



## EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN OCEANOGRÁFICA Y BIOLÓGICA EN LA BAHÍA MEJILLONES EN LA ZONA NORTE DE CHILE



**SEPTIEMBRE – 2016**

## INFORME FINAL

---



### Evaluación de la condición oceanográfica y biológica en la Bahía Mejillones en la zona norte de Chile

---

**Centro de Investigación Aplicada del Mar – CIAM**

**Director Ejecutivo:** Carlos Merino Pinochet

**Director Científico:** Jorge Oliva López

---

**Autores:** Jorge Oliva López  
Felipe Sanfuentes Santos

**Septiembre – 2016**

## RESUMEN EJECUTIVO

La evaluación de la condición de Bahía Mejillones se efectuó de abril a junio de 2016 a bordo de las lanchas de servicio de Corpesca S.A. “Tucan II” y “Santa María”. Las estaciones costeras de frecuencia semanal, se localizaron en una grilla de seis estaciones dentro de la primera milla náutica abarcando toda la costa de la bahía y dos estaciones adicionales como puntos de control alejados de la costa. Una ubicada al centro y otra fuera de la bahía en el sector sur aledaño a Punta Angamos. En cada estación se obtuvieron muestras de agua de mar mediante el uso de botellas oceanográficas Niskin de 1,2 litros a profundidades de 0, 5, 10, 25 y 50 metros, las que fueron destinadas para la determinación del contenido de oxígeno disuelto y biomasa de fitoplancton.

Durante abril se mantuvieron las condiciones asociadas a un evento “El Niño” con temperaturas levemente superiores a lo usual para esa época del año, asociadas a salinidades mayores de 35,0 ups. En mayo y junio se presentaron condiciones típicas del fin de un evento “El Niño” en la zona norte y el tránsito a una condición “Neutral” con temperaturas cercanas a una condición habitual para esta época del año, asociadas a salinidades menores de 35,0 ups. Hacia fines de junio se observó un avance hacia aguas con una menor extensión de aguas cálidas en la zona exterior y con extensas áreas de aguas de características sub-antárticas, desde Iquique al sur, donde se observaron temperaturas menores a 17°C asociadas a salinidades de 34,8 ups, manteniéndose de Mejillones al sur con temperaturas menores al resto de la zona norte.

El análisis de la información integrada durante el monitoreo intensivo efectuado en la Bahía Mejillones indicó para el período mayo-junio del presente año que la mínima de oxígeno (1 mL O<sub>2</sub>/L) se ubicó entre los 25 y 50 m de profundidad, observándose una alta variabilidad de la concentración del oxígeno disuelto.

Las variaciones del oxígeno disuelto (OD) en la columna de agua se encontraron dentro de los valores reportados por diversos investigadores, y de la superficie hasta los 25 metros se estimaron concentraciones adecuadas para la permanencia de cardúmenes de anchoveta (*Engraulis ringens*), evidenciándose que a mayor profundidad se presentó una menor concentración de oxígeno disuelto, alcanzando a los 50 metros un promedio de 0,82 mL O<sub>2</sub>/L.

Durante el período de tiempo que duró el monitoreo de OD en la columna de agua en Bahía Mejillones se registraron valores mínimos y máximos en la concentración de OD comprendidos entre los 0,29 y 7,8 mL O<sub>2</sub>/ L, respectivamente, con promedios mínimo de 3,08 ± 1,21 mL O<sub>2</sub>/ L y máximo de 4,07 ± 2,41 mL O<sub>2</sub>/ L.

La concentración de clorofila-a (µg/L) contenida en la Bahía Mejillones, fluctuó de 13,6 a 46,5 µg Cl-a/L, con un promedio de 25,7 µg Cl-a/L. La evolución de la biomasa fitoplactónica indicó altas concentraciones desde la última semana de mayo a la primera semana de junio, declinando fuertemente a partir de la segunda semana de junio 2016.

En la Bahía Mejillones se registró una alta concentración de clorofila-a, probablemente por una condición de estabilidad que pudo generar una respuesta positiva de la comunidad fitoplanctónica, especialmente en el sector más cerrado de la bahía.

Los resultados del estudio indican que en el período enero-febrero en la Bahía de Mejillones la abundancia de pelicanos (*Pelecanus thagus*) registró en promedio 11 ejemplares, aumentando en marzo a 23, en abril a 948 y en mayo a 8.212 pelicanos. La abundancia de aves guaneras (pelicanos y guanayes) se estimó en el orden de 10<sup>6</sup>, cuyo incremento en abril y principalmente en mayo se asoció directamente con el aumento de la abundancia de anchovetas en el sector estudiado.

Debido a la alta abundancia de anchoveta que se encontró asociada a la Bahía Mejillones se efectuó seguimiento de las condiciones de la anchoveta dentro de la bahía, principalmente en el área más costera, donde permaneció con altas densidades dentro de la bahía y en áreas aledañas, cuyos cardúmenes estuvieron constantemente asediados por depredadores entre los que se cuentan aves, bonitos, lobos marinos, delfines, entre otros.

Durante mayo de 2016 se registraron varazones intermitentes de anchoveta en el litoral de Bahía Mejillones, atribuidas principalmente a la acción de picoteo, caza y depredación emprendida por las aves y otros depredadores, quienes empujaron e hirieron a las anchovetas provocando el acercamiento de éstas a la costa, las que finalmente vararon en la playa.

El muestreo efectuado a las anchovetas colectadas en la zona intermareal del arco de costa de Bahía Mejillones, indicó que la composición por tamaño fluctuó de 5,0 a 15,0 cm de longitud total, con una moda principal en 12 cm y modas secundarias en 10, 5 y 13,0 cm. La anchoveta se encontraba en el período de reposo reproductivo relativo, alimentándose para acumular la energía necesaria para el eventual proceso de máximo desove, que ocurre principalmente en agosto-septiembre de cada año.

Es importante mencionar que, la dinámica observada dentro de Bahía Mejillones fue un ejemplo clásico de cómo se comportan los cardúmenes de anchoveta en un ambiente con condiciones apropiadas y que interactúan según sus ciclos biológicos. En la Bahía Mejillones, durante mayo y junio, se mantuvo la variabilidad característica de la concentración de oxígeno, dado las características propias de esta productiva bahía. A partir de junio se observó una disminución paulatina de la abundancia de anchoveta y depredadores asociados, respecto a lo reportado en mayo de 2016.

En la segunda quincena de junio se evidenció una reducción significativa de los cardúmenes de anchoveta y de los predadores habituales de esta especie en la Bahía Mejillones, los cuales se dispersaron y comenzaron a moverse hacia el norte ubicándose en las cercanías del río Loa.

El CIAM ha continuado con los programas rutinarios que desarrolla en la zona norte de Chile, en los cuales se considera a la Bahía Mejillones en el seguimiento de las condiciones bio-oceanográficas y pesqueras a nivel mensual y estacional.

## 1. INTRODUCCIÓN

Durante el primer semestre de 2016 se apreció un fenómeno inusual al interior de la Bahía de Mejillones, del cual no se tiene registro escrito conocido, donde se evidenció una alta abundancia del recurso anchoveta (*Engraulis ringens*) y predadores asociados, con una permanencia constante de agregaciones que formaron cardúmenes que ocuparon gran parte de la Bahía de Mejillones.

El presente estudio entrega los resultados obtenidos de monitoreos semanales de variables oceanográficas y aspectos biológicos efectuados al interior de la Bahía de Mejillones enmarcado principalmente en el período abril – junio de 2016.

El seguimiento del comportamiento de los cardúmenes de la anchoveta, principal recurso pesquero pelágico de la zona norte de Chile, adquiere relevancia ya que permite entender las interacciones de esta especie con sus depredadores y conocer la influencia que presentan las condiciones bio-oceanográficas.

## 2. OBJETIVO GENERAL

Conocer las características bio-oceanográficas de la Bahía de Mejillones del Sur durante el período de alta abundancia de la anchoveta.

## 3. ANTECEDENTES

Mejillones del Sur (23°LS), es una bahía orientada hacia el norte, ubicada a orillas del desierto de Atacama, que es el más seco del planeta. Esta bahía es parte del centro de surgencia de Punta Angamos, localizado en la zona norte del Sistema de la Corriente de Humboldt (Marín *et al.*, 1993).

En la Bahía de Mejillones se distinguen tres masas de agua; Agua Superficial Subtropical (ASST), Agua Superficial Subantártica (ASSA) y Agua Ecuatorial Subsuperficial (AESS), que presentan diferentes grados de mezcla durante el año (Valdés *et al.*, 2006).

En esta bahía se han registrado valores de producción primaria media de 3.170 mg C m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> y alta diversidad zooplanctónica (Palma & Apablaza, 2004).

Las condiciones físicas de la columna de agua (temperatura, salinidad y contenido de oxígeno disuelto), presentan cambios estacionales representados por un período frío (otoño-invierno) y otro cálido (primavera-verano), donde se observan las variaciones típicas de temperatura y concentración de oxígeno disuelto en la columna de agua (Avaria & Muñoz, 1982; Rodríguez & Escribano, 1996).

La Bahía de Mejillones se encuentra bajo la influencia de la Zona de Mínimo Oxígeno (ZMO) que se extiende desde el sur de Perú hasta el centro de Chile y se ubica entre 60 y 500 m de profundidad frente a la costa de Mejillones (Strab et al., 1998). Al interior de la Bahía de Mejillones, se han registrado valores de oxígeno disuelto inferiores a 1 mL O<sub>2</sub>/L a partir de 50 m de profundidad (Navea & Miranda, 1980; Escribano, 1998), mientras que desde 60 a 80 m, éstos valores son menores a 0,1 mL O<sub>2</sub>/L, dependiendo de la época del año (Valdés *et al.*, 2004b).

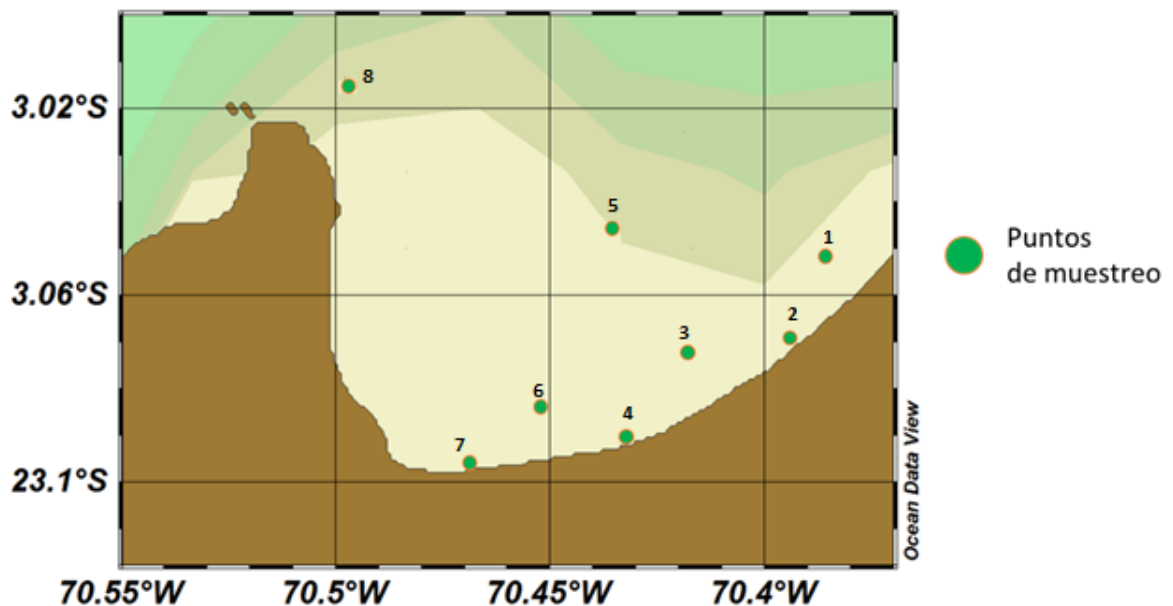
Varios estudios efectuados en la Bahía de Mejillones sugieren que los sedimentos acumulados muestran claras evidencias del predominio de condiciones subóxicas/anóxicas en el ambiente de depositación, al menos durante el último milenio. Respecto al registro sedimentario, Valdés et al. (2000, 2004c) señalan que aunque los datos geoquímicos y petrográficos sugieren un origen similar (marino) para el material orgánico, éste sería influenciado por la descomposición a la cual es sometido en su paso por la columna de agua. Por otro lado, estudios sobre la fluctuación en las poblaciones de peces durante los últimos 250 años sugieren variaciones asociadas a cambios océano-climáticos registrados en la zona (Valdés et al., 2008).

Los peces pelágicos como la anchoveta son especies altamente móviles y presentan cadenas tróficas cortas basadas en el plancton. Tienen una alta tasa de crecimiento, fecundidad y mortalidad. Además, su distribución espacial, biomasa y reclutamiento son fuertemente influenciados por factores ambientales. La anchoveta, aprovecha la cantidad y calidad de los alimentos derivados de los primeros efectos de la surgencia, lo que permite a esta especie buscar y permanecer en sectores que presenten una alta productividad.

#### 4. METODOLOGÍA

##### Área de estudio

Para el desarrollo del programa de monitoreo de las condiciones oceanográficas y biológicas, correspondiente al período abril-junio de 2016 al interior de la Bahía de Mejillones del Sur ( $23^{\circ}\text{LS}$ ), se estableció una grilla de seis estaciones dentro de la primera milla náutica abarcando toda la costa de la bahía y dos estaciones adicionales como puntos de control alejados de la costa. Una ubicada al centro y otra fuera de la bahía en el sector sur aledaño a Punta Angamos (Fig. 1).



