UNIVERSIDAD ARTURO PRAT

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

Informe

“Estudio Oceanográfico en la bahía Mejillones en el sector frente a las instalaciones de la Empresa Corpesca S.A."

Por:

Dr. Rosalino Fuenzalida Fuenzalida

Marzo 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
4. RESULTADOS 8
4.1. Oceanografía física-química 8
4.3 Modelos Numéricos del Oxígeno Disuelto 21
4. DISCUSION 24
5. CONCLUSIONES 26
6. REFERENCIAS 27

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). 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, como algunos procesos físicos 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 costera adyacente a las instalaciones de la Empresa Corpesca S.A. y su relación con las especies en la bahía Mejillones.

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 Mejillones.

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

2.2.3. 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 Mejillones.

3. METODOLOGÍA

Se realizó el muestreo de la columna de agua de mar a lo largo de 3 transectos Oeste-Este, en 9 estaciones georreferenciadas que cubren toda la zona de influencia de la Empresa Corpesca S.A.

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 marzo 2021. En cada una de las estaciones de la grilla de muestreo, se obtuvieron registros continuos de temperatura (ºC), salinidad (psu) con profundidad (dbar), hasta un máximo de 22 dbar, mediante el uso de un CTD marca AML Base X2 SVP 5060 Oceanographic.

En cada estación y mediante el uso botellas oceanográficas Niskin de 1,2 L, se obtuvieron muestras discretas de agua desde 0, 5, 10 y 20 m de profundidad, las que fueron destinadas a la determinación de la concentración del contenido de oxígeno disuelto (mL/L). La concentración de oxígeno disuelto se determinó de acuerdo con el método Winkler modificado por Carritt y Carpenter (1966) (Parsons et al., 1984).

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

Tabla 1. Coordenadas geográficas de las estaciones oceanográficas (TCMO: Transecta Corpesca de Mejillones Oeste, TCMC: Transecta Corpesca de Mejillones Centro y TCME: Transecta Corpesca de Mejillones Este). Se incluye la profundidad máxima de muestreo en Empresa Corpesca de Mejillones, durante el 23 de marzo de 2021.

Estaciones	Latitud	Longitud	Zmáx (m)
TCMO_1	23°05'30,54''	70° 26'04,56''	11
TCMO_2	23°05'12,30''	70° 26'02,40''	22
TCMO_3	23°05'00,12''	70° 26'01,20''	22
TCMC_4	23°05'22,80''	70° 25'40,80''	10
TCMC_5	23°05'12,60''	70° 25'40,50''	22
TCMC_6	23°04'59,40''	70° 25'40,08''	22
TCME_7	23°05'18,72''	70° 25'24,60''	10
TCME_8	23°05'11,40''	70° 25'20,28''	21
TCME_9	23°04'59,76''	70° 25'22,44''	22

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

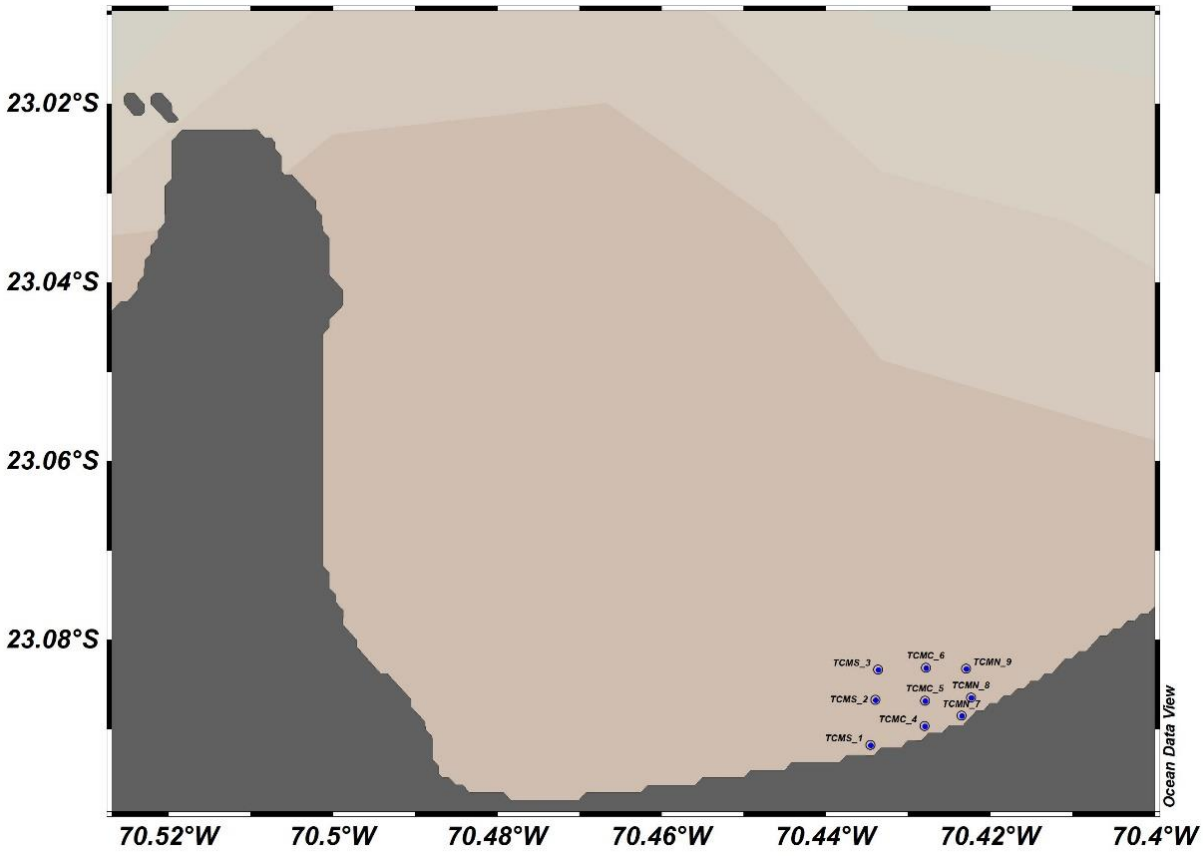

Figura 1. Posición geográfica de las estaciones oceanográficas física-química, durante el 23 de marzo 2021, a bordo de la Lancha de Servicios Albatros de Corpesca de Mejillones. TCMO: Transecta Corpesca de Mejillones Oeste, TCMC: Transecta Corpesca de Mejillones Centro y TCME: Transecta Corpesca de Mejillones Este.

4. RESULTADOS

4.1. Oceanografía física-química

Temperatura

La distribución de la temperatura superficial del mar en el sector de estudio fluctuó entre 14,65°C y 16,86°C, siendo la distribución de las temperaturas relativamente bajas para el inicio del período de otoño de 2021 (Figura 2a). La distribución térmica en la capa superficial frente a las instalaciones de la Empresa Corpesca de Mejillones se presentó homogénea presentando un valor promedio del orden de 15,45°C. Hacia el sector Este de la Empresa Corpesca de Mejillones, se observó un núcleo con valores relativamente superiores a 16,00°C y hacia el sector Oeste disminuyeron alcanzando valores < 15,00°C y hacia el sector Norte de Oeste a Este, se observó un ligero aumento de la temperatura alcanzando valores de 15,50°C (Tabla 2, 3 y 4 y Figura 2a).

