

Programa de Vigilancia Ambiental
PUERTO EN PUNTA TOTORALILLO
Fase de Construcción

MONITOREO

03



Puerto en Punta Totoralillo, Región de Atacama

Preparado para:
COMPAÑIA MINERA DEL PACIFICO S.A.
Pedro Pablo Muñoz 675, La Serena



Oikos Chile

Marzo, 2008

Autores

OIKOS CHILE S.A.

Sixto Gutiérrez S.
Licenciado en Biología

Héctor Andrade V.
Doctor en Oceanología

PROFESIONALES DE APOYO

Patricio Guerrero S.
Coordinador de muestreo marino

Lorena Opazo G.
Sorting e identificación de macrofauna bentónica

LABORATORIOS DE ANALISIS

Laboratorio de Identificación de Invertebrados Bentónicos, Oikos Chile S.A.
Lab. de Toxicología Humana y Ambiental, U. de Playa Ancha

03°

MONITOREO

Programa de Vigilancia Ambiental
PUERTO EN PUNTA TOTORALILLO
CIA. MINERA DEL PACIFICO S.A.

INDICE

RESUMEN	3
1. INTRODUCCIÓN	4
2. PROCEDIMIENTOS METODOLOGICOS	5
3. INTERPRETACION DE RESULTADOS	10
4. CONCLUSIONES	78
5. BIBLIOGRAFIA	80
6. ANEXOS	81

OIKOS-2007-17
©OIKOS CHILE S.A.

RESUMEN

En el presente documento se informa los resultados y conclusiones derivadas de la ejecución del tercer monitoreo de la fase de construcción del Puerto en punta Totoralillo (comuna de Caldera), propiedad de la Compañía Minera del Pacífico S.A. Las actividades de muestreo fueron efectuadas en diciembre de 2007 y consistieron en mediciones directas y toma de muestras de la columna de agua, sedimentos submareales, macrofauna submareal de fondos blandos y macrobiota submareal de fondos rocosos para análisis de laboratorio. Los resultados obtenidos fueron comparados con los generados en las campañas de monitoreo anteriores y en el estudio de línea base.

Ninguno de los parámetros físicos o químicos que se miden en la columna de agua mostró valores que sugirieran alteraciones. Si bien los niveles de cobre, plomo y zinc presentaron concentraciones relativas más altas en algunas estaciones de muestreo, estos resultados no sugieren que la columna de agua se encuentre sometida a aportes metalogénicos directos.

La granulometría de los sedimentos superficiales no muestra cambios relevantes en su composición. El área de monitoreo está compuesta mayoritariamente de arenas gruesas, registrándose sólo en un sector la presencia de arenas finas (condición que ya había sido reportada en la campaña anterior).

De los parámetros analizados en la matriz sedimentaria, prácticamente todos variaron dentro de los rangos históricos de la línea base. Para el caso particular de los metales, sólo el cromo evidenció mayores contenidos en las proximidades del muelle.

La macrofauna submareal de los fondos blandos presentó condiciones ecológicas saludables, a excepción de la estación referencial (CT-7) que mostró signos de estrés. Estas diferencias estarían relacionadas con factores naturales ya que la estación CT-7 está alejada del lugar en que se construyen actualmente las instalaciones portuarias. Las fluctuaciones temporales exhibidas por los índices ecológicos están dentro de los rangos de variación históricos y son explicables en gran parte por la dinámica poblacional del gasterópodo *Turritella cingulata*.

Dado las saludables condiciones que manifiesta la macrofauna submareal de fondos blandos, actualmente estas comunidades no muestran señales de estrés que se relacionen con el emplazamiento del muelle en construcción.

La macrobiota de fondos submareales rocosos mostró una baja generalizada en los valores de número de especies, de individuos y de cobertura porcentual, salvo en la transecta PT-SR1 que corresponde a la más expuesta del conjunto. Desde un punto de vista ecológico, este tipo de comunidad se mantiene en niveles simples, siendo el caracol *Tegula atra* la especie más importante en términos de abundancia numérica y *Halopteris* sp. el alga con los mayores porcentajes de colonización del sustrato rocoso submareal. Dado que las fluctuaciones temporales de los índices ecológicos se registraron tanto en la macrobiota de transectas próximas y lejanas del muelle en construcción, estos cambios son atribuibles a procesos naturales de mayor escala en el área de monitoreo que estarían incidiendo en la estructura comunitaria de la macrobiota.

1. INTRODUCCION

Durante la fase de construcción del Puerto en Punta Totoralillo, cuyo titular es Compañía Minera del Pacífico S.A. (CMP S.A.), eventualmente podrían generarse efectos ambientales sobre el ecosistema marino de punta Totoralillo, debido a la instalación de las obras marítimas y a las actividades complementarias que sustentan su construcción. En este sentido, y con objeto de resguardar el entorno marino de este sector costero, la Comisión Regional del Medio Ambiente de la Región de Atacama, mediante Resolución Exenta N°070 del 31 de agosto de 2005, ha solicitado al titular la adopción de un Programa de Vigilancia Ambiental (PVA) que contemple el seguimiento periódico de la condición ambiental de algunos componentes del medio marino.

En respuesta a este requerimiento, CMP S.A. proporciona a la autoridad ambiental este tercer informe de monitoreo que incluye las mediciones, interpretación de resultados y conclusiones correspondientes a la fase de construcción de este puerto marítimo que se está emplazando en punta Totoralillo (comuna de Caldera).

2. PROCEDIMIENTOS METODOLOGICOS

2.1. Area de monitoreo

La campaña de muestreo fue realizada desde el 12 de diciembre de 2007, en el área de monitoreo ubicada frente al borde costero norte de punta Totoralillo. Las actividades en terreno incluyeron mediciones directas, toma de muestras de agua, de sedimentos y de macrofauna, como así también la prospección de algas e invertebrados de los fondos submareales rocosos. En la Tabla 1 se indica la posición de las estaciones, mientras que en la Figura 1 se representa la red de estaciones de muestreo. Las actividades realizadas en el mar fueron previamente comunicadas por escrito a la autoridad marítima local (Capitanía de Puerto de Caldera).

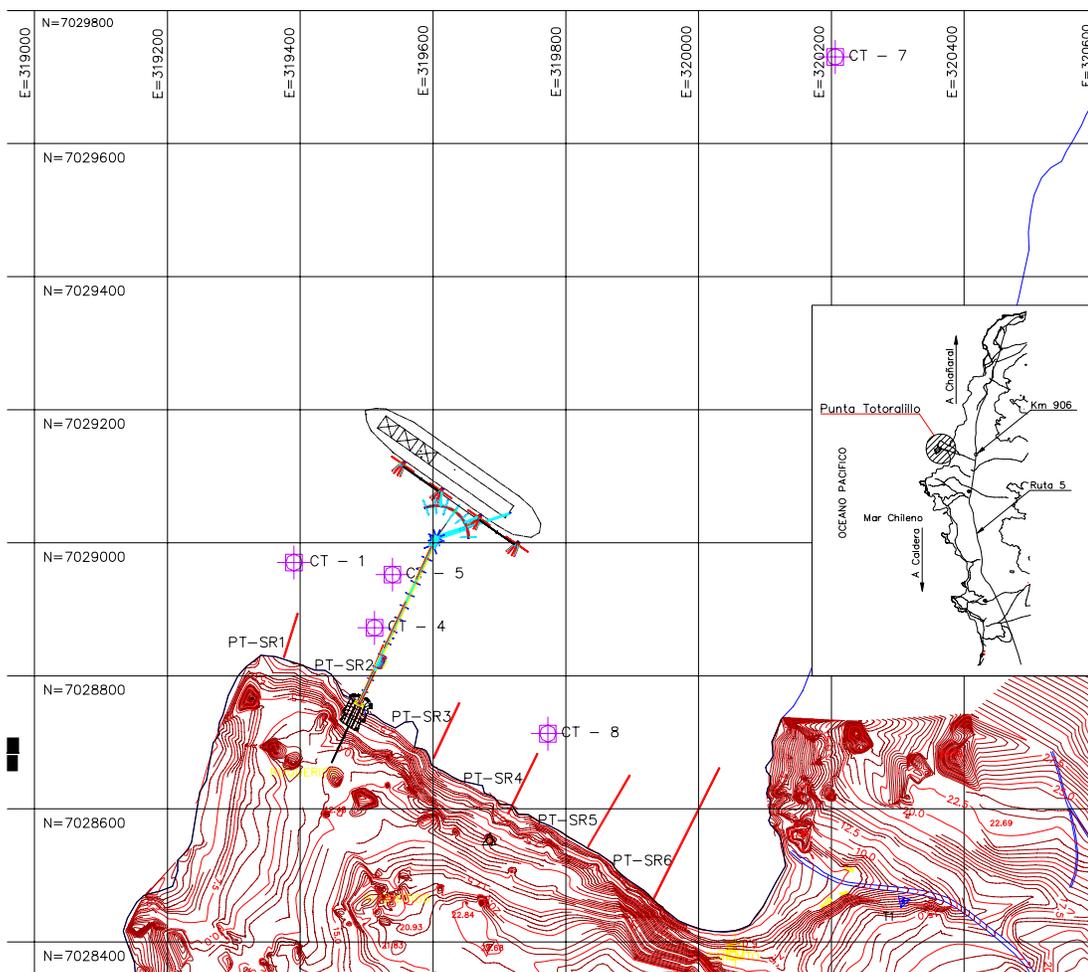


Figura 1. Ubicación de las estaciones de monitoreo (CT) de aguas, sedimentos, macrofauna submareal de fondos blandos y de las transectas (PT) del submareal rocoso. PVA Puerto en Punta Totoralillo, Región de Atacama.

Tabla 1. Posición de las estaciones bioceanográficas de la red de muestreo de columna de agua, sedimentos y macrofauna submareal de fondos blandos. PVA Puerto en Punta Totalillo, Región de Atacama. Diciembre 2007.

ESTACION	UTMN	UTME	Prof. (m)
CT – 1	7.028.969	319.391	10
CT – 4	7.028.872	319.512	12
CT – 5	7.028.952	319.539	22
CT – 7 ⁽¹⁾	7.029.730	320.206	21
CT – 8	7.028.713	319.773	10

(1) Estación referencial

Datum WGS84

2.2. Métodos

Cada una de las estaciones de monitoreo y de las transectas fueron posicionadas en terreno con asistencia de receptores satelitales (Garmin®) asistidos por el Sistema de Posicionamiento Global (GPS). Una vez localizada la estación de muestreo, se procedió a lanzar un boyarín para demarcar el punto y comenzar con las mediciones directas (temperatura) y recolección de muestras. Las muestras de agua fueron recolectadas desde dos estratos de profundidad: superficial (dentro del primer metro de profundidad) y fondo (a un metro del fondo marino), mediante el empleo de botellas oceanográficas tipo Niskin. Una vez a bordo, se procedió a separar un pequeño volumen para la medición directa de la concentración de oxígeno disuelto, mientras que la muestra de agua restante fue fraccionada en volúmenes acordes con los ensayos a realizar en condiciones de laboratorio. A continuación, las muestras fueron preservadas, almacenadas y transportadas al laboratorio de análisis (Laboratorio de Toxicología Humana y Ambiental – LdT-, Universidad de Playa Ancha, en Valparaíso).

Las muestras de sedimentos fueron recolectadas manualmente desde los primeros centímetros de la cubierta sedimentaria mediante buceo semiautónomo. A bordo de la embarcación, se procedió a su fraccionamiento en cantidades adecuadas para los distintos análisis de laboratorio. Las muestras envasadas y rotuladas fueron almacenadas en contenedores termoaislados y remitidas para su análisis a los laboratorios respectivos.

Para el muestreo de la macrofauna submareal de fondos blandos, se utilizó un aparato muestreador de tipo Emig-Lienhart, el cual operado por un buzo permite succionar la muestra de fondo marino contenida dentro de una cuadrícula demarcatoria de superficie estándar (0,1 m²). El material aspirado (detrito e

invertebrados) es retenido por una malla de 1 mm de abertura montada en el extremo distal del aparato de muestreo. Cada una de las tres réplicas recolectadas por estación fue fijada con formalina diluida al 5% en agua de mar, rotulada y envasada en una bolsa de polietileno de alta densidad en forma individual. En el laboratorio húmedo, las muestras fueron sometidas a un proceso de tamizado en húmedo con agua potable, separación, identificación, recuento y pesaje del material biológico.

La prospección de los fondos submareales rocosos se efectuó en base al reconocimiento y cuantificación *in situ* (abundancia numérica y cobertura) de algas e invertebrados (macrobiota) asentados a lo largo de seis transectas dispuestas de modo perpendicular a la línea de marea baja. Los procedimientos no fueron modificados respecto de monitoreos previos y se encuentran descritos en informes entregados con anterioridad. En la Tablas 2 a 5 se sintetiza los procedimientos de terreno y laboratorio aplicados para la caracterización de cada una de las cuatro matrices ambientales marinas.

Tabla 2. Identificación de variables, envase, metodología de análisis aplicada para la caracterización física y química y de la columna de agua marina. PVA Puerto en Punta Totoralillo, CMP S.A.

Variable	Envase	Metodología	Límite de detección
01. Temperatura	No requiere	Perfilador de temperatura	0,01°C
02. Oxígeno disuelto	No requiere	Oxigenómetro	0,1 mL/L
03. Sólidos suspendidos	BPE-AD	SM 2540-D	0,1 mg/L
04. Hidrocarburos totales	BVA	Fluorimetría	0,01 µg/L
05. Arsénico disuelto	BPE-AD	SM 3113-B	0,5 µg/L
06. Cadmio disuelto	BPE-AD	Polarografía	0,5 µg/L
07. Cobre disuelto	BPE-AD	Polarografía	0,2 µg/L
08. Cromo disuelto	BPE-AD	SM 3113-B	0,2 µg/L
09. Cromo VI disuelto	BPE-AD	SM 3500 Cr-D	5,0 µg/L
10. Hierro disuelto	BPE-AD	SM 3113-B	0,2 µg/L
11. Mercurio disuelto	BPE-AD	SM 3500 Hg 3112B	1,0 µg/L
12. Plomo disuelto	BPE-AD	Polarografía	0,5 µg/L
13. Zinc disuelto	BPE-AD	Polarografía	0,5 µg/L

BPE-AD. Bidón de polietileno de alta densidad; BVA: botella de vidrio ámbar; SM: Standard Methods.

Tabla 3. Identificación de variables, envase y metodología de análisis aplicada para la caracterización granulométrica y química de los sedimentos submareales. PVA Puerto en Punta Totalillo, CMP S.A.

Variable	Envase	Metodología	Límite detección
01. Granulometría	BPE-AD	Análisis granulométrico según Folk	1 phi
02. Carbono orgánico total	BPE-AD	INIA	0,1%
03. Hidrocarburos totales	BPE-AD	SM 5520F	1 µg/g
04. Arsénico	BPE-AD	EPA 7062	0,1 µg/g
05. Cadmio	BPE-AD	EPA 7130	0,2 µg/g
06. Cobre	BPE-AD	EPA 7210	1,0 µg/g
07. Cromo	BPE-AD	EPA 3050/SM 3111B	1,1 µg/g
08. Cromo VI	BPE-AD	EPA 3050/SM 3111B	0,5 µg/g
09. Hierro	BPE-AD	EPA 3050B/ SM 3111B	1,5 µg/g
10. Mercurio	BPE-AD	EPA 7471A	0,5 µg/g
11. Plomo	BPE-AD	EPA 7420	1,5 µg/g
12. Zinc	BPE-AD	EPA 7950	1,5 µg/g

BPE-AD. Bolsa de polietileno de alta densidad; SM: Standard Methods.

Tabla 4. Procedimiento de muestreo, procesamiento y análisis de la macrofauna bentónica de fondos blandos. PVA Punta en Totalillo, CMP S.A.

Tipo de comunidad	Muestreo	Laboratorio	Análisis de datos
Macrofauna submareal de fondos blandos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Recolector de muestra: aparato de succión tipo Emig-Lienhart ▪ Área de muestreo: 0,1 m² ▪ Réplicas: 3 por estación ▪ Preservación: formalina (5%) ▪ Envase: bolsa de polietileno HD ▪ Rotulación: etiqueta codificada impermeable ▪ Transporte: contenedor termoaislado 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Limpieza de muestra: aspersión con agua potable ▪ Tamiz de limpieza: 1 mm de abertura. ▪ Conservación de muestras: alcohol (70%) ▪ Sorting: lupa de baja magnificación ▪ Identificación: a la mayor resolución taxonómica posible, con lupa de alta magnificación ▪ Recuento: ejemplares completos o extremos cefálicos ▪ Pesaje: húmedo en balanza analítica ($\pm 0,01$ g) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Datos: matriz de doble entrada para abundancia numérica y biomasa (réplicas vs taxa) ▪ Biomasa: aplicación de factores de conversión para peso seco libre de cenizas ▪ Procesamiento: cálculo de índices ecológicos uni y multivariados mediante Primer[®] v6 (Clarke and Gorley, 2006).

Tabla 5. Procedimiento de muestreo, procesamiento y análisis de la macrobiota de fondos submareales rocosos. PVA Punta en Totalillo, CMP S.A.

Tipo de comunidad	Muestreo	Laboratorio	Análisis de datos
Macrofauna submareal de fondos rocosos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Transectas: 6 perpendiculares a la línea de marea baja y equidistantes entre si ▪ Estaciones: a intervalos de 10 m hasta el límite inferior de los fondos rocosos ▪ Área de muestreo: 1 m² ▪ Réplicas: 2 por estación 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Identificación: de ejemplares no reconocibles en terreno 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Procesamiento: cálculo de índices ecológicos

2.3. Contrastación con referentes de calidad ambiental

Para diagnosticar el estado actual de las aguas marinas en el área de monitoreo, las mediciones de los distintos parámetros fueron comparados con los Valores Máximos de Concentración (VMC) establecidos en la Tabla N°3 de la Guía CONAMA (2004). Cabe señalar que si bien este es un documento oficial, sólo proporciona valores de calidad referenciales y por lo tanto no constituyen niveles normativos.

Debido a que nuestro país aún no dispone de estándares, criterios o directrices que regulen los contenidos máximos de sustancias químicas presentes en sedimentos marinos, para estimar la calidad ambiental de los sedimentos submareales del área de estudio, las mediciones fueron contrastadas con criterios extranjeros utilizados como referentes ambientales en Estados Unidos y Canadá.

Enfoque de Nivel de Efectos ("Criterio Florida¹"). Originalmente desarrollado en Estados Unidos por Long and Morgan (1990). En base a información química y biológica relacionada (datos co-ocurrentes), se elabora una base de datos para establecer una asociación entre la concentración de cada sustancia química cuantificada en los sedimentos de una estación y algún efecto biológico adverso (a nivel celular, poblacional, comunitario, entre otros) observado en el mismo punto de recolección. Mediante este procedimiento se calcula dos valores de calidad ambiental: Threshold Effect Level (TEL) que representa la concentración bajo la cual raramente ocurrirían efectos biológicos adversos y el Probable Effect Level (PEL) que define el nivel sobre el cual se espera que ocurran frecuentemente efectos biológicos dañinos.

Enfoque de Rango de Efectos ("Criterio NOAA²"). Mediante esta aproximación se deriva dos valores límite: Effects Range Low (ERL) y Effects Range Median (ERM). Ambos valores, que representan el percentil 10 y 50 respectivamente de una distribución, se derivan de resultados conjuntos de bioensayos de toxicidad de sedimentos y análisis de comunidades bentónicas.

Umbral de Efectos Aparentes (Apparent Effects Threshold Approach, AET). Este tercer enfoque fue desarrollado por Tetra Tech en 1986. Se basa en un planteamiento estadístico que busca establecer relaciones cuantitativas entre contaminantes específicos presentes en los sedimentos y los efectos biológicos que se observan ya sea bajo condiciones naturales o de laboratorio. La idea es hallar la concentración de un contaminante en el sedimento, sobre cuyo valor siempre se observe efectos biológicos negativos significativos.

2.4. Fluctuación temporal de los parámetros

Para la representación de la serie histórica para cada parámetro, en los gráficos el punto representa el valor promedio de las mediciones, mientras que las líneas verticales asociadas corresponden al rango (mínimo y máximo). En cada gráfico, las fluctuaciones se despliegan en forma separada para la estación referencial (CT-7) de las cuatro estaciones restantes denominadas "expuestas". En el Anexo 6.1 se proporciona un cronograma de las campañas de muestreo efectuadas hasta el presente.

¹ Este enfoque fue desarrollado por el Florida Department of Environmental Protection de Estados Unidos.

² Este enfoque fue desarrollado por la National Oceanic and Atmospheric Administration de Estados Unidos.

3. INTERPRETACION DE RESULTADOS

En este acápite se presenta los resultados sistematizados por tipo de matriz ambiental. Los datos originales se presentan tabulados y en forma complementaria se despliegan gráficamente para revelar patrones espaciales o tendencias en el tiempo. Cuando las mediciones se encuentran bajo el límite de detección, las barras de los gráficos aparecen en blanco. En el Anexo 6.2.1 se presenta un resumen de las mediciones efectuadas para la columna de agua.

En cuanto a la presentación de la información, para cada una de las matrices ambientales (acuosa, sedimentaria y biótica) primeramente se presenta un análisis de los resultados, seguido de una comparación de las mediciones efectuadas en aguas y sedimentos con estándares, criterios o directrices nacionales (o en su defecto con referentes extranjeros) y finalmente se contrasta los resultados de la presente campaña con otros similares reportados en estudios efectuados para la misma área de estudio.

Para apreciar el comportamiento que ha tenido cada variable en el tiempo, en las series de tiempo se representa por separado la tendencia de la estación referencial (CT-7) y de las estaciones expuestas (CT-1, CT-4, CT-5 y CT-8). En este último caso (estaciones expuestas), para cada campaña de monitoreo se representa el valor promedio (PROM) del parámetro junto con una medida de dispersión (mínimo y máximo).

3.1. Columna de agua

3.1.1. Temperatura

La temperatura superficial del mar registró una variación de 2,28°C (Tabla 6). Considerando que en el área de monitoreo no existen aportes térmicos antrópicos, la variabilidad de temperatura registrada es de origen natural y en parte debida a la componente horaria en la ejecución de las mediciones. Salvo por la estratificación de la columna de agua en CT-8, en las cuatro estaciones restantes los perfiles revelan condiciones térmicas relativamente homogéneas desde la superficie al fondo (Figura 2). En las estaciones más profundas (CT-5 y CT-7), si bien se observa la presencia de aguas comparativamente más frías en profundidad, la diferencia térmica no supera el valor de 1°C entre la superficie y el fondo.

Tabla 6. Valores de temperatura (°C) de la columna de agua. Punta Totoralillo, Región de Atacama. Diciembre 2007.

Prof. (m)	CT-1	CT-4	CT-5	CT-7	CT-8
0	15,68	13,40	14,33	13,46	14,08
1	15,60	13,35	14,23	13,36	14,04
2	15,58	13,31	14,19	13,33	14,03
3	15,54	13,32	14,12	13,31	14,01
4	15,46	13,34	14,08	13,29	14,01
5	15,46	13,34	14,04	13,28	13,68
6	15,40	13,34	14,00	13,26	13,49
7	15,35	13,33	13,97	13,23	13,47
8	15,26	13,29	13,95	13,19	13,46
9	15,29	13,26	13,91	13,13	13,44
10	15,26	13,27	13,85	13,08	13,44
11	--	13,26	13,77	13,02	--
12	--	13,17	13,61	12,98	--
13	--	--	13,54	12,93	--
14	--	--	13,49	12,91	--
15	--	--	13,44	12,86	--
16	--	--	13,42	12,80	--
17	--	--	13,42	12,67	--
18	--	--	13,34	12,54	--
19	--	--	13,34	12,45	--
20	--	--	13,33	12,40	--
21	--	--	13,32	13,46	--
22	--	--	13,31	13,36	--

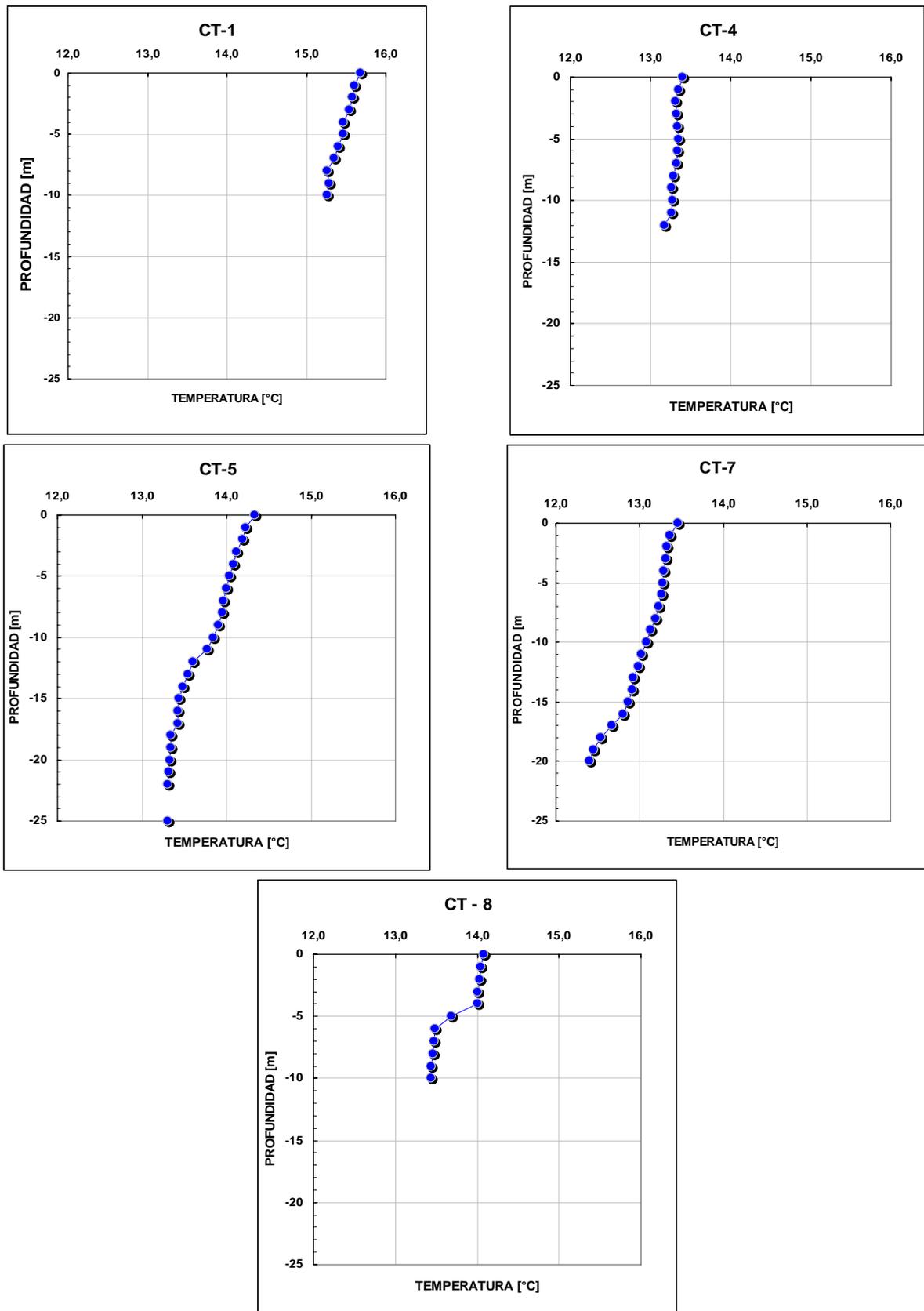


Figura 2. Perfiles de temperatura de la columna de agua. Punta Totalillo, Región de Atacama. Diciembre 2007.

Contrastación con Guía CONAMA

En relación con la temperatura del mar, la Guía CONAMA (2004) no establece un valor específico, sino que fija rangos de variación térmica “respecto del rango natural presente en el área de medición”. De este modo, se consideró como referente térmico la temperatura superficial del mar (TSM) consignada en los registros históricos que mantiene en línea el Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada (SHOA; www.shoa.cl).

Caldera es la localidad más próxima al área de estudio que cuenta con registros de TSM. Para Diciembre (mes en que se efectuó la campaña), el SHOA indica una TSM promedio histórica de 14,2°C. Considerando el valor histórico (14,2°C), las mediciones de temperatura en las aguas superficiales del área de monitoreo (punta Totalillo) mostraron una variación que fluctuó entre -0,80°C y +1,48°C (Tabla 7). De allí que las aguas de todas las estaciones del área de estudio tipifiquen en la Clase de Calidad 1.

Tabla 7. Comparación de la TSM registrada en el área de monitoreo (punta Totalillo) respecto de la TSM señalada para Caldera por el SHOA. La columna “Diferencia” indica la variación térmica respecto de la TSM SHOA, mientras que la columna “Clase” denota la clase de calidad en términos de lo señalado en la Guía CONAMA (2004). PVA Puerto en Punta Totalillo, Región de Atacama. Diciembre 2007.

