

4 RESULTADOS

4.1 Objetivo específico 1 (OE-1)

OE-1: Recopilar, sistematizar y analizar la información existente del ecosistema marino de la bahía Mejillones del Sur.

Al respecto, en el acápite **4.1.1** del presente documento se entrega el análisis de la información recopilada. Por otra parte, en el anexo digital “Anexos digitales” se adjuntan las bases de datos que contienen la sistematización de la información recopilada y analizada, asociada al objetivo específico del mismo nombre.

Para cumplir este objetivo se recopiló toda la información ambiental disponible, así como los instrumentos normativos, considerando para ello, entre otros, los organismos públicos competentes, empresas privadas emplazadas en el sector, centros académicos e investigación, etc., la cual fue sistematizada y analizada desde la perspectiva del objetivo general del estudio. Este OE responde directamente a la actividad (a) descrita en las bases técnicas del estudio”.

En primer lugar, se realizó una revisión detallada del estudio “Plan de Gestión Ambiental de la bahía Mejillones del Sur” (LME, 2012), para considerar la recopilación e identificación de muestreos realizados tanto por las entidades públicas como privadas y retomar esta base de datos y actualizarla con información a la fecha. En segundo lugar, se realizó una revisión exhaustiva sobre información de las matrices ambientales de agua, sedimento y biota que pudiera encontrarse adicional al estudio anterior, que permitieran caracterizar las condiciones ambientales de la bahía. En tercer lugar, se realizó una recopilación de las emisiones hídricas en la zona de estudio, de modo tal de identificar las fuentes contaminantes que llegan de forma directa o difusa al cuerpo receptor marino, siendo en este estudio bahía Mejillones del Sur.

Por último, se recolectó información asociada a las actividades pesqueras extractivas de la zona.

De acuerdo con lo anterior, se recopilaron las siguientes bases de datos que guardan relación con la zona de estudio:

- i) Estudios de Impacto Ambiental (EIA), Declaraciones de Impacto Ambiental (DIA) y Resoluciones de Calificación Ambiental (RCA) existentes en bahía Mejillones del sur
- ii) Programas de Vigilancia Ambiental (PVAs) de las empresas;
- iii) Programa de Observación del Ambiente Litoral (POAL) de la DIRECTEMAR;
- iv) Registros de fiscalizaciones y monitoreos de emisiones hídricas la SISS, SMA y Autoridad Sanitaria;
- v) Publicaciones científicas y estudios técnicos desarrollados por Organismos Públicos, Universidades y Privados;
- vi) Información proporcionada por el Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes (RETC);
- vii) Registro del Servicio Nacional de Pesca, particularmente el catastro de actividades pesqueras extractivas de bahía de Mejillones del Sur.

4.1.1 Análisis de la información existente del ecosistema marino de la bahía Mejillones del Sur.

4.1.1.1 Introducción

Uno de los grandes desafíos que enfrentan las sociedades modernas es el de armonizar el crecimiento económico –necesario para el desarrollo- con el cuidado de la naturaleza. Durante la pasada década la mayoría de los países acordaron promover políticas tendientes a implementar un modelo de crecimiento denominado “Desarrollo Sustentable”. Este tipo de desarrollo se fundamenta en impulsar, de manera similar, el crecimiento económico, la equidad social, y la protección de la naturaleza. La implementación de este modelo no es tarea fácil, ya que debe existir la voluntad de todos los sectores de la sociedad para lograr acuerdos, flexibilizar sus posturas y superponer los intereses de la sociedad (o al menos igualarlos) por sobre intereses particulares (Valdés et al. 2007)

En este contexto, bahía Mejillones del Sur constituye un sistema ambiental, el que está conformado por aquellas entidades o conjunto de ellas que forman parte del problema ambiental en estudio. Un sistema ambiental es un conjunto de *“modelos y métodos para una cuantificación integrada y representación de flujos de materiales y energía en diferentes subsistemas de la naturaleza y sociedad y la evaluación de la sostenibilidad futura de distintas alternativas de acción”*. Esto resulta en un sistema complejo, donde se establecen numerosas relaciones de distintos tipos entre los componentes y para cada uno de ellos, se pueden definir modelos conceptuales o numéricos específicos, que forman parte del sistema ambiental. Así los componentes son estructuras que pueden describirse con varios modelos y varios conjuntos de parámetros, dentro de un modelo más amplio. Las variables que relacionan los componentes pueden ser muy distintas, como flujos de materiales, datos de concentración de un elemento o temperatura del agua de refrigeración en las descargas al océano, regulaciones de la autoridad ambiental, interés de la población local por definir niveles aceptables de un elemento o compuesto, información de operación de las actividades de servicios y de producción, normativas por variables de elementos potencialmente contaminantes.

Para definir el sistema ambiental tenemos como criterio estructurador a los *flujos de energía* (por ejemplo, *térmica*) y de *materiales potencialmente contaminantes* (*materia orgánica, metales u otros materiales*) que pueden impactar o impactan a distintos componentes de la naturaleza. El sistema ambiental resultante de las relaciones que se establecen posee características únicas, es decir no se repite.

Con los antecedentes conceptuales, indicados más arriba, y con las características de los problemas ambientales y desde una perspectiva integradora, basados en *los flujos de materiales y energía potencialmente contaminantes*, se definieron los siguientes componentes: i) *Complejo Industrial-Mejillones* que realiza las principales actividades de servicios y de producción; ii) *Institucionalidad Ambiental* que norma jurídicamente las relaciones de las industrias con el medio ambiente y fiscaliza su cumplimiento; iii) *Población Local* incluyendo a sus autoridades y asociaciones de trabajadores y ; iv) *Ecosistemas Marinos de la Bahía Mejillones del Sur* .

El conocimiento científico de la bahía Mejillones, si bien ha aumentado en el último tiempo (Figura 4.1-1), continúa siendo parcelado, de manera que en la actualidad no se dispone de una base sólida que permita entender a cabalidad los procesos que gobiernan el funcionamiento de esta bahía, desde una perspectiva temporal (Valdés et al. 2007). La

mayoría de los estudios se han centrado en el conocimiento del ambiente sedimentario, de los procesos de surgencia y la zona mínima de oxígeno (ZMO) (Figura 4.1-2).

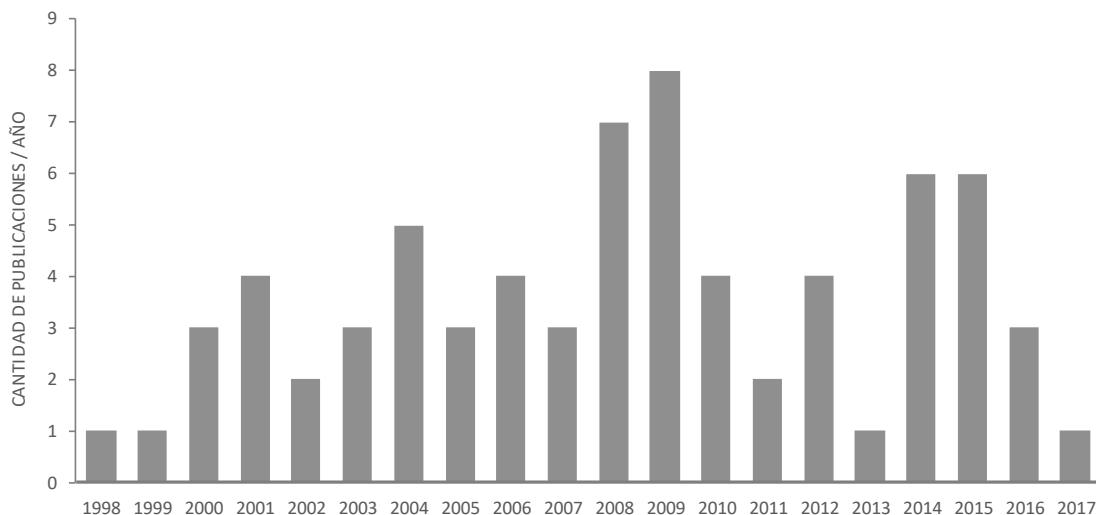


Figura 4.1-1 Número de artículos científicos acerca de la bahía de Mejillones del Sur, en los últimos 19 años.

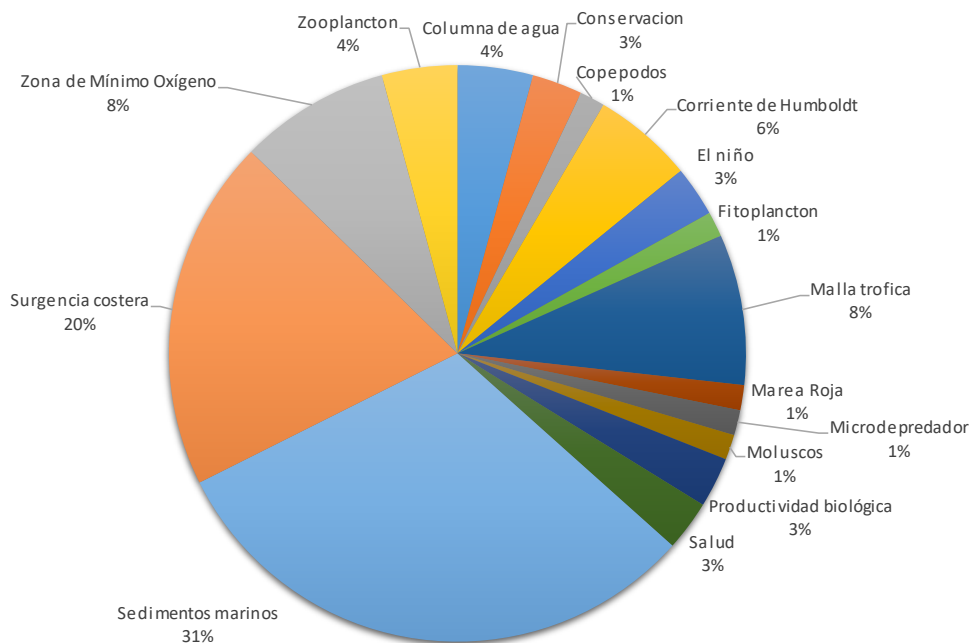


Figura 4.1-2 Análisis del porcentaje de las publicaciones científicas de la bahía de Mejillones del Sur.

Por otra parte, esta bahía se ha visto afectada por fenómenos naturales recurrentes, que pueden llegar a constituir problemas para la salud humana como son la ocurrencia de mareas rojas y eventos de hipoxia. Mortalidades masivas de organismos marinos. Así como también, se han registrado una serie de contingencias ambientales de origen antrópico,

entre las que destacan el vertido de ácidos desde un Terminal marítimo y el vertido de concentrados en el borde costero del sector industrial. También fue noticia en los medios de comunicación el derrame de petróleo en el Terminal 2 del Puerto Mejillones provocado por el Buque de bandera Maltesa “Liquid Challenge” el año 2009 que afectó a la columna de agua y a dos playas circundantes al Puerto. En este contexto, la activa interacción de la comunidad de Mejillones con su entorno marino requiere fortalecer este conocimiento, abordando los procesos que pudieran influir en el comportamiento de las comunidades biológicas de la bahía. Con ello se podría diferenciar la variabilidad natural del ambiente marino, de aquella influida por la actividad antrópica.

De acuerdo a lo expuesto anteriormente y ante la escasez de información sistemática actualizada sobre la calidad de los componentes ambientales (columna de agua, biota y sedimentos marinos) que permita evaluar su estado ecológico actual y los potenciales impactos ambientales generados por estas y otras emergencias, las autoridades regionales estimaron necesario realizar la formulación de un estudio con financiamiento del FNDR, cuyo objetivo es diagnosticar el estado actual de la condición ambiental de esta bahía por un periodo de dos años.

4.1.1.1.1 Enfoques al estudio del problema

Para estudiar los ecosistemas, se ha propuesto la idea de análisis jerárquico (O Neil et al 1989) que propone considerar los ecosistemas como jerarquías duales, una que considera las especies como centro de los componentes de los ecosistemas afectados por los procesos de importancia ecológica denominada aproximación poblacional comunitaria y otra basada en componentes que no son necesariamente especies denominada jerarquía proceso funcional. Esta aproximación jerárquica, facilita la integración de fenómenos de diferentes escalas espacio-temporales, como se considera en los procesos oceanográficos, que son direccionadores de los procesos ecológicos que ocurren en la bahía de Mejillones.

Desde el punto de vista ecológico, pueden ser considerados tres enfoques, que son complejos: i) poblacional-comunitario, que será la base para el análisis de las relaciones con las AMERB; ii) proceso-funcional, que es fundamental para analizar las relaciones con los procesos físicos como son los cambios de temperatura, la salinidad, las corrientes y sus efectos en los procesos ecosistémicos, especialmente relacionados con la producción primaria y con los flujos de materiales potencialmente contaminantes, que ingresan a la bahía; iii) ecotoxicológico, que estará centrado en algunas especies, que forma parte de la biota y que serán indicadores de procesos de contaminación por diferentes materiales que se incorporan a los organismos.

De esta forma, la caracterización ambiental de bahía Mejillones en base a la información disponible, tendrá esa perspectiva y en consecuencia la estructura del presente documento sintetiza los resultados, en función de los enfoques antes indicados.

4.1.1.2 *Procesos oceanográficos de gran escala*

4.1.1.2.1 Sistema de corrientes en el norte de Chile

Una serie de trabajos han sintetizado las principales corrientes que ocurren en la costa de nuestro país. En Figura 4.1-3 se entrega una síntesis de dichas descripciones

reconociéndose ocho corrientes principales (para cada corriente se entrega el número entre paréntesis). La corriente superficial de Deriva de los Vientos del Oeste (1) alcanza la costa de Sudamérica cerca de los 45°S dividiéndose a la altura de los 80-90°W en dos ramas que fluyen en direcciones opuestas. La rama que se desvía hacia el sur se denomina Corriente del Cabo de Hornos (2, no se muestra en la modificación). La rama que se proyecta hacia el norte es la rama oceánica de Humboldt (3), que fluye a 300 o 400 kilómetros mar adentro, a lo largo de la costa oeste de Sudamérica hasta los 4°27'S en el extremo norte de Perú y luego se desvía hacia el noroeste a través del Océano Pacífico. A la altura de los 40 a 48°S la corriente del cabo de Hornos genera una rama que fluye hacia el norte que es mantenida por los vientos desde el sur y se denomina rama costera de Humboldt (4). Cerca de los 10 a 20°S, dependiendo de la estación, la rama costera de Humboldt cambia de dirección y eventualmente se une a la contracorriente del Norte (5). La contracorriente del Norte fluye hacia el sur entre la rama oceánica de Humboldt y la rama costera de Humboldt como una corriente subsuperficial (a una profundidad de 200 a 400 metros). Más cerca de la costa, sobre la plataforma, y en los primeros tramos de la pendiente continental corre otra corriente de aguas subsuperficiales, la corriente de Gunther (6), la cual tiene su origen en aguas ecuatoriales y fluye hacia el sur sobre la llamada Masa de Agua Intermedia. En la zona norte, más hacia la costa la contracorriente Costera Chilena (7), es superficial. Durante los años con inviernos crudos esta corriente prácticamente desaparece.

El agua cálida al norte del frente Ecuatorial-Tropical (cerca de los 4°S) tiende a fluir hacia el sur sobre las aguas frías, pero es frenada por el efecto de los vientos del sur. Cuando dichos vientos se debilitan o son reemplazados por los del norte estas aguas cálidas y de baja salinidad pueden penetrar bastante al sur, llegando hasta la zona norte de Chile en lo que se conoce como el fenómeno de El Niño. Desde los 28°S y a la misma altura de la contracorriente Costera Chilena aparece la corriente Costera Chilena (8) que fluye superficialmente hacia el norte y alcanza hasta los 23°S. En la contracorriente chilena, gracias al efecto de los vientos del sur y suroeste se producen surgencias. Las surgencias son más fuertes desde finales del invierno a inicios del verano y más débiles durante las estaciones cálidas. Las surgencias incluso ocurren al sur de la contracorriente chilena hasta los 40 a 41°S cuando la capa superior de la corriente de Gunther alcanza la superficie a la altura dentro de la rama costera de Humboldt.

Las corrientes marinas transportan masas de agua con distintas características físicoquímicas, de manera tal que en ciertos puntos de confluencia de dichas masas se producen las denominadas convergencias oceánicas. Usualmente entre las convergencias oceánicas es posible definir “zonas oceanográficas” o verdaderas “regiones” que presentan características particulares de temperatura, salinidad y contenido de oxígeno.

En nuestro país las interacciones entre las corrientes antes mencionadas definen tres zonas de convergencias oceánicas principales (Figura 4.1-3): a) Convergencia Subtropical (CST), b) Convergencia en la Deriva del Oeste (CDO) y c) Convergencia Antártica (CA, no se muestra en la modificación). La Convergencia Subtropical es la zona de contacto entre aguas subtropicales cálidas y salinas que dominan la zona entre Arica y Coquimbo con las aguas de la rama oceánica de Humboldt y las aguas subantárticas que dominan entre Coquimbo y la Isla Grande de Chiloé. Esta convergencia sitúa hacia el norte la zona norte subtropical caracterizada por zonas de surgencia costera activa, salinidad variable y marcadas variaciones de temperatura superficial. Hacia el sur esta convergencia define la zona transicional central caracterizada por bruscos cambios de temperatura y por el aporte, en su porción sur, de ríos y lluvias que modifican su salinidad. La Convergencia en la Deriva del Oeste corresponde a la zona en la que se produce la bifurcación de la corriente del

Humboldt hacia el norte y la corriente del cabo de Hornos hacia el sur y define el límite de la zona central transicional con la zona sur-subantártica, la cual se caracteriza por un predominio de aguas subantárticas durante todo el año con importante influencia de las aguas continentales en la franja costera, principalmente por aporte de agua dulce y por un flujo permanente de agua hacia el sur (Comisión Nacional del Medio Ambiente 2008).

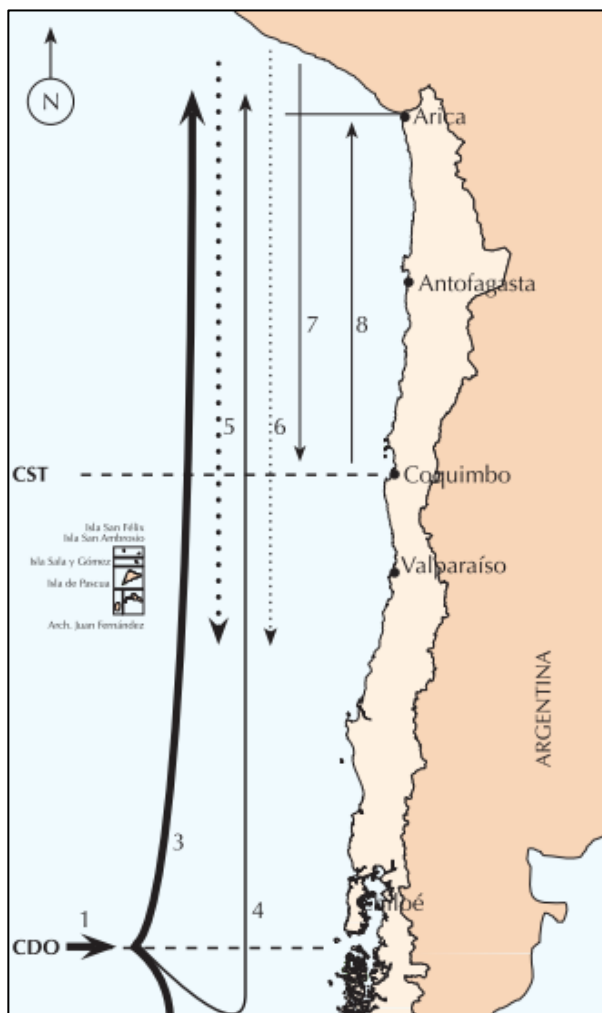


Figura 4.1-3 Síntesis de las principales corrientes marinas que ocurren en la costa de Chile. CST: Convergencia Subtropical. CDO: Convergencia de Deriva del Oeste. 1). Corriente superficial de Deriva de los Vientos del Oeste (superficial). 3). Rama oceánica de Humboldt (superficial). 4). Rama costera de Humboldt (subsupsficial en el norte y superficial en el sur). 5). Contracorriente del Norte (superficial). 6). Corriente subsupsficial de Gunther (subsupsficial). 7). Contracorriente Costera Chilena (superficial). 8). Corriente Costera Chilena (superficial). Fuente: Modificado de (Comisión Nacional del Medio Ambiente 2008).

4.1.1.2.2 ENOS

El Niño hace referencia a un cambio en el sistema océano-atmosférico que ocurre en el Pacífico Oriental, que induce cambios significativos en el comportamiento del clima sobre una extensa región del planeta. El nombre de “El Niño” (El Niño Oscilación del Sur, ENOS), corresponde a la denominación dada por los pescadores peruanos, quienes asociaron la llegada de este fenómeno hacia fines de diciembre con la Navidad. Este fenómeno se

observa en intervalos de 2 a 7 años y generalmente se inicia durante el período de diciembre a marzo. Un indicador clave de El Niño es la temperatura del agua superficial del océano, la que se alza entre 1 y 4 °C tanto en el Pacífico Central como en el oriental, en las costas sudamericanas. El “calentamiento” de las aguas comienza tarde en la primavera y verano boreal y alcanza un punto culminante al cabo del año, con efecto mayor sobre el siguiente verano austral. Este fenómeno provoca una gran alteración en los mecanismos de circulación general de la atmósfera sobre una extensa área del planeta.

El aire caliente y húmedo sobre el océano genera tormentas eléctricas tropicales. Como las aguas del Pacífico más calientes fluyen hacia el este, las tormentas y temporales son más grandes en esa zona. Por otra parte, las tormentas bombean aire tibio y húmedo a más de 15.000 metros de altura. Esto afecta, a su vez, las corrientes atmosféricas de altitud. Durante los eventos de El Niño, los centros de baja presión, formadores de nubes y precipitación, emigran desde el Pacífico Ecuatorial oriental hacia las costas de América. Esto produce una alteración del patrón de la presión atmosférica descrito anteriormente, provocando cambios en la dirección y en la velocidad de los vientos. Los alisios, que normalmente soplan de este a oeste, pueden invertir su dirección, trayendo la humedad desde el oeste hacia las costas de América (Figura 4.1-4). El desplazamiento del máximo de temperatura superficial del mar va acompañado de un enfriamiento relativo en el Pacífico Occidental cercano a Asia. Le siguen precipitaciones intensas hacia el este, con inundaciones asociadas en Ecuador, Perú y Chile, y sequías en Indonesia y Australia

Aunque no hay aún pruebas estadísticas concluyentes, se cree que la conducta de las oscilaciones climáticas inducidas por El Niño podría estar modificándose en la actualidad. Es muy posible que el calentamiento global traiga algunas modificaciones en la frecuencia, intensidad y trayectoria de esta oscilación, lo que acentuaría los cambios climáticos, tanto en la región americana como asiática. Los cambios en la temperatura influyen en la salinidad de las aguas, alterando las condiciones ambientales para los ecosistemas marinos. Estos cambios afectan las poblaciones de peces, especialmente en las áreas del Pacífico Americano y, con ello, la actividad pesquera.

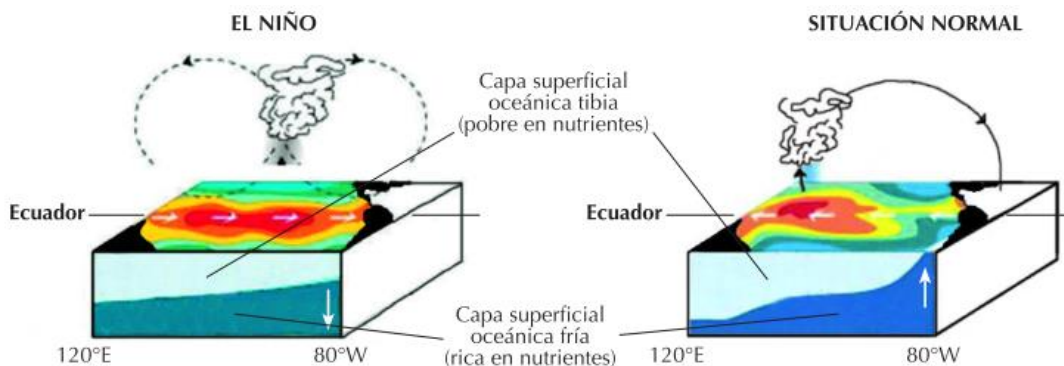


Figura 4.1-4 Cambios en la circulación atmosférica inducidos por El Niño. Modificado de (Comisión Nacional del Medio Ambiente 2008)

Por otra parte, “La Niña” es el término que se utiliza para denominar la fase fría del fenómeno ENOS. La Niña se caracteriza por temperaturas oceánicas extraordinariamente frías en el Pacífico Ecuatorial. Las anomalías del clima global asociadas con La Niña tienden a ser opuestas a las de El Niño, por lo que también ha recibido la denominación de “El Viejo”. Las condiciones de La Niña recurren cada cierta cantidad de años y pueden persistir

hasta dos años. Típicamente, La Niña es precedido por una generación de aguas subsuperficiales más frías de lo normal en el Pacífico Tropical. Las ondas atmosféricas y oceánicas que se mueven hacia el este ayudan a traer el agua fría desde las regiones antárticas, reforzando la corriente de Humboldt, que durante el fenómeno de El Niño estaba represada. Además de las temperaturas frías en el mar, La Niña trae consigo una gran surgencia de aguas profundas, ricas en minerales, fomentando la productividad del plancton y, con ello, de la fauna marina. El Niño y La Niña resultan de la interacción entre las superficies del océano y la atmósfera en el Pacífico Tropical. Los cambios en el océano afectan los patrones atmosféricos y climáticos alrededor del globo. A su vez, los cambios en la atmósfera inciden sobre las temperaturas y corrientes del océano. El sistema oscila entre cálido (El Niño) y neutral o frío (La Niña), con un promedio de 3 o 4 años por ciclo (Figura 4.1-5). El comportamiento histórico de los eventos muestra una alternancia periódica. Por ejemplo, entre 1994 y 1995, estuvo presente el fenómeno de El Niño y seguidamente ocurrió La Niña, evento que duró hasta 1996 (Comisión Nacional del Medio Ambiente 2008).

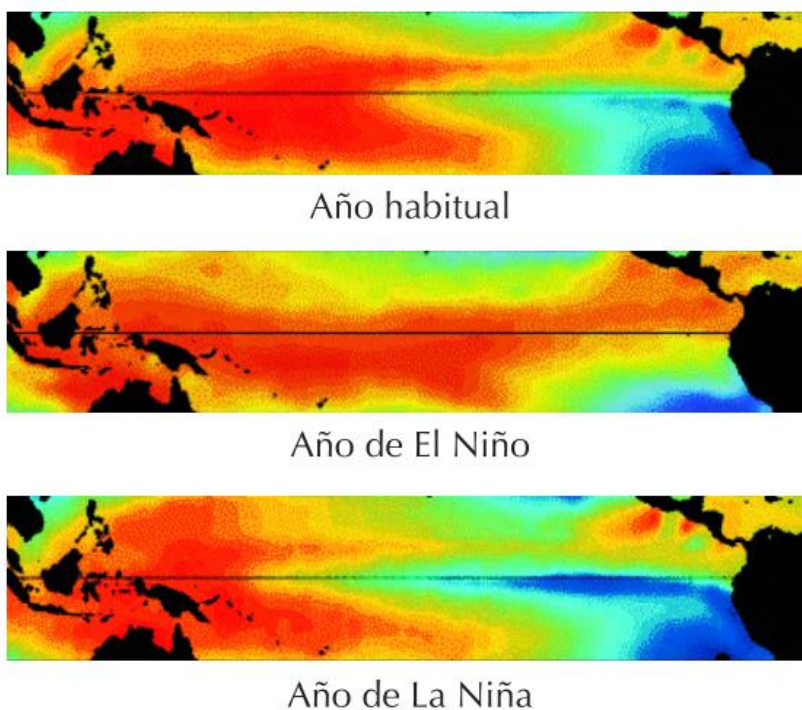


Figura 4.1-5 Cambios en la temperatura superficial del mar durante eventos El Niño y La Niña. Modificado de (Comisión Nacional del Medio Ambiente 2008).

4.1.1.2.3 Zona mínima de oxígeno (ZMO)

Es importante explicitar qué se entiende por ZMO. Todas las definiciones de una ZMO basadas sobre concentraciones de valor absoluto de oxígeno disuelto no son realistas, porque no hay una única concentración de oxígeno que defina un nivel de estrés hipóxico universal para los organismos marinos (Siebel, 2011).

El litoral del norte de Chile se encuentra en una extensa área que presenta ZMO (Figura 4.1-6). En las profundidades en que ocurre este fenómeno, el oxígeno tiene un rol clave en la estructuración de los ecosistemas marinos y controla la distribución espacial y temporal de esencialmente todos los organismos marinos, desde los microorganismos al zooplancton, peces e indirectamente con los mamíferos marinos (Gilly et al 2013).

La ZMO se define a profundidades un poco mayores a 100 metros. Los procesos biogeoquímicos microbiológicos que activan el océano oxigenado y la zona mínima de oxígeno (ZMO) se pueden ver en la Figura 4.1-7 (Gilly et al 2013). Esta distinción es fundamental, para no confundir la disminución de los niveles de oxígeno en la zona eufótica en profundidades menores a 100 metros y las propias de gran escala de la ZMO a nivel oceánico. La ZMO en una zona de surgencia permanente en el norte de Chile, está distribuida entre los 100 y 500 metros de profundidad (Escribano et al., 2004). En los ambientes con alta productividad biológica, el límite superior de la ZMO se mueve hacia la superficie debido al consumo de oxígeno causado por la descomposición de la materia orgánica. En bahía Mejillones la ZMO es más superficial en verano y más profunda en invierno (Valdés et al. 2014).

La concentración de oxígeno disuelto en el agua de mar puede ser expresada en unidades como mL L^{-1} , $\mu\text{mol kg}^{-1}$, mg L^{-1} o % de saturación. En estudios oceanográficos, la unidad más utilizada en las tres últimas décadas ha sido el mL L^{-1} y en la actualidad se ha optado por el $\mu\text{mol kg}^{-1}$ de acuerdo al Sistema Internacional de Unidades publicado en el año 1975 y actualizado en el año 1998.¹

A partir de la unidad de mL L^{-1} y utilizando algunos factores de conversión, la concentración de oxígeno disuelto se puede expresar en otras unidades, como el mg L^{-1} el cual se utiliza principalmente en estudios de monitoreo ambiental y contaminación.

Algunas constantes de conversión que pueden ser utilizadas son²:

$$1 \mu\text{mol O}_2 = 0.022391 \text{ mL}$$

$$1 \text{ mL L}^{-1} = 10^3/22.391 = 44.661 \mu\text{mol L}^{-1}$$

$$1 \text{ mg L}^{-1} = 22.391 \text{ mL}/31.998 = 0.700 \text{ mL L}^{-1}$$

$$1 \text{ mg-at L}^{-1} = 15.994 \times 22.391/31.998 = 11.192 \text{ mL}$$

¹ Graco, M y Ledesma, J. 2009. Oxígeno disuelto en agua de mar: Unidades y Conversiones. Nota Técnica en: Informe IMARPE Vol. 36(1-2): Enero-Junio 2009

² <http://ocean.ices.dk/Tools/UnitConversion.aspx>

Volumen Molar a STP³ = 22.391 L

Peso molecular del Oxígeno = 31.998 g

Masa atómica del Oxígeno = 15.994 g mol⁻¹

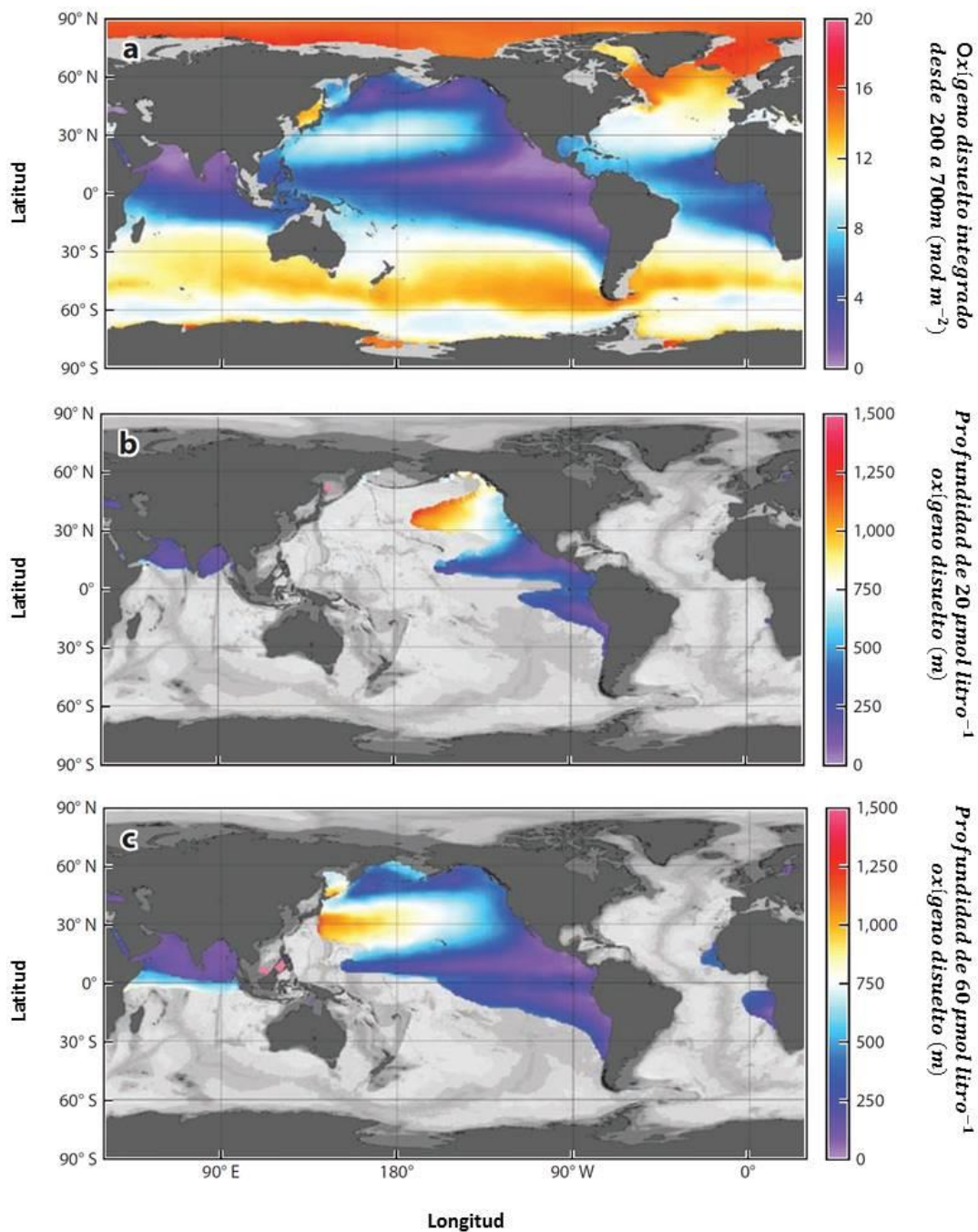


Figura 4.1-6 Patrones espaciales a escala global de niveles de oxígeno en los océanos. Modificado de (Gilly et al. 2013).

³ STP: Standard Pressure and Temperature

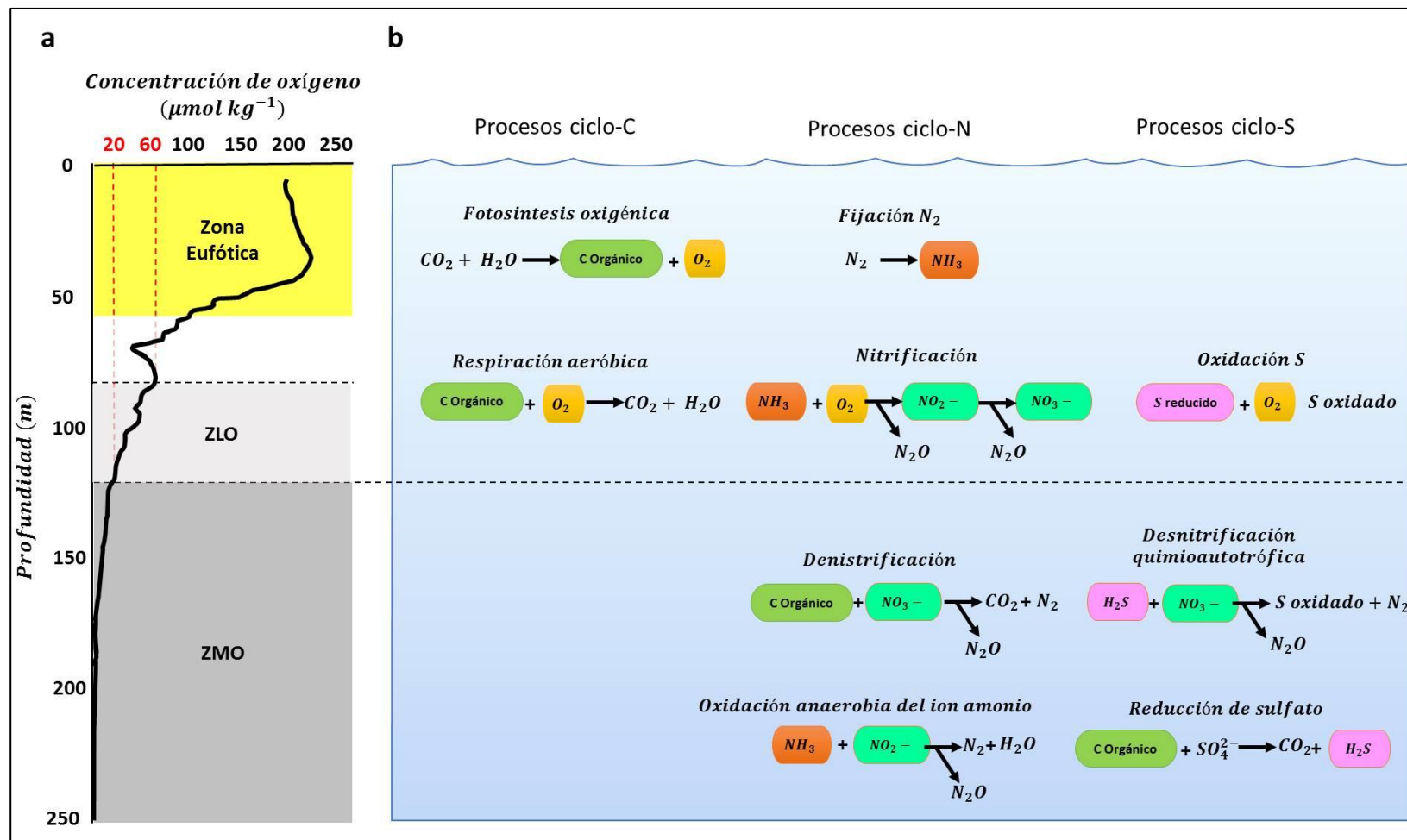


Figura 4.1-7 Procesos biogeoquímicos microbianos activos en zonas mínimas de oxígeno (ZMOs) y el océano oxigenado. A) Perfil característico de profundidad para el oxígeno disuelto en el Pacífico Norte Oriental, indicando las profundidades de la zona eufótica (amarilla), zona limitada de oxígeno (OLZ, gris claro) y ZMO (gris oscuro). B) Esquema de los procesos de ciclos C, N y S en el océano. Modificado de (Gilly et al. 2013).

4.1.1.2.4 Procesos de Surgencias

A lo largo de la costa hay zonas en las cuales las aguas subsuperficiales afloran estacionalmente proveyendo de nutrientes a las zonas superficiales. Durante dicho proceso, la temperatura decrece de manera tal que la discontinuidad espacial en esta variable define las áreas de surgencia. Los cambios en las variables físicas, químicas biológicas y geológicas caracterizan a este tipo particular de ecosistemas. Los vientos del sur que causan las surgencias son dominantes a lo largo de la costa en primavera y por lo tanto los eventos de surgencia son más frecuentes entre septiembre y marzo a lo largo de las costas norte y centro de Chile. Los cambios más notables en la zona costera durante los eventos de surgencia son la presencia de las aguas con oxígeno disuelto a profundidades bajo los 15 metros, altas concentraciones de nutrientes y cambios en el pH y conductividad de las aguas y sedimentos. Las aguas costeras provenientes de la surgencia ricas en nutrientes son el sostén de los desembarques pesqueros anuales, los cuales representan aproximadamente el 10 por ciento del total de la pesca mundial.