La distribución de la temperatura del mar en la máxima profundidad de muestreo en el sector de estudio varió entre 13,26°C y 14,12°C, correspondiendo la distribución de las temperaturas a registros relativamente bajos para la época, con un valor promedio de 13,56°C. En la banda costera se observaron valores inferiores a 14,00°C y hacia el sector Norte valores del orden de 13,20°C (Tabla 2, 3 y 4 y Figura 3a).

En cuanto a la estructura térmica vertical, la capa de mezcla fluctuó entre 1 a 2m y la termoclina se ubicó entre 6m y 10m de profundidad, desde el sector Oeste hacia la parte Este. Paralelamente, se observaron relativamente débiles gradientes térmicos verticales en todo el sector de estudio, debido a la débil estratificación de la columna de agua (Figuras 4a, 5a, 6a, 7a).

Salinidad

La distribución de salinidad superficial del mar fluctuó entre 34,672 ups a 34,692 ups, presentando un valor promedio del orden de 34,682 ups. Hacia el sector Central y sector Este, la salinidad presentó valores ligeramente superiores a 34,68 ups y hacia el sector Oeste valores relativamente menores a 34,68 ups (Tabla 2, 3 y 4 y Figura 2b).

La distribución de salinidad en la máxima profundidad de muestreo osciló entre 34,666 ups y 34,731 ups, presentando un valor promedio del orden de 34,703 ups. Hacia el sector Este y próximo a la costa, la salinidad disminuyó, alcanzando valores < 34,67 ups. En cambio, hacia el sector Central y Oeste, la salinidad aumento levemente, con valores > 34,68 ups. Además, desde el sector Norte se observa una penetración de aguas más salinas > 34,72 ups (Tabla 2, 3 y 4 y Figura 3b).

La estructura vertical salina presentó aguas con bajas salinidades a nivel superficial en todo el sector de estudio, cuyos valores fluctuaron entre 34,66 a 34,68 ups, asociado al Agua Intermedia Superior del Pacifico Sur Oriental (**AIPSO**), luego la salinidad se incrementó paulatinamente con la profundidad alcanzando valores > 34,70 ups (Figuras 4b, 5b, 6b, 7b).

Densidad

La distribución superficial de densidad en el sector de estudio osciló entre 25,316 kg/m^3 y 25,810 kg/m^3, presentando un valor promedio del orden de 25,635 kg/m^3. Hacia el sector Este, se observó una relativa disminución del campo de densidad con un núcleo con valores relativamente inferiores a 25,40 kg/m^3 y hacia el sector Oeste aumentó, alcanzado valores > 26,70 kg/m^3 (Tabla 2, 3 y 4 y Figura 2c).

La distribución de densidad en la máxima profundidad de muestreo en el sector de estudio fluctuó entre 25,971 kg/m3 y 26,236 kg/m^3, con un valor promedio del orden de 26,134 kg/m^3. Además, la distribución de las isopícnas presentó un relativo aumento de la densidad desde la costa hacia el Norte del área de estudio que fluctúo entre 26,10 kg/m^3 a 26,20 kg/m^3 (Tabla 2, 3 y 4 y Figura 3c).

De acuerdo con la distribución vertical de densidad se observó una picnoclina levemente desarrollada, representada por la isopícna de 26,00 kg/m^3 y asociada con la termoclina desde el sector Oeste hacia el Este de la Empresa Corpesca de Mejillones. 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 frente a la Empresa Corpesca de Mejillones (Figuras 4c, 5c, 6c, 7c).

Oxígeno Disuelto

La distribución del contenido de oxígeno disuelto superficial en el sector de estudio presentó bajos valores, los que oscilaron, entre 2,230 mL/L y 4,600 mL/L con un valor promedio del orden de 3,572 mL/L. En el sector costero Central frente a la planta de Corpesca, se observó un contenido de oxígeno disuelto con valores del orden de 4,0 mL/L, aumentando ligeramente hacia el sector Este y hacia el sector Norte. En cambio, hacia el Oeste, el contenido de oxígeno disuelto disminuyó, alcanzando valores inferiores a 2,5 mL/L (Tabla 2, 3 y 4 y Figura 2d).

La distribución del contenido de oxígeno en la máxima profundidad de muestreo presentó valores que fluctuaron, entre 0,280 mL/L a 2,040 mL/L. En general el área de estudio presentó muy bajos valores, con un valor promedio del orden de 0,568 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 del orden de 1,5 mL/L, y hacia el sector Norte, disminuyó el contenido de oxígeno disuelto aún más, alcanzando valores del orden de 0,39 mL/L (Tabla 2, 3 y 4 y Figura 3d).

La distribución vertical del contenido de oxígeno disuelto presentó una capa superficial poco oxigenada entre la superficie y 5m de profundidad, con valores entre 4,0 mL/L a 3,5 mL/L en el sector Este, entre 4,0 mL/L a 3,0 mL/L en el sector Central y entre 2,5 mL/L a 1,5 mL/L en el sector Oeste de la ubicación de la Empresa Corpesca de Mejillones. Luego en la capa subsuperficial entre los 5 a 22m de profundidad, el contenido de oxígeno disuelto continua disminuyendo con la profundidad, con valores entre 3,5 mL/L a 0,28 mL/L en el sector Este, entre 3,0 mL/L a 0,45 mL/L en el sector Central (con excepción en el sector Central, donde entre la costa y el sector Norte alcanzó valores entre 1,5 mL/L a 0,45 mL/L) y entre 1,5 mL/L a 0,28 mL/L en el sector Oeste de la Empresa Corpesca de Mejillones (Figuras 4d, 5d, 6d, 7d).

Por otra parte, en el sector costero la Zona Mínima de Oxígeno Disuelto asociada a 1,0 mL/L, se ubicó a 7m de profundidad en el sector Oeste de la ubicación de la Empresa Corpesca en dirección hacia ENAEX, a 12 m de profundidad en el sector Central de la Empresa y a 10m de profundidad en el sector Este de ella, en dirección hacia la Empresa Eléctrica de Gas Atacama. Finalmente, en el nivel de máxima profundidad el contenido de oxígeno disuelto alcanzó valores inferiores a 0,34 mL/L, destacándose una hipoxia (Figuras 4d, 5d, 6d, 7d).

Tabla 2. Resultados de Temperatura (°C), Salinidad (psu), Densidad (kg/m^3) y Oxígeno disuelto (mL/L) en la columna de agua, para las estaciones oceanográficas; TCMO 1, TCMO 2 y TCMO 3, durante el 23 de marzo del 2021, en la Transecta Corpesca de Mejillones hacia el sector Oeste.