Estación	TSM (°C)	TSM SHOA (°C)	Diferencia (°C)	Clase ⁽¹⁾	Tipificación CONAMA
CT-1	15,68	14,2	+1,48	1	Muy buena calidad
CT-4	13,40	14,2	-0,80	1	Muy buena calidad
CT-5	14,33	14,2	+0,13	1	Muy buena calidad
CT-7	13,46	14,2	-0,74	1	Muy buena calidad
CT-8	14,08	14,2	-0,12	1	Muy buena calidad

TSM: temperatura superficial del mar

(1) D2: la variación no debe ser mayor a 2°C (temperatura promedio mensual $\pm 2^\circ\text{C}$)

D3: la variación no debe ser mayor a 3°C (temperatura promedio mensual $\pm 3^\circ\text{C}$)

Fluctuación temporal de la temperatura promedio en la columna de agua

En la presente campaña, la temperatura promedio del mar mostró un aumento respecto del monitoreo anterior realizado en julio de 2007. Dicha diferencia obedece fundamentalmente a la componente estacional, ya que la presente campaña fue realizada bajo condiciones de primavera tardía; mientras que la anterior fue efectuada en pleno invierno. Según lo señalado por la CPPS (2007), durante el mes de diciembre (2007), “la TSM se caracterizó por presentar una tendencia negativa en los valores de anomalías, lo que implicó una intensificación en la condición fría observada durante los últimos meses en la costa norte y centro-sur del país. Específicamente, se registraron valores de anomalías negativas entre –

1,0 y $-2,5$ °C, presentándose las mayores diferencias en las estaciones de Arica ($-2,5$ °C) y Antofagasta ($-2,0$ °C)".

Las mediciones efectuadas en punta Totalillo reflejan parcialmente esta situación, ya que como se aprecia en la Tabla 7, del total de estaciones en tres de ellas se registró valores de TSM comparativamente inferiores al registro histórico (diferencia negativa).

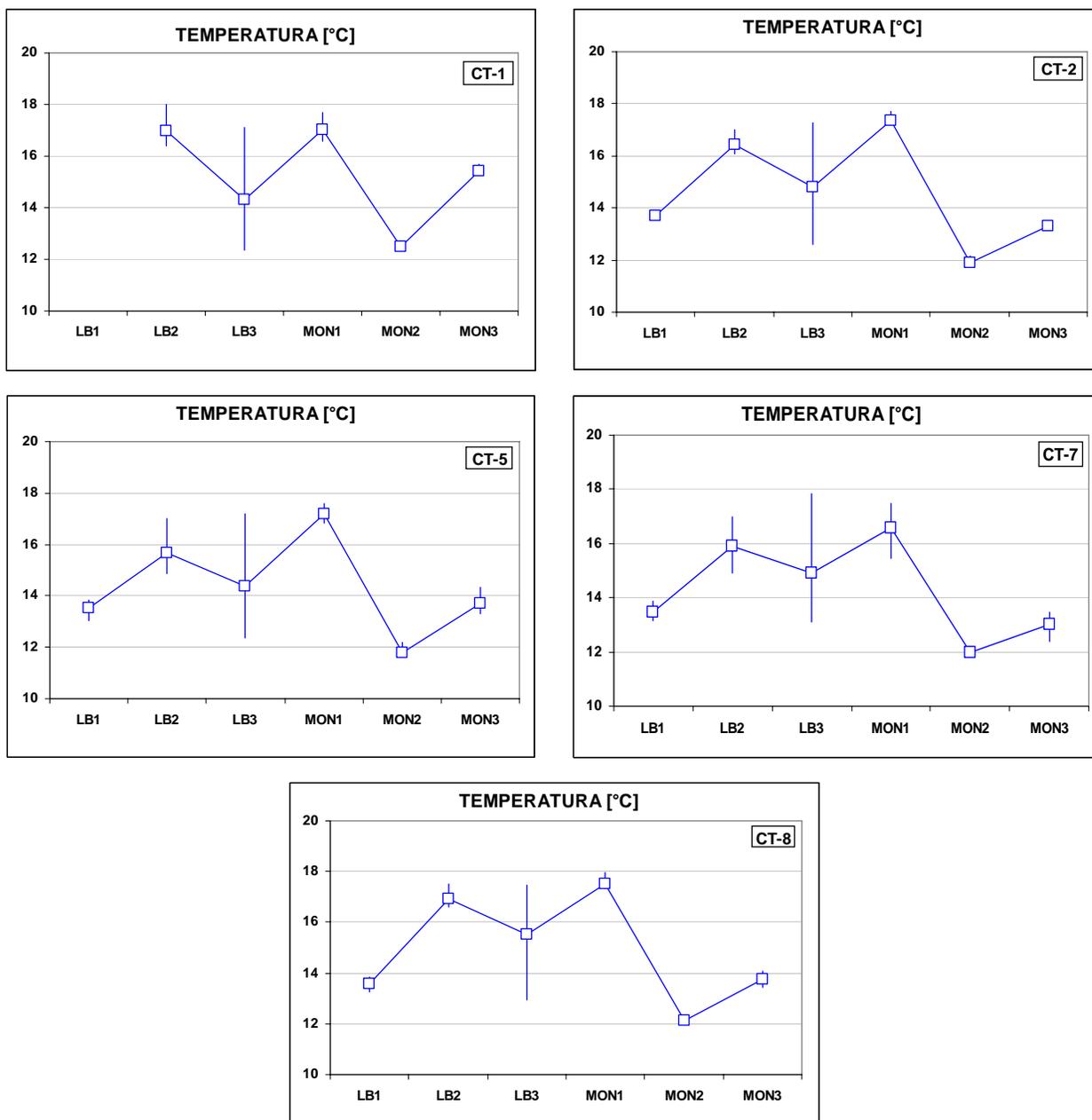


Figura 3. Fluctuación histórica de la temperatura de la columna de agua entre las campañas de línea base (LB) y los monitoreos (MON) efectuados a la fecha. PVA Puerto en Punta Totalillo, Región de Atacama. 2004-2007.

3.1.2. Oxígeno disuelto

Los niveles de oxigenación mostraron señales de una adecuada ventilación en la columna de agua, incluso en los estratos más profundos (Tabla 8). La concentración de oxígeno disuelto en superficie se mantuvo sobre los 5 ml/L, mientras que en profundidad aunque los niveles fueron menores nunca descendieron bajo los 4 ml/L (Figura 4). En superficie, los valores más altos estuvieron asociados a las estaciones próximas al muelle (CT-1, CT-4 y CT-5). En profundidad, los niveles más altos de oxígeno disuelto se verificaron en las estaciones CT-1, CT-7 y CT-8, con diferencias mínimas entre sí.

Tabla 8. Concentración de oxígeno disuelto (ml/L) en el estrato superficial (Sup) y de fondo (Fon) de la columna de agua. Punta Totalillo, Región de Atacama. Diciembre 2007.

Estación	OXIGENO DISUELTO [ml/L]	
	Sup	Fon
CT-1	5,60	5,04
CT-4	5,32	4,27
CT-5	5,32	4,13
CT-7	5,11	4,90
CT-8	5,18	4,90

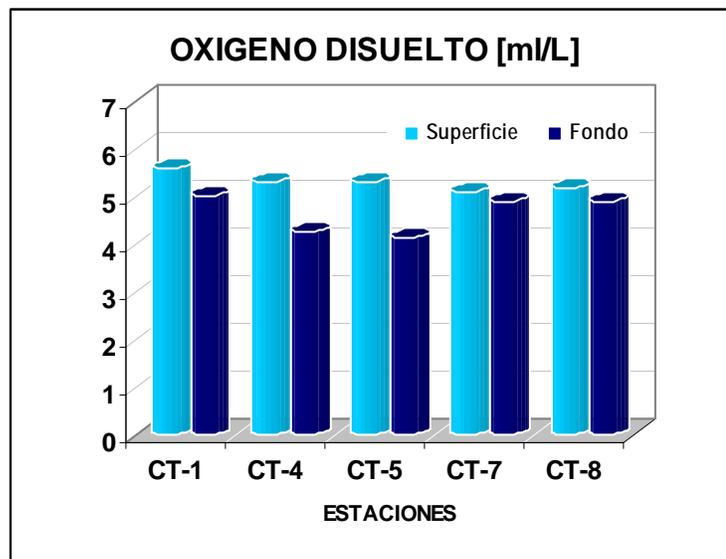


Figura 4. Distribución de la concentración de oxígeno disuelto en la columna de agua. Punta Totalillo, Región de Atacama. Diciembre 2007.

Contrastación con Guía CONAMA

En la Guía CONAMA sólo se establece valores máximos para el porcentaje de saturación de oxígeno disuelto, no así para las concentraciones de este gas señaladas anteriormente.

Fluctuación temporal de la concentración promedio de oxígeno disuelto en la columna de agua

La concentración media de oxígeno disuelto no mostró diferencias apreciables entre la columna de agua de la estación referencial y las cuatro restantes (Figura 5). Este patrón sugiere un comportamiento similar de este gas en ambos sectores del área de monitoreo. En cuanto al comportamiento histórico, se aprecia un aumento de la concentración promedio respecto de la campaña anterior. Así también, se observa que los niveles de oxigenación registrados durante los tres monitoreos efectuados siempre han sido mayores en comparación con los reportados en las campañas de línea base.

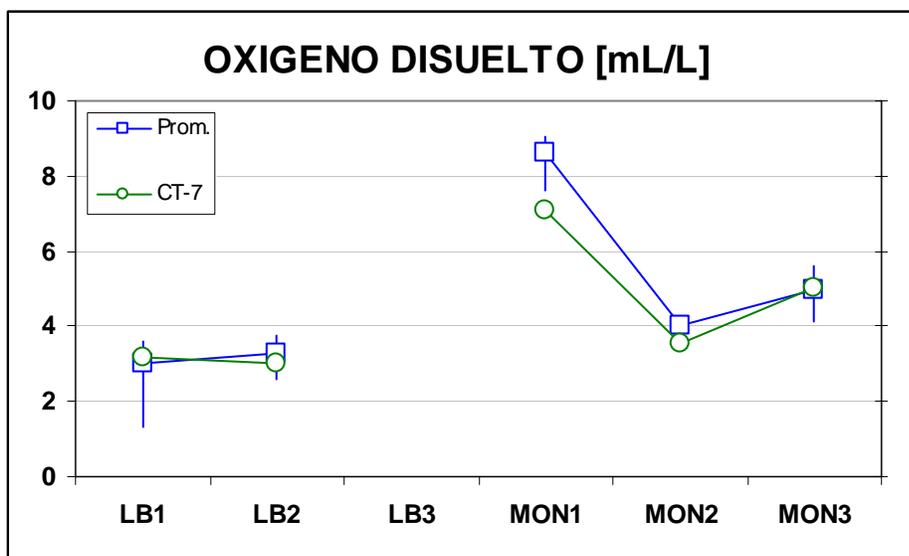


Figura 5. Fluctuación histórica de la concentración de oxígeno disuelto en la columna de agua entre las campañas de línea base (LB) y los monitoreos (MON) efectuados a la fecha. PVA Puerto en Punta Totalillo, Región de Atacama. 2004-2007.

3.1.3. Sólidos suspendidos

Los valores de sólidos suspendidos no mostraron mayores variaciones dentro del área de monitoreo: en superficie el rango de variación fluctuó entre 25,9 y 30,5 mg/L, mientras que en profundidad fue ligeramente mayor (24,5 y 29,8 mg/L). La distribución espacial de las concentraciones tampoco mostró

diferencias importantes dentro del área de monitoreo; sólo en las estaciones CT-1 y CT-4 se apreció una leve baja en las concentraciones que podría estar vinculada con la presencia mayoritaria de fondos rocosos en el lecho marino (Tabla 9). La distribución vertical de sólidos suspendidos mostró mayoritariamente mayores concentraciones asociadas al estrato superficial de la columna de agua (Figura 6).

Tabla 9. Concentración de sólidos suspendidos (mg/L) en el estrato superficial (Sup) y de fondo (Fon) de la columna de agua. Punta Totalillo, Región de Atacama. Diciembre 2007.

Estación	SOL. SUSPENDIDOS [mg/L]	
	Sup	Fon
CT-1	28,7	24,7
CT-4	25,9	24,5
CT-5	30,5	29,8
CT-7	28,2	28,4
CT-8	30,2	25,8

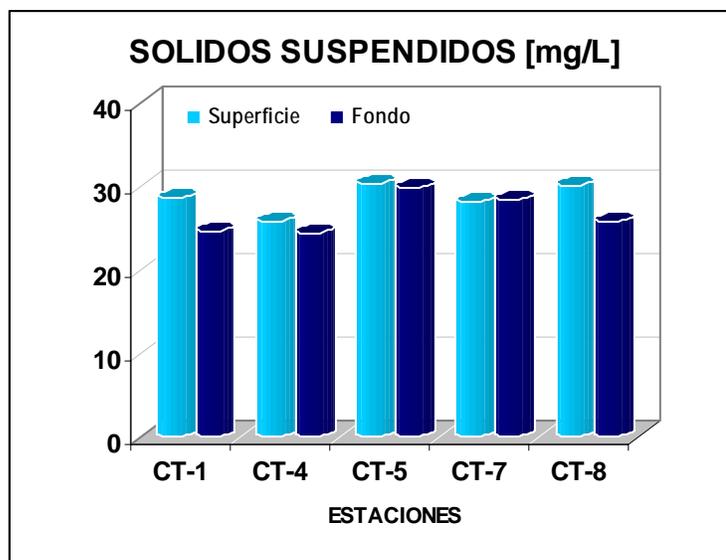


Figura 6. Distribución de los sólidos suspendidos en la columna de agua. Punta Totalillo, Región de Atacama. Diciembre 2007.

Contrastación con Guía CONAMA

Las mediciones de sólidos suspendidos efectuadas para el área de monitoreo permiten tipificar esta agua principalmente como de "buena calidad" (Tabla 10). Sólo en el estrato de fondo de CT-1 la calidad respecto de este parámetro fue comparativamente mejor ("muy buena calidad").

Tabla 10. Tipificación por Clase de Calidad (CONAMA, 2004) de las aguas marinas en base a las mediciones de sólidos suspendidos. Punta Totoralillo, Región de Atacama. Diciembre 2007.

ESTRATO	CT-1	CT-4	CT-5	CT-7	CT-8
Superficie	②	②	②	②	②
Fondo	①	②	②	②	②

Fluctuación temporal de la concentración promedio de sólidos suspendidos en la columna de agua

Respecto del monitoreo anterior, la concentración media de sólidos suspendidos mostró un descenso tanto en las “estaciones expuestas” como en la estación referencial (Figura 7). Desde una perspectiva histórica, los valores reportados para la presente campaña están dentro del rango observado en oportunidades anteriores para el área de monitoreo. En este sentido, la matriz acuosa no muestra señales anómalas que sugieran condiciones distintas a las observadas durante el transcurso de este PVA.

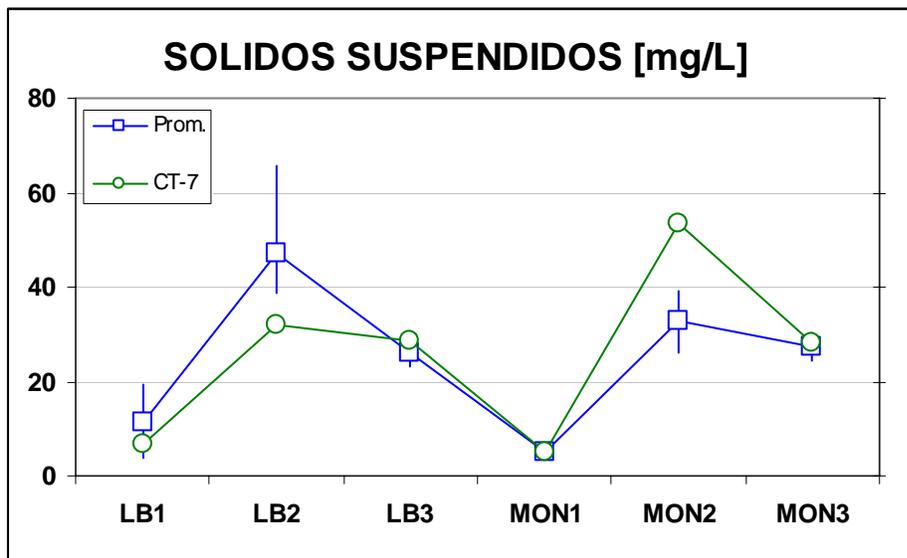


Figura 7. Fluctuación histórica de la concentración de sólidos suspendidos en la columna de agua entre las campañas de línea base (LB) y los monitoreos (MON) efectuados a la fecha. PVA Puerto en Punta Totoralillo, Región de Atacama. 2004-2007.

3.1.4. Hidrocarburos totales

Las concentraciones de hidrocarburos totales mostraron una variación en dos órdenes de magnitud, con valores extremos de 0,1 y 8,8 ug/L (Tabla 11). En el campo vertical, las mediciones no muestran un patrón definido, es decir, mínimos o máximos asociados con un estrato de profundidad en particular (Figura 8). La concentración máxima de hidrocarburos se registró en el estrato superficial de CT-8. En las estaciones cercanas al muelle (CT-1, CT-4 y CT-5), los niveles de hidrocarburos fueron similares a los registrados en la estación referencial (CT-7). Particularmente, la mayor concentración de hidrocarburos registrada en el estrato superficial de CT-8 podría estar asociada con el tráfico de embarcaciones menores en el área.

Tabla 11. Concentración de hidrocarburos totales (ug/L) en estrato superficial (Sup) y de fondo (Fon) de la columna de agua. Punta Totalillo, Región de Atacama. Diciembre 2007.

Estación	HIDROCARBUROS TOT. [ug/L]	
	Sup	Fon
CT-1	2,6	3,7
CT-4	-- (1)	1,3
CT-5	1,5	0,1
CT-7	1,4	3,4
CT-8	8,8	0,1

(1) Muestra inutilizada durante transporte a laboratorio

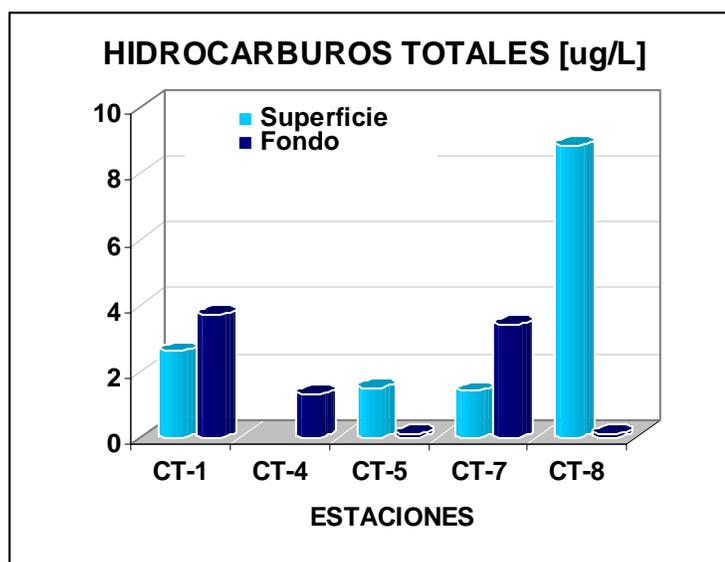


Figura 8. Distribución de hidrocarburos totales en la columna de agua. Punta Totalillo, Región de Atacama. Diciembre 2007.

Contrastación con Guía CONAMA

De acuerdo con los resultados obtenidos, las aguas del área de monitoreo presentan para la presente campaña una condición de “muy buena calidad” (Tabla 12).

Tabla 12. Tipificación por Clase de Calidad (CONAMA, 2004) de las aguas marinas en base a las mediciones de hidrocarburos totales. Punta Totalillo, Región de Atacama. Diciembre 2007.

ESTRATO	CT-1	CT-4	CT-5	CT-7	CT-8
Superficie	①	①	①	①	①
Fondo	①	①	①	①	①

Fluctuación temporal de la concentración promedio de hidrocarburos totales en la columna de agua

La concentración media de hidrocarburos totales fue similar entre la estación referencial y las “estaciones expuestas” (Figura 9). En términos generales, los niveles mostraron una ligera disminución con respecto a los reportados para la campaña anterior y están dentro de la variabilidad observada durante las campañas efectuadas en la línea base. En síntesis, los bajos valores de las mediciones en las aguas del área de monitoreo no sugieren aportes de hidrocarburos a esta matriz.

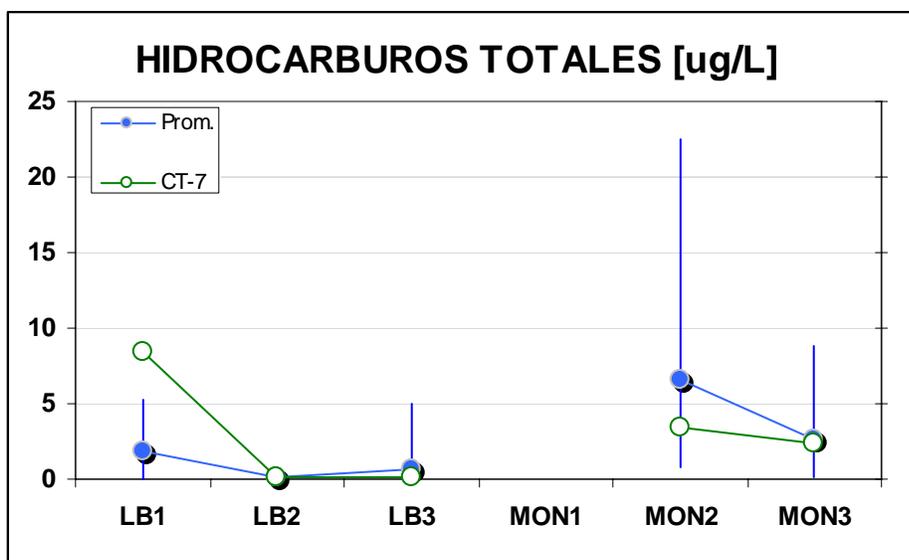


Figura 9. Fluctuación histórica de la concentración de hidrocarburos totales en la columna de agua entre las campañas de línea base (LB) y los monitoreos (MON) efectuados a la fecha. Los resultados del Monitoreo 1 no se encuentran representados debido a todas las mediciones estuvieron bajo límite de detección y éste, además, fue muy alto (10 mg/L). PVA Puerto en Punta Totalillo, Región de Atacama. 2004-2007.

3.1.5. Arsénico disuelto

En ninguna de las muestras analizadas se detectó la presencia cuantificable de arsénico disuelto. Como se indica en la Tabla 13 y en la Figura 10, en todos los casos las mediciones estuvieron bajo el límite de detección (6 ug/L).

Tabla 13. Concentración de arsénico disuelto (µg/L) en el estrato superficial (Sup) y de fondo (Fon) de la columna de agua. Punta Totalillo, Región de Atacama. Diciembre 2007.

Estación	ARSENICO DISUELTO [µg/L]	
	Sup	Fon
CT-1	< 6	< 6
CT-4	< 6	< 6
CT-5	< 6	< 6
CT-7	< 6	< 6
CT-8	< 6	< 6

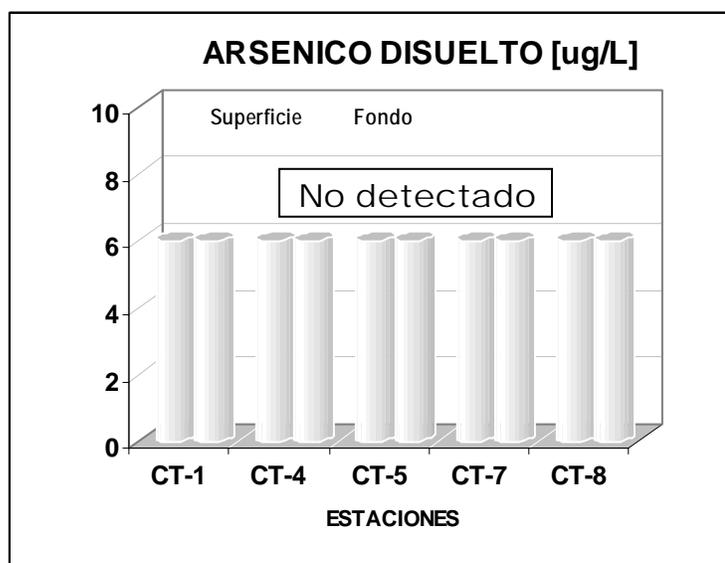


Figura 10. Distribución de la concentración de arsénico disuelto en la columna de agua. Las columnas sólo indican el valor del límite de detección. Punta Totalillo, Región de Atacama. Diciembre 2007.

Contrastación con Guía CONAMA

Considerando el valor de límite de detección (6 ug/L), es posible señalar que respecto de este parámetro las aguas del área de monitoreo tipifican como de "muy buena calidad" es decir en Clase de Calidad 1 (Tabla 14).

Tabla 14. Tipificación por Clase de Calidad (CONAMA, 2004) de las aguas marinas en base a las mediciones de arsénico disuelto. Punta Totalillo, Región de Atacama. Diciembre 2007.

ESTRATO	CT-1	CT-4	CT-5	CT-7	CT-8
Superficie	①	①	①	①	①
Fondo	①	①	①	①	①

Fluctuación temporal de la concentración promedio de arsénico disuelto en la columna de agua

La condición del arsénico disuelto fue homogénea en toda el área de monitoreo, ya que en todas las estaciones las mediciones fueron inferiores al límite de detección. De allí que no se presentó diferencias entre la estación referencial y las estaciones expuestas (Figura 11). En términos históricos, el arsénico disuelto se mantiene dentro del rango de variación exhibido durante el transcurso de este PVA.

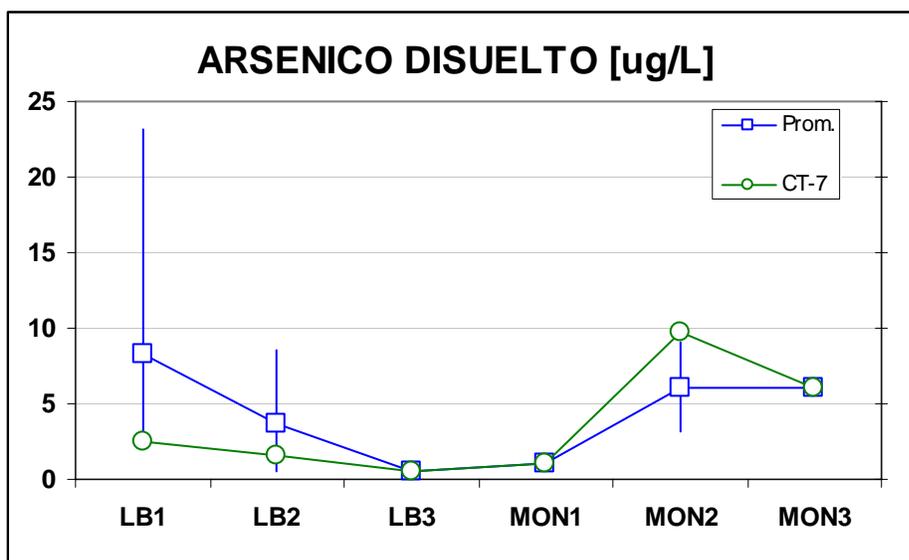


Figura 11. Fluctuación histórica de la concentración de arsénico disuelto en la columna de agua entre las campañas de línea base (LB) y los monitoreos (MON) efectuados a la fecha. PVA Puerto en Punta Totalillo, Región de Atacama. 2004-2007.

3.1.6. Cadmio disuelto

En esta tercera campaña de monitoreo no fue detectada la presencia de cadmio disuelto en las aguas del área de monitoreo (Tabla 15 y Figura 12). En todos los casos, las mediciones efectuadas presentaron valores bajo el límite de detección (0,5 µg/L).

Tabla 15. Concentración de cadmio disuelto (µg/L) en el estrato superficial (Sup) y de fondo (Fon) de la columna de agua. Punta Totalillo, Región de Atacama. Diciembre 2007.

Estación	CADMIO DISUELTO [µg/L]	
	Sup	Fon
CT-1	< 0,5	< 0,5
CT-4	< 0,5	< 0,5
CT-5	< 0,5	< 0,5
CT-7	< 0,5	< 0,5
CT-8	< 0,5	< 0,5

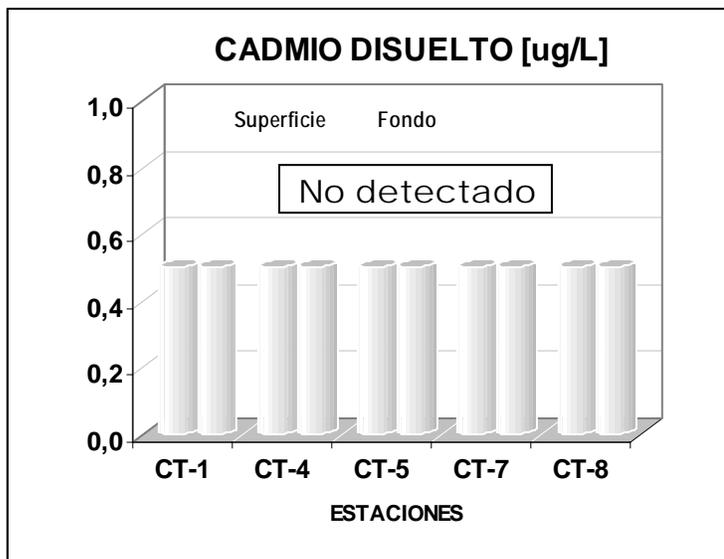


Figura 12. Distribución espacial de la concentración de cadmio disuelto en la columna de agua. Las columnas sólo indican el valor del límite de detección. Punta Totalillo, Región de Atacama. Diciembre 2007.