La bahía de Mejillones es un sitio de surgencia cercano a la costa, bien descrito, localizado cerca de Punta Angamos, y es una de las zonas más productivas de la costa norte de Chile. El surgimiento ocurre durante todo el año con una intensidad máxima y mínima en octubre y de enero, respectivamente. La alta producción primaria se re expresa en una pronunciada producción secundaria bentónica, que es 4,5 veces más alta en la franja costera (0-20 m de profundidad) comparada con una profundidad de 20-60 m, y 60 veces mayor en áreas entre 60 y 120 m (Laudien et al. 2007).

Las surgencias son procesos que se ven afectados directamente por El Niño Oscilación del Sur (ENOS). Esto es debido a que en el caso de la ocurrencia de los períodos catalogados como Niño existe un debilitamiento de los vientos alisios a lo largo de la costa pacífica, lo que provoca una disminución de los eventos de surgencia. Mientras que durante la existencia de la Niña ocurre un efecto inverso, caracterizado por el acrecentamiento de los avientos alisios incrementando la aparición de afloramientos de surgencia (Pizarro *et al.*, 1994).

4.1.1.2.5 Hipoxia y Materia Orgánica

La eutrofización es una de las formas más difundidas y severas de perturbación de los sistemas marinos costeros. Los mayores contribuyentes a las aguas costeras de material orgánico particulado y materia orgánica muerta son las descargas de aguas servidas (Gray et al. 2002). Pero otras descargas con material orgánico, de diferente origen también pueden tener un efecto importante. En bahía Mejillones se ha estudiado la interacción entre materia orgánica y oxígeno disuelto (Valdés et al. 2009).

El oxígeno disuelto en aguas costeras ha cambiado dramáticamente en las últimas décadas, más que cualquier otra variable ecológica importante, llevando a una amplia ocurrencia del fenómeno de hipoxia (Díaz and Rosenberg 1995). La hipoxia puede limitar el presupuesto de energía o alcance para la actividad y el crecimiento de un organismo. Esto puede causar una alteración de la conducta del organismo y/o esta puede limitar la tolerancia de un organismo para otros requerimientos ambientales (Bumett and Stickle 2001).

Los resultados de una revisión reciente evidencian que existe un amplio orden en la magnitud de la variabilidad en los umbrales de concentración de oxígeno para hipoxia entre organismos marinos, los cuales no pueden ser capturados adecuadamente por un umbral universal (Vaquer-Sunyer & Duarte 2008). Recientemente, estudios detallados de los efectos de la conducta de invertebrados han sido considerados en categorías de concentración de oxígeno disuelto, para generar una base comparativa de análisis (Riedel et al. 2014).

En el análisis del funcionamiento de la bahía de Mejillones, se considerará la aproximación de Vaquer-sunyer & Duarte (2008), donde los niveles de oxígeno disuelto generan un gradiente, y los distintos grupos de organismos presentan una respuesta diferenciada. Es decir, un valor de oxígeno disuelto genera hipoxia en función del grupo de organismos referente. En este contexto, la hipoxia, se consideró en relación con algunos grupos como crustáceos, peces, gastrópodos y bivalvos.

La Figura 4.1-8 muestra las relaciones conceptuales entre la hipoxia y los niveles de organización ecológica de ecosistemas marinos (Riedel et al. 2014). La hipoxia induce respuestas individuales, que a su vez afectan atributos poblacionales, dinámica comunitaria, biodiversidad e integridad ecosistémica. Los efectos acumulativos e interactivos de los múltiples estresores humanos, fuerzan al sistema a un punto de inflexión crítica y estados cualitativamente alterados (Riedel et al. 2014).

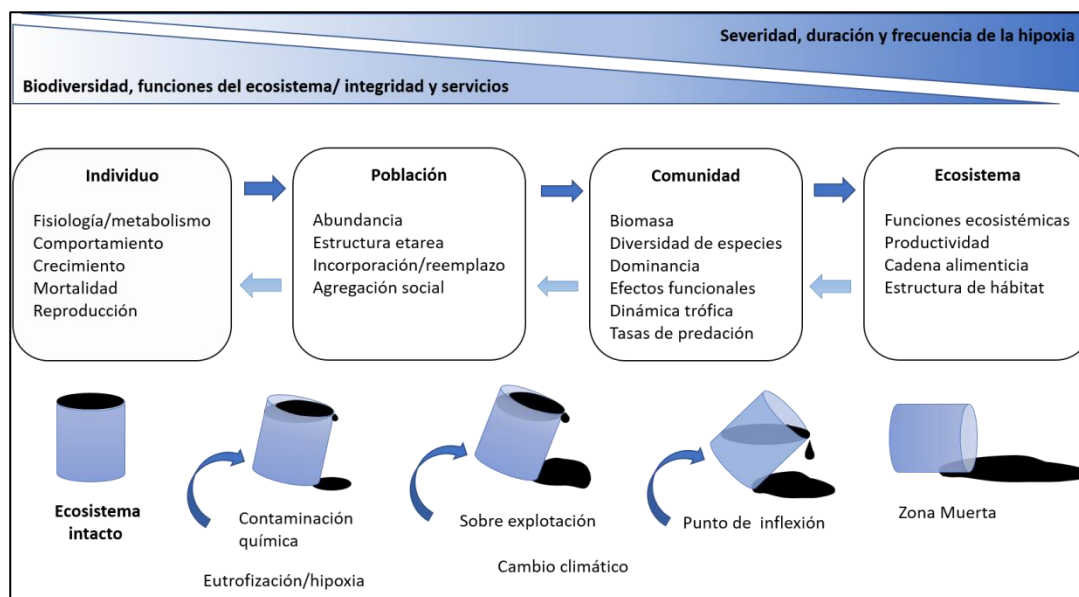


Figura 4.1-8 Enlace conceptual entre la hipoxia y los efectos multi-nivel en los ecosistemas marinos. Modificado de (Riedel et al. 2014).

La concentración de oxígeno en los sistemas acuáticos, especialmente en zonas con fuertes gradientes de oxígeno, puede variar en diferentes escalas espaciales y temporales (Friedrich et al. 2014). La variabilidad temporal puede resultar de efectos periódicos hidrodinámicos (como por ejemplo estratificación estival, ondas internas) o estacionales, pero también pueden ser de naturaleza episódica (por ejemplo, debido a intrusiones desencadenadas meteorológicamente o eventos de sobreflujos). La variabilidad espacial puede ocurrir en grandes áreas, tales como una cuenca completa o afectar la distribución del potencial de óxido-reducción de especies sensibles sobre una escala de centímetros

dentro de gradientes pelágicos con potenciales de óxido-reducción perturbados. Cambios en la concentración de oxígeno pueden involucrar una escala completa desde condiciones bien oxigenadas hasta condiciones anóxicas y la disponibilidad de cantidades trazas de oxígeno. Tales cambios, pueden tener severos efectos en la biota marina, así como para muchos organismos acuáticos el oxígeno puede ser mandatorio tóxico (Friedrich et al. 2014).

4.1.1.3 Estructura y funcionamiento ecosistémico en bahía Mejillones

Desde la latitud 18°S hasta 41°S, hay varias bahías de origen tectónico, muchas de ellas abiertas hacia el norte. Este tipo de sistema costero puede ser definido como tal debido a que presenta límites claros y características particulares. Durante la temporada de surgencias, la masa de agua ecuatorial subsuperficial (pobre en oxígeno) ingresa a dichas bahías provocando un aumento en los nutrientes, mezcla de las aguas superficiales, alta productividad primaria y altas tasas de sedimentación (en la cual cerca del 50 por ciento del carbón orgánico particulado desciende hacia los sedimentos, donde sufre remineralización). En todas estas bahías los sedimentos son anóxicos ricos en materia orgánica con ocurrencia de reducción activa de sulfatos. Asimismo, durante el invierno la masa de agua dominante es la masa de agua subantártica, saturada en oxígeno, con bajas concentraciones de nutrientes y salinidad. Los componentes abióticos fundamentales son la columna de agua de la bahía y el fondo que se describirá por el componente de los sedimentos (Comisión Nacional del Medio Ambiente 2008).

4.1.1.3.1 Caracterización física de los componentes abióticos

La bahía de Mejillones del Sur se localiza en la Región de Antofagasta, al norte de la ciudad de Antofagasta y al noreste de la Península de Mejillones, en la región central del sistema de afloramiento de la corriente de Humboldt. Presenta una configuración morfológica cóncava abierta al norte. Al oeste la bahía está delimitada por Punta Angamos y al noreste por Punta Chacaya (Figura 4.1-9). Mide 8 millas de largo y 4 millas de ancho, con una superficie aproximada de 2.500.000 m² y un volumen aproximado de 62.500.000 m³. Con respecto a la profundidad, se estima que alrededor del 11% de la bahía no supera los 20m y alcanza una profundidad máxima de 120 m en su parte externa más oceánica (Cerdeira et al. 2010).

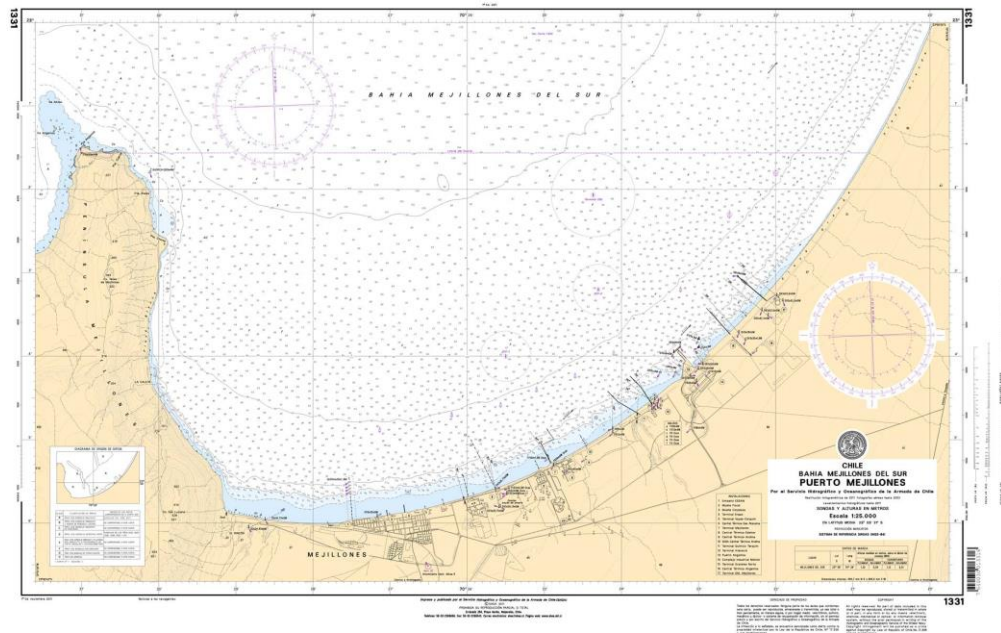


Figura 4.1-9. Carta SHOA – bahía Mejillones del Sur – Puerto Mejillones, Carta N°1331.

La columna de agua es un componente estructural físico de los ecosistemas marinos, y la dinámica del desplazamiento de las masas de agua, es fundamental para la comprensión del funcionamiento de la bahía desde el punto de vista ecosistémico. En este contexto, no se ha desarrollado un modelo de circulación en detalle para la bahía. Sin embargo, la literatura describe en general, que el patrón de circulación dentro de la bahía es ciclónico y directamente influenciado por el foco principal de surgencia de Punta Angamos. La pulsación de la surgencia y su impacto sobre la bahía de Mejillones dependen de la variabilidad estacional del viento SW, más intenso durante primavera-verano y más débil en el otoño-invierno, y de la variabilidad estacional de la intensidad y proximidad a la costa de la corriente subsuperficial Perú-Chile (Escribano 2002).

El área está sujeta a un régimen de mareas semidiurno, con un margen máximo de 1,7 m; mareas de primavera de 1,2 m de media y mareas de niebla de 0,4 m. Sin embargo, las corrientes de marea son de menor importancia ya que la circulación de la superficie está bien correlacionada con los eventos de surgencia accionado por viento (Marín et al., 2001). El ciclo estacional de la temperatura de la columna de agua se caracteriza por un período frío mixto en invierno austral, seguido de un período de estratificación durante la primavera y verano australes, con una termoclina poco profunda (Escribano 1998). La temperatura media de la superficie del mar es de 13,5° C en invierno y sube hasta 22°C en verano. La salinidad varía entre 34,5 y 35,3 con una media de 34,8 (UPS).

El fondo de la bahía se caracteriza por presentar una mayor proporción de sustrato blando (sedimentos) con respecto al sustrato duro (formaciones rocosas). Las formaciones rocosas aisladas se distribuyen en los extremos suroeste y noreste de la bahía. El mismo patrón ocurre en el sistema intermareal.

La distribución granulométrica de los sedimentos superficiales de bahía Mejillones está representada por un tamaño de grano entre arena muy gruesa y limo, siendo este último el

que domina la mayoría del área de estudio. En general los sedimentos más gruesos se distribuyen en la zona costera de menor profundidad, mientras que hacia la zona más profunda predomina el sedimento más fino (Figura 4.1-10). Por otra parte, se ha registrado que la temperatura de los sedimentos es de 14° C a 3-20 m y oscila entre 0 y 60 m entre 12,7 y 15,7°C (Valdés et al. 2007).

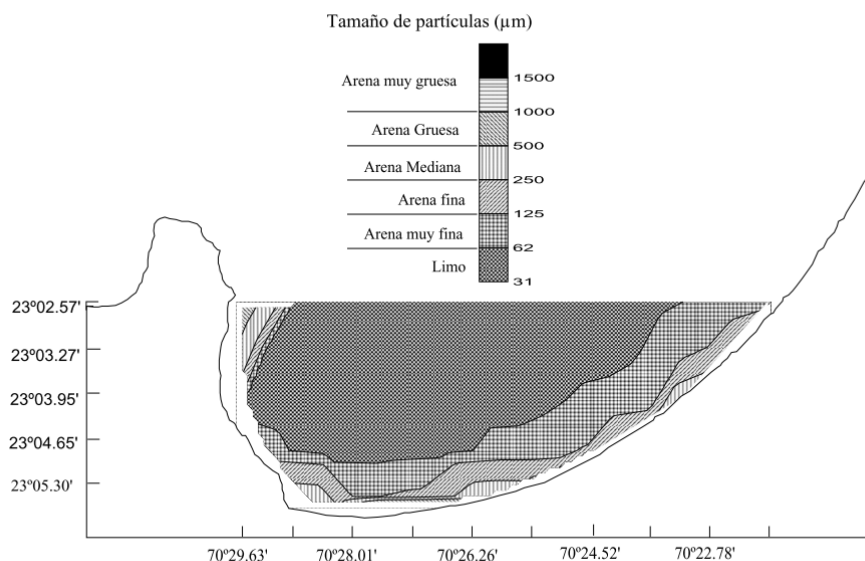


Figura 4.1-10 Mapa granulométrico de la bahía Mejillones. Fuente: (Valdés et al. 2007)

4.1.1.3.2 Caracterización fisicoquímica de los componentes abióticos

La información de parámetros de calidad de agua y sedimentos para esta evaluación contó con la recopilación de información generada por diferentes empresas a través de sus diferentes estudios desarrollados en la bahía de Mejillones desde el año 1993 hasta el 2017, disponible en la plataforma de SEIA. Los estudios corresponden a 12 estudios de líneas base (Tabla 4.1-1), 7 declaraciones de impacto ambiental (Tabla 4.1-2), y 16 programas de vigilancia (Tabla 4.1-3). Además, se contó con los datos proporcionados por el POAL en el periodo 2000 – 2015 (Tabla 4.1-4 y Tabla 4.1-5). Es necesario señalar que en el programa POAL, los parámetros y frecuencia de medición son menores que los de otros programas de seguimiento (RCA).

El total de parámetros comprometidos en las bases técnicas y en el plan de trabajo inicial del proyecto, fueron recopilados y sistematizados en bases de datos y Geodatabase, en donde son tratados por fuente de información.

Los parámetros a estudiar fueron seleccionados aquellos parámetros que de acuerdo a la EPA tienen una mayor incidencia en la salud humana y también un mayor grado de toxicidad en organismos, en base a la experiencia del consultor en bahías nacionales de similares características (e.g “Análisis de riesgo ecológico por sustancias potencialmente contaminantes en el aire, suelo y agua, en las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”, “Diagnóstico medioambiental y evaluación preliminar de riesgo ecológico de la bahía Coronel”).

La información proporcionada por los diferentes estudios indica que los puntos de muestreo de agua, ubicados en el borde costero, se tomaron en estrato superficiales, de hasta 0,5 metros de profundidad, mientras que los puntos de muestreo considerados en el estrato profundo estuvieron en su mayoría entre los 20 y 30 metros. Para sedimentos, los puntos de muestreo se ubicaron en la misma zona que en agua, considerando los sustratos intermareales y submareales. En la Figura 4.1-11 se observa la distribución de los puntos en el borde costero en función de las diferentes actividades y proyectos que se han sometido a evaluación ambiental.

Finalmente, las variables consideradas para el análisis de agua fueron oxígeno disuelto, pH, temperatura, redox, sólidos totales suspendidos, DBO₅, aceites y grasas, y metales como arsénico, cadmio, plomo, vanado, níquel y zinc. Las variables en sedimentos fueron materia orgánica, potencial redox, granulometría y metales como arsénico, cadmio, plomo, vanado, níquel y zinc. Aun cuando las técnicas y sensibilidad de límites de detección fueron diversas entre estudios a lo largo del periodo de estudio, se consideraron los valores cuantificables para analizar el estado ambiental de la bahía, considerando los parámetros fisicoquímicos de agua y sedimentos que pudieran denotar alguna variabilidad y que sean de interés para la conservación ambiental.

Para cada uno de los parámetros medidos en agua, se realizaron gráficos temporales, de todo el periodo de estudio, tanto en el estrato superficial como profundo. En el caso de los sedimentos, los parámetros se graficaron en función de la orientación espacial de los puntos, desde el suroeste hasta el noreste de la bahía de Mejillones.

Cabe destacar que para los parámetros de DBO₅, aceites y grasas y metales contenidos en agua y sedimento, algunas campañas presentaron como concentraciones, valores inferiores a los límites de detección, siendo variables en el tiempo para cada parámetro lo que indica diferentes sensibilidades en la técnica analítica (Tabla 4.1-6 y Tabla 4.1-7).

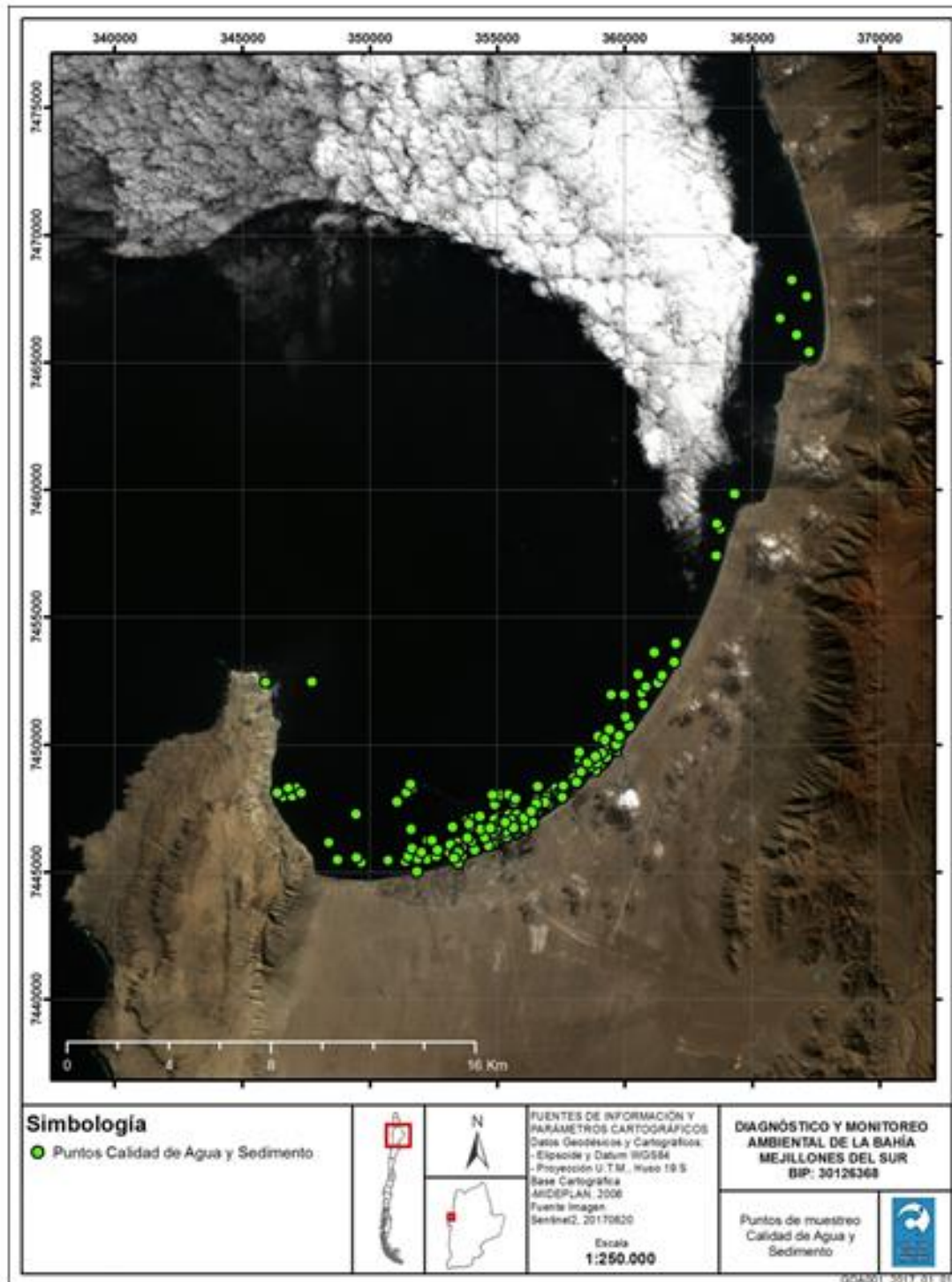


Figura 4.1-11 Puntos de muestreo monitoreados en la bahía de Mejillones. La localización muestra que la mayoría de los puntos se encuentran a menos de 2 kilómetros de la línea de costa.

Tabla 4.1-1 Estudios de Línea Base considerados en el análisis de columna de agua y sedimentos. El ID corresponde a un número asociado a las bases de datos en cada uno de los componentes, bases de datos que fueron incorporadas en anexos digitales.

N° ID	Proyecto	Nombre titular	Fuente	Fecha presentación	Fecha calificación	WEB	Sector productivo	N° RCA
4	Ampliación y Modernización Planta Prillex América	ENAE S.A.	EIA	7-may-2013	3-feb-2014	Ver	Instalaciones fabriles varias	43/2014
5	Central Eléctrica Luz Minera	Central eléctrica Luz Minera Spa	EIA	18-feb-2013	11-dic-2013	Ver	Energía	380/2013
8	Central a Gas Natural Ciclo Combinado Kelar	Kelar S.A.	EIA	20-nov-2012	2-jul-2013	Ver	Energía	155/2013
10	Terminal Marítimo Flotante de GNL	PROGAS S.A.	EIA	6-jun-2012	25-mar-2013	Ver	Infraestructura Portuaria	67/2013
22	Infraestructura Energética Mejillones	Eldenor S.A._Central Termoeléctrica	EIA	6-feb-2009	30-mar-2010	Ver	Energía	94/2010
27	EIA Central Termoeléctrica Cochrane	Norgener S.A.	EIA	11-jul-2008	10-sep-2009	Ver	Energía	305/2009
32	Terminal de GNL Norte Grande	Sociedad GNL Mejillones S.A.	EIA	17-may-2007	8-feb-2008	Ver	Infraestructura Portuaria	54/2008
37	Central Térmica Andino	Central Termoeléctrica Andina S.A.	EIA	6-jun-2006	23-may-2007	Ver	Energía	145/2007
40	Ampliación Plantas de Ácido Nítrico y Nitrato de Amonio	ENAE S.A.	EIA	21-nov-2005	2-jun-2006	Ver	Otros	102/2006
51	Ampliación de las Instalaciones Portuarias de Puerto de Mejillones	Puerto de Mejillones S.A.	EIA	10-jun-2004	4-feb-2005	Ver	Infraestructura Portuaria	19/2005
75	Central Termoeléctrica Ciclo Combinado Mejillones CTM3	Eldenor S.A._Central Termoeléctrica	EIA	7-oct-1998	13-may-1999	Ver	Energía	51/1999
86	Central Térmica Atacama	Gasatacama Chile S.A.	EIA	30-sep-1997	12-jun-1998	Ver	Energía	42/1998

Tabla 4.1-2 Declaraciones de Impacto Ambiental consideradas en el análisis de columna de agua y sedimentos. El ID corresponde a un número asociado a las bases de datos en cada uno de los componentes, bases de datos que fueron incorporadas en anexos digitales.

Nº ID	Proyecto	Nombre titular	Fuente	Fecha presentación	Fecha calificación	WEB	Sector productivo	Nº RCA
6	Ampliación Planta Mejillones	Moly Cop Chile S.A.	DIA	24-may-2016	17-ene-2017	Ver	Instalaciones fabriles varias	13/2017
251	Ampliación del Terminal Marítimo para la Recepción de Amoniaco Anhidro	ENAEX S.A.	DIA	4-ene-2012	17-abr-2012	Ver	Infraestructura Portuaria	72/2012
260	Extensión del emisario para descargar RILES Fuera de la ZPL	Moly Cop Chile S.A.	DIA	24-nov-2011	1-jun-2012	Ver	Saneamiento Ambiental	122/2012
315	Modificación del Proyecto Embarque y Descarga de Nuevos Gráneles	Puerto de Mejillones S.A.	DIA	30-dic-2010	21-dic-2011	Ver	Infraestructura Portuaria	216/2011
345	Modificación Terminal Para el Depósito y Manejo de Gráneles Líquidos en la bahía de Mejillones	Terquim S.A.	DIA	30-jun-2010	16-dic-2010	Ver	Otros	29/2010
349	Planta Desalinizadora Hornitos	Caja de Compensación Los Andes	DIA	3-jun-2010	30-dic-2010	Ver	Saneamiento Ambiental	36/2010
482	Instalación para la Recepción de Residuos Líquidos Procedentes de Naves que Recalen en el Terminal Marítimo de Interacid Chile Ltda., Mejillones Región de Antofagasta (e-seia)	Interacid Trading (Chile) S.A.	DIA	4-abr-2008	1-sep-2008	Ver	Infraestructura Portuaria	290/2008
513	Muelle mecanizado de desembarque de gráneles	Complejo Portuario Mejillones S.A.	DIA	08-nov-2007	14-maz-2008	Ver	Infraestructura Portuaria	076/2008
590	Terminal Mejillones	OXIQUIM S.A.	DIA	21-jul-2006	19-feb-2008	Ver	Infraestructura Portuaria	037/2008

Tabla 4.1-3 Planes de Vigilancia Ambiental considerados en el análisis de columna de agua y sedimentos. El ID corresponde a un número asociado a las bases de datos en cada uno de los componentes, bases de datos que fueron incorporadas en anexos digitales.

N° ID	Proyecto	Nombre titular	Fuente	Periodo evaluado	
8	Central Gas Ciclo Combinado KELAR	Kelar S.A.	PVA	31/01/2016	16/03/2017
27	Central Termoeléctrica Cochrane	Norgener S.A.	PVA	28/10/2015	02/12/2016
32	Terminal de GNL Norte Grande	Sociedad GNL Mejillones S.A.	PVA	13/11/2008	13/02/2017
36	Central Termoeléctrica Angamos	Norgener S.A.	PVA	28/10/2015	05/01/2017
37	Central Termoeléctrica Andinos	Central Termoeléctrica Andina S.A.	PVA	21/05/2016	26/10/216
40	Plantas de Ácido nítrico y Nitrato de Amonio	ENAEX S.A.	PVA	17/03/2015	20/10/2016
51	Ampliación de las Instalaciones Portuarias de Puerto de Mejillones	Puerto de Mejillones S.A.	PVA	29/01/2009	24/07/2016
66	Uso de un Combustible Alternativo en las Unidades 1 y 2 de la Central Térmica Mejillones	Eldenor S.A._Central Termoeléctrica	PVA	21/03/2011	22/03/2017
75	Central Termoeléctrica Ciclo Combinado Mejillones CTM3	Eldenor S.A._Central Termoeléctrica	PVA	01/03/2016	07/07/2016
77	Complejo portuario Mejillones S.A - Terminal 1	Complejo Portuario Mejillones S.A.	PVA	19/03/2009	24/02/2016
117	Central Termoeléctrica Mejillones	Eldenor S.A._Central Termoeléctrica	PVA	01/04/2009	01/04/2009
513	Muelle mecanizado de desembarque de gráneles	Complejo Portuario Mejillones S.A.	PVA	24/02/2016	24/02/2016
521	Planta de ácido sulfúrico NORACID S.A	NORACID S.A	PVA	06/04/2016	17/02/2017
590	Terminal Mejillones	OXQUIM S.A.	PVA	17/03/2016	17/03/2016
615	Terminal marítimo INTERACID -INTERACID Chile S.A	Interacid Chile Ltda.	PVA	10/03/2016	14/03/2017
685	Área adyacente a la descarga de RIL- MOLY- COP CHILE S.A	Moly Cop Chile S.A.	PVA	21/01/2016	20/07/2016

Tabla 4.1-4 Puntos de muestreo del Programa de Observación litoral (POAL) considerados en el análisis de columna de agua. El ID corresponde a un número asociado a las bases de datos en cada uno de los componentes, bases de datos que fueron incorporadas en anexos digitales.

N° ID	Fuente	Punto de muestreo	Descripción ubicación	NORTE	ESTE	Periodo evaluado	
S/N	POAL	043-A-Me	Estación Control Punta Angamos	7452456	345917	16/10/2013	22/10/2015
S/N	POAL	080-A-Me	Frente a Capitanía	7445785	352030	06/04/2000	22/10/2015
S/N	POAL	060-A-Me	Frente a La Caleta	7448128	346371	06/04/2000	22/10/2015
S/N	POAL	090-A-Me	Frente a Muelle Fertilizante	7445575	349471	06/04/2000	22/10/2015
S/N	POAL	010-A-Me	Punta Chacaya	7459866	364310	06/04/2000	22/10/2015

Tabla 4.1-5 Puntos de muestreo del Programa de Observación litoral (POAL) considerados en el análisis de sedimentos. El ID corresponde a un número asociado a las bases de datos en cada uno de los componentes, bases de datos que fueron incorporadas en anexos digitales.

N° ID	Fuente	Punto de muestreo	Descripción ubicación	Sustrato	NORTE	ESTE	Periodo evaluado	
S/N	POAL	070-S-Me	Entre terminales Interacid y Mejillones	Submareal	355939	7447638	06/04/2000	22/10/2015
S/N	POAL	043-S-Me	Estación Control Punta Angamos	Submareal	345917	7452456	16/10/2013	22/10/2015
S/N	POAL	080-S-Me	Frente a Capitanía	Submareal	352030	7445785	06/04/2000	22/10/2015
S/N	POAL	060-S-Me	Frente a La Caleta	Submareal	346371	7448127	06/04/2000	22/10/2015
S/N	POAL	090-S-Me	Frente a Muelle Fertilizante	Submareal	349473	7445575	06/04/2000	22/10/2015
S/N	POAL	050-S-Me	Frente a Punta Chonos	Submareal	346627	7450960	15/03/2001	22/10/2015
S/N	POAL	040-S-Me	Megapuerto	Submareal	361355	7452795	06/04/2000	22/10/2015
S/N	POAL	010-S-Me	Punta Chacaya	Submareal	364309	7459866	06/04/2000	22/10/2015

Tabla 4.1-6 Valores de límites de detección registrados en parámetros físico-químicos de agua

Fecha	Unidad	feb.-93	jul.-06	nov.-06	jul.-07	feb.-08	nov.-08	mar.-09	abr.-09	ago.-09	mar.-10	ago.-10	ene.-11	mar.-11	jul.-11	ago.-11	sep.-11	dic.-11	ene.-12	ene.-13	sep.-15	ene.-16	feb.-16	mar.-16	may.-16	jul.-16	oct.-16	mar.-17
Aceites y grasas	(mg/L)	5	0,1	-	-	1	0,1	-	0	-	-	-	10	5	10	2	1	2	2	-	-	10	-	10	-	10	-	-
As	(µg/L)	-	-	-	2	-	-	1	-	-	1	2	-	-	-	-	-	-	0,2	-	0	-	-	8	-	-	-	8
Cd	(µg/L)	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	-	5	-	-	-	-	-	1	-	-	1	-
DBO5	(mg/L)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	-	10	-	-	-	2	10	-	2	1	-	-	-	-	-
Ni	(µg/L)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	1	1	1	1	1
Pb	(µg/L)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	50	-	0	50	-	10	-	-	2,5 y 10	-	-	2,5	-
V	(µg/L)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,1	-	0,1	-	-	3	-	-	2,5	8/2,5	8	8	1
Zn	(µg/L)	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	-	-	0,5 y 10	-	-	0,5 y 10	-

Tabla 4.1-7 Valores de límites de detección registrados en parámetros en sedimentos

Fecha	nov.-06	nov.-08	dic.-08	oct.-09	nov.-09	nov.-10	mar.-11	ago.-11	sep.-11	nov.-11	ene.-12	oct.-15	feb.-16	mar.-16	jul.-16	nov.-16	ene.-17
As (mg/kg)	-	-	-	-	-	-	0,025	-	0,2	-	0,2	-	-	-	-	-	-
Cd (mg/kg)	-	0,1	-	-	-	-	-	-	0,2	-	0,2	-	-	-	-	-	-
Cu (mg/kg)	-	-	-	0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ni (mg/kg)	-	-	0,5	-	-	-	-	-	0,2	-	0,2	-	-	-	-	1,5	-
Pb (mg/kg)	1,5	-	-	-	0,1	1,5	1,0	0,5	0,2	0,5	0,2	5,0	4,3	0,2	4,3	-	-
V (mg/kg)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,5

- No indica

4.1.1.3.2.1 Columna de agua

4.1.1.3.2.1.1 Oxígeno disuelto

El oxígeno disuelto es a uno de los parámetros no conservativos más estudiados en los cuerpos de agua (Packard 1969). Su contenido corresponde al resultado de procesos como el intercambio de gases con la atmósfera y procesos biológicos como fotosíntesis y respiración. Desde el punto de vista ambiental, el contenido de oxígeno disuelto es considerado un indicador de calidad de agua en su rol fundamental para la vida y procesos oxidativos asociados a la formación de gases y sustancias tóxicas. En el medio marino, el oxígeno disuelto tiene un comportamiento cíclico, cuyas concentraciones son inversamente proporcionales a la profundidad (Carrillo 2012)

En la bahía de Mejillones, temporalmente, las concentraciones de oxígeno disuelto han presentado fluctuaciones entre las diferentes fechas de monitoreo, destacando una en el periodo entre 1999 y 2005 en ambos estratos, en relación con periodos posteriores. En el estrato superficial, la mayoría de los datos recogidos de los diferentes estudios presentaron valores superiores a los 5 mg/L, e incluso valores que bordearon los 11 mg/L. La excepción se registró en el año 2004, 2016, y en marzo del 2011, este último con valores bajos en relación al resto, ubicados en puntos del sector suroeste de la bahía, cuya dinámica puede estar atribuida a focos de surgencia activos que se intensifican en primavera-verano (Rodríguez L, V Marín 1991). Los valores de oxígeno disuelto recopilados en el periodo 2003 fueron acordes a los reportados en estudios científicos (Valdés et al. 2008). En el estrato profundo, se observaron menores concentraciones siendo la mayoría inferiores a los 5 mg/L, alcanzando incluso niveles inferiores a 1 mg/L, concentración que puede producir condiciones de hipoxia para los organismos que habitan la columna de agua y/o sedimentos (Figura 4.1-12). Es necesario indicar que los datos registrados por el programa de observación litoral (POAL) para esta variable, comparten la serie temporal desde el año 2007 al año 2015 y que sus valores no se distinguen de los registrados en los puntos comprometidos para alguna RCA (Figura 4.1-13).

4.1.1.3.2.1.2 pH

Los valores de pH en las aguas marinas indican que son moderadamente alcalinas, cuyos rangos se establecen entre 7,5 y 8,4 (Chen 2006), los cuales no presentan grandes variaciones temporales. El pH, entre otros parámetros, puede influir en las especies químicas presentes en el medio marino, como los metales, y su remoción desde sedimentos.

En la bahía de Mejillones, las aguas presentaron unidades de pH que la clasificaron, mayoritariamente, entre neutra a moderadamente alcalina (Hounslow, 1995), sin tendencias temporales al aumento o disminución a lo largo de los diversos estudios evaluados en la bahía. Desde el periodo 2012 se observó una mayor dispersión de los valores de pH en la bahía Mejillones, alcanzando valores puntuales cercanos a niveles levemente ácidos en junio del 2016 y mayo del 2017, en puntos de muestreo ubicados en el sector noroeste en la bahía, posiblemente atribuidos a valores intrínsecos o temporalidad en que se realizó la medición. Tanto el estrato superficial como profundo de las aguas presentaron el mismo comportamiento, lo cual indica, espacialmente, las mismas condiciones de alcalinidad en la columna de agua (Figura 4.1-14). Después del año 2007 se observa un aumento de la variabilidad de los valores de pH y un aumento de la frecuencia de valores menores a 7, tanto en el estrato superficial como profundo. Hay que enfatizar que el pH en los

ecosistemas marinos presenta en general valores mayores a 7,5 y que corresponde a una escala logarítmica, por lo tanto, una diferencia de decimales siempre es significativa.

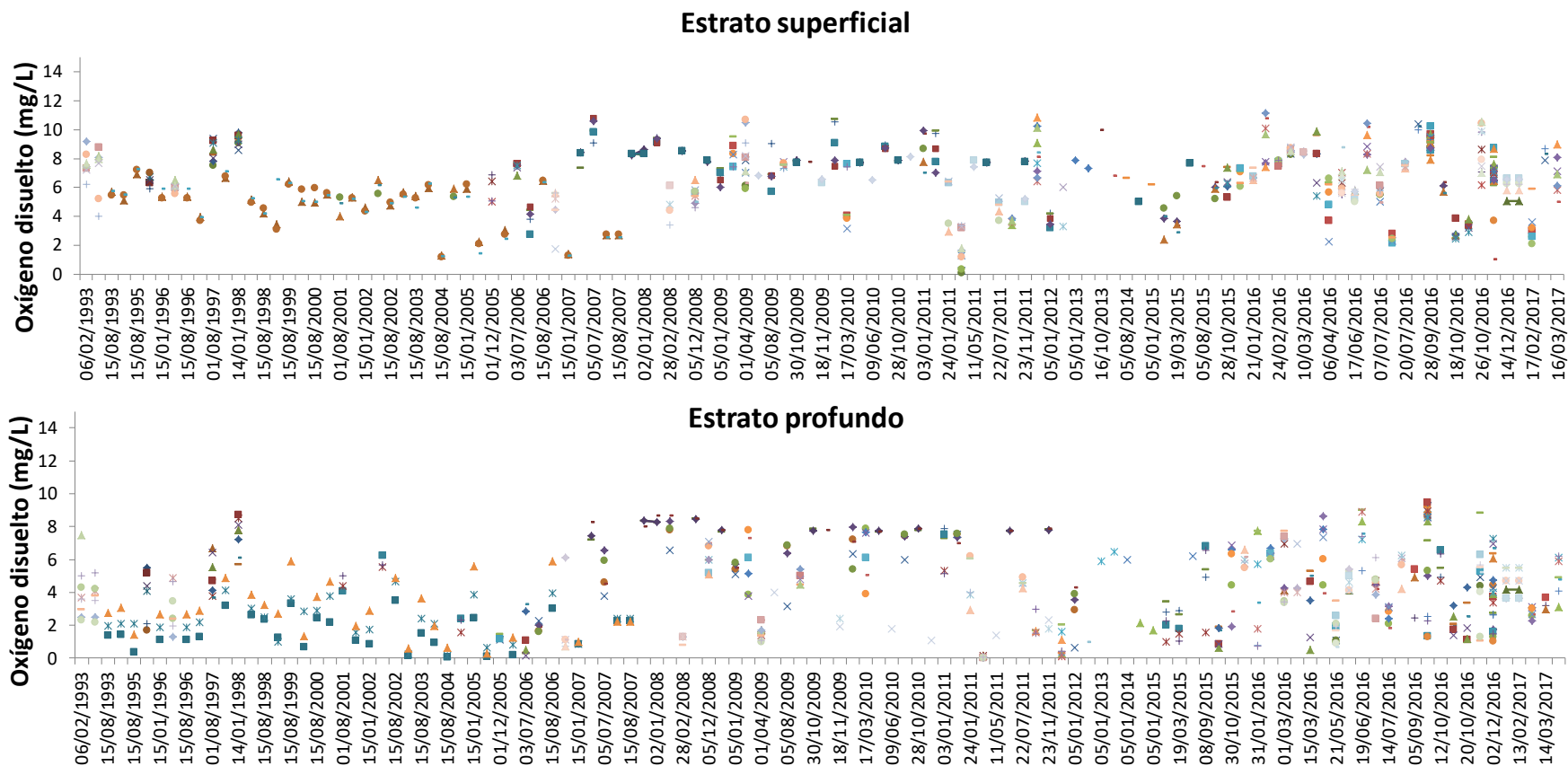


Figura 4.1-12 Concentraciones de Oxígeno disuelto en la bahía de Mejillones, estrato superficial y profundo. Cada serie en el gráfico representa los distintos puntos de muestreo considerados en el programa de observación litoral (POAL) y los puntos considerados por las distintas RCA en bahía Mejillones. Estrato superficial considera hasta los 0,5m de profundidad y estrato profundo, para la mayoría de los puntos de muestreo, está entre 20 y 30m.

