



**Estudios y Gestión Ambiental S.A.**

**PROGRAMA DE MONITOREO MARINO  
COSTERO EN BAHÍA CALDERA**

**INFORME ANUAL 2008**

***Minera  
candelaria***

**Diciembre de 2008**

# PROGRAMA DE MONITOREO MARINO COSTERO EN BAHÍA CALDERA

## INFORME ANUAL 2008

PREPARADO PARA:

*Minera  
condelaria*

COMPAÑÍA CONTRACTUAL MINERA  
CANDELARIA

PREPARADO POR:



ESTUDIOS Y GESTIÓN AMBIENTAL S.A.

Diciembre de 2008

# **PROGRAMA DE MONITOREO MARINO COSTERO EN BAHÍA CALDERA**

## **INFORME ANUAL 2008**

Este documento contiene resultados de trabajos de investigación desarrollados por los investigadores de Estudios y Gestión Ambiental S.A. o científicos auspiciados por el mismo.

Aprobado para su distribución:

Dagoberto Arcos Rojas  
Director Ejecutivo

## **AUTORES:**

Dagoberto Arcos R.  
José Ortiz R.  
Patricio Torres R.  
Alice Turner B.

---

## **Distribución de documentos**

- 7 Compañía Contractual Minera Candelaria
- 1 Estudio y Gestión Ambiental S.A.
- 1 Director del Proyecto

## **ÍNDICE DE CONTENIDOS**

	<b>Página</b>
<b>RESUMEN EJECUTIVO</b> .....	i-vi
<b>1.- INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>2.- MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	3
2.1. Diseño de muestreo.....	3
2.2. Sedimentos.....	5
2.3. Agua de mar.....	7
2.4. Organismos marinos.....	8
<b>3.- RESULTADOS</b> .....	9
3.1. Sedimentos.....	9
3.1.1. Granulometría.....	9
3.1.2. Metales traza.....	12
3.2. Agua de mar.....	28
3.2.1. Variables hidrográficas.....	28
3.2.2. Metales traza.....	40
3.3. Fauna bentónica.....	52
3.3.1. Sedimentos.....	52
3.3.2. Macroalgas.....	52
3.3.3. Fauna.....	52
3.4. Composición química del concentrado de cobre embarcado.....	59
3.5. Análisis de muestras certificadas.....	61
<b>4.- DISCUSIÓN</b> .....	63
4.1. Metales en sedimentos.....	63
4.2. Metales en agua de mar.....	69
4.3. Variables que afectan la distribución de metales.....	73
4.4. Organismos marinos.....	75
<b>5.- CONCLUSIONES</b> .....	76
<b>6.- LITERATURA CITADA</b> .....	80
<b>ANEXOS</b> .....	87



## RESUMEN EJECUTIVO

En el presente informe se presentan los resultados obtenidos en el Programa de Monitoreo Marino Costero en Bahía Caldera, durante el desarrollo de las campañas correspondientes a los períodos estival e invernal del año 2008. El estudio fue ejecutado por la empresa consultora Estudios y Gestión Ambiental S.A., enfatizando los resultados del área adyacente a Puerto Padrones, de propiedad de la Compañía Contractual Minera Candelaria. De acuerdo con el GM CAL ordinario N° 12.600/46 del 11 de marzo de 1998, la CCMC fue eximida de realizar estudios de dinámica lagrangiana desde esta fecha en adelante.

El muestreo y medición en terreno de las diferentes variables consideradas en el estudio, se realizó en la columna de agua y en los sedimentos sublitorales en ocho estaciones de muestreo denominadas C-01, C-02, C-03, C-04, C-13, C-08, C-09 y C-10, de acuerdo a los Términos Técnicos aprobados por la Dirección General del Territorio Marítimo y de Marina Mercante mediante DIM y MAA Ord. N° 12.600/752/M.C del 16 de julio de 1996. Además, en transectos lineales de aproximadamente 400 m, entre las estaciones C-01/C-04, C-08/C-09 y C-09/C-10, se determinó la abundancia específica y numérica de organismos epibentónicos desde muestras provenientes de arrastres con rastras.

Los estudios sobre la columna de agua evaluaron el pH, la concentración de oxígeno disuelto, la temperatura, la salinidad, la transparencia y la concentración de cobre, hierro, plomo y cadmio. En muestras de sedimentos sublitorales se determinó la granulometría y la concentración de cobre, hierro, plomo, cadmio y zinc. La preservación, tratamiento y análisis de las muestras de agua de mar y sedimentos sublitorales se efectuaron de acuerdo a los métodos sugeridos por el Instituto Nacional de Normalización o los incluidos en Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Cuando correspondió se siguió la metodología señalada por la Comisión Permanente del Pacífico Sur, aceptada por el Servicio de Preservación del Medio Ambiente Acuático de la Dirección General del Territorio Marítimo y de Marina Mercante de la Armada de Chile.