Estación	Z [m]	Temperatura [°C]	Salinidad [psu]	Densidad [kg/m^3]	Oxigeno [mL/L]
TCMO_1	1	15,035	34,676	25,7236	2,230
	2	14,784	34,682	25,7874	
	3	14,638	34,683	25,8243	
	4	14,430	34,686	25,8754	
	5	14,350	34,685	25,8965	1,330
	6	14,315	34,691	25,9130	
	7	14,251	34,694	25,9335	
	8	14,150	34,692	25,9579	
	9	14,011	34,695	25,9935	
	10	13,899	34,692	26,0195	0,280
	11	13,827	34,697	26,0425	
TCMO_2	1	14,649	34,679	25,8099	2,820
	2	14,487	34,673	25,8445	
	3	14,297	34,679	25,8942	
	4	14,122	34,678	25,9349	
	5	14,107	34,668	25,9348	1,420
	6	14,073	34,670	25,9480	
	7	14,067	34,669	25,9526	
	8	14,065	34,668	25,9568	
	9	14,037	34,672	25,9706	
	10	14,005	34,670	25,9802	1,260
	11	13,914	34,667	26,0015	
	12	13,907	34,666	26,0066	
	13	13,859	34,668	26,0227	
	14	13,800	34,672	26,0426	
	15	13,776	34,676	26,0551	
	16	13,770	34,677	26,0616	
	17	13,749	34,681	26,0733	
	18	13,692	34,681	26,0899	
	19	13,678	34,679	26,0958	
	20	13,675	34,679	26,1008	0,280
	21	13,668	34,679	26,1065	
	22	13,667	34,683	26,1146	
TCMO_3	1	14,794	34,673	25,7738	2,830
	2	14,754	34,674	25,7878	
	3	14,707	34,671	25,8002	
	4	14,609	34,676	25,8293	
	5	14,371	34,659	25,8719	1,930
	6	14,201	34,666	25,9179	
	7	14,024	34,666	25,9597	
	8	13,949	34,666	25,9796	
	9	13,946	34,666	25,9850	
	10	13,903	34,667	25,9993	1,470
	11	13,890	34,671	26,0097	
	12	13,760	34,685	26,0517	
	13	13,566	34,696	26,1046	
	14	13,479	34,702	26,1320	
	15	13,465	34,701	26,1386	
	16	13,411	34,704	26,1565	
	17	13,376	34,712	26,1744	
	18	13,345	34,713	26,1860	
	19	13,329	34,713	26,1938	
	20	13,290	34,720	26,2115	0,390
	21	13,280	34,724	26,2212	
	22	13,276	34,724	26,2265	

Tabla 3. Resultados de Temperatura (°C), Salinidad (psu), Densidad (kg/m^3) y Oxígeno disuelto (mL/L) en la columna de agua, para las estaciones oceanográficas; TCMC_4, TCMC_5 y TCMC_6, durante el 23 de marzo del 2021, en la Transecta Corpesca de Mejillones hacia el sector Central.

Estación	Z [m]	Temperatura [°C]	Salinidad [psu]	Densidad [kg/m^3]	Oxigeno [mL/L]
TCMC_4	1	15,801	34,672	25,5498	4,240
	2	15,113	34,679	25,7132	
	3	14,807	34,672	25,7792	
	4	14,352	34,672	25,8815	
	5	14,242	34,665	25,9037	2,960
	6	14,217	34,666	25,9145	
	7	14,185	34,668	25,9274	
	8	14,159	34,675	25,9427	
	9	14,153	34,686	25,9571	
	10	14,124	34,690	25,9707	2,040
TCMC_5	1	15,334	34,683	25,6630	2,530
	2	14,975	34,681	25,7450	
	3	14,831	34,676	25,7771	
	4	14,714	34,678	25,8086	
	5	14,646	34,678	25,8276	1,400
	6	14,608	34,674	25,8372	
	7	14,147	34,684	25,9477	
	8	13,984	34,674	25,9788	
	9	13,951	34,678	25,9933	
	10	13,855	34,667	26,0093	1,080
	11	13,703	34,696	26,0674	
	12	13,572	34,711	26,1109	
	13	13,435	34,712	26,1443	
	14	13,392	34,712	26,1576	
	15	13,364	34,714	26,1690	
	16	13,351	34,716	26,1780	
	17	13,334	34,718	26,1875	
	18	13,306	34,722	26,2008	
	19	13,277	34,729	26,2163	
	20	13,272	34,730	26,2225	0,320
	21	13,269	34,729	26,2273	
	22	13,258	34,731	26,2355	
TCMC_6	1	15,333	34,692	25,6701	4,510
	2	14,975	34,681	25,7450	
	3	14,831	34,676	25,7771	
	4	14,722	34,678	25,8067	
	5	14,646	34,678	25,8276	4,180
	6	14,608	34,674	25,8372	
	7	14,147	34,684	25,9477	
	8	13,984	34,674	25,9788	
	9	13,951	34,678	25,9933	
	10	13,855	34,667	26,0093	1,860
	11	13,703	34,696	26,0674	
	12	13,572	34,711	26,1109	
	13	13,435	34,712	26,1443	
	14	13,392	34,712	26,1576	
	15	13,364	34,714	26,1690	
	16	13,351	34,716	26,1780	
	17	13,334	34,718	26,1875	
	18	13,306	34,722	26,2008	
	19	13,277	34,729	26,2163	
	20	13,272	34,730	26,2225	0,450
	21	13,269	34,729	26,2273	
	22	13,260	34,731	26,2351	

Tabla 4. Resultados de Temperatura (°C), Salinidad (psu), Densidad (kg/m^3) y Oxígeno disuelto (mL/L) en la columna de agua, para las estaciones oceanográficas; TCME_7, TCME_8 y TCME_9, durante el 23 de marzo del 2021, en la Transecta Corpesca de Mejillones hacia el sector Este.

Estación	Z [m]	Temperatura [°C]	Salinidad [psu]	Densidad [kg/m^3]	Oxigeno [mL/L]
TCME_7	1	16,864	34,688	25,3163	4,480
	2	16,561	34,661	25,3711	
	3	15,688	34,686	25,5946	
	4	15,601	34,672	25,6082	
	5	15,399	34,669	25,6556	3,770
	6	14,987	34,683	25,7615	
	7	13,914	34,667	25,9835	
	8	13,757	34,652	26,0091	
	9	13,773	34,660	26,0165	
	10	13,776	34,666	26,0250	0,590
TCME_8	1	15,663	34,689	25,5940	4,600
	2	15,412	34,685	25,6516	
	3	15,106	34,674	25,7154	
	4	14,830	34,664	25,7725	
	5	14,709	34,657	25,7978	3,200
	6	14,588	34,655	25,8269	
	7	14,463	34,659	25,8612	
	8	14,353	34,664	25,8931	
	9	14,207	34,671	25,9340	
	10	13,739	34,710	26,0666	1,950
	11	13,581	34,692	26,0895	
	12	13,574	34,691	26,0950	
	13	13,563	34,693	26,1033	
	14	13,529	34,695	26,1164	
	15	13,522	34,693	26,1207	
	16	13,503	34,697	26,1322	
	17	13,492	34,699	26,1405	
	18	13,487	34,699	26,1461	
	19	13,485	34,701	26,1522	
	20	13,477	34,700	26,1579	0,370
	21	13,472	34,704	26,1665	
TCME_9	1	15,539	34,684	25,6180	3,910
	2	15,205	34,677	25,6910	
	3	14,849	34,676	25,7729	
	4	14,469	34,673	25,8569	
	5	14,116	34,678	25,9408	2,600
	6	13,881	34,682	25,9975	
	7	13,766	34,677	26,0218	
	8	13,727	34,675	26,0331	
	9	13,693	34,680	26,0482	
	10	13,565	34,691	26,0880	1,000
	11	13,490	34,695	26,1105	
	12	13,421	34,693	26,1279	
	13	13,408	34,694	26,1356	
	14	13,402	34,694	26,1412	
	15	13,393	34,698	26,1510	
	16	13,389	34,696	26,1549	
	17	13,382	34,697	26,1611	
	18	13,379	34,698	26,1671	
	19	13,378	34,699	26,1728	
	20	13,377	34,699	26,1775	0,390
	21	13,379	34,698	26,1809	
	22	13,381	34,699	26,1857	