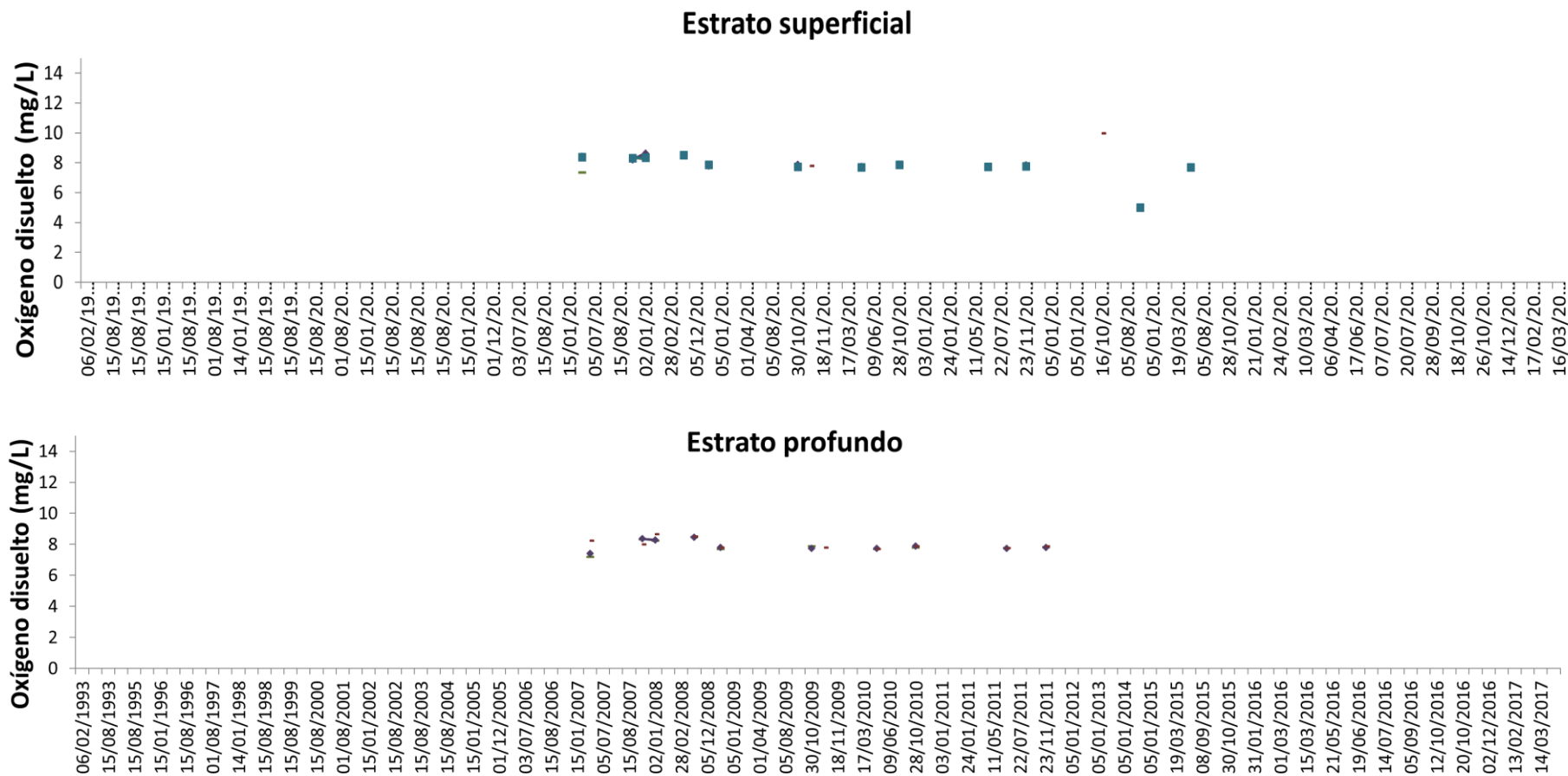


Figura 4.1-13 Concentraciones de Oxígeno disuelto en la bahía de Mejillones, estrato superficial y profundo, según POAL.

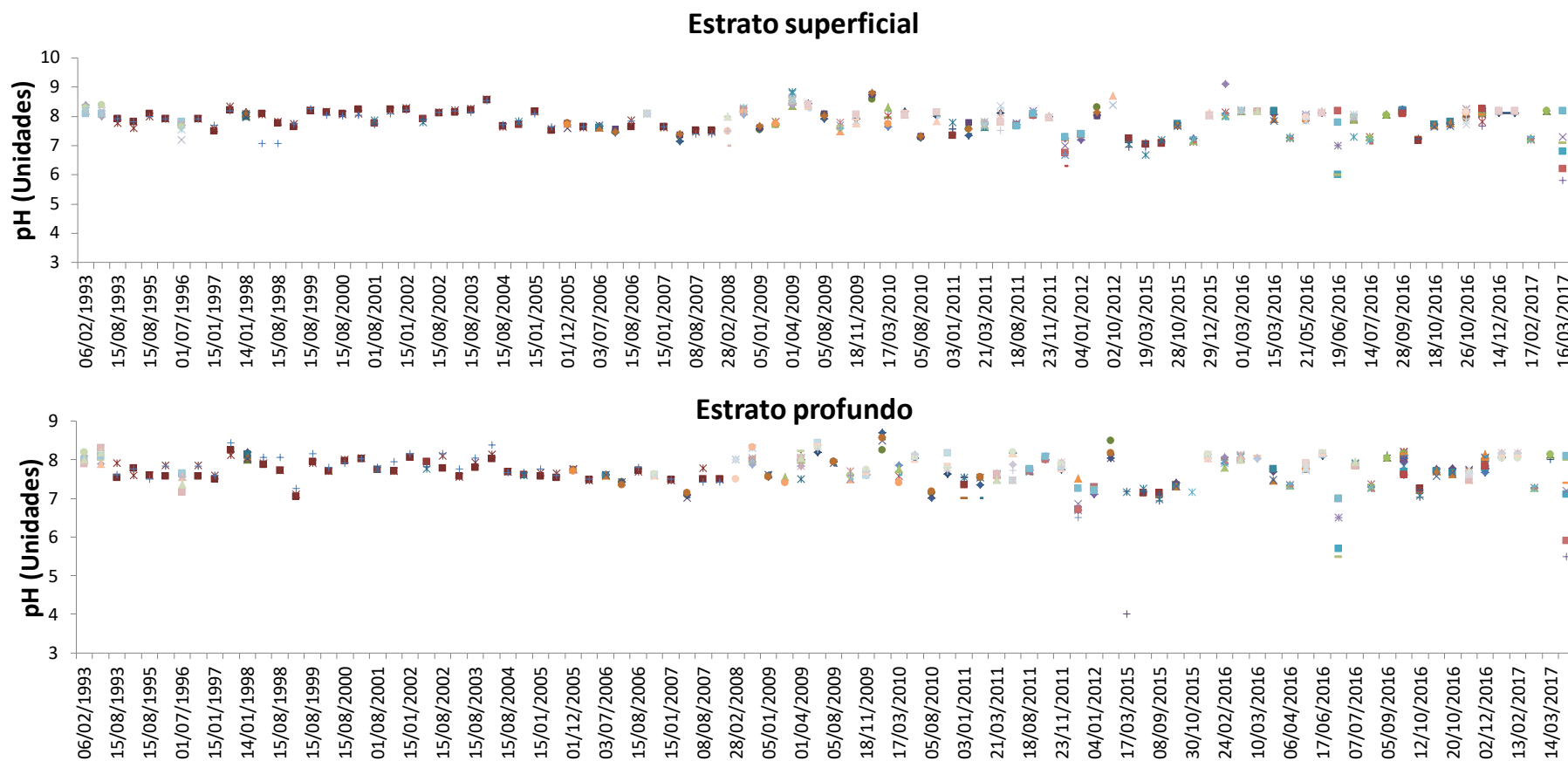


Figura 4.1-14 Valores de pH en la bahía de Mejillones, estrato superficial y profundo. Cada serie en el gráfico representa los distintos puntos de muestreo considerados en el programa de observación litoral (POAL) y los puntos considerados por las distintas RCA en bahía Mejillones. Estrato superficial considera hasta los 0,5m de profundidad y estrato profundo, para la mayoría de los puntos de muestreo, está entre 20 y 30m.

4.1.1.3.2.1.3 Temperatura

La temperatura, junto con otros parámetros, constituyen los rasgos más característicos e importantes del agua de mar. La temperatura es una propiedad conservativa. En la zona de Mejillones está sujeta a cambios estacionales y eventos de surgencia costera durante el año, como también eventos de “El Niño” (Salvador and Avaria 2008) y cuyos valores influyen en procesos fisicoquímicos como solubilidad de compuestos, producción y crecimiento de organismos en la columna de agua, junto a otros fenómenos como surgencia y la presencia de la zona mínima de oxígeno (Ruz et al. 2015).

Las aguas de la bahía Mejillones, en el estrato superficial, presentaron valores de temperatura acordes a la estación del año, con aumentos en temporadas cálidas (meses de verano), alcanzando valores que superaron los 20 °C aproximadamente, y menores en estaciones invernales. Temporalmente, entre las épocas del año donde se registraron aumentos de temperatura, destacan las fechas de verano 1998, 2003 y 2016, periodos con la presencia del fenómeno de “El Niño”, lo que trae consigo aumentos en los valores de temperatura de las aguas. Por otro lado, el periodo de agosto 2007, febrero 2008 y julio 2016, en el sector oeste de la bahía, se observaron menores valores de temperatura, épocas donde se evidenció la presencia del fenómeno de “La Niña”, siendo en esta última campaña posiblemente acentuadas por la estacionalidad. Los valores de temperatura recopilados en el periodo 2003 fueron similares a las reportadas en estudios científicos (Valdés et al. 2008). A medida que aumentó la profundidad, las aguas se tornaron más frías. En el estrato profundo, el ciclo estacional de temperatura fue más tenue, con valores que rondaron los 15°C aproximadamente, con mínimas registradas en marzo del 2009 y julio 2016, en la parte oeste de la bahía (Figura 4.1-15).

4.1.1.3.2.1.4 Sólidos totales suspendidos

Los sólidos totales suspendidos presentes en las aguas del medio marino pueden ser de origen orgánico o inorgánico (Chen 2006). Eventualmente la presencia de sólidos suspendidos pueden interactuar con contaminantes en el agua para luego acumularse en el sedimento (Olsen et al. 1982). La presencia y concentraciones de sólidos suspendidos pueden mostrar fluctuaciones durante el año, por diversos factores como actividades antropogénicas desarrolladas en el litoral, como también asociado a una condición cíclica, en este caso en la bahía de Mejillones.

Las concentraciones de sólidos totales suspendidos en las aguas de la bahía Mejillones ha presentado variaciones entre las diferentes fechas de monitoreo, sin la presencia de una tendencia temporal al aumento o disminución a lo largo del periodo de estudio. En el estrato superficial se observó una mayor variación en el periodo 2009, 2015 y 2017, con valores levemente superiores en puntos de muestreo ubicados en el sector suroeste de la bahía, con valores que no superaron los 150 mg/L. En el estrato profundo la fluctuación de sólidos totales suspendidos fue levemente superior, 2009, 2010, 2011 y 2016, con valores superiores que bordearon los 200 mg/L todo ellos ubicados en el sector suroeste de la bahía (Figura 4.1-16).

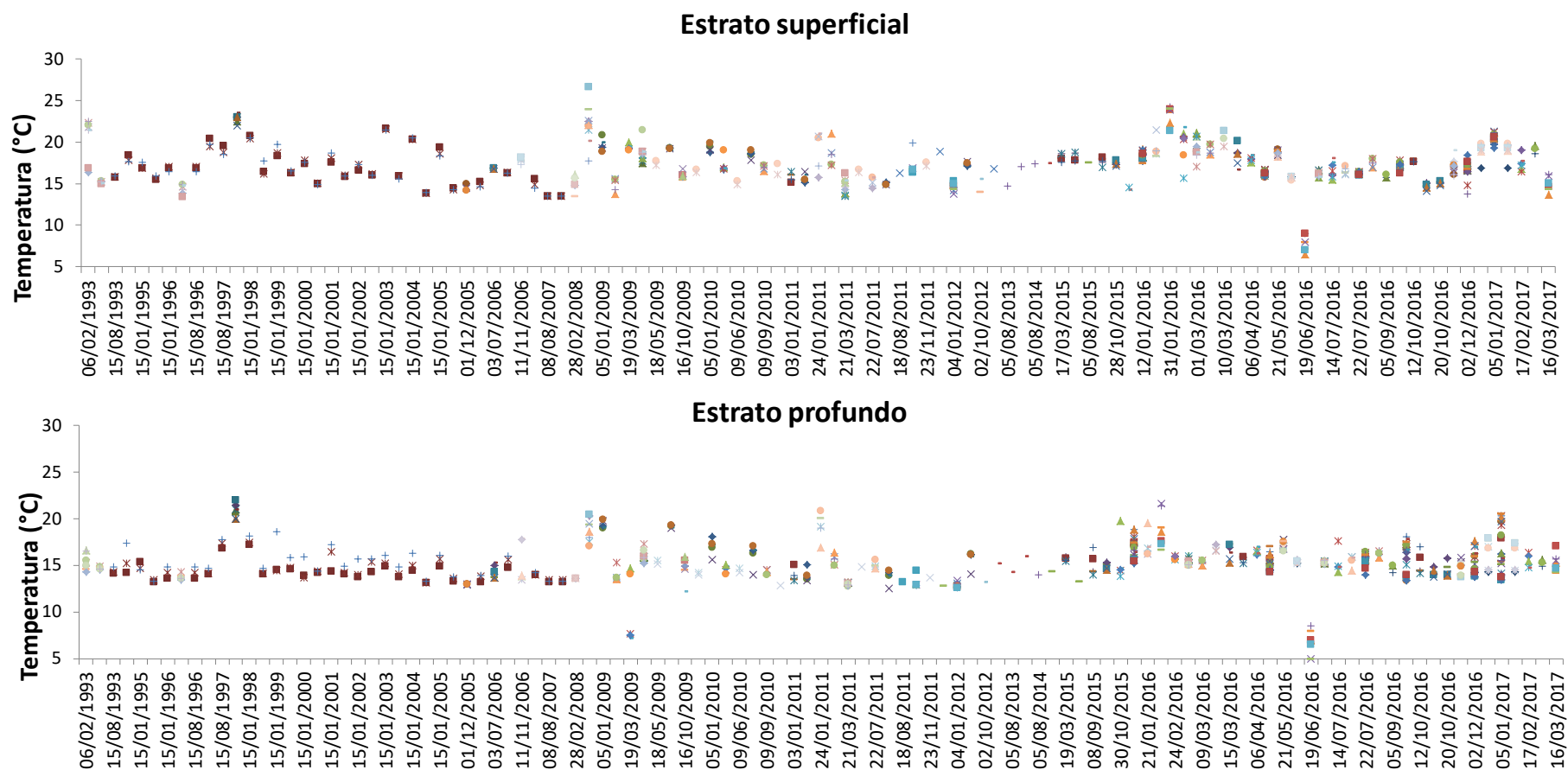


Figura 4.1-15 Valores de temperatura en la bahía de Mejillones, estrato superficial y profundo. Cada serie en el gráfico representa los distintos puntos de muestreo considerados en el programa de observación litoral (POAL) y los puntos considerados por las distintas RCA en bahía Mejillones. Estrato superficial considera hasta los 0,5m de profundidad y estrato profundo, para la mayoría de los puntos de muestreo, está entre 20 y 30m.

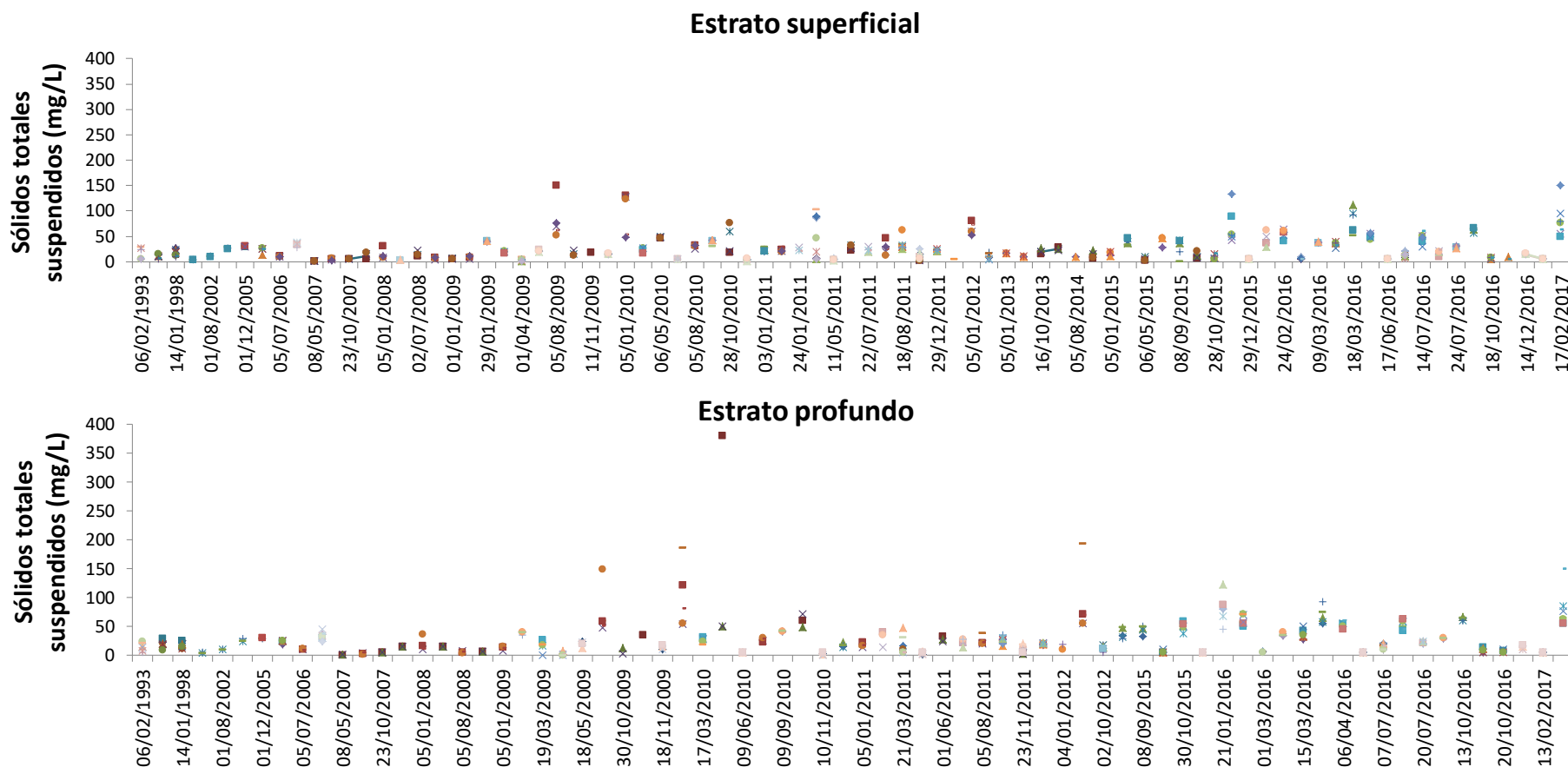


Figura 4.1-16 Concentraciones de sólidos totales suspendidos en la bahía de Mejillones, estrato superficial y profundo. Cada serie en el gráfico representa los distintos puntos de muestreo considerados en el programa de observación litoral (POAL) y los puntos considerados por las distintas RCA en bahía Mejillones. Estrato superficial considera hasta los 0,5m de profundidad y estrato profundo, para la mayoría de los puntos de muestreo, está entre 20 y 30m.

4.1.1.3.2.1.5 DBO₅

En relación con el resto de parámetros de calidad de agua, hay un número menor de estudios donde se evalúan las concentraciones de DBO₅ en las aguas de la bahía de Mejillones. De estas campañas, existen gran número de valores inferiores al límite de detección, considerando que estos límites cambiaron de sensibilidad a través del tiempo y estudios. De los valores cuantificados en las aguas de la bahía, en el estrato superficial, los mayores valores se observaron en febrero de 1993, alcanzando 46 mg/L, mientras que en el resto de las fechas los valores fluctuaron desde 2 mg/l hasta un máximo de 18 mg/L, sin tendencias temporales. En el estrato profundo no fue posible evaluar la condición de las aguas por los pocos datos existentes, los cuales no fueron superiores a 9 mg/L (Figura 4.1-17).

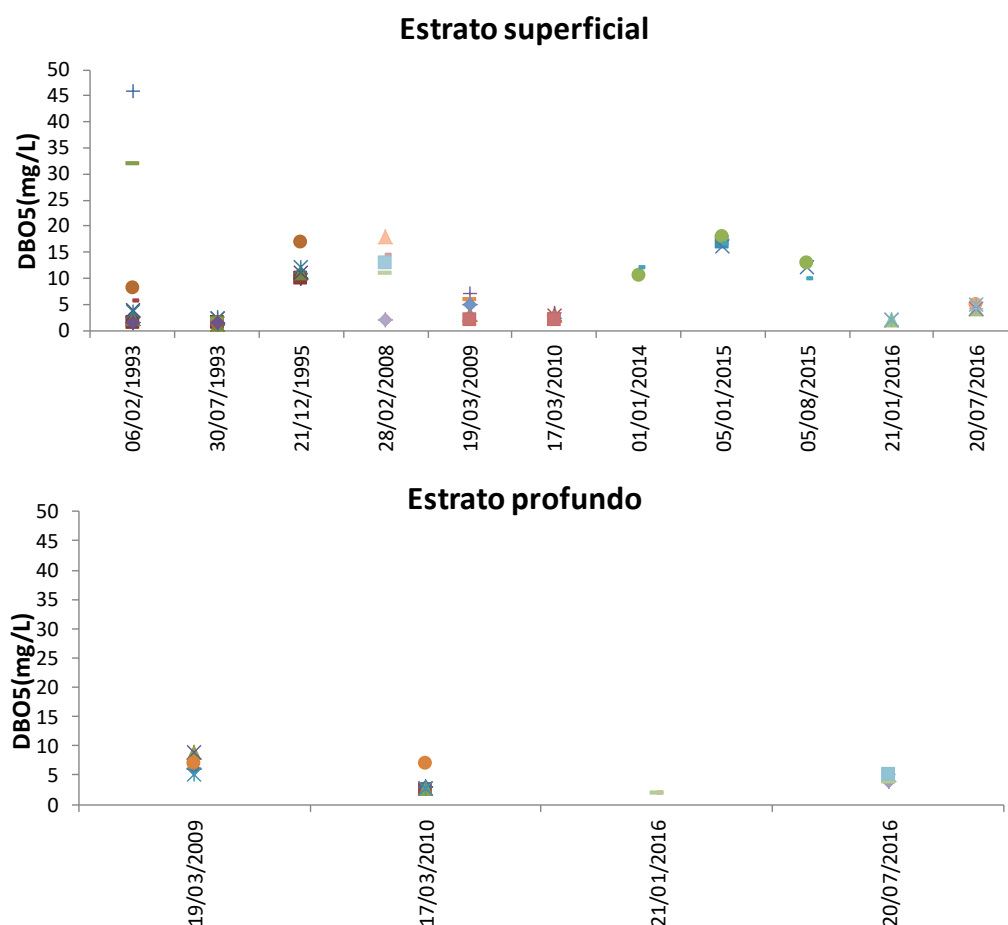


Figura 4.1-17 Concentraciones de DBO₅ en la bahía de Mejillones, estrato superficial y profundo. Cada serie en el gráfico representa los distintos puntos de muestreo considerados en el programa de observación litoral (POAL) y los puntos considerados por las distintas RCA en bahía Mejillones. Estrato superficial considera hasta los 0,5m de profundidad y estrato profundo, para la mayoría de los puntos de muestreo, está entre 20 y 30m.

4.1.1.3.2.1.6 Aceites y Grasas

Los aceites y grasas son compuestos orgánicos, constituidos principalmente por ácidos grasos de origen animal, vegetal, y también de hidrocarburos de petróleo. Las principales fuentes son las provenientes de usos domésticos, sistemas de tratamiento de aguas servidas, motores de lancha y barcos, industria de petróleos, e industria pesquera, entre otros.

A lo largo del periodo de estudio, en la bahía de Mejillones se observaron bajas concentraciones de aceites y grasas, en su mayoría inferiores a los límites de detección, que a su vez mostraron diferentes sensibilidades por lo que es más complicado formular el comportamiento real de este parámetro. En base a los valores cuantificados, tanto en el estrato superficial como profundo se observaron concentraciones en su mayoría inferiores a los 10 $\mu\text{g/L}$, a excepción de las registradas en los periodos de 1993, 1997, octubre 2009, verano y julio del 2011, sin que esto muestre una tendencia temporal al aumento o disminución a lo largo del tiempo. Estos mayores valores se observaron en el estrato superficial, principalmente en el sector suroeste de la bahía, a diferencia del estrato profundo donde estas alzas fueron más tenues (Figura 4.1-18).

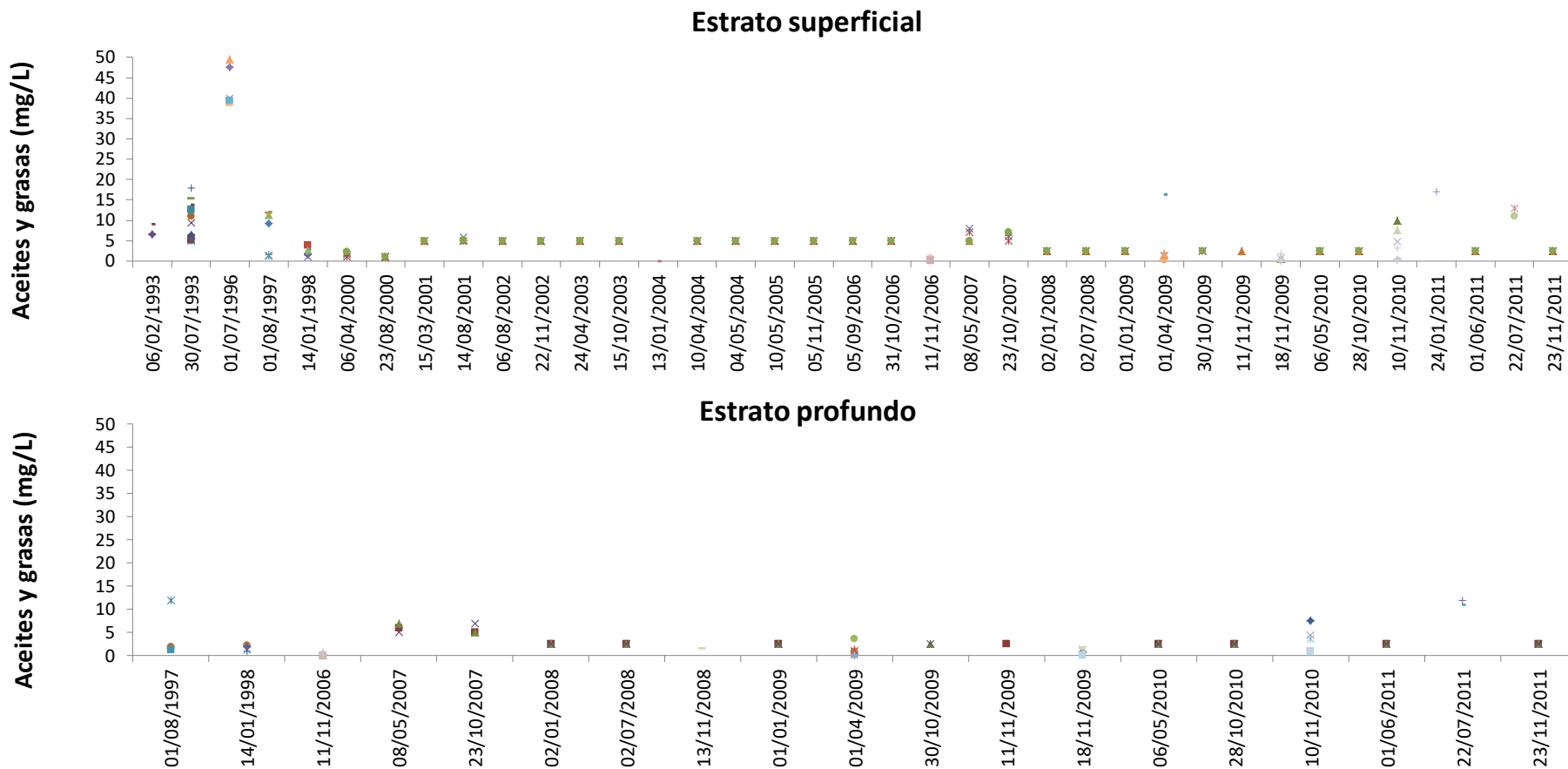


Figura 4.1-18 Concentraciones de aceites y grasas en la bahía de Mejillones, estrato superficial y profundo. Cada serie en el gráfico representa los distintos puntos de muestreo considerados en el programa de observación litoral (POAL) y los puntos considerados por las distintas RCA en bahía Mejillones. Estrato superficial considera hasta los 0,5m de profundidad y estrato profundo, para la mayoría de los puntos de muestreo, está entre 20 y 30m.

4.1.1.3.2.1.7 Metales y metaloides

En general, las aguas del medio marino contienen pequeñas concentraciones de metales (Ahumada 1994) entre otros componentes, sin embargo la presencia de estos elementos en zonas costeras pueden estar derivados del desarrollo industrial y asentamientos urbanos (Castillo and Valdes 2011). Muchos de estos compuestos pueden venir de sólidos suspendidos y sedimentos, pudiendo ser reciclado varias veces en la interface agua-sedimento antes de ser retenidos definitivamente (Santschi et al. 1990). Debido a las características fisicoquímicas del medio marino, los efectos de descargas de contaminantes con metales pueden tener menor severidad que en aguas dulces ya que la alta capacidad buffer del medio neutraliza los ácidos y bases, y la presencia de electrolitos crea posibilidades de floculación y posterior sedimentación (Waldichuk 1974).

4.1.1.3.2.1.7.1 Metaloides Arsénico

Las aguas de la bahía Mejillones presentaron bajas concentraciones de arsénico total, principalmente en estudios realizados entre 1995 y 2007, con valores que no superaron los 2 µg/L. Desde el periodo de 2008 a la fecha se observa un aumento en las concentraciones, alcanzando mayor variabilidad entre las fechas monitoreadas. En el estrato superficial, este aumento se observó en periodos del 2009 y 2011, con alzas que estuvieron cercanas a los 11 µg/L en puntos de muestreo ubicados en el sector sur, en la bahía de Mejillones. En el estrato profundo, las concentraciones presentaron leves aumentos en relación al estrato superficial, principalmente en periodos del 2009, 2011 y febrero del 2016, alcanzando 20 µg/L. Dentro del periodo de estudio se observaron valores inferiores a los límites de detección, los que variaron dependiendo de las diferentes sensibilidades en las técnicas analíticas empleadas (Figura 4.1-19).

4.1.1.3.2.1.7.2 Cadmio

El cadmio total presentó un comportamiento homogéneo en las aguas de la bahía de Mejillones. Las concentraciones entre el periodo comprendido entre los años 2000 a 2007 los registros muestran valores bajos, mientras que del 2007 al 2016, se observó mayor variabilidad de concentraciones de cadmio, periodo en el que se llevó a cabo un mayor número de monitoreos de calidad de agua, como también valores inferiores al límite de detección. En este periodo se observaron mayores concentraciones que rondaron los 150 µg/L. En el estrato profundo se observó el mismo comportamiento que en el estrato superficial, con mayores fluctuaciones de concentraciones en periodos del 2007 a la fecha, siendo localizadas en el sector suroeste de la bahía Mejillones (Figura 4.1-20).

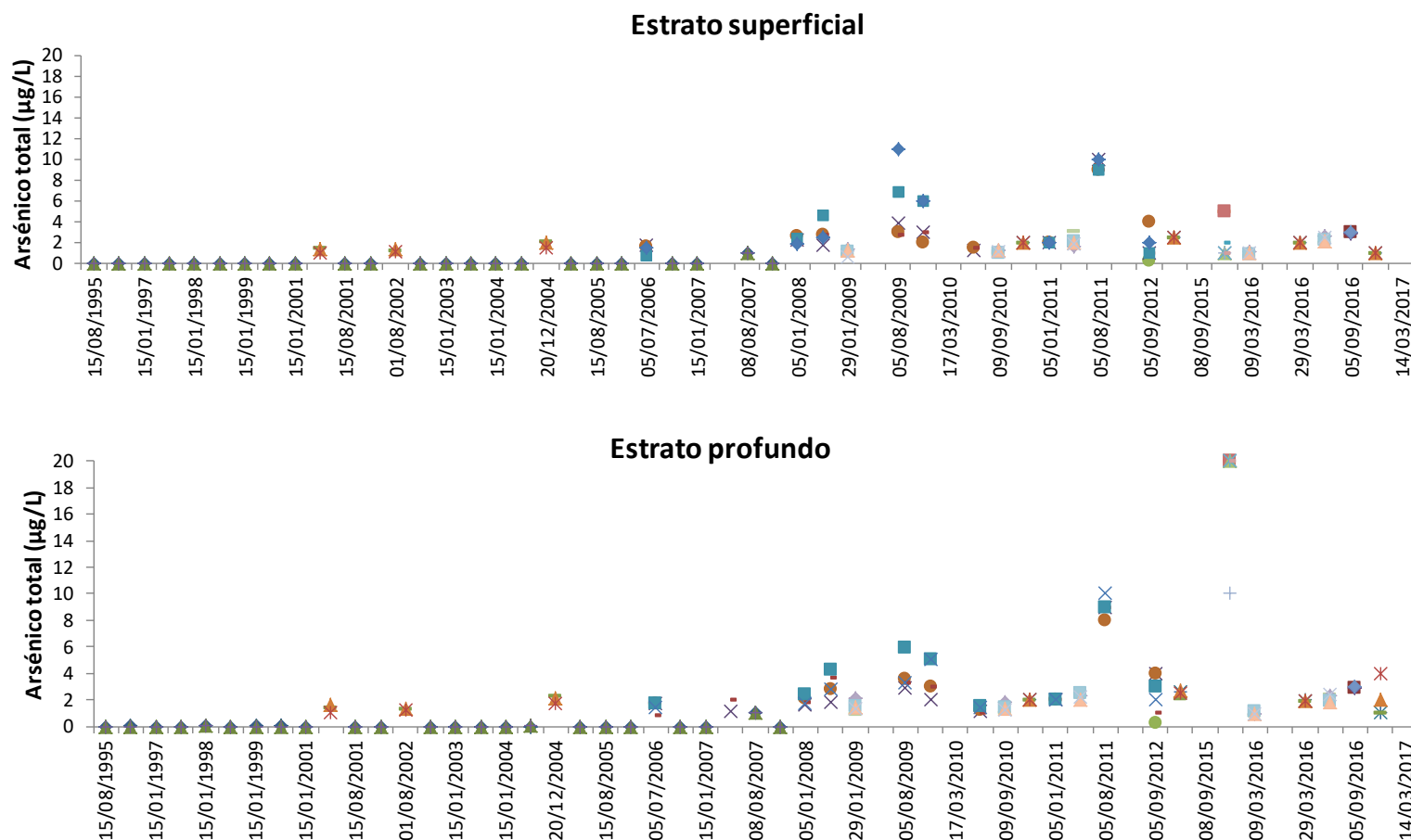


Figura 4.1-19 Concentraciones de arsénico total en la bahía de Mejillones, estrato superficial y profundo. Cada serie en el gráfico representa los distintos puntos de muestreo considerados en el programa de observación litoral (POAL) y los puntos considerados por las distintas RCA en bahía Mejillones. Estrato superficial considera hasta los 0,5m de profundidad y estrato profundo, para la mayoría de los puntos de muestreo, está entre 20 y 30m.

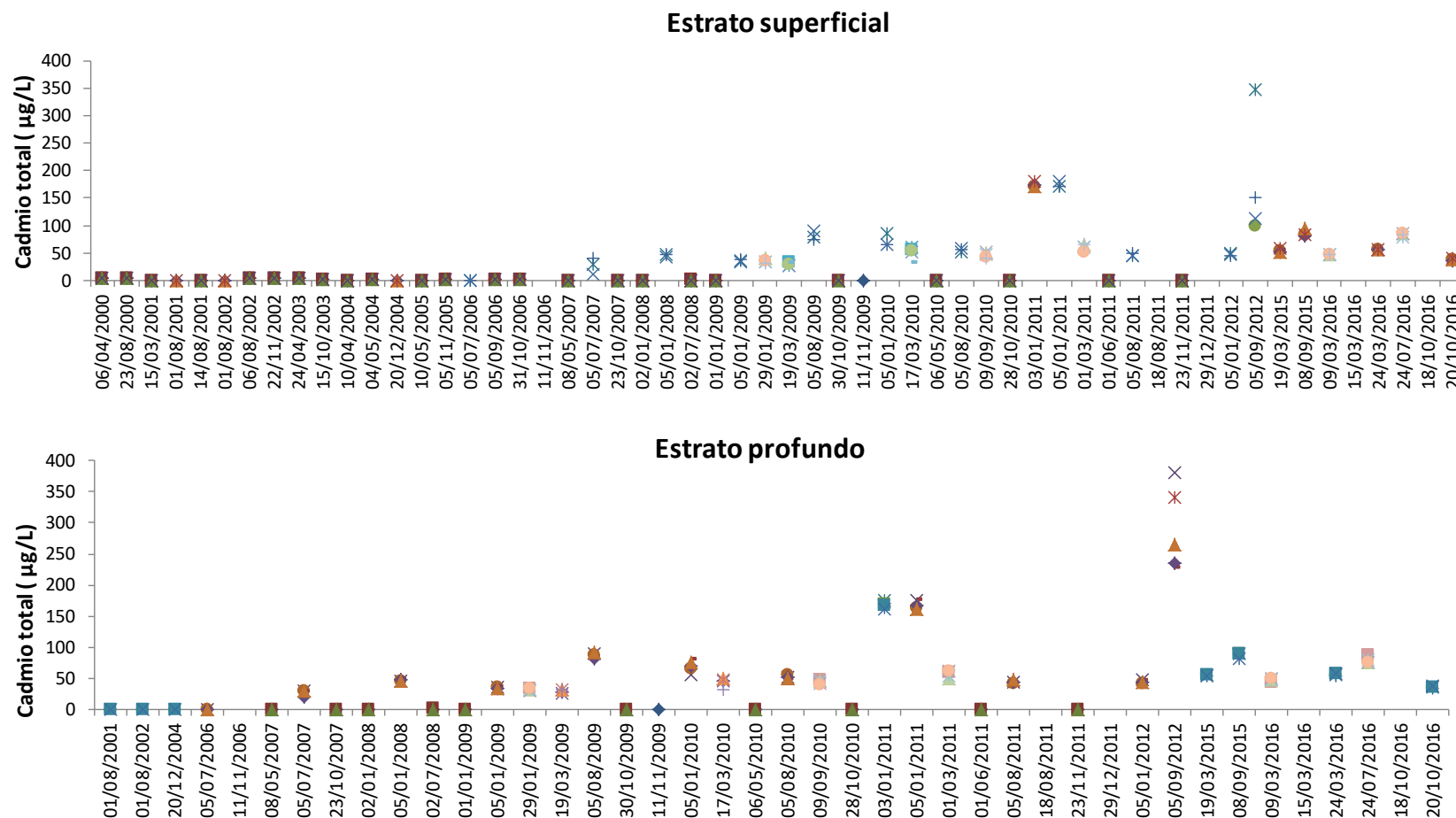


Figura 4.1-20 Concentraciones de cadmio total en la bahía de Mejillones, estrato superficial y profundo. Cada serie en el gráfico representa los distintos puntos de muestreo considerados en el programa de observación litoral (POAL) y los puntos considerados por las distintas RCA en bahía Mejillones. Estrato superficial considera hasta los 0,5m de profundidad y estrato profundo, para la mayoría de los puntos de muestreo, está entre 20 y 30m.