Contrastación con Guía CONAMA

Considerando que todas las mediciones efectuadas estuvieron bajo el límite de detección (0,5 µg/L) y el límite de la Clase de Calidad 1 corresponde a < 5 µg/L, se desprende que sin excepción las aguas del área de monitoreo tipifican como de "muy buena calidad" (Tabla 16).

Tabla 16. Tipificación por Clase de Calidad (CONAMA, 2004) de las aguas marinas en base a las mediciones de cadmio disuelto. Punta Totalillo, Región de Atacama. Diciembre 2007.

ESTRATO	CT-1	CT-4	CT-5	CT-7	CT-8
Superficie	①	①	①	①	①
Fondo	①	①	①	①	①

Fluctuación temporal de la concentración de cadmio disuelto en la columna de agua

Los niveles de cadmio disuelto no han experimentado variaciones desde que se inició su seguimiento ambiental (Figura 13). Invariablemente, los registros históricos demuestran que la presencia de cadmio disuelto se ha mantenido analíticamente indetectable en la columna de agua (Figura 13).

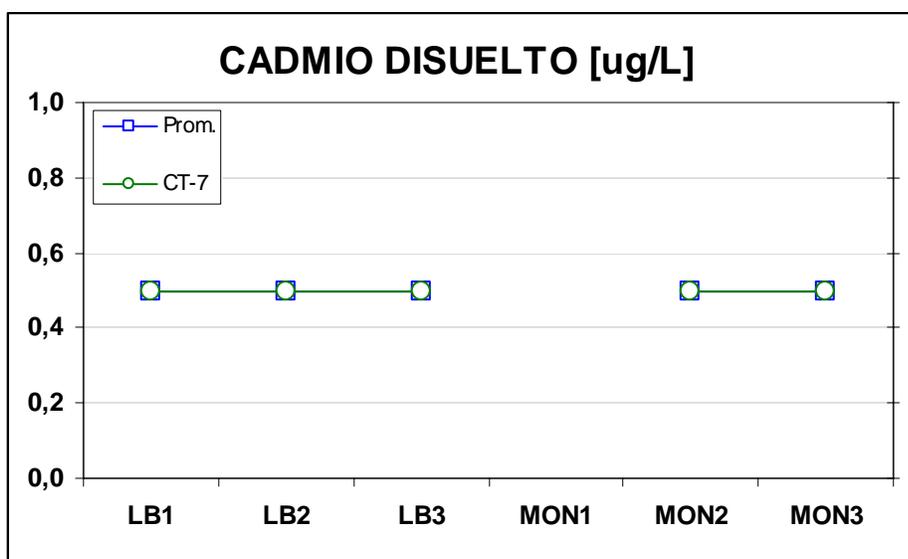


Figura 13. Fluctuación histórica de la concentración de cadmio disuelto en la columna de agua entre las campañas de línea base (LB) y los monitoreos (MON) efectuados a la fecha. Los puntos sólo representan valores de los límites de detección. No se grafica mediciones para el Monitoreo 1 ya que el límite de detección es demasiado alto (10 µg/L). PVA Puerto en Punta Totalillo, Región de Atacama. 2004-2007.

3.1.7. Cobre disuelto

La concentración de cobre disuelto mostró una variación entre 3,6 y 15,7 µg/L (Tabla 17), registrándose los valores más altos en las estaciones CT-1, CT-4 y CT-5, de preferencia asociados con las aguas de fondo (Figura 14). En comparación con la estación referencial, en la mayoría de las estaciones expuestas se observó valores comparativamente mayores; sólo en los estratos de fondo de CT-1 y CT-8 se registró un patrón distinto.

Tabla 17. Concentración de cobre disuelto ($\mu\text{g/L}$) en el estrato superficial (Sup) y de fondo (Fon) de la columna de agua. Punta Totalillo, Región de Atacama. Diciembre 2007.

Estación	COBRE DISUELTO [$\mu\text{g/L}$]	
	Sup	Fon
CT-1	11,7	3,6
CT-4	5,8	15,7
CT-5	6,5	11,4
CT-7	3,9	8,1
CT-8	8,2	3,8

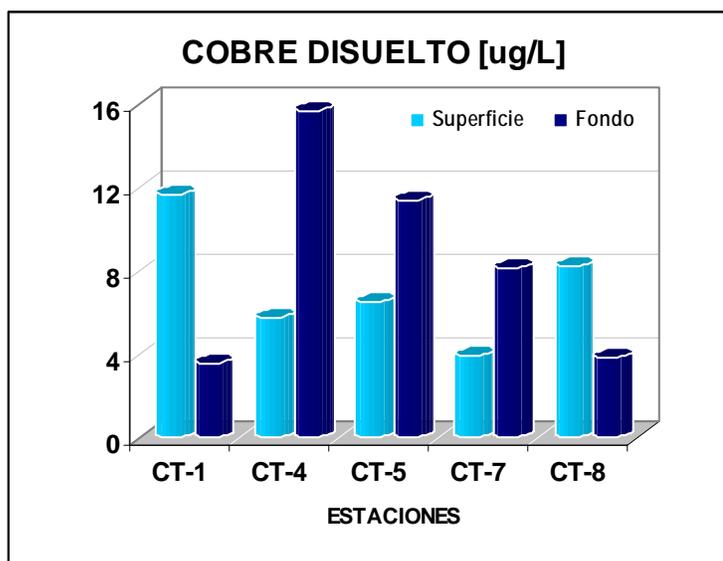


Figura 14. Distribución espacial de la concentración de cobre disuelto en la columna de agua. Punta Totalillo, Región de Atacama. Diciembre 2007.

Contrastación con Guía CONAMA

En contraste con los valores señalados en la Guía CONAMA (2004), las aguas del área de monitoreo tipifican en dos clases de calidad: mayoritariamente como de “muy buena calidad” y en menor proporción como “buena calidad” (Tabla 18).

Tabla 18. Tipificación por Clase de Calidad (CONAMA, 2004) de las aguas marinas en base a las mediciones de cobre disuelto. Punta Totalillo, Región de Atacama. Diciembre 2007.

ESTRATO	CT-1	CT-4	CT-5	CT-7	CT-8
Superficie	②	①	①	①	①
Fondo	①	②	②	①	①

Fluctuación temporal de la concentración promedio de cobre disuelto en la columna de agua

En la Figura 15 se aprecia una ligera disminución de la concentración media de cobre disuelto en las aguas de las estaciones expuestas y, en forma concomitante, un aumento en la estación referencial. Así también se aprecia una disminución en la dispersión de las mediciones de cobre disuelto en las estaciones expuestas. En términos generales, la concentración media de este metal se ha mantenido dentro de un rango de variación relativamente estrecho; las concentraciones más altas registradas en algunas estaciones podrían eventualmente estar asociadas con los trabajos de construcción del muelle.

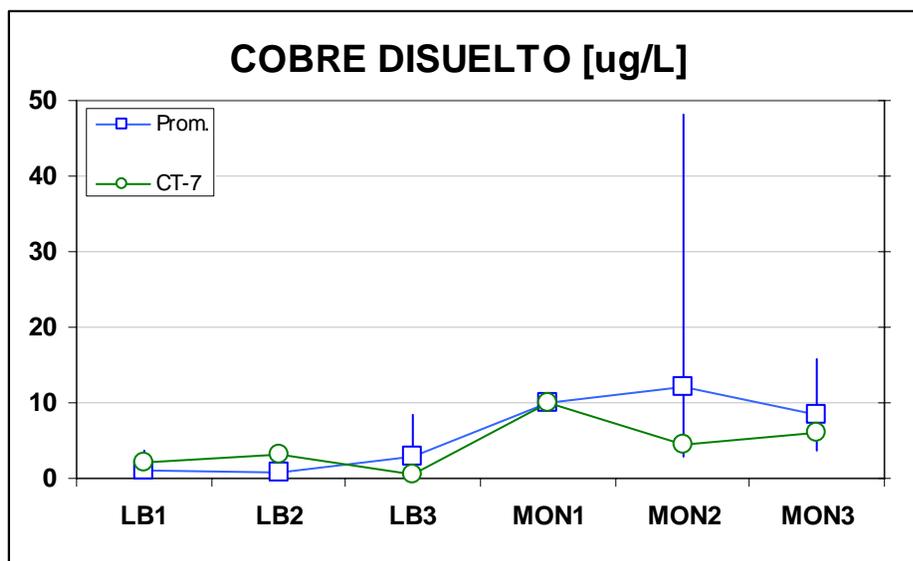


Figura 15. Fluctuación histórica de la concentración de cobre disuelto en la columna de agua entre las campañas de línea base (LB) y los monitoreos (MON) efectuados a la fecha. PVA Puerto en Punta Totoralillo, Región de Atacama. 2004-2007.

3.1.8. Cromo total disuelto

Ninguna de las muestras analizadas presentó concentraciones cuantificables de cromo disuelto (Tabla 19 y Figura 16). En todos los casos, las mediciones estuvieron bajo el límite de detección.

Tabla 19. Concentración de cromo total disuelto ($\mu\text{g/L}$) en el estrato superficial (Sup) y de fondo (Fon) de la columna de agua. Punta Totoralillo, Región de Atacama. Diciembre 2007.

Estación	CROMO TOTAL DISUELTO [$\mu\text{g/L}$]	
	Sup	Fon
CT-1	< 0,2	< 0,2
CT-4	< 0,2	< 0,2
CT-5	< 0,2	< 0,2
CT-7	< 0,2	0,8
CT-8	< 0,2	< 0,2

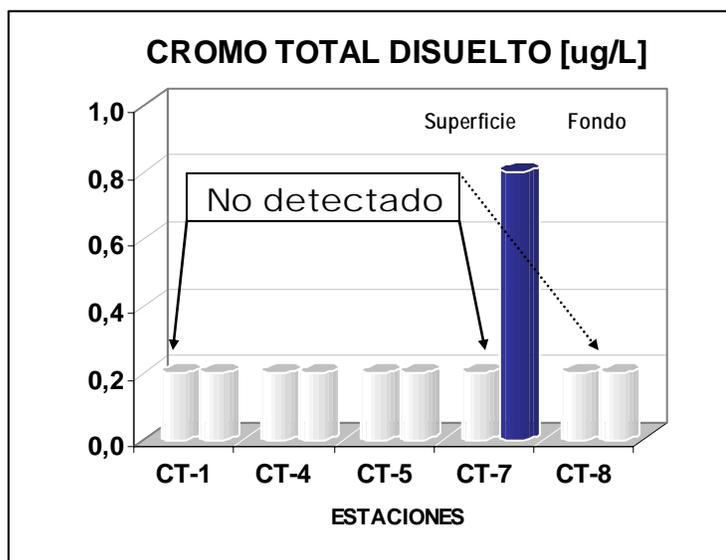


Figura 16. Distribución espacial de la concentración de cromo total disuelto en la columna de agua. Las columnas en blanco sólo indican el valor del límite de detección. Punta Totoralillo, Región de Atacama. Diciembre 2007.

Contrastación con Guía CONAMA

Dado que todas las mediciones estuvieron bajo el límite de detección (0,2 $\mu\text{g/L}$), y el límite de la Clase de Calidad 1 corresponde a < 10 $\mu\text{g/L}$, se puede señalar que según la Guía CONAMA las aguas del área de vigilancia tipifican como de “muy buena calidad” (Tabla 20).

Tabla 20. Tipificación por Clase de Calidad (CONAMA, 2004) de las aguas marinas en base a las mediciones de cromo total disuelto. Punta Totoralillo, Región de Atacama. Diciembre 2007.

ESTRATO	CT-1	CT-4	CT-5	CT-7	CT-8
Superficie	①	①	①	①	①
Fondo	①	①	①	①	①

Fluctuación temporal de la concentración promedio de cromo total disuelto en la columna de agua

En comparación con la campaña anterior, la concentración media de este metal no mostró variaciones importantes (Figura 17). Sin embargo, una diferencia clara fue la menor dispersión de las mediciones en esta oportunidad debido a que todas se situaron bajo el límite de detección. En las dos últimas campañas de monitoreo efectuadas las concentraciones de cromo total disuelto han sido inferiores a los valores reportados en las campañas de línea base.

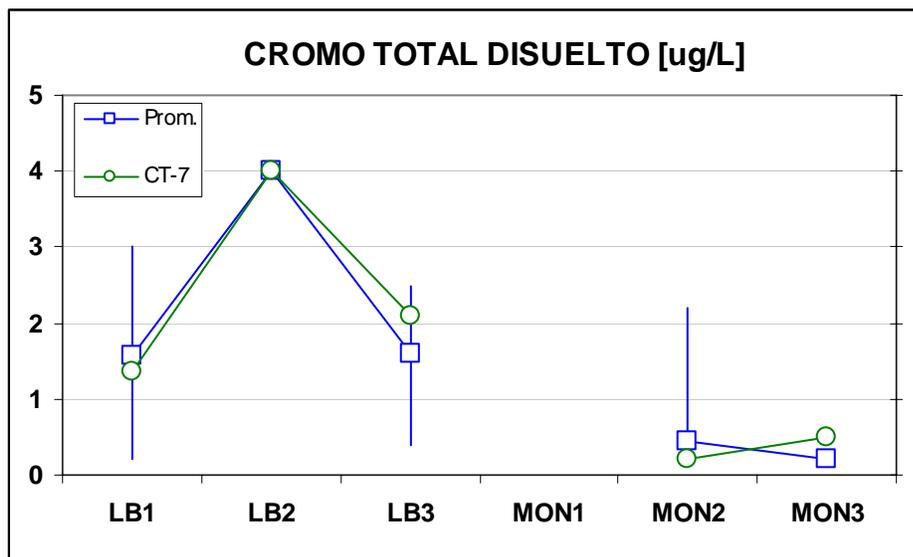


Figura 17. Fluctuación histórica de la concentración de cromo total disuelto en la columna de agua entre las campañas de línea base (LB) y los monitoreos (MON) efectuados a la fecha. No se grafica mediciones para el Monitoreo 1 ya que el límite de detección es demasiado alto (50 µg/L). PVA Puerto en Punta Totoralillo, Región de Atacama. 2004-2007.

3.1.9. Cromo hexavalente disuelto

En esta tercer monitoreo no se detectó la presencia de cromo VI disuelto a niveles analíticamente cuantificables (Tabla 21 y Figura 18). En este sentido, todas las mediciones fueron inferiores al límite de detección (10 ug/L).

Tabla 21. Concentración de cromo hexavalente disuelto ($\mu\text{g/L}$) en el estrato superficial (SUP) y de fondo (FON) de la columna de agua. Punta Totalillo, Región de Atacama. Diciembre 2007.

Estación	CROMO VI DISUELTO [$\mu\text{g/L}$]	
	Sup	Fon
CT-1	< 10	< 10
CT-4	< 10	< 10
CT-5	< 10	< 10
CT-7	< 10	< 10
CT-8	< 10	< 10

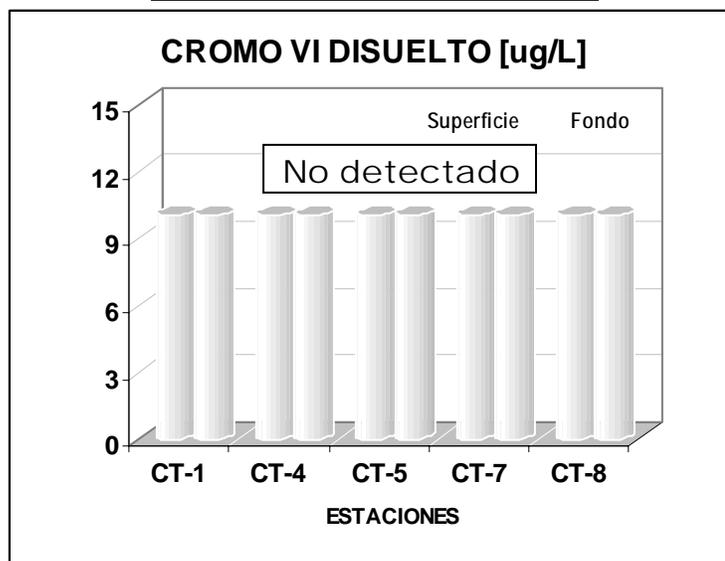


Figura 18. Distribución espacial de la concentración de cromo hexavalente disuelto en la columna de agua. Las columnas en blanco sólo indican el valor del límite de detección. Punta Totalillo, Región de Atacama. Diciembre 2007.

Contrastación con Guía CONAMA

Debido a que el límite de detección para el cromo VI corresponde a $10 \mu\text{g/L}$, valor coincidente con el límite máximo de la Clase de Calidad 1, las aguas del área de monitoreo tipifican como de "muy buena calidad" (Tabla 22).

Tabla 22. Tipificación por Clase de Calidad (CONAMA, 2004) de las aguas marinas en base a las mediciones de cromo hexavalente disuelto. Punta Totalillo, Región de Atacama. Diciembre 2007.

ESTRATO	CT-1	CT-4	CT-5	CT-7	CT-8
Superficie	①	①	①	①	①
Fondo	①	①	①	①	①

Fluctuación temporal de la concentración promedio de cromo VI disuelto en la columna de agua

De acuerdo con el registro histórico disponible, las concentraciones de cromo VI disuelto en las aguas del área de monitoreo han permanecido bajas ($< 6 \mu\text{g/L}$) o analíticamente indetectables (Figura 19). Las variaciones en los niveles de este metal sólo reflejan ligeras fluctuaciones históricas en el valor del límite de detección, propio del laboratorio de análisis.

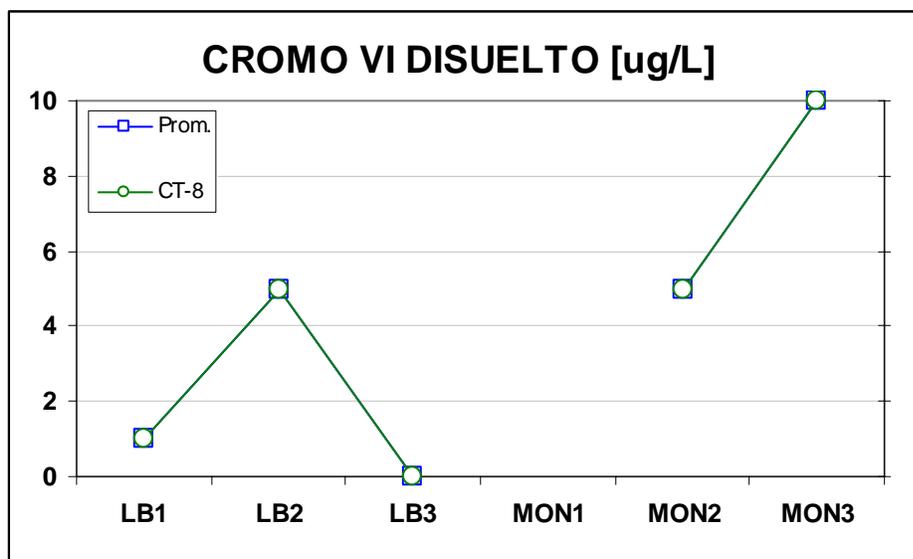


Figura 19. Fluctuación histórica de la concentración de cromo VI disuelto en la columna de agua entre las campañas de línea base (LB) y los monitoreos (MON) efectuados a la fecha. Los puntos sólo representan valores de los límites de detección. No se grafica mediciones para el Monitoreo 1 ya que el límite de detección es demasiado alto ($50 \mu\text{g/L}$). PVA Puerto en Punta Totoralillo, Región de Atacama. 2004-2007.

3.1.10. Hierro disuelto

La presencia de hierro disuelto fue detectada en las aguas de todas las estaciones de monitoreo en concentraciones menores a los $500 \mu\text{g/L}$ (Tabla 23). En las estaciones próximas al muelle, los niveles de este metal fueron inferiores a los registrados en las estaciones CT-8 y referencial (CT-7). De hecho, la mayor concentración de hierro disuelto fue detectada en el estrato de fondo de CT-7 (Figura 20). En cuanto a la distribución vertical, no se detecta un patrón definido que indique que algún estrato en particular esté asociado con un mayor o menor nivel de hierro disuelto. De hecho en las estaciones CT-4, CT-5 y CT-8 las diferencias fueron mínimas entre ambos estratos de la columna de agua (Figura 20) lo que sugiere una distribución homogénea de este metal de superficie a fondo.

Tabla 23. Concentración de hierro disuelto ($\mu\text{g/L}$) en el estrato superficial (Sup) y de fondo (Fon) de la columna de agua. Punta Totoralillo, Región de Atacama. Diciembre 2007.

Estación	HIERRO DISUELTO [$\mu\text{g/L}$]	
	Sup	Fon
CT-1	240,2	164,4
CT-4	140,0	151,8
CT-5	200,0	193,8
CT-7	113,0	464,0
CT-8	302,8	316,8

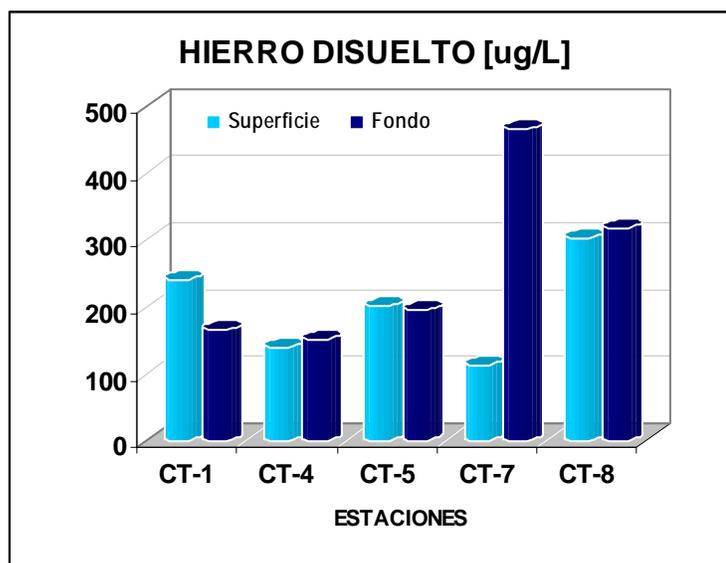


Figura 20. Distribución espacial de la concentración hierro disuelto en la columna de agua. Punta Totoralillo, Región de Atacama. Diciembre 2007.

Contrastación con Guía CONAMA

El hierro no cuenta con valores máximos de concentración en la Guía CONAMA (2004).

Fluctuación temporal de la concentración promedio de hierro disuelto en la columna de agua

Desde que se inició la vigilancia ambiental de la matriz acuosa, la concentración media de hierro disuelto, tanto en la estación referencial como en las estaciones expuestas, ha presentado la misma tendencia histórica, lo cual indica que en ambos sectores el comportamiento de la concentración de este metal es similar (Figura 21).

En comparación con la campaña anterior, los niveles de este metal mostraron una disminución media notoria (desde $800 \mu\text{g/L}$ a $200 \mu\text{g/L}$ aproximadamente). Considerando que actualmente no existen aportes

antrópicos de hierro al medio marino en punta Totalillo, las variaciones registradas a la fecha son de origen natural y podrían estar relacionadas con procesos geoquímicos de intercambio entre los sedimentos y la columna de agua, como así también con aportes terrígenos debido al arrastre por el viento. Este es un punto relevante a considerar, ya que las variaciones de hierro reportadas dan cuenta de una variabilidad natural importante en el medio acuoso, considerando que actualmente el muelle no se encuentra operando. Si bien la serie histórica mostró un alza notoria en todas las estaciones durante el segundo monitoreo, aún no es posible establecer algún tipo de tendencia. Este comportamiento, más bien podría estar indicando pulsos en el comportamiento de este metal que podrían estar asociados a otro tipo de eventos oceanográficos (i.e. surgencia, disponibilidad de oxígeno disuelto, condiciones redox de los sedimentos, entre otras).

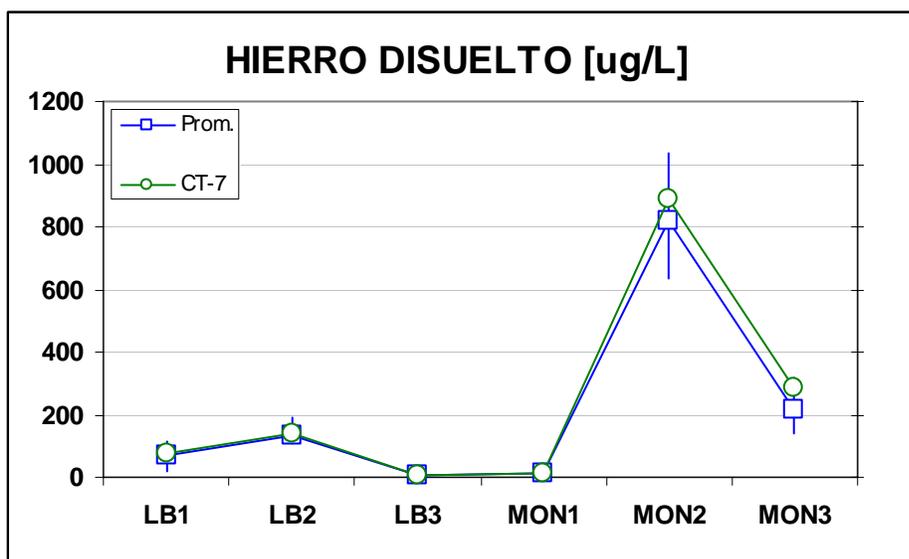


Figura 21. Fluctuación histórica de la concentración de hierro disuelto en la columna de agua entre las campañas de línea base (LB) y los monitoreos (MON) efectuados a la fecha. PVA Puerto en Punta Totalillo, Región de Atacama. 2004-2007.

3.1.11. Mercurio disuelto

En ninguna de las estaciones monitoreadas se registró la presencia de mercurio disuelto a niveles analíticamente detectables. (Tabla 24 y Figura 22). Todas las mediciones efectuadas en la presente campaña estuvieron bajo el límite de detección (1 µg/L).

Tabla 24. Concentración de mercurio disuelto ($\mu\text{g/L}$) en el estrato superficial (Sup) y de fondo (Fon) de la columna de agua. Punta Totalillo, Región de Atacama. Diciembre 2007.

Estación	MERCURIO DISUELTO [$\mu\text{g/L}$]	
	Sup	Fon
CT-1	< 1	< 1
CT-4	< 1	< 1
CT-5	< 1	< 1
CT-7	< 1	< 1
CT-8	< 1	< 1

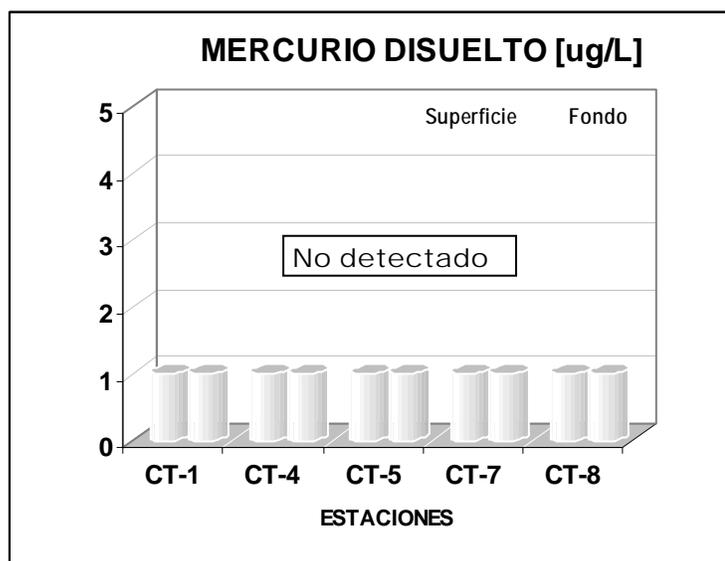


Figura 22. Distribución espacial de la concentración de mercurio disuelto en la columna de agua. Las columnas en blanco sólo indican el valor del límite de detección. Punta Totalillo, Región de Atacama. Diciembre 2007.

Contrastación con Guía CONAMA

Dado que el límite de detección instrumental del mercurio disuelto ($1 \mu\text{g/L}$) es mayor que los valores máximos de concentración señalados en la Tabla N°3 de la Guía CONAMA, no es posible establecer la calidad ambiental de las aguas del área de monitoreo en punta Totalillo (Tabla 25).

Tabla 25. Tipificación por Clase de Calidad (CONAMA, 2004) de las aguas marinas en base a las mediciones de mercurio disuelto. Punta Totalillo, Región de Atacama. Diciembre 2007.