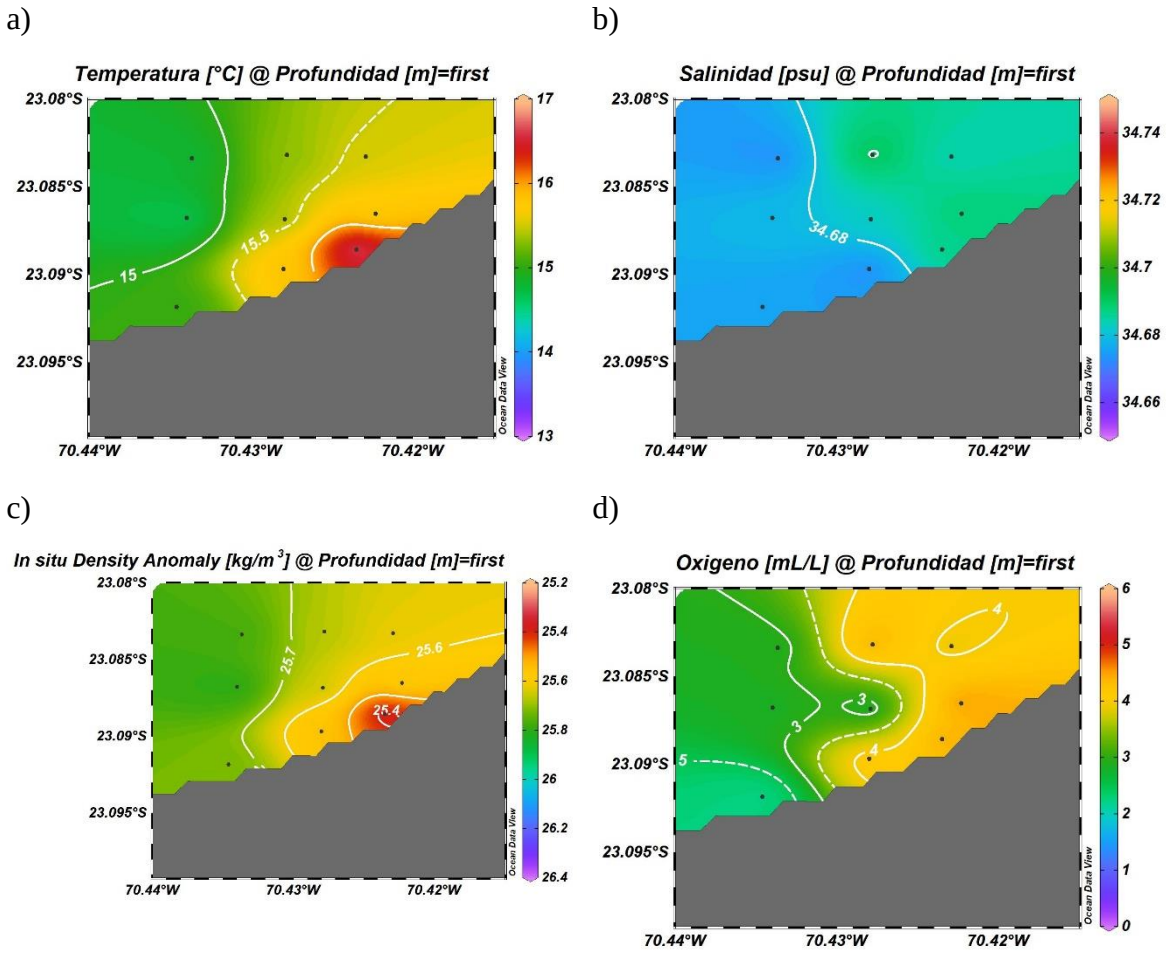

Figura 2. Distribución superficial de (a) Temperatura (°C), (b) Salinidad (psu), (c) Densidad (kg/m^3), (d) Oxígeno disuelto (mL/L), durante el 23 de marzo del 2021, frente a la instalación de la Empresa Corpesca de Mejillones.

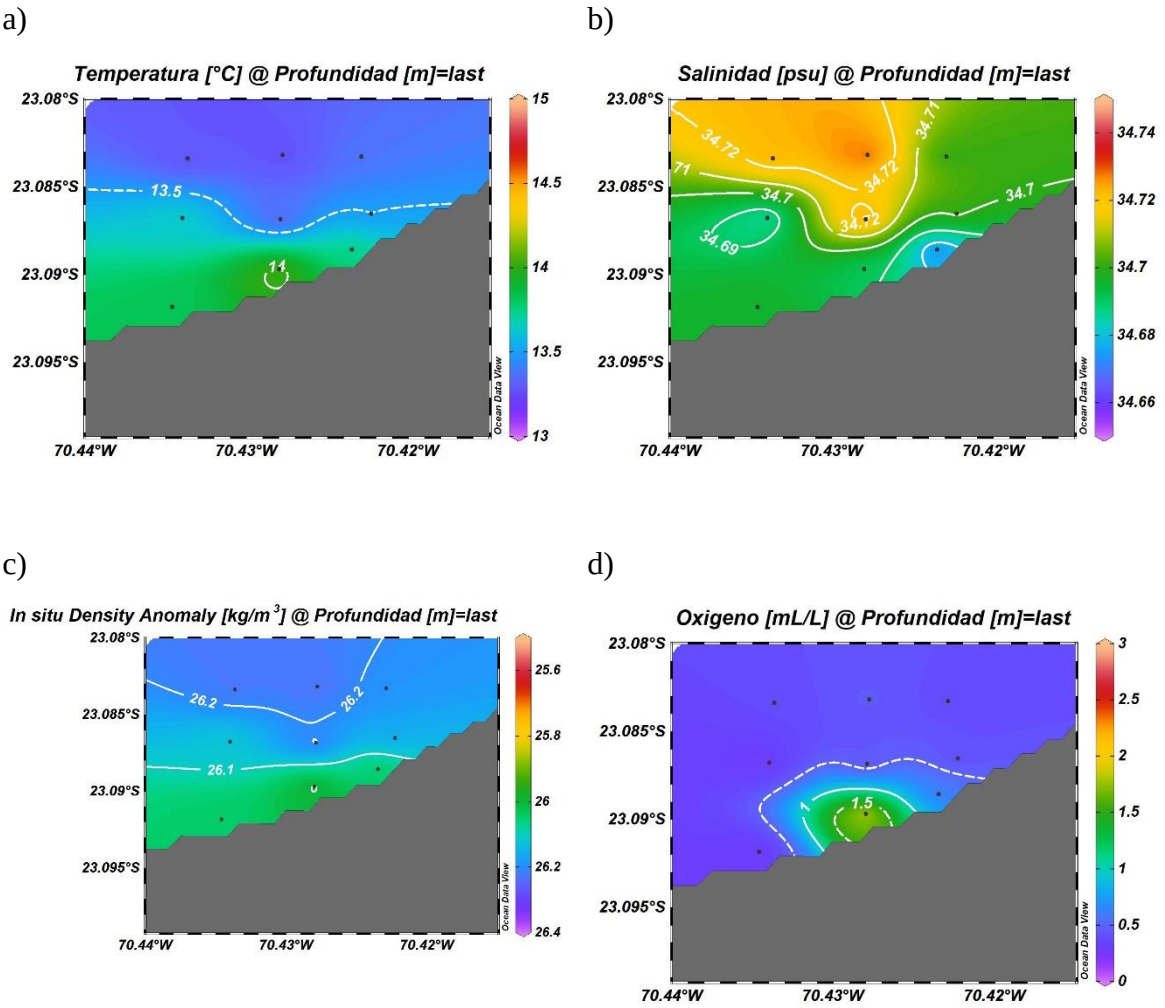

Figura 3. Distribución de (a) Temperatura (°C), (b) Salinidad (psu), (c) Densidad (kg/m^3), (d) Oxígeno disuelto (mL/L) en la máxima profundidad de muestreo, durante el 23 de marzo del 2021, frente a la instalación de la Empresa Corpesca de Mejillones.