4.1.1.3.2.1.7.3 Cobre

Las concentraciones de cobre total presentaron variaciones en la bahía de Mejillones, considerando el periodo en que se ha sometido a monitoreos. En el estrato superficial, la mayoría de los valores comprendidos entre los años 2000 y 2006 presentaron bajas concentraciones de cobre, los cuales bordearon los 5 $\mu\text{g/L}$, a excepción del 2000 y enero de 2004, donde se observaron alzas, localizados en tanto al noroeste como suroeste de la bahía. Desde el año 2007 las concentraciones de cobre total en la bahía presentaron la mayor variabilidad, en su mayoría entre 20 $\mu\text{g/L}$ y 100 $\mu\text{g/L}$, con disminuciones puntuales en diciembre 2011 y febrero 2016, en puntos ubicados al oeste de la bahía. De la información analizada, no se observó diferencia en la columna de agua, ya que el comportamiento de cobre total fue similar en el estrato superficial como profundo (Figura 4.1-21). En el periodo también se observaron valores de cobre inferiores a los límites de detección, los que presentaron diferentes magnitudes a lo largo de cada estudio.

4.1.1.3.2.1.7.4 Níquel

En el caso del níquel total, la mayoría de los datos reportados en el periodo de estudio estuvieron bajos los límites de detección, las cuales presentaron diferentes sensibilidades a lo largo de cada estudio. Sólo se reportaron concentraciones cuantificables en diciembre del 2008, con bajos valores, los que no superaron 1 $\mu\text{g/L}$. en febrero de 2016 se registraron valores superiores los cuales bordearon los 300 $\mu\text{g/L}$ en el sector suroeste de la bahía, sin embargo, no es posible precisar una tendencia al aumento ya que, en estudios recientes, la sensibilidad de la técnica analítica revela que las concentraciones no superaron 1 $\mu\text{g/L}$. Este comportamiento se observó en ambos estratos (Figura 4.1-22).

4.1.1.3.2.1.7.5 Vanadio

Al igual que el níquel, las aguas de la bahía Mejillones presentaron concentraciones de vanadio total inferiores al límite de detección en los diversos estudios, siendo estos límites de diferentes sensibilidades a través del tiempo, lo que no permite obtener un comportamiento temporal representativo en la bahía. Sólo en diciembre de 2008 se registraron concentraciones de vanadio total, las cuales estuvieron cercanas a los 2 $\mu\text{g/L}$. Este parámetro fue homogéneo en la columna de agua al presentar el mismo comportamiento en el estrato profundo (Figura 4.1-23).

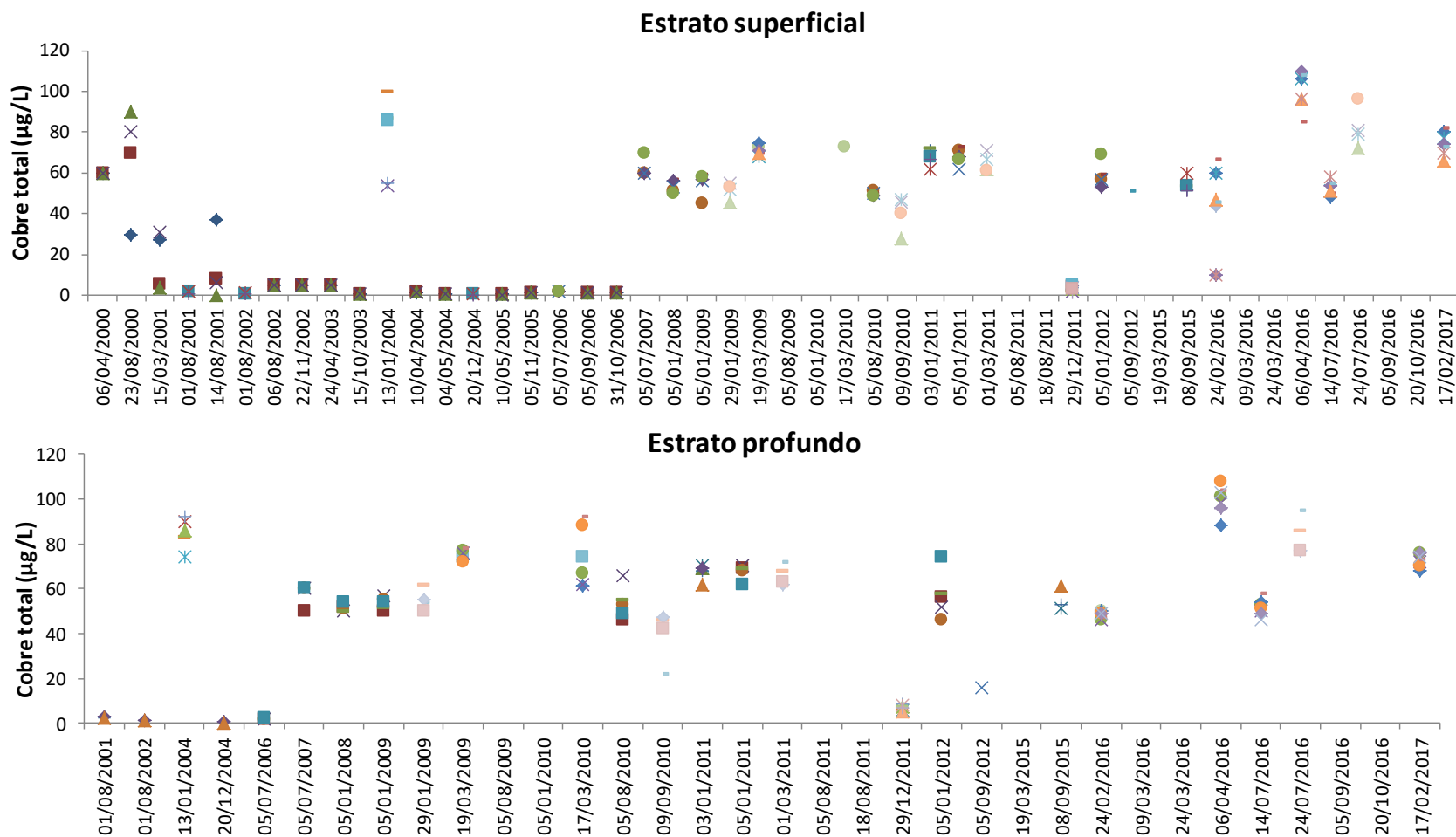


Figura 4.1-21 Concentraciones de cobre total en la bahía de Mejillones, estrato superficial y profundo. Cada serie en el gráfico representa los distintos puntos de muestreo considerados en el programa de observación litoral (POAL) y los puntos considerados por las distintas RCA en bahía Mejillones. Estrato superficial considera hasta los 0,5m de profundidad y estrato profundo, para la mayoría de los puntos de muestreo, está entre 20 y 30m.

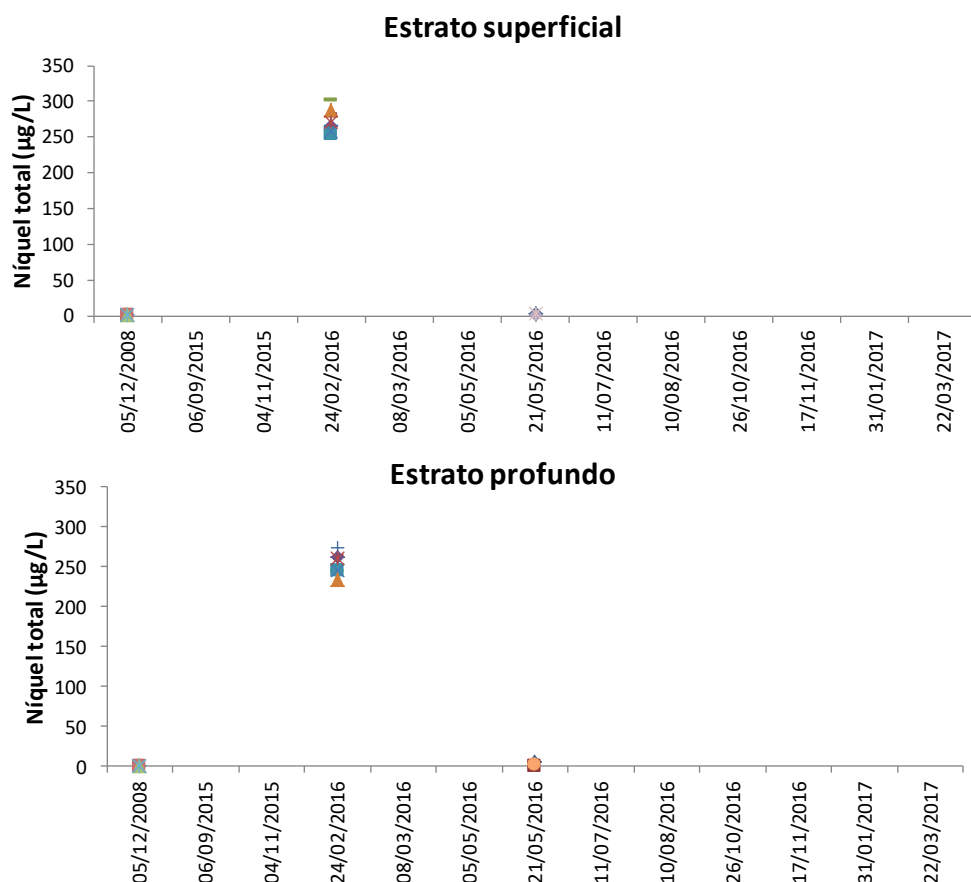


Figura 4.1-22 Concentraciones de níquel total en la bahía de Mejillones, estrato superficial y profundo. Cada serie en el gráfico representa los distintos puntos de muestreo considerados en el programa de observación litoral (POAL) y los puntos considerados por las distintas RCA en bahía Mejillones. Estrato superficial considera hasta los 0,5m de profundidad y estrato profundo, para la mayoría de los puntos de muestreo, está entre 20 y 30m.

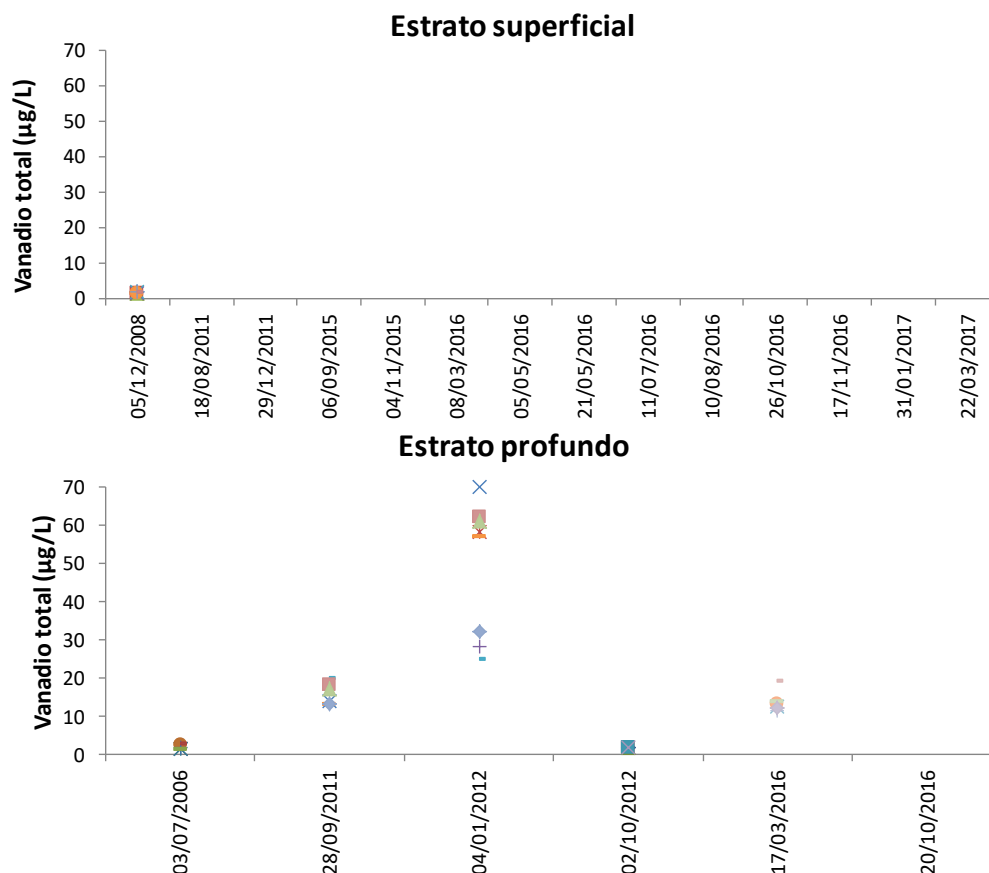


Figura 4.1-23 Concentraciones de vanadio total en la bahía de Mejillones, estrato superficial y profundo. Cada serie en el gráfico representa los distintos puntos de muestreo considerados en el programa de observación litoral (POAL) y los puntos considerados por las distintas RCA en bahía Mejillones. Estrato superficial considera hasta los 0,5m de profundidad y estrato profundo, para la mayoría de los puntos de muestreo, está entre 20 y 30m.

4.1.1.3.2.1.7.6 Plomo

Las concentraciones de plomo total en la bahía de Mejillones mostraron una alta variabilidad en el periodo de evaluación. En el estrato superficial, los valores no superaron los 30 µg/L en el periodo entre el 2000 y 2006, a excepción de enero de 2004, con concentraciones entre 200 µg/L y 400 µg/L, ubicado en el sector suroeste de la bahía. Desde el año 2007, se observaron mayores concentraciones de plomo total, como también una mayor variabilidad en los datos, con valores entre 32 µg/L y 690 µg/L. este cambio también se observó en el estrato profundo, evidenciando un comportamiento estable en la columna de agua (Figura 4.1-24). Temporalmente, se registraron valores inferiores a los límites de detección, los cuales fueron de diversa sensibilidad en cada estudio.

4.1.1.3.2.1.7.7 Zinc

Los diferentes estudios en la bahía de Mejillones evidenciaron concentraciones de zinc total similares entre el 2000 y 2007, con aumentos excepcionales registrados en 1997, 2000 y enero de 2004, principalmente en el sector suroeste de la bahía. Desde 2007 a la fecha

aumentaron las variaciones de concentraciones entre las fechas, con mayores concentraciones en enero del 2011 como en marzo y julio del 2016, alcanzando niveles de hasta 200 $\mu\text{g/L}$, en el sector suroeste de la bahía. El estrato profundo presentó un comportamiento similar, con variaciones entre fechas de monitoreo, y cuyos límites se establecieron de igual manera que en el estrato superficial (Figura 4.1-25).

4.1.1.3.2.1.7.8 Cromo

Las concentraciones de cromo total en la bahía de Mejillones mostraron valores homogéneos entre el año 2000 y 2008. En el estrato superficial, los valores presentaron mayor variabilidad alcanzando niveles cercanos a los 200 $\mu\text{g/L}$. Este comportamiento también se observó en el estrato profundo, sin superar los 150 $\mu\text{g/L}$ en la columna de agua. Temporalmente, se registraron valores inferiores a los límites de detección, los cuales fueron de diversa sensibilidad en cada estudio (Figura 4.1-26).

4.1.1.3.2.1.7.9 Mercurio

Las concentraciones de mercurio total fueron homogéneas y bajas a lo largo el periodo de evaluación en la bahía de Mejillones, considerando que la mayoría de los registros corresponden a valores inferiores al límite de detección, considerando las diferentes sensibilidades de estos valores en los diferentes estudios. En el estrato superficial se observó un incremento puntual en el año 2008, donde no se superó los 6 $\mu\text{g/L}$. el resto de las campañas, tanto en el estrato superficial y profundo registraron bajos valores (Figura 4.1-27).

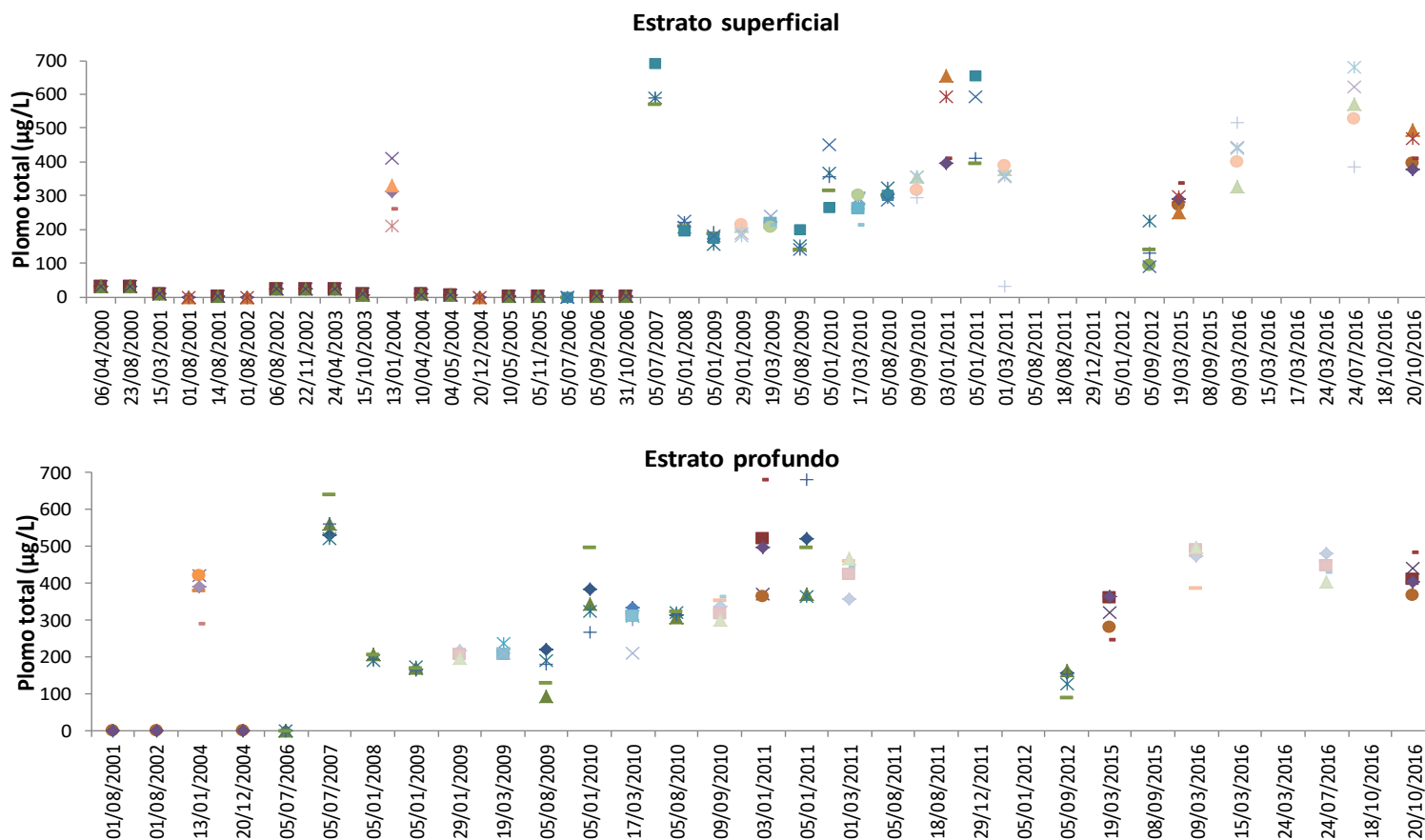


Figura 4.1-24 Concentraciones de plomo total en la bahía de Mejillones, estrato superficial y profundo. Cada serie en el gráfico representa los distintos puntos de muestreo considerados en el programa de observación litoral (POAL) y los puntos considerados por las distintas RCA en bahía Mejillones. Estrato superficial considera hasta los 0,5m de profundidad y estrato profundo, para la mayoría de los puntos de muestreo, está entre 20 y 30m.

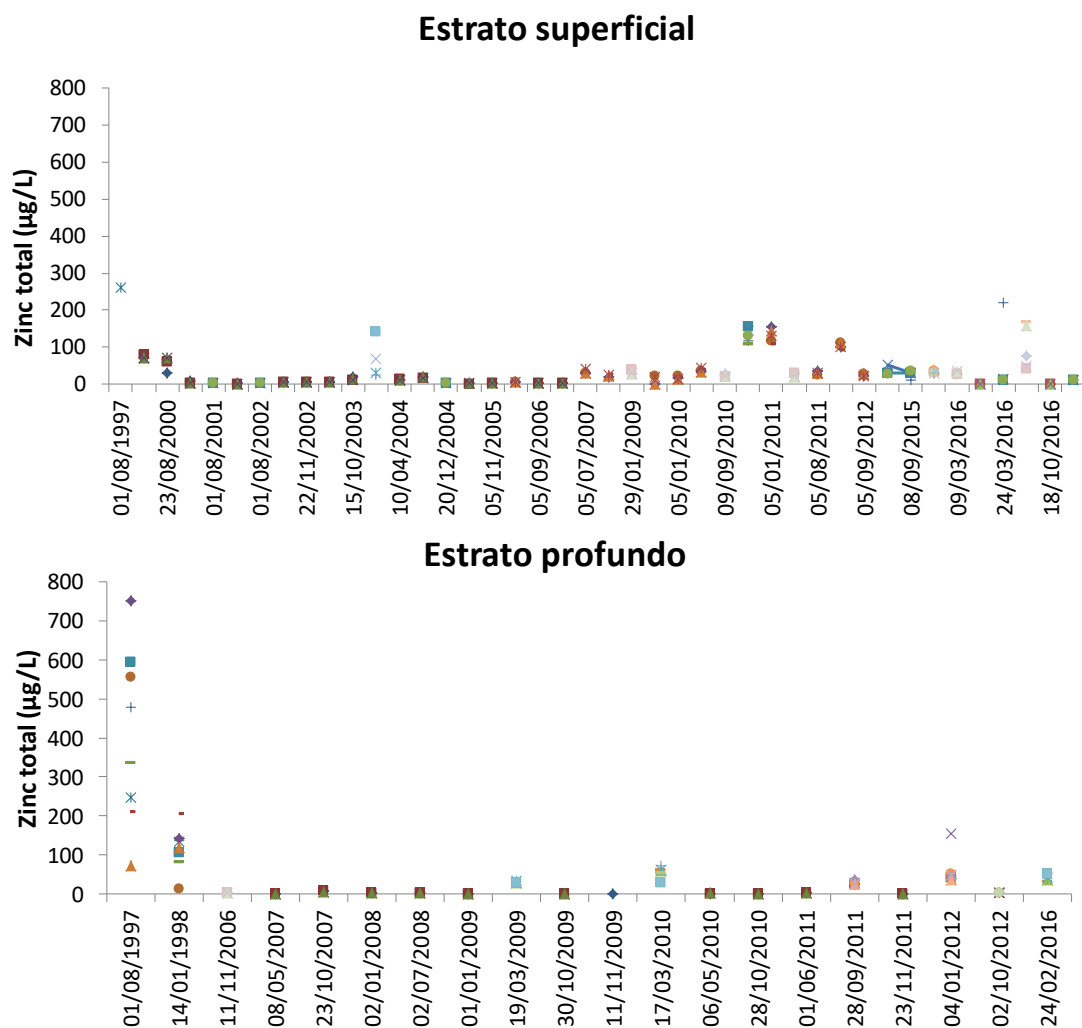


Figura 4.1-25 Concentraciones de zinc total en la bahía de Mejillones, estrato superficial y profundo. Cada serie en el gráfico representa los distintos puntos de muestreo considerados en el programa de observación litoral (POAL) y los puntos considerados por las distintas RCA en bahía Mejillones. Estrato superficial considera hasta los 0,5m de profundidad y estrato profundo, para la mayoría de los puntos de muestreo, está entre 20 y 30m.

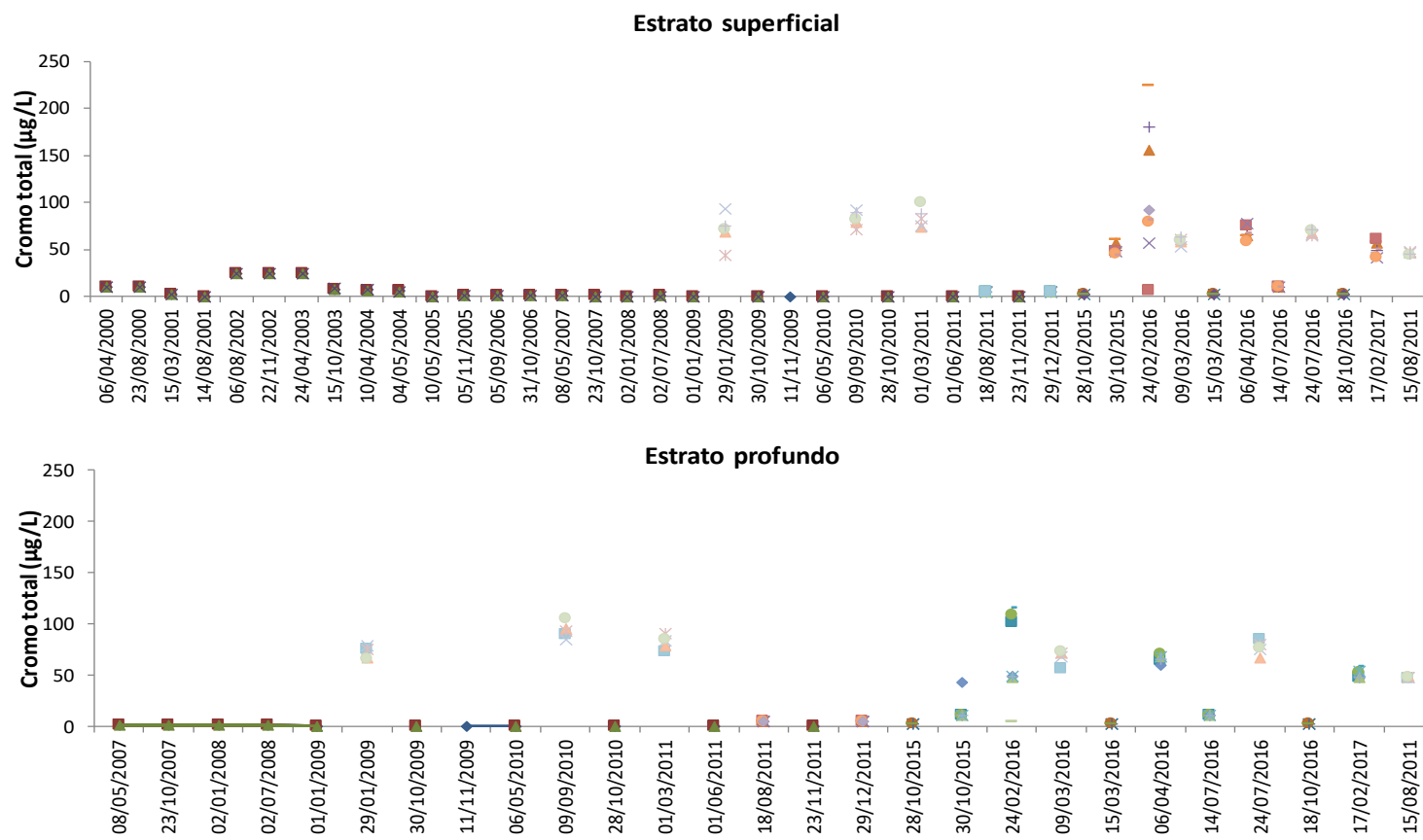


Figura 4.1-26 Concentraciones de cromo total en la bahía de Mejillones, estrato superficial y profundo. Cada serie en el gráfico representa los distintos puntos de muestreo considerados en el programa de observación litoral (POAL) y los puntos considerados por las distintas RCA en bahía Mejillones. Estrato superficial considera hasta los 0,5m de profundidad y estrato profundo, para la mayoría de los puntos de muestreo, está entre 20 y 30m.

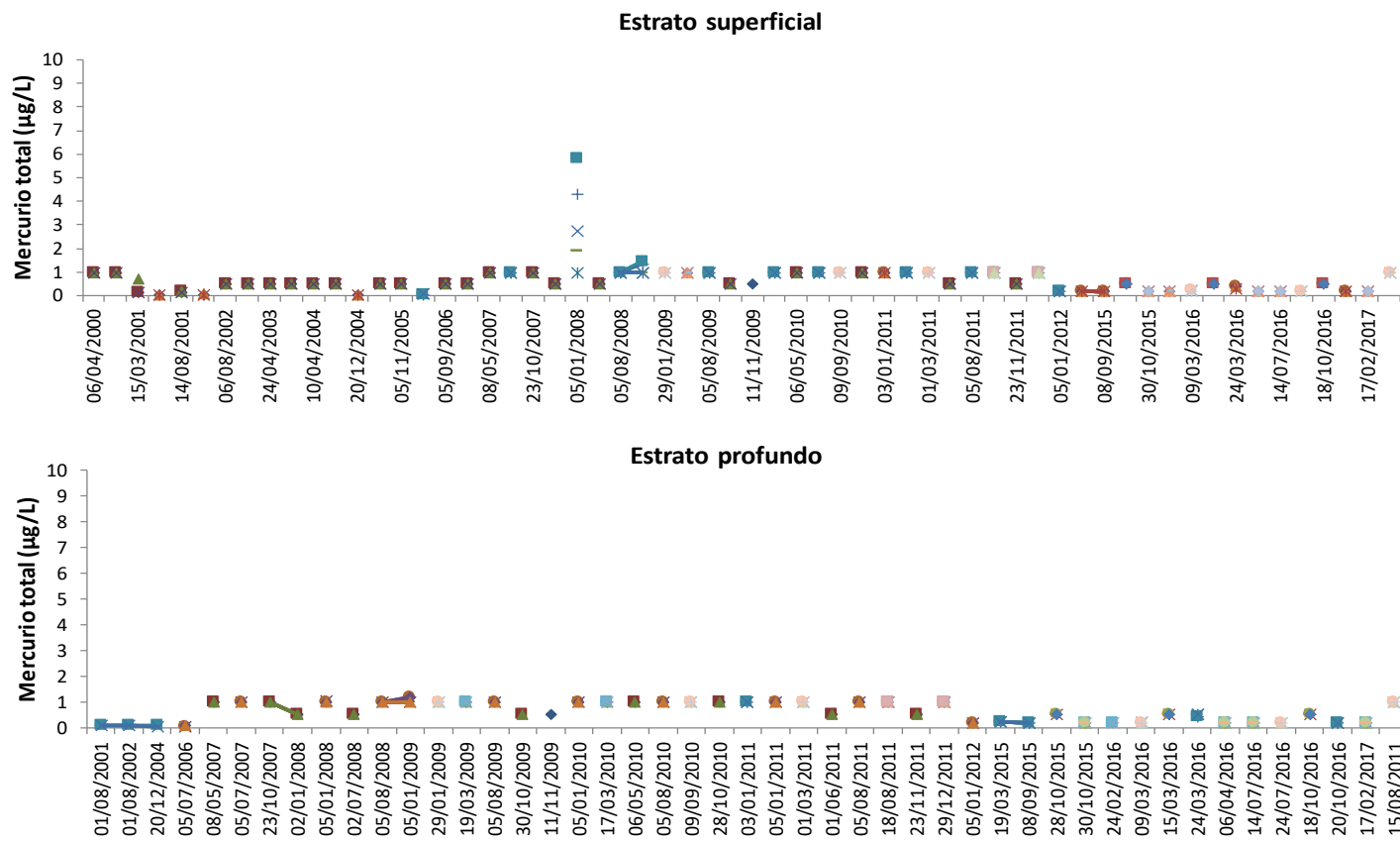


Figura 4.1-27 Concentraciones de mercurio total en la bahía de Mejillones, estrato superficial y profundo. Cada serie en el gráfico representa los distintos puntos de muestreo considerados en el programa de observación litoral (POAL) y los puntos considerados por las distintas RCA en bahía Mejillones. Estrato superficial considera hasta los 0,5m de profundidad y estrato profundo, para la mayoría de los puntos de muestreo, está entre 20 y 30m

4.1.1.3.2.2 Sedimentos intermareales y submareales

Los parámetros obtenidos para los puntos de monitoreo en los sedimentos se graficaron en función de un eje espacial suroeste-noreste.

4.1.1.3.2.2.1 Sedimentos intermareales

4.1.1.3.2.2.1.1 Materia orgánica

Una parte importante del sedimento acumulado en el fondo marino puede ser producido en la capa superficial del agua mediante la fotosíntesis, y otra parte puede ser generada en el continente y estar constituido por restos de minerales y materia orgánica. Entre los factores que influyen en la cantidad y su preservación es la productividad primaria, profundidad, contenido de oxígeno disuelto, entre otros (Guiñez et al. 2010). Estas condiciones se pueden observar en sectores de surgencia como lo es la bahía de Mejillones.

En el sustrato intermareal de la bahía de Mejillones, se observaron valores de materia orgánica en un rango entre 0,5% y 1,14%. Espacialmente, los valores presentaron variaciones sin una tendencia a la disminución o aumento en dirección suroeste a noreste en la bahía Mejillones, esto debido a que no se contó con la suficiente cantidad de valores para establecer dicho comportamiento (Figura 4.1-28 a).

4.1.1.3.2.2.1.2 Redox

El potencial redox es un parámetro que indica cuan reductor u oxidante es un ambiente. El redox, junto con otros parámetros como pH y salinidad, afectan la remoción de metales desde los sedimentos a la columna de agua. Este parámetro es de especial importancia, ya que una condición oxidante puede generar la liberación de metales debido a la oxidación de materia orgánica y disolución de sulfuros (Hunt Carlton D.; Smith 1983) y de esta manera aportar metales u otros contaminantes desde los sedimentos a la columna de agua.

Los sedimentos intermareales de la bahía de Mejillones presentaron leves diferencias de potencial redox en la zona suroeste de la bahía en relación con puntos de muestreo ubicados al noreste. En el sector suroeste, se evidenciaron ambientes más oxidantes, con valores positivos de potencial, en relación con puntos de muestro más al noreste donde se observaron variaciones entre ambientes reductores y oxidantes. Cabe destacar que no se contó con gran número de registros de potencial Redox en los sedimentos intermareales, recopilados a través de los diferentes estudios ambientales, para afirmar que este comportamiento cuenta con una tendencia espacial clara (Figura 4.1-28 b).

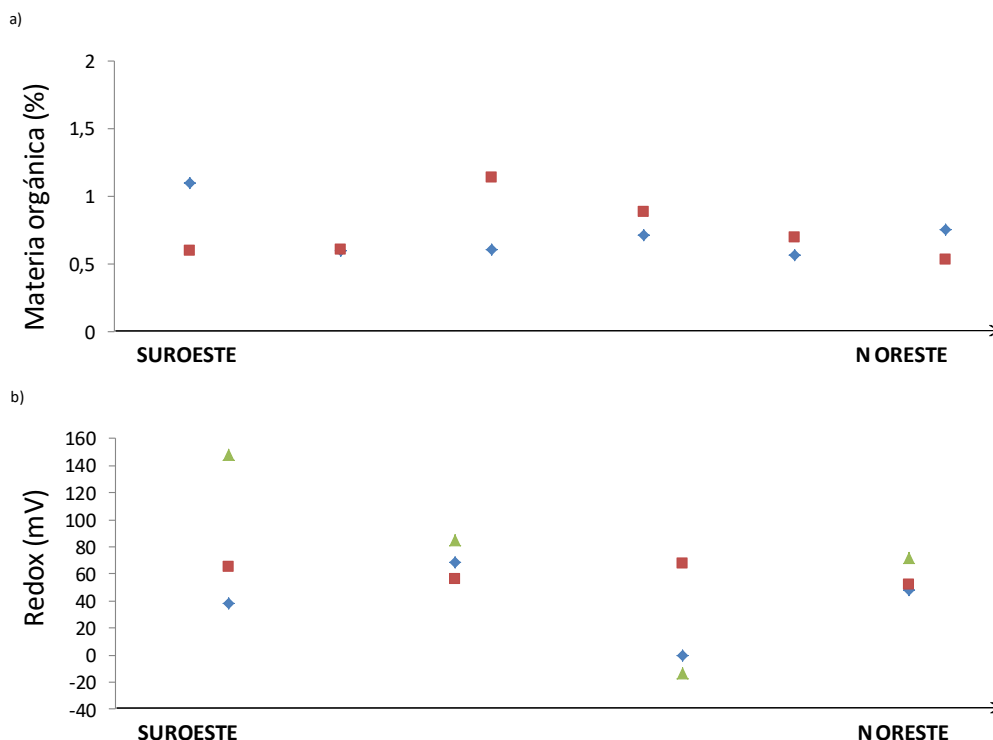


Figura 4.1-28 Concentraciones de materia orgánica (a) y redox (b) en sedimentos intermareales, bahía de Mejillones. Cada serie en el gráfico representa los distintos puntos de muestreo considerados en el programa de observación litoral (POAL) y los puntos considerados por las distintas RCA en bahía Mejillones.

4.1.1.3.2.2.1.3 Granulometría

La distribución de tamaño de los sedimentos juega un rol importante en las propiedades fisicoquímicas del medio. Partículas de gran tamaño ofrecen una menor superficie relativa para la adsorción de metales en comparación con partículas más finas (Cobelo-García and Prego 2004).

Los sedimentos intermareales de la bahía Mejillones, presentaron en su mayoría tamaños intermedios. La información de granulometría indicó que existen mayor número de muestras con fracciones entre arenas medianas y arenas muy finas, las cuales juegan un rol importante en la mayor o menor abundancia de metales en partículas de diverso tamaño (Figura 4.1-29).

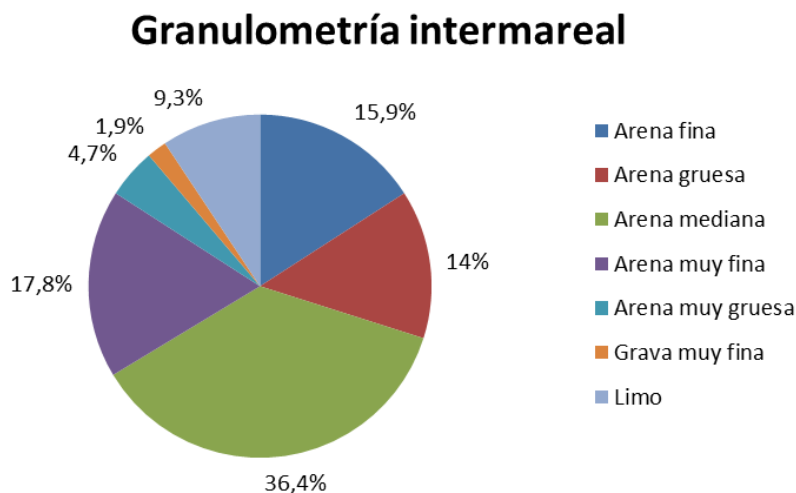


Figura 4.1-29 Granulometría en sedimentos intermareales, bahía de Mejillones.

4.1.1.3.2.2.1.4 Metales y metaloides

Los metales y metaloides en sedimentos tienen su origen desde fuentes geológicas naturales y también desde fuentes de contaminación costera comúnmente derivada principalmente de actividades industriales y residuos orgánicos. En el sedimento marino los metales son acumulados activamente, dependiendo de las condiciones físicas y químicas del ambiente (Guinez et al. 2015) (Buccolieri et al. 2006), de esta manera, los cambios de temperatura, pH, potencial redox, tipo de sedimento, actividad microbiológica, entre otros factores, pueden conducir a la liberación de metales desde la fase sólida a la fase acuosa (Jamshidi-Zanjani et al. 2014). La importancia de estudiar los metales y metaloides en sedimentos radica en que son fuente de acumulación y existen de forma inestable lo que lo hace disponible para su incorporación en el ciclo de la fauna bentónica, y también permite evaluar el historial de contaminación del sistema acuático (Valdés et al. 2005).

4.1.1.3.2.2.1.5 Metaloides Arsénico

Los sedimentos intermareales de la bahía de Mejillones presentaron variaciones en las concentraciones de arsénico, sin tendencias espaciales de aumento o disminución de sus valores en los puntos de muestreo ubicados en el borde costero. Los estudios recopilados contaron con tres fechas de muestreo, por lo que es difícil establecer alguna tendencia de este parámetro (Figura 4.1-30 a).