El patrón de distribución espacial y temporal de elementos traza en sedimentos sublitorales y en el agua de mar obtenido para el año 2008, fue comparado con los resultados reportados históricamente para todo el período de desarrollo del Programa de Monitoreo (1999-2007) y con la información proveniente del estudio de línea base ambiental de 1993.

Durante las campañas de monitoreo de 2008 se verificó una clasificación granulométrica con un patrón de distribución similar en ambos períodos evaluados, en el cual se identificó la presencia de arenas gruesas en el sector costero adyacente a Puerto Padrones, y arenas finas hacia el fondo de saco de la bahía y en la estación C-10. La distribución de esta variable no



presentó diferencias temporales de importancia entre ambos períodos para una misma estación.

La distribución de las concentraciones de cobre en sedimentos sublitorales al interior de Bahía Caldera presentó diferencias espaciales y temporales significativas (entre estaciones de muestreo y entre períodos de monitoreo), debido a las altas concentraciones promedio asociadas a las estaciones situadas en el fondo de saco de la bahía (estaciones C-08 y C-09), y a que las concentraciones determinadas durante el período estival fueron significativamente superiores a las reportadas para el invierno. De las estaciones monitoreadas en torno a las instalaciones de CCMC en Puerto Punta Padrones, las estaciones C-01 y C-03 presentaron concentraciones en el rango y/o son superiores a las consideradas naturales ( $20-30 \mu\text{g g}^{-1}$ ) y al criterio ER-L ( $34 \mu\text{g g}^{-1}$ ) para cobre en sedimentos, mientras que C-02 fue superior a estos índices en los dos períodos estacionales evaluados ( $113,3$  y  $66,8 \mu\text{g g}^{-1}$  para verano e invierno, respectivamente). Sin embargo, las concentraciones medidas fueron inferiores al criterio ER-M ( $270 \mu\text{g g}^{-1}$ ).

Durante el año 2008 se ratificó una vez más el patrón de distribución histórico para la concentración de cobre descrito para monitoreos anteriores, esto es mayores concentraciones asociadas al fondo de saco de la bahía. La serie histórica ha evidenciado que a partir del invierno de 2005 se ha verificado una tendencia a la disminución de las concentraciones de cobre en sedimentos en el sector de fondo de saco, situación que se mantuvo durante 2008, donde las concentraciones medidas en este sector fueron inferiores al criterio ER-M ( $270 \mu\text{g g}^{-1}$ ). Las estaciones cercanas a Puerto Padrones y la del sector oriental de la bahía han mantenido las concentraciones bajas exhibidas históricamente, sin evidenciar variaciones estacionales, intra-anales ni inter-anales de importancia.

La distribuciones de los elementos traza zinc, hierro y plomo presentaron un patrón similar al descrito para el cobre, describiendo mayores concentraciones asociadas con las estaciones ubicadas en el saco de la bahía (estaciones C-08 y C-09), lo cual fue válido para ambas campañas de 2008. El cadmio mantuvo la tendencia histórica para este metal de no verificar un patrón de distribución definido al interior de bahía Caldera, sin evidenciar diferencias entre los tres sectores evaluados.

La comparación de las concentraciones determinadas durante el año 2008 con las normas de protección de la vida acuática reveló que: a) las concentraciones de zinc fueron inferiores al criterio ER-L ( $150 \mu\text{g g}^{-1}$ ) y estuvieron en el rango de las concentraciones naturales ( $90-100 \mu\text{g g}^{-1}$ ); b) los valores de plomo en sedimentos estuvieron muy por debajo del criterio ER-L ( $46,7 \mu\text{g g}^{-1}$ ) y de las concentraciones naturales ( $20-30 \mu\text{g g}^{-1}$ ), con la excepción de la estación C-08, que presentó concentraciones superiores a las naturales, pero que no superaron el criterio ER-L durante la campaña de invierno; c) los valores de hierro en sedimentos fueron inferiores a las concentraciones consideradas como naturales de este metal en sedimentos marinos ( $< 21.200 \mu\text{g g}^{-1}$ ) y d) las concentraciones de cadmio se



encontraron en el rango de las concentraciones naturales para este metal (0,4-0,5  $\mu\text{g g}^{-1}$ ), a excepción de la estación C-04 durante la campaña estival,; sin embargo, ninguna estación presentó concentraciones superiores al criterio ERL (1,2  $\mu\text{g g}^{-1}$ ).

Por otra parte, las concentraciones de elementos traza determinados en el agua de mar en las campañas estacionales realizadas en el año 2008, no mostraron ninguna evidencia de alteración en Bahía Caldera debido a que todas las concentraciones se encontraron en el rango o muy por debajo de las concentraciones denominadas naturales, estableciendo concentraciones que se enmarcaron en los criterios de Calidad Clase 1 de acuerdo a la Guía de CONAMA, y siendo inferiores a los criterios crónicos de calidad acuática utilizados por la US-EPA.