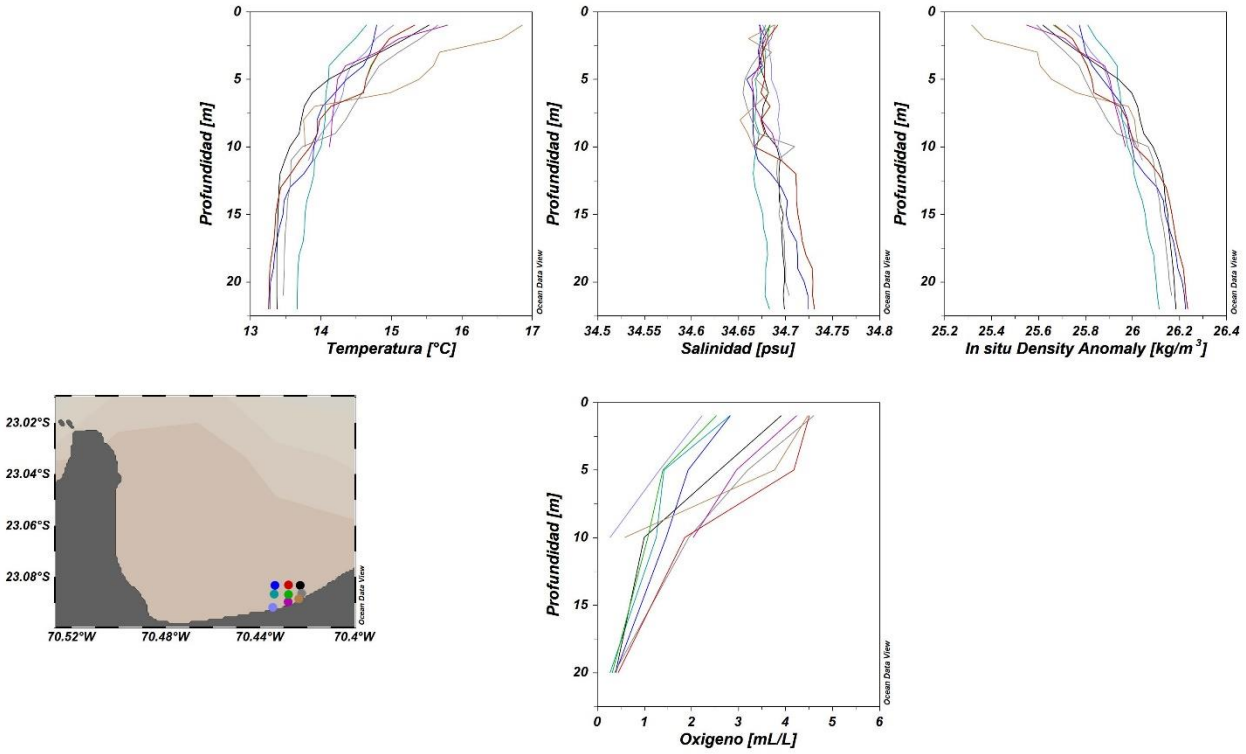

Figura 4. Perfiles verticales de (a) Temperatura (°C), (b) Salinidad (psu), (c) Densidad (kg/m^3), (d) Oxígeno disuelto (mL/L) en estaciones oceanográficas (TCMO_1, TCMO_2, TCMO_3, TCMC_4, TCMC_5, TCMC_6, TCME_7, TCME_8 y TCME_9), durante el 23 de marzo del 2021, frente a la instalación de la Empresa Corpesca de Mejillones.

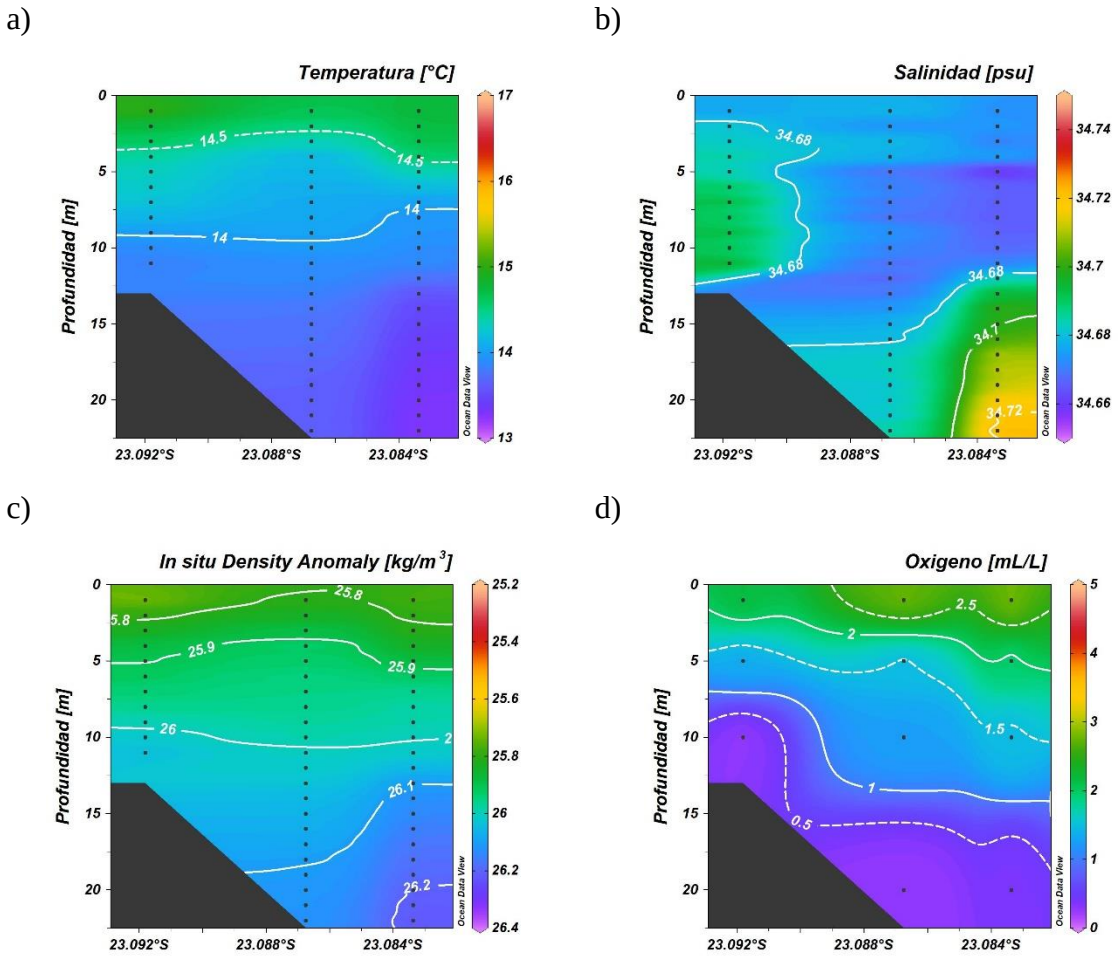

Figura 5. Distribución vertical de (a) Temperatura (°C), (b) Salinidad (psu), (c) Densidad (kg/m^3), (d) Oxígeno disuelto (mL/L) en la Transecta Corpesca de Mejillones Oeste (TCMO_1, TCMO_2 y TCMO_3), durante el 23 de marzo del 2021, en la Transecta de Corpesca de Mejillones hacia el sector Oeste.