4.1.1.3.2.2.1.6 Cadmio

Las concentraciones de cadmio en los sedimentos intermareales indicaron valores con una leve tendencia a la disminución desde puntos de muestreo ubicados en el suroeste de la bahía hasta el noreste. De esta manera las mayores concentraciones se observaron en zonas con mayor actividad antropogénica. Las concentraciones de cadmio en sedimentos intermareales reportadas abarcaron un rango entre 0,9 mg/kg y 13 mg/kg (Figura 4.1-30 b).

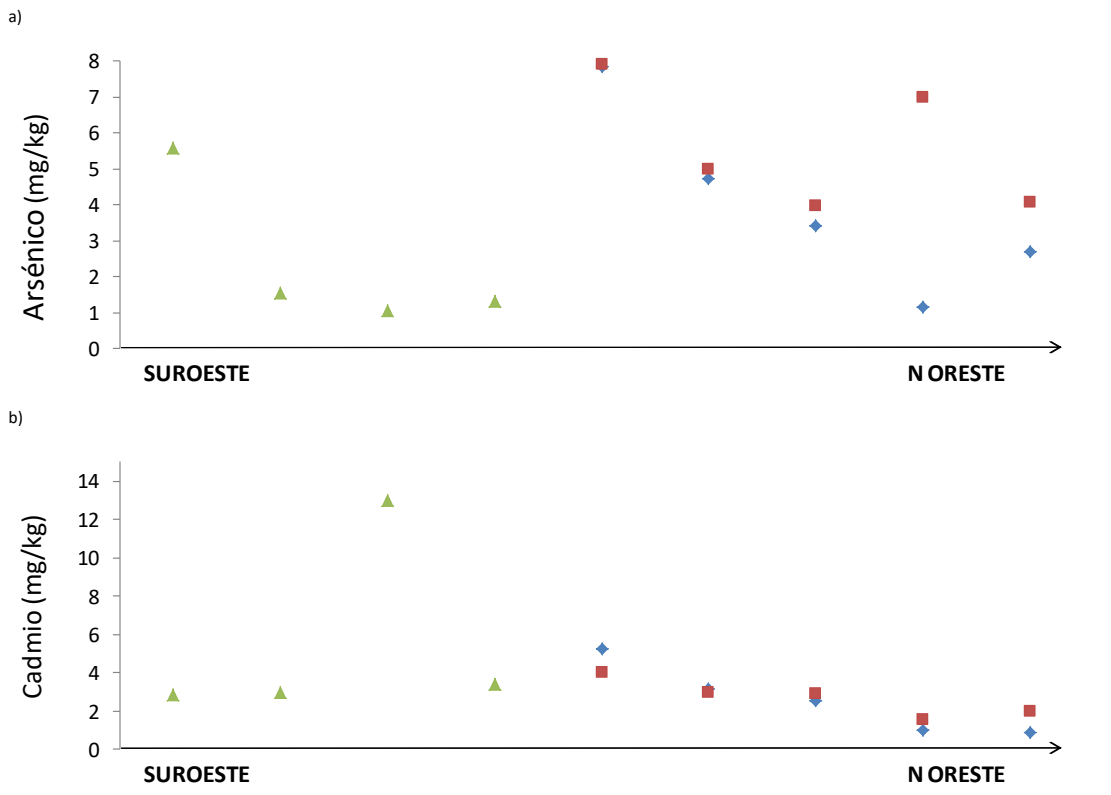


Figura 4.1-30 Concentraciones de arsénico (a) y cadmio (b) en sedimentos intermareales, bahía de Mejillones. Cada serie en el gráfico representa los distintos puntos de muestreo considerados en el programa de observación litoral (POAL) y los puntos considerados por las distintas RCA en bahía Mejillones.

4.1.1.3.2.2.1.7 Cobre

Los sedimentos intermareales indicaron concentraciones de cobre variables en los diferentes puntos de muestreo de la bahía, sin tendencias de aumento o disminución de sus valores desde el suroeste al noreste de la bahía de Mejillones. El rango de concentraciones registrado en los diferentes estudios estuvo entre 2 mg/kg a 22 mg/kg, considerando que sólo 4 fechas cuentan con valores de cobre (Figura 4.1-31 a).

4.1.1.3.2.2.1.8 Plomo

En los sedimentos intermareales de la bahía de Mejillones, las concentraciones de plomo indicaron una tendencia espacial a la disminución de sus valores desde puntos de muestreo ubicados en el sector suroeste de la bahía, donde hay una mayor concentración de actividades antropogénicas, hasta alcanzar menores valores en puntos de muestreo direccionados al noreste de la bahía. El rango observado estuvo entre los 2 mg/kg al noreste y 16 mg/kg en el sur. Estos valores fueron similares a los reportados anteriormente en la bahía (Valdés and Sifeddine 2009) (Figura 4.1-31 b).

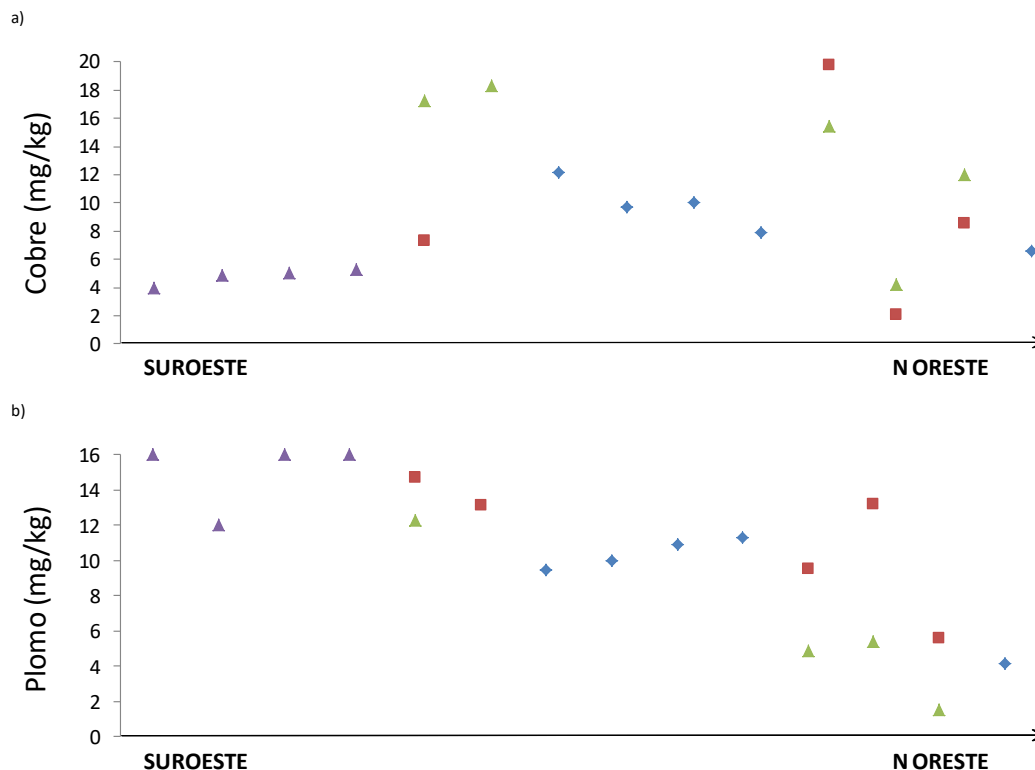


Figura 4.1-31 Concentraciones de cobre (a) y plomo (b) en sedimentos intermareales, bahía de Mejillones. Cada serie en el gráfico representa los distintos puntos de muestreo considerados en el programa de observación litoral (POAL) y los puntos considerados por las distintas RCA en bahía Mejillones.

4.1.1.3.2.2.1.9 Níquel

En los sedimentos intermareales, solo se contó con 3 valores cuantificables de níquel, por lo cual no es posible realizar un análisis representativo de la bahía Mejillones. Sus valores estuvieron entre 5 mg/kg y 9 mg/kg. Estos valores puntuales recopilados fueron bajos en relación a los reportados en estudios anteriores en la bahía (Valdés and Sifeddine 2009), los cuales establecen el níquel como uno de los indicadores de actividades antropogénicas en la bahía (Figura 4.1-32 a).

4.1.1.3.2.2.1.10 Vanadio

En base a la recopilación de los diferentes estudios en la bahía Mejillones, solo se contó con 4 valores de vanadio reportados en los sedimentos intermareales, sin la posibilidad de evaluar tendencias en ella. El rango de concentración observado estuvo entre los 30 mg/kg y 42 mg/kg (Figura 4.1-32 b).

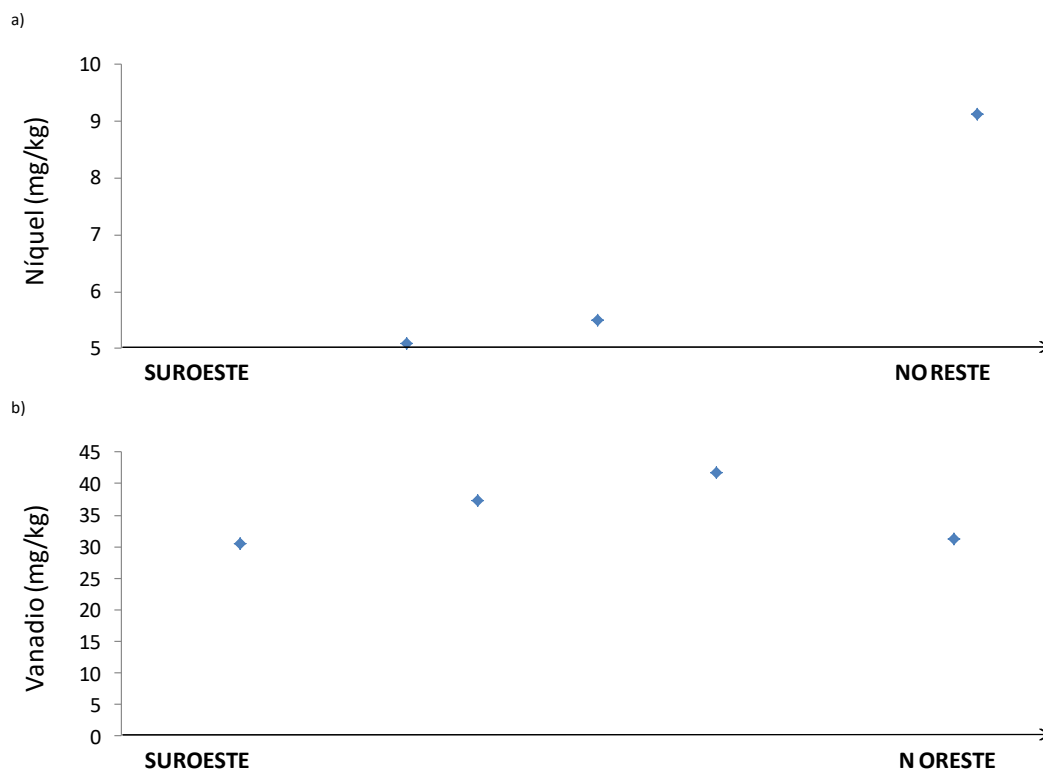


Figura 4.1-32 Concentraciones de níquel (a) y vanadio (b) en sedimentos intermareales, bahía de Mejillones. Cada serie en el gráfico representa los distintos puntos de muestreo considerados en el programa de observación litoral (POAL) y los puntos considerados por las distintas RCA en bahía Mejillones.

4.1.1.3.2.2.1.11 Zinc

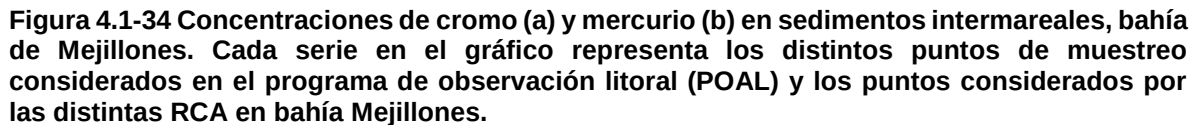
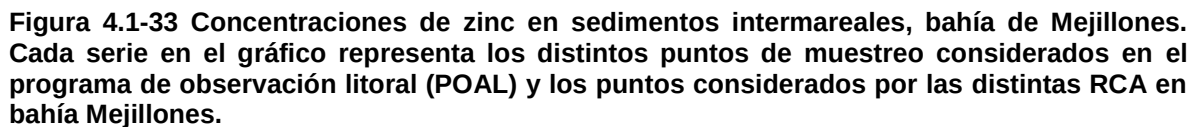
En relación con el zinc registrado en los sedimentos intermareales se observaron concentraciones que no mostraron grandes diferencias de valores en sus puntos de muestreo distribuidos desde el sur al noreste. Sus valores fueron acordes a los reportados en estudios anteriores en la bahía, a excepción de un valor puntual que alcanzó 26 mg/kg, sin mostrar alguna tendencia espacial de aumento o disminución en sus concentraciones (Figura 4.1-33).

4.1.1.3.2.2.1.12 Cromo

En cuanto al cromo intermareal, No existen gran cantidad de datos para definir un comportamiento claro dentro de la bahía de Mejillones. La mayoría de los valores se encontraron entre alrededor de 10 mg/kg con un aumento puntual que alcanzó un valor cercano a 24 mg/kg, sin tendencias espaciales definidas (Figura 4.1-34 a).

4.1.1.3.2.2.1.13 Mercurio

Las concentraciones de mercurio en los sedimentos intermareales no registraron tendencias espaciales definidas. Los valores fueron homogéneos a excepción de un valor puntual que alcanzó los 90 mg/kg, en agosto del 2011, lo cual no significó una condición permanente o alguna tendencia en la bahía de Mejillones (Figura 4.1-34 b).



4.1.1.3.2.2.2 Sedimentos submareales

Tal como se indicó anteriormente, los puntos de muestreo considerados para el análisis de sedimentos comparten el mismo atributo espacial que la columna de agua, en donde la mayoría de los puntos se distribuyen entre los veriles de 20 y 30m.

4.1.1.3.2.2.2.1 Materia orgánica

En los sedimentos submareales de la bahía de Mejillones, se observaron concentraciones de materia orgánica que variaron en los diferentes puntos de muestreo, sin tendencias al aumento o disminución desde suroeste a noreste. El rango de concentraciones fue amplio, valores cercanos a 0,5% hasta 6,9%. Los contenidos de materia orgánica en sedimentos submareales fueron superiores a los intermareales, influenciados por las mayores profundidades y los bajos contenidos de oxígeno disuelto presentes (Figura 4.1-35 a).

4.1.1.3.2.2.2.2 Redox

Los valores de redox presentes en los sedimentos submareales presentaron una alta variabilidad en los diferentes puntos de muestreo. No se observó una tendencia espacial de aumento o disminución de los valores redox considerando los puntos desde el suroeste de la bahía hacia el noreste. La alta variabilidad se observó ya que sus valores indicaron sedimentos en ambientes reductores, valores cercanos a -260 mV, como también con valores positivos altamente oxidantes, cercanos a los 480 mV. (Figura 4.1-35 b).

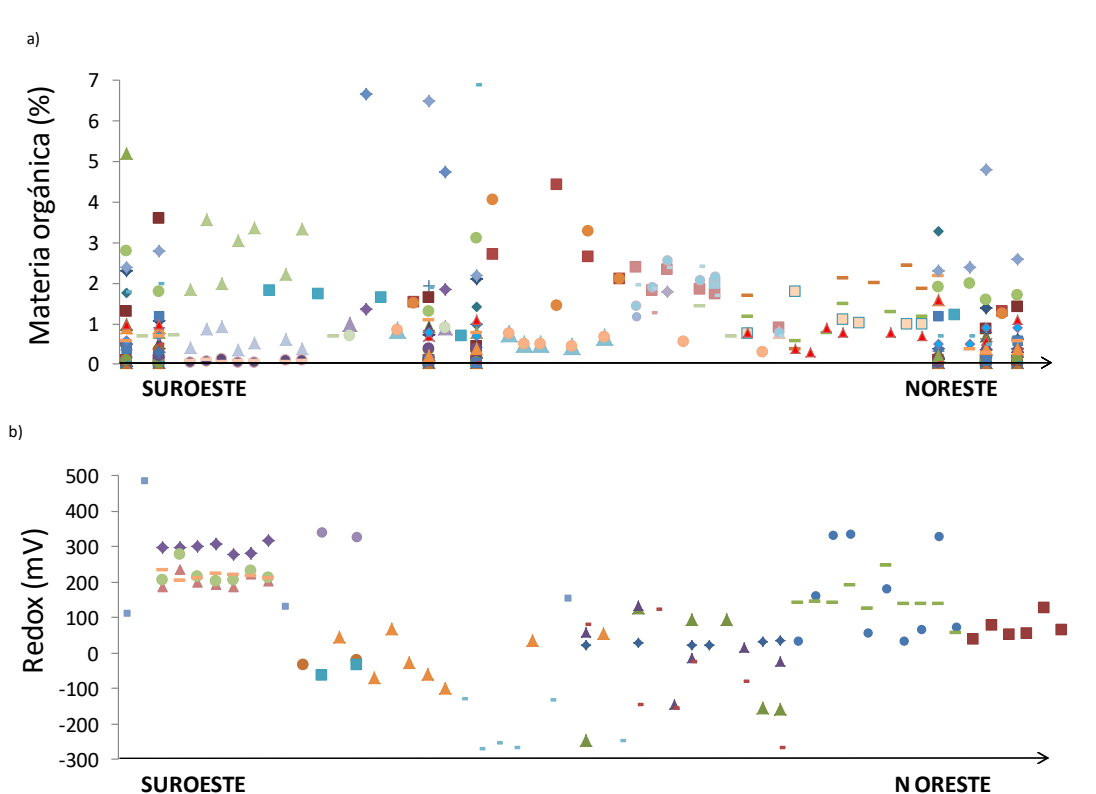


Figura 4.1-35 Concentraciones de materia orgánica (a) y potencial redox (b) en sedimentos submareales, bahía de Mejillones. Cada serie en el gráfico representa los distintos puntos de muestreo considerados en el programa de observación litoral (POAL) y los puntos considerados por las distintas RCA en bahía Mejillones. La mayoría de los puntos de muestreo se ubican entre los veriles 20 y 30m.

4.1.1.3.2.2.3 Granulometría

La mayoría de los puntos indicaron que los sedimentos submareales de la bahía presentaron arenas finas y muy finas. Este comportamiento se observó a lo largo de la bahía en los diferentes puntos de muestreo desde el suroeste en la bahía hasta el noreste. Esta característica influye en las concentraciones de metales las cuales son adsorbidas con mayor facilidad por las fracciones más finas en los sedimentos.

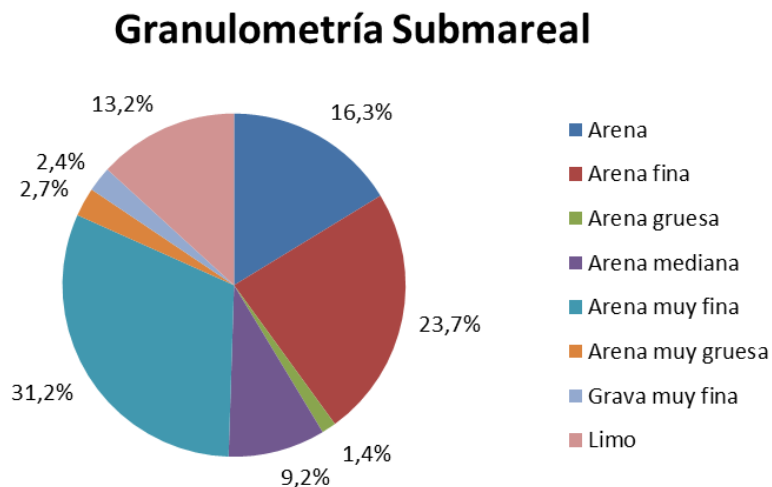


Figura 4.1-36 Granulometría en sedimentos submareales, bahía de Mejillones

4.1.1.3.2.2.2.4 Metales y metaloides

4.1.1.3.2.2.2.5 Metaloides Arsénico

En los sedimentos submareales se observaron mayores concentraciones en el sector suroeste, alcanzando valores de hasta 8 mg/kg, como también se detectó una mayor variabilidad de las concentraciones. Se observó una leve tendencia a la disminución de la concentración con dirección noreste, donde no superaron los 5 mg/kg, donde también se constató una menor variabilidad de los datos. Los rangos de concentraciones de sedimentos submareales fueron similares a los registrados en sedimentos intermareales (Figura 4.1-37 a).

4.1.1.3.2.2.2.6 Cadmio

Los sedimentos submareales mostraron concentraciones de cadmio que no superaron los 15 mg/kg, sin la presencia de tendencias espaciales que indiquen mayores alteraciones en el sector sur la bahía. Las concentraciones de cadmio presentaron valores inferiores a los indicados en publicaciones realizadas en la bahía de Mejillones, tal como lo indica la bibliografía (Valdés 2012), sin embargo, estos valores fueron superiores a los reportados en otros sectores costeros de Chile. Las concentraciones de cadmio en sedimentos submareales fueron levemente superiores a los sedimentos intermareales (Figura 4.1-37 b).

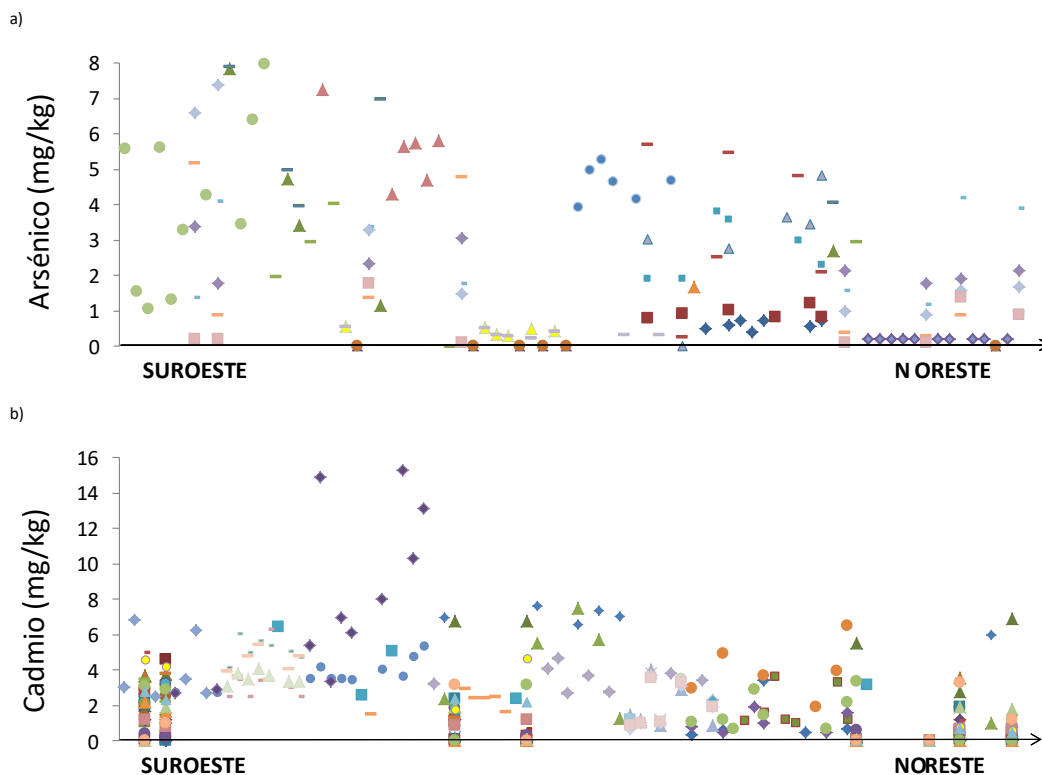


Figura 4.1-37 Concentraciones de arsénico (a) y cadmio (b) en sedimentos submareales, bahía de Mejillones. Cada serie en el gráfico representa los distintos puntos de muestreo considerados en el programa de observación litoral (POAL) y los puntos considerados por las distintas RCA en bahía Mejillones. La mayoría de los puntos de muestreo se ubican entre los veriles 20 y 30m.

4.1.1.3.2.2.7 Cobre

Las concentraciones de cobre en los sedimentos submareales presentaron variaciones espaciales, sin tendencias a la disminución o aumento de sus valores con dirección de suroeste a noreste en la bahía de Mejillones. La mayoría de los datos recopilados estuvieron en un rango entre 0,2 mg/kg y 35 mg/kg, a excepción de valores ubicados en el sector suroeste en la bahía, con concentraciones que alcanzaron los 66 mg/kg. Los valores recopilados a partir de diferentes estudios en la bahía de Mejillones, fueron menores a los reportados en diferentes publicaciones, incluso en períodos preindustriales (Valdés 2012) (Figura 4.1-38 a).

4.1.1.3.2.2.8 Plomo

Los sedimentos submareales en la bahía muestran concentraciones de plomo, al igual que el resto de los metales, con mayor variabilidad en el sector suroeste en la bahía, en relación con el sector noreste. Las concentraciones fluctuaron en un rango amplio, con un límite no mayor a 30 mg/kg a excepción de un valor puntual en el sector suroeste en la bahía que arrojó 41 mg/kg, sin que ello muestre alguna tendencia espacial en la zona que ha sido monitoreada por los diferentes estudios. Los límites superiores mostraron valores superiores a los reportados en publicaciones previas en la bahía de Mejillones (Valdés 2012) (Valdés and Sifeddine 2009), donde el aumento de este parámetro se le atribuye a actividades antropogénicas en la bahía y no a condiciones oceanográficas. Los valores de plomo en sedimentos submareales fueron superiores a los sedimentos intermareales (Figura 4.1-38 b).

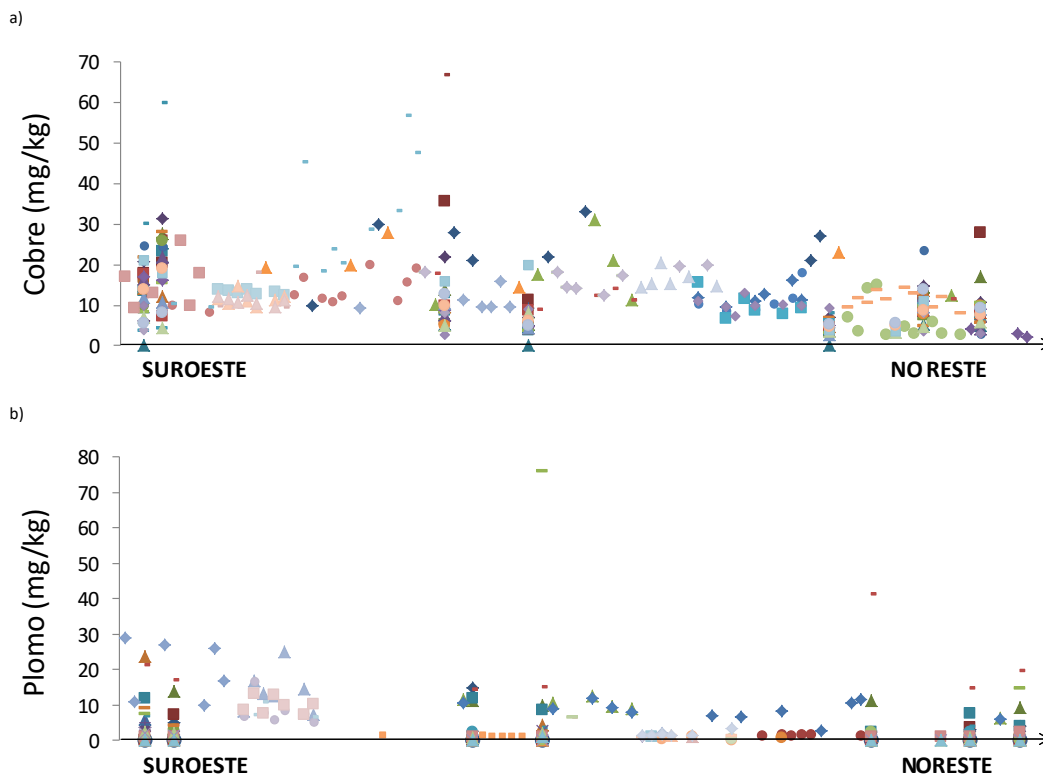


Figura 4.1-38 Concentraciones de cobre (a) y plomo (b) en sedimentos submareales, bahía de Mejillones. Cada serie en el gráfico representa los distintos puntos de muestreo considerados en el programa de observación litoral (POAL) y los puntos considerados por las distintas RCA en bahía Mejillones. La mayoría de los puntos de muestreo se ubican entre los veriles 20 y 30m.

4.1.1.3.2.2.2.9 Zinc

Las concentraciones de zinc en los sedimentos submareales presentaron valores sin tendencias espaciales y con una alta variabilidad. La mayoría de los valores no superaron los 75 mg/kg de concentración a excepción del año 1998 donde se observaron las mayores concentraciones con relación al resto de los registros, con valores que alcanzaron los 1000 mg/kg, siendo superiores en diversos puntos de la bahía. Estos valores estuvieron por sobre los reportados en diversas publicaciones, sin embargo, este comportamiento no fue sostenido en el tiempo. Según (Valdés and Sifeddine 2009), las variaciones y aumentos de estos parámetros en la bahía de Mejillones están influenciados por las actividades antropogénicas desarrollada en el sector (Figura 4.1-39 a).

4.1.1.3.2.2.2.10 Vanadio

Los valores de vanadio presentaron un comportamiento similar al níquel. A partir de los antecedentes recopilados, se observó una mayor variabilidad de datos en puntos ubicados al suroeste en la bahía de Mejillones, los cuales mostraron un rango entre 4 mg/kg y 68 mg/kg, mientras que en el sector más al noreste, los valores de vanadio fueron menores y homogéneos registrando no más de 22 mg/kg. Los valores de vanadio estuvieron en el mismo rango de concentraciones que los registrados en los sedimentos intermareales,

considerando que el universo de datos en este sustrato fue considerablemente inferior a los presentados en los sedimentos submareales (Figura 4.1-39 b).

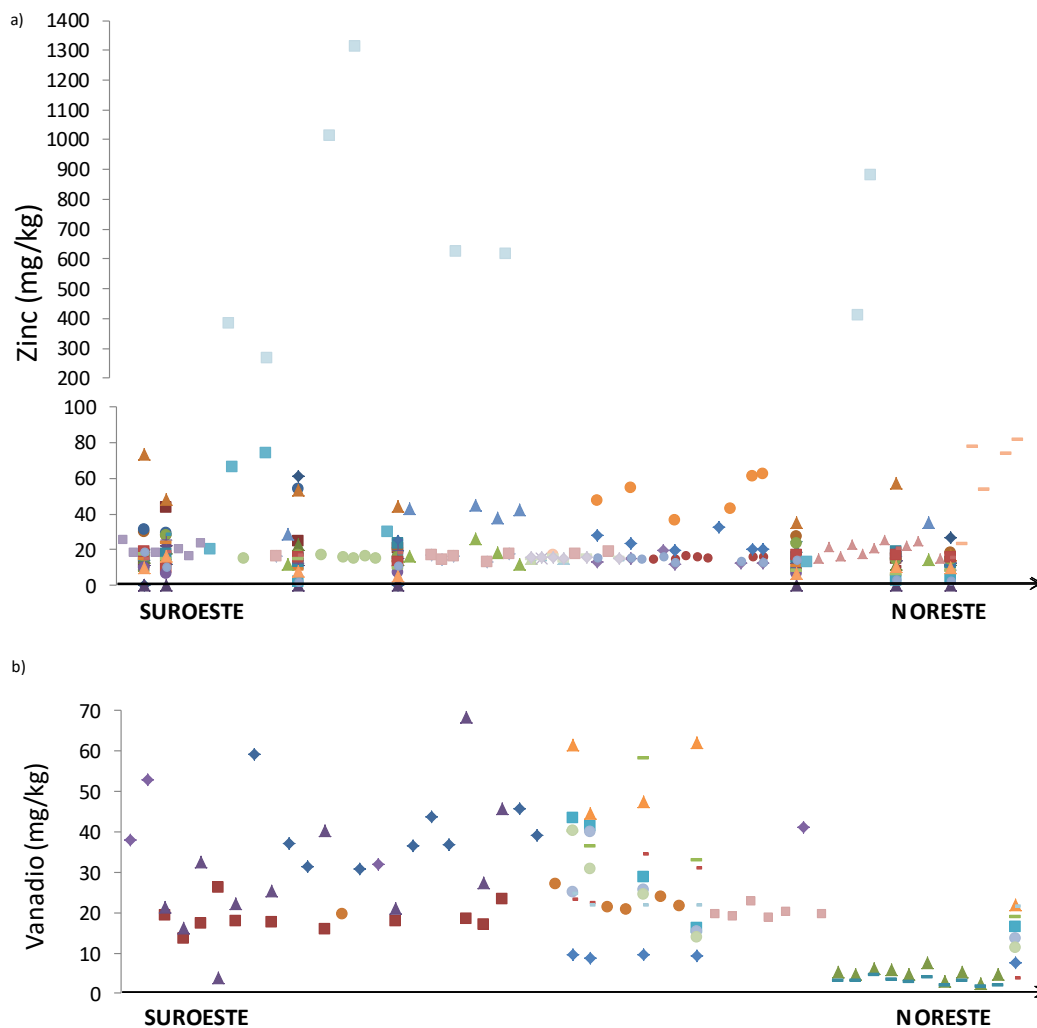


Figura 4.1-39 Concentraciones de zinc (a) y vanadio (b) en sedimentos submareales, bahía de Mejillones. Cada serie en el gráfico representa los distintos puntos de muestreo considerados en el programa de observación litoral (POAL) y los puntos considerados por las distintas RCA en bahía Mejillones. La mayoría de los puntos de muestreo se ubican entre los veriles 20 y 30m.

4.1.1.3.2.2.2.11 Níquel

En los sedimentos submareales de la bahía de Mejillones, se observó una variación en las concentraciones de níquel, destacando valores menores en los puntos ubicados al noreste en la bahía, en relación con puntos monitoreados al sur, donde se observó una mayor fluctuación de concentraciones. Las concentraciones de níquel no superaron los 25 mg/kg en la bahía, siendo de esta manera inferiores a los reportados en publicaciones (Valdés 2012), el cual atribuyó un posible aumento de este parámetro a actividades antropogénicas en la bahía. Las concentraciones de níquel en el sustrato submareal fueron superiores a las registradas en el sustrato intermareal en la bahía de Mejillones (Figura 4.1-40).

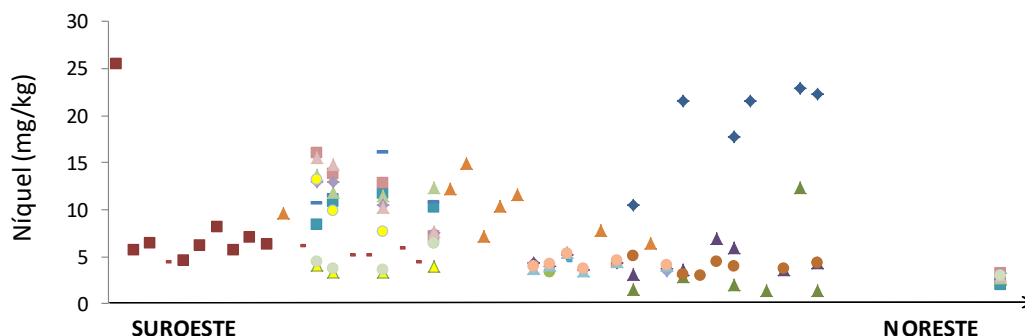


Figura 4.1-40 Concentraciones de níquel en sedimentos submareales, bahía de Mejillones. Cada serie en el gráfico representa los distintos puntos de muestreo considerados en el programa de observación litoral (POAL) y los puntos considerados por las distintas RCA en bahía Mejillones. La mayoría de los puntos de muestreo se ubican entre los veriles 20 y 30m.

4.1.1.3.2.2.2.12 Cromo

En cuanto a las concentraciones de cromo en los sedimentos submareales, no se observaron tendencias espaciales dentro de la bahía de Mejillones. Se observaron aumentos puntuales, los cuales no responden a un tiempo determinado o una zona de la bahía específica. En general, los valores de este parámetro se observaron estables (Figura 4.1-41 a).

4.1.1.3.2.2.2.13 Mercurio

Las concentraciones de mercurio en sedimentos submareales fueron homogéneas. A excepción de valores reportados al noroeste de la bahía, sin embargo, este aumento no fue sostenido en el tiempo, ya que la mayoría registró valores bajos, alcanzado niveles inferiores a los límites de detección de las técnicas analíticas (Figura 4.1-41 b).

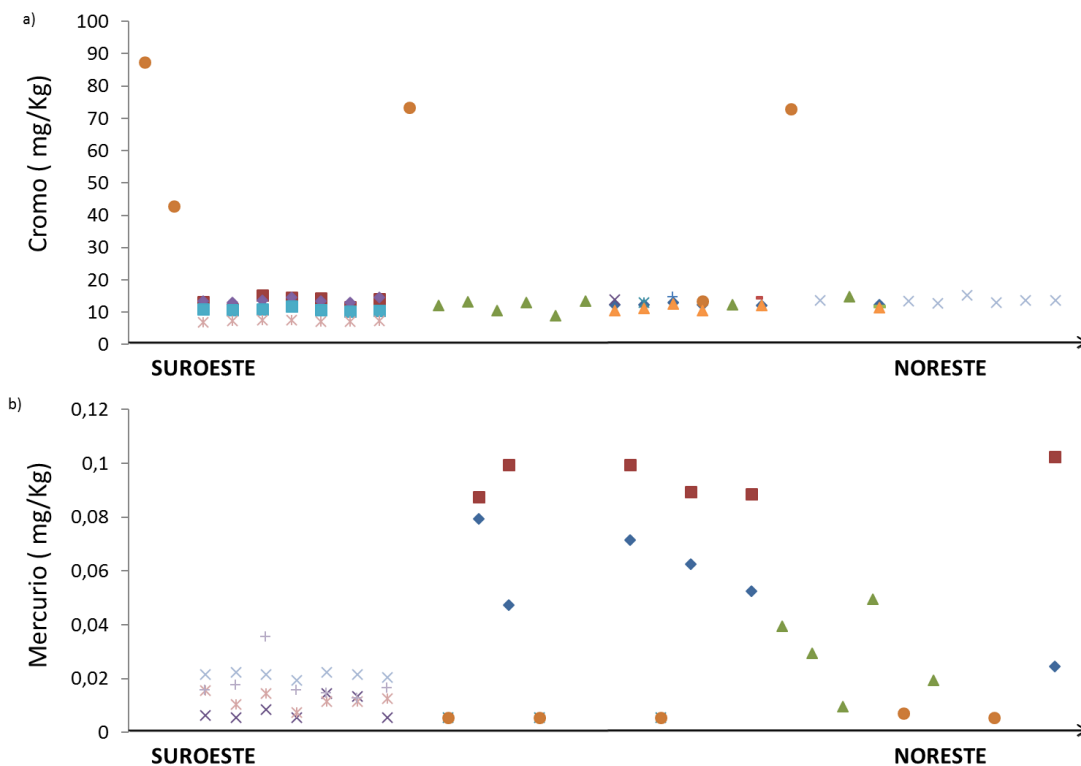


Figura 4.1-41 Concentraciones de cromo (a) y mercurio (b) en sedimentos submareales, bahía de Mejillones. Cada serie en el gráfico representa los distintos puntos de muestreo considerados en el programa de observación litoral (POAL) y los puntos considerados por las distintas RCA en bahía Mejillones. La mayoría de los puntos de muestreo se ubican entre los veriles 20 y 30m.