**Figura 1.** Ubicación referencial de las estaciones del monitoreo en Bahía de Mejillones.

##### Plataforma de trabajo y programación de estaciones

Para el desarrollo de esta actividad se utilizaron como plataforma de trabajo las embarcaciones de servicio de la empresa pesquera Corpesca S.A.: Tucan II y Santa María.

## Colección de muestras y registros de datos

En cada estación se obtuvieron muestras de agua de mar mediante el uso de botellas oceanográficas Niskin de 1,2 litros a profundidades de 0, 5, 10, 25 y 50 metros, las que fueron destinadas a la determinación del contenido de oxígeno disuelto y biomasa de fitoplancton. Las concentraciones de oxígeno disuelto se determinó mediante el método de Winkler modificado por Carritt y Carpenter (1966) (Parsons *et al.*, 1984) y la biomasa fitoplanctónica expresada como la concentración de clorofila-a, se estimó siguiendo la metodología fluorométrica de Yentsch y Menzel (1963) descrita por Parsons *et al.*, (1984).

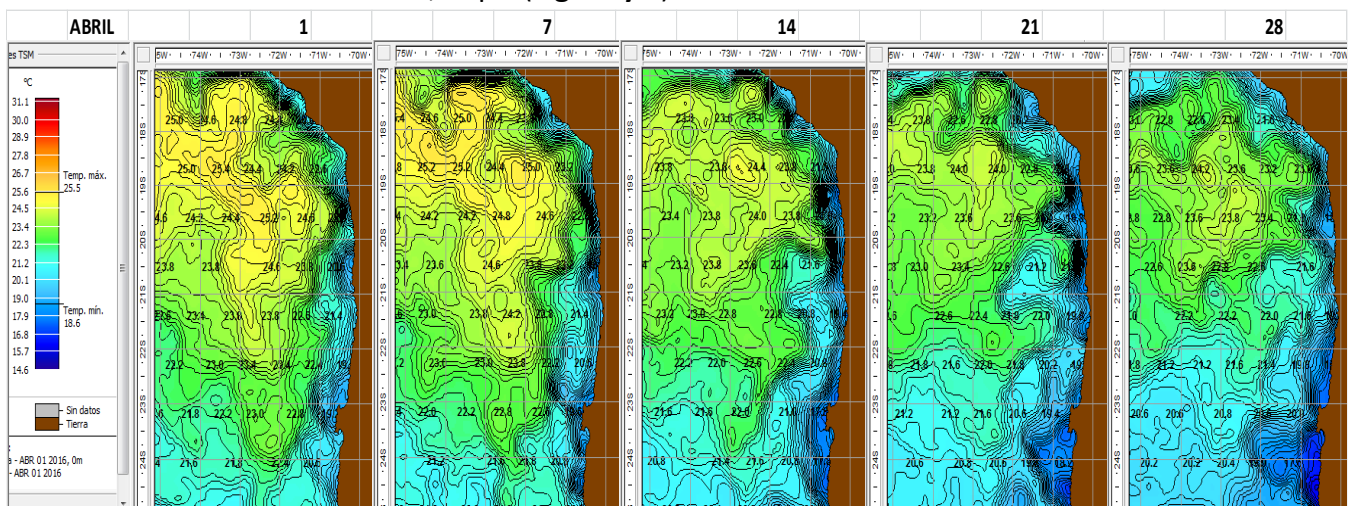
## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### CONDICIÓN OCEANOGRÁFICA Y BIOLÓGICA

#### A) Información satelital

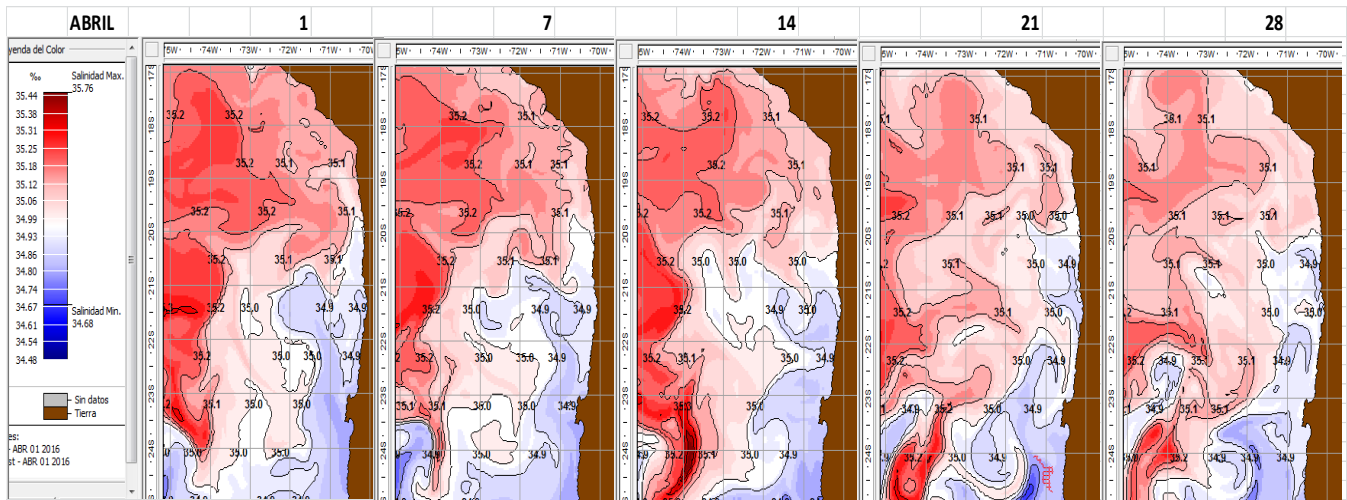
#### ABRIL

Durante abril se mantuvieron las condiciones asociadas a un evento “El Niño” con temperaturas levemente superiores a lo usual para esa época del año, asociadas a salinidades mayores de 35,0 ups. Sin embargo, se observa que ya a fines de mes la situación cambia, con una menor extensión de aguas cálidas en la zona costera y con extensas áreas de aguas de características sub-antárticas desde Iquique al sur, donde se observaron temperaturas < de 18°C, asociadas a salinidades de 34,8 ups. (Figs. 2 y 3).



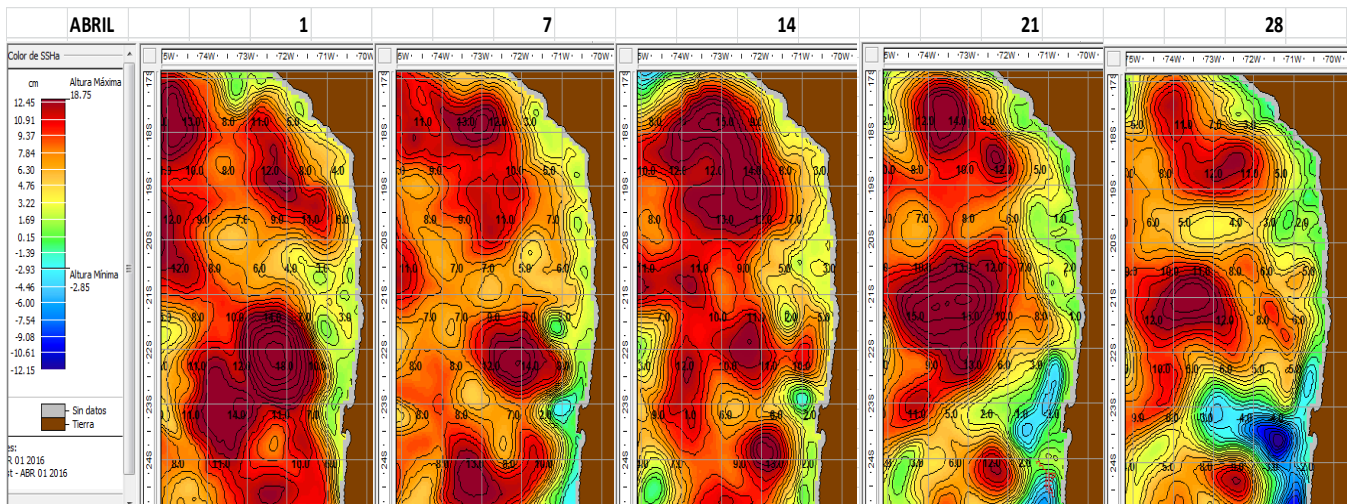
**Figura 2.** Temperatura Superficial del Mar (TSM) para los días 1, 7, 14, 21 y 28 de abril 2016.

Fuente: Sistema de Información Satelital SeaStar de Geoeye (USA).



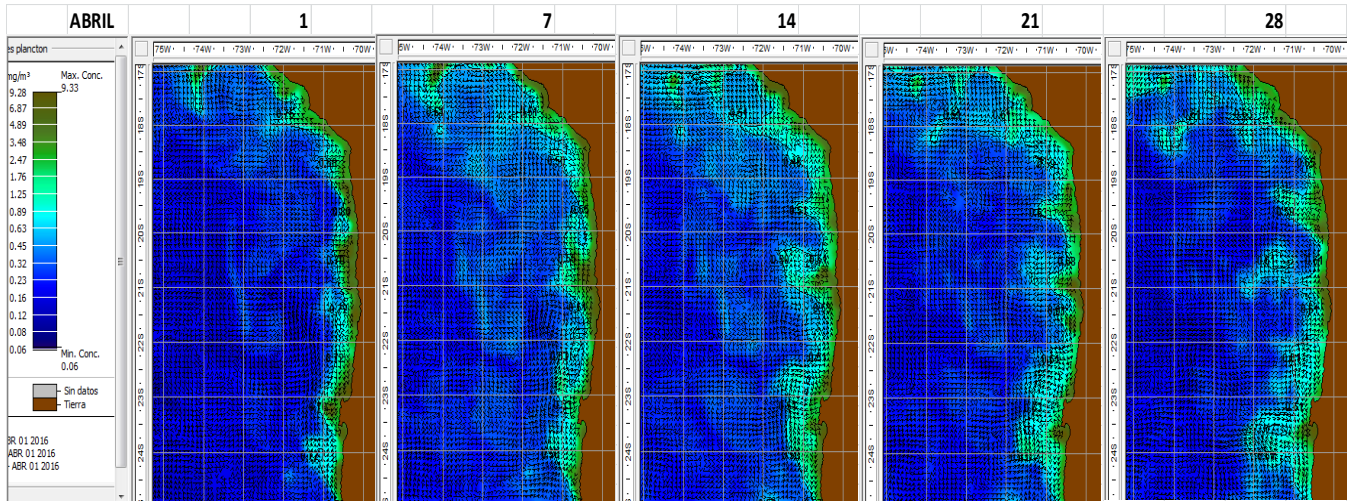
**Figura 3.** Salinidad Superficial del Mar (SSM) para los días 1, 7, 14, 21 y 28 de abril 2016.  
Fuente: Sistema de Información Satelital SeaStar de Geoeye (USA).

La variable altura dinámica del mar (SSH) mostró un cambio entre la primera y la última semana del mes, donde la primera quincena se caracterizó por presentar valores positivos para variar en la segunda quincena hacia anomalías negativas que cubrieron una amplia extensión desde Tocopilla al sur y en especial en un foco frente a la Península de Punta Angamos (**Fig. 4**).



**Figura 4.** Altura Dinámica del Mar (SSH) para los días 1, 7, 14, 21 y 28 de abril 2016.  
Fuente: Sistema de Información Satelital SeaStar de Geoeye (USA).

En abril se observó una intensificación del área asociada a valores altos de clorofila los que aumentaron su cobertura longitudinal hacia finales de mes, con valores que en la zona de Mejillones alcanzaron a más allá de los 72° LW (**Fig. 5**).