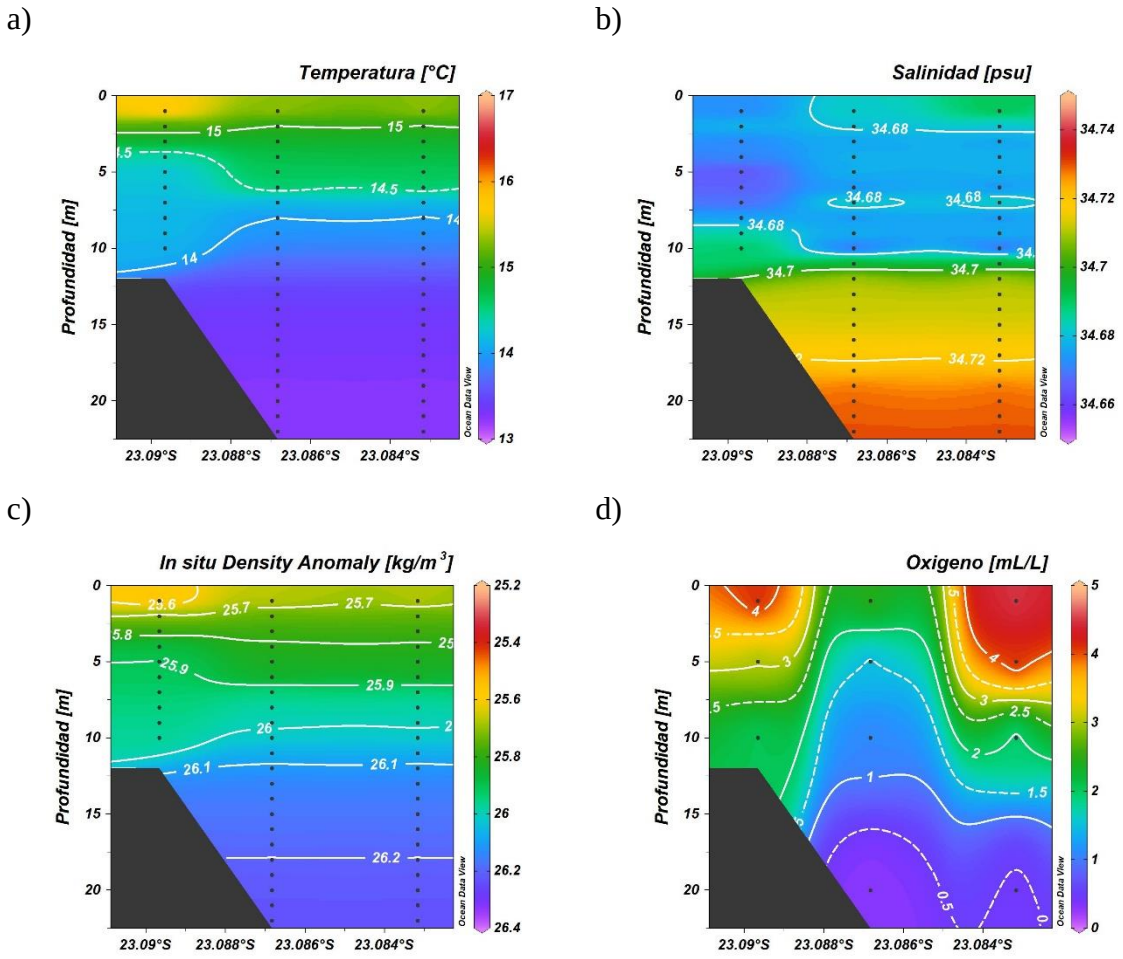

Figura 6. Distribución vertical de (a) Temperatura (°C), (b) Salinidad (psu), (c) Densidad (kg/m^3), (d) Oxígeno disuelto (mL/L) en la Transecta de Corpesca de Mejillones Central (TCMC_4, TCMC_5 y TCMC_6), durante el 23 de marzo del 2021, en la Transecta de Corpesca de Mejillones hacia el sector Central.

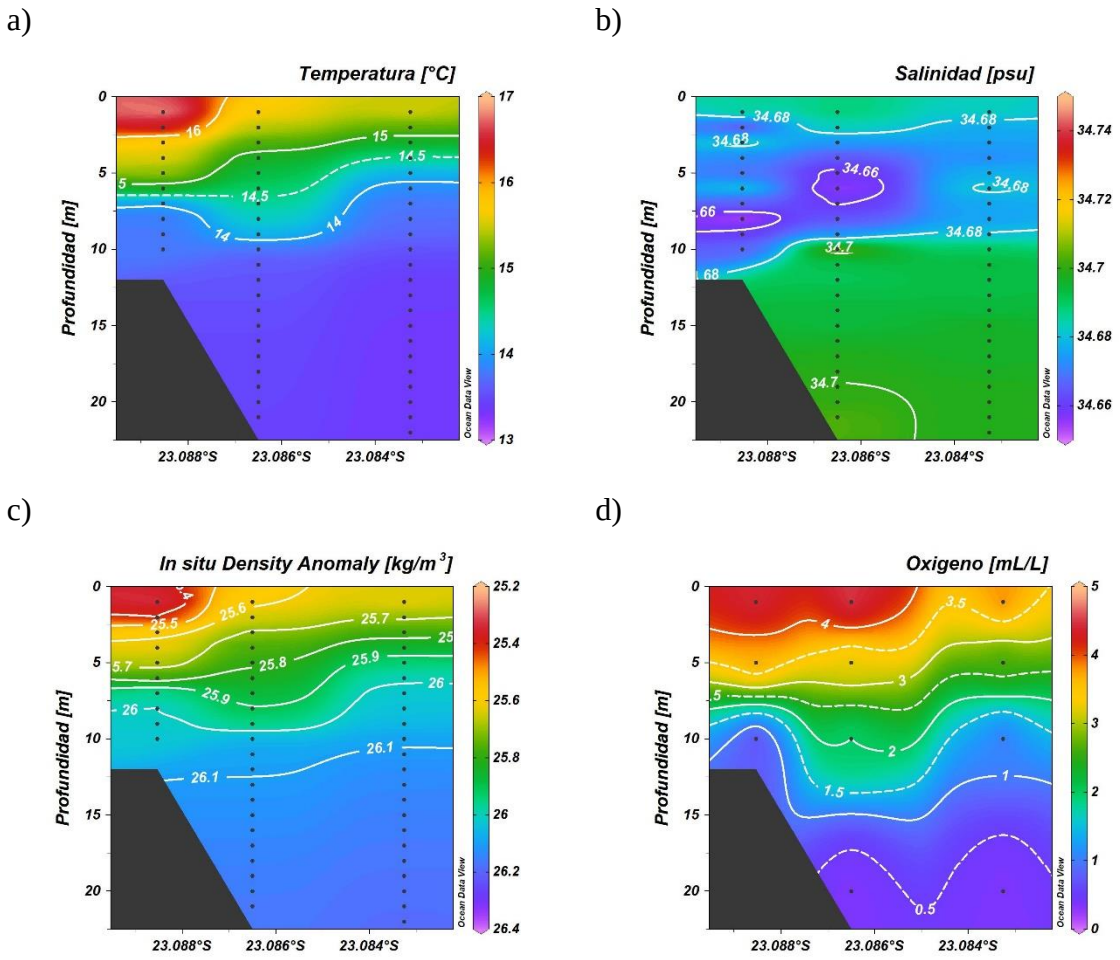

Figura 7. Distribución vertical de (a) Temperatura (°C), (b) Salinidad (psu), (c) Densidad (kg/m^3), (d) Oxígeno disuelto (mL/L) en la Transecta de Corpesca de Mejillones Este (TCME_7, TCME_8 y TCME_9), durante el 23 de marzo del 2021, en la Transecta de Corpesca de Mejillones hacia el sector Este.