Las concentraciones de cobre en agua de mar evidenciaron la existencia de diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) tanto espaciales como temporales durante las campañas ejecutadas en 2008. Durante el período estival las concentraciones de cobre en agua de mar presentaron un rango de variación que osciló entre los 1,01 y los 1,43  $\mu\text{g L}^{-1}$ , mientras que durante el invierno presentaron un rango de variación comparativamente menor, oscilando entre los 0,98  $\mu\text{g L}^{-1}$  y los 1,32  $\mu\text{g L}^{-1}$ , las cuales fueron inferiores a los criterios de la US-EPA (3,1 y 4,8  $\mu\text{g L}^{-1}$ , respectivamente EPA, 1999).

Las concentraciones de hierro en agua de mar no evidenciaron diferencias significativas temporales ni espaciales durante los monitoreos de 2008, presentando un rango de variación estival entre 4,76 y 10,84  $\mu\text{g L}^{-1}$ , en tanto que durante el invierno se verificó un rango entre los 4,89 y 8,18  $\mu\text{g L}^{-1}$ . El plomo en agua de mar presentó diferencias significativas tanto entre las estaciones del año como entre las estaciones de muestreo ( $p < 0,05$ ). Las concentraciones determinadas durante 2008 presentaron concentraciones, en algunos casos superiores a las concentraciones consideradas como naturales ( $< 0,03 \mu\text{g L}^{-1}$ ), pero fueron significativamente menores al criterio US-EPA para aguas marinas y para los criterios de concentración continua y máxima, así como también a los establecidos por CONAMA en la Guía de establecimiento de normas de calidad ambiental. Finalmente, todas las estaciones de muestreo, tanto las evaluadas en el verano como en el invierno de 2008, presentaron concentraciones de cadmio dentro de los rangos considerados como naturales. Además, todas las concentraciones registradas durante el 2008 estuvieron también muy por debajo de los criterios US-EPA y por CONAMA para este metal.

Durante el verano se observaron aguas cuyo rango de temperaturas se encontró dentro de las características observadas históricamente al interior de Bahía Caldera, mientras que en términos salinos, el período estival presentó aguas menos salinas que el promedio histórico para el sector. La campaña invernal 2008 definió aguas con características que se encuentran dentro de los valores observados históricamente para las campañas invernales desarrolladas al interior de Bahía Caldera.



La distribución de la concentración de oxígeno disuelto durante el verano de 2008 presentó aguas bien oxigenadas en toda la columna de agua, mientras que durante el invierno se verificaron concentraciones marcadamente inferiores a lo observado en períodos anteriores, posiblemente influenciado por la presencia de aguas de surgencia (AESS) bajas en oxígeno disuelto, al interior de Bahía Caldera.

Las comunidades bentónicas durante el verano de 2008 verificaron una marcada disminución en términos de abundancia (similares al invierno de 1996 y al verano de 2000), situación que fue superada durante el período invernal, donde los niveles de abundancia volvieron a rangos históricos.

De manera similar a lo verificado en campañas previas, durante las campañas de 2008 el grupo faunístico mayormente representado fue Mollusca, mientras que al evaluar los distintos sectores monitoreados se verifica que en ambas campañas de muestreo de 2008 las mayores abundancias fueron registradas en el Transecto T-II, ubicado en el fondo de saco de la bahía, asociado a sedimentos de pequeño tamaño de gránulo. El transecto T-I, ubicado frente a Punta Padrones y al muelle de la compañía, ha presentado históricamente los niveles más bajos de densidad, situación que se ha mantenido en esta campaña y donde se registran sedimentos con los mayores tamaños de grano.



## 1. INTRODUCCIÓN

El Programa de Monitoreo Marino Costero nace de los compromisos que la Compañía Contractual Minera Candelaria (CCMC) ha contraído con la Autoridad, en términos de la vigilancia de la calidad ambiental en el sector de Punta Padrones, Bahía Caldera, lugar donde se emplaza un puerto de carguío de concentrado de cobre operado por Minera Candelaria.

La ejecución del Programa de Monitoreo Marino fue realizada considerando los Términos Técnicos aprobados por la Dirección General del Territorio Marítimo y de Marina Mercante mediante DIM y MAA Ord. N° 12.600/752/M.C. del 16 de julio de 1996 y de las modificaciones indicadas en el GM CAL Ord. N° 12.600/46 del 11 de marzo de 1998, en las que se establece la realización semestral de una campaña de muestreo al interior de Bahía Caldera, con el propósito de evaluar la distribución espacial y estacional de la concentración de diversos elementos traza en las matrices de agua de mar y de sedimentos sublitorales, incluyendo, además, información biótica y abiótica recolectada en el área de estudio.