ESTRATO	CT-1	CT-4	CT-5	CT-7	CT-8
Superficie	NA	NA	NA	NA	NA
Fondo	NA	NA	NA	NA	NA

NA: no aplica

Fluctuación temporal de la concentración promedio de mercurio disuelto en la columna de agua

Según se aprecia en la Figura 23, la situación del mercurio disuelto no ha mostrado variaciones en las aguas de punta Totoralillo. Todas las mediciones efectuadas a la fecha muestran invariablemente valores bajo el límite de detección.

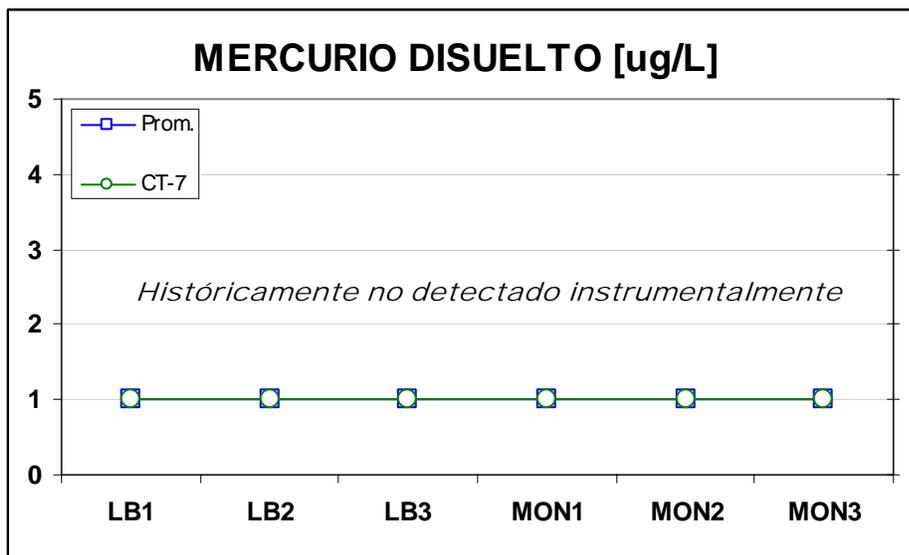


Figura 23. Variación de la concentración de mercurio disuelto en la columna de agua según resultados del primer monitoreo (febrero 2007). Los puntos sólo representan valores de los límites de detección. PVA Puerto en Punta Totoralillo, Región de Atacama. 2004-2007.

3.1.12. Plomo disuelto

La concentración de plomo disuelto mostró una variación entre 1,7 µg/L y 6,7 µg/L (Tabla 26). Los niveles detectados en la presente campaña fueron comparativamente menores a los registrados en la campaña anterior, ocasión en que se registró un máximo cercano a los 12 µg/L.

De la serie de mediciones efectuadas, los máximos detectados en el estrato superficial de CT-1 y CT-5 podrían eventualmente estar relacionados con la construcción del muelle, ya que ambas estaciones se encuentran próximas a esta obra marítima. En todo caso, las diferencias registradas respecto del mismo estrato de la estación referencial (CT-7) son marginales (como máximo 2,4 µg/L).

Tabla 26. Concentración de plomo disuelto ($\mu\text{g/L}$) en el estrato superficial (Sup) y de fondo (Fon) de la columna de agua. Punta Totalillo, Región de Atacama. Diciembre 2007.

Estación	PLOMO DISUELTTO [$\mu\text{g/L}$]	
	Sup	Fon
CT-1	6,7	2,8
CT-4	3,1	2,2
CT-5	5,7	4,3
CT-7	4,3	4,0
CT-8	3,5	1,7

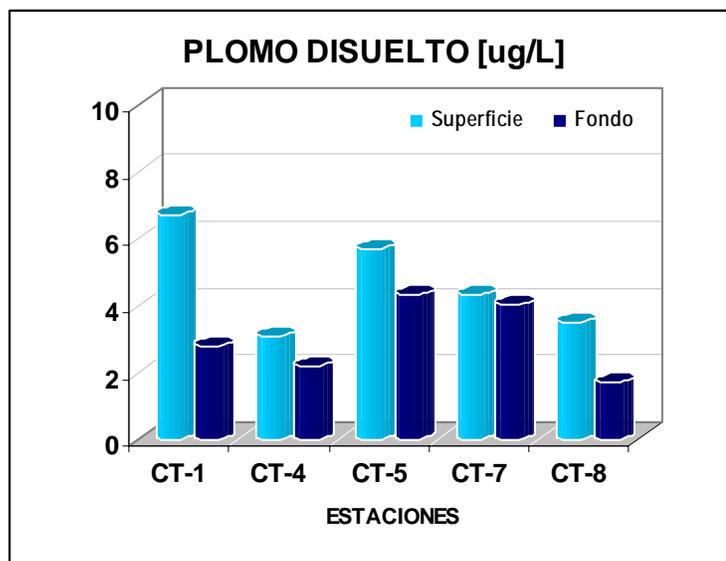


Figura 24. Distribución espacial de la concentración de plomo disuelto en la columna de agua. Punta Totalillo, Región de Atacama. Diciembre 2007.

Contrastación con Guía CONAMA

Sólo en el estrato de fondo de tres estaciones las aguas mostraron una “muy buena calidad” según comparación efectuada con la Guía CONAMA (Tabla 27). En las estaciones restantes la calidad de las aguas según este mismo referente tipifica como de “buena calidad”. De acuerdo con estos criterios, las aguas del área de monitoreo no evidencian señales de enriquecimiento metalogénico por plomo.

Tabla 27. Tipificación por Clase de Calidad (CONAMA, 2004) de las aguas marinas en base a las mediciones de plomo disuelto. Punta Totalillo, Región de Atacama. Diciembre 2007.

ESTRATO	CT-1	CT-4	CT-5	CT-7	CT-8
Superficie	②	②	②	②	②
Fondo	①	①	②	②	①

Fluctuación temporal de la concentración promedio de plomo disuelto en la columna de agua

Si bien se registró una ligera alza en la concentración media de este metal, este patrón fue detectado tanto en las estaciones expuestas como en la estación referencial (Figura 25). Una diferencia importante con respecto a la campaña anterior, se vincula con una disminución en la dispersión de las mediciones (*i.e.* menor rango de variación). Dado que los resultados de las mediciones efectuadas en el programa de vigilancia ambiental son levemente mayores a las registradas en las campañas de línea base y que la serie temporal del programa es aún reducida, no es posible sostener alguna tendencia en particular del comportamiento de este analito en la matriz acuosa del área de monitoreo. Esta situación debiera quedar dilucidada a la luz de los resultados de los futuros monitoreos.

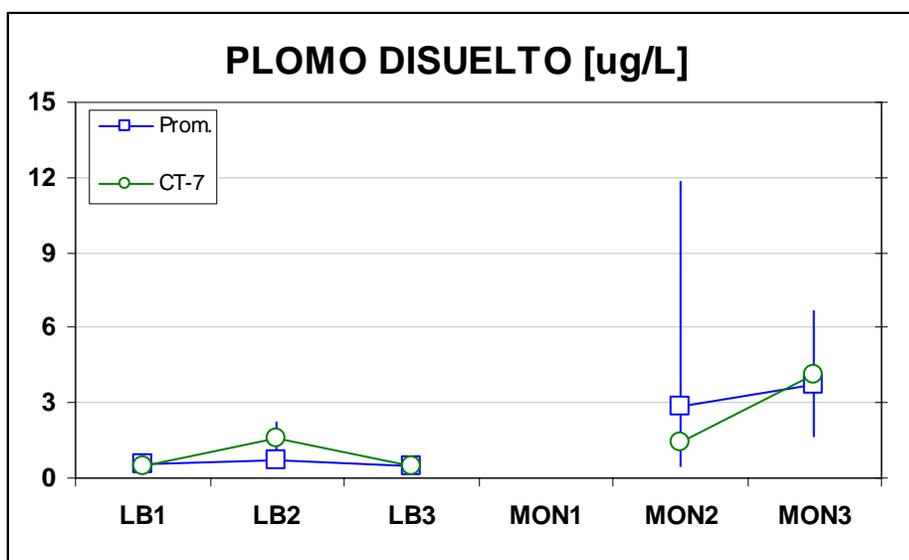


Figura 25. Fluctuación histórica de la concentración de plomo disuelto en la columna de agua entre las campañas de línea base (LB) y los monitoreos (MON) efectuados a la fecha. No se grafica mediciones para el Monitoreo 1 ya que el límite de detección es demasiado alto (50 µg/L). PVA Puerto en Punta Totoralillo, Región de Atacama. 2004-2007.

3.1.13. Zinc disuelto

Para la presente campaña, las concentraciones de zinc en las aguas del área de monitoreo mostraron una variabilidad importante (con coeficientes de variación de 129% en superficie y de 79,0% en profundidad), registrándose mediciones bajo el límite de detección y otras que bordearon los 85 µg/L (Tabla 28). Las mayores concentraciones estuvieron asociadas a las estaciones CT-1 y CT-5, aunque no a un determinado estrato en particular (Figura 26). Aunque en la estación referencial los niveles de zinc disuelto fueron bajos, en la estación CT-8, que comparativamente se encuentra más próxima al muelle en construcción, las concentraciones fueron aún menores. Estos resultados indican que el zinc disuelto no presenta una

distribución uniforme y que las mayores concentraciones no se encuentran asociadas con el muelle en construcción. Los patrones de distribución observados en el zinc, no pueden ser explicados por un único factor o por una sola condición en el ambiente, sino que obedecen a múltiples causas (físicas, químicas y biológicas), que operan en distintas escalas de tiempo y espacio, y por lo general se conjugan entre sí para desplegar los patrones observados.

Si bien estos resultados no descartan que podría existir aporte antrópico de zinc en las estaciones próximas al muelle, la alta variabilidad de los niveles de fondo (“background”) de este metal en la columna de agua impide establecer con certeza esta condición. De hecho, algunas concentraciones de zinc disuelto medidas en la primera campaña de la línea base son mayores que las registradas en la presente campaña de monitoreo. En este sentido, y de acuerdo con los datos disponibles, no es posible establecer aún una tendencia clara que sugiera la ocurrencia de procesos de enriquecimiento metalogénico asociado al zinc.

Tabla 28. Concentración de zinc disuelto ($\mu\text{g/L}$) en el estrato superficial (Sup) y de fondo (Fon) de la columna de agua. Punta Totalillo, Región de Atacama. Diciembre 2007.

Estación	ZINC DISUELTO [$\mu\text{g/L}$]	
	Sup	Fon
CT-1	86,0	< 2,0
CT-4	< 2,0	23,6
CT-5	28,8	51,0
CT-7	< 2,0	28,1
CT-8	15,6	12,2

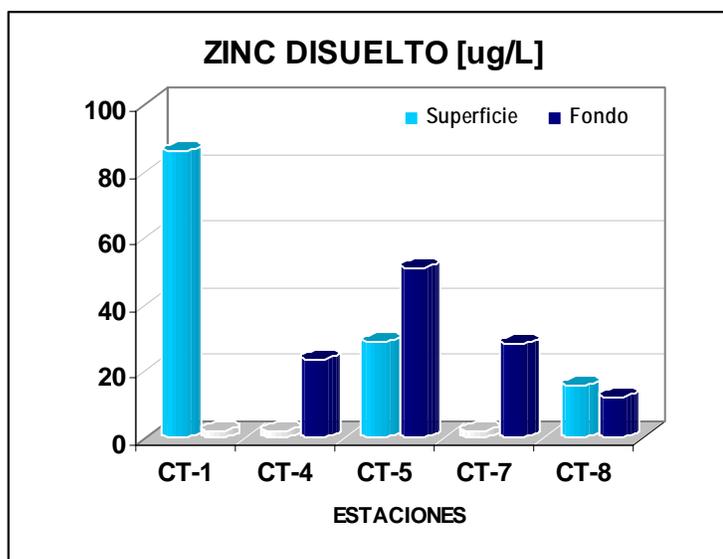


Figura 26. Distribución espacial de la concentración de zinc disuelto en la columna de agua. Las columnas en blanco sólo indican el valor del límite de detección. Punta Totalillo, Región de Atacama. Diciembre 2007.

Contrastación con Guía CONAMA

La comparación entre las mediciones de zinc disuelto efectuadas en esta tercera campaña de monitoreo y los valores máximos de concentración de la Tabla N°3 de la Guía CONAMA (Tabla 29), sugiere que las aguas monitoreadas en punta Totalillo no presentan alteraciones respecto de los niveles de este metal.

Tabla 29. Tipificación por Clase de Calidad (CONAMA, 2004) de las aguas marinas en base a las mediciones de zinc disuelto. Punta Totalillo, Región de Atacama. Diciembre 2007.

ESTRATO	CT-1	CT-4	CT-5	CT-7	CT-8
Superficie	②	①	①	①	①
Fondo	①	①	②	①	①

Fluctuación temporal de la concentración promedio de zinc disuelto en la columna de agua

Aunque las mediciones más altas de zinc disuelto se registraron en la primera campaña de la línea base, la serie histórica de este metal sugiere una tendencia al alza desde la segunda campaña de línea base (Figura 27). Sin embargo, es importante destacar que el aumento de zinc disuelto se evidencia tanto en la estación referencial como en las estaciones restantes. En este sentido, los resultados demuestran que este incremento no se encuentra vinculado directamente con aportes antrópicos, sino que también estarían involucrados procesos naturales de tipo biogeoquímicos.

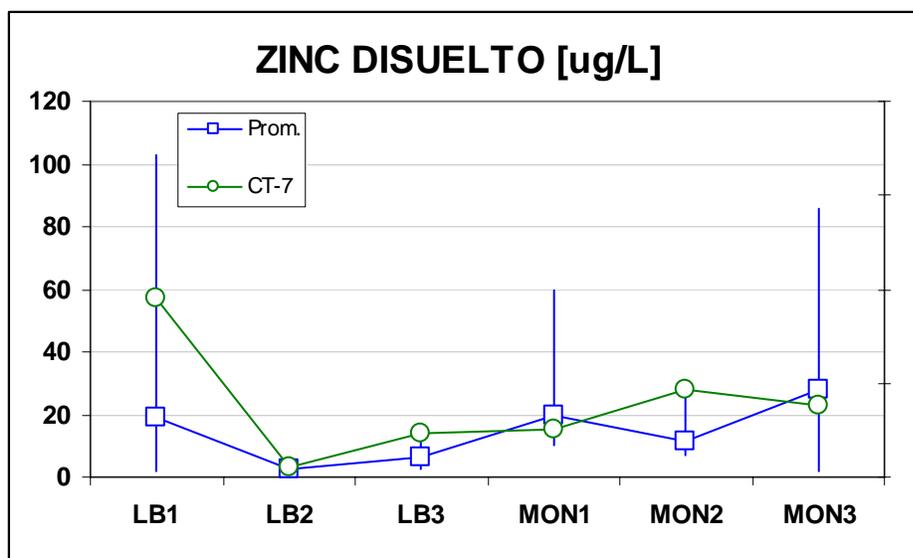


Figura 27. Fluctuación histórica de la concentración de zinc disuelto en la columna de agua entre las campañas de línea base (LB) y los monitoreos (MON) efectuados a la fecha. PVA Puerto en Punta Totalillo, Región de Atacama. 2004-2007.

3.2. Sedimentos submareales

Para el despliegue de estos resultados de cada parámetro, primeramente se efectúa un análisis de los resultados obtenidos en la presente campaña. A continuación, y sólo para los metales ya que son los únicos parámetros de los medidos que cuentan con referentes extranjeros, se realiza una comparación de las mediciones efectuadas en este monitoreo con directrices de calidad ambiental aplicadas en el extranjero. Finalmente, se presenta un análisis histórico en base a las mediciones disponibles para este PVA . En el Anexo 6.2.2. se proporciona una síntesis de las mediciones registradas para este monitoreo.

3.2.1. Granulometría

La cubierta sedimentaria del área de monitoreo se caracterizó por la presencia de arenas en toda su extensión, aunque las fracciones gruesas (arena gruesa) fue mayoritaria en este tipo de fondos (Tabla 30). Si bien los fondos sedimentarios en CT-8 también corresponden a arenas, en este sector las partículas se caracterizan por presentar un diámetro menor (arena fina) (Figura 28). Es destacable a escasa representatividad de fracciones finas (arenas muy fina y limo-arcilla) en la cubierta sedimentaria, de lo cual se infiere el predominio de procesos erosivos o de arrastre asociados a este tipo de fondos. En principio, del predominio de fracciones gruesas en la cubierta sedimentaria del área de monitoreo se infiere una menor capacidad de adsorción de metales respecto del fondos sedimentarios en donde priman las fracciones más finas (limo-arcillas). Por lo tanto, y dependiendo del comportamiento hidrodinámico del estrato de fondo, en estos fondos de granulometría gruesa se esperaría una mayor proporción de metales desplazados hacia la columna de agua (tanto disueltos como particulados).

Tabla 30. Composición granulométrica (%) de los sedimentos submareales. Punta Totalillo, Región de Atacama. Diciembre 2007.

FRACCION	CT-1	CT-4	CT-5	CT-7	CT-8
CMF	13,27	12,42	6,09	20,95	4,95
AMG	28,52	24,96	14,02	22,75	8,72
AG	36,52	34,95	34,20	32,85	5,64
AM	19,88	23,39	38,12	17,43	8,96
AF	1,47	3,79	7,16	5,80	66,49
AMF	0,20	0,33	0,14	0,16	5,02
LA	0,14	0,16	0,27	0,07	0,22

CMF, cascajo muy fino; AMG, arena muy gruesa; AG, arena gruesa; AM, arena mediana; AF, arena fina; AMF, arena muy fina; LA, limo-arcilla

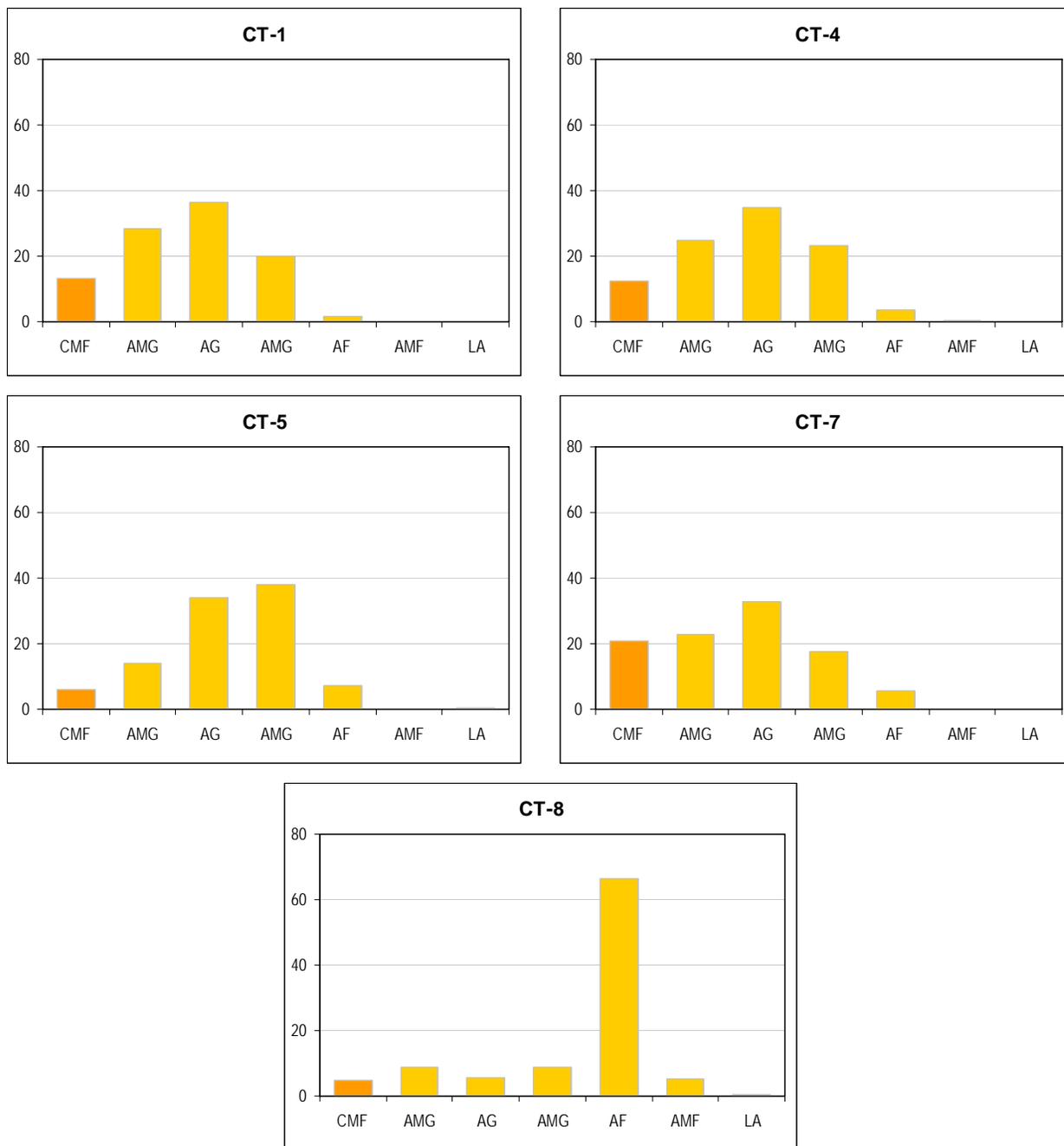


Figura 28. Distribución granulométrica de los sedimentos submareales. Punta Totalillo, Región de Atacama. Diciembre 2007. CMF, cascajo muy fino; AMG, arena muy gruesa; AG, arena gruesa; AM, arena mediana; AF, arena fina; AMF, arena muy fina; LA, limo-arcilla

Los índices granulométricos señalados en la Tabla 31 demuestran claramente el predominio de arenas gruesas en el área de monitoreo, detectándose arenas finas sólo en la estación CT-8. El grado de clasificación indica la presencia de arenas con un grado de clasificación pobre a moderado, mientras que la simetría muestra una mayor variabilidad (desde sedimentos con alto exceso de gruesos a simétricos).

Tabla 31. Parámetros granulométricos de los sedimentos submareales. Punta Totalillo, Región de Atacama. Diciembre 2007.

ESTACION	Promedio		Clasificación		Simetría	
CT-1	0,60	AG	1,0	ModC	-0,10	MEG
CT-4	0,67	AG	1,0	ModC	-0,11	MEG
CT-5	0,89	AG	1,0	ModC	-0,07	S
CT-7	0,40	AG	1,3	PC	-0,10	MEG
CT-8	2,09	AF	1,1	PC	-0,66	AEG

AG: arena gruesa; AM: arena mediana; AF: arena fina; ModC: moderadamente clasificada; PC: pobremente clasificada; AEF: alto exceso de finos; AEG: alto exceso de gruesos; S: simétrica; MEG: moderado exceso de gruesos

Fluctuación temporal de la granulometría en los sedimentos submareales

Los fondos sedimentarios presentaron una composición granulométrica similar a la descrita para la campaña anterior, aunque en este monitoreo se registró una mayor homogeneidad en cuanto al tamaño de grano predominante (arena gruesa). De la red de estaciones, sólo CT-8 ha presentado un comportamiento granulométricamente distinto, el cual se ha caracterizado por la persistencia de sedimentos comparativamente más finos. Es importante considerar la componente granulométrica en el comportamiento temporal de los metales presentes en los sedimentos. Las fluctuaciones en el diámetro de las partículas tienen una incidencia importante en las variaciones que experimentan los metales en esta matriz; en la medida que el tamaño de los granos disminuya los contenidos de los metales en el sedimento pueden aumentar debido a la disponibilidad de una mayor superficie de adsorción.

3.2.2. Carbono orgánico total (COT)

La situación del COT no muestra variaciones respecto del monitoreo anterior, cuantificándose en la presente campaña contenidos menores al 1% en los sedimentos del área de monitoreo (Tabla 32). En la distribución de los valores (Figura 30), se aprecia que comparativamente los mayores niveles se asocian con las estaciones CT-1 y CT-5, aunque no se descarta que su origen esté asociado con la presencia de algas en estos fondos. Aún así, ninguno de los valores reportados es indicativo de enriquecimiento orgánico en los sedimentos.

Tabla 32. Contenido de carbono orgánico total (COT, %) en sedimentos submareales superficiales. Punta Totalillo, Región de Atacama. Diciembre 2007.

Estación	COT [%]
CT-1	0,7
CT-4	0,4
CT-5	0,8
CT-7	0,3
CT-8	0,3

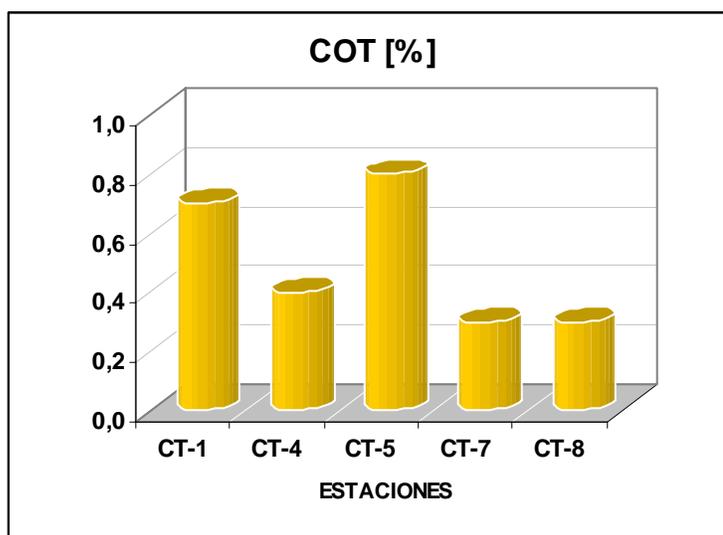


Figura 29. Contenido de COT en los sedimentos submareales. Punta Totalillo, Región de Atacama. Diciembre 2007.

Fluctuación temporal del contenido de COT en los sedimentos submareales

Si bien durante el transcurso de programa de vigilancia el contenido medio de COT ha mostrado un leve incremento, los niveles se han mantenido bajos (< 1%) y comparativamente menores respecto de las mediciones efectuadas para las campañas de línea base (Figura 30). Al comparar las fluctuaciones

temporales, no se aprecian diferencias importantes en el contenido de COT entre la estación referencial y las estaciones expuestas.

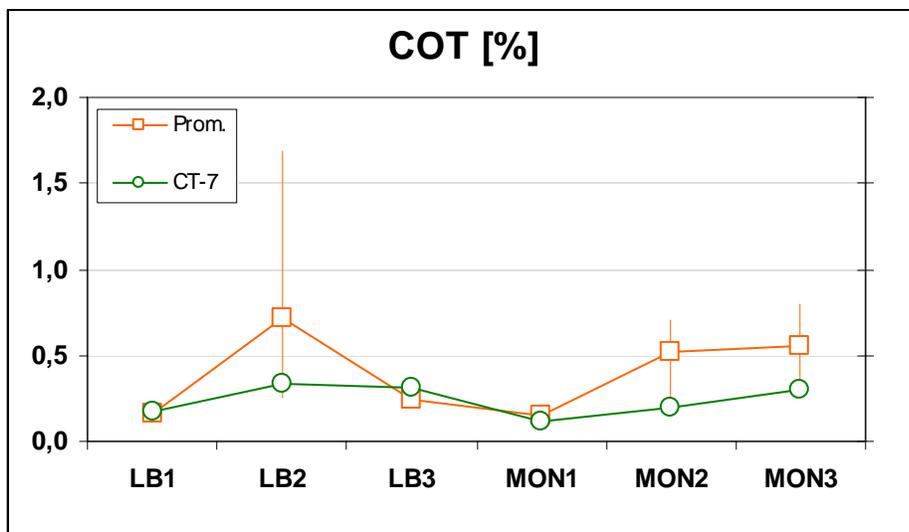


Figura 30. Fluctuación histórica del contenido de COT en los sedimentos submareales entre las campañas de línea base (LB) y los monitoreos (MON) efectuados a la fecha. Punta Totalillo, Región de Atacama. 2004-2007.

3.2.3. Hidrocarburos totales (HT)

El contenido de hidrocarburos totales en los sedimentos registró niveles similares en la mayoría de las estaciones, salvo en CT-4 en donde bordeó los 130 µg/g (Tabla 33). Si bien en la estación referencial se registró un nivel comparativamente menor, en la estación CT-5 (próxima al muelle en construcción) el contenido de este tipo de compuestos orgánicos fue aún más bajo (Figura 31).

Tabla 33. Contenido de hidrocarburos totales (HT, µg/g) en sedimentos submareales superficiales. Punta Totalillo, Región de Atacama. Diciembre 2007.

