The oxygen minima in relation to ocean circulation. Deep-Sea Research 9, 11-23.