En este contexto, en la ejecución del Programa de Monitoreo Marino en Bahía Caldera se han planteado los siguientes objetivos principales:

1. Obtener una base de datos de las concentraciones de elementos traza, tanto de la columna de agua como de los sedimentos de Bahía Caldera. Se han determinado los patrones espaciales de distribución de elementos traza en agua de mar (*i.e.*, cobre, hierro, plomo y cadmio total disueltos) y en sedimentos sublitorales superficiales (*i.e.*, cobre, zinc, hierro, plomo y cadmio en la fracción mayor a 2 mm).
2. Determinar las tendencias estacionales en la calidad acuática de Bahía Caldera considerando una serie de indicadores ambientales de la columna de agua (*i.e.*, transparencia, pH, oxígeno disuelto, temperatura y salinidad) y de los sedimentos sublitorales (granulometría).
3. Determinar las tendencias de largo plazo de la calidad de agua de mar y de los sedimentos sublitorales en relación con normas de calidad internacionales, así como con las consideradas por CCMC a partir de la información antes mencionada.
4. Realizar una caracterización oceanográfica de Bahía Caldera a través del análisis de la distribución vertical de la temperatura, salinidad y densidad del agua de mar y de la identificación de las masas de agua presentes.
5. Caracterizar cualitativamente la abundancia macrobentónica numérica y específica en el área de estudio, con el propósito de entregar una idea del estado de las comunidades bentónicas presentes en Bahía Caldera.



De acuerdo a lo anterior, el documento que aquí se presenta entrega los resultados obtenidos en la realización del Programa de Monitoreo Marino en Bahía Caldera durante los períodos estacionales de verano e invierno de 2008, y que fue ejecutado por la empresa Estudios y Gestión Ambiental S. A. para la Compañía Contractual Minera Candelaria (CCMC).



## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. Diseño de muestreo

Las fases de campo asociadas al desarrollo de programa de Monitoreo fue realizada los días 21, 22 y 23 de enero de 2008 (campaña estival) y los días 18, 19 y 20 de agosto de 2008 (campaña invernal).

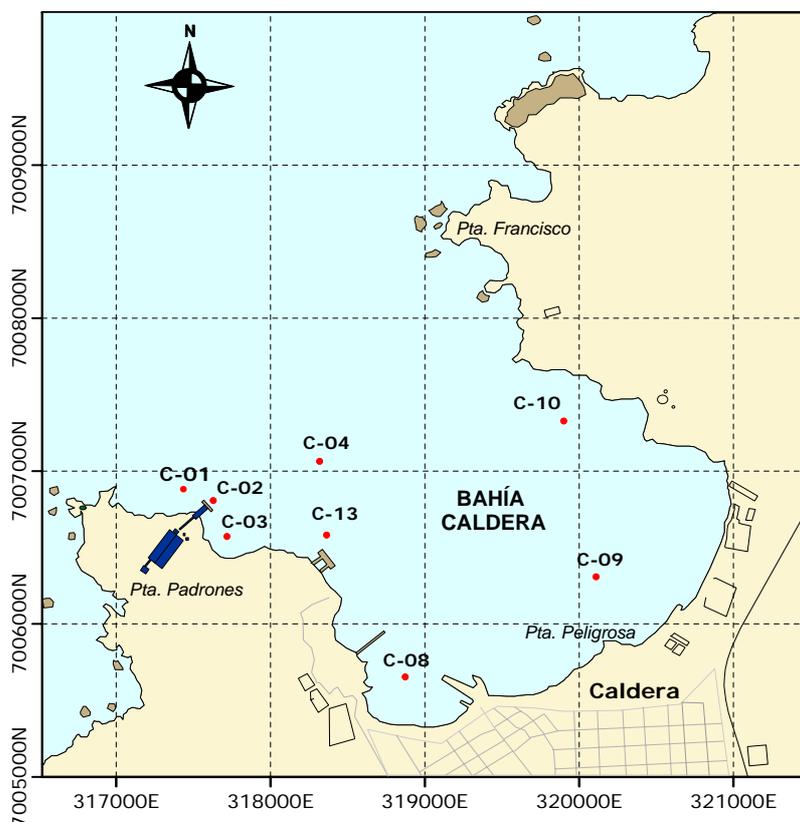
El diseño de muestreo en ambas campañas consideró la evaluación de 8 estaciones de muestreo dispuestas al interior de Bahía Caldera, con especial énfasis en el sector de Puerto Padrones, donde se emplaza el puerto de carguío de concentrado de cobre que Minera Candelaria posee en el sector.

La ubicación geográfica de las estaciones consideradas en este Programa de Monitoreo se presentan en la **Tabla 1** y en **Figura 1**. Estas estaciones de muestreo fueron situadas en el terreno mediante un GPS marca Garmin modelo Etrex Venture, en base al sistema de referencia internacional WGS-84, reconocido por el Servicio Hidrográfico de la Armada de Chile (SHOA, 2005).

**Tabla 1.** Ubicación geográfica (en UTM) de las estaciones de muestreo evaluadas al interior de Bahía Caldera durante 2008.