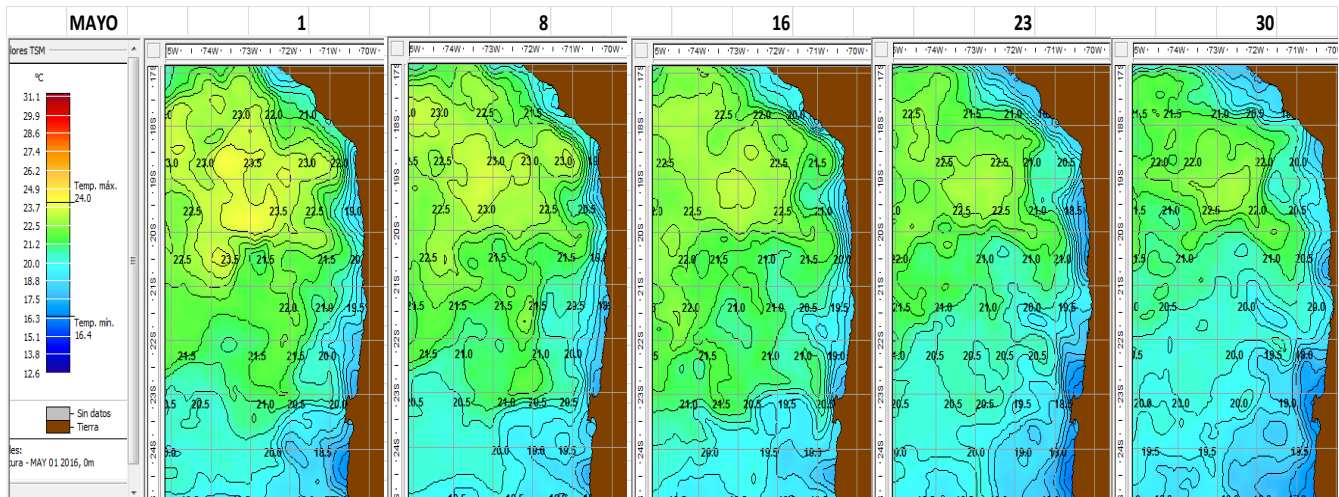


**Figura 5.** Clorofila a para los días 1, 14 y 28 de abril 2016.

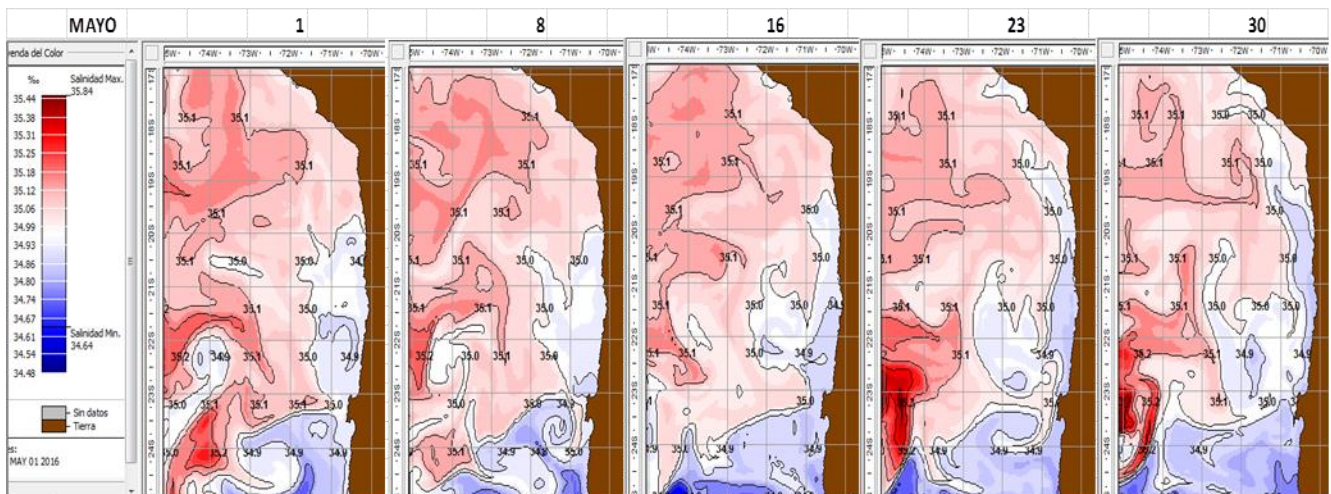
Fuente: Sistema de Información Satelital SeaStar de Geoeye (USA).

## MAYO

Durante mayo se mantuvieron las condiciones típicas del fin de un evento “El Niño” en la zona norte y el tránsito a una condición “Neutral” con temperaturas cercanas a una condición habitual para esta época del año, asociadas a salinidades menores de 35,0 ups. A fines de mayo se visualizó una menor extensión de aguas cálidas en la zona exterior y con extensas áreas de aguas de características sub-antárticas, desde Iquique al sur, donde se observaron temperaturas menores de 18°C, asociadas a salinidades de 34,8 ups. En la zona costera de Mejillones se evidenció una masa de agua más fría, respecto a la zona norte, que se extendió hacia Taltal (**Figs. 6 y 7**).

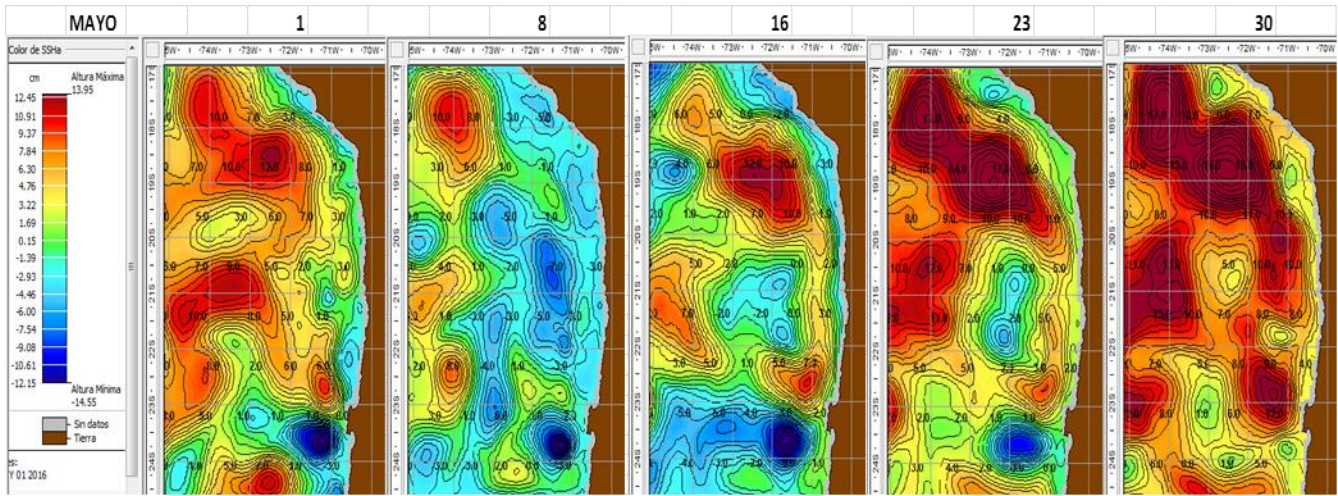


**Figura 6.** Evolución de la TSM durante mayo de 2016. Días 1, 8, 16, 23 y 30 de mayo.  
Fuente: Programa SeaStar de Geoeye USA.



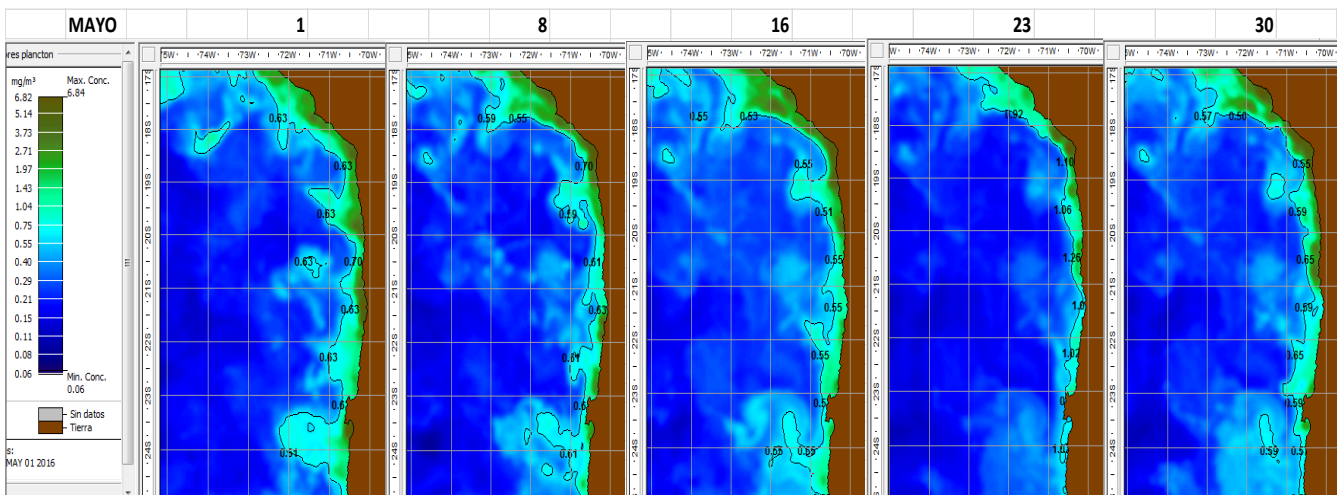
**Figura 7.** Evolución de la Salinidad durante mayo 2016. Días 1, 8, 16, 23 y 30 de mayo.  
Fuente: Programa SeaStar de Geoeye USA.

La variable altura dinámica del mar (SSH) mostró un cambio paulatino, hacia finales de mayo, pasando de anomalías negativas a positivas que cubrieron una amplia extensión desde Tocopilla al sur y en especial un foco frente a Arica que se extendió hasta Tocopilla (**Fig. 8**).



**Figura 8.** Evolución de la altura dinámica durante mayo 2016. Días 1, 8, 16, 23 y 30 de mayo.  
Fuente: Programa SeaStar de Geoeye USA.

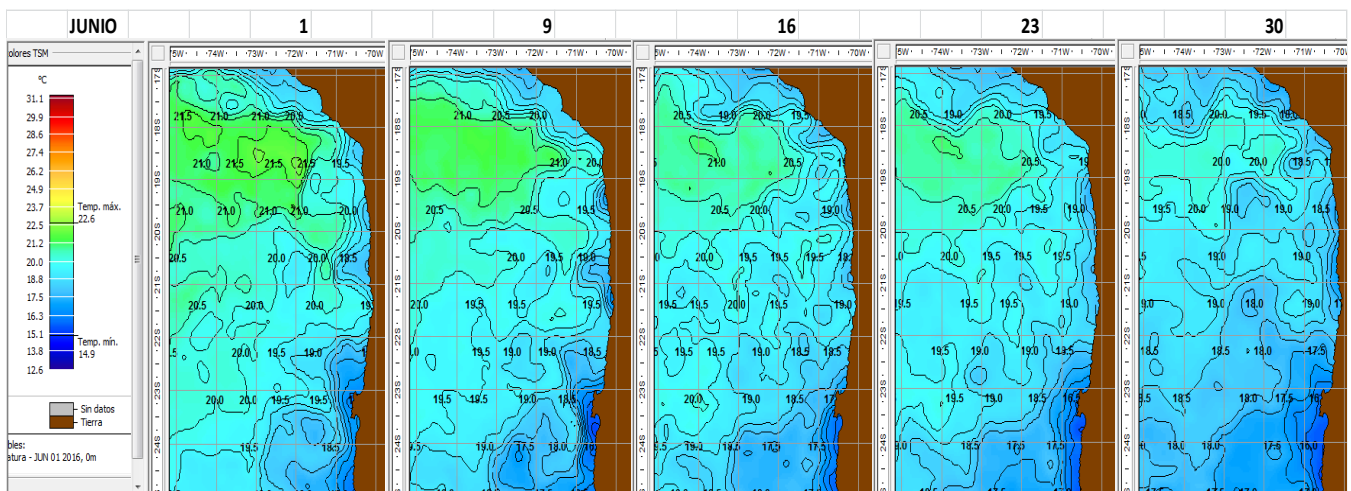
La clorofila a, presentó en mayo una intensificación del área asociada a valores altos, frente a Iquique, los que se extendieron bastante más afuera de la zona inmediata a la costa en la región de Mejillones, con valores que en la zona de Arica alcanzaron registros mayores a 10 ug CL-a/L (Fig. 9).



**Figura 9.** Evolución de la Clorofila a durante mayo 2016. Días 1, 8, 16, 23 y 30 de mayo.  
Fuente: Programa SeaStar de Geoeye USA.

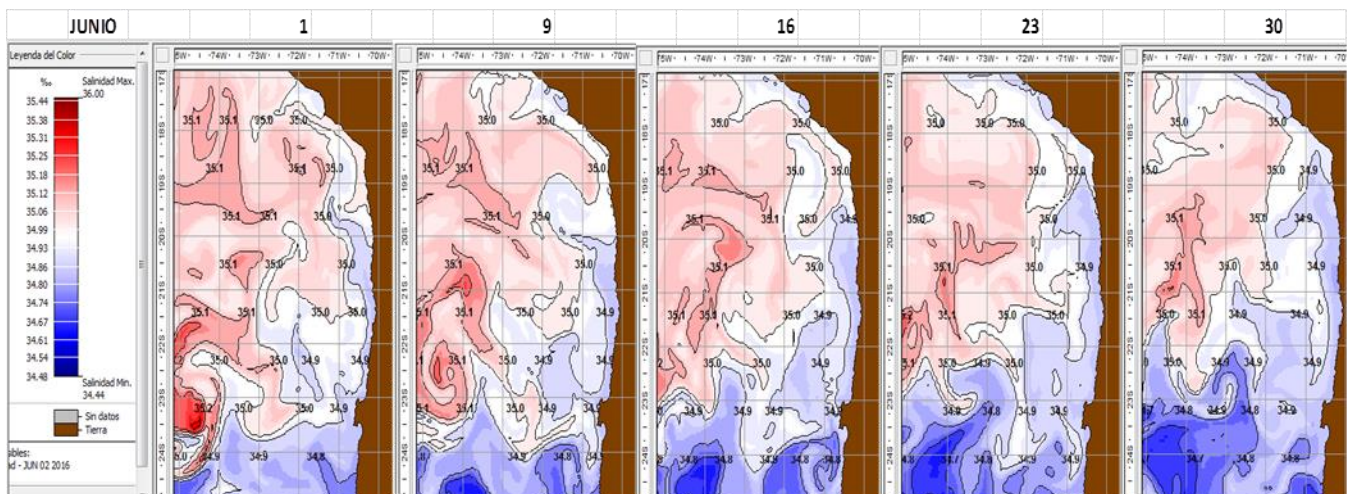
## JUNIO

Durante junio se mantuvieron las condiciones de tránsito hacia una condición “Neutral”, con temperaturas que habitualmente están presentes en esa época del año, asociadas a salinidades menores de 35,0 ups. Se observó un avance hacia aguas con una menor extensión de aguas cálidas en la zona exterior y con extensas áreas de aguas de características sub-antárticas, desde Iquique al sur, donde se observaron temperaturas menores a 17°C asociadas a salinidades de 34,8 ups, manteniéndose de Mejillones al sur con temperaturas menores al resto de la zona norte (Figs. 10 y 11).