Estación	HT [µg/g]
CT-1	79,6
CT-4	129,0
CT-5	46,6
CT-7	65,8
CT-8	75,9

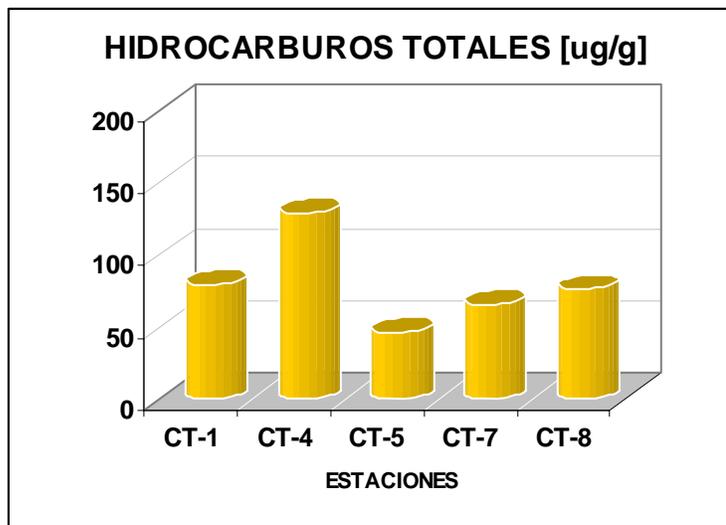


Figura 31. Contenido de HT en los sedimentos submareales. Punta Totalillo, Región de Atacama. Diciembre 2007.

Fluctuación temporal del contenido de hidrocarburos totales en los sedimentos submareales

Según se aprecia en la Figura 32, el comportamiento histórico de este parámetro ha presentado una tendencia similar tanto en las estaciones expuestas como en la estación referencial. En comparación con la campaña anterior, los hidrocarburos muestran un descenso importante, aunque se mantiene una concentración media ligeramente mayor en las estaciones expuestas. Dada la baja influencia antrópica en el área, estas variaciones obedecerían principalmente a la variabilidad de hidrocarburos naturales presentes en los sedimentos.

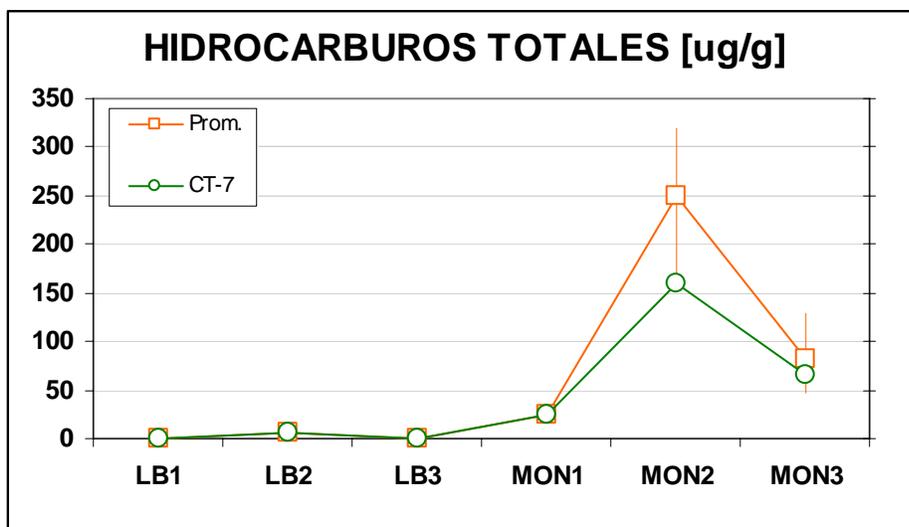


Figura 32. Fluctuación histórica del contenido de hidrocarburos totales en los sedimentos submareales entre las campañas de línea base (LB) y los monitoreos (MON) efectuados a la fecha. Punta Totalillo, Región de Atacama. 2004-2007.

3.2.4. Arsénico

Los sedimentos del área de monitoreo muestran una baja ocurrencia de arsénico en su composición química (Tabla 34). Si bien en CT-8 su presencia fue comparativamente mayor, en las estaciones CT-4 y CT-5 las mediciones fueron inferiores al límite de detección, mientras que en las dos restantes no superaron los 0,1 $\mu\text{g/g}$ (Figura 33).

Tabla 34. Contenido de arsénico ($\mu\text{g/g}$) en sedimentos submareales superficiales. Punta Totoralillo, Región de Atacama. Diciembre 2007.

Estación	ARSENICO [$\mu\text{g/g}$]
CT-1	0,07
CT-4	< 0,01
CT-5	< 0,01
CT-7	0,01
CT-8	0,29

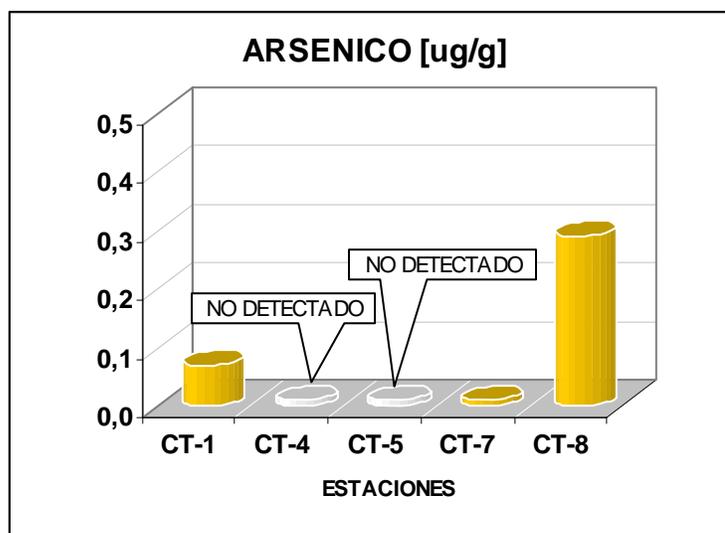


Figura 33. Contenido de arsénico en los sedimentos submareales. Las columnas en blanco sólo indican el valor del límite de detección. Punta Totoralillo, Región de Atacama. Diciembre 2007.

Comparación con referentes extranjeros

En la Tabla 35 se compara el rango de variación del contenido de arsénico en los sedimentos del área de monitoreo respecto de referentes de calidad ambiental extranjeros. Según los resultados expuestos, los sedimentos del área de monitoreo actualmente no se encuentran sometidos a procesos de enriquecimiento asociados con la presencia de arsénico.

Tabla 35. Contratación entre el rango de mediciones de arsénico ($\mu\text{g/g}$) en el área de monitoreo y distintos criterios aplicados en el extranjero para establecer la calidad ambiental de sedimentos submareales. Punta Totoralillo, Región de Atacama. Diciembre 2007.

Pta. Totoralillo	Criterio Florida		Criterio NOAA	
	TEL	PEL	ERL	ERM
0,01- 0,29	7,24	41,6	8,2	70,0

TEL: Threshold effects level; PEL: Probable effects level
 ERL: Effects range low; ERM: Effects range median

Fluctuación temporal del contenido de arsénico en los sedimentos submareales

El contenido medio de arsénico muestra una condición similar a la registrada en la campaña anterior, siendo valores comparativamente muy bajos respecto de los reportados en las campañas de línea base (Figura 34). Por otra el comportamiento experimentado por este elemento durante el transcurso del PVA no muestra mayores diferencias entre las estaciones expuestas y la estación referencial.

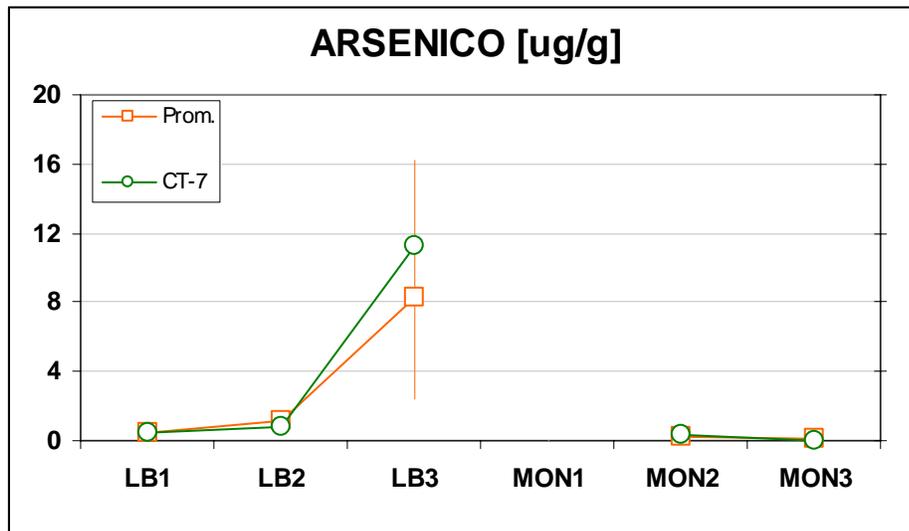


Figura 34. Fluctuación histórica del contenido de arsénico en los sedimentos submareales entre las campañas de línea base (LB) y los monitoreos (MON) efectuados a la fecha. Punta Totoralillo, Región de Atacama. 2004-2007.

3.2.5. Cadmio

En la presente campaña el cadmio no presentó niveles analíticamente cuantificables (Tabla 36 y Figura 35). Todas las mediciones efectuadas estuvieron bajo el límite de detección instrumental ($0,2 \mu\text{g/g}$). Estos resultados sugieren que en el área de monitoreo no se estarían produciendo procesos de enriquecimiento de cadmio en los sedimentos.

Tabla 36. Contenido de cadmio ($\mu\text{g/g}$) en sedimentos submareales superficiales. Punta Totalillo, Región de Atacama. Diciembre 2007.

Estación	CADMIO [$\mu\text{g/g}$]
CT-1	< 0,2
CT-4	< 0,2
CT-5	< 0,2
CT-7	< 0,2
CT-8	< 0,2

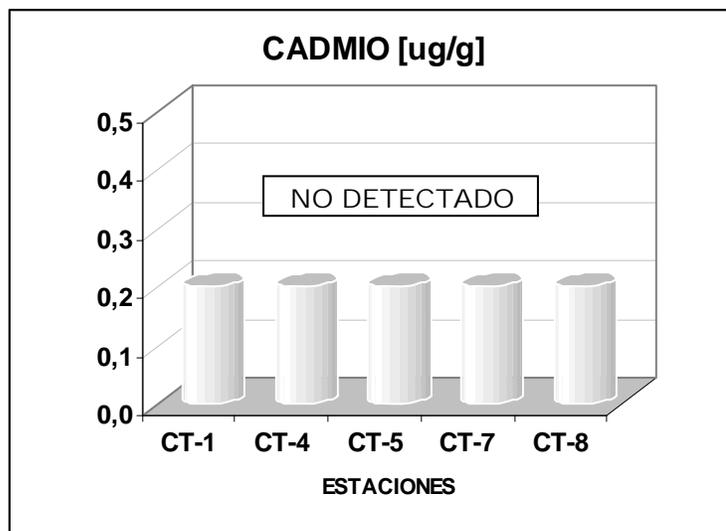


Figura 35. Contenido de cadmio en los sedimentos submareales. Las columnas en blanco sólo indican el valor del límite de detección. Punta Totalillo, Región de Atacama. Diciembre 2007.

Comparación con referentes extranjeros

En comparación con los referentes de calidad ambiental extranjeros, el contenido actual de cadmio en los sedimentos del área de monitoreo ($< 0,2 \mu\text{g/g}$) evidencia una condición metalogénica normal en el sentido que reflejaría las condiciones basales ("background") en punta Totalillo. (Tabla 37).

Tabla 37. Contratación entre el rango de mediciones de cadmio ($\mu\text{g/g}$) en el área de monitoreo y distintos criterios aplicados en el extranjero para establecer la calidad ambiental de sedimentos submareales. Punta Totalillo, Región de Atacama. Diciembre 2007.

Punta Totalillo	Criterio Florida		Criterio NOAA	
	TEL	PEL	ERL	ERM
0,2	0,67	4,2	1,2	9,6

TEL: Threshold effects level; PEL: Probable effects level
 ERL: Effects range low; ERM: Effects range median

Fluctuación temporal del contenido de cadmio en los sedimentos submareales

Durante el período de mediciones efectuado en punta Totalillo, los contenidos de cadmio se han mantenido bajo el límite de detección o muy cercanos a éste. (Figura 36). La ocurrencia de contenidos máximos puntuales que bordean los $0,6 \mu\text{g/g}$ (primera campaña de línea base) están lejos de mostrar señales de enriquecimiento metalogénico en los sedimentos.

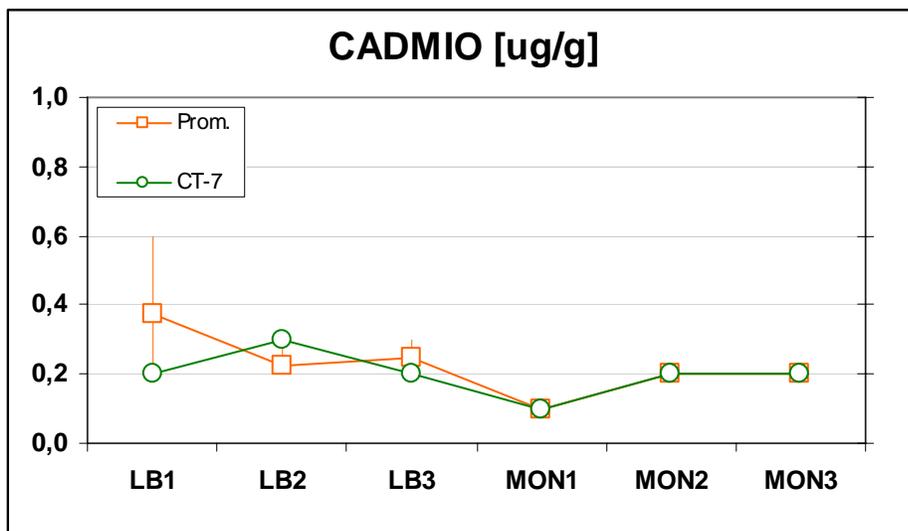


Figura 36. Fluctuación histórica del contenido de cadmio en los sedimentos submareales entre las campañas de línea base (LB) y los monitoreos (MON) efectuados a la fecha. Punta Totalillo, Región de Atacama. 2004-2007.

3.2.6. Cobre

En comparación con criterios de calidad referenciales extranjeros, los contenidos de cobre medidos en esta oportunidad fueron bajos ($< 5 \mu\text{g/g}$), registrándose mínimos que incluso no superaron los $2 \mu\text{g/g}$ (Tabla 38). Dentro de este estrecho rango de variación, los contenidos mayores se centraron en las estaciones CT-4 y CT-5 (Figura 37). Aún con estas diferencias observadas en el área de monitoreo, los resultados no indican la existencia de procesos de enriquecimiento metalogénico en la matriz sedimentaria.

Tabla 38. Contenido de cobre en sedimentos submareales superficiales. Punta Totalillo, Región de Atacama. Diciembre 2007.

Estación	COBRE [$\mu\text{g/g}$]
CT-1	1,2
CT-4	2,5
CT-5	3,9
CT-7	2,0
CT-8	1,2

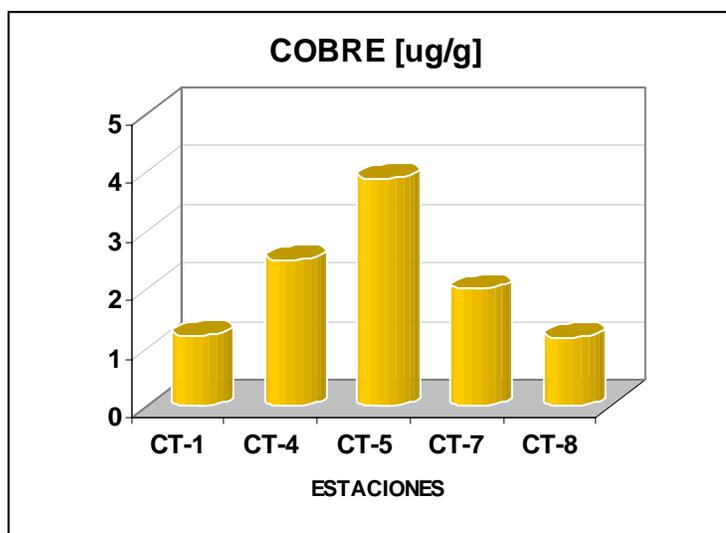


Figura 37. Contenido de cobre en los sedimentos submareales. Punta Totalillo, Región de Atacama. Diciembre 2007.

Comparación con referentes extranjeros

En comparación con los referentes de calidad ambiental extranjeros señalados en la Tabla 39, para el área de vigilancia no se aprecian alteraciones en la condición metalogénica de los sedimentos asociadas con los actuales niveles de cobre.

Tabla 39. Contrastación entre el rango de mediciones de cobre ($\mu\text{g/g}$) en el área de monitoreo y distintos criterios aplicados en el extranjero para establecer la calidad ambiental de sedimentos submareales. Punta Totoralillo, Región de Atacama. Diciembre 2007.

Punta Totoralillo	Criterio Florida		Criterio NOAA	
	TEL	PEL	ERL	ERM
1,2 – 3,9	18,7	108,2	34,0	270,0

TEL: Threshold effects level; PEL: Probable effects level
 ERL: Effects range low; ERM: Effects range median

Fluctuación temporal del contenido de cobre en los sedimentos submareales

Los actuales niveles de cobre han estado entre los más bajos registrados para esta serie histórica (Figura 38). En comparación con el segundo monitoreo, en la presente campaña se aprecia una disminución del contenido medio de este metal para las estaciones referenciales, aunque en los sedimentos de la estación referencial se registra un ligero incremento. Estas señales, junto con los niveles comparativamente bajos registrados respecto de las campañas de línea base, se desprende que las variaciones observadas responden mayoritariamente a procesos geoquímicos naturales en punta Totoralillo. Si bien la gráfica sugiere una tendencia a la disminución del contenido de cobre, este patrón podría estar inserto dentro de ciclos naturales que se presentan en períodos de mayor plazo (*i.e.* interanuales) o que podrían ser modificados por procesos oceanográficos frecuentes en estas latitudes (*i.e.* surgencias).

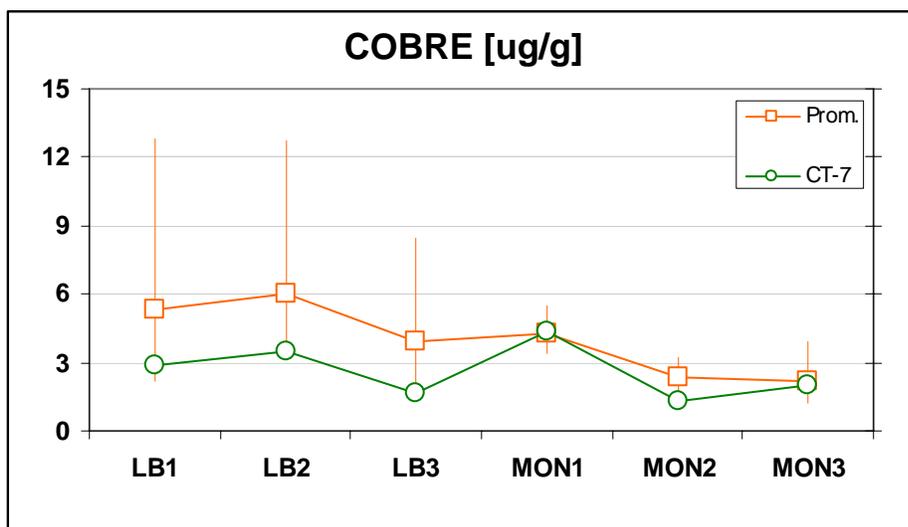


Figura 38. Fluctuación histórica del contenido de cobre en los sedimentos submareales entre las campañas de línea base (LB) y los monitoreos (MON) efectuados a la fecha. Punta Totoralillo, Región de Atacama. 2004-2007.

3.2.7. Cromo

Los niveles de cromo mostraron diferencias apreciables dentro del área de monitoreo (Tabla 40). Mientras en las estaciones CT-5, CT-7 y CT-8 los contenidos de este metal no superaron los $3 \mu\text{g/g}$, en las dos

estaciones restantes las concentraciones fueron un orden de magnitud más altas (Figura 39). Estos resultados sugieren la prevalencia de procesos de acumulación de cromo en dos de las estaciones más próximas al muelle en construcción.

Tabla 40. Contenido de cromo ($\mu\text{g/g}$) en sedimentos submareales superficiales. Punta Totalillo, Región de Atacama. Diciembre 2007.

Estación	CROMO [$\mu\text{g/g}$]
CT-1	23,8
CT-4	53,3
CT-5	2,5
CT-7	1,1
CT-8	1,3

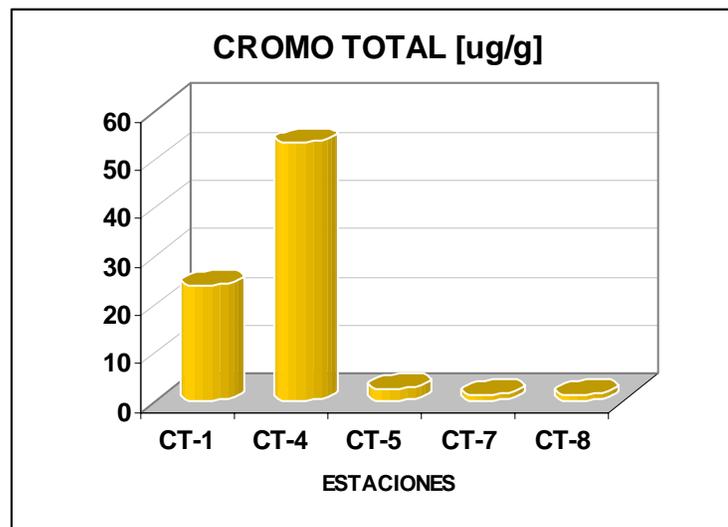


Figura 39. Contenido de cromo en los sedimentos submareales. Punta Totalillo, Región de Atacama. Diciembre 2007.

Comparación con referentes extranjeros

De las cinco mediciones efectuadas, cuatro de ellas se mantienen bajo los límites establecidos por ambos criterios de calidad extranjeros (Tabla 41). Sólo los sedimentos de CT-4 presentan un contenido superior al límite inferior (TEL) del Criterio Florida, aunque la diferencia es mínima ($1 \mu\text{g/g}$). Es posible que las estructuras metálicas utilizadas en la construcción del muelle tengan cierta incidencia en estos resultados.

Tabla 41. Contrastación entre el rango de mediciones de cromo ($\mu\text{g/g}$) en el área de monitoreo y distintos criterios aplicados en el extranjero para establecer la calidad ambiental de sedimentos submareales. Punta Totalillo, Región de Atacama. Diciembre 2007.

Punta Totalillo	Criterio Florida		Criterio NOAA	
	TEL	PEL	ERL	ERM
1,1 – 53,3	52,3	160,4	81,0	370,0

TEL: Threshold effects level; PEL: Probable effects level
 ERL: Effects range low; ERM: Effects range median

Fluctuación temporal del contenido de cromo en los sedimentos submareales

Tras un período en que el contenido medio de cromo se mantuvo bajo y estable, en el presente monitoreo muestra una tendencia al alza, que sólo se hace evidente en las estaciones expuestas ya que en la estación referencial se aprecia una tendencia inversa (Figura 40). Si bien el cromo es un metal que naturalmente se encuentra en los sedimentos, los niveles detectados en CT-1 y CT-4 podrían obedecer en parte a una componente de origen antrópico.

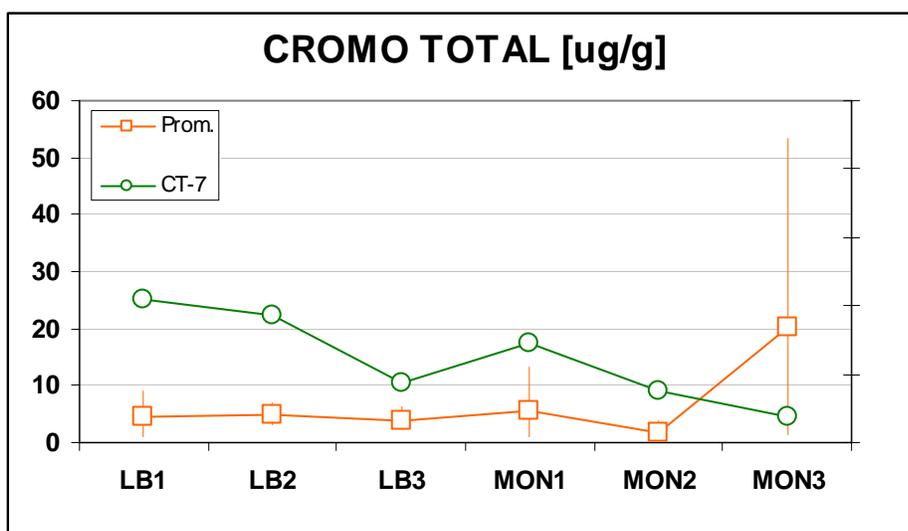


Figura 40. Fluctuación histórica del contenido de cromo total en los sedimentos submareales entre las campañas de línea base (LB) y los monitoreos (MON) efectuados a la fecha. Punta Totalillo, Región de Atacama. 2004-2007.

3.2.8. Cromo hexavalente

En ninguna de las muestras analizadas se detectó la ocurrencia de cromo VI a niveles cuantificables (Tabla 42 y Figura 41).

Tabla 42. Contenido de cromo VI ($\mu\text{g/g}$) en sedimentos submareales superficiales. Punta Totalillo, Región de Atacama. Diciembre 2007.

Estación	CROMO VI [$\mu\text{g/g}$]
CT-1	< 0,01
CT-4	< 0,01
CT-5	< 0,01
CT-7	< 0,01
CT-8	< 0,01

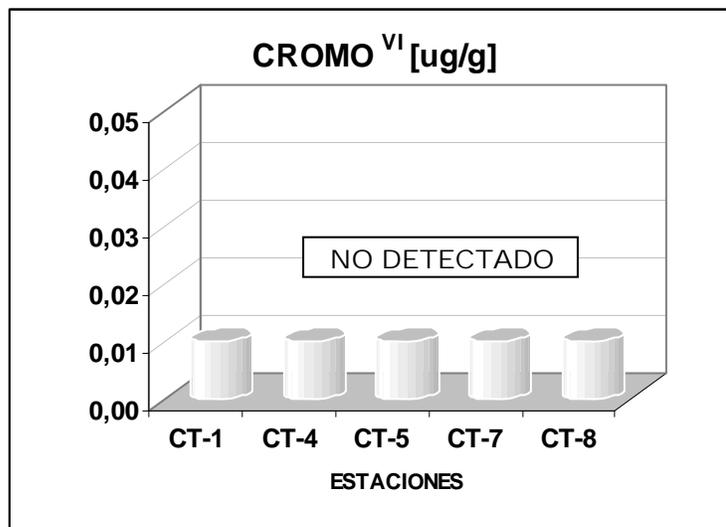


Figura 41. Contenido de cromo VI en los sedimentos submareales. Las columnas en blanco sólo indican el valor del límite de detección. Punta Totalillo, Región de Atacama. Diciembre 2007.

Comparación con referentes extranjeros

No se dispone de referentes extranjeros para contenidos de cromo VI en sedimentos marinos.

Fluctuación temporal del contenido de cromo VI en los sedimentos submareales

En la presente campaña se registraron los niveles más bajos de cromo VI para el área de monitoreo, de hecho todas las mediciones estuvieron bajo el límite de detección (Figura 42). En este sentido y considerando los resultados de la campaña de línea base, se desprende que los contenidos naturales de cromo VI pueden alcanzar naturalmente valores que bordean los 5 $\mu\text{g/g}$.

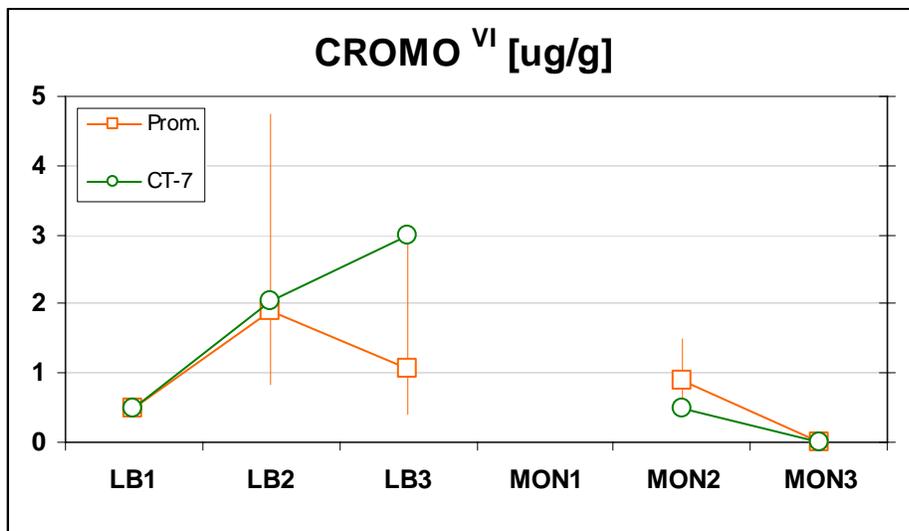


Figura 42. Fluctuación histórica del contenido de cromo VI en los sedimentos submareales entre las campañas de línea base (LB) y los monitoreos (MON) efectuados a la fecha. Punta Totalillo, Región de Atacama. 2004-2007.