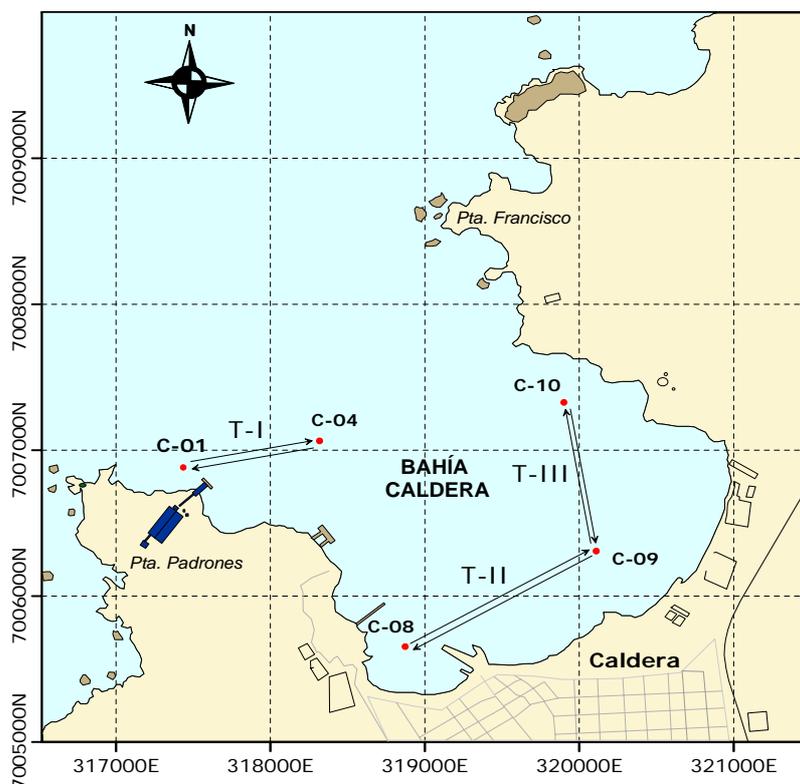
Estación	Coordenada norte	Coordenada este
C-01	7.006.887	317.435
C-02	7.006.801	317.618
C-03	7.006.570	317.716
C-04	7.007.064	318.316
C-13	7.006.580	318.364
C-08	7.005.654	318.873
C-09	7.006.308	320.104
C-10	7.007.373	319.938

En cada una de estas estaciones se obtuvo muestras para la evaluación estacional de las condiciones oceanográficas, así como para la determinación de la calidad del agua de mar y sedimentos, en diferentes puntos al interior de Bahía Caldera



**Figura 1.** Ubicación geográfica de las estaciones de muestreo en Bahía Caldera durante las campañas estival e invernal de 2008.

La evaluación biológica se realizó a través de la obtención de muestras de la fauna macrobentónica, para lo cual el diseño de muestreo estableció la evaluación de 3 transectos entre los diferentes sectores de la Bahía, los cuales se presentan en la **Figura 2**.



**Figura 2.** Transectas consideradas en el análisis de la fauna epibentónica en el área de estudio.

## 2.2. Sedimentos

La evaluación de los sedimentos sublitorales involucró la recolección de sedimentos para la determinación de los elementos traza cobre, hierro, cadmio, plomo y zinc, en cada una de las estaciones mencionadas anteriormente (Figura 1).

Durante la realización de este monitoreo, tanto los protocolos de muestreo como las metodologías de análisis para la determinación de elementos traza en sedimentos fueron realizadas considerando las recomendaciones e indicaciones reportadas por el International Biological Programme N° 16 (Holmes & McIntyre, 1971) y los Programas de Vigilancia de la Comisión Permanente del Pacífico Sur, las que han sido aceptadas por el Servicio de Preservación del Medio Ambiente Acuático de la Dirección General del Territorio Marítimo y de Marina Mercante de la Armada de Chile.

Los sedimentos sublitorales superficiales fueron recolectados desde una embarcación menor con una draga de acero inoxidable van Veen de 0,1 m<sup>2</sup>, donde en cada una de las estaciones se recolectaron tres muestras independientes para la consideración de réplicas. Adicionalmente, en las estaciones C-01 y C-03, se recolectó un duplicado adicional al azar (denominados C-01R3D2 y C-03R3D2), los cuales fueron utilizados como un control intra-laboratorio.

Una vez obtenidas las muestras, estas fueron almacenadas en envases plásticos debidamente etiquetados y rotulados, para, posteriormente, ser refrigerada a una temperatura de 4°C para su traslado al Laboratorio de Química Analítica de la Universidad de Antofagasta, donde fueron ejecutadas las determinaciones analíticas de los elementos traza comprometidos en este monitoreo.

A cada una de las muestras de sedimentos se le efectuó un pre-tratamiento consistente en calentar la muestra en una estufa a 105°C hasta obtener peso constante y luego pasarla por un tamiz de 2 mm. Desde la muestra seca, se pulverizó 1,0 g en un vaso de teflón, agregándosele 3,0 ml de ácido nítrico concentrado y 1,0 ml de ácido perclórico concentrado. La muestra tratada se dejó reposar a temperatura ambiente por 1 h para luego evaporar hasta la formación de humos blancos en una placa calefactora, llevando la solución hasta la sequedad. La muestra fue filtrada en papel filtro Whatman 40 y aforada a 50 ml con una mezcla de ácido nítrico y perclórico. Finalmente, se procedió a la cuantificación de la concentración de cobre, plomo, cadmio, hierro y zinc utilizando la metodología descrita por el Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (1992), complementado por lo reseñado en el American Official Analytical Chemist (AOAC, 1984). En el **Anexo 1** se presentan los límites de detección utilizados en los análisis de los metales traza en sedimentos marinos.