**Figura 10.** Evolución de la TSM durante junio de 2016. Días 1, 8, 16, 23 y 30 de junio.

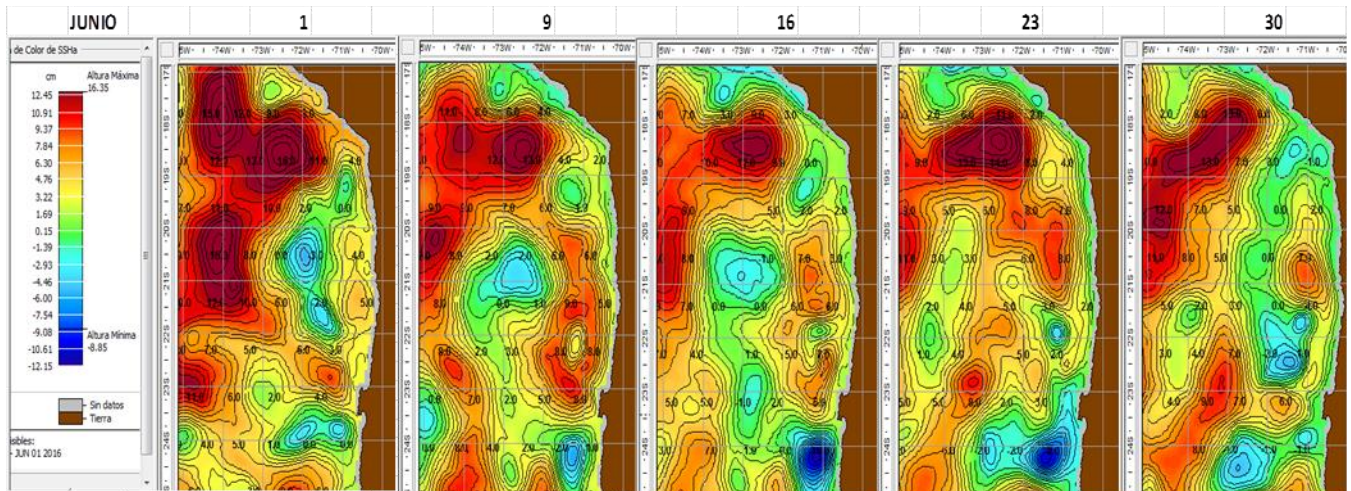
Fuente: Sistema de Información Satelital SeaStar - Geoeye (USA).



**Figura 11.** Evolución de la Salinidad durante junio 2016. Días 1, 8, 16, 23 y 30 de junio.

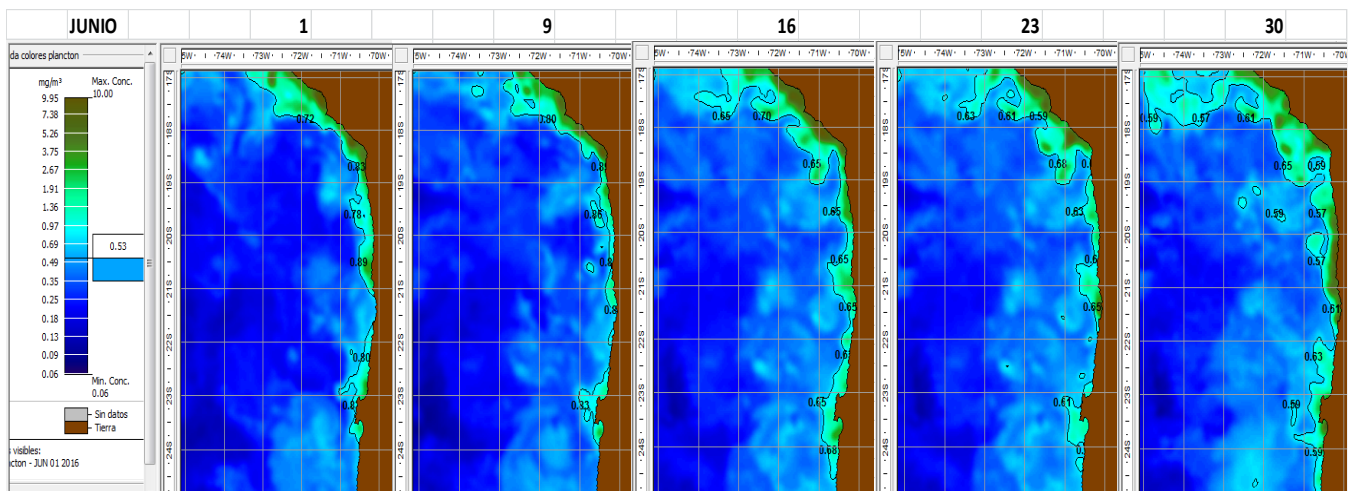
Fuente: Sistema de Información Satelital SeaStar - Geoeye (USA).

Las cartas satelitales de altura dinámica mostraron diferencias entre lo observado a inicios del mes y al término de éste, con un incremento en las áreas de altimetrías negativas hacia fines de mes. Esto junto a lo observado en la clorofila, indican una buena condición para la presencia de anchoveta en la medida de que éstas características se intensifiquen en julio (**Fig. 12**).



**Figura 12.** Cartas de Altura Dinámica del Mar (SSH) para los días 1, 8, 16, 23 y 30 de junio 2016.  
Fuente: Sistema de Información Satelital SeaStar - Geoeye (USA).

Respecto a la condición de la clorofila, se observó en junio valores altos en la zona costera con focos mayores a 5 mg/m<sup>3</sup> en la zona de Arica y entre Iquique y Rio Loa, lo que indica un cambio notorio frente a lo observado en el mes anterior. Se destaca en la última semana en Mejillones un aumento en cobertura y extensión de la concentración de clorofila (**Fig. 13**).



**Figura 13.** Evolución de la Clorofila a (mg/m<sup>3</sup>) durante junio 2016. Días 1, 8, 16, 23 y 30 de junio.  
Fuente: Sistema de Información Satelital SeaStar - Geoeye (USA).

## B) Distribución de la concentración de oxígeno disuelto y biomasa fitoplanctónica

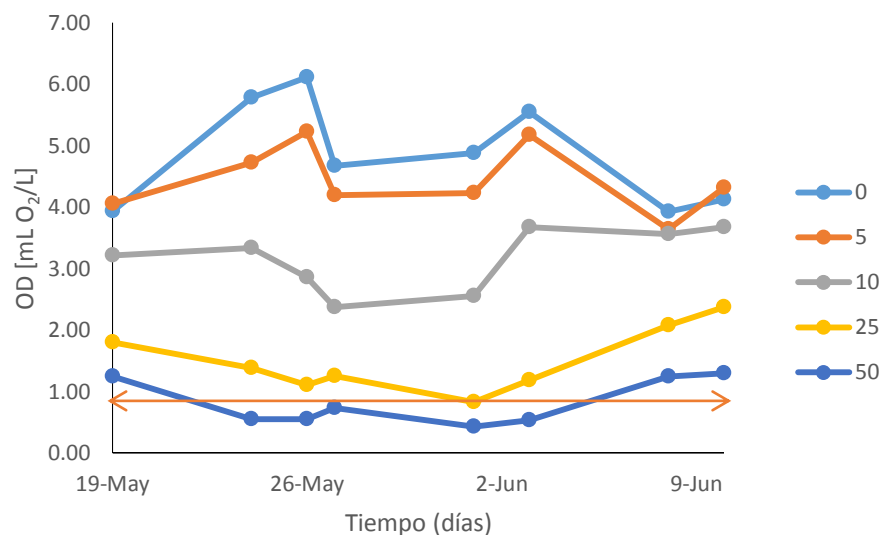
### Concentración de oxígeno en la columna de agua de mar

El análisis de la información integrada durante el monitoreo intensivo efectuado en la Bahía de Mejillones indicó para el período mayo-junio del presente año que la mínima de oxígeno (1 mL O<sub>2</sub>/L) se ubicó entre los 25 y 50 m de profundidad (**Tabla 1**), observándose una alta variabilidad de la concentración del oxígeno disuelto.

**Tabla 1.** Concentración de oxígeno disuelto (mL O<sub>2</sub>/LT) en la columna de agua de mar durante mayo-junio 2016 en Bahía Mejillones.

Profundidad (m)	Promedio	Máximo	Mínimo	DS	CV (%)
0	4.77	7.80	2.63	1.20	25.1
-5	4.45	7.32	2.90	1.11	24.9
-10	3.29	6.64	1.29	1.04	31.7
-25	1.53	3.30	0.45	0.70	46.0
-50	0.82	1.90	0.29	0.41	50.4

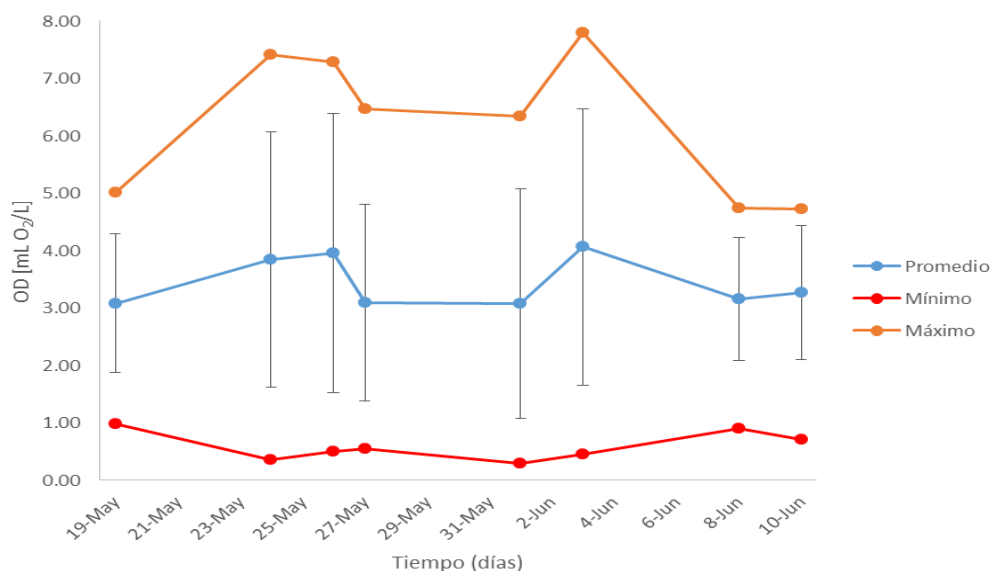
Las variaciones del oxígeno disuelto registradas en mayo y junio en la columna de agua se encuentran dentro de los valores reportados por diversos investigadores, y de la superficie hasta los 25 metros se estimaron concentraciones adecuados para la permanencia de cardúmenes de anchoveta (*Engraulis ringens*) (**Fig. 14**), evidenciándose que a mayor profundidad se presentó una menor concentración de oxígeno disuelto, alcanzando a los 50 metros un promedio de 0,82 mL O<sub>2</sub>/L.



**Figura 14.** Concentración de oxígeno disuelto en la columna de agua en Bahía Mejillones.

Los resultados del análisis de las muestras (**Tabla 2**), indicaron que la concentración de oxígeno disuelto presente en la columna de agua se encontró dentro de los parámetros normales para la Bahía Mejillones para la época del año estudiada y similares a los registros obtenidos durante marzo-abril según lo reportado en el seguimiento mensual que realiza CIAM en la Bahía Mejillones y a los informados por la Universidad Arturo Prat en el Programa bio-oceanográfico-pesquero efectuado en la zona norte de Chile ( $18^{\circ} - 23^{\circ}\text{LS}$ ) (**Anexos I y II**).

Durante el período de tiempo que duró el monitoreo de OD en la columna de agua en Bahía Mejillones se registraron valores mínimos y máximos en la concentración de OD comprendidos entre los 0,29 y 7,8 mL O<sub>2</sub>/ L, respectivamente, con promedios mínimo de  $3,08 \pm 1,21$  mL O<sub>2</sub>/ L y máximo de  $4,07 \pm 2,41$  mL O<sub>2</sub>/ L (**Fig. 15 y Tabla 2**).



**Figura 15.** Concentración de oxígeno disuelto en la columna de agua en Bahía Mejillones

### Análisis semanal

#### Semana 16 al 22 de mayo

Los valores obtenidos, el 19 de mayo de 2016, de oxígeno disuelto fluctuaron entre un mínimo de 0,98 mL O<sub>2</sub>/L y un máximo de 5,01 mL O<sub>2</sub>/L (**Tabla 2 y Fig. 16**). En superficie, el valor máximo de oxígeno disuelto presente en el agua de mar se encontró en la Estación N°1, la cual se ubicó aproximadamente a 1 mn, con un valor de 5,01 mL O<sub>2</sub>/L.

En las estaciones más cercanas a tierra disminuyó la concentración de oxígeno y su valor mínimo se registró en la Estación N° 4, con un valor de 2,63 ml O<sub>2</sub>/L. Para el estrato de los diez metros de profundidad, el valor máximo obtenido fue en la Estación N° 6 ubicada a una milla, con un valor de 4,29 mL O<sub>2</sub>/L, la concentración mínima fue de 2,53 mL O<sub>2</sub>/L, la que se encontró en la Estación N° 3, ubicada en la misma línea a una milla de la costa.