3.2.9. Hierro

Según se desprende de las mediciones efectuadas (Tabla 43), en esta campaña los contenidos de hierro mostraron una mayor variabilidad en el área de monitoreo con valores que fluctuaron aproximadamente entre los 400 y 1.900 $\mu\text{g/g}$. El mayor contenido fue registrado en los sedimentos de CT-4, mientras que el mínimo no se detectó precisamente en la estación referencial, sino en una estación próxima al muelle en construcción (CT-5) (Figura 43).

Aún cuando las mediciones efectuadas en CT-4 podrían estar indicando aportes de hierro a los sedimentos, cabe recalcar que en las campañas de línea base se detectaron niveles naturales de este metal aún más altos (cerca de los 4.000 $\mu\text{g/g}$). En este sentido, y dada la variabilidad natural que puede mostrar el hierro en ambientes no intervenidos, es necesario considerar con cautela estos resultados.

Tabla 43. Contenido de hierro ($\mu\text{g/g}$) en sedimentos submareales superficiales. Punta Totalillo, Región de Atacama. Diciembre 2007.

Estación	HIERRO [$\mu\text{g/g}$]
CT-1	946,0
CT-4	3.506,9
CT-5	409,1
CT-7	797,8
CT-8	1.927,0

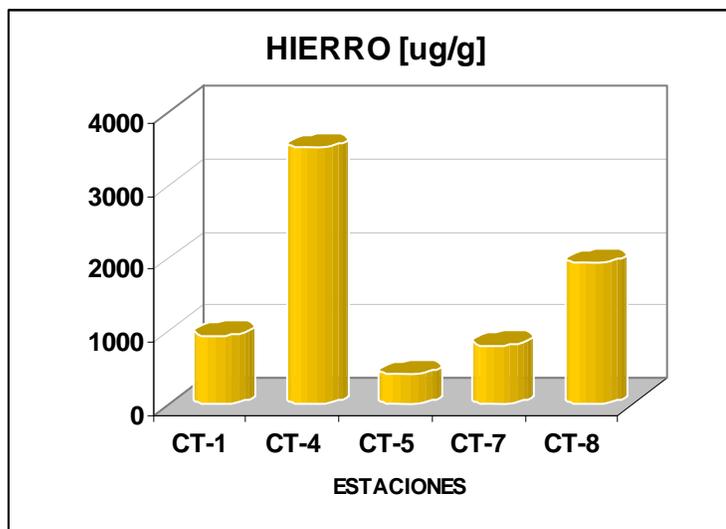


Figura 43. Contenido de hierro en los sedimentos submareales. Punta Totalillo, Región de Atacama. Diciembre 2007.

Comparación con referentes extranjeros

Aunque el hierro no es un metal tóxico, a niveles excesivamente altos puede generar efectos adversos sobre la biota. En comparación con el criterio extranjero señalado en la Tabla 44, los contenidos detectados en la presente campaña en punta Totalillo no revisten riesgo para el ecosistema marino.

Tabla 44. Contrastación entre el rango de mediciones de hierro ($\mu\text{g/g}$) en el área de monitoreo y distintos criterios aplicados en el extranjero para establecer la calidad ambiental de sedimentos submareales. Punta Totalillo, Región de Atacama. Diciembre 2007.

Punta Totalillo	Criterio Florida		Criterio NOAA		AET
	TEL	PEL	ERL	ERM	
409 – 3.506	--	--	--	--	22.000

TEL: Threshold effects level; PEL: Probable effects level
 ERL: Effects range low; ERM: Effects range median
 AET: Apparent effects threshold

Fluctuación temporal del contenido de hierro en los sedimentos submareales

De acuerdo a la serie histórica, para la presente campaña el hierro muestra un comportamiento distinto en las estaciones denominadas expuestas (*i.e.* estaciones distintas a la referencial), lo cual se refleja en un alza en la concentración media (Figura 44). Por otra parte, en la estación referencial el hierro prácticamente no muestra cambios en su contenido respecto de la campaña anterior, es más, los niveles detectados en estos dos últimos monitoreos han sido los más bajos registrados en la serie histórica de la estación referencial.

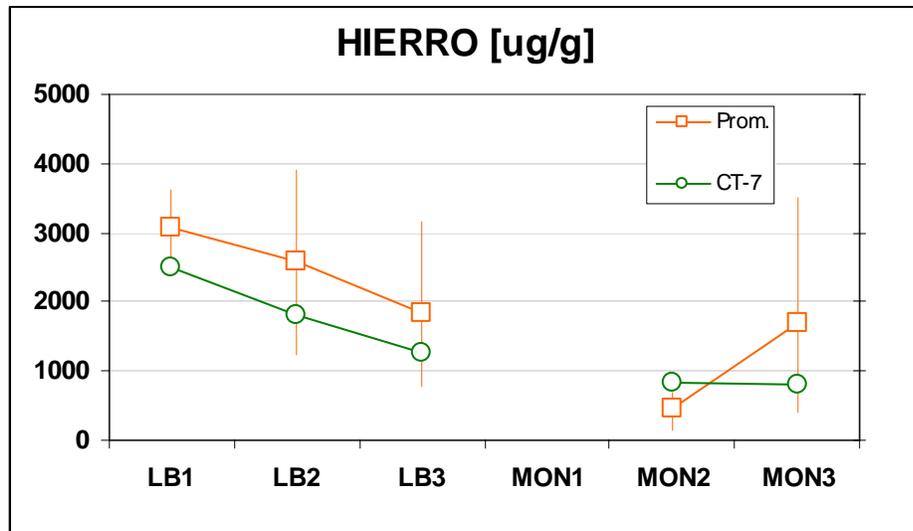


Figura 44. Fluctuación histórica del contenido de hierro en los sedimentos submareales entre las campañas de línea base (LB) y los monitoreos (MON) efectuados a la fecha. Punta Totalillo, Región de Atacama. 2004-2007.

3.2.10. Mercurio

La presencia de mercurio en los sedimentos fue detectada en todas las estaciones, aunque las mediciones estuvieron restringidas dentro de un estrecho rango de variación (Tabla 45). El contenido más alto fue detectado en la estación referencial, cuyos sedimentos se encontrarían libres de toda influencia humana directa. Dada la leve diferencia de contenidos entre las estaciones restantes, no es posible inferir algún patrón en su distribución.

Tabla 45. Contenido de mercurio ($\mu\text{g/g}$) en sedimentos submareales superficiales. Punta Totalillo, Región de Atacama. Diciembre 2007.

Estación	MERCURIO [$\mu\text{g/g}$]
CT-1	0,349
CT-4	0,432
CT-5	0,340
CT-7	0,789
CT-8	0,411

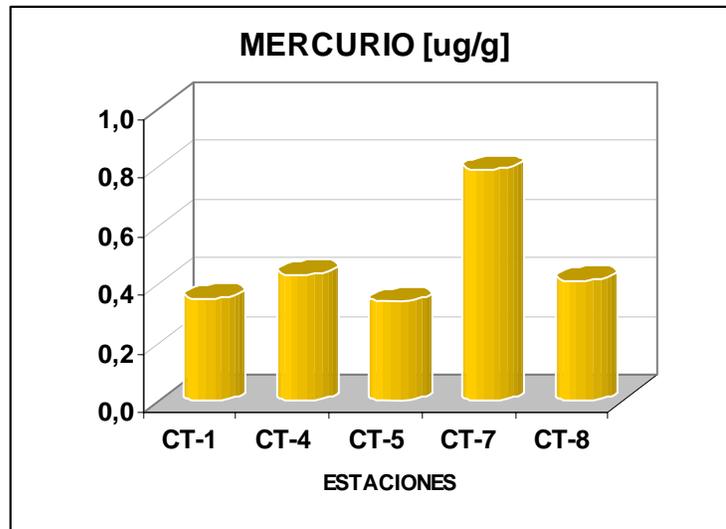


Figura 45. Contenido de mercurio en los sedimentos submareales. Punta Totalillo, Región de Atacama. Diciembre 2007.

Comparación con referentes extranjeros

Para esta campaña se aprecia que el rango de mercurio registrado para los sedimentos del área de monitoreo es superior al criterio Florida y la medición máxima (0,78 $\mu\text{g/g}$) supera el límite superior (ERM) del criterio NOAA. Aún cuando este escenario sugiera un deterioro en las condiciones ambientales de la matriz sedimentaria, cabe recordar que los niveles encontrados responden a una condición natural en punta Totalillo, más aún si se considera que en la segunda campaña de línea base los contenidos fueron aún más altos (incluso en la estación referencial).

Tabla 46. Contrastación entre el rango de mediciones de mercurio ($\mu\text{g/g}$) en el área de monitoreo y distintos criterios aplicados en el extranjero para establecer la calidad ambiental de sedimentos submareales. Punta Totalillo, Región de Atacama. Diciembre 2007.

Punta Totalillo	Criterio Florida		Criterio NOAA	
	TEL	PEL	ERL	ERM
0,34-0,78	0,13	0,15	0,69	0,71

TEL: Threshold effects level; PEL: Probable effects level
 ERL: Effects range low; ERM: Effects range median

Fluctuación temporal del contenido de mercurio en los sedimentos submareales

El contenido medio de mercurio mostró un aumento respecto del monitoreo anterior, aunque dicho incremento no superó mediciones previas efectuadas en la segunda campaña de línea base. Además esta alza fue mayor en los sedimentos de la estación referencial lo cual sugiere que el mercurio experimenta variaciones naturales importantes en el área de monitoreo (Figura 46).

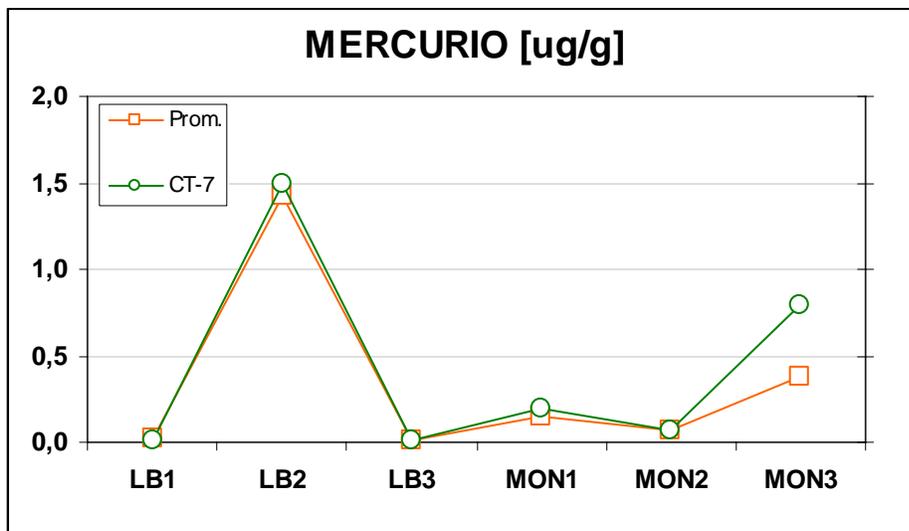


Figura 46. Fluctuación histórica del contenido de mercurio en los sedimentos submareales entre las campañas de línea base (LB) y los monitoreos (MON) efectuados a la fecha. Punta Totalillo, Región de Atacama. 2004-2007.

3.2.11. Plomo

En la presente campaña todas la presencia de plomo fue analíticamente indetectable (Tabla 47 y Figura 47). Según estos resultados, todas las mediciones estuvieron bajo el límite de detección.

Tabla 47. Contenido de plomo ($\mu\text{g/g}$) en sedimentos submareales superficiales. Punta Totalillo, Región de Atacama. Diciembre 2007.

Estación	PLOMO [$\mu\text{g/g}$]
CT-1	< 1,5
CT-4	< 1,5
CT-5	< 1,5
CT-7	< 1,5
CT-8	< 1,5

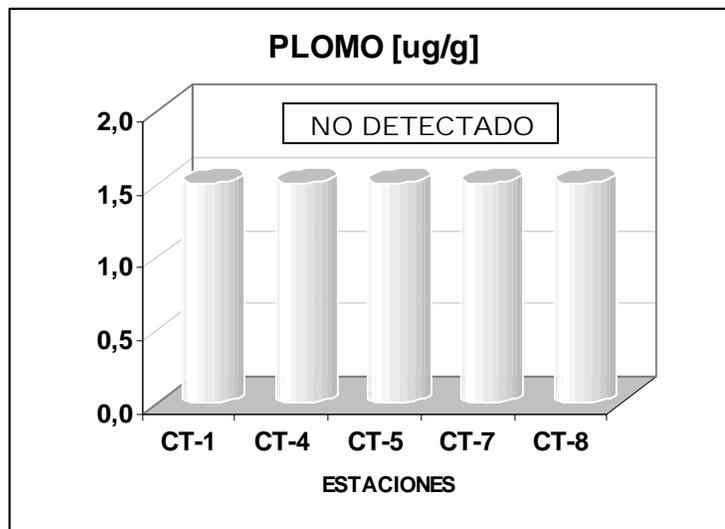


Figura 47. Contenido de plomo en los sedimentos submareales. Las columnas en blanco sólo indican el valor del límite de detección. Punta Totalillo, Región de Atacama. Diciembre 2007.

Comparación con referentes extranjeros

Los resultados reportados para la presente campaña son notoriamente inferiores a los límites más restrictivos (TEL y ERL) de ambos criterios ambientales extranjeros. En concordancia con los valores señalados en la Tabla 48, aunque considerando estos criterios ambientales sólo como referenciales, actualmente no se están produciendo procesos de acumulación de cobre en los sedimentos del área de monitoreo que impliquen riesgo ambiental para la vida acuática.

Tabla 48. Contrastación entre el rango de mediciones de plomo ($\mu\text{g/g}$) en el área de monitoreo y distintos criterios aplicados en el extranjero para establecer la calidad ambiental de sedimentos submareales. Punta Totalillo, Región de Atacama. Diciembre 2007.

Punta Totalillo	Criterio Florida		Criterio NOAA	
	TEL	PEL	ERL	ERM
< 1,5	30,2	112,1	46,7	218,0

TEL: Threshold effects level; PEL: Probable effects level
 ERL: Effects range low; ERM: Effects range median

Fluctuación temporal del contenido de plomo en los sedimentos submareales

Los contenidos de plomo registrados en esta oportunidad fueron menores respecto de las mediciones efectuadas en las tres campañas de línea base (Figura 48). Así también se verificó una disminución del contenido en comparación con el monitoreo previo. Este patrón se observó tanto para las estaciones expuestas como para la referencial. De la serie histórica se desprende que los contenidos de plomo se han mantenido en niveles bajos ($< 4 \mu\text{g/g}$), lo cual indica que no se verifican procesos de enriquecimiento en los sedimentos del área de monitoreo.

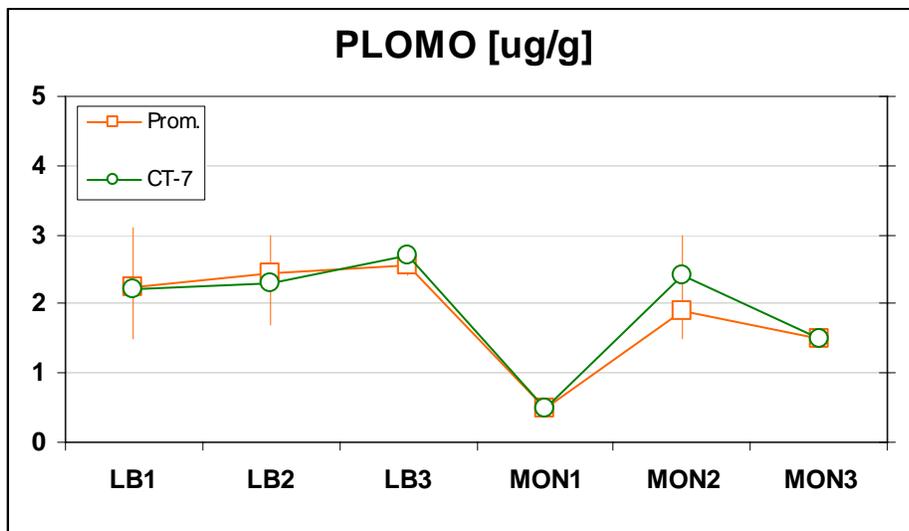


Figura 48. Fluctuación histórica del contenido de plomo en los sedimentos submareales entre las campañas de línea base (LB) y los monitoreos (MON) efectuados a la fecha. Punta Totalillo, Región de Atacama. 2004-2007.

3.2.12. Zinc

Si bien las mediciones de zinc fueron bajas, en los sedimentos de CT-4 el contenido de zinc muestra un comportamiento ligeramente distinto que se refleja en un nivel cercano a los $6 \mu\text{g/g}$ (Tabla 49 y Figura 49). En las cuatro estaciones restantes, la concentración de zinc en los sedimentos fue similar a la registrada en la estación referencial (CT-7).

Tabla 49. Contenido de zinc ($\mu\text{g/g}$) en sedimentos submareales superficiales. Punta Totalillo, Región de Atacama. Diciembre 2007.

Estación	ZINC [$\mu\text{g/g}$]
CT-1	1,5
CT-4	6,3
CT-5	1,6
CT-7	1,5
CT-8	2,1

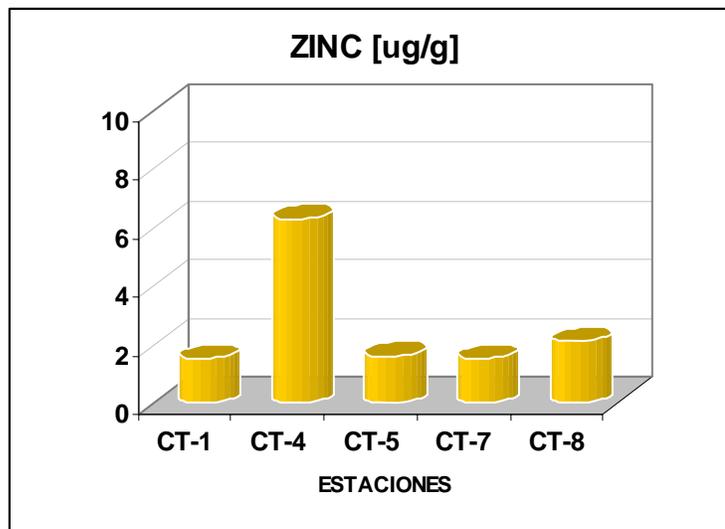


Figura 49. Contenido de zinc en los sedimentos submareales. Punta Totalillo, Región de Atacama. Diciembre 2007.

Comparación con referentes extranjeros

Al comparar el rango de mediciones de zinc con los referentes extranjeros (Tabla 50), se desprende que en los sedimentos del área de monitoreo de punta Totalillo no existen señales que indiquen procesos de acumulación metalogénica.

Tabla 50. Contrastación entre el rango de mediciones de zinc ($\mu\text{g/g}$) en el área de monitoreo y distintos criterios aplicados en el extranjero para establecer la calidad ambiental de sedimentos submareales. Punta Totalillo, Región de Atacama. Diciembre 2007.

Punta Totalillo	<i>Criterio Florida</i>		<i>Criterio NOAA</i>	
	TEL	PEL	ERL	ERM
1,5 – 6,3	124	271	150	410

TEL: Threshold effects level; PEL: Probable effects level
 ERL: Effects range low; ERM: Effects range median

Fluctuación temporal del contenido de zinc en los sedimentos submareales

La situación de este metal se mantiene prácticamente sin variaciones respecto del monitoreo anterior (Figura 50). Respecto de la comparación entre ambos tipos de estaciones, el contenido medio de zinc ha experimentado fluctuaciones similares aún cuando en las de tipo expuesta los niveles han sido ligeramente mayores (Figura 50).

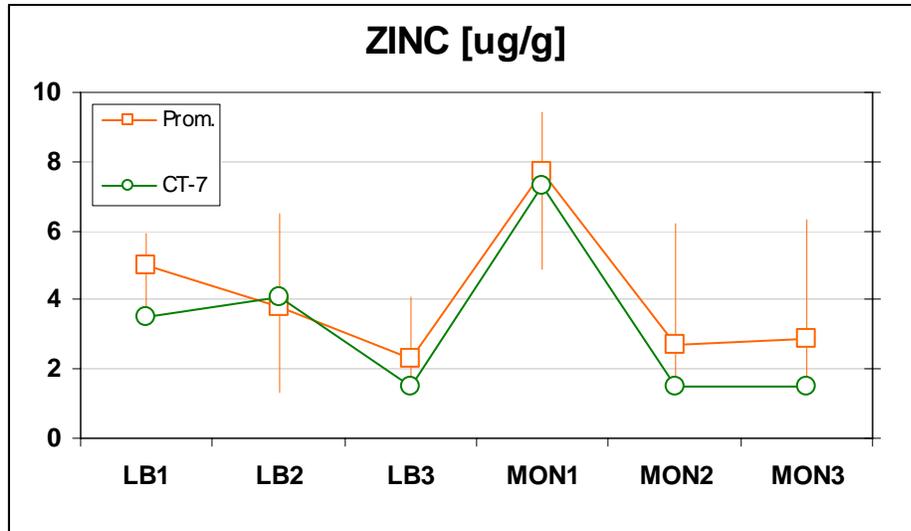


Figura 50. Fluctuación histórica del contenido de zinc en los sedimentos submareales entre las campañas de línea base (LB) y los monitoreos (MON) efectuados a la fecha. Punta Totalillo, Región de Atacama. 2004-2007.

3.3. Macrofauna submareal de fondos blandos

3.3.1. Composición, abundancia numérica y biomasa de la macrofauna

Para la presente campaña, la identificación taxonómica de la macrofauna recolectada permitió reconocer un total de 31 taxa (especies y categorías supraespecíficas), que en su conjunto totalizaron una abundancia numérica de 3.537 ind y una biomasa seca libre de cenizas equivalente de 85,69 g.

De los principales grupos faunísticos, sólo los equinodermos no estuvieron presentes en esta oportunidad. Respecto de los identificados, moluscos (39%) y crustáceos (32%) obtuvieron la mayor representatividad dentro de la macrofauna, si bien la ocurrencia de poliquetos dentro de la composición faunística también fue importante (Figura 51). La contribución de otros grupos menores fue baja (3%).

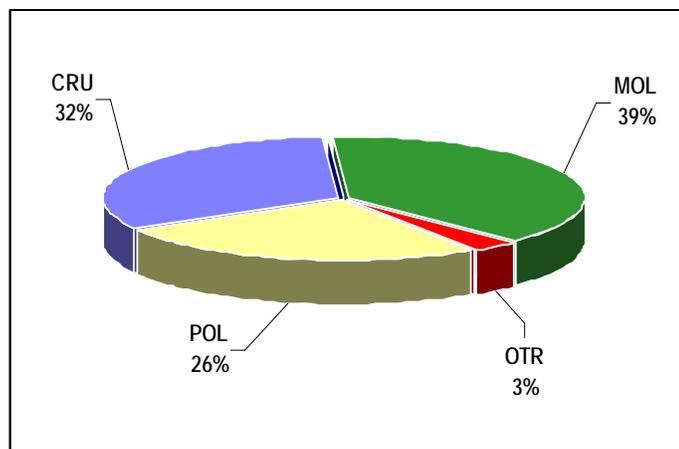


Figura 51. Composición porcentual del número de especies de la macrofauna submareal de fondos blandos. Punta Totalillo, Región de Atacama. Diciembre 2007.

La mayor abundancia numérica estuvo dada por los poliquetos con cerca del 80% de todos los individuos recolectados (Figura 52). El aporte en conjunto de moluscos y crustáceos significó sólo el 18% del recuento total de individuos; de ambos grupos la contribución de los crustáceos fue marginal (2%) (Figura 52). La especie numéricamente más abundante fue el caracol *Turritella cingulata* con 2.453 individuos (69,3% de la abundancia total de la macrofauna), en segunda posición se ubicó el pequeño gastrópodo *Rissoina inca* (338 ind) y en tercer lugar el molusco *Nassarius gayi* (236 ind). *Linucula pisum*, un pequeño bivalvo que habita estos fondos fue la cuarta especie en registrar un recuento superior al centenar de ejemplares (133 ind).

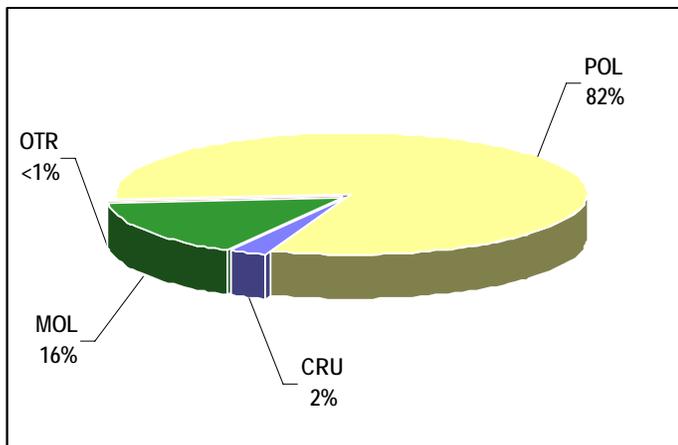


Figura 52. Composición porcentual del número de individuos de la macrofauna submareal de fondos blandos. Punta Totoralillo, Región de Atacama. Diciembre 2007.

La biomasa estuvo ampliamente dominada por los moluscos (prácticamente el 100%) debido al significativo aporte de *Turritella cingulata* (82,21 g), equivalente al 95,9% de todo el peso vivo de la macrofauna recolectada en el área de monitoreo (Figura 53). Estos resultados demuestran que *T. cingulata* es la especie dominante de la macroinfauna del área de monitoreo.

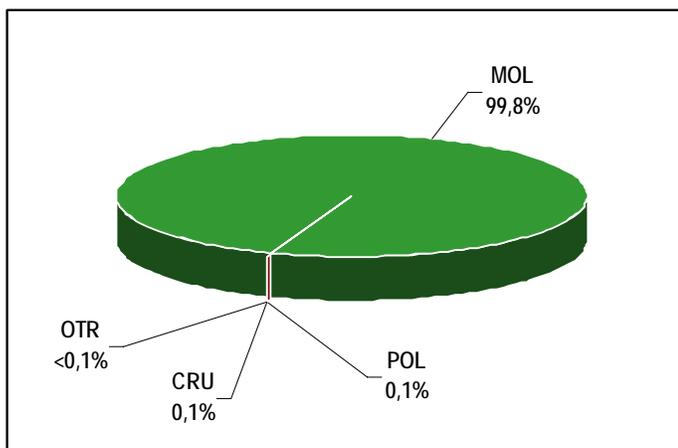


Figura 53. Composición porcentual de la biomasa en peso seco libre de cenizas. Punta Totoralillo, Región de Atacama. Diciembre 2007.

3.3.2. Índices de la estructura comunitaria de la macrofauna

El diagnóstico actual de la macrofauna se efectúa en base al análisis de los índices ecológicos indicados en la Tabla 51 y desplegados gráficamente en la Figura 54.

El número de especies presenta cifras similares en cuatro de las cinco estaciones de la red de monitoreo (entre 12 y 19 especies). Salvo en la estación referencial en que la macrofauna no supera las 10 especies, en las estaciones restantes su número varía dentro de un estrecho rango, siendo máximo en dos de las estaciones más próximas al muelle en construcción.

La abundancia numérica muestra una mayor variabilidad, con una fluctuación dentro de tres órdenes de magnitud. Sin embargo, esta variación responde principalmente a la distribución espacial que presenta *T. cingulata* dentro del área de monitoreo. Las abundancias numéricas más altas se centraron en estaciones próximas al muelle en construcción, mientras que la mínima se registró en la macrofauna de la estación referencial. Este patrón podría responder a una mayor disponibilidad de nutrientes en las cercanías del muelle producto del movimiento en los sedimentos u obedecer a patrones conductuales asociados a períodos reproductivos.

La biomasa mostró un patrón de distribución similar al descrito para la abundancia numérica. El valor mínimo de biomasa se presentó en CT-7, mientras que los máximos estuvieron asociados con la macrofauna de CT-1 y CT-5.

La diversidad específica se presentó alta en CT-4 (> 2 bit/ind), moderada en CT-1, CT-7 y CT-8 (entre 1 y 2 bit/ind) y baja en CT-5 (< 1 bit/ind). Este patrón obedece a la relevancia del aporte numérico de *T. cingulata*, el cual si es alto puede afectar la componente de uniformidad dentro de la estructura comunitaria de la macrofauna presente en la estación.

Tabla 51. Parámetros comunitarios para las estaciones bentónicas. Punta Totalillo, Región de Atacama. Diciembre 2007.

ESTACION	S	N	B	H'	J'	Especie dominante
CT-1	18	1503	43,35	1,280	0,443	<i>Turritella cingulata</i>
CT-4	19	275	3,44	2,129	0,723	<i>Turritella cingulata</i>
CT-5	12	1534	35,81	0,505	0,203	<i>Turritella cingulata</i>
CT-7	6	9	0,0004	1,735	0,968	--
CT-8	14	216	3,09	1,873	0,710	<i>Linucula pisum</i>

S, número de especies; N, número individuos; B, biomasa en peso seco libre de cenizas (g); H', diversidad específica (bit/ind.); J', uniformidad.