4.3 Modelos Numéricos del Oxígeno Disuelto

Fuenzalida *et al*., 2009, implementaron un modelo numérico que permitió reproducir el comportamiento de la distribución de 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 8).

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 9).

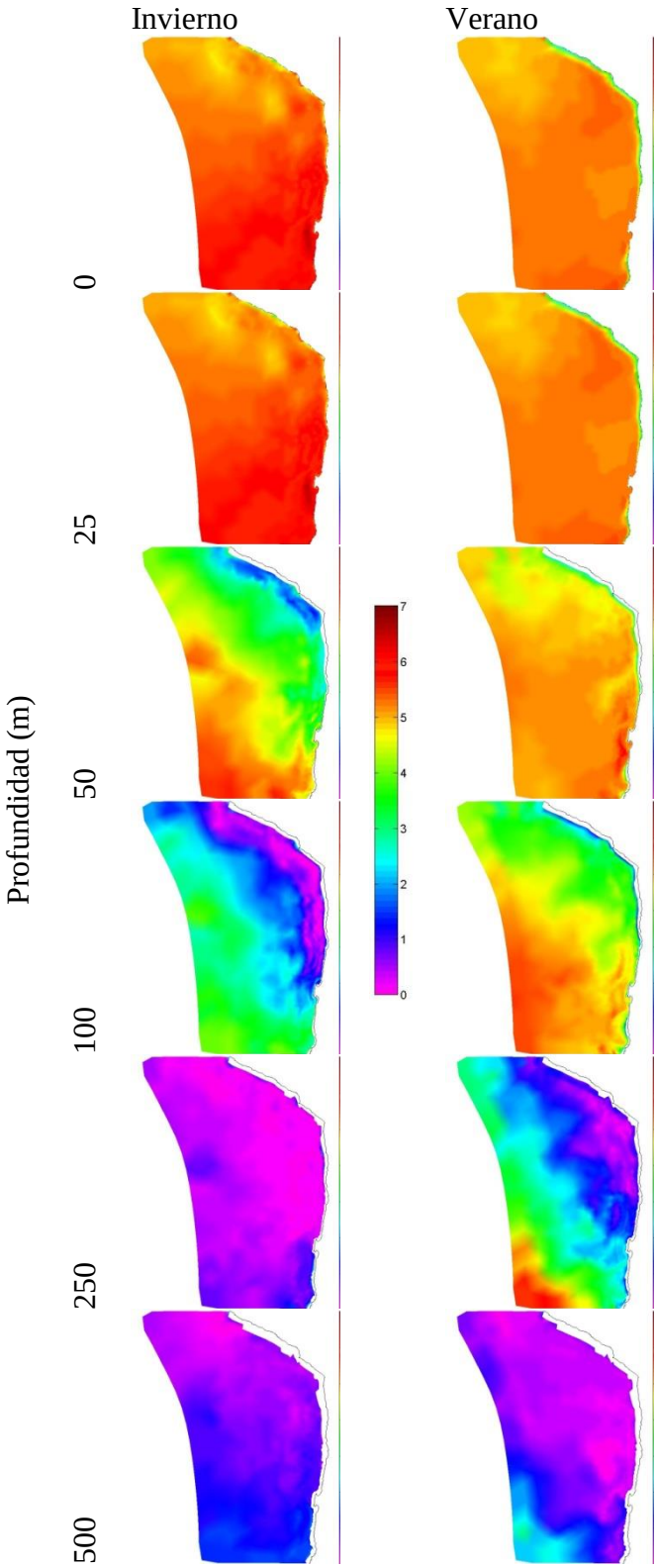

Figura 8. Variación del oxígeno disuelto a 0, 25, 50, 100, 250 y 500 m de profundidad al término del período de estabilización en invierno y verano (Fuenzalida et al., 2009).