La totalidad de los valores de oxígeno disuelto se encontraron sobre la mínima de oxígeno (1 mL O<sub>2</sub>/L) a excepción del muestreo realizado a 40 m de profundidad correspondiente a la Estación N° 6 en que se obtuvo 0,98 mL O<sub>2</sub>/L.

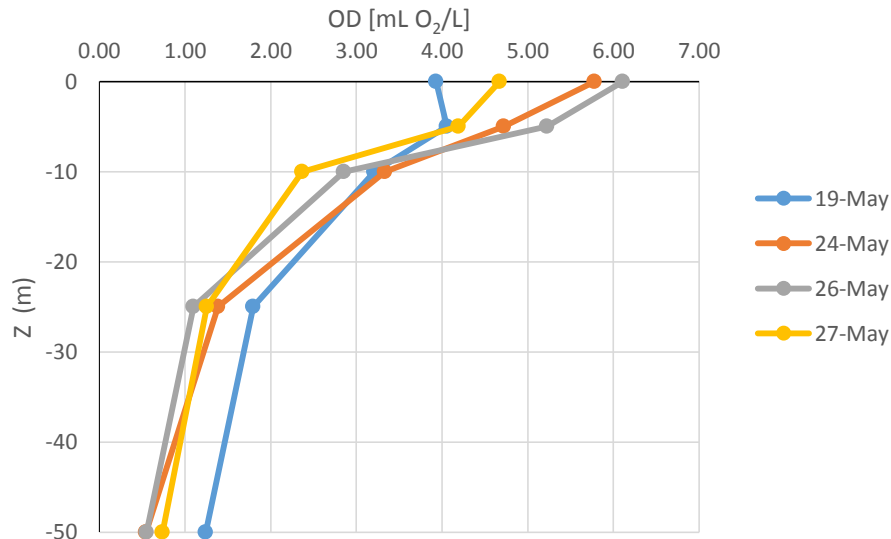
### **Semana 23 al 29 de mayo**

Los registros de oxígeno disuelto informado el 24 de mayo de 2016, se ubicaron entre un máximo de 7,42 mL O<sub>2</sub>/L y un mínimo de 0,35 mL O<sub>2</sub>/L (**Tabla 2 y Fig. 16**). En superficie, el valor máximo de oxígeno disuelto presente en el agua de mar se encontró en la Estación N°2, la cual está en el centro de la bahía, con un valor de 7,42 mL O<sub>2</sub>/L. En las estaciones más cercanas a la superficie se evidenciaron las mayores concentraciones de oxígeno. El valor mínimo se registró en la Estación Control que se encuentra en el punto más alejado y a 50 m de profundidad, con un valor de 0,35 ml O<sub>2</sub>/L. A mayores profundidades se observaron menores concentraciones de oxígeno, evidenciándose en 2 estaciones que a partir de los 25 m los registros estimados estuvieron por debajo de la mínima de oxígeno (1 mL O<sub>2</sub>/L).

El 26 de mayo de 2016 el rango de oxígeno disuelto en la columna de agua fluctuó de 7,29 a 0,50 mL O<sub>2</sub>/L (**Tabla 2 y Fig. 16**), ubicándose el máximo en la estación N° 2. La mínima de oxígeno se evidenció bajo los 25 m, registrándose a 50 m un valor promedio de 0,55 mL O<sub>2</sub>/L.

El 27 de mayo se continuó monitoreando la concentración de oxígeno en la columna de agua dentro de la bahía de Mejillones, observándose que los registros oscilaron de 6,46 mL O<sub>2</sub>/L a 0,55 mL O<sub>2</sub>/L (**Tabla 2**).

A nivel superficial el valor máximo de concentración de oxígeno disuelto se verificó en la Estación N° 3, con un valor de 6,46 mL O<sub>2</sub>/L. La mínima de oxígeno se evidenció bajo los 25 m, registrándose a 50 m un valor promedio de 0,67 mL O<sub>2</sub>/L.



**Figura 16.** Secciones verticales de OD (mL O<sub>2</sub>/L) en la Bahía Mejillones durante mayo

### Semana 30 de mayo al 05 de junio

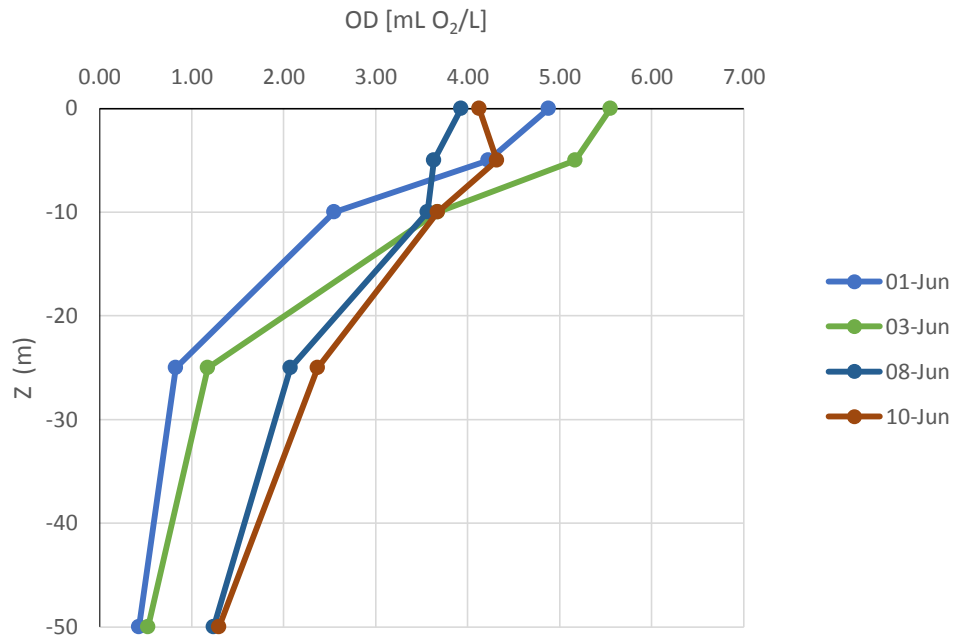
El análisis de la concentración de oxígeno en la columna de agua dentro de la bahía de Mejillones, efectuado el 01 y 03 de junio de 2016, indicó que los valores oscilaron de 6,34 a 0,29 mL O<sub>2</sub>/L y 7,80 a 0,45 mL O<sub>2</sub>/L, respectivamente (**Tabla 2 y Fig. 17**).

A nivel superficial el valor máximo de concentración de oxígeno disuelto se verificó en la Estación N° 1 y 2, con un valor de 6,34 y 7,80 mL O<sub>2</sub>/L, respectivamente. La mínima de oxígeno se evidenció a partir de los 25 m, registrándose a 50 m un valor promedio de 0,49 mL O<sub>2</sub>/L.

### Semana del 06 al 12 de junio

El análisis de la concentración de oxígeno en la columna de agua dentro de la bahía de Mejillones, efectuado el 08 y 10 de junio de 2016, indicó que los valores oscilaron de 4,74 a 0,90 mL O<sub>2</sub>/L y 4,63 a 0,85 mL O<sub>2</sub>/L, respectivamente (**Tabla 2 y Fig. 17**).

A nivel superficial el valor máximo de concentración de oxígeno disuelto se verificó en la Estación N° 6, con un valor de 4,74 y 4,63 mL O<sub>2</sub>/L, respectivamente. La mínima de oxígeno se evidenció a partir de los 40 m, con un valor de 0,85 mL O<sub>2</sub>/L.



**Figura 17.** Secciones verticales de OD (mL O<sub>2</sub>/ L) en la Bahía Mejillones durante junio

**Tabla 2.** Resultados de concentraciones de oxígeno disuelto (mL O<sub>2</sub>/L). Embarcación “Tucán II” (19 mayo 2016) y “Santa María” (24-27 mayo y 1-3-8-10 junio 2016)

AÑO 2016			19 mayo	24 mayo	26 mayo	27 mayo	1 junio	3 junio	8 junio	10 junio
Estación	Coordenadas	Profundidad (m)	mL O <sub>2</sub> /L	mL O <sub>2</sub> /L	mL O <sub>2</sub> /L	mL O <sub>2</sub> /L	mL O <sub>2</sub> /L	mL O <sub>2</sub> /L	mL O <sub>2</sub> /L	mL O <sub>2</sub> /L
1	23°00,974'S 70°22,023'W	0	5.01	5.32	7.18	4.19	6.34	7.17	3.42	4.32
		-5	4.59	3.19	6.30	3.78	5.52	6.25	3.20	4.72
		-10	3.04	2.05	2.61	1.66	1.29	3.31	3.17	3.90
		-25	1.88	0.86	1.14	0.73	0.45	1.29	2.39	2.37
		-50	1.19	0.80	0.50	0.66	0.29	0.60	1.58	1.90
2	23°03,489'S 70°22,520'W	0	3.47	7.42	7.29	4.03	5.30	7.80	3.59	3.72
		-3	3.53	7.15	6.82	3.90	4.57	7.09	3.16	3.30
		-6	3.73	6.83	6.68	3.33	4.83	7.32	3.26	3.21
		-9	3.64	3.57	6.61	3.68	4.73	6.64	3.20	2.92
3	23°03,275'S 70°24,647'W	0	3.70	6.95	7.00	6.46	4.63	4.81	3.66	4.40
		-5	3.13	6.10	3.64	4.21	2.95	4.41	3.15	4.44
		-10	2.53	4.05	1.92	2.87	1.67	3.58	3.14	3.05
		-25	1.43	1.29	0.88	1.22	0.52	0.78	2.04	2.16
		-50	1.43	0.49	0.60	0.81	0.37	0.45	0.90	1.31
4	23°05,557'S 70°25,779'W	0	2.63	5.13	4.72	3.90	3.29	2.98	3.46	3.47
		-2	3.27	4.45	4.56	3.87	3.50	2.53	3.30	3.64
Control (5)	23°03,128'S 70°26,988'W	0	4.38	5.18	5.97	5.97	4.98			4.49
		-5	4.12	4.51	4.72	4.72	4.84			4.17
		-10	2.98	2.96	2.58	2.58	3.39			3.48
		-25	2.16	2.49	1.19	1.19	0.51			1.78
		-50	1.09	0.35	0.55	0.55	0.44			0.85
6	23°04,876'S 70°27,066'W	0	4.96	5.13	6.36	5.30	4.51	5.57	4.74	4.63
		-5	4.39	5.10	6.25	4.59	2.90	4.85	4.55	4.54
		-10	4.29	4.28	4.30	2.58	1.54	4.12	4.37	4.11
		-25	1.71	0.89	1.19	1.82	0.67	1.47	1.80	2.25
		-40	0.98	0.67	0.86	0.85	0.38	0.46	1.36	0.70
7	23°05,957'S 70°28,150'W	0	3.37	5.32	4.26	4.15	4.87	4.97	4.69	4.49
		-2	3.61	5.04	4.10		4.83	5.09	4.51	4.01
Control (8)	23°00,664'S 70°30,173'W	0					5.12			3.48
		-5					4.91			3.70
		-10					4.87			3.84
		-25					1.98			3.30
		-50					0.60			1.13
		<b>Máximo</b>	5.01	7.42	7.29	6.46	6.34	7.80	4.74	4.72
		<b>Promedio</b>	3.08	3.84	3.96	3.10	3.08	4.07	3.16	3.27
		<b>Mínimo</b>	0.98	0.35	0.50	0.55	0.29	0.45	0.90	0.70
		<b>Desvest</b>	1.21	2.23	2.44	1.71	2.00	2.41	1.07	1.17

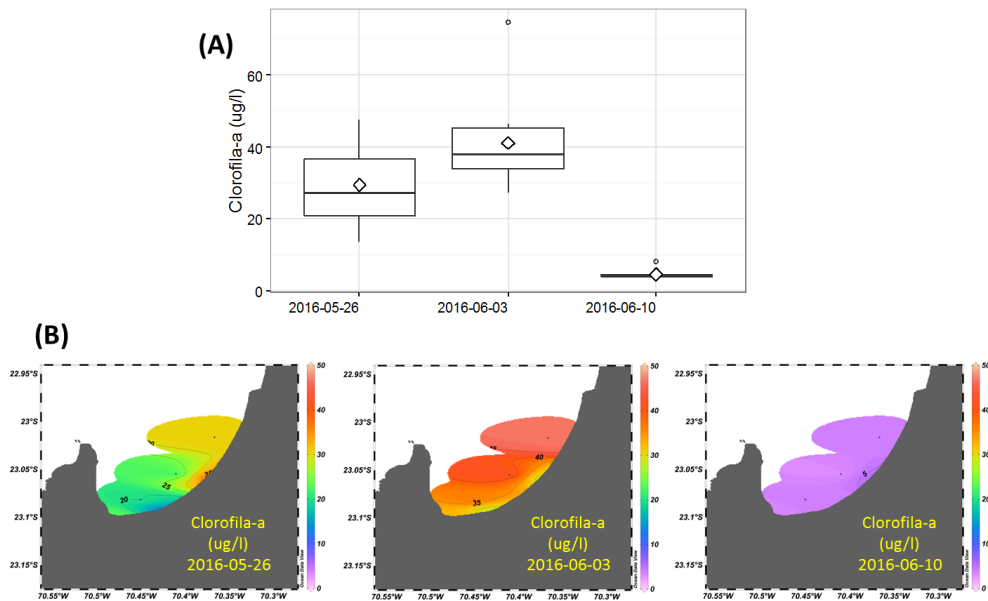
### Evolución de la biomasa fitoplanctónica en Bahía Mejillones.