Para el análisis granulométrico de los sedimentos se siguieron los procedimientos propuestos por Folk & Ward (1957) y Folk (1974). El método consideró, en primer lugar, el secado de la muestra de sedimento a temperatura ambiente, a partir de la cual se tomó una submuestra de 100 g peso seco. A continuación, la submuestra fue cernida por 15 min en una serie de tamices con intervalos de abertura de malla de 1 phi, donde la fracción retenida en cada tamiz fue pesada y sometida al análisis sedimentológico. Finalmente, se estimó el tamaño medio de grano de acuerdo con la escala de Wentworth (1922).

Los análisis estadísticos utilizados en el procesamiento de los datos fueron realizados con los programas estadísticos Minitab 14 y Statistica 5.0. En el análisis estadístico se incluyó los duplicados intra-laboratorio. Para comparar el patrón general de distribución espacial de cada metal entre ambos períodos, se realizó análisis de varianza simple seguido de un análisis de comparaciones múltiples. Para establecer la existencia de diferencias entre los años se realizó un análisis de varianza seguido de un análisis de comparaciones múltiples. La existencia de diferencias significativas fue establecida con una probabilidad menor a 0,05.



### 2.3. Agua de mar

La evaluación de la calidad del agua de mar involucró la determinación de los elementos traza cobre, hierro, cadmio y plomo, en cada una de las estaciones de muestreo.

El muestreo y los análisis químicos de las muestras de agua de mar fueron realizados considerando los métodos estandarizados por el Instituto Nacional de Normalización (INN, 1994a, 1994b) y fueron complementados por la metodología incluida en el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (1992) y por la metodología señalada por la Comisión Permanente del Pacífico Sur.

Las muestras de agua de mar fueron colectadas obteniendo tres muestras de agua de mar a 0,5 m desde el fondo marino utilizando una botella oceanográfica General Oceanic Go Flo de 5 l de capacidad. Las muestras fueron almacenadas en botellas de polietileno de 1 l y acidificadas con 1 ml de ácido nítrico concentrado suprapur. La concentración de cobre, cadmio y plomo fue determinada por el método polarográfico (Gillain & Duyckaerts, 1979), en tanto que la concentración de hierro fue determinada de acuerdo al método estándar N° 3111 (Standard Methods, 1992). En el **Anexo 2** se presentan los límites de detección utilizados en los análisis de los metales traza en agua de mar.

Al igual que en el análisis de sedimentos sublitorales, en las estaciones C-01 y C-03 se recolectó un duplicado adicional a partir de la tercera muestra (denominados C01 R3D2-y C03 R3D2), los que fueron utilizados como un control intra-laboratorio.

Paralelamente al muestreo de agua para la determinación de metales traza, en cada estación de muestreo se recolectaron muestras adicionales de agua de mar con botellas tipo Niskin de 3 l de capacidad, a profundidades discretas en la columna de agua (*i.e.*, cada 5 m) para la posterior determinación de la concentración oxígeno disuelto mediante la metodología de Winkler reseñada en Parsons *et al.* (1984). En la columna de agua se evaluó *in situ* las siguientes variables: a) transparencia, determinada a través de la profundidad del disco de Secchi, b) temperatura y salinidad, determinadas por medio de una sonda oceanográfica CTD Seabird modelo Seacat 19 plus y c) pH mediante un equipo portátil Marca Corning.

En cada campaña y para cada estación de muestreo, se evaluó el grado de estratificación-mezcla en la columna de agua por medio del análisis de perfiles verticales de temperatura (°C), salinidad (psu) y densidad (expresada como sigma-t,  $\sigma_t$ ). A partir de los perfiles de temperatura y salinidad se construyó el gráfico de temperatura versus salinidad (diagrama T-S) para la identificación de las masas de agua presentes en Bahía Caldera durante los períodos estudiados. En el análisis histórico de la oceanografía en el área de estudio se consideró la variabilidad vertical promedio de la temperatura y la salinidad al interior de Bahía Caldera durante los períodos estivales e invernales para el período comprendido entre los años 1999 y 2008.



Los análisis estadísticos fueron realizados con los programas Minitab 14 y Statistica 5.0. Al igual que para los sedimentos sublitorales, los duplicados intra-laboratorio fueron considerados en el análisis estadístico, que consideró la comparación de los patrones de distribución espacial en Bahía Caldera durante los períodos estival e invernal de 2008. Esta distribución fue comparada con la información histórica obtenida en las sucesivas campañas de muestreo considerando el período comprendido entre 1999 y 2008. En todos los análisis estadísticos las diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) fueron determinadas a través de un análisis de varianza simple seguido de comparaciones múltiples (Zar, 1984).