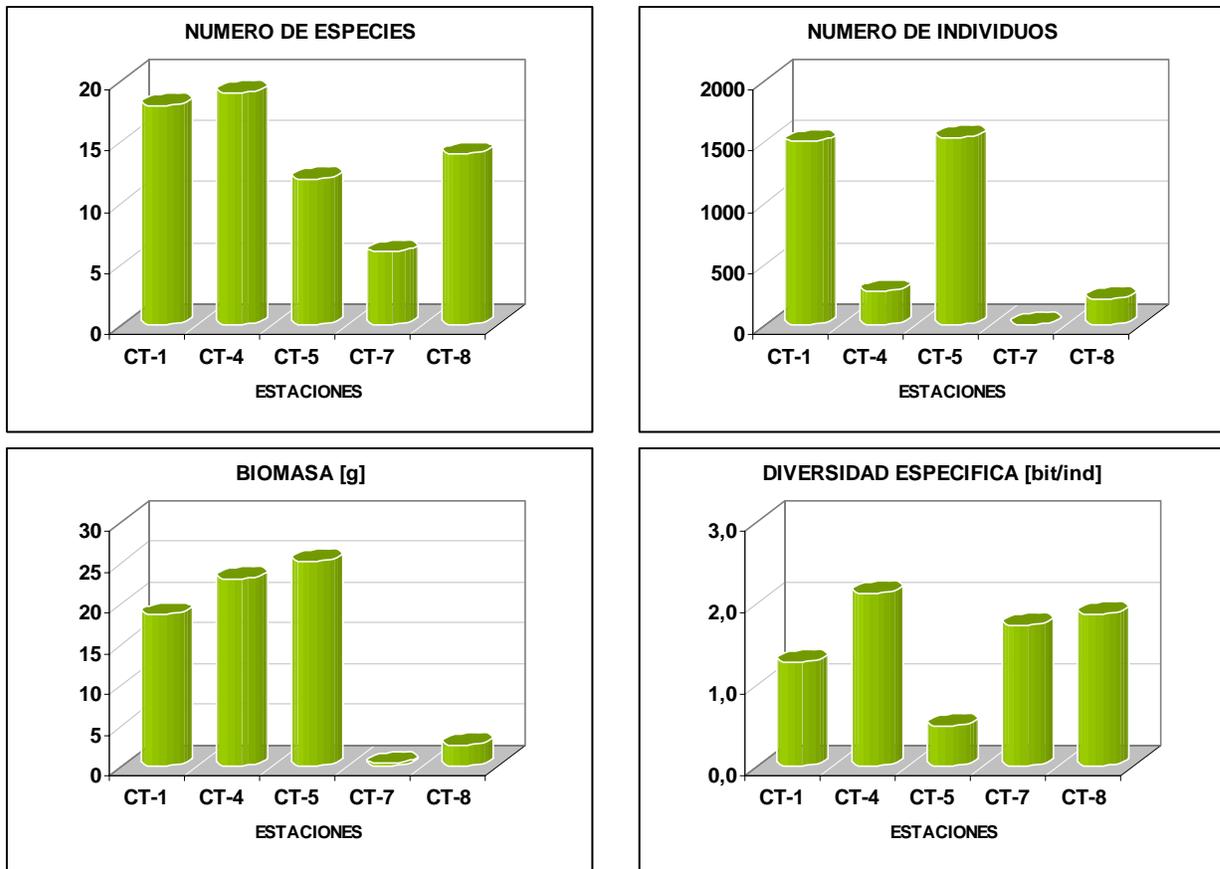


Figura 54. Distribución de los parámetros comunitarios de la macroinfauna submareal de fondos blandos (número de especies, abundancia, biomasa y diversidad específica) para cada estación monitoreada. Punta Totoralillo, Región de Atacama. Diciembre 2007.

3.3.3. Clasificación y ordenamiento espacial de la macrofauna

El dendrograma (Figura 55) muestra claramente que la estación referencial presenta una estructura comunitaria distinta de la macrofauna presente en las cuatro estaciones restantes, condición que se refleja en un bajo porcentaje de similitud. Las estaciones restantes se segregan en dos grupos, siendo CT-1 y CT-5 las estaciones que presentan la macrofauna con mayor afinidad entre sí. Si bien desde el punto de vista comunitario CT-4 y CT-8 comparten condiciones similares, la similitud entre ambas es más bien discreta (< 50%).

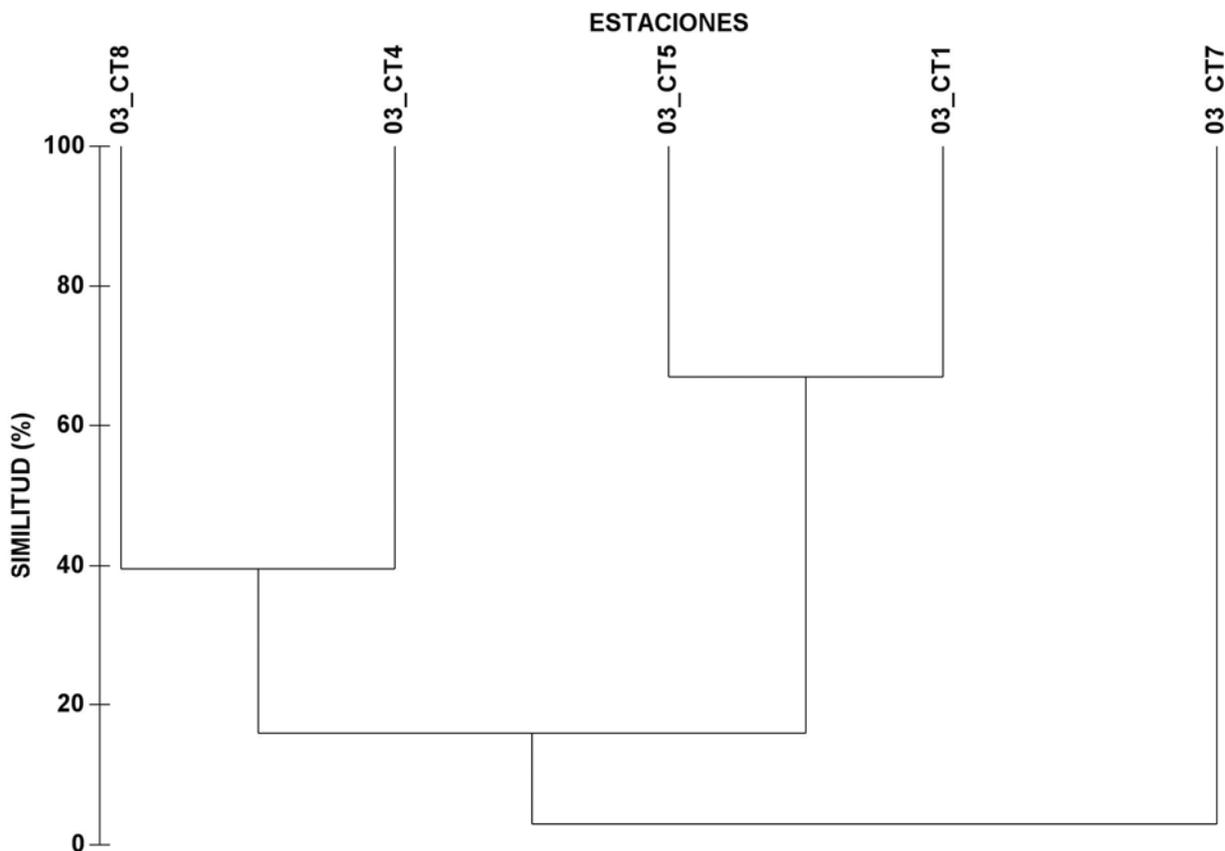


Figura 55. Dendrograma de clasificación en similitud de las comunidades de fondos submareales blandos. Punta Totalillo, Región de Atacama. Diciembre 2007.

El plano de ordenación (Figura 56) refleja un patrón similar al descrito para el dendrograma. La estación CT-7 se ubica a gran distancia de las restantes debido a los valores anómalos de los índices ecológicos (principalmente número de especies y número de individuos). De las estaciones restantes, CT-8 muestra un mayor alejamiento de la nube debido a que, si bien presenta un número de especies intermedio su abundancia numérica es comparativamente baja debido al menor aportes de ejemplares de *T. cingulata*; condición que podría estar asociada a una distinta composición granulométrica de los fondos (arenas finas). Las tres estaciones restantes (CT-1, CT-4 y CT-5) son las más próximas al muelle en construcción y las que presentan los índices ecológicos más altos, producto probablemente de condiciones ambientales más favorables en términos de refugio, disponibilidad de nutrientes, entre otras.

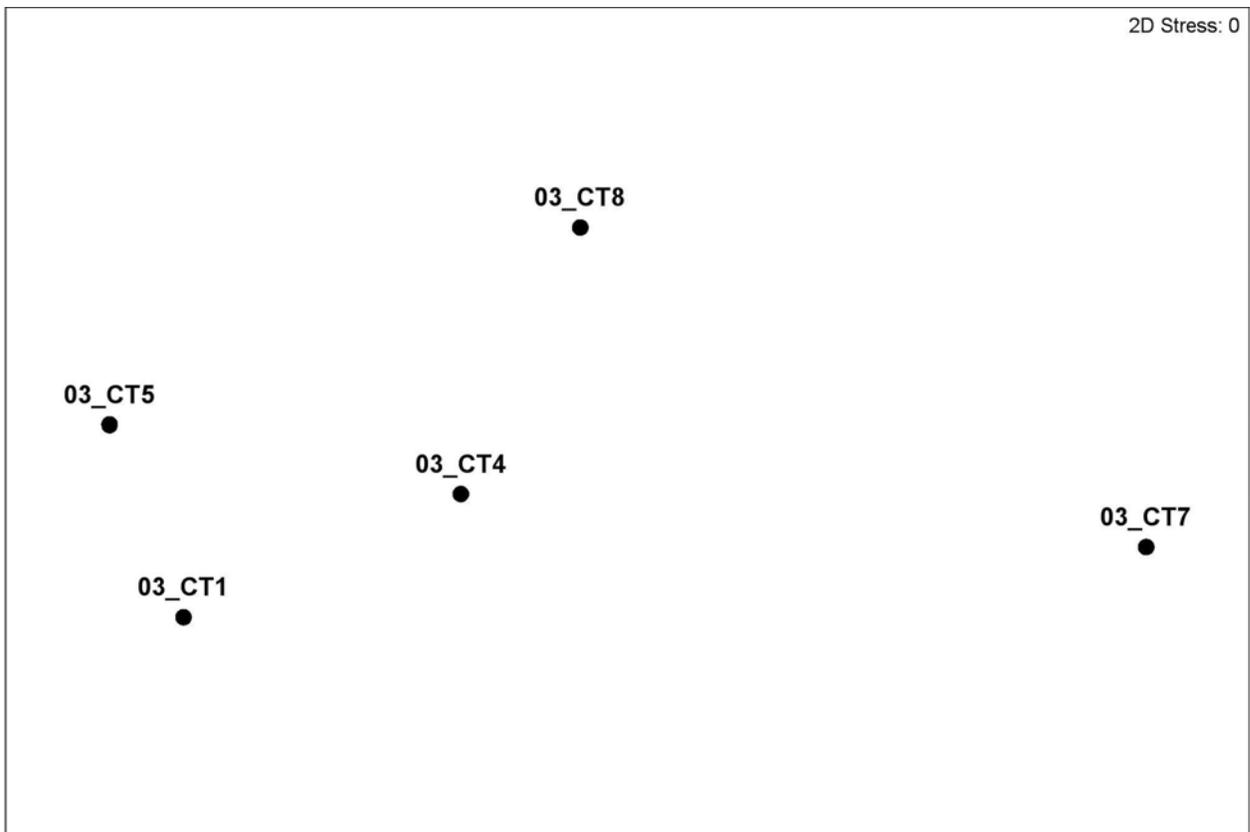


Figura 56. Ordenación de las estaciones de monitoreo de las macrofauna de fondos submareales blandos. Punta Totalillo, Región de Atacama. Diciembre 2007.

Fluctuación temporal de los índices ecológicos de la macrofauna submareal de fondos blandos

El número de especies mostró una disminución importante en la estación referencial (< 10 especies), no así en las estaciones expuestas en donde prácticamente se mantuvo en el mismo nivel del monitoreo anterior.

El número de individuos disminuyó ligeramente en la estación referencial debido al bajo aporte numérico de la macrofauna en la estación CT-7. Aunque en las estaciones expuestas la abundancia numérica también decayó, dicha baja fue mínima respecto del monitoreo anterior, manteniéndose los valores dentro del rango observado para las campañas de línea base.

Las fluctuaciones en biomasa están ampliamente dominadas por la presencia de *T. cingulata*. En la estación referencial este parámetro mostró una baja importante, la cual representa el mínimo histórico de

toda la serie. Aunque en las estaciones expuestas también se registró un comportamiento similar de la biomasa, la disminución fue claramente menos intensa.

Los valores de diversidad específica sugieren un comportamiento cíclico, registrándose en esta oportunidad niveles mayores a los reportados en el segundo monitoreo. Como se puede apreciar, este parámetro no es tan sensible para mostrar las variaciones que experimenta la macrofauna, considerando por ejemplo las condiciones descritas para la macrofauna de CT-7.

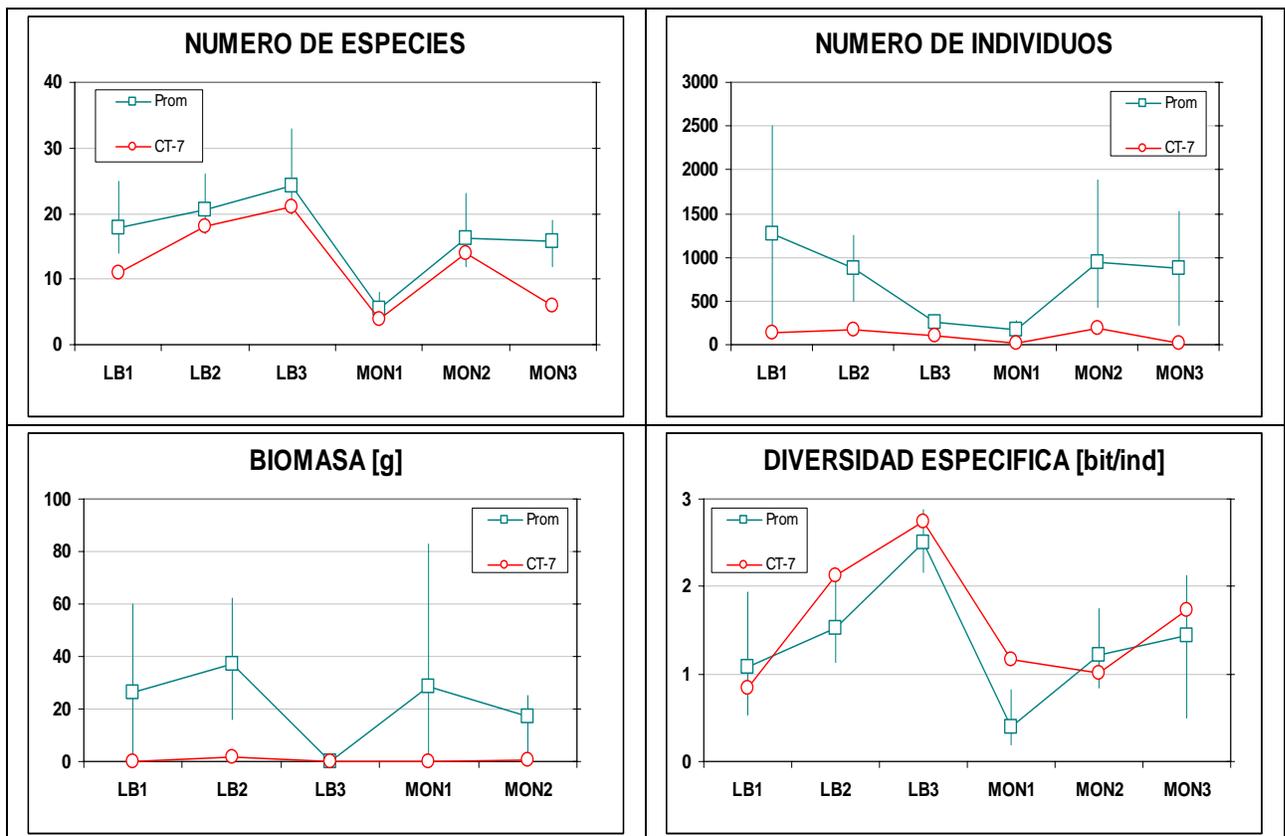


Figura 57. Fluctuación histórica de los índices ecológicos de la macrofauna submareal de fondos blandos entre las campañas de línea base (LB) y los monitoreos (MON) efectuados a la fecha. Punta Totalillo, Región de Atacama. 2004-2007.

3.4. Macrobiota submareal de fondos rocosos

3.4.1. Composición específica de la macrobiota identificada

La identificación de la macrobiota de los fondos rocosos submareales permitió reconocer un total de 9 especies y categorías supraespecíficas, segregadas en 6 tipos distintos de macroinvertebrados y 3 de macroalgas. En la Tabla 52 se detalla la composición específica de esta macrobiota.

Tabla 52. Listado de las especies identificadas para el sector prospectado de fondos rocosos submareales. Punta Totalillo, Región de Atacama. Diciembre 2007.

Tipo de macrobiota	Nombre científico	Nombre común
Macroinvertebrados	01. <i>Concholepas concholepas</i>	Loco
	02. <i>Fissurella crassa</i>	Lapa
	03. <i>Phymactis climatis</i>	Actinia, "poto de mar"
	04. <i>Stichaster striatus</i>	Estrella de mar
	05. <i>Tegula atra</i>	Caracol negro, caracol tegula
	06. <i>Tetrapygyus niger</i>	Erizo negro
Macroalgas	01. <i>Glossophora kunthii</i>	--
	02. <i>Halopteris</i> sp.1	--
	03. <i>Lessonia trabeculata</i>	Chascón

Si bien el número de especies de macroinvertebrados mostró una baja variabilidad en las primeras cuatro transectas (Figura 58), se aprecia que el valor más bajo se registró en PT-SR05, es decir, en el sector más protegido de punta Totalillo.

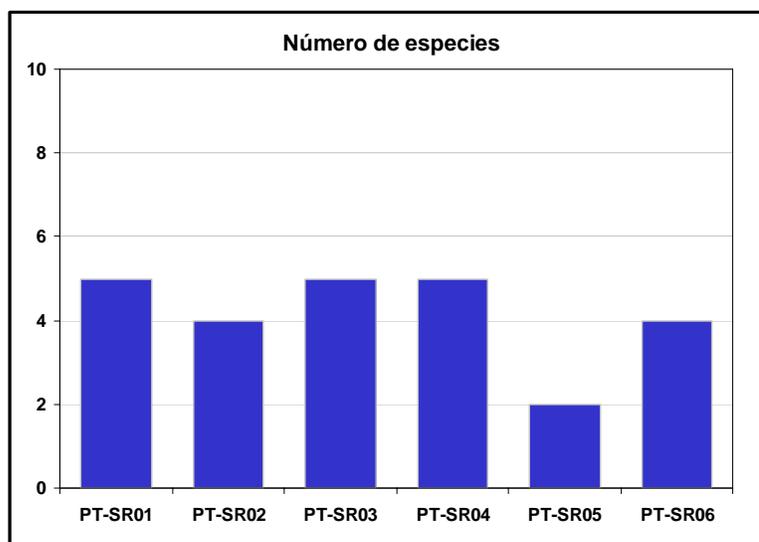


Figura 58. Distribución por transecta del número de especies de invertebrados bentónicos. Punta Totalillo, Región de Atacama. Diciembre 2007.

Con respecto a la composición específica de las macroalgas, su representatividad en el área de monitoreo fue baja, no superando las tres especies como máximo (Figura 59). En la mayoría de las transectas sólo se registró la presencia de dos especies, mientras que en PT-SR6 sólo se encontró ejemplares de *Halopteris* sp.

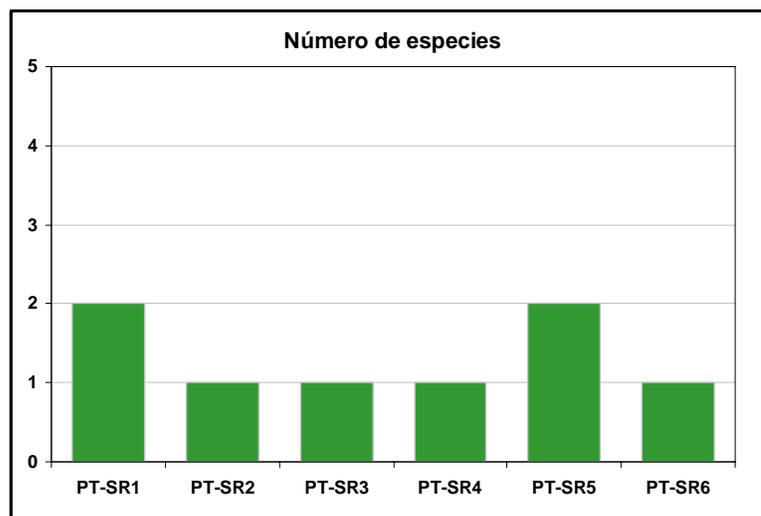


Figura 59. Distribución por transecta del número de especies de macroalgas. Punta Totalillo, Región de Atacama. Diciembre 2007.

3.4.2. Estructura comunitaria de la macrobiota

a. Número de individuos

Para la presente campaña se registró un total de 944 individuos. Sin embargo, una proporción importante estuvo dominada por el molusco gastrópodo *Tegula atra* (Tabla 53). Por otra parte, en comparación con la abundancia total, el número de individuos pertenecientes a especies de interés comercial fue bajo: 5 individuos de "loco" (*Concholepas concholepas*) y 4 ejemplares de "lapa" (*Fissurella crassa*).

Tabla 53. Número total de individuos (N) por especie identificada del submareal rocoso. Punta Totalillo, Región de Atacama. Diciembre 2007.

Especie	N ⁽¹⁾
<i>Concholepas concholepas</i>	5
<i>Fissurella crassa</i>	4
<i>Lessonia trabeculata</i>	2
<i>Phymactis climatis</i>	34
<i>Stichaster striatus</i>	7
<i>Tegula atra</i>	873
<i>Tetrapyqus niger</i>	19

(1) Dos réplicas por estación

La distribución por transecta del número de individuos muestra claramente la influencia que tiene de *T. atra* en el patrón observado (Figura 60). El mayor número de individuos se concentró a lo largo de las transectas PT-SR02 y PT-SR03. Aunque la tendencia demuestra que los valores de este parámetro disminuyen en ambos sentidos (oriente y poniente), la gradiente es más acentuada hacia el sector más protegido del área de monitoreo (transecta PT-SR06).

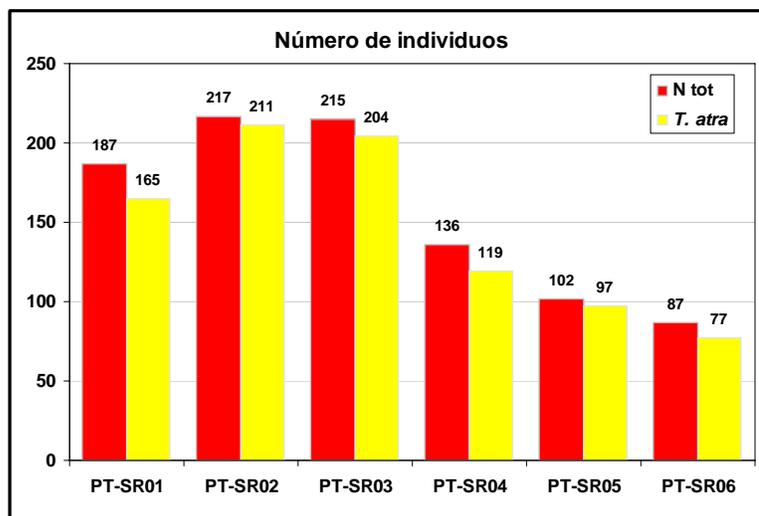


Figura 60. Distribución por transecta del número total de individuos (N tot) y de *Tegula atra* (*T. atra*). Punta Totalillo, Región de Atacama. Diciembre 2007.

b. Cobertura

La macrobiota colonial sólo estuvo compuesta por macroalgas (Tabla 54), de las cuales *Halopteris* fue la especie con mayor porcentaje de cobertura. El aporte de la especie restante (*G. kunthii*) fue marginal.

Tabla 54. Cobertura (Cob) porcentual promedio por especie identificada del submareal rocoso. Punta Totalillo, Región de Atacama. Diciembre 2007.

Especie	Cob (%)
<i>Glossophora kunthii</i>	0,4
<i>Halopteris</i> sp.1	53,1

En la mayoría de las transectas se registró niveles de cobertura superiores al 40% (Figura 61). Los mayores porcentajes estuvieron asociados con las transectas PT-SR1 y PT-SR3, es decir, dos de las más próximas al muelle en construcción. Aunque la transecta PT-SR6 también aparece con una alta cobertura, su desarrollo longitudinal es comparativamente menor respecto de las restantes.

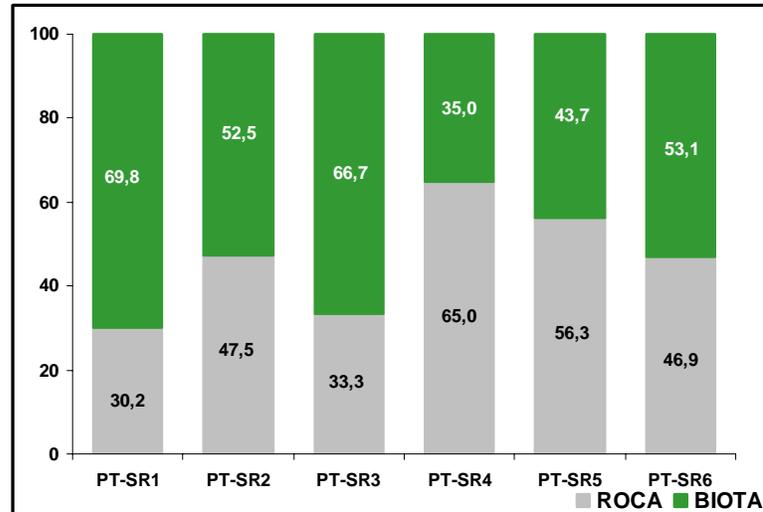


Figura 61. Cobertura porcentual por transecta del submareal rocoso. Se indica además el porcentaje de roca desnuda. Punta Totalillo, Región de Atacama. Diciembre 2007.

3.4.3. Distribución espacial de la macrobiota

a. Abundancia numérica y número de especies

En todas las transectas se aprecia básicamente el mismo patrón de distribución: una disminución del número de especies y de individuos conforme la profundidad aumenta. De igual modo que en la campaña anterior, los valores máximos de estos índices ecológicos estuvieron asociados a estaciones relativamente someras próximas a la línea de marea baja (Figura 62).