La concentración de clorofila-a ( $\mu\text{g/L}$ ) contenida en la Bahía Mejillones, fluctuó de 13,6 a 46,5  $\mu\text{g Cl-a/L}$ , con un promedio en el primer muestreo de 29,4 ( $\pm 11,3$ )  $\mu\text{g Cl-a/L}$ , en el segundo osciló de 27,4 a 74,6  $\mu\text{g Cl-a/L}$ , con un promedio de 41,1 ( $\pm 13,6$ )  $\mu\text{g Cl-a/L}$  y en la última campaña el rango fue de 3,3 a 8,0  $\mu\text{g Cl-a/L}$ , con un promedio de 4,6 ( $\pm 1,5$ )  $\mu\text{g Cl-a/L}$  (**Tabla 3**).

**Tabla 3.** Concentración de clorofila en mayo y junio del 2016 en Bahía Mejillones.

Estación	Coordenadas	Profundidad (m)	MUESTREOS					
			1		2		3	
			26-05-2016		03-06-2016		10-06-2016	
			Cloa	Feop	Cloa	Feop	Cloa	Feop
1	23°00,974'S 70°22,023'W	0	30.71	9.49	46.55	11.85	4.12	1.65
		10	44.61	15.23	74.63	27.46	3.94	2.08
2	23°03,489'S 70°22,520'W	0	37.72	8.86	27.43	5.97	5.83	1.15
		9	20.65	8.34	37.01	10.72	7.99	1.32
3	23°03,275'S 70°24,647'W	0	21.37	3.81	43.11	6.96	3.26	1.68
		10	47.53	14.44	46.07	8.39		
4	23°05,557'S 70°25,779'W	0	13.64	4.56	27.48	8.96	4.45	2.28
6	23°04,876'S 70°27,066'W	0	20.33	4.57	36.92	6.44	4.04	1.76
		10	33.53	8.29	39.02	9.42	3.94	2.28
7	23°05,957'S 70°28,150'W	0	23.99	12.76	32.8	8.92	3.59	2.16

La evolución de la biomasa fitoplanctónica indicó altas concentraciones desde la última semana de mayo a la primera semana de junio, declinando fuertemente a partir de la segunda semana de junio 2016 (**Fig. 18**).



**Figura 18.** (A) Box plot que muestra la evolución del contenido de clorofila-a para las tres campañas realizadas en Mejillones. (B) Distribución superficial de clorofila-a en bahía Mejillones.

En la Bahía Mejillones se registró una alta concentración de clorofila-a, probablemente por una condición de estabilidad que pudo generar una respuesta positiva de la comunidad fitoplanctónica, especialmente en el sector más cerrado de la bahía (Santander, E. 2016). Por otra parte, las mayores biomásas promedio del zooplancton, registradas en junio, se observaron frente a la Bahía Mejillones, en relación a lo reportado frente a Iquique y Arica. El incremento del zooplancton, de mayo a junio, frente a Iquique y Mejillones fue de 97,5 y 78,2%, respectivamente. De acuerdo a la información analizada, no obstante que se trata de una época de invierno, es posible señalar que el sistema se encontró dentro de una condición normal.

Debido a que la profundidad máxima de la Bahía Mejillones es de alrededor de 110 m gran parte del ambiente de fondo está bajo la influencia de la Zona de Mínimo Oxígeno (ZMO). Diversos autores (Ortlieb et al., 2000; Valdés et al., 2001, 2004<sup>a</sup>, 2005, 2009; Vargas 2002, 2004; Guiñez et al., 2010) destacan esta bahía como un lugar propicio para realizar reconstrucciones paleo-ambientales debido al efecto que ejerce la ZMO sobre los sedimentos, lo que permite la preservación de restos orgánicos (escamas, foraminíferos, diatomeas y material orgánico particulado) e inorgánicos (metales, minerales).

Al interior de la bahía de Mejillones del Sur, se genera un centro de depositación de material orgánico de origen fitoplanctónico, como consecuencia de los procesos de surgencia que ocurren en la península de Mejillones y al patrón de circulación interna de la bahía. Desde un punto de vista ecológico, estos sistemas de surgencia presentan una baja diversidad, pero una gran biomasa de peces pelágicos, tales como anchoveta (*Engraulis ringens*) entre otros.

### **C) Dinámica del recurso anchoveta e interacción con depredadores**

Es importante mencionar que, la dinámica observada dentro de la Bahía Mejillones fue un ejemplo clásico de cómo se comportan los cardúmenes de anchoveta en un ambiente con condiciones apropiadas y que interactúan según sus ciclos biológicos (**Figs. 19, 20 y 21**). Comportamiento similar se ha visualizado en el sector sur de la caleta “La Cuchara”, cercana a Tocopilla, donde la bahía tiene una disposición geográfica hacia el norte, formando un acantilado con playa de roca y sin actividad antropogénica (**Anexo III**).

En la Bahía Mejillones, durante mayo y junio, se mantuvo la variabilidad característica de la concentración de oxígeno, dado las características propias de esta productiva bahía. A partir de junio se observó una disminución paulatina de la abundancia de anchoveta y depredadores asociados, respecto a lo reportado en mayo de 2016 (**Figs. 22, 23 y 24**).

En la segunda quincena de junio se evidenció una reducción significativa de los cardúmenes de anchoveta y de los predadores habituales de esta especie en la Bahía Mejillones, los cuales se dispersaron y comenzaron a moverse hacia el norte ubicándose en las cercanías del río Loa.

El CIAM ha continuado con los programas rutinarios que desarrolla en la zona norte de Chile, en los cuales se considera a la bahía de Mejillones en el seguimiento de las condiciones bio-oceanográficas y pesqueras a nivel mensual y estacional.



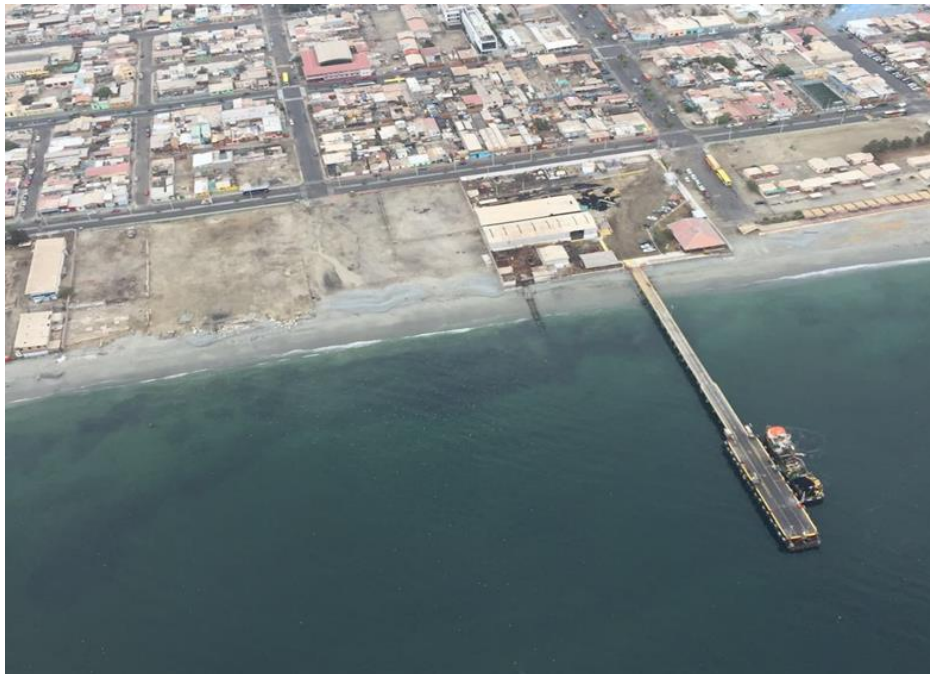
**Figura 19.** Interacción de los predadores con los cardúmenes de anchoveta



**Figura 20.** Predadores de anchoveta en Bahía Mejillones (mayo 2016)



**Figura 21.** Cardúmenes de anchoveta dentro de la Bahía Mejillones



**Figura 22.** Avistamiento aéreo de cardúmenes de anchoveta cerca de la playa



**Figura 23.** Avistamiento aéreo de cardúmenes de anchoveta cerca de la costa



**Figura 24.** Disminución de paulatina de anchoveta y depredadores en Bahía de Mejillones (junio 2016)

#### D) Comportamiento de aves en Bahía Mejillones

La Universidad Arturo Prat (UNAP) realiza desde el año 2014 un seguimiento de las aves marinas en la XV, I y II Región a través del Programa Regional de Evaluación de aves Marinas Costeras “El Niño 2015-2016”, con el objetivo de efectuar mensualmente censo, monitoreo de taxocenosis y condición aviar en siete sectores, dentro de los cuales se incluye la Bahía de Mejillones.

Los resultados del estudio indican que en el período enero-febrero en la Bahía de Mejillones la abundancia de pelicanos (*Pelecanus thagus*) registró en promedio 11 ejemplares, aumentando en marzo a 23, en abril a 948 y en mayo a 8.212 pelicanos. La abundancia de aves guaneras (pelicanos y guanayes) se estima en el orden de  $10^6$  (**Fig. 25**), cuyo incremento en abril y principalmente en mayo se asocia directamente con el aumento de la abundancia de anchovetas en el sector estudiado. El aumento significativo de aves en la bahía de Mejillones presentó en abril y mayo un incremento aproximado de 200% y 700%, respectivamente. Por otra parte, se observó un cambio del comportamiento alimenticio de la gaviota garuma o gris (*Larus modestus*) (especie de mayor densidad en la bahía), que varió su dieta habitual compuesta principalmente por pulga de mar (*Emerita analoga*) hacia la anchoveta (**Fig. 26**).

El comportamiento de las aves durante el ciclo diario se caracterizó por presentar al amanecer un desplazamiento de las bandadas desde el sur de Punta Angamos hasta el sur de Bahía Mejillones y que a partir de las 08 horas se desplazan, a medida que avanza la hora, hacia el interior de la bahía de sur a norte (**Fig. 27**). Al mediodía las aves se posan en la playa y en la bahía en casi toda su extensión, con una distribución paralela a la costa y movimientos con circuitos paralelos a la costa y una distribución ordenada por especies respecto a la distancia de la costa donde las gaviotas (*Larus modestus*, *Larus dominicanus* y *Larus belcheri*) se ubican en la playa, a continuación los pelicanos (*Pelecanus thagus*) en la orilla sobre el agua y más alejados de la costa las aves guaneras (pato yeco (*Phalacrocorax brasilianus*), guanay (*Phalacrocorax bougainvillii*) y lile (*Phalacrocorax gaimardi*) (**Fig. 28**). El atardecer retornan las aves hacia el sector sur de Punta Angamos desocupando paulatinamente la Bahía de Mejillones.



**Figura 25.** Abundancia de aves en Bahía Mejillones (mayo 2016)



**Figura 26.** Gavota alimentándose de anchoveta en la Bahía Mejillones (mayo 2016)



**Figura 27.** Desplazamiento de bandadas de aves del sur de Punta Angamos (mayo 2016)



**Figura 28.** Distribución de las aves paralelas a la costa (mayo 2016)

La presencia, permanencia y abundancia de las aves guaneras en Mejillones estuvo asociada principalmente a la alta disponibilidad del recurso anchoveta en la bahía, especie que corresponde a una de sus principales fuentes de alimento. Además, la agregación de aves guaneras en Bahía Mejillones pudo corresponder a desplazamientos post “El Niño” en correspondencia al retorno a sus áreas de nidificación ubicadas en Perú.

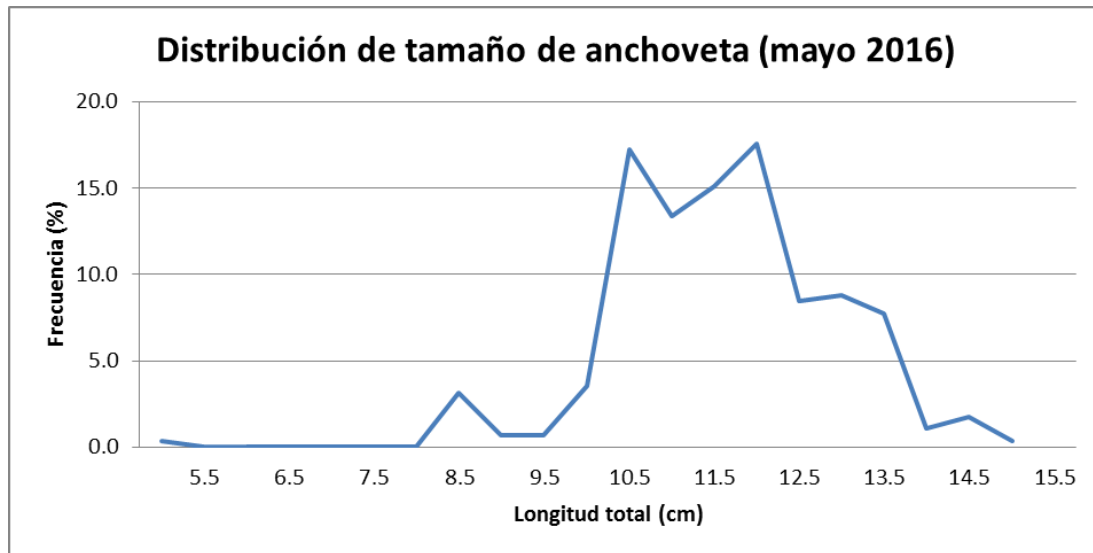
Debido a la alta abundancia de anchoveta que se encontró asociada a la Bahía Mejillones se efectuó seguimiento de las condiciones de la anchoveta dentro de la bahía, principalmente en el área más costera, donde permaneció con altas densidades dentro de la bahía y en áreas aledañas, cuyos cardúmenes estuvieron constantemente asediados por depredadores entre los que se cuentan aves, bonitos, lobos marinos, delfines, entre otros.