4.1.1.3.3 Caracterización de los componentes bióticos

4.1.1.3.3.1 Comunidades planctónicas

4.1.1.3.3.1.1 Fitoplancton

Los ensambles fitoplanctónicos de esta región están generalmente dominados por pocas especies de diatomeas que forman cadenas tales como *Chaetoceros sp.*, *Thalassiosira sp.*, *Rhizosolenia sp.*, *Detonula pumila*, *Eucampia cornuta*, entre otras. Sus tamaños celulares, generalmente son superiores a 20µm con presencia importante de organismos en sedimentos pertenecientes a la fracción del microfitoplancton, lo que se ha correlacionado positivamente con eventos de surgencia. Organismos de tamaños corporales inferiores a 20µm son más frecuentes encontrarlos durante procesos de intrusión de masas de agua subtropical en la región, rica en nutrientes. En tales casos, es frecuente reconocer la dominancia en los ensambles fitoplanctónicos por dinoflagelados (*Gymnodinium sp*) y flagelados autótrofos. Durante eventos de El Niño, se ha constatado el aumento de la fracción de nano- y microfitoplancton en la zona de surgencia, alcanzando hasta 70% de las abundancias reconocidas de los ensambles fitoplanctónicos. Durante estas fases de Condición normal/ El Niño, las alteraciones en la estructura en los ensambles fitoplanctónicos se originan producto del aumento de la productividad primaria, producto de eventos de surgencia (afloramiento de masas de agua fría), promoviendo la dominancia de diatomeas fitoplanctónicas con formas de cadenas, las que son consumidas por organismos zooplanctónicos de tamaño medio (copépodos) a grande (eufásidos). Durante los períodos cálidos durante El Niño, las masas de agua fría no alcanzan la superficie, resultando en una supresión de los eventos de surgencia y la consiguiente baja de productividad primaria y bajos valores de biomasa, donde se reconoce una dominancia de ejemplares de pico y nanofitoplancton en aguas costeras.

4.1.1.3.3.1.2 Zooplancton e ictioplancton

Los ensambles zooplanctónicos en bahía Mejillones del Sur están estructurados mayoritariamente por crustáceos copépodos. Asimismo, esta área se reconoce como favorable para el desarrollo de larvas de peces pelágicos (Rojas et al. 2002).

Entre los crustáceos copépodos cuya presencia es característica en esta bahía, están *Eucalanus inermis* y *Calanus chilensis*, las que presentan patrones de distribución vertical característicos. Mientras el primero se reconoce en estratos de agua profundos asociados a la zona de mínimo de oxígeno, debido a su tolerancia este tipo de estrés, el segundo está relacionado fuertemente a aguas superficiales en zonas de surgencia.

Asimismo, debido a la alta productividad derivada de los núcleos de surgencia existentes en la zona, la alta producción de fitoplancton promueve un crecimiento continuo de copépodos herbívoros en la zona cercana a Mejillones, sustentando asimismo elevadas abundancias de crustáceos eufásidos en el norte de Chile (Antezana 1978). Entre las especies herbívoras que caracterizan los ensambles zooplanctónicos en esta zona están además del ya mencionado copépodo *C. chilensis*, el crustáceo eufásido *Euphaus mucronata*. Al respecto, los eufásidos son relativamente grandes para el promedio del zooplancton y frecuentemente dominan la comunidad zooplanctónica, sobre todo en la plataforma continental y en regiones de alta productividad. Estos organismos, presentan una activa migración vertical diurna/nocturna.

Por otra parte, entre los componentes del zooplancton hay que destacar huevos y estadios larvarios de peces, los cuales son representantes habituales en zonas de surgencia. Entre

las especies pelágicas cuyos estadios tempranos representan componentes característicos del ensamble, hay que mencionar larvas y huevos de anchovetas (*Engraulis ringens*) y sardina (*Sardinops sagax*), así como de especies que habitan a mayor profundidad (mesopelágicas) pertenecientes a la familia Myctophidae (peces linterna). No obstante, este grupo de organismos presenta patrones de densidad altamente variables en zonas altamente productivas, debido a variaciones de los procesos de reclutamiento, donde los factores ambientales afectan significativamente estos procesos, sobre todo en las etapas tempranas de desarrollo de estos organismos (pérdidas de huevos y larvas por advección de masas de agua). Durante los eventos de surgencia, los estadios de desarrollo tempranos de peces están sujetos a un intenso transporte derivados de flujos longitudinales y perpendiculares al borde costero, por lo que el éxito de reclutamiento en una zona determinada estará dado por las capacidades y habilidades para desarrollar mecanismos de retención, entre los que se puede mencionar migraciones verticales activas diurna/nocturna. No obstante, en bahía Mejillones del Sur no han reconocido evidencias que refuerzan la adopción de tales estrategias de retención por parte de larvas de peces. Una razón de ello es que en zonas cercanas a la costa se reconoce una angosta zona de mínimo de oxígeno, lo que restringiría la extensión de tales migraciones verticales. Así, las interacciones entre las distribuciones verticales y horizontales del ictioplancton, respecto de las plumas frías de surgencia influirían de manera importante en la sobrevivencia de larvas de peces, así como en los mecanismos de reclutamiento en aguas costeras frente a la Península de Mejillones .

4.1.1.3.3.2 Comunidades bentónicas

Considerando que la estructura y composición de los ensambles de fauna bentónica están modulados significativamente por la naturaleza y tipo de los sustratos donde habitan , se reconoce que los conglomerados de invertebrados bentónicos presentes en bahía Mejillones del Sur están asociados fuertemente a sustratos de arena a limo, fracciones granulométricas dominantes en gran parte de la bahía, las que son reemplazadas por fracciones más gruesas hacia el SW de la bahía, en el sector de Punta Angamos hasta el sector de El Rincón, donde prevalecen sustratos rocosos, cantos rodados y conchuela .

4.1.1.3.3.2.1 Submareales

Los ensambles de invertebrados submareales presentes en la bahía de Mejillones del Sur se caracterizan por estar conformados por grupos de organismos característicos de sustratos blandos. Así, algunos autores destacan la presencia característica y dominante de caracoles (*Nassarius gayi* y *Alia unifasciata*), así como de gusanos poliquetos depositívoros pertenecientes a la familia Spionidae (*Prionospio sp.*). De acuerdo a la extensa caracterización de los ensambles de invertebrados submareales efectuada por Zúñiga et al. (1983), hay que destacar que el grupo de los moluscos, específicamente de los caracoles, dominan espacialmente los valores de biomasa reportados en sectores de hasta 40m de profundidad. A profundidades mayores, a medida que aumenta la proporción de la fracción fina del sedimento, asoman otros grupos como conglomerados faunísticos relevantes desde el punto de vista de sus biomásas (gusanos poliquetos). Por su parte, desde el punto de vista de sus densidades, el conglomerado faunístico dominante en términos espaciales, así como batimétricos, corresponde al grupo de los gusanos poliquetos. Tales resultados son congruentes con estudios más recientes y llevados a cabo a menor profundidad, donde se reconoce una predominancia del grupo de los caracoles, gusanos poliquetos y crustáceos de tallas menores. Así a profundidades someras (5m) se observó la presencia característica de bivalvos filtradores (Cholgas *Aulacomya ater*), caracoles *A. unifasciata* y crustáceos anfípodos; mientras que a mayor profundidad (20m)

dominaron los ya mencionados caracoles *N. gayi* y gusanos poliquetos carnívoros de la familia Nereidae. Hay que destacar el reconocimiento por algunos autores de la presencia importante de crustáceos en profundidades someras (principalmente anfípodos), mientras que a mayores profundidades dominan el grupo de los gusanos poliquetos.

A medida que se incrementa la profundidad, los ensambles de invertebrados disminuyen en cuanto a sus valores de biomasa y densidad. Zúñiga et al. (1983), señalan que los ensambles de invertebrados submareales están asociados principalmente a sustratos de arena gruesa y media, con concentraciones de oxígeno promedio elevadas (>5 mg/L).

Considerando que las zonas costeras del norte de Chile carecen de cursos fluviales de interés, el aporte de nutrientes al sistema biológico en general; del que forman parte las comunidades bentónicas submareales; está supeditado a los fenómenos de surgencia de recurrencia aperiódica en el sector, así como a la intrusión irregular de aguas subtropicales que se acercan a la costa. Estos procesos favorecen una alta productividad primaria, cuyos productos orgánicos finales y los procesos de degradación asociados, podrían representar factores de perturbación sobre los ensambles bentónicos presentes a mayor profundidad. No obstante, estas condiciones desfavorables para una variedad de organismos bentónicos submareales existen otras especies que presentan rangos de tolerancia que les permite colonizar y desarrollarse en este tipo de ambientes. Tal es el caso de algunos ejemplares de gusanos poliquetos y crustáceos anfípodos característicos de ensambles bentónicos submareales presentes en bahía de Mejillones del Sur, como los ya mencionados gusanos *Prionospio* sp. (*P. patagonica*), así como los anfípodos del género *Ampelisca* sp., los que aumentan su densidad a mayor profundidad.

Con relación a ensambles submareales presentes sobre sustrato duro, los antecedentes disponibles son escasos y dispersos. Al interior de bahía Mejillones del Sur, este tipo de sustratos se concentran en el sector SW de la bahía, entre Punta Angamos y Punta Rieles y se caracterizan por una pendiente pronunciada. Los organismos sésiles característicos en este tipo de ambientes corresponden principalmente a macroalgas laminariales del género *Lessonia*, específicamente la especie *L. trabeculata*. Entre los organismos móviles, destaca la presencia de una variedad de crustáceos decápodos como las jaibas *Cancer coronatus*, *C. porteri*; destacando de manera notable especies de jaiba peluda (*Romaleon polyodon*). Otros organismos móviles característicos de fondos de sustrato duro corresponden a los caracoles carnívoros *Thaisella chocolata* (caracol locate) y equinodermos como la estrella de mar *Luidia magellanica*.

Con relación a ensambles bentónicos de sustrato duro presentes en bahía Mejillones del Sur, se reconocen al grupo de algas rojas, así como los caracoles carnívoros *Thaisella chocolata* y el equinodermo *Luidia magellanica* como componentes característicos de dichos ensambles. Asimismo, el grupo de epifauna carnívora de pequeño tamaño, tales como los caracoles *Aeneator fotanei*, *Nassarius gayi*, *Cancellaria* sp., *Oliva* sp., *Crassilabrum* sp., *Argobuccinum* sp., *Xanthochorus* sp. o el caracol *Trigonostoma* sp., representan componentes destacados de los ensambles de sustrato duro presentes en la bahía.

4.1.1.3.3.2 Intermareales

Las comunidades Intermareales presentes en bahía Mejillones del Sur se estructuran de acuerdo a los atributos del sustrato que ocupan, destacando los fondos arenosos que dominan fundamentalmente desde Punta Chacaya en el NE de la bahía hasta el inicio de la zona industrial en el límite norte de ciudad de Mejillones; mientras que hacia el SW de la bahía desde Punta Angamos hasta el sector de Punta Rieles prevalecen sustratos duros de pendientes pronunciadas .

Con relación a los ensambles Intermareales de sustrato duro, hay que señalar que estos se configuran a partir de especies sésiles y móviles con un amplio rango de distribución, lo que es aplicable tanto para grupos funcionales de macroalgas, herbívoros, carnívoros o filtradores. En cuanto a su estructura comunitaria, estos ensambles no presentan diferencias sustantivas reconocibles en cuanto a riqueza de especies, cobertura o densidad, respecto de otras localidades alejadas de núcleos de surgencia estables, como sí lo está el sector de bahía Mejillones. Las especies características presentes en este tipo de ambientes en el sector de bahía Mejillones del Sur corresponden al alga verde *Ulva sp.*, así como las algas rojas *Hypnea sp.*, *Gelidium chilense* y *Porphyra columbina*. Asimismo, los crustáceos cirripedios *Jhelius cirratus* y *Notochtamalus scabrosus* constituyen representantes característicos de la fauna sésil presente en este tipo de ambientes. Entre la fauna móvil consignada en la zona destacan estrellas y soles de mar (*Stichaster striatus* y *Heliaster heliantus*), así como una amplia gama de caracoles herbívoros (*Nodilittorina peruviana*, *Siphonaria lessoni*, *Fissurella sp.*, *Scurria sp.*, *Chiton sp.*, entre otras especies). Todas estas especies representan componentes característicos del complejo faunístico descrito por Viviani (1979), cuyo centro de gravedad se encontraría en el norte chico del país, extendiéndose por lo menos hasta la latitud de la ciudad de Pisco en Perú, adscribiéndose a la denominada zooprovincia chilena, distrito del norte grande .

Respecto de los ensambles Intermareales de sustrato blando, hay que señalar que estos están estructurados en torno a un número discreto de especies, donde los taxa dominantes y característicos correspondieron al decápodo anomuro *Emerita analoga* y los crustáceos isópodos *Excirolana braziliensis*. Ambas especies poseen una distribución espacial en el perfil vertical que responde a un patrón de zonación característico. Mientras el isópodo *E. braziliensis* se distribuye principalmente en la zona alta de la playa (zona de secado y línea de marea alta), donde comparte el espacio con otros organismos como el coleóptero tenebriónido *Phalerisida maculata*, en tanto que los decápodos *E. analoga* se distribuyen principalmente en la zona inferior de la zona intermareal (también llamada zona de resaca y línea de marea baja). Entre ambas zonas se ubica la zona intermedia donde ocurren en menor cantidad tanto los decápodos como los isópodos antes descritos, junto con ejemplares de gusanos poliquetos de la familia Glyceridae .

Respecto del supuesto efecto positivo que tendrían fenómenos de surgencia sobre atributos comunitarios (riqueza o densidad) de los ensambles de invertebrados bentónicos, algunos autores son cautos en establecer relaciones automáticamente positivas de estos eventos sobre la estructura y composición de este grupo de organismos. El efecto positivo reconocido sobre la productividad primaria que tienen los aportes de nutrientes derivados de estos procesos oceanográficos de ocurrencia regular en la zona oceánica cercana a bahía de Mejillones del Sur no necesariamente afecta de manera igualmente positiva sobre la diversidad de las comunidades bentónicas presentes al interior de la bahía. Al respecto, se sugiere que un evento de surgencia es muy positivo respecto de los flujos de materia y energía de una comunidad biológica marina, para el caso de las comunidades bentónicas Intermareales esto no es suficiente, en tanto dicho aporte de nutrientes no alcance

efectivamente la zona litoral, cuestión que hasta el momento no ha sido suficientemente documentada.

4.1.1.3.3.3 Ictiofauna

A partir de las estadísticas de desembarque del subsector pesca artesanal en Caleta Mejillones, se reconoce la presencia de una variedad de especies bentónicas, características de ambientes rocosos y con presencia de praderas de macroalgas laminariales, los que dominan tanto en el sector SW de la bahía, como en el sector de Punta Chacaya. Entre estas especies se reconocen como características al bilagay, cabrilla común, congrio, rollizo, blanquillo, o pejeperro. Asimismo, en los sectores costeros de la bahía donde dominan los sustratos arenosos y que cubren una amplia extensión territorial de la bahía, asoman como especies características y de importancia comercial, el lenguado, corvina y cabinza. Todas estas especies poseen un rango de distribución amplio, las cuales pertenecerían a la región norte de aguas templadas cálidas, la que se extendería aproximadamente hasta la provincia de Valdivia. Además de las especies mencionadas anteriormente, las que son explotadas de manera activa por pescadores artesanales de la zona, se describen para esta zona geográfica las especies jerguilla, borrachilla o tramboyo, entre otras especies.

Estudios específicos que den cuenta de la composición y estructura de los ensambles de fauna íctica asociados a ambientes submareales existentes en bahía Mejillones del Sur, son prácticamente inexistentes. Esta situación contrasta con la abundante información asociadas a especies pelágicas económicamente muy relevantes y asociadas a núcleos de alta productividad primaria como anchovetas, sardinas o jureles.

4.1.1.3.3.4 Bioacumulación de materiales potencialmente tóxicos en organismos

Estudios científicos que den cuenta del contenido de metales pesados en organismos bentónicos al interior de la bahía Mejillones del sur son escasos.

En 2007 el esfuerzo interdisciplinario llevado a cabo por la Universidad de Antofagasta, la I. Municipalidad de Mejillones, así como algunas empresas privadas que operan en el sector, desarrollaron estudios de contenido de análisis de metales (cobre, níquel y cadmio) en pulgas de mar (*Emerita analoga*) recolectadas en la zona intermareal de sustrato arenoso localizado en diferentes partes de la bahía, reconociéndose que para el metal cobre, menores abundancias en tejidos de aquellos crustáceos provenientes de la parte norte de la bahía, que aquellos ejemplares provenientes de la zona sur de la bahía Valdés et al (2007).

En términos de las concentraciones detectadas para las tres especies metálicas analizadas, el estudio determinó que en orden creciente los metales se ordenaron de la siguiente forma $Ni < Cd < Cu$.

Por otra parte, estudios realizados a la misma especie de decápodo, donde se analizaron concentraciones de cobre, cadmio, níquel y zinc, arrojaron como resultado una bioacumulación de baja magnitud del metal zinc, sobre todo en ejemplares provenientes de sectores donde se distribuyen las principales industrias y zonas urbanas. La concentración promedio de cobre determinada en este estudio alcanzó 42,47 mg·kg⁻¹ en el sector de Punta Chacaya, lo que representó una concentración casi 5 veces más alta que la reportada por Valdés et al. (2007).

4.1.1.3.4 Flujos antrópicos de materiales y organismos.

4.1.1.3.4.1 Registro de emisiones y transferencias de contaminantes (RETC)

El Ministerio del Medio Ambiente, a través del Reglamento del Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes (D. N°1/2013), exige (cuando corresponda) a toda persona natural o jurídica cuya actividad de origen a residuos, emisiones y/o transferencia de contaminantes, a reportar las cantidades generadas de sus actividades.

Así, en la actualidad este organismo mantiene una página web que permite descargar información de emisiones y transferencias, diferenciados por distintos rubros, medios receptores y comuna, entre otros. Esta información es de carácter público y de libre acceso para quien desee descargar la información.

De este modo, se recabó la información correspondiente a la comuna de Mejillones a través de la página web www.retc.cl, consultada el 23 de marzo de 2017. Esta página permitió descargar la información referente a la emisión del total de contaminantes en la comuna, a nivel anual y en un formato “CSV” (sigla del término en inglés “Valores separados por coma”), la cual se reordenó y sistematizó para poder ser utilizada en el presente estudio.

A continuación, se presentan las emisiones de los parámetros de interés, según los medios receptores ambientales “Agua”, “Aire” y “Suelo y Transferencias”, categorización propia del RETC. Se ha puesto especial énfasis en el análisis del medio “Agua”, lo cual responde a los lineamientos del presente diagnóstico que se han centrado en estudiar la bahía propiamente tal. No obstante, los medios receptores “Aire”, “Suelo y Transferencias” han sido estudiados con el objetivo de identificar posibles fuentes difusas al medio acuático, ya sea por depósito de materiales conformados por partículas sedimentables al océano, como también por escorrentía subsuperficial o subterránea a través del suelo, contaminantes que eventualmente podrían llegar a la bahía.

4.1.1.3.4.1.1 Medio Receptor: Agua

Se identificaron un total de 8 parámetros de interés ambiental, los que están siendo emitidos a los cuerpos de agua de la comuna de Mejillones. Los datos disponibles se muestran desde 2005 a 2015 (ver Tabla 4.1-8).

Tabla 4.1-8 Identificación y cuantificación de parámetros de interés disponibles en el RETC, medio receptor Agua.

Parámetro	Cantidad de datos por año											Total general
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	
Aceites y grasas	18	22	26	27	26	25	23	29	24	26	3	249
Arsénico	1	2	2		10	4	5	7	7	6	6	50
Cadmio	2	2	3	6	12	4	5	4	5	7	3	53
Cobre	2	3	3	7	12	6	5	7	8	7	3	63
DBO5	19	18	20	22	26	24	21	26	21	26	6	229
Níquel	2	2	3		11	4	5	5	5	7	2	46
Plomo	3	2	3	6	11	3	4	3	5	7	1	48
Sólidos suspendidos totales	19	18	21	24	26	25	23	32	29	26	8	251
Total general	66	69	81	92	134	95	91	113	104	112	32	989

En las Figura 4.1-42 a Figura 4.1-47 han sido graficadas las cargas másicas de los parámetros de interés ambiental para el presente estudio. Para el caso del arsénico y níquel, estas no fueron graficadas debido a que sus emisiones se encuentran en promedio del orden de 0,1 t/año, por lo cual es bajo en contraste a los otros parámetros considerados.

Se observa que la DBO₅ y los SST registran un aumento significativo en el año 2013, 2014 y 2015; en contraste a años anteriores.

Los Aceites y Grasas presentan valores del orden de 100 t/año, a diferencia del año 2008 en que se alcanzó una cifra de 6.213 t/año. Por otro lado, a través del tiempo se observan emisiones relativamente constantes en los últimos 3 años con registros.

Los metales cadmio, cobre y plomo presentaron cifras durante el año 2008 por sobre lo reportado los años siguientes, por lo que aparentemente podría deberse a una metodología distinta en la medición o a un error en los datos. Analizando los años siguientes, el cobre, plomo y cadmio presentan valores que no superan los 1; 0,2 y 0,1 t/año, respectivamente.

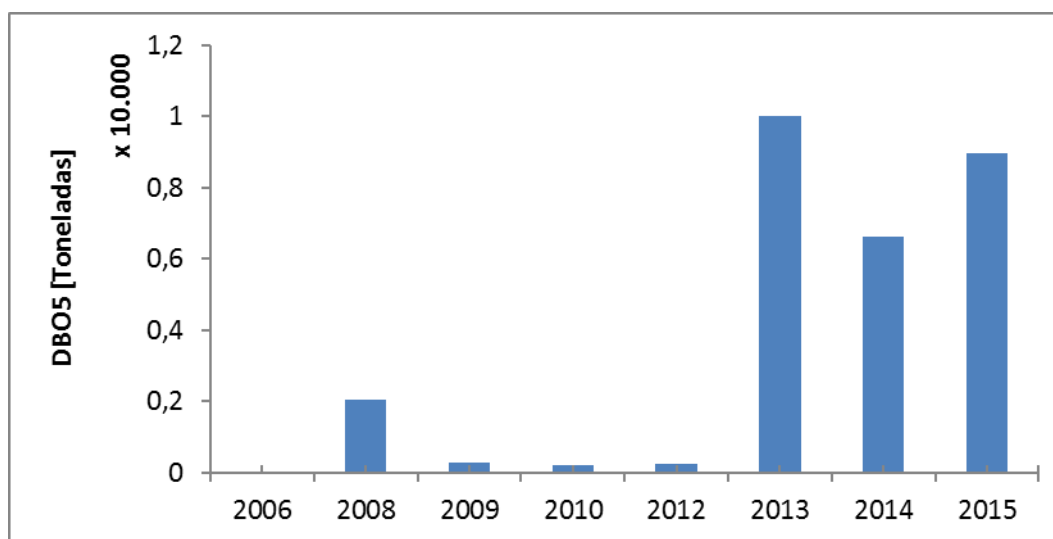


Figura 4.1-42 Carga anual de DBO₅ al medio receptor Agua, según base de datos del RETC

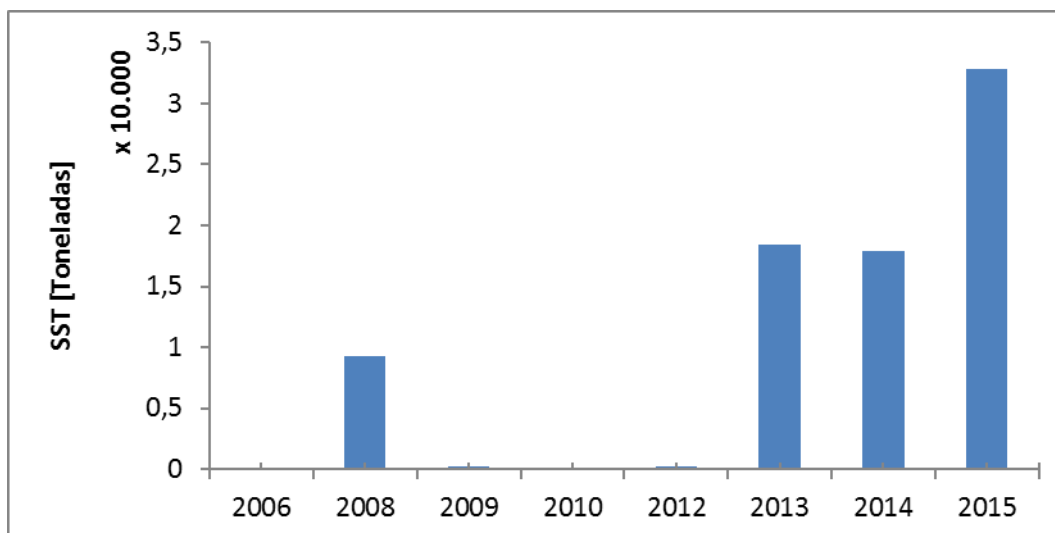


Figura 4.1-43 Carga anual de Sólidos Suspendedos Totales al medio receptor Agua, según base de datos del RETC

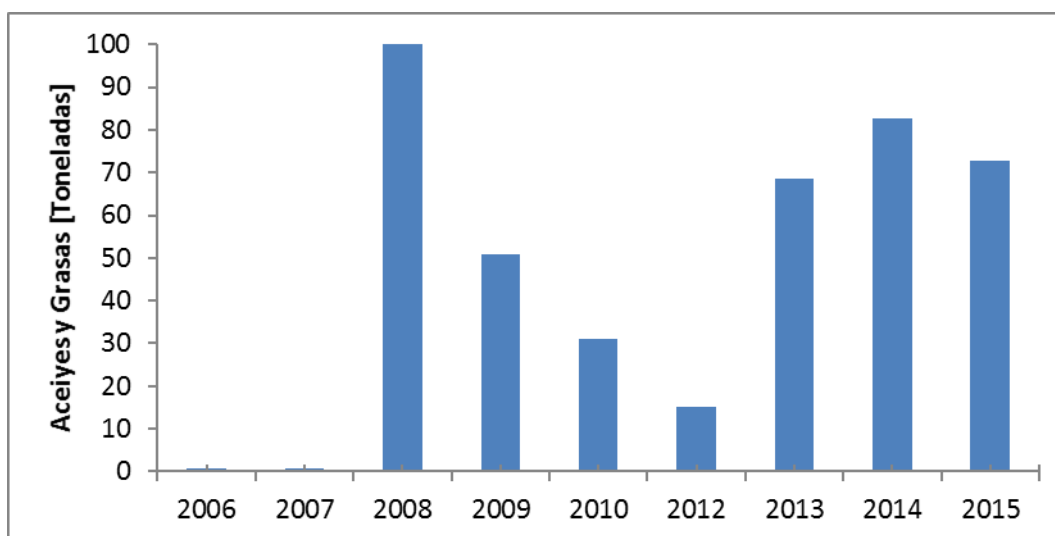


Figura 4.1-44 Carga anual de Aceites y Grasas al medio receptor Agua, según base de datos del RETC

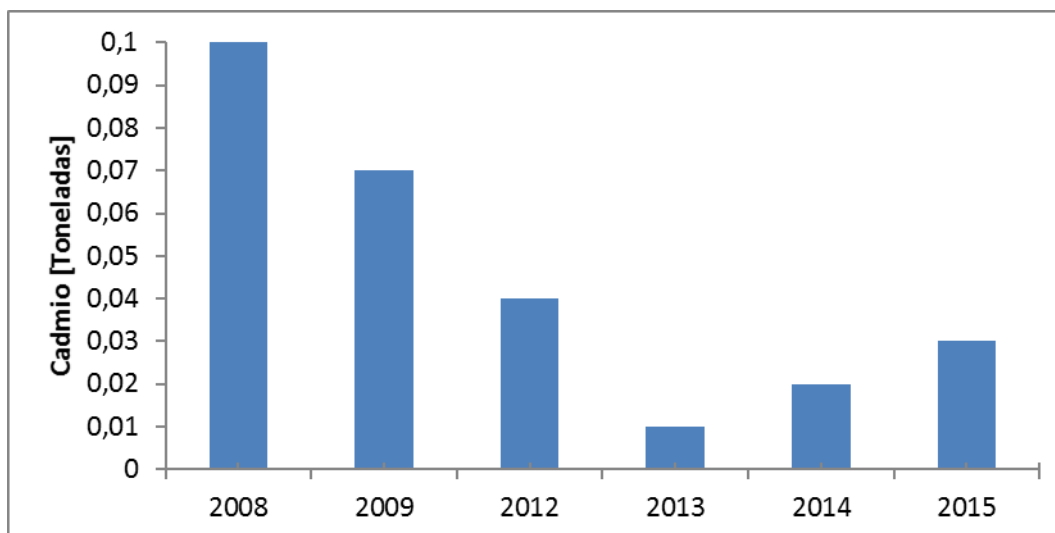


Figura 4.1-45 Carga anual de Cadmio al medio receptor Agua, según base de datos del RETC

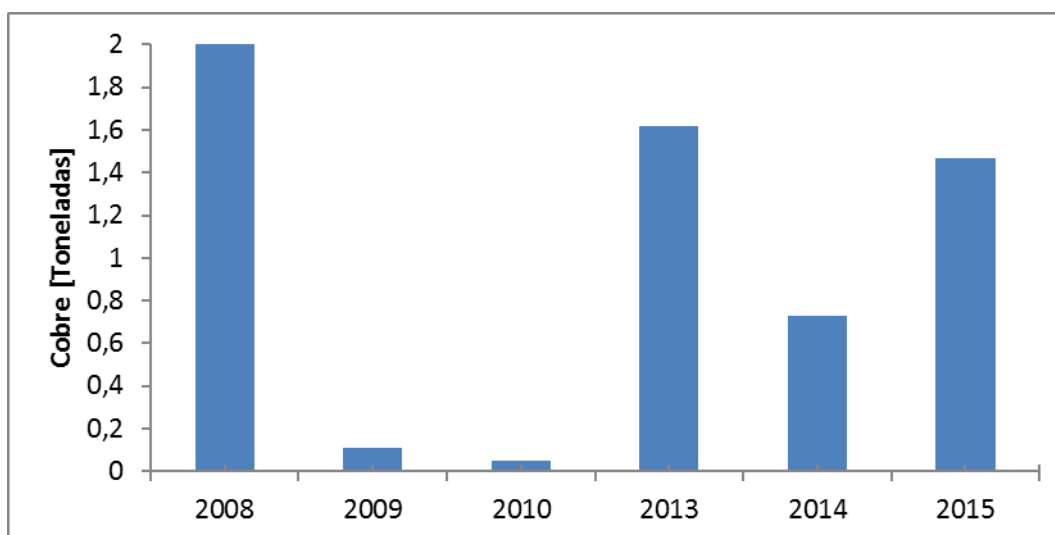


Figura 4.1-46 Carga anual de Cobre según al medio receptor Agua, según base de datos del RETC

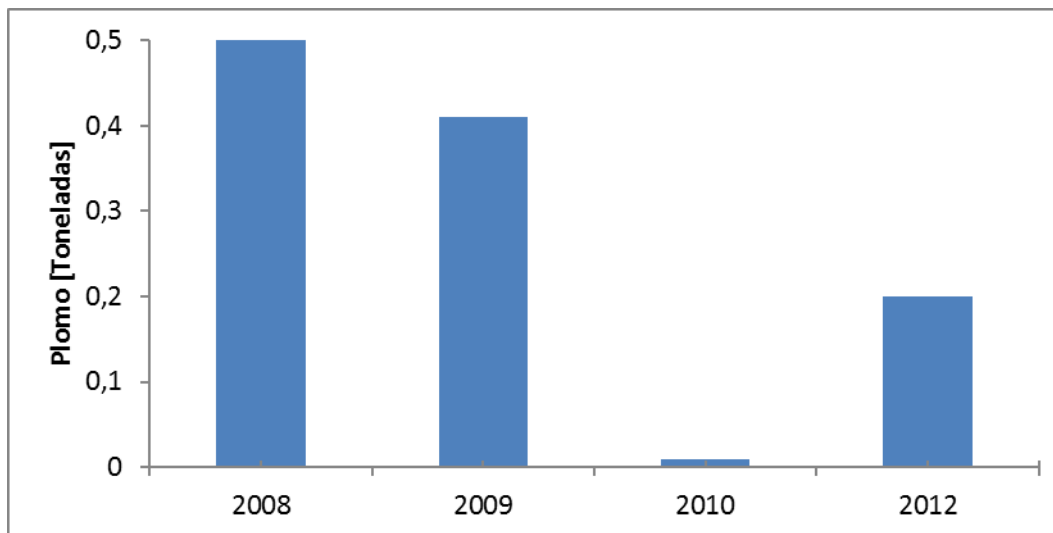


Figura 4.1-47 Carga anual de Plomo al medio receptor Agua, según base de datos del RETC

4.1.1.3.4.1.2 Medio Receptor: Aire

Se analizó un total de 11 parámetros de interés para este estudio, los que son emitidos al medio atmosférico (aire). La Tabla 4.1-9 da cuenta del número de datos reportados, cifras que han sido uniformes en el tiempo, a excepción del arsénico, plomo y óxidos de azufre, que presentaron un menor número de registros. Adicionalmente se observó que, para el arsénico y plomo, todos los valores son iguales a 0 t/año, por lo cual han sido descartados del análisis, quedando solo 9 parámetros a estudiar.

Tabla 4.1-9 Identificación y cuantificación de parámetros de interés disponibles en el RETC, medio receptor Aire, para la comuna de Mejillones

Parámetro	Cantidad de datos por año											Total general
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	
Dióxido de azufre (SO ₂)	15	14	24	16	20	22	22	25	32	24		214
Dióxido de carbono (CO ₂)	15	14	24	15	18	20	20	23	32	22	27	230
Material particulado	13	14	26	16	21	23	22	25	34	22	28	244
Mercurio	10	14	24	15	18	20	20	23	32	21	26	223
Monóxido de carbono	15	14	24	16	20	22	22	25	34	26	32	250
MP10	15	15	25	17	20	22	22	25	34	26	32	253
MP2.5	12	13	21	13	16	18	18	21	30	21	30	213
Nitrógeno amoniacal (o NH ₃)	15	13	23	15	18	20	20	23	32	21	25	225
NOx	15	14	24	17	21	23	23	26	35	26	34	258
SOx											31	31

A modo de presentar las cargas de contaminantes, la Tabla 4.1-10 muestra la suma de las emisiones de todos los rubros en el año para cada parámetro.

Tabla 4.1-10 Suma anual del total de emisiones por rubro, para cada parámetro de interés en el medio receptor Aire, en la comuna de Mejillones, según datos del RETC (t/año)

Año	MP	MP10	MP2.5	SO ₂	CO ₂	CO	NOx	NH ₃	SOx
2005	509	471	428	266	3.019.352	574	2.255	167	-
2006	550	879	823	234	2.099.534	840	4.516	15	-
2007	1.076	478	433	274	2.600.861	577	5.686	462	-
2008	1.050	701	590	9.560	5.069.308	1.241	13.853	1.151	-
2009	1.354	679	788	8.230	6.142.712	812	13.187	1.601	-
2010	798	707	812	8.827	7.038.279	912	8.665	1.711	-
2011	959	859	903	9.881	7.057.991	1.084	8.614	1.798	-
2012	2.181	1.010	711	5.156	4.355.393	3.384	11.482	1.156	-
2013	302	79	45	564	79.207	501	3.809	8	-
2014	105.632	48.184	17.204	161.008	7.603.816	31.790	178.451	2.879	-
2015	58.258	51.705	19.403		18.005.105	1.161	32.514	2.476	156.325

Al analizar los 9 parámetros, se detectó que durante el periodo 2005 - 2013 hubo una tendencia disímil respecto al periodo 2014 – 2015. La Figura 4.1-48a da cuenta de este comportamiento para el caso del material particulado en general y para los tamaños MP2.5 y MP2.10, en donde hubo un aumento de hasta 2 órdenes de magnitud (100 a 10.000 t/año). Por otro lado, la Figura 4.1-48b muestra que en el año 2013 hubo una disminución significativa en las emisiones, menor a todos los años anteriores. Este fenómeno se repite de igual forma para los demás contaminantes, tal como se ve en la Figura 4.1-49b y Figura 4.1-50b.

La Figura 4.1-49a y b muestra los gases contaminantes que son emitidos anualmente. En ella se observa el mismo patrón que en el caso del material particulado, con especial atención en el dióxido de azufre (SO₂) y el nitrógeno amoniacal (NH₃), en donde sus cargas anuales aumentaron 1 orden de magnitud el año 2014 respecto a años anteriores. Por otro lado, las cargas de estos gases en el año 2015 disminuyen, a diferencia del material particulado en donde se observó que no se mantuvieron prácticamente constantes entre el año 2014 al 2015.

Por último, se puso especial atención a los niveles de dióxido de carbono, ya que las cifras de carga anual emitidas en la comuna de Mejillones superan en 2 a 3 órdenes de magnitud respecto a los otros gases (millones de toneladas al año). La Figura 4.1-50 da cuenta de estos valores, donde se aprecia que al año 2015 la cifra aumenta a más del doble (7 a 18 millones de toneladas al año de CO₂).

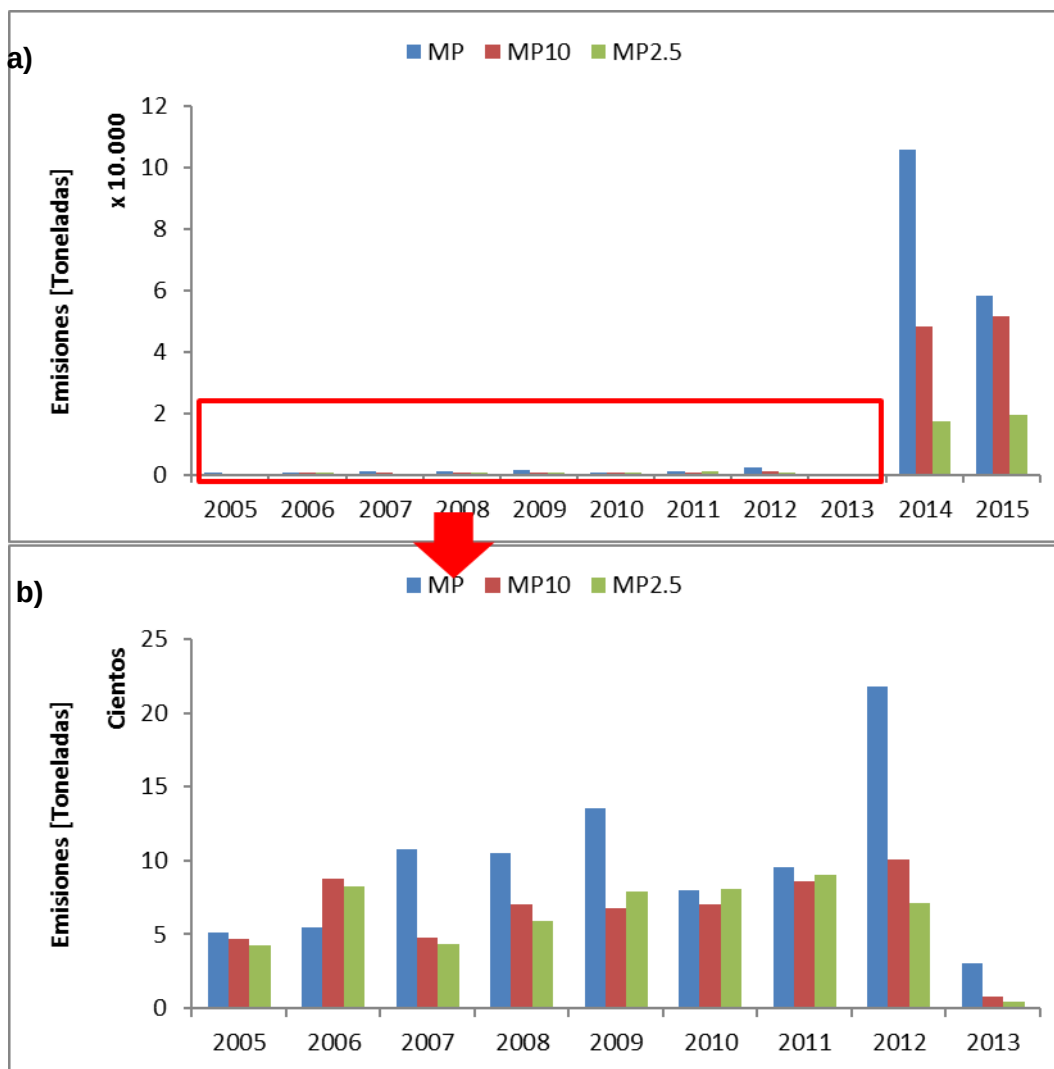


Figura 4.1-48 Emisiones anuales al aire de Material Particulado en la comuna de Mejillones, según datos del RETC

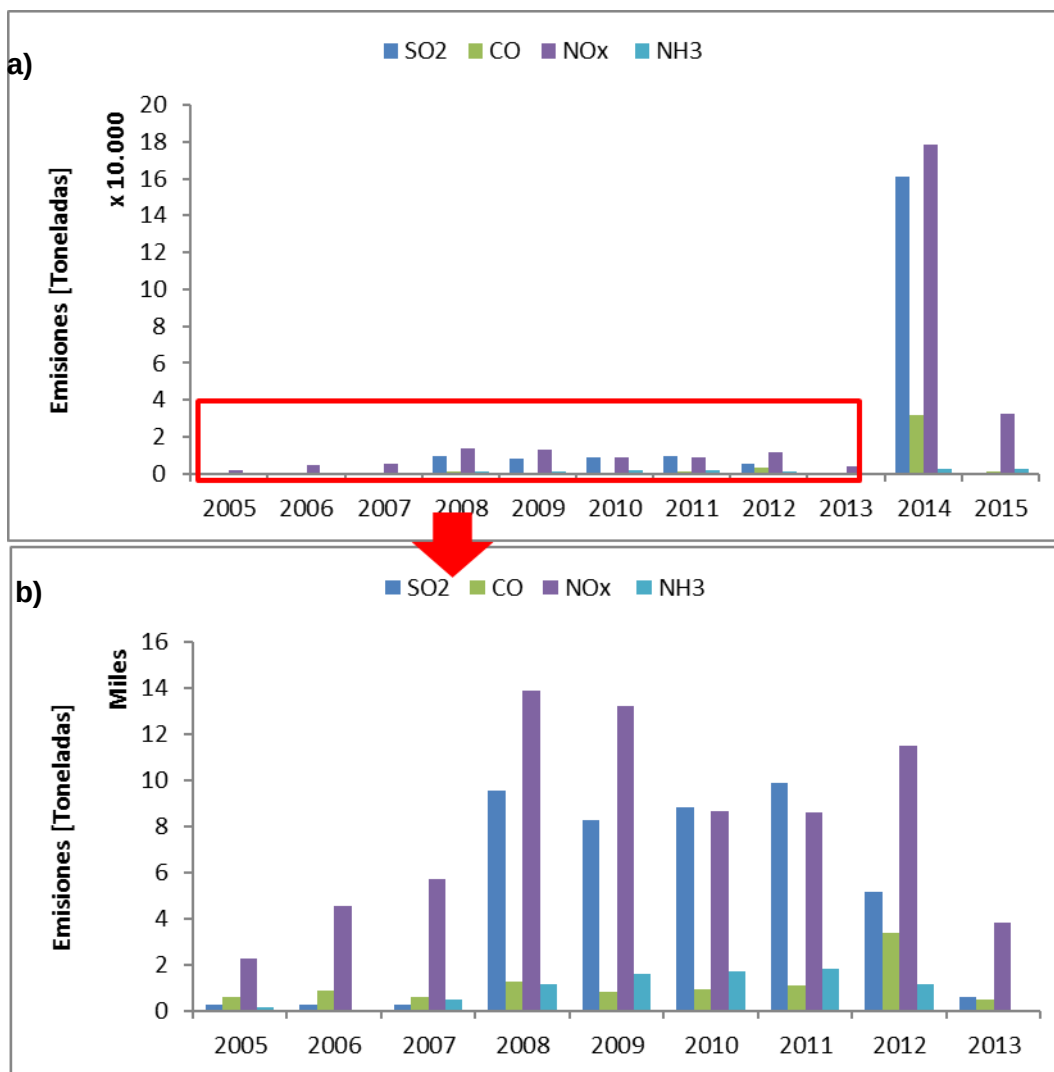


Figura 4.1-49 Emisiones anuales al aire de otros contaminantes en la comuna de Mejillones, según datos del RETC.