## **2.4. Organismos marinos**

Con el propósito de recolectar ejemplares de ostiones al interior del área de estudio, se realizaron arrastres epibentónicos en tres áreas de Bahía Caldera, cubriendo distancias aproximadas de 400 m. Los transectos fueron realizados entre las estaciones C-01 y C-04 (transecto 1), entre las estaciones C-08 y C-09 (transecto 2) y entre las estaciones C-09 y C-10 (transecto 3). La ubicación geográfica de los puntos de inicio y término de los arrastres se determinaron con un GPS. La rastra epibentónica utilizada para este efecto tuvo un tamaño de boca de 0,8 metros de ancho, 0,2 de alto y 2,5 cm de abertura de malla.

Las muestras recolectadas fueron almacenadas en bolsas de polietileno debidamente etiquetadas, fijadas con formalina al 5 % y conservadas hasta la identificación y cuantificación de la abundancia numérica y específica en el laboratorio. La información obtenida entrega un esquema aproximado de la comunidad faunística (especialmente megafauna).



## 3. RESULTADOS

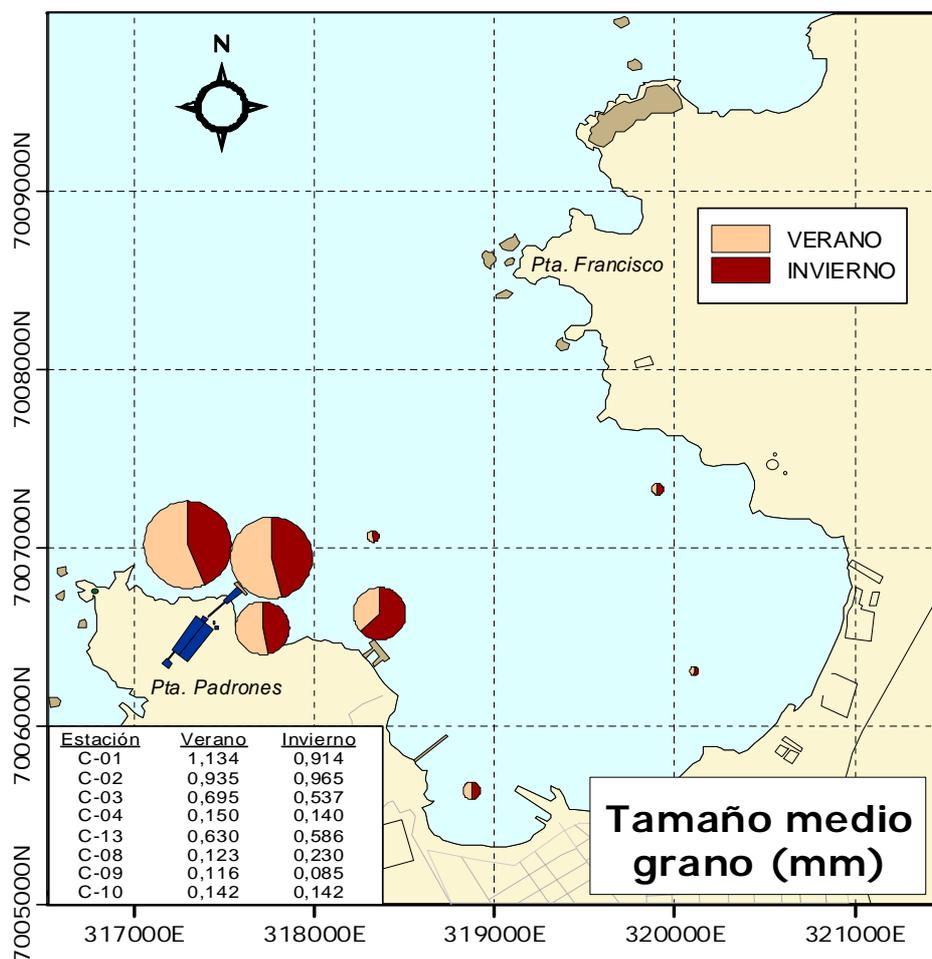
### 3.1. Sedimentos

#### 3.1.1. Granulometría

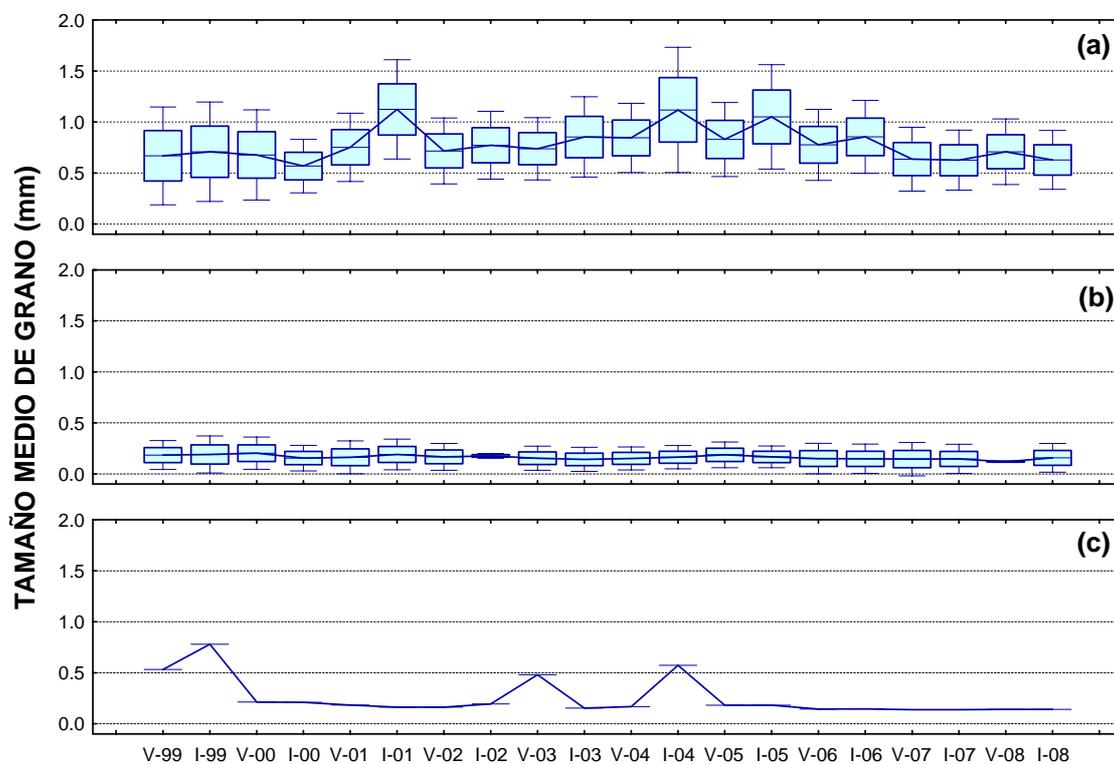
Los valores de tamaño medio del grano registrados para los sedimentos de Bahía Caldera, determinados en las campañas realizadas durante 2008, se presentan en el **Anexo 3**.

La distribución del tamaño de grano determinados durante los monitoreos ejecutados en 2008 fueron similar en ambos períodos estacionales (verano e invierno) verificándose la presencia de arenas gruesas asociadas al área del Puerto Padrones y arenas finas hacia el fondo de saco de la bahía (estaciones C-08 y C-09) y en la estación C-10 (**Figura 3**). La distribución granulométrica reportada para el período 1999-2008 (**Figura 4**) establece que a pesar de la variabilidad interanual, existe un patrón que tiende a mantenerse en el tiempo caracterizado por un tamaño medio menor en el fondo de saco y el sector oriental de la bahía respecto de las estaciones próximas a Puerto Padrones.