Durante mayo de 2016 se registraron varazones intermitentes de anchoveta en el litoral de Bahía Mejillones (**Fig. 29**), atribuidas principalmente a la acción de picoteo, caza y depredación emprendida por las aves y otros depredadores, quienes empujaron e hirieron a las anchovetas provocando el acercamiento de éstas a la costa, las que finalmente varaban en la playa.



**Figura 29.** Varazones intermitentes en la playa de Bahía Mejillones (mayo 2016)

El muestreo efectuado a las anchovetas colectadas en la zona intermareal del arco de costa de Bahía Mejillones, indicó que la composición por tamaño fluctuó de 5,0 a 15,0 cm de longitud total, con una moda principal en 12 cm y modas secundarias en 10, 5 y 13,0 cm (**Fig. 30**).



**Figura 30.** Composición por tamaño de la anchoveta varada en la playa de Bahía Mejillones

La anchoveta se encontraba en el período de reposo reproductivo relativo, alimentándose para acumular la energía necesaria para el eventual proceso de desove, que ocurre principalmente en agosto-septiembre de cada año (Oliva, J. y A. Olivares, 2015).

Esta especie se distribuye asociada a zonas de bajos gradientes longitudinales de temperatura (entre 14° y 20°C, con preferencias de aguas entre 16° y 18°C), salinidad (salinidad superficial entre 34,4 y 35,0 psu, con preferencia en los 34,8 psu) y altos valores de clorofila integrada, y por ser una especie nerítica se ubicaría en los primeros 100 m de profundidad, con preferencia hasta los 50 m.

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

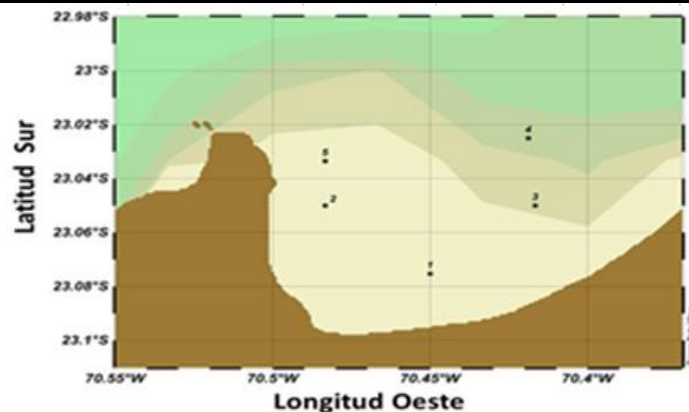
- Avaria, S. & P Muñoz. 1982.** Producción actual, biomasa y composición esporádica del fitoplancton de la Bahía de Valparaíso en 1979. *Revista de Biología Marina, Valparaíso* 18(2): 129-157.
- Apablaza, P. & S. Palma (2006).** Efecto de la zona de mínimo oxígeno sobre la migración vertical de zooplancton gelatinoso en la Bahía Mejillones. *Invest. Mar., Valparaíso* 34:81-95.
- Guiñez, M., J. Valdés & A. Siffedine (2010).** Variabilidad espacial y temporal de la materia orgánica, asociada a la Zona Mínima de Oxígeno (ZMO), en un ambiente costero del norte de la corriente de Humboldt, Bahía Mejillones, Chile. *Lat. Am. J. Aquat. Res.* 38:242-253.
- Marín, V., Rodríguez, L., Vallejo, L., Fuenteseca, J. & E. Oyarce (1993).** Dinámica primaveral de la productividad primaria de Bahía Mejillones del Sur. (Antofagasta, Chile). *Revista Chilena de Historia Natural* 66(4): 479 – 491.
- Oliva, E. 2016.** Programa regional de evaluación de aves marinas costeras El Niño 2014-2015. Informe de avance campañas marzo-abril 2016. Universidad Arturo Prat (UNAP). Convenio Centro de Investigación Aplicada del Mar (CIAM). 42 p.
- Oliva, E. 2016.** Programa regional de evaluación de aves marinas costeras El Niño 2014-2015. Informe de avance campañas abril-mayo 2016. Universidad Arturo Prat (UNAP). Convenio Centro de Investigación Aplicada del Mar (CIAM). 45 p.
- Oliva J. y A. Olivares. 2015.** Evaluación reproductiva de la anchoveta (*Engraulis ringens*) en la XV, I y II Regiones de Chile año 2014. Informe Técnico Final. Centro de Investigación Aplicada del Mar (CIAM) – Universidad de Antofagasta (UA). 44 p.
- Ortlieb, L., R. Escribano, R. Follegati, O. Zúñiga, I. Kong, L. Rodríguez, J. Valdés, N. Guzmán & P., Irachet (2000).** Recording of ocean-climate changes during the last 2,000 years in a hypoxic marine environment off northern Chile (23°LS). *Rev. Chilena Historia Natural* 73: 221-242.
- Palma, S. & P. Apablaza. 2004.** Abundancia estacional y distribución vertical del zooplancton gelatinoso carnívoro en un área de surgencia en el norte del Sistema de la Corriente de Humboldt. *Invest. Mar., Valparaíso*, 32(1): 49-70.
- Parsons, T.T., Y. Maita y C. Lalli. 1984.** A manual of chemical and biological methods for seawater analysis. Pergamon Press. 173 pp.
- Rodríguez, L. & R. Escribano. 1996.** Bahía de Antofagasta y bahía de Mejillones del Sur: observaciones de la temperatura, penetración de la luz, biomasa y composición fitoplanctónica. *Estud. Oceanol., Antofagasta*, 15: 75-85.

- Santander, E. 2016.** Evaluación fitoplanctónica en Bahía Mejillones campaña mayo-junio 2016. Informe Técnico. Universidad Arturo Prat (UNAP). Convenio Centro de Investigación Aplicada del Mar (CIAM).
- Valdés, J., L. López, S. Lomónaco & L. Ortlieb (2000).** Condiciones paleo-ambientales de sedimentación y preservación de materia orgánica en Bahía Mejillones del Sur (23°S), Chile. *Rev. Biol. Mar. y Oceanografía* 35: 169-180.
- Valdés, J. & L. Ortlieb (2001).** Paleoxigenación subsuperficial de la columna de agua en la Bahía Mejillones del Sur (23°S): Indicadores geoquímicos en testigos de sedimento marino. *Invest. Mar., Valparaíso* 29: 25-35.
- Valdés, J., L. Ortlieb & A. Sifeddine (2003).** Variaciones del sistema de surgencia de Punta Angamos (23°S) y la Zona Mínima de Oxígeno durante el pasado reciente. Una aproximación desde el registro sedimentario de la Bahía Mejillones del Sur. *Rev. Chilena de Historia Natural* 76: 347-362.
- Valdés, J. (2004).** Evaluación de metales redox-sensitivos como proxies de paleoxigenación de un ambiente marino hipóxico del norte de Chile. *Rev. Chilena Historia natural* 77: 121-138.
- Valdés, J., G. Vargas, A. Siffedine, L. Ortlieb & M. Guiñez (2005).** Distribution and enrichment evaluation of heavy metals in Mejillones Bay (23°LS), Northern Chile: Geochemical and statistical approach. *Marine Pollution Bulletin* 50: 1558-1568.
- Valdés, J., D. Román, P. Dávila, L. Ortlieb & M. Guiñez (2006).** Variabilidad estacional de cadmio en un sistema de surgencia costera del norte de Chile (Bahía Mejillones del Sur, 23°LS). *Rev. Chilena de Historia Natural* 79: 517-535.
- Valdés, J. & A. Sifeddine (2009).** Composición elemental y contenido de metales en sedimentos marinos de la Bahía Mejillones del Sur, Chile: evaluación ambiental de la zona costera. *Lat. Am. J. Aquat. Res.* 37: 131-141.
- Vargas, G. 2002.** Interactions ocean-atmosphère au cours des derniers siècles sur la cote du Désert d'Atacama: analyse multi-proxies des sédiments lamines de la baie de Mejillones (23°LS). Tesis Doctoral, Universidad de Bordeaux I, Talence. 270 pp.
- Vargas, C. & H. González. 2004.** Plankton community structure and carbon cycling in a coastal upwelling system. II. Microheterothopic pathway. *Aquat Microb. Ecol.*, 34: 165-180.

**ANEXO I**

Valores de concentración de oxígeno para la Bahía de Mejillones de junio-agosto-noviembre 2015 y marzo y abril de 2016 y localización de las estaciones. Reportes de proyecto "Seguimiento mensual de la condición del recurso anchoveta (*Engraulis ringens*) con énfasis en la abundancia y distribución de huevos y larvas" ([www.ciamchile.cl](http://www.ciamchile.cl)).

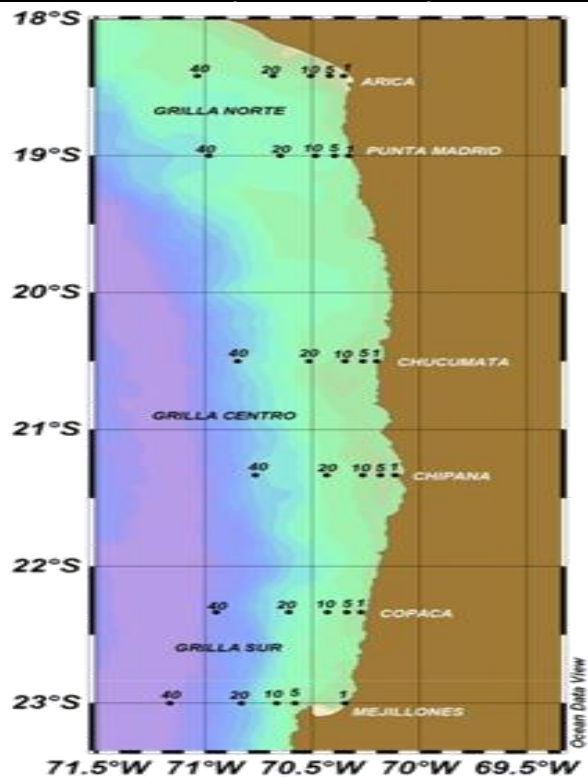
ESTACION	DC (mn)	PROFUNDIDAD (m)	JUN-2015	AGO-2015	NOV-2015	MAR-2016	ABR-2016	MAY-2016	JUN-2016
			OD (mL/L)	OD (mL/L)	OD (mL/L)	OD (mL/L)	OD (mL/L)	OD (mL/L)	OD (mL/L)
1	1	0	5.3	2.8	8.6	4.1	3.6	4.9	5.3
		-5	4.8	2.8	5.2	3.4	3.6	4.4	5.0
		-10	4.2	1.6	2.6	1.5	2.9	4.3	4.3
		-25	3.0	0.8	1.7	0.8		1.7	2.7
		-50							
2	3	0	5.0	3.6	6.0	5.5	3.8	4.3	6.1
		-5	4.2	3.6	5.1	5.9	2.7	3.3	6.1
		-10	3.4	3.5	2.9	5.2	2.6	3.3	5.6
		-25	3.0	2.4	1.4	0.8	0.7	1.2	2.3
		-50	2.1	0.3	1.1	0.4	0.7	0.4	1.6
3	3	0	5.5		6.9	5.8	3.3		5.8
		-5	5.5		4.8	5.8	2.1		5.7
		-10	5.6		4.2	5.2	0.8		5.5
		-25	4.0		1.7	0.7	0.5		2.2
		-50	2.9		1.9	0.5	0.5		0.7
4	5	0	6.0	3.1	5.3	6.1	3.5		4.9
		-5	6.1	2.4	4.5	6.2	3.3		4.8
		-10	5.5	2.7	2.2	5.7	2.5		4.8
		-25	2.8	2.2	1.4	0.8	1.1		2.0
		-50	5.8	0.3	1.3	0.6	0.6		0.7
5	5	0	5.7	3.1	4.9	5.9	4.2	5.2	5.9
		-5	5.5	2.4	3.9	5.1	3.0	4.5	4.6
		-10	2.4	2.6	3.2	3.0	2.4	2.9	3.1
		-25	1.3	1.0	1.7	2.1	1.2	2.5	2.5
		-50			1.1			0.4	0.4
<b>Máximo</b>			6.10	3.60	8.60	6.20	4.17	5.20	6.10
<b>Promedio</b>			4.34	2.29	3.48	3.53	2.24	3.09	3.86
<b>Mínimo</b>			1.34	0.30	1.10	0.40	0.50	0.40	0.40
<b>Desvest</b>			1.42	1.07	2.07	2.30	1.25	1.64	1.91