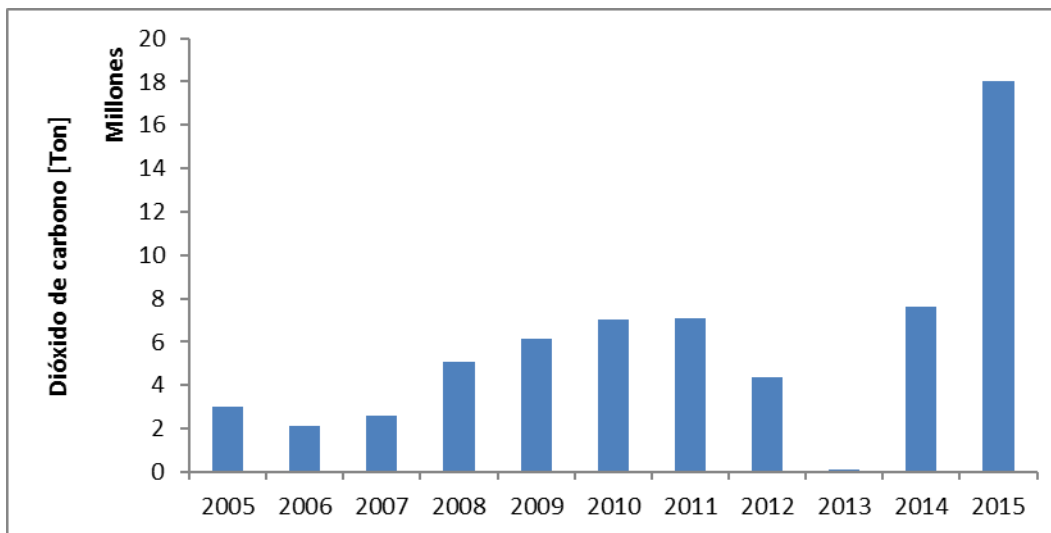


Figura 4.1-50 Emisiones anuales al aire de dióxido de carbono en la comuna de Mejillones, según datos del RETC.

4.1.1.3.4.1.3 Medio Receptor: Suelo y Transferencias

En esta componente se identificaron 5 parámetros que guardan relación a los contaminantes de interés (ver Tabla 4.1-11). Adicionalmente, se consideró analizar “Aceites minerales residuales no aptos para el uso al que estaban destinados”, ya que se observó un aumento progresivo de su emisión durante todo el periodo analizado. Cabe señalarse que la definición entendida para el término “transferencias” es: *corresponde al traslado de contaminantes a un lugar que se encuentra físicamente separado del establecimiento que lo generó* (Fuente: D.N°1/2013: Aprueba Reglamento del Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes, RETC).

Tabla 4.1-11 Identificación y cuantificación de parámetros de interés disponibles en el RETC, medio receptor Suelo y Transferencias.

Parámetro	Cantidad de datos por año										Total general
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	
Aceites minerales residuales no aptos para el uso al que estaban destinados	4	6	6	9	9	7	9	9	11	11	81
Arsénico; compuestos de arsénico									3	2	5
Cadmio; Compuesto Cadmio			1			1	1		1	2	6
Cobre; compuestos de Cobre			1				1	1	1	1	5
Compuestos de Mercurio	1	3	7	3	4	4	5	4	4	5	40
Compuestos de Plomo	1	4	4	6	5	7	8	9	11	8	63
Compuestos de Zinc									1	2	3
Total general	6	13	19	18	18	19	24	23	32	31	203

La Tabla 4.1-12 muestra las cargas de contaminantes como la suma de los niveles de todos los rubros, por parámetro de interés y año.

Tabla 4.1-12 Suma anual del total de emisiones por rubro, para cada parámetro de interés en el medio receptor Suelo y Transferencias

Año	As	Cd	Cu	Hg	Pb	Zn	Aceites minerales
2006				0,20	0,52		15,95
2007				1,72	254,29		285,74
2008		120,92	2,79	2,57	267,97		317,32
2009				0,84	290,03		326,42
2010				1,70	52,33		626,72
2011		0,73		0,49	59,13		455,89
2012		1,40	0,50	2,03	108,47		557,36
2013			0,20	4,71	64,56		622,73
2014	23,83	0,33	49,21	1,23	18,39	204,40	1082,43
2015	27,79	10,85	26,41	1,04	9,95	217,99	1224,08

*: Aceites minerales residuales no aptos para el uso al que estaban destinados.

La Figura 4.1-51 da cuenta del aumento de la carga anual de aceites minerales, con una tasa de aumento relativamente constante en el tiempo. Por otro lado, la Figura 4.1-52 muestra las emisiones al suelo y transferencias de metales en la comuna de Mejillones. El plomo presenta una disminución significativa respecto a los valores de los años 2007 al 2009, reduciendo sus niveles 2 órdenes de magnitud en contraste al año 2015. Respecto al cadmio, cobre y el metaloide arsénico, no es posible determinar una tendencia debido a la poca cantidad de registros en años anteriores. La excepción corresponde al cadmio, el cual durante el año 2008 presentó una cifra del orden de 100 t/año, y el cual disminuyó 2 órdenes de magnitud (1 a 10 t/año) en promedio del 2011 al 2015.

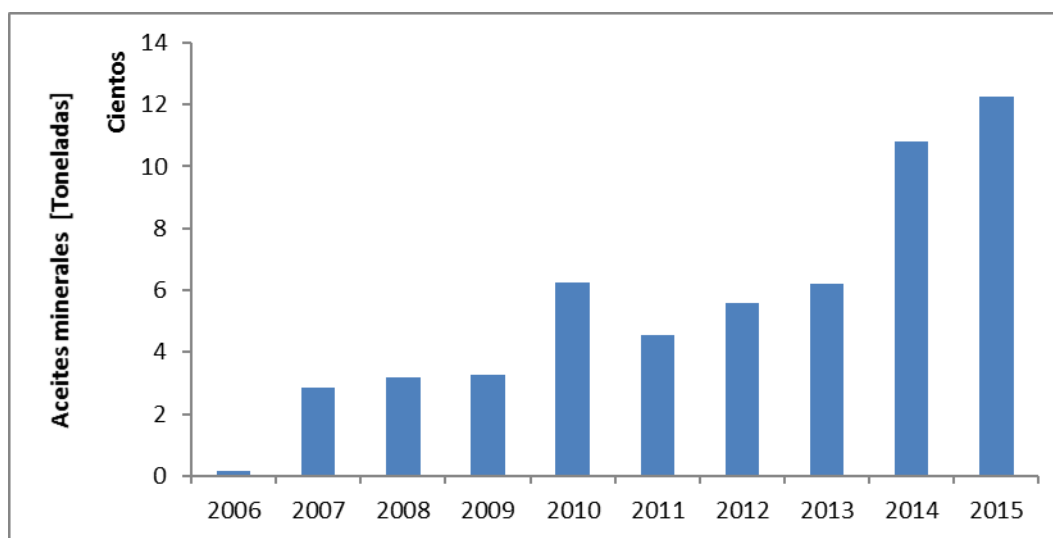


Figura 4.1-51 Emisiones al suelo y transferencias de aceites minerales* en la comuna de Mejillones, según datos del RETC.

*: Aceites minerales residuales no aptos para el uso al que estaban destinados.

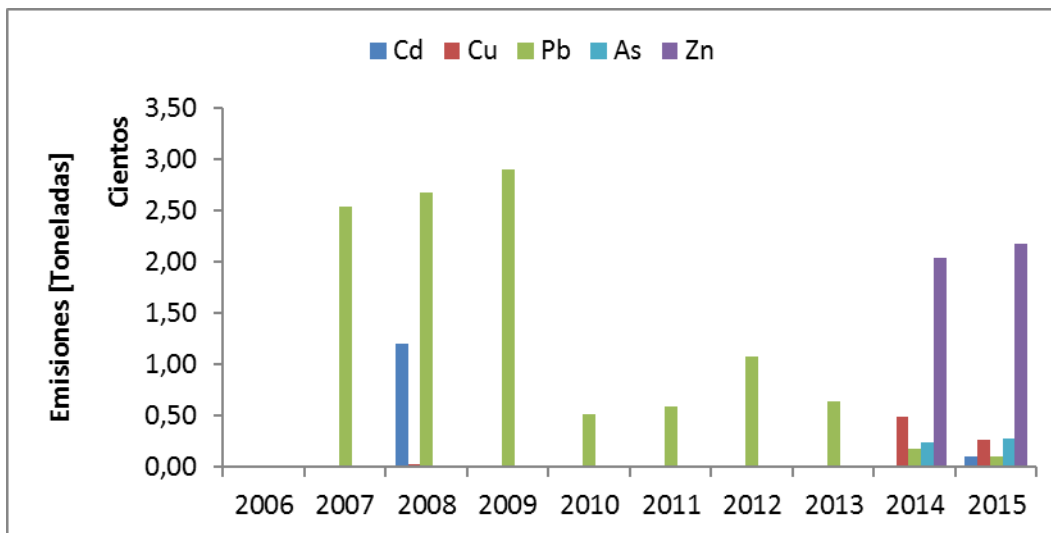


Figura 4.1-52 Emisiones al suelo y transferencias de metales y metaloides en la comuna de Mejillones, según datos del RETC.

4.1.1.3.4.2 Emisiones fijas de aguas residuales

Las emisiones fijas de aguas residuales corresponden a todas aquellas descargas realizadas de forma directa a cuerpos de agua y que poseen un punto de descarga conocido e inamovible. En el caso de bahía Mejillones, se cuenta con diversas descargas de este tipo, la mayoría de ellas asociadas a industrias productivas y/o de servicios, las que representan puntos de emisión de diversos parámetros a la zona costera cercana y contenida en la bahía misma. Es por lo anterior que, como parte de la caracterización de la condición del sistema en estudio, se realizó una sistematización de la información asociada a las descargas marítimas que se encuentran contenidas en la bahía de Mejillones del Sur. Esta recopilación permitió identificar y sistematizar datos e información relevante para el período comprendido entre los años 2014 a 2016, identificándose un total de 13 titulares (Tabla 4.1-13) que realizan descargas en la zona de estudio con un total de 43 parámetros declarados. Como parte de lo anterior, se realizó la identificación de los puntos geográficos de descarga y los correspondientes sectores económicos asociados a cada uno de ellos. En la Figura 4.1-53 se presenta la ubicación de los puntos de descarga, identificándose cada uno de los sectores productivos asociados.

Tabla 4.1-13 Resumen de titulares sistematizados en la zona de estudio

ID	Titulares
1	Aguas Antofagasta S.A.
2	Central Termoeléctrica Andina S.A.
3	Complejo Industrial Molynor S.A.
4	Complejo Portuario Mejillones S.A.
5	Corpesca S.A.
6	E-CL S.A.
7	Eléctrica Angamos S.A.
8	Empresa Eléctrica Cochrane S.P.A.
9	Enaex Chile S.A.
10	Gas Atacama Chile S.A.
11	Interacid Trading Chile S.A.
12	Minera Esperanza LTDA.
13	Moly-Cop Chile S.A.

Tabla 4.1-14 Parámetros identificados en el catastro de emisiones fijas de aguas residuales

Parámetros		
Aceites y Grasas	DQO	Níquel
Aluminio	Estaño	Nitrógeno Total Kjeldahl
Arsénico	Fluoruro	Oxígeno
Boro	Fosfato	pH
Cadmio	Fósforo	Plomo
Caudal	Fósforo Soluble	SAAM
Cianuro	Hidrocarburos Aromáticos	Selenio
Cloro Libre Residual	Hidrocarburos Totales	Sólidos Sedimentables
Cloruros	Hidrocarburos Volátiles	Sólidos Suspendidos Totales
Cobre	Hierro	Sulfato
Cobre Total	Hierro Disuelto	Sulfuro
Coliformes Fecales o Termotolerantes	Índice Fenol	Temperatura
Cromo Hexavalente	Manganeso	Zinc
Cromo Total	Mercurio	
DBO5	Molibdeno	

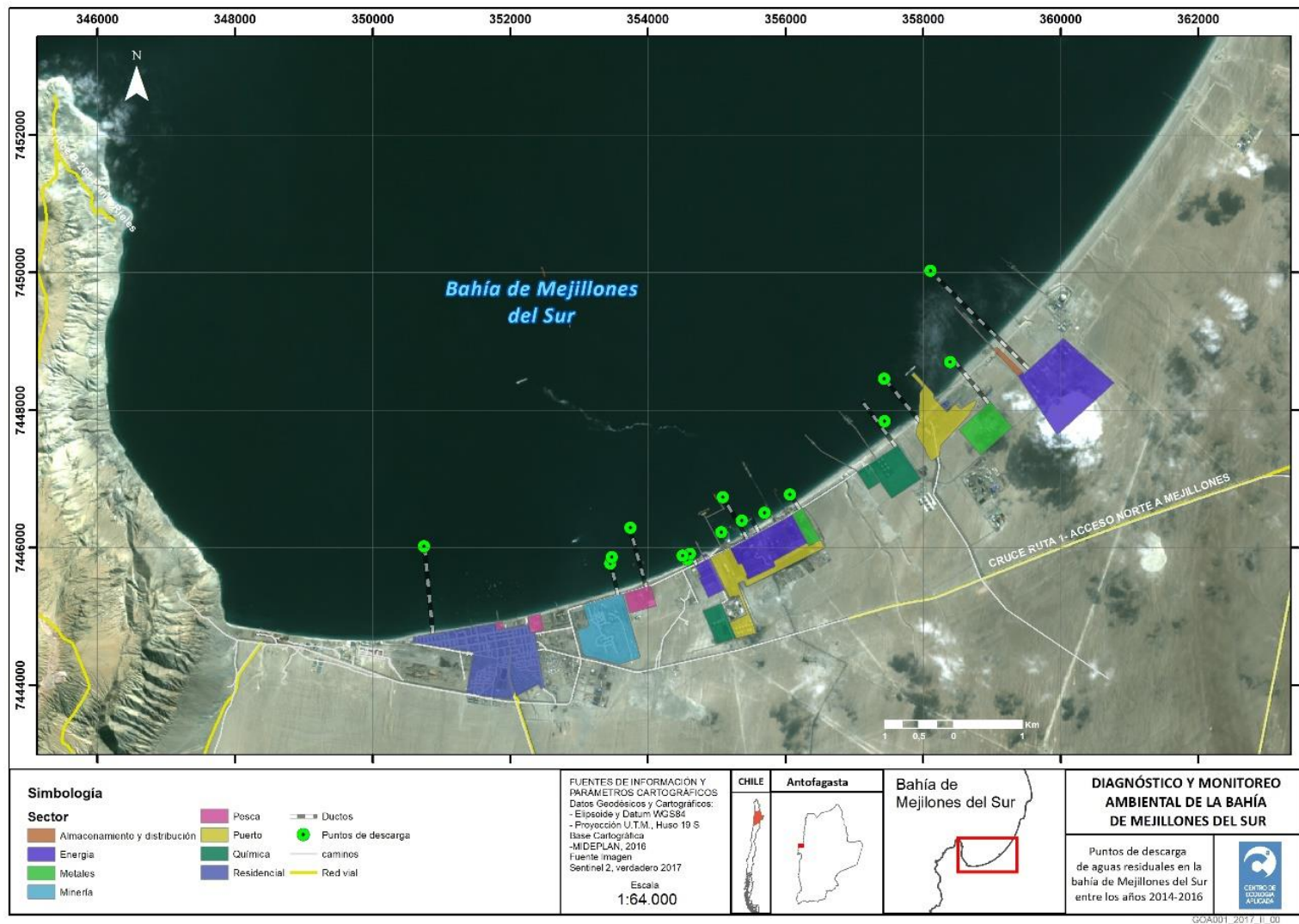


Figura 4.1-53 Puntos de descarga como emisión fija de aguas residuales en bahía de Mejillones del Sur

Como parte de la sistematización de la información, se realizó el ordenamiento y homologación de la información, permitiendo caracterizar los diferentes parámetros de forma espacial y según sector productivo. De todos los parámetros identificados, se presentan aquellos reconocidos como relevantes tanto para los análisis posteriores como para la realización del diagnóstico de la condición del sistema, los cuales corresponden a: caudales líquidos totales descargados, cargas másicas de DBO_5 , cargas másicas de SST, cargas másicas de aceites y grasas y cargas másicas de zinc. Cabe señalar que los metales y metaloides no son analizados como parte de las descargas a la bahía, ya que dada la información recabada desde las Declaraciones de Impacto Ambiental (DIA) y Estudios de Impacto Ambiental (EIA), ellas no existirían o al menos no serían relevantes debido a que la mayoría de los titulares que realizan descargas al medio marino, lo hacen como parte de los procesos de osmosis inversa y/o como parte del proceso de enfriamiento en la generación eléctrica, procesos unitarios que no involucran enriquecimiento con metales.

4.1.1.3.4.2.1 Caudales líquidos totales descargados

Del análisis de caudales se obtuvo que, el mayor volumen promedio es descargado por el sector de “Energía”, debido a que en sus procesos utiliza grandes volúmenes de este recurso para los procesos de enfriamiento, tras lo cual casi la totalidad de los caudales succionados desde la bahía son devueltos a ella. Al analizar los caudales descargados por el resto de los rubros (excluyendo el sector de Energía), se observó que sus aportes son diferentes y se encuentran asociados al tipo de labor productiva, sin destacar ninguno de ellos por sobre los otros (Tabla 4.1-15, Figura 4.1-54).

Tabla 4.1-15 Caudales de descarga promedio entre los años 2014 a 2016

Sector	Caudal promedio ($\text{m}^3/\text{día}$)
ENERGÍA	418.036
OTROS SECTORES ECONÓMICOS (ácido, explosivos)	7.082
MINERÍA	3.611
INSTALACIONES FABRILES VARIAS (metal, pesca)	2.232
CIUDAD MEJILLONES	1.639
EQUIPAMIENTO, INFRAESTRUCTURA E INMOBILIARIO	246

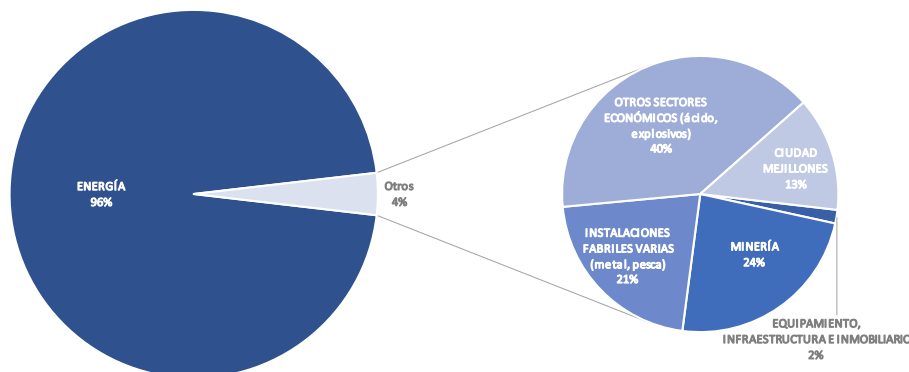


Figura 4.1-54 Caudales descargados por sector entre los años 2014-2017 en la bahía de Mejillones del Sur

4.1.1.3.4.2.2 Carga másica de DBO₅

En el análisis de las cargas másicas promedio de DBO₅ se obtuvo que todos los sectores económicos, a excepción del sector “Equipamiento, infraestructura e inmobiliario”, cuentan con descargas que contienen este parámetro. El sector que genera las mayores cargas másicas corresponde al de “Energía” con 2.000 t/ año), seguido por los sectores de “Instalaciones fabriles varias” y “Ciudad de Mejillones”, cada uno de ellos con valores cercanos a las 200 t/año. En la Figura 4.1-56 se presenta la ubicación de estas cargas másicas, identificando cada uno de los sectores productivos asociados. Junto con lo anterior, la simbología da cuenta de las cantidades asociadas a ellas.

4.1.1.3.4.2.3 Carga másica de SST

En el análisis de las cargas másicas promedio de SST, se obtuvo que todos los sectores económicos, a excepción del sector “Equipamiento, infraestructura e inmobiliario”, cuentan con efluentes que contienen este parámetro. El sector que cuenta con las mayores cargas másicas corresponde al sector de “Energía”, con 4.000 t/año. Es seguido por “Ciudad de Mejillones” y “Otros sectores económicos”, con 129 y 123 t/año, respectivamente. En la Figura 4.1-57 se presenta la ubicación de estas cargas másicas, identificando cada uno de los sectores productivos asociados. Al igual que para los parámetros anteriores, la simbología muestra las cantidades asociadas a cada una de ellas.

4.1.1.3.4.2.4 Carga másica de aceites y grasas

En el análisis de las cargas másicas promedio de Aceites y Grasas, se obtuvo que solamente los sectores de “Energía”, “Ciudad de Mejillones” e “Instalaciones fabriles varias”, contienen este parámetro como parte de sus descargas. El sector que genera las mayores cargas másicas corresponde al sector de “Energía”, con 344 t/año. Los sectores que lo secundan son “Ciudad de Mejillones” con 39 t/año y por “Instalaciones fabriles varias” con 14 t/año. En la Figura 4.1-58 se presenta la ubicación de estas cargas másicas identificando cada uno de los sectores productivos asociados. La simbología muestra las cantidades contenidas en cada una de estas descargas.

4.1.1.3.4.2.5 Comparativo temporal de las cargas másicas totales según parámetro

Al analizar la totalidad de cargas másicas para el período entre los años 2014 y 2016, los parámetros SST y DBO₅ destacan por obtener los mayores valores promedio, representando unos totales de 2.700 y 1.800 t/año descargados al medio marino, respectivamente. En cuanto a Aceites y Grasas, se obtuvo un valor promedio de descarga de 58 t/año (Figura 4.1-55).

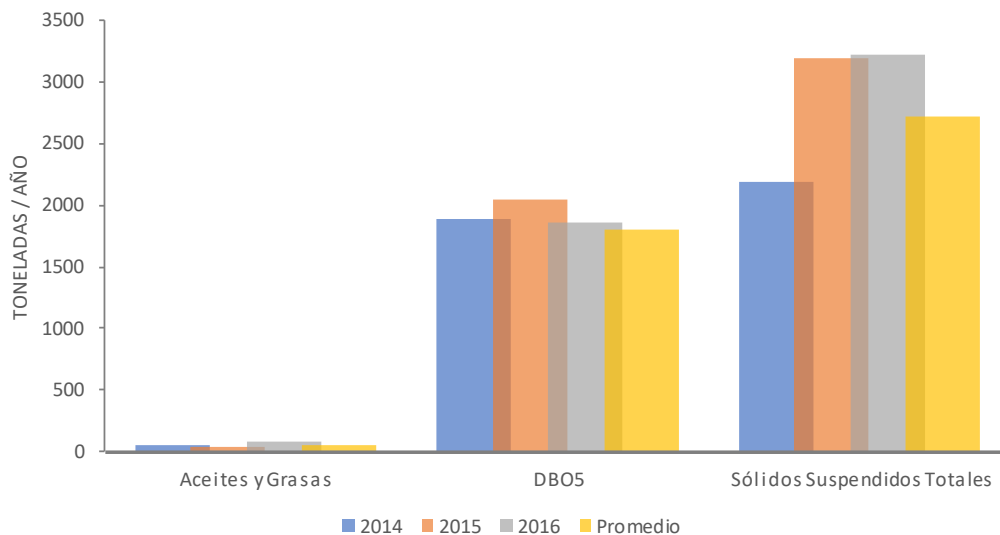


Figura 4.1-55 Carga másica de parámetros de estudio entre los años 2014 a 2016

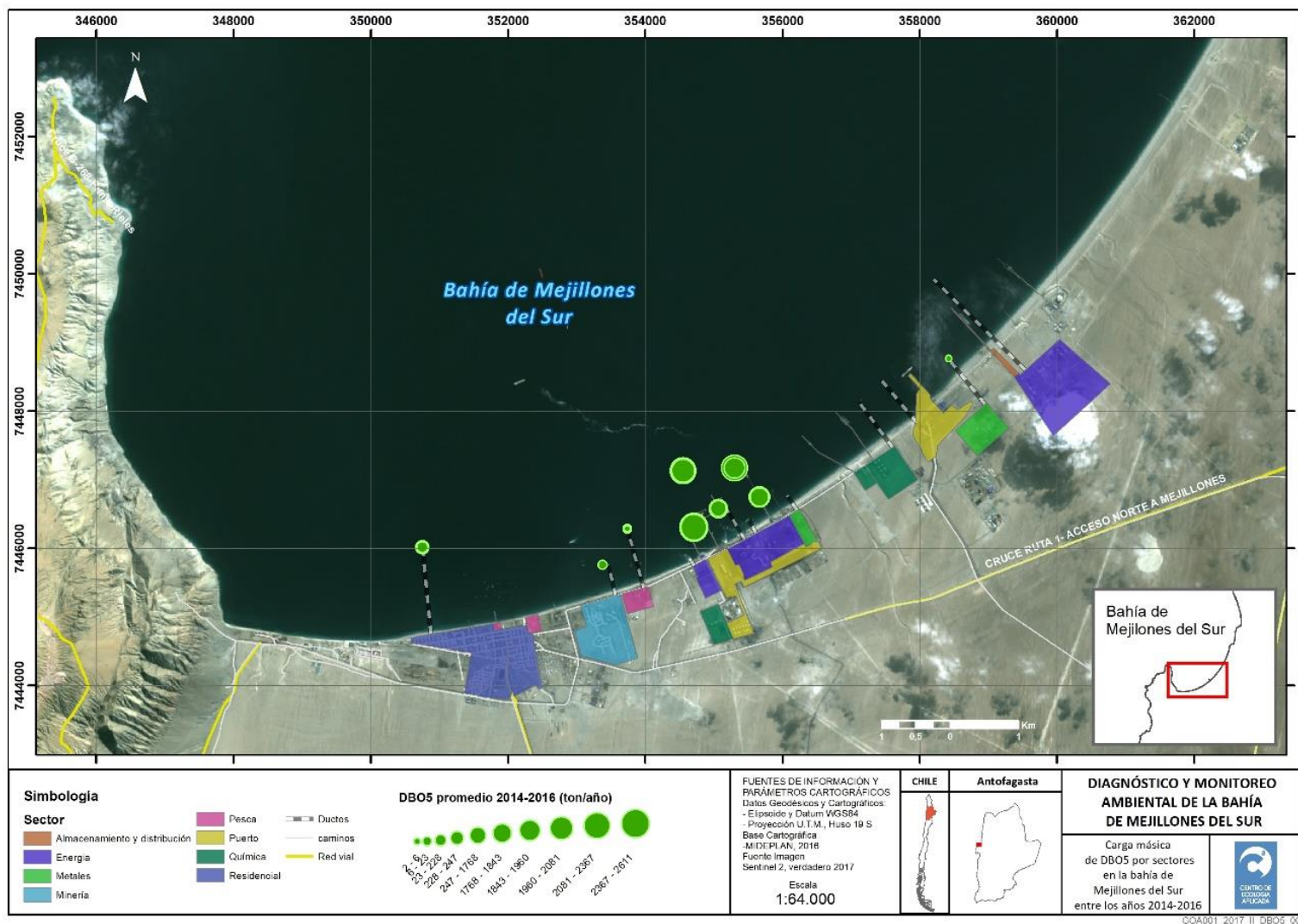


Figura 4.1-56 Cargas másicas de DBO₅ en la bahía de Mejillones del Sur entre los años 2014 a 2016

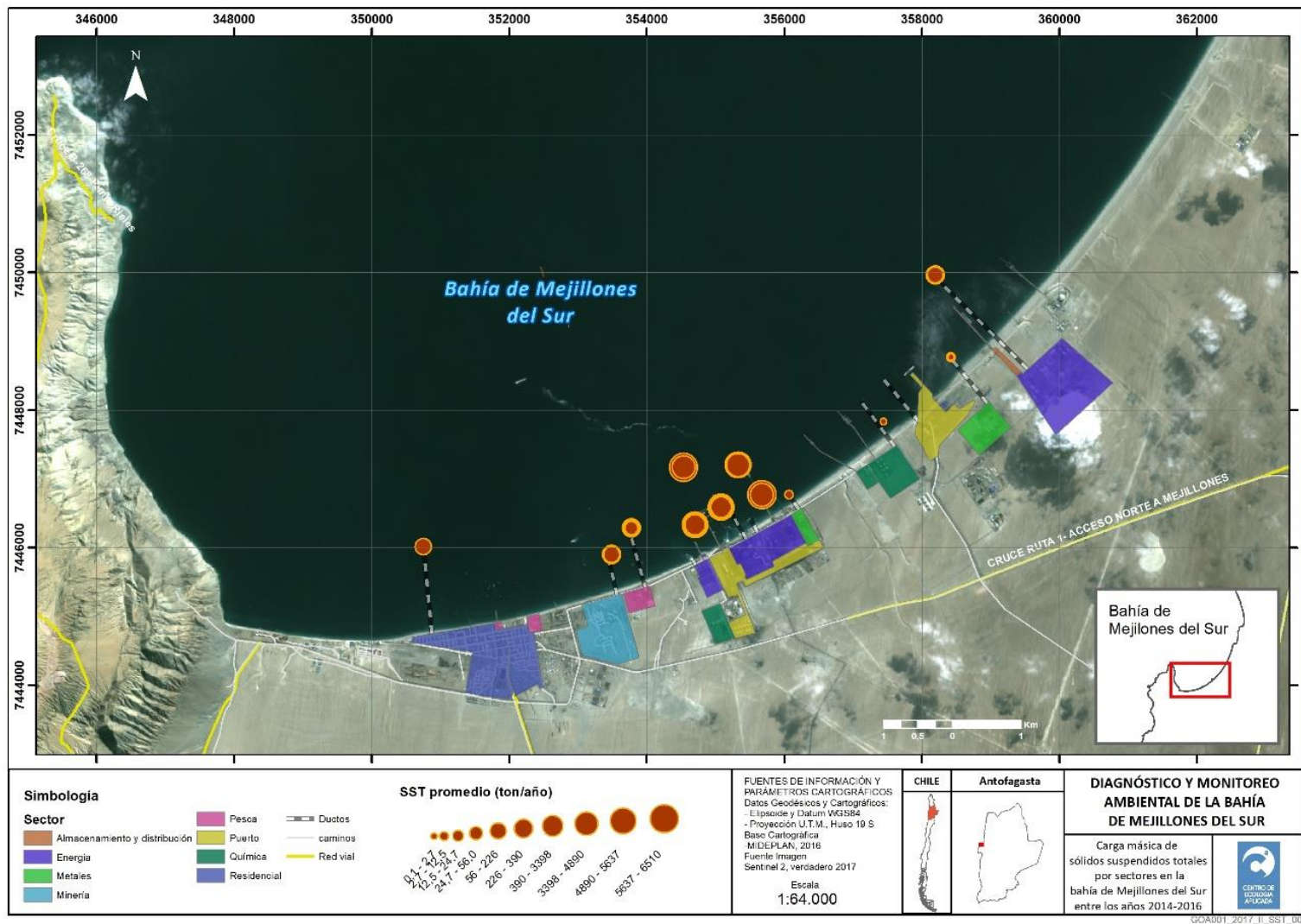


Figura 4.1-57 Cargas máscicas de SST en la bahía de Mejillones del Sur entre los años 2014 a 2016

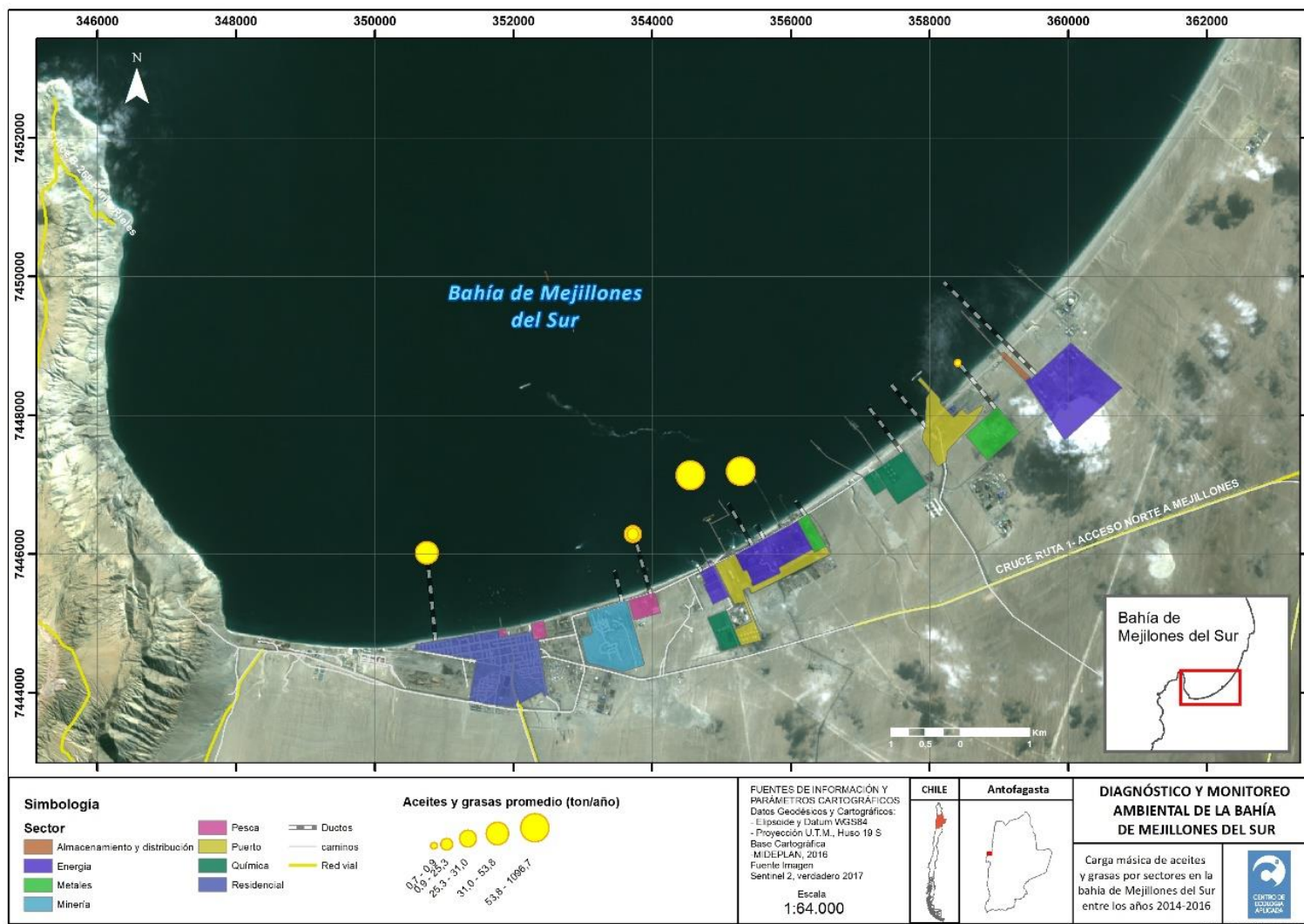


Figura 4.1-58 Cargas másicas de aceites y grasas en la bahía de Mejillones del Sur entre los años 2014 a 2016.

4.1.1.3.4.3 Extracción de recursos naturales

Ya se ha mencionado que la zona de bahía Mejillones del Sur se localiza en una región geográfica interesante desde el punto de vista oceanográfico, donde la corriente de Humboldt, así como el sistema de corrientes y contracorrientes costeras que imperan en la zona forman parte del denominado sistema de corrientes limítrofes orientales (o sistema EBC, por sus siglas en inglés) y donde la ocurrencia de procesos de surgencia representan eventos oceanográficos característicos.

Producto de la existencia de un núcleo permanente de surgencia en las aguas de la zona norte, sus aguas se caracterizan por la presencia de aguas superficiales frías, ricas en nutrientes y, por lo mismo, abundante vida planctónica, lo que redundaría en la presencia de abundantes especies ícticas pelágicas consumidores de fito y zooplancton. Así, en estas masas de agua de características subtropicales habitan gran parte de organismos marinos pelágicos cuya gran abundancia los relevan como parte de las principales pesquerías a nivel mundial, tales como la anchoveta (*Engraulis ringens*), sardina española (*Sardinops sagax*), jurel (*Trachurus murphyi*), reineta (*Brama asutalis*) y jibia (*Dosidiscus gigas*). Asimismo, en la zona costera se encuentran gran cantidad de organismos bentónicos que representan sujetos relevantes en la economía del sector pesquero artesanal, tales como el congrio colorado (*Genypterus chilensis*), locos (*Concholepoas concholepas*), erizo rojo (*Loxechinus albus*), choritos (*Mytilus chilensis*), jaiba mora (*Homalaspis plana*) y algas en general.

En este contexto, las actividades extractivas de recursos hidrobiológicos en bahía Mejillones del Sur alcanzan porcentajes de participación destacados dentro de la Región de Antofagasta, particularmente los desembarques del subsector de pesca artesanal asociados a los grupos de especies hidrobiológicas de peces y crustáceos. Los desembarques vinculados al primer grupo representaron a lo menos un tercio de los desembarques regionales, llegando incluso a constituirse en el principal sitio de desembarque de pescados en la Región de Antofagasta (período 2012 a 2016) (Figura 4.1-59b).