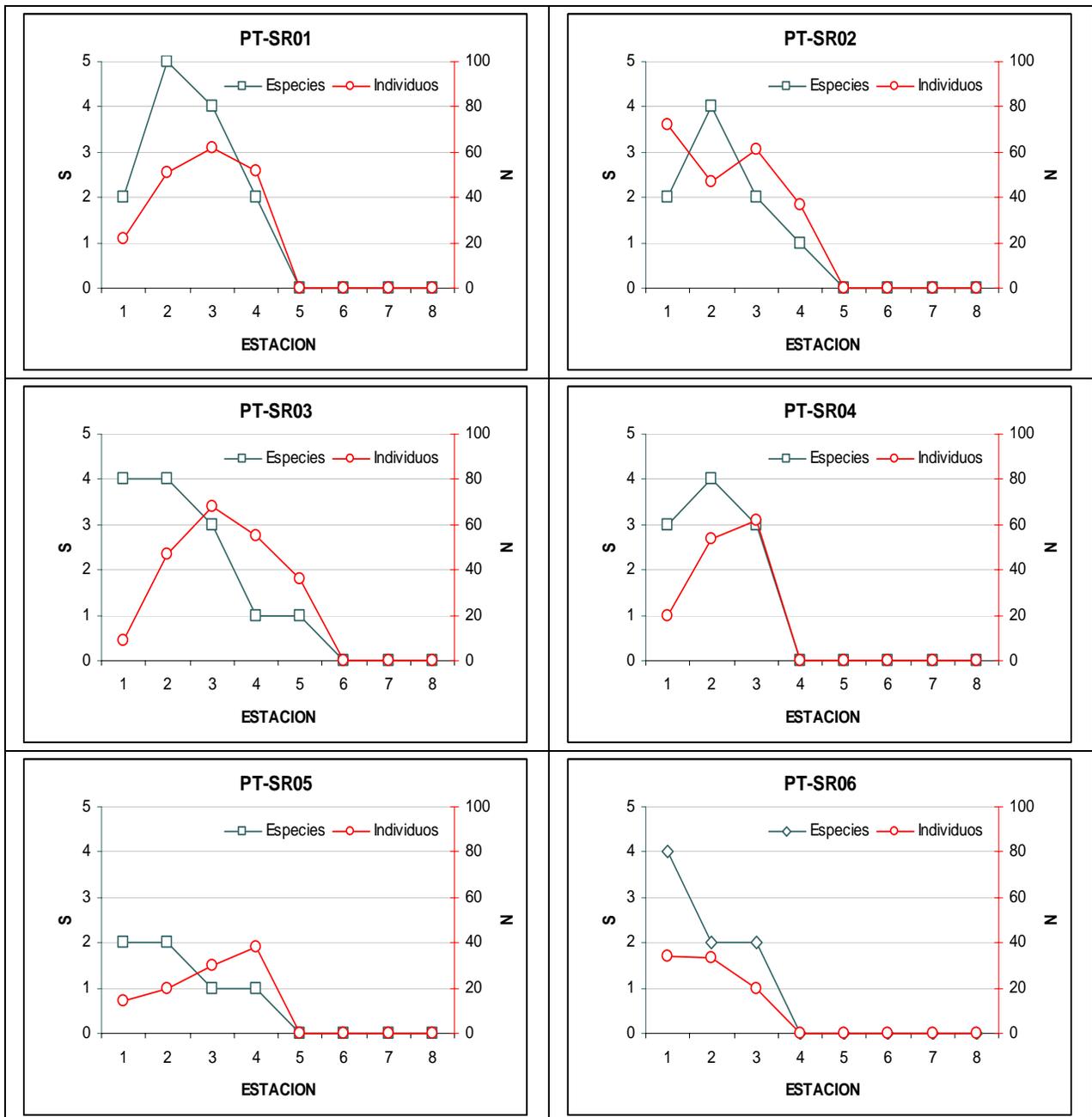


Figura 62. Número de individuos (N) y de especies (S) por transecta del submareal rocoso. Estación 1 en línea de baja marea Punta Totalillo, Región de Atacama. Diciembre 2007.

b. Cobertura biótica y número de especies

Salvo la transecta PT-SR03, la distribución vertical de la cobertura biótica mostró un patrón similar al descrito para la abundancia numérica. Dado el bajo número de macroalgas no es posible establecer algún tipo de patrón vertical. Cabe señalar que dado el monopolio de *Halopteris* en la colonización de estos fondos, las distribuciones verticales básicamente representan la distribución de esta especie (Figura 63). El

patrón observado en la cobertura de PT-SR03 refleja que la presencia de *Halopterus* en esta transecta comienza a una mayor profundidad.

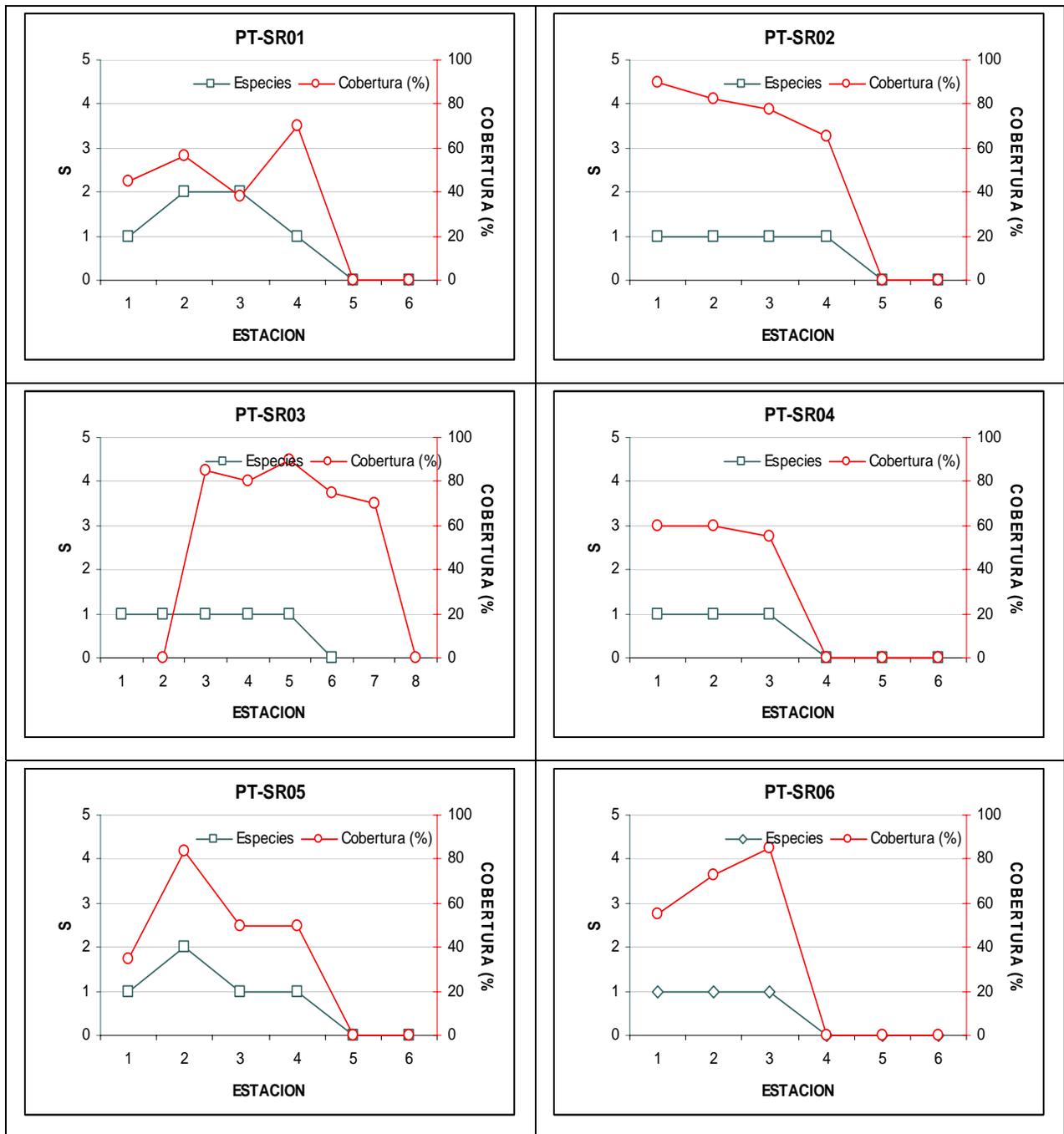


Figura 63. Cobertura porcentual y número de especies (S) por transecta del submareal rocoso. Estación 1 en línea de baja marea. Punta Totalillo, Región de Atacama. Diciembre 2007.

3.4.4. Análisis de las fluctuaciones temporales

En la Tabla 55 se presenta los valores históricos de los índices ecológicos aplicados para caracterizar la composición específica y estructura comunitaria de la macrobiota del submareal rocoso.

El número de especies mostró una disminución en la mayoría de las transectas; este hecho se reflejó con mayor intensidad en la transecta PT-SR5 en donde hubo una reducción de tres especies. Sólo en PT-SR6 la riqueza específica se mantuvo sin variaciones. Un aspecto que hasta esta fecha se mantiene es la mayor composición específica de la macrobiota de la transecta PT-SR1. En las transectas restantes, el número de especies no supera los seis taxa (macroinvertebrados y macroalgas).

En comparación con la campaña anterior, el número de individuos también mostró una disminución generalizada en todas las transectas. Las bajas más conspicuas se registraron para la macrobiota de las transectas PT-SR4 y PT-SR3. En todo caso, los valores registrados en el presente monitoreo están dentro del rango reportado para las campañas de línea base. Al comparar los resultados del presente monitoreo respecto de los registros históricos de las dos campañas de línea base, se aprecia que si bien hubo una disminución de los valores de abundancia numérica, las actuales cifras son mayoritariamente superiores a las reportadas en las primeras dos campañas efectuadas en punta Totoralillo.

La cobertura biótica aumentó sólo en la transecta PT-SR1, registrándose en las restantes una baja entre 1 y 32 puntos porcentuales. En comparación con los registros de las campañas de línea base, la macrobiota de PT-SR1 presentó una cobertura biótica mayor, mientras que en todas las transectas restantes los niveles fueron menores al rango referencial.

Tabla 57. Índices ecológicos de la macrobiota submareal de fondos rocosos registrados en las dos campañas efectuadas en el área de estudio. Punta Totoralillo, Región de Atacama. Diciembre 2007.

Índice ecológico	Campaña	PT-SR1	PT-SR2	PT-SR3	PT-SR4	PT-SR5	PT-SR6
<i>Número de especies</i>	LB1_Jul 2005	11	7	5	3	4	5
	LB2_Ene 2006	9	6	3	2	4	3
	MON1_Dic 2006	10	6	4	2	4	1
	MON2_Jul 2007	8	7	7	8	7	5
	MON3_Dic 2007	7	5	6	6	4	5
<i>Número de individuos</i>	LB1_Jul 2005	272	12	7	0	1	7
	LB2_Ene 2006	47	5	7	1	1	4
	MON1_Dic 2006	65	9	2	1	0	0
	MON2_Jul 2007	245	262	363	301	132	97
	MON3_Dic 2007	187	217	215	136	102	87
<i>Cobertura biótica (%)</i>	LB1_Jul 2005	23,5	88,3	78,0	65,0	73,3	65,0
	LB2_Ene 2006	17,1	85,4	74,6	56,2	95,5	55,0
	MON1_Dic 2006	10,1	52,1	38,8	30,9	1,0	8,1
	MON2_Jul 2007	35,3	70,0	75,0	67,5	45,3	68,8
	MON3_Dic 2007	69,8	52,5	66,7	35,0	43,7	53,1

4. CONCLUSIONES

En base a los presentes resultados obtenidos en el presente monitoreo y en comparación con los generados en las campañas previas (línea base y monitoreos anteriores), se desprenden las siguientes conclusiones:

4.1. Columna de agua

- Ninguno de los parámetros físicos o químicos de la columna de agua mostró variaciones relevantes en la matriz acuosa respecto de los valores históricos.
- La matriz acuosa no muestra señales de enriquecimiento metalogénico. Esta conclusión se basa en la comparación efectuada entre los resultados obtenidos y los límites máximos señalados en la Guía CONAMA. En este sentido, y considerando los metales regulados en este documento, las aguas del área de monitoreo de punta Totoralillo tipifican de buena a muy buena calidad (Clase 1 y Clase 2).

En términos generales, si bien la matriz acuosa muestra variabilidad espacial en la distribución de los parámetros analizados, dichos cambios no se asocian con la actual fase de construcción del muelle.

4.2. Sedimentos submareales

- La granulometría de los sedimentos superficiales no muestra cambios significativos en su composición, caracterizándose por el predominio de arenas gruesas, registrándose puntualmente en un sector la presencia de arenas finas (condición que ya había sido reportada en la campaña anterior).
- Prácticamente todas las variables analizadas variaron dentro de los rangos registrados en la línea base, no detectándose cambios en las condiciones de la matriz sedimentaria.
- De los elementos traza, sólo una medición de cromo superó el límite más restrictivo (TEL) del Criterio Florida
- En síntesis, salvo el caso puntual del cromo, la matriz sedimentaria no muestra cambios atribuibles a la construcción del muelle. De hecho, los registros históricos demuestran la ocurrencia de mayores niveles de algunos metales cuando aún no habían comenzado las obras marítimas. En este sentido, se observa que en distintos casos los patrones espaciales de algunos parámetros no se relacionan con construcción del muelle.

4.3. Macrofauna submareal de fondos blandos

- En general, la macrofauna submareal de fondos blandos presentó condiciones ecológicas propias de ambientes costeros saludables. Sólo la estación referencial (CT-7) mostró signos de estrés (bajo número de especies, de individuos y de biomasa), lo que dada su lejanía del muelle, no estarían vinculados con las faenas de construcción sino que responderían a factores naturales intrínsecos de estas comunidades.
- Las fluctuaciones temporales exhibidas por los índices ecológicos están dentro de los rangos de variación previamente registrados y son explicables en gran parte por la dinámica que experimentan las abundantes poblaciones del caracol *Turritella cingulata*.
- Dado las saludables condiciones que manifiesta la macrofauna submareal de fondos blandos, actualmente estas comunidades no muestran señales de estrés que se relacionen con el emplazamiento del muelle en construcción en punta Totalillo.

4.4. Macrobiota submareal de fondos rocosos

- La estructura comunitaria de la macrobiota se mantiene en niveles simples, siendo el caracol *Tegula atra* la especie más importante en términos de abundancia numérica y *Halopteris* sp. el alga con los mayores porcentajes de colonización del sustrato rocoso submareal.
- Si bien en comparación con el monitoreo anterior, los índices comunitarios de la macrobiota del submareal rocoso mostraron una disminución en la mayoría de las transectas, salvo en PTSR1, los valores informados son superiores a los registrados en las campañas de línea base. Este hallazgo indica que la dinámica de estas comunidades, en términos de sus índices ecológicos, estaría sujeta a factores naturales que pueden modular de manera importante su expresión, llegando incluso a incidir de manera notable en la abundancia y cobertura biótica,
- De los resultados obtenidos, se desprende que los cambios temporales observados en este tipo de comunidades, no muestran una relación directa con la construcción del muelle, sino más bien obedecen a procesos naturales cuyos efectos se reflejan en la dinámica de las poblaciones que conforman estas asociaciones biológicas.

5. BIBLIOGRAFIA

Clarke, K.R. and R.N. Gorley. 2006. PRIMER v6: User Manual/Tutorial. PRIMER-E: Plymouth.

CONAMA 2004. Guía CONAMA para el establecimiento de las normas secundarias de calidad ambiental para aguas continentales superficiales y aguas marinas. Comisión Nacional del Medio Ambiente, 13 p.

CPPS. 2007. Boletín de Alerta Climático (BAC N° 207). Estudio Regional del Fenómeno El Niño (ERFEN). Comisión Permanente del Pacífico Sur, 14 p.

Folk, R. 1980. Petrology of sedimentary rocks. Hemphill Pub. Co. Austin, Texas. 182 p.

Folk, R.L. y W.C. Ward. 1957. Brazos River bar, a study in the significance of grain size parameters. Jour. Sed. Petrol., 27: 3-26.

OIKOS CHILE. 2006. Estudio de Línea Base Marina Puerto en Punta Totalillo (Segunda Región de Antofagasta). Informe preparado para Compañía Minera del Pacífico S.A.

OIKOS CHILE. 2007. Segundo Monitoreo, Fase de Construcción. Programa de Vigilancia Ambiental de Puerto en Punta Totalillo. Compañía Minera del Pacífico S.A. 79 p.

Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. 2007. Primer Monitoreo. Programa de Vigilancia Ambiental de Puerto en Punta Totalillo. Compañía Minera del Pacífico S.A. 99 p.

Wentworth, C. 1922. A scale of grade and classterm for clastic sediments. Journal of Geology, 30(5): 377-392.

6. ANEXOS

Anexo 6.1. Cronograma de campañas de muestreo para el PVA de Puerto en punta Totalillo.

Estudio	Evento	Fecha de ejecución muestreo
Línea Base (LB)	Campaña 1	01 septiembre 2004
	Campaña 2	08 marzo 2005
	Campaña 3	17 enero 2006
Programa de Vigilancia Ambiental (MON)	Monitoreo 1	28 diciembre 2006
	Monitoreo 2	24 julio 2007
	Monitoreo 3	12 diciembre 2007

Anexo 6.2. Resumen de mediciones efectuadas para la columna de agua (en dos estratos de profundidad) y sedimentos submareales. Diciembre 2007. PVA de Puerto en Punta Totoralillo.

6.2.1 Columna de agua

Estación	Estrato	Transp_m	pH	OxDis_ml/L	Ssusp_mg/L	HT_ug/L	AsDis_ug/L	CdDis_ug/L
CT-1	Superficie	8,0	7,94	5,60	28,7	2,6	< 6,0	< 0,5
CT-4	Superficie	7,0	7,83	5,32	25,9	0	< 6,1	< 0,6
CT-5	Superficie	8,5	7,84	5,32	30,5	1,5	< 6,2	< 0,7
CT-7	Superficie	8,0	7,83	5,11	28,2	1,4	< 6,3	< 0,8
CT-8	Superficie	8,0	7,82	5,18	30,2	8,8	< 6,4	< 0,9
CT-1	Fondo		7,83	5,04	24,7	3,7	< 6,5	< 0,10
CT-4	Fondo		7,69	4,27	24,5	1,3	< 6,6	< 0,11
CT-5	Fondo		7,62	4,13	29,8	0,1	< 6,7	< 0,12
CT-7	Fondo		7,81	4,90	28,4	3,4	< 6,8	< 0,13
CT-8	Fondo		7,77	4,90	25,8	0,1	< 6,9	< 0,14

Estación	Estrato	CuDis_ug/L	CrDis_ug/L	CrVDis_ug/L	FeDis_ug/L	HgDis_ug/L	PbDis_ug/L	ZnDis_ug/L
CT-1	Superficie	11,7	< 0,2	< 10,0	240,2	< 1,0	6,7	86,0
CT-4	Superficie	5,8	< 0,2	< 10,0	140,0	< 1,0	3,1	< 2,0
CT-5	Superficie	6,5	< 0,2	< 10,0	200,0	< 1,0	5,7	28,8
CT-7	Superficie	3,9	< 0,2	< 10,0	113,0	< 1,0	4,3	< 2,0
CT-8	Superficie	8,2	< 0,2	< 10,0	302,8	< 1,0	3,5	15,6
CT-1	Fondo	3,6	< 0,2	< 10,0	164,4	< 1,0	2,8	< 2,0
CT-4	Fondo	15,7	< 0,2	< 10,0	151,8	< 1,0	2,2	23,6
CT-5	Fondo	11,4	< 0,2	< 10,0	193,8	< 1,0	4,3	51,0
CT-7	Fondo	8,1	0,8	< 10,0	464,0	< 1,0	4,0	28,1
CT-8	Fondo	3,8	< 0,2	< 10,0	316,8	< 1,0	1,7	12,2

6.2.2. Sedimentos submareales

Estacion	COT_%	HT_ug/g	As_ug/g
CT-1	0,7	79,6	0,07
CT-4	0,4	129	< 0,01
CT-5	0,8	46,6	< 0,01
CT-7	0,3	65,8	0,01
CT-8	0,3	75,9	0,29

Estacion	Cd_ug/g	Cu_ug/g	Cr_ug/g	CrVI_ug/g	Fe_ug/g	Hg_ug/g	Pb_ug/g	Zn_ug/g
CT-1	< 0,2	1,2	23,8	< 0,01	946,0	0,349	< 1,5	1,5
CT-4	< 0,2	2,5	53,3	< 0,01	3506,9	0,432	< 1,5	6,3
CT-5	< 0,2	3,9	2,5	< 0,01	409,1	0,340	< 1,5	1,6
CT-7	< 0,2	2,0	1,1	< 0,01	797,8	0,789	< 1,5	1,5
CT-8	< 0,2	1,2	1,3	< 0,01	1927,0	0,411	< 1,5	2,1

Anexo 6.3. Imágenes de los pilotes, fondos arenosos y rocosos submareales circundantes al muelle del Puerto en punta Totalillo. Fotografías tomadas en diciembre de 2007 y enero de 2008.

Pilotes del muelle



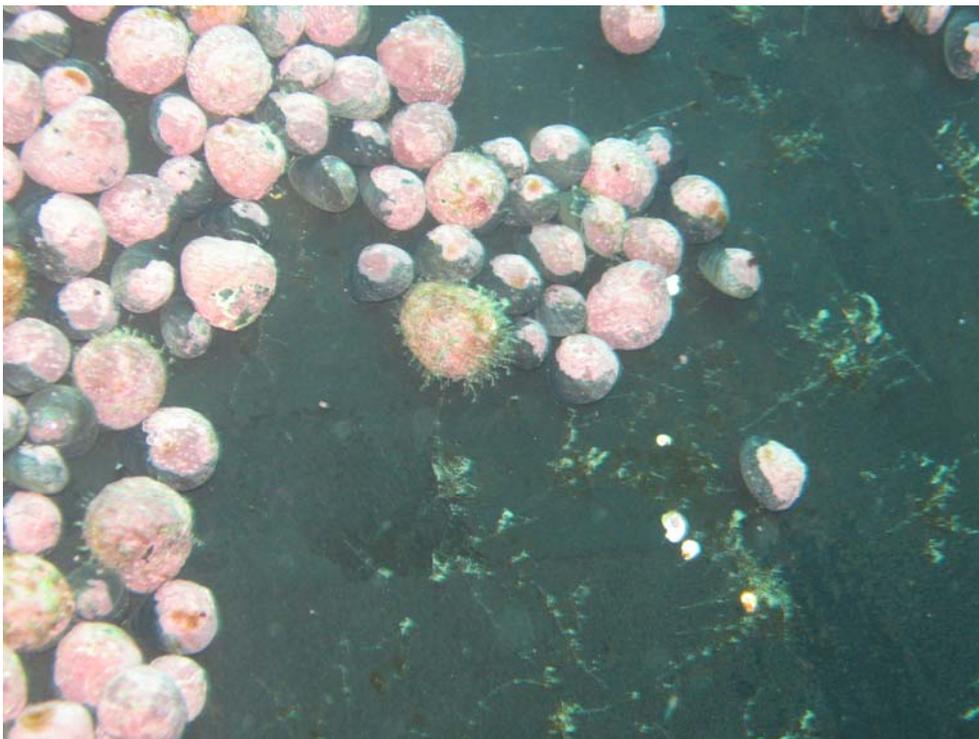
Vista general de un pilote del muelle colonizado por macrobiota (algas e invertebrados)



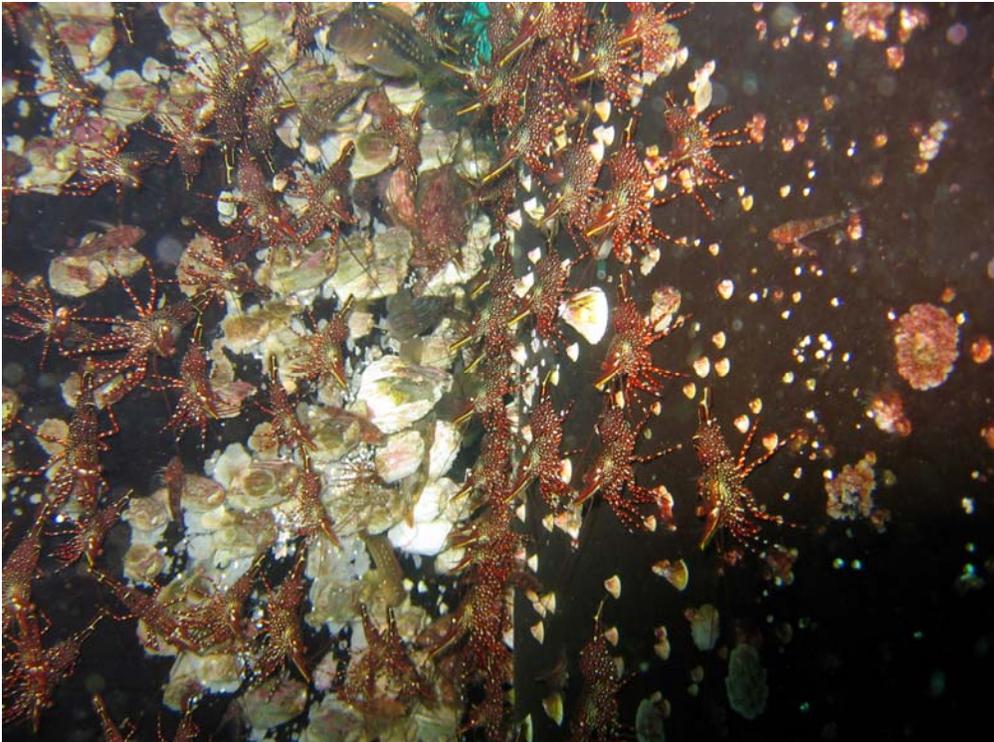
Acercamiento del buzo para toma de imágenes en uno de los pilotes del muelle



Detalle de la rica cubierta biótica que ha colonizado la superficie de los pilotes. Se observa una pequeña jaiva (crustáceo decápodo), colonias de hidroideos y plantas de *Lessonia* sp.



Ejemplares de *Tegula* spp. sobre uno de los pilotes del muelle. Las conchas de estos caracoles se encuentran cubiertas por algas crustosas



Densa agrupación de ejemplares de "camarón de roca" (*Rhynchocinetes typus*) sobre uno de los pilares del muelle. Se observa además cirripedios ("picorocos") y algunos peces de pequeño tamaño



Sobre la superficie de uno de los pilotes se observa algas crustosas, algas café (*Lessonia* sp.), colonias de hidroideos y una estrella de mar (*Meyenaster gelatinosus*)

Fondos rocosos



Roca sumergida cubierta por ejemplares del caracol *Turritella cingulata*. Se destaca en primer plano un ejemplar de actinia (*Phymanthea pluvia*).



Sobre esta roca sumergida se observa un dosel del alga *Halopteris* sp.

Además, y dominando el sustrato rocoso, se encuentran parches de algas crustosas calcáreas



Ejemplar de la estrella de mar *Meyenaster gelatinosus* sobre rocas prácticamente desprovistas de cubierta biótica ("fondos blanqueados").



Vista de acercamiento del lecho rocoso ("fondo blanqueado") con una densa agrupación de ejemplares de *Tegula* spp. En segundo plano se observa *Lessonia* sp.



Fondo rocoso blanqueado. Se observa una agrupación de erizo negro (*Tetrapyrgus niger*) y algunos ejemplares de caracol negro (*Tegula atra*). Observe la pobreza de la cubierta biótica.



Fondo rocoso de un sector más expuesto (al oriente del muelle) en que se observa un tapiz biótico de mayor diversidad.

Fondos blandos



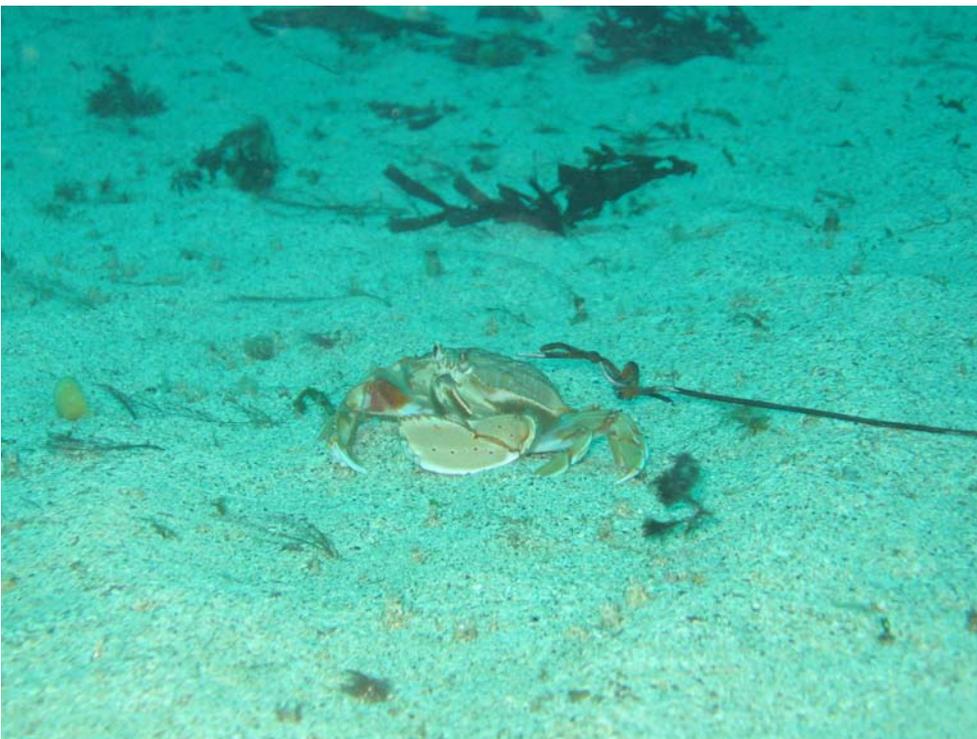
Vista general de los sedimentos submareales alrededor de los pilotes del muelle. Su textura corresponde mayoritariamente a "conchuela". Algunos ejemplares de algas crecen sobre este tipo de fondo.



Detalle del fondo que muestra una mezcla de conchuela. Se observa una almeja semienterrada en los sedimentos calcáreos.



Esta impresionante imagen muestra el fondo sedimentario prácticamente cubierto de *Turritella cingulata*, la especie más abundante en este tipo de comunidades bentónicas.



Ejemplar de "jaiba paco" (*Mursia gaudichaudi*) desplazándose sobre el fondo sedimentario.



Oikos Chile

11 Norte 907, Casilla 805, Viña del Mar
info@oikoschile.com
Fonos (32) 2684638 2684550
Fax (32) 2961282