**ANEXO II**

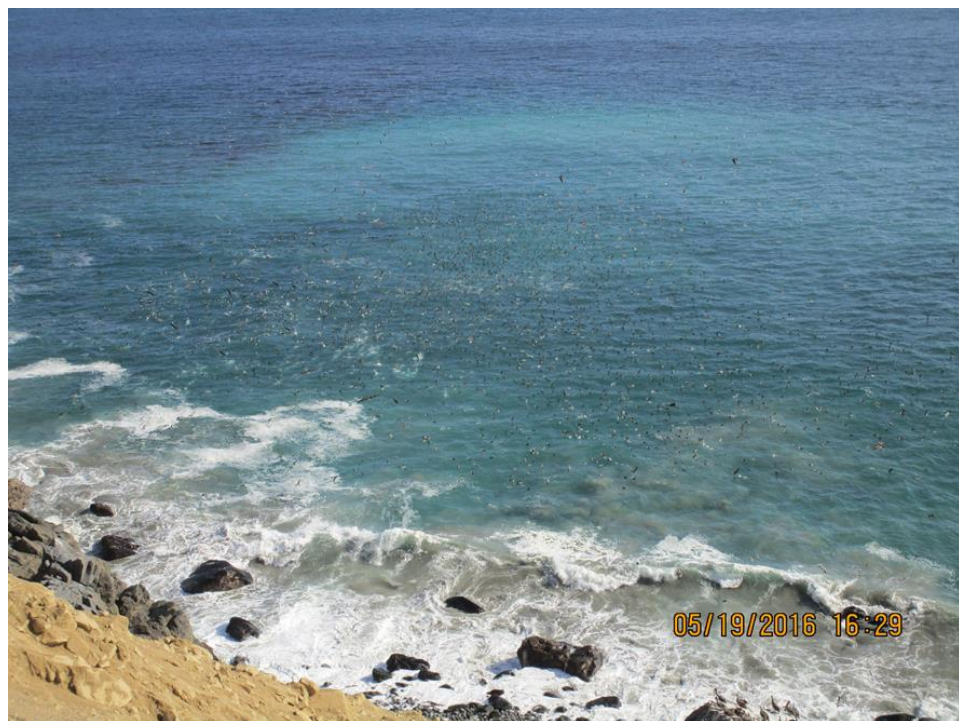
Valores de concentración de oxígeno para la Bahía Mejillones de septiembre 2015, noviembre 2015 y abril 2016 y localización de las estaciones. Proyecto “Programa bio-oceanográfico-pesquero en la zona norte de Chile (18°S-23°LS)” UNAP-CIAM. ([www.ciamchile.cl](http://www.ciamchile.cl)).

Distancia Costa (mn)	Profundidad (m)	SEP- 2015 OD (mL/L)	NOV - 2015 OD (mL/L)	ABR - 2016 OD (mL/L)
1 mn	0	4.67	4.47	3.94
	-5	4.61	2.81	3.39
	-10	4.32	1.49	2.74
	-15	3.56	0.61	2.03
	-20	3.12	0.6	1.58
	-25	2.69	0.33	1.14
	-50	1.59	0.07	0.33
5 mn	0	5.02	5.49	3.99
	-5	5.04	3.81	3.97
	-10	5.06	1.11	3.5
	-15	4.57	0.71	2.32
	-20	3.46	0.68	2.22
	-25	2.69	0.42	1.8
	-50	0.78	0.1	0.72



### ANEXO III

Vista de cardúmenes de anchoveta interactuando con cardúmenes de anchoveta en sector sur de Caleta “La Cuchara” en las cercanías de Tocopilla, II Región.



## ANEXO IV

### PROGRAMA REGIONAL DE EVALUACIÓN DE AVES MARINAS COSTERAS “EL NIÑO 2015-2016” (Oliva E., 2016)

#### Antecedentes

Los sistemas de alerta temprana de eventos “El Niño”, dieron cuenta en abril de 2014 del desarrollo de un evento cálido ENSO con gran incertidumbre de su magnitud.

En consecuencia a dicho fenómeno, y al igual que muchos eventos “El Niño”, se generó en Perú un desplazamiento de aves guaneras en dirección sur, por efecto de cambios en la disponibilidad y distribución de su alimento principal la anchoveta. Estas migraciones de carácter masivo se reflejaron tempranamente en mayo – junio de 2014 en las costas del norte de Chile, por un lado por un aumento de abundancia de estas aves piscívoras y por mortalidad de las mismas por efectos de inanición.

La mortalidad de aves se registró principalmente durante el 2014, en especial en los meses de mayo a agosto. Sin embargo, los desplazamientos al sur no fueron estadísticamente evaluados, toda vez que parte no menor de éstos ocurrió costa afuera.

Durante el 2015, las mortalidades de aves bajaron a niveles mínimos en comparación a lo evaluado el 2014, independiente de la frecuencia de las ondas cálidas proyectadas a la costa, ya que a finales de 2015, comienzo del 2016, el evento alcanzó su fase máxima.

A partir de abril de 2016, las aves guaneras concurrieron masivamente al área de Bahía Mejillones, con densidades altamente significativas respecto de lo observado anteriormente (2014 – 2015); situación que se mantuvo hasta junio.

Las altas densidades de aves guaneras y su permanencia en esta zona coinciden con una alta disponibilidad temporal de anchoveta en la bahía de Mejillones y zonas aledañas a Tocopilla; abundancia tal que se manifestó con varazones de la especie en el área costera.

Varazones de peces que normalmente se correlacionan con eventos de contaminación orgánica asociados a condiciones de hipoxia, o a la proyección de la mínima de oxígeno en superficie y hacia la costa.

No obstante ello, las evaluaciones de oxígeno disuelto en la columna de agua, realizadas en el área de Bahía Mejillones, realizadas entre abril y junio de 2016, no dan cuenta de déficit de la concentración de oxígeno, registros que se han mantenido de acuerdo a los valores habituales para la zona.

Por otra parte, la extraordinaria abundancia de anchoveta, y su permanencia en la Bahía Mejillones se correlacionan con altos niveles de plancton, alimento principal de la especie.

De esta forma, la hipótesis que mejor explica la varazón de anchoveta, es la interacción que se generó entre la anchoveta, como alimento disponible, y la acción de la depredación sobre este recurso.

## I. Campaña: Abril

La Bahía Mejillones destacó como el sitio de mayor agregación de aves marinas al reunir el 88% de las aves censadas en la II Región de Chile (zona de estudio de Tocopilla a Taltal), en especial las aves guaneras, las cuales correspondieron a la fracción de retorno al norte post “El Niño”.

### Región de Antofagasta

En la II Región se realizaron censos en Tocopilla, Mejillones y Taltal obteniéndose 207, 2.999 y 207 aves, respectivamente (**Tabla 1**).

En general se mantuvo la dominancia de los Láridos, en especial de la gaviota garuma. En particular en Mejillones destacó la alta agregación de pelícanos y patos guanay; éstos últimos presentes en las aguas de la bahía, frente al área de playa. La alta abundancia de estas aves guaneras se asocia a la masiva presencia de anchoveta en el área. De igual modo, la agregación de aves guaneras en la bahía podría deberse a desplazamientos post “El Niño” en correspondencia al retorno a áreas de nidificación ubicadas en Perú.

**Tabla 1.** Abundancia de aves en la II Región (abril 2016)

ESPECIES	TOCOPILLA	MEJILLONES	TALTAL
Pelícano		948	3
Pato yeco	2	12	
Jote	23	1	1
Pilpilén blanco		13	
Pilpilén negro	3	2	
Gaviota garuma	101	1.901	165
Gaviota peruana	56	2	9
Gaviota dominicana	17	107	27
Rayador			1
Zarapito	1	13	
Churrete	5		1
Dormilona	1		
N° DE ESPECIES	9	9	7
<b>TOTAL DE INDIVIDUOS</b>	<b>209</b>	<b>2.999</b>	<b>207</b>

## II. Campaña: Mayo

La Bahía Mejillones en mayo de 2016 se constituyó en un sitio de grandes agregaciones de aves guaneras, con dominio de guanayes y pelícanos. Estas aves registraron abundancias del orden de 10.000 y 100.000 individuos, respectivamente.

### Región de Antofagasta

En la II Región se realizaron censos solamente en Mejillones, en atención a la alta agregación de aves guaneras en el área.

Las aves guaneras comenzaron a agregarse en el área en abril, en particular pelícanos y guanayes que exhibieron aumentos en abundancia, respecto de meses anteriores en dos o más órdenes de magnitud (**Tabla 2**). En estas especies se observó una distribución diferencial, con pelícanos en la costa y guanayes en el agua y mar afuera.

**Tabla 2.** Abundancia de aves en la Bahía Mejillones (mayo 2016)

ESPECIES	MEJILLONES
<b>Pelícano</b>	8.212
<b>Pato yeco</b>	34
<b>Pato Lile</b>	4
<b>Pato Guanay</b>	100.000
<b>Jote</b>	9
<b>Pilpilén blanco</b>	1
<b>Gaviota garuma</b>	2.602
<b>Gaviota peruana</b>	69
<b>Gaviota dominicana</b>	272
<b>Vuelve piedras</b>	1
<b>Paloma</b>	1
<b>N° DE ESPECIES</b>	11
<b>TOTAL DE INDIVIDUOS</b>	<b>111.205</b>

La presencia, permanencia y abundancia de las aves guaneras en Mejillones estuvo asociada principalmente a la alta disponibilidad del recurso anchoveta en la bahía, especie que corresponde a una de sus principales fuentes de alimento. Además, la agregación de aves guaneras en Bahía Mejillones podría deberse a desplazamientos post “El Niño” en correspondencia al retorno a sus áreas de nidificación ubicadas en Perú.

Durante mayo de 2016 se registraron varazones intermitentes de anchoveta en el litoral de Bahía Mejillones atribuidas principalmente a la acción de caza, picoteo y predación emprendida por las aves, quienes empujaban y herían a las anchovetas provocando la cercanía de la anchoveta a la costa las que finalmente varaban en la playa.

Los patrones de distribución y abundancia de las agregaciones de las aves fueron altamente variables en términos de horarios, por tales motivos, con el objeto de evaluar el comportamiento de los desplazamientos de las aves en la Bahía Mejillones, se realizó un track de navegación (01 de junio de 2016). Dicha actividad se realizó asociada al monitoreo semanal de las condiciones ambientales de la columna de agua, que comprendió registros de temperatura, oxígeno disuelto y clorofila “a” por niveles de profundidad.

En la mañana temprano la densidad de aves en la costa de la bahía fue baja, la cual se fue incrementando gradualmente por el ingreso de aves desde Punta Angamos, movimiento que se observó paralelo al fondo de saco de la bahía. A medio día las aves se concentraron a lo largo de la costa de la bahía, desplazándose con movimientos de ida y vuelta en consonancia al movimiento de los cardúmenes de anchovetas. En la tarde temprano, 15 a 18 horas, las agregaciones de aves alcanzaron su máxima densidad, para luego al anochecer, desplazarse fuera de la bahía, para situarse en el farellón costero de Punta Angamos al sur.

En esta campaña, no se registraron aves muertas.

### **Conclusiones generales**

En la Bahía Mejillones en el período abril – mayo de 2016 se constituyó en un sitio de agregación de aves guaneras, sustentado por una alta disponibilidad de anchovetas. Estas importantes agregaciones de aves (**Tabla 3**) se habrían reunido en Bahía Mejillones por una alta abundancia de anchoveta y por desplazamientos de aves post “El Niño”, desde el sur en retorno a sus áreas de nidificación ubicadas en Perú. Su permanencia en la Bahía Mejillones y zonas aledañas estuvo condicionada principalmente por la oferta alimenticia. Se espera que en los próximos censos sus abundancias vuelvan a retomar sus registros habituales.

**Tabla 3.** Abundancia de aves en la Bahía Mejillones (enero, abril y mayo 2016)

ESPECIES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO
<b>Pelícano</b> ( <i>Pelecanus thagus</i> )	15	6	23	948	8.212
<b>Huairavo</b> ( <i>Nycticorax nycticorax</i> )	3	2			
<b>Pato yeco</b> ( <i>Phalacrocorax brasilianus</i> )		6	2	12	34
<b>Pato Lile</b> ( <i>Phalacrocorax gaimardi</i> )					4
<b>Pato Guanay</b> ( <i>Phalacrocorax bougainvillii</i> )			58		100.000
<b>Jote</b> ( <i>Cathartes aura</i> )	2	6		1	9
<b>Pilpilén blanco</b> ( <i>Haematopus palliatus</i> )	14	8	8	13	1
<b>Pilpilén negro</b> ( <i>Haematopus ater</i> )				2	
<b>Gaviota garuma</b> ( <i>Leucophaeus modestus</i> )	724	792	764	1.901	2.602
<b>Gaviota peruana</b> ( <i>Larus belcheri</i> )	10	43		2	69
<b>Gaviota dominicana</b> ( <i>Larus dominicanus</i> )	1	8	192	107	272
<b>Gaviota franklin</b> ( <i>Larus pipixcans</i> )			1		
<b>Gaviota monjita</b> ( <i>Larosterna inca</i> )			150		
<b>Gaviotín elegante</b> ( <i>Sterna elegans</i> )	1025	618	62		
<b>Rayador</b> ( <i>Rynchops niger</i> )	377	48	62		
<b>Playero blanco</b> ( <i>Calidris alba</i> )	11		32		
<b>Vuelvepiedras</b> ( <i>Arenaria interpres morinella</i> )					1
<b>Paloma</b> ( <i>Columba livia</i> )		2	2		1
<b>Zarapito</b> ( <i>Numenius phaeopus</i> )	29	26	18	13	
<b>N° DE ESPECIES</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>9</b>	<b>11</b>
<b>TOTAL DE INDIVIDUOS</b>	<b>2211</b>	<b>1565</b>	<b>1374</b>	<b>2.999</b>	<b>111.205</b>