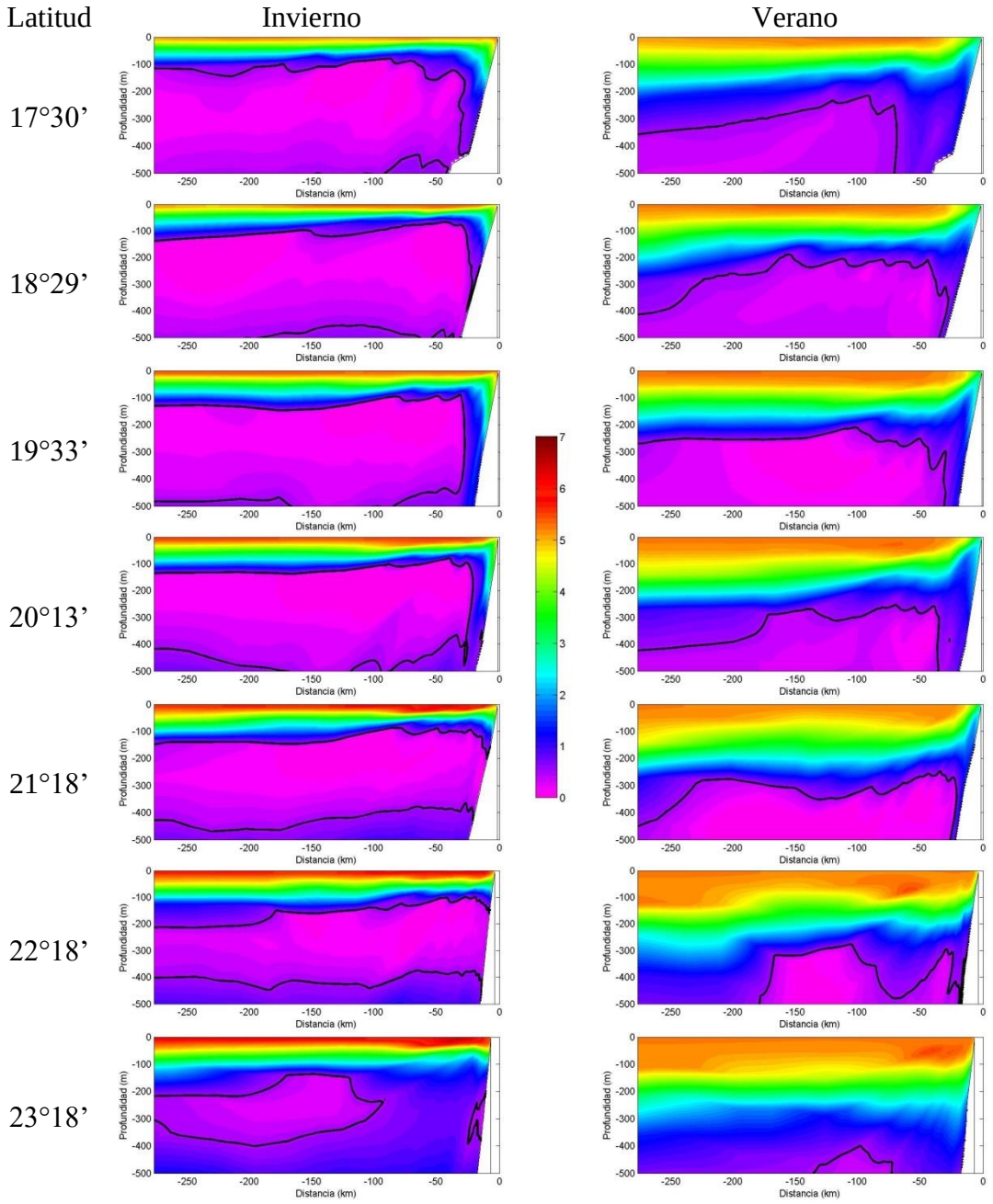

Figura 9. Variación del oxígeno disuelto en las secciones verticales al término del período de estabilización en invierno y verano (Fuenzalida et al., 2009).

4. DISCUSION

Para interpretar la variabilidad fisicoquímica de las condiciones oceanográficas en la bahía de Mejillones, donde se emplaza la Empresa Corpesca, durante la campaña realizada el 23 de marzo 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 deja 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 que para el periodo febrero - abril 2021, se 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 en la bahía de Mejillones frente a la Empresa Corpesca, fue relativamente fría para el principio de otoño 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 6 y 10 metros de profundidad, con una picnoclina levemente desarrollada, que mantuvo los mismos rangos de profundidad, asociado a débiles gradientes verticales y a la estratificación en la columna de agua en el sector de la bahía frente a la Empresa Corpesca.

El contenido salino presentó en general aguas relativamente poco salinas en la capa superficial en todo el sector de estudio, cuyos valores oscilaron entre 34,66 a 34,68 ups, asociada al Agua Intermedia Superior del Pacifico Sur Oriental (**AIPSO**), luego la salinidad se incrementó paulatinamente con la profundidad alcanzando valores > 34,70 ups.

La distribución del contenido de oxígeno disuelto presentó una capa superficial poco oxigenada entre la superficie y 5m de profundidad, destacándose bajos valores del contenido de oxigeno en el sector Oeste de la Empresa Corpesca de Mejillones hacia las instalaciones de ENAEX que fluctuaron entre 2,5 mL/L a 1,5 mL/L. Luego en la capa subsuperficial entre los 5 a 22m de profundidad, el contenido de oxígeno disuelto continúo disminuyendo con la profundidad, confirmando la presencia de la Zona Mínima de Oxígeno Disuelto en el sector Oeste a la ubicación de la Empresa Corpesca, en dirección hacia ENAEX cuyos valores oscilaron entre 1,5 mL/L a 0,28 mL/L, donde los valores < 1,0 mL/L indican aguas hipóxicas.

Por otra parte, enfocado sólo en el sector costero, la Zona Mínima de Oxígeno Disuelto asociada a 1,0 mL/L, se ubicó a 7m de profundidad en el sector Oeste de la Empresa Corpesca de Mejillones en dirección hacia ENAEX, a 12 m de profundidad en el sector Central de la Empresa Corpesca de Mejillones y a 10m de profundidad en el sector Este de la Empresa Corpesca de Mejillones en dirección hacia la Empresa Eléctrica de Gas Atacama, donde el conjunto indica la influencia directa de la Zona Mínima de Oxígeno Disuelto. Finalmente, en el nivel de máxima profundidad el contenido de oxígeno disuelto alcanzó valores inferiores a 0,34 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 (Figura 10). Sin embargo, en la zona de estudio frente a la Empresa Corpesca de Mejillones, los niveles de oxígeno disuelto inferiores a 1,0 mL/L se ubicaron en promedio a 8,5m de profundidad, lo que indica que los organismos que habitaban a esa profundidad no podrían sobrevivir.

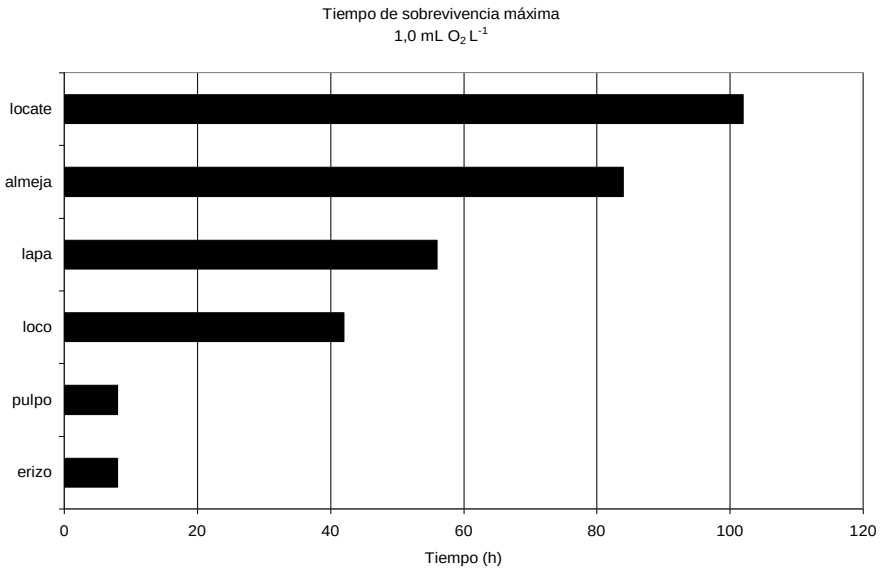

Figura 10. Comparación de la sobrevivencia de las seis especies estudiadas, considerando la condición experimental de 1,0 mL/L.

5. CONCLUSIONES

Las condiciones oceanográficas registradas el 23 de marzo 2021, frente a la Empresa Corpesca, 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 principio de otoño 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 otoño debido al Cambio Climático.

La termoclina estacional, asociada a la isoterma de 14°C, se ubicó entre los 6 y 10 metros de profundidad, con una picnoclina levemente desarrollada, que mantuvo los mismos rangos de profundidad, asociado a débiles gradientes verticales y a la estratificación en la columna de agua, en la bahía de Mejillones frente al sector donde se emplaza la Empresa Corpesca.

El contenido salino presentó en general aguas relativamente poco salinas en la capa superficial asociada al Agua Intermedia Superior del Pacifico Sur Oriental (**AIPSO**) y a nivel subsuperficial la salinidad se incrementó paulatinamente con la profundidad.

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 7 y 10m de profundidad en el sector Oeste y Este de la Empresa Corpesca de Mejillones en dirección hacia ENAEX y la Empresa Eléctrica de Gas Atacama, respectivamente. Luego, disminuyó drásticamente el contenido de oxígeno disuelto generando una 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 penetren hacia la costa aguas con mínimo contenido de oxígeno disuelto es siempre posible (surgencia costera), que los recursos pulpo y erizo sean los más afectados 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. El conjunto indica, que dada la situación con organismos símiles podrían tener un semejante desenlace.

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.

Parsons T., Y. Maita y C. M. Lalli. 1984. A Manual of Chemical and biological methods for seawater analysis. Pergamon Press Ltd. Oxford, England. 173 pp.

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.

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.