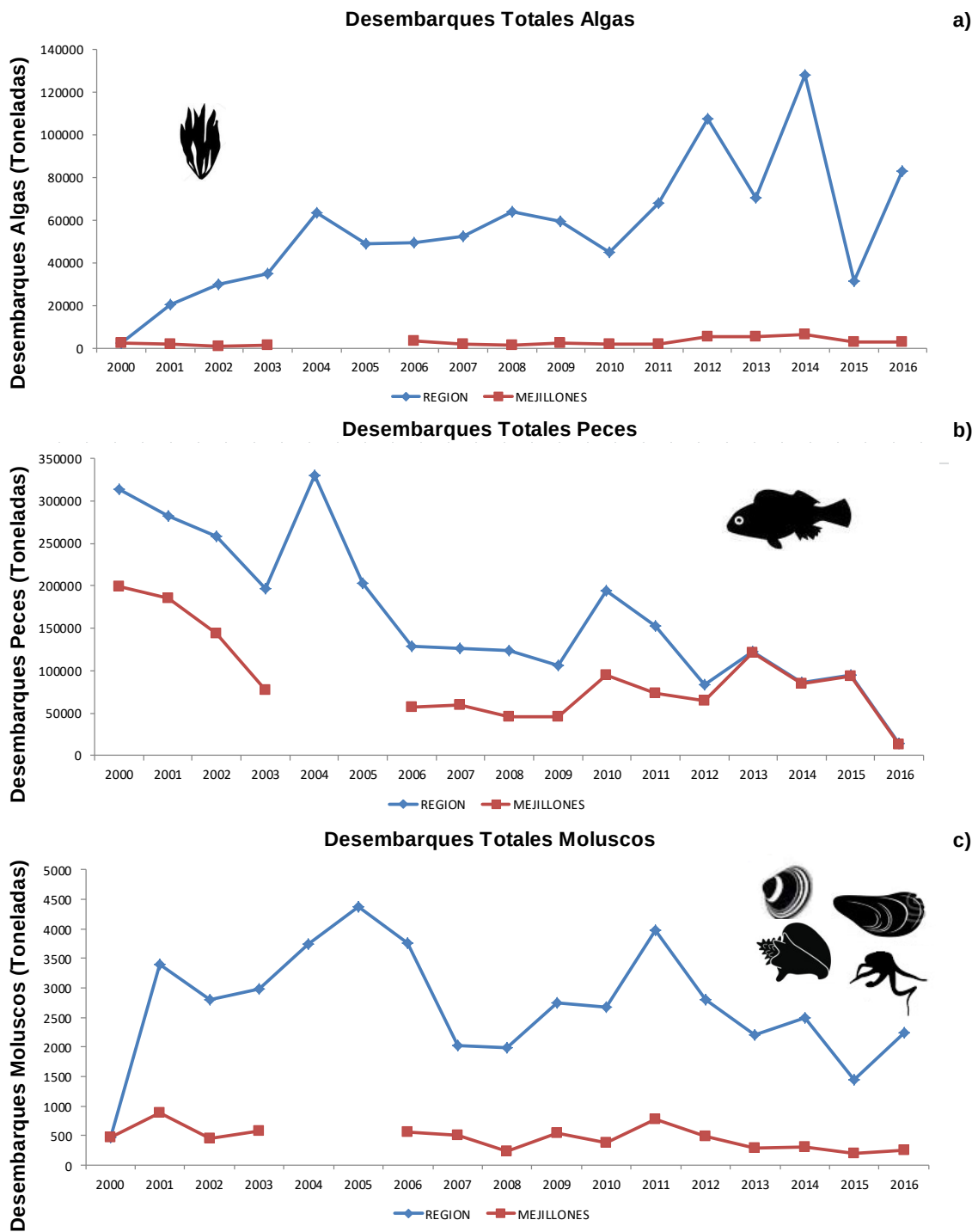


Figura 4.1-59 Desembarques pesqueros reportados para Región de Antofagasta y para Caleta Mejillones. a) Algas, b) Peces y c) Moluscos. Período 2000-2016. (Fuente: SERNAPESCA).

Por otra parte, resulta que a diferencia del patrón de desembarque regional que muestra una tendencia a la baja en el período observado (alcanzando el registro mínimo durante el año 2016), los desembarques de peces en Caleta Mejillones muestran una estabilización de sus valores desde el año 2006 en adelante, coincidiendo con la baja histórica reportada durante el año 2016.

Una situación similar se reconoció respecto de los desembarques del grupo de crustáceos, cuyos desembarques en caleta Mejillones representaron desde 2005 en adelante a lo menos un tercio de los desembarques reportados para la región. Mientras que los desembarques a nivel regional para este grupo de organismos presentaron un comportamiento variable a través del período considerado, reconociéndose tres hitos máximos de desembarque durante los años 2004, 2010 y 2015, seguidos de extensos períodos de registros de desembarques orientados hacia la baja; los desembarques reportados para Caleta Mejillones mostraron un aumento importante a partir del año 2010, alcanzando el registro máximo durante el período 2015 (Figura 4.1-60a).

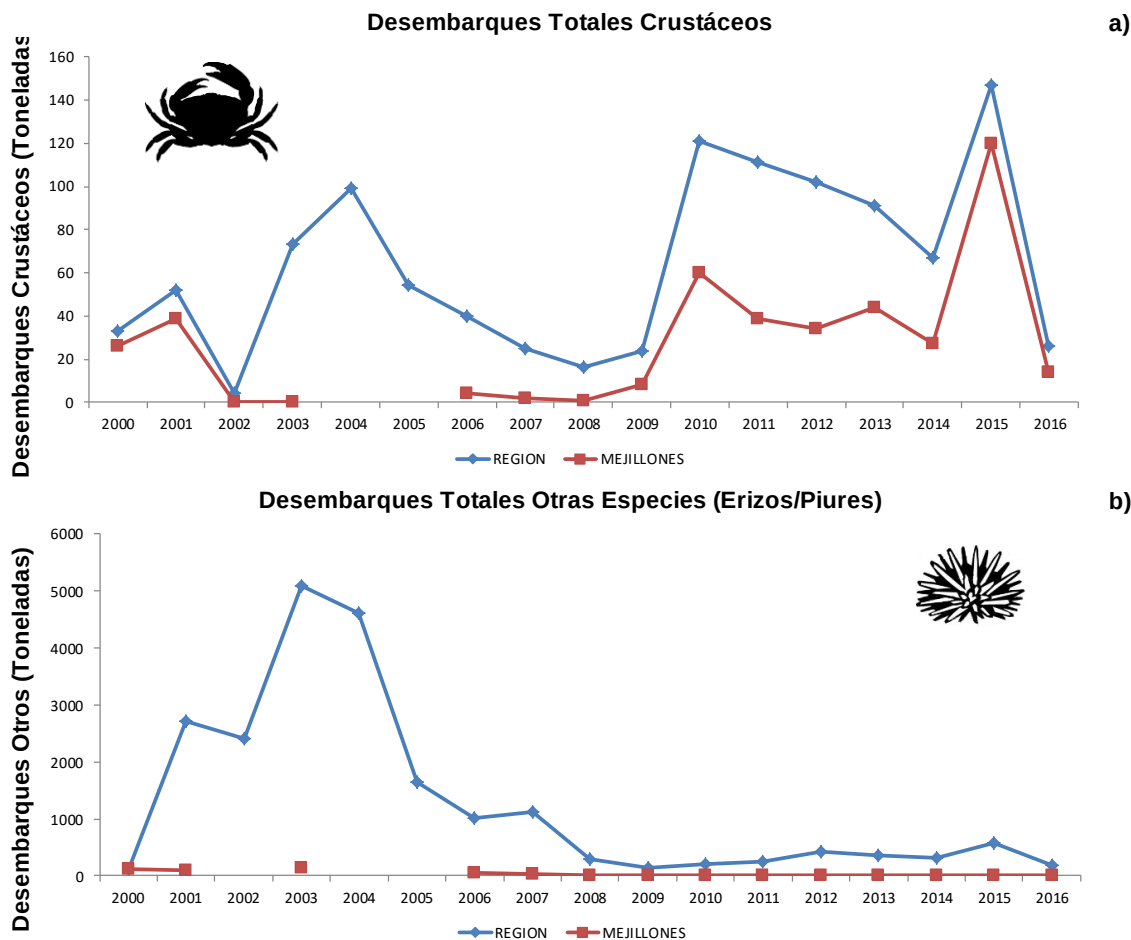


Figura 4.1-60 Desembarques pesqueros reportados para Región de Antofagasta y para Caleta Mejillones. A) Crustáceos y b) Otras especies. Período 2000-2016. (Fuente: SERNAPESCA).

Por otra parte, la participación de Caleta Mejillones en el contexto de los desembarques a nivel regional de otras especies hidrobiológicas de interés comercial (algas, moluscos y otras especies), fue menor para cada uno de estos grupos de organismos (Figura 4.1-59a, Figura 4.1-59c y Figura 4.1-60b).

Al observar con detalle los desembarques reportados para Caleta Mejillones durante el período 2000-2016 y compararlos con la participación del subsector de pesca artesanal en dichos desembarques, se reconoce la relevancia de este sector productivo para los recursos hidrobiológicos de algas, moluscos, crustáceos y otras especies. Para el caso de

los desembarques de pescado, el subsector de pesca artesanal tiene una participación menor, infiriéndose que el mayor porcentaje de desembarques de pescado en bahía Mejillones es consecuencia de la actividad del subsector industrial (Figura 4.1-61 y Figura 4.1-62).

Con relación al grupo hidrobiológico de las algas, los registros de desembarque mostraron un patrón variable, reconociéndose tres períodos de máximas desembarques (años 2005 y 2006, año 2012 y 2014), alcanzando un registro máximo de desembarque de pesca artesanal equivalente a 5.950 T. Las especies ficológicas que destacan en los desembarques de pesca artesanal correspondieron a algas laminariales como el huiro negro (*Lessonia nigrescens*) y el alga roja Pelillo (*Gracilaria sp.*) (Figura 4.1-61a).

Con relación al grupo de los moluscos desembarcados en bahía Mejillones, los desembarques del subsector pesca artesanal también muestran un patrón altamente fluctuante a través del período de interés, reconociéndose tres hitos de desembarques masivos ocurridos en 2001, 2004 y 2011, alcanzando un valor máximo de desembarque equivalente a 769 T en 2004. Las principales especies desembarcadas correspondieron en primer término al pulpo del norte (*Octopus mimus*), secundado por el caracol locate (*Thaisella chocolata*) y ejemplares de lapas (*Fissurella sp.*). De acuerdo a la data recabada, se observó una drástica caída de los volúmenes desembarcados para este grupo de organismos en los años 2007 y 2008, los que no superaron las 20 ton y donde las principales especies desembarcadas en aquellos años correspondieron además del pulpo del norte a ejemplares de almejas (Figura 4.1-61c). Desde 2011 hasta el año 2016, se ha registrado para este grupo una tendencia hacia la baja en los valores de los desembarques reportados.

Respecto del grupo de los crustáceos, prácticamente la totalidad de los desembarques de este tipo de organismos reportados en Caleta Mejillones, son atribuidos al esfuerzo de captura del subsector pesca artesanal, alcanzando el registro más alto en 2015 con 53 T desembarcadas. La principal especie explotada en bahía Mejillones correspondió a la jaiba peluda (*Cancer setosus*), la que representó la principal especie desembarcada durante todo el período de interés. Los desembarques de esta especie mostraron un notable aumento a partir del año 2010, los que se mantuvieron relativamente estables hasta 2015 (Figura 4.1-62a).

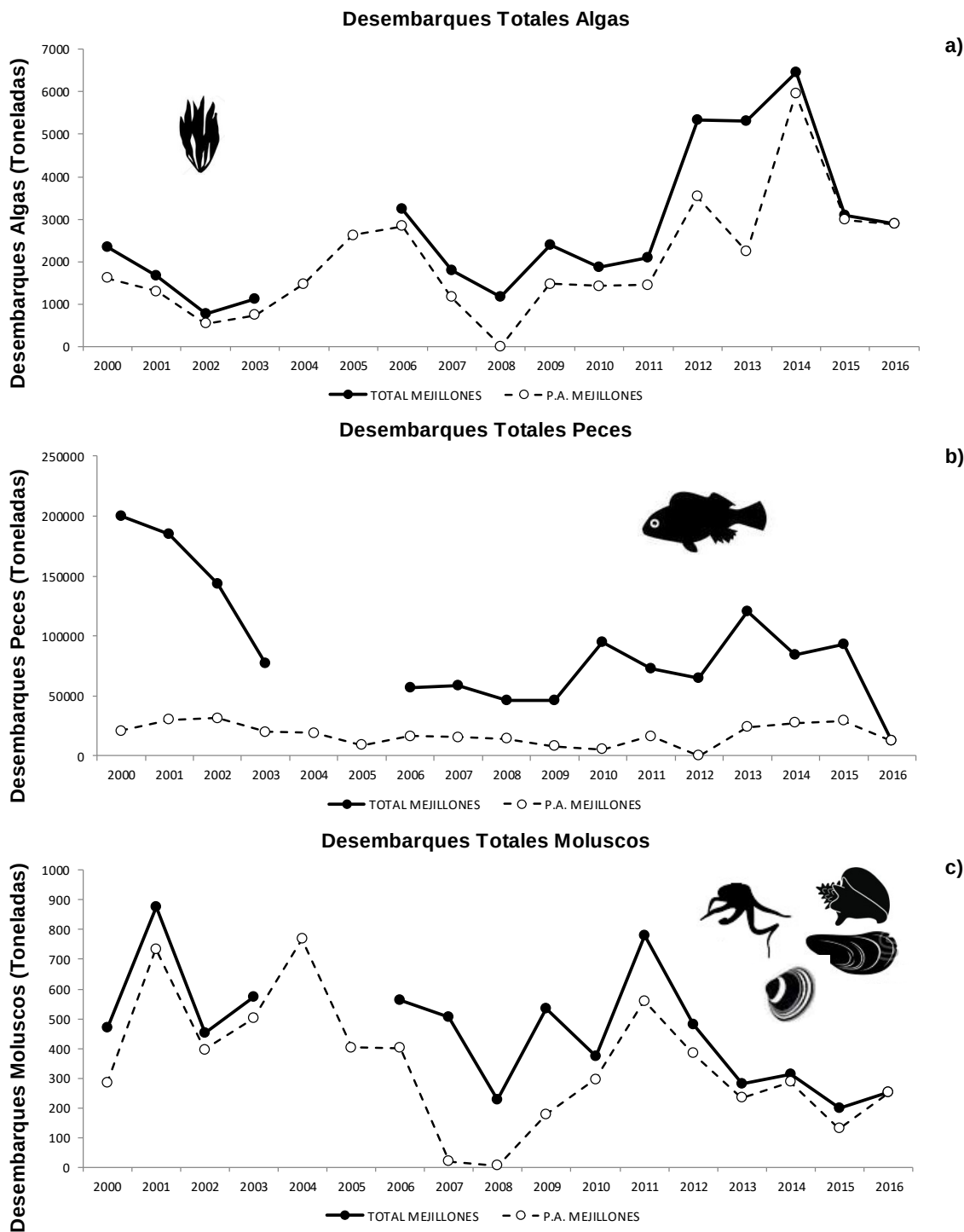


Figura 4.1-61 Desembarques de recursos hidrobiológicos reportados para Caleta Mejillones y la participación del subsector de Pesca Artesanal (P.A.) en dichos desembarques. A) Algas, b) Peces y c) Moluscos. Período 2000-2016 (Fuente: SERNAPESCA).

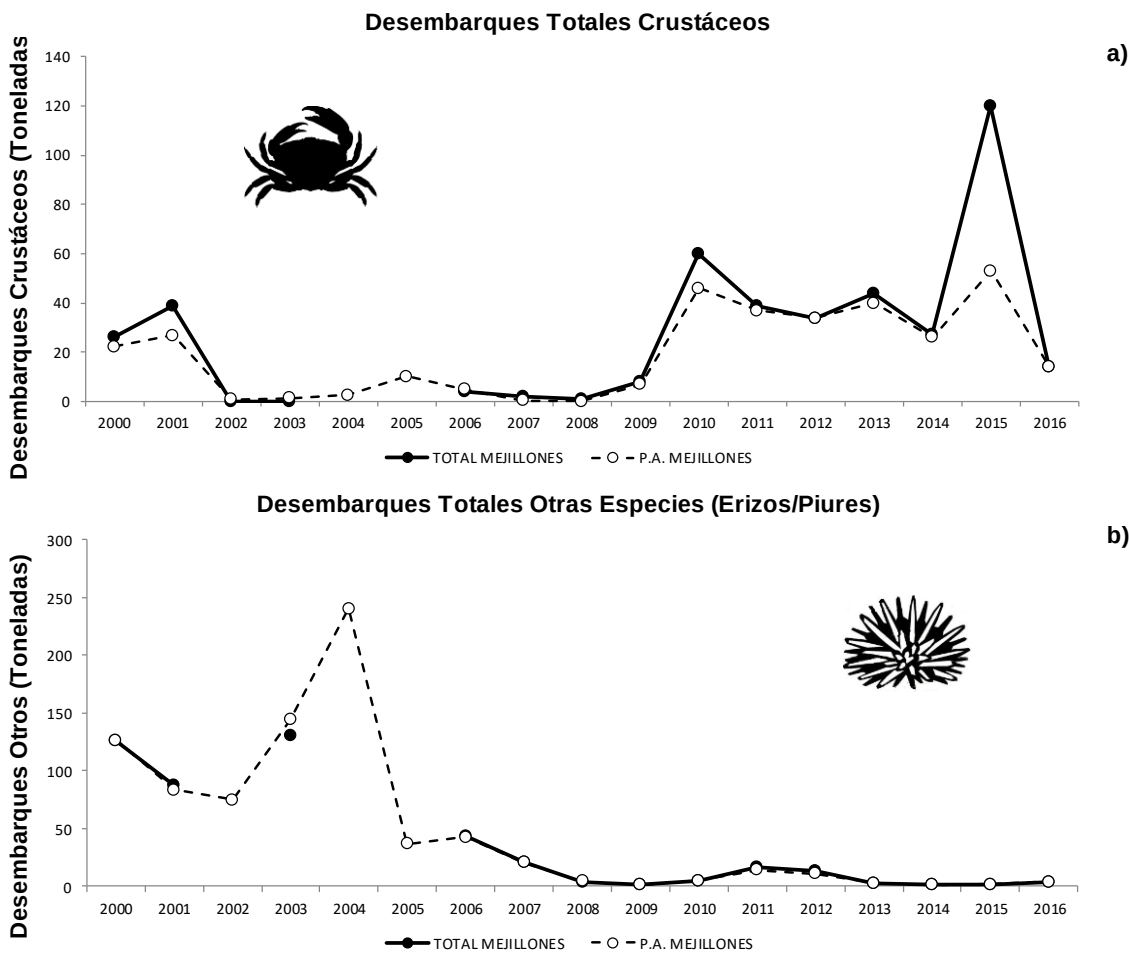


Figura 4.1-62 Desembarques de recursos hidrobiológicos reportados para Caleta Mejillones y la participación del subsector de Pesca Artesanal (P.A.) en dichos desembarques. A) Crustáceos y b) Otras Especies. Período 2000-2016 (Fuente: SERNAPESCA).

Tabla 4.1-16 Principales especies desembarcadas por Subsector Pesca Artesanal en Caleta Mejillones. Período 2000-2016. (Fuente: SERNAPESCA).

GRUPO	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
ALGAS	Pelillo	Pelillo	Pelillo	Huiro negro	Pelillo	Pelillo	Huiro negro	Huiro negro	-
PECES	Sardina	Sardina	Sardina Esp.	Sardina Esp.	Jurel	Jurel	Mote	Anchoveta	Mote
	Anchoveta	Anchoveta	Anchoveta	Anchoveta	Anchoveta	Anchoveta	Anchoveta		Anchoveta
MOLUSCOS	Caracol Locate	Caracol Locate	Cholga	Cholga	Lapa	Pulpo	Pulpo	Almeja	Pulpo
		Pulpo	Pulpo	Pulpo	Pulpo				
CRUSTÁCEOS	Jaiba Peluda	Jaiba Peluda	Jaiba Peluda	Jaiba Peluda	Jaiba Peluda	Jaiba Peluda	Jaiba Peluda	Jaiba Peluda	Jaiba Peluda
OTRAS ESPECIES	Erizo	Erizo	Erizo	Erizo	Erizo	Erizo	Erizo	Erizo	Erizo

Tabla 4.1-17 (Continuación) Principales especies desembarcadas por Subsector Pesca Artesanal en Caleta Mejillones. Período 2000-2016. (Fuente: SERNAPESCA).

GRUPO	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
ALGAS	Huiro negro	Huiro negro	Huiro negro	Huiro negro	Huiro negro	Huiro negro	Pelillo	Huiro negro
PECES	Anchoveta	Anchoveta	Mote	Anchoveta	Anchoveta	Caballa	Sardina Esp.	Jurel
			Anchoveta			Anchoveta	Anchoveta	Anchoveta
MOLUSCOS	Pulpo	Pulpo	Caracol Locate	Cholga	Almeja	Pulpo	Pulpo	Pulpo
			Pulpo	Almeja	Pulpo			
CRUSTÁCEOS	Jaiba Peluda	Jaiba Peluda	Jaiba Peluda	Jaiba Peluda	Jaiba Peluda	Jaiba Peluda	Jaiba Peluda	Jaiba Peluda
OTRAS ESPECIES	Piure	Piure	Erizo	Erizo	Erizo	Piure	Erizo	Erizo

Con relación a los desembarques de erizos y piures registrados para Caleta Mejillones, se reconoce que ambas especies son explotadas exclusivamente por el subsector pesca artesanal. En general, los desembarques reportados para este grupo de organismos representan los volúmenes más bajos si se compara con los otros grupos de especies hidrobiológicas de importancia comercial descritos en párrafos anteriores. Considerando el período de interés, se observó que el registro máximo de desembarques de este grupo de organismos alcanzó aproximadamente a 241 T en 2004. Desde entonces los volúmenes de desembarques en Caleta Mejillones no superan las 42 T. La principal especie desembarcada correspondió al erizo rojo (*Loxechinus albus*), secundada por esporádicos y discretos desembarques de piures (Figura 4.1-62b, Tabla 4.1-16 y Tabla 4.1-17).

La Figura 4.1-63 y Figura 4.1-64 presentan los promedios de desembarque mensual del subsector Pesca Artesanal en Caleta Mejillones por grupos hidrobiológicos de interés, considerando el período de interés comprendido entre 2000 a 2016. En ellas se pueden reconocer rendimientos diferenciados estacionales asociados a la extracción de recursos hidrobiológicos en el sector de bahía de Mejillones del Sur.

Así, para el grupo de las macroalgas se observa una relativa homogeneidad respecto de los rendimientos extractivos a través del año, observándose un leve aumento durante la época estival (Figura 4.1-63a), mientras que en el resto de las estaciones del año los volúmenes promedio de extracción de estos recursos se mantienen relativamente homogéneos.

En tanto, para el grupo de peces se observó que los mayores rendimientos extractivos en Mejillones ocurren durante la temporada otoñal, manteniéndose en niveles bajos a moderados durante las otras estaciones del año (Figura 4.1-63b). Tal aumento puede estar asociado a una respuesta positiva derivada de la alta productividad primaria reconocida como un atributo constante en la zona norte del país, la que muestra un leve aumento durante las temporadas de primavera precedentes .

Con relación al grupo de los moluscos se reconoce un aumento en los rendimientos extractivos durante las temporadas otoñal y primaveral, secundados por la estación invernal. Se observa una disminución notoria durante los meses de verano (Figura 4.1-63c).

Respecto del grupo de los crustáceos, se observó que los rendimientos extractivos promedio se mantienen relativamente constantes a través del año, siendo levemente superiores durante las temporadas estival y otoñal (Figura 4.1-64a).

Los rendimientos extractivos promedio asociados a las especies de erizos y piures son notablemente variables a través del año y mucho más discretos si se los compara con los esfuerzos de extracción que el subsector de pesca artesanal que opera en Mejillones ejerce sobre otros recursos hidrobiológicos de importancia comercial. Así, no se reconocen esfuerzos de extracción asociados a una estacionalidad específica para este grupo de organismos (Figura 4.1-64b).

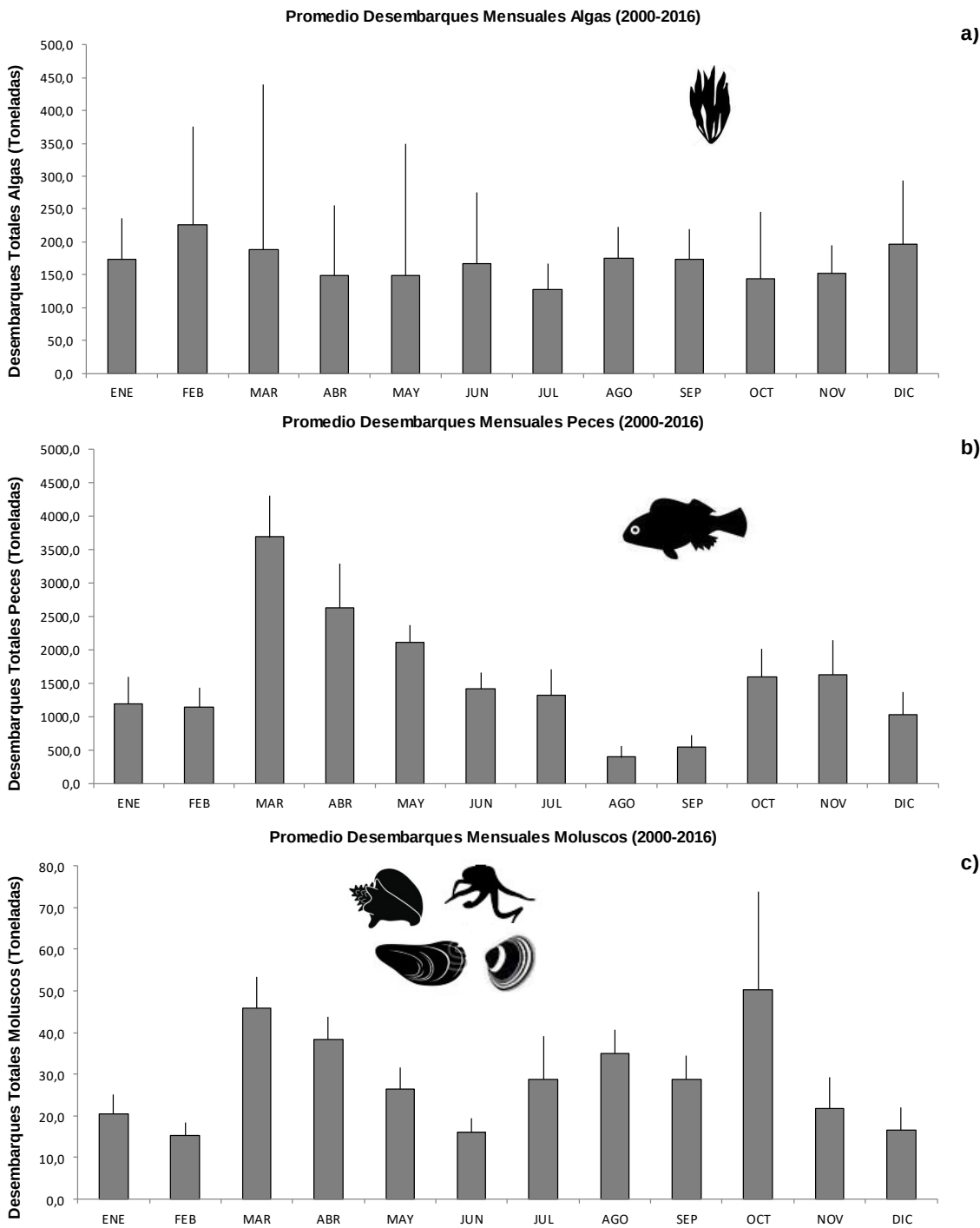


Figura 4.1-63 Rendimientos promedio de desembarques de especies hidrobiológicas asociadas a las actividades extractivas del subsector pesca artesanal en bahía Mejillones del Sur. a) Desembarques promedio de algas, b) Desembarques promedio de peces y c) Desembarques promedio de moluscos. Período 2000-2016. (Fuente: SERNAPESCA).

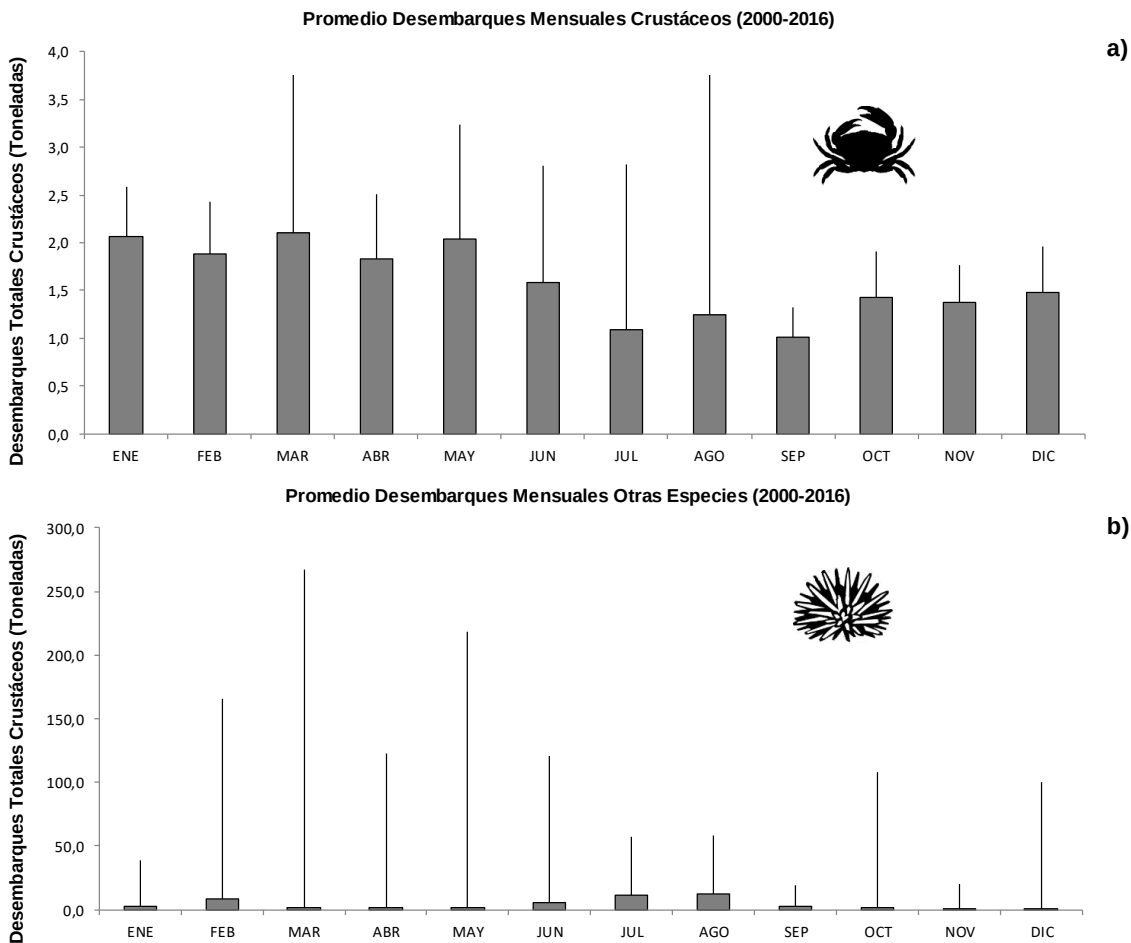


Figura 4.1-64 Rendimientos promedio de desembarques de especies hidrobiológicas asociadas a las actividades extractivas del subsector pesca artesanal en bahía Mejillones del Sur. a) Desembarques promedio de crustáceos y b) Desembarques promedio de otras especies. Período 2000-2016. (Fuente: SERNAPESCA).

4.1.1.3.4.3.1 **AMERB's**

Los datos recabados desde las estadísticas de desembarque de SERNAPESCA asociados a organismos provenientes de Áreas de Manejo y Explotación de Recursos Bentónicos (AMERB), son escasos y puntuales.

De las 6 AMERB's solicitadas en la zona de bahía Mejillones del Sur, solamente una (Punta Campamento) se encuentra actualmente operativa. Las restantes 5 (bahía Mejillones Sector A, Sector B, Sector C, Hornos Sector A y Sector B) se encuentran con plazo vencido, en proceso de desafección o desafectadas.

De las especies extraídas en la AMERB de Punta Campamento, las más relevantes corresponden a los erizos y lapas. De los antecedentes analizados, los mayores desembarques ocurrieron en la temporada invernal de 2005, donde se desembarcaron casi 40 T de erizos. Para el resto del período reportado (años 2006 y 2007), los volúmenes de desembarques no superaron las 10 T para el caso de los moluscos y las 8 T para el caso de otras especies (erizos) (Figura 4.1-65).

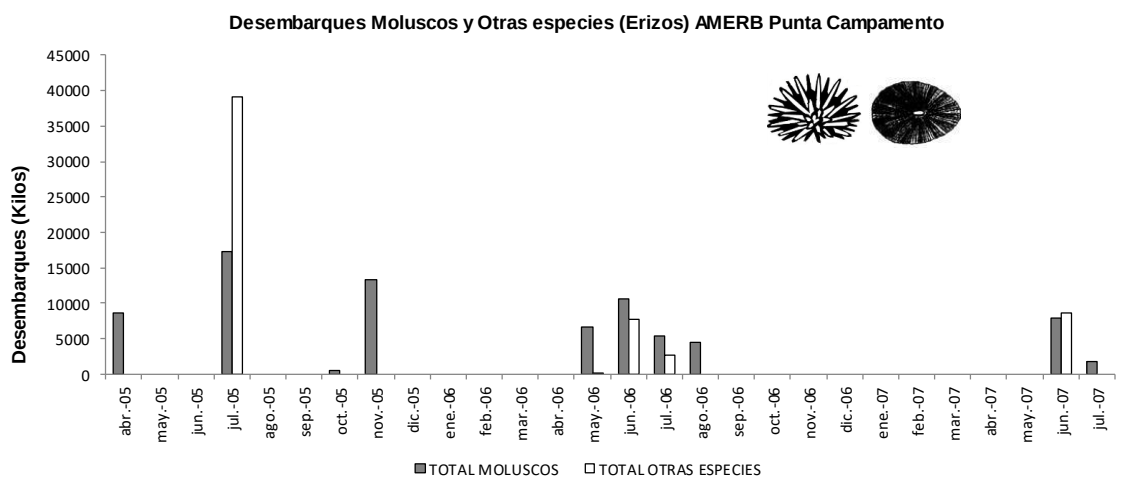


Figura 4.1-65 Desembarques de moluscos y otras especies (erizos) reportados para el AMERB Punta Campamento. Período 2005-2007. (Fuente: SERNAPESCA).

4.1.1.4 Discusión y conclusión

A continuación, se señalan los principales hallazgos obtenidos durante la etapa de revisión de antecedentes:

1.- La información científica y de monitoreo obtenida de la bahía de Mejillones muestra que los datos se obtienen a distintas escalas espaciales y temporales, en función del nivel de resolución de los procesos ecológicos. Debido a lo anterior se ha jerarquizado la sistematización de los datos, que se ha ordenado en el índice. Se han descrito los procesos oceanográficos de gran escala como “El Niño”, la surgencia, y aquellos que ocurren a nivel de la bahía como las descargas desde las unidades productivas y la ciudad.

2.- De la sistematización de datos, la surgencia se revela como estructural al funcionamiento hidrodinámico y ecológico de la bahía Mejillones, y que debe ser acoplado a los procesos de descarga que tienen el potencial de modificar propiedades físicas y químicas del agua y afectar el funcionamiento de los ecosistemas de la bahía Mejillones.

3.- Las variables de monitoreo en los ecosistemas marinos, asociados a las actividades productivas, se orientan especialmente a propiedades físicas y químicas del componente agua de los ecosistemas marinos de la bahía Mejillones. Por otra parte, la información disponible sobre los componentes biológicos o bióticos de los ecosistemas está centrada en las especies que son recursos hidrobiológicos. Adicional a esta información, existen numerosos estudios científicos específicos en escalas de tiempo y espacio más reducidas, que entregan información particular a preguntas planteadas por dichas investigaciones, que deberán articularse con los datos de monitoreos, para proveer de una base de interpretación del funcionamiento ecosistémico y ambiental de la bahía Mejillones.

4.- Los programas de monitoreo como el POAL y aquellos determinados por la autoridad ambiental, a distintas unidades productivas, supone que tanto la localización de los puntos, las variables seleccionadas, y la frecuencia de observación en el tiempo, son adecuadas para detectar cambios y tomar las medidas adecuadas de manejo para la bahía Mejillones, desde una perspectiva sistémica. En particular, la localización espacial sugiere que, no obstante, la gran cantidad de puntos de observación para el conjunto de la bahía, estos registran información esencialmente de los ecosistemas en el borde costero, y no obtienen información relativa a las masas de agua de la surgencia, que tiene desplazamientos importantes de acuerdo con los estudios realizados y la información satelital disponible.

5.- Varios estudios científicos muestran la existencia, a escala de la bahía, una zona mínima de oxígeno (ZMO) asociada a determinadas profundidades, que oscilan de acuerdo a cambios estacionales o bien a fenómenos de mayor escala como puede ocurrir con la presencia del fenómeno del “El Niño” y la dinámica asociada a la surgencia. Las bajas concentraciones de oxígeno pueden determinar el fenómeno de hipoxia en los organismos. Desde hace algunas décadas este fenómeno ha llamado la atención de los oceanógrafos y se ha generado un mecanismo explicativo, indicado en el texto, para explicar las causas y consecuencias para la vida y distribución vertical de organismos marinos.

6.- En las aguas costeras y en bahías en especial, es bien conocido que el enriquecimiento con nutrientes y materia orgánica provoca eutrofización de las aguas y puede generar una disminución de la concentración de oxígeno disuelto en la columna de agua. Cuando esos niveles de oxígeno son bajos, se generan condiciones de hipoxia para los organismos. En bahía Mejillones se han medido importantes volúmenes de DBO_5 en aguas que se

descargan desde el litoral, pudiendo ser un factor determinante en los niveles de oxígeno del agua y sedimentos.

7.-De acuerdo con lo anterior, en bahía Mejillones pueden existir al menos dos causas importantes para las bajas concentraciones de oxígeno disuelto en la columna de agua. La primera determinada por procesos de gran escala en función de la profundidad y que corresponde a las ZMO. La segunda, por generación de altas descargas de DBO_5 o descomposición de materia orgánica en las aguas costeras superficiales, a menos de 30 metros de profundidad. Es fundamental distinguir las causas potenciales para desarrollar un buen plan de manejo de la bahía.

8.- Para parámetros, principalmente en puntos de monitoreo, medidos en el agua, para los que se dispone de una serie de varios años, como por ejemplo temperatura, pH, oxígeno disuelto, la distribución espacial y temporal muestra en general cambios, que indican un aumento de la variabilidad de los valores obtenidos en una misma fecha. Los metales pesados como por ejemplo cobre y cadmio y metaloides como arsénico en la columna de agua también presentan un aumento de la variabilidad en sus valores, coincidentes con los aumentos de la variabilidad de los parámetros indicados más arriba. Es importante señalar que entre las fuentes de variabilidad también se incluyen aspectos metodológicos, tales como los límites de detección de los métodos analíticos utilizados.

9.-En relación con los sedimentos, cabe destacar que las variables materia orgánica y potencial de óxido reducción, muestran cambios a lo largo del eje suroeste-noreste. Los metales como cadmio y cobre y los metaloides como arsénico muestran una tendencia a presentar valores más altos y una mayor variabilidad hacia el suroeste. Estas distribuciones de los datos generales pueden tener relación con patrones de circulación de las masas de agua y la localización de las descargas de las unidades productivas y se requiere un análisis más específico de estos datos.

10.- Los componentes biológicos o bióticos de los ecosistemas marinos se han caracterizado en función de los organismos dominantes, especialmente del fitoplancton, zooplancton y en el bentos en función de los organismos animales.

En términos generales es posible indicar que los antecedentes ambientales disponibles en la bahía Mejillones, permiten solamente un diagnóstico parcial de la condición ambiental actual de la misma. En particular debido a que los programas de seguimiento ambiental no describen adecuadamente los procesos físicos, químicos y biológicos que dominan la estructura y funcionamiento de dicho ecosistema.

4.1.2 Geodatabase

Con la información recopilada y sistematizada se elaboró una Geodatabase de acuerdo con las directrices establecidas por el concepto internacional de Infraestructura de Datos Geoespaciales (IDE) ex SNIT. Al respecto, esta Geodatabase se presenta de forma en anexos digitales (Anexos_digitales: 1_OE1_Recopilacion_y_sistematizacion: 3_Geodatabase).

El resultado contiene las cubiertas de calidad de agua y sedimentos. un archivo .mxd que compone la Geodatabase para la correcta visualización en el SIG y una tabla Excel correspondiente a un diccionario de datos con los elementos que componen la Geodatabase.