**Figura 3.** Distribución espacial y temporal (estacional) del tamaño medio de grano en los sedimentos sublitorales de Bahía Caldera durante los períodos estival e invernal de 2008.



**Figura 4.** Serie de tiempo de la granulometría de los sedimentos al interior de la Bahía de Caldera. (a) Sector de Puerto Padrones, (b) sector fondo de saco de la bahía y (c) sector oriental de la bahía.

### 3.1.2. Metales traza en sedimentos sublitorales

Las concentraciones de los elementos traza cobre, zinc, hierro, plomo y cadmio determinadas en los sedimentos sublitorales de Bahía Caldera durante la Línea Base ambiental y para las campañas de monitoreo desarrolladas entre 1999 y 2008 se presentan en los Anexos 4, 5, 6, 7 y 8, respectivamente.

#### a. Cobre

La distribución de la concentración de cobre en sedimentos sublitorales de Bahía Caldera durante la ejecución del Programa de Monitoreo durante el año 2008 evidenció la existencia de diferencias temporales significativas entre las concentraciones detectadas en las dos campañas de muestreo ejecutadas durante 2008 (verano e invierno). En el ámbito espacial, se observó la existencia de diferencias significativas estadísticamente entre las concentraciones de cobre verificadas en las diferentes estaciones de muestreo al interior del área de estudio.

Durante el período estival de 2008, la distribución de cobre en sedimentos de Bahía Caldera presentó una concentración promedio de  $79,4 \pm 73,0 \mu\text{g g}^{-1}$ , observándose un rango de variación entre  $21,1 \pm 3,55$  y  $199,0 \pm 33,7 \mu\text{g g}^{-1}$ . Durante este monitoreo se mantuvo el patrón de distribución histórico para esta variable, observándose las máximas concentraciones asociadas al sector de fondo de saco, *i.e.*,  $199,0 \pm 33,7 \mu\text{g g}^{-1}$  y  $190,3 \pm 66,1 \mu\text{g g}^{-1}$ , correspondientes a las estaciones C-08 y C-09, respectivamente (**Figura 5, Tabla 2**). Estas concentraciones son superiores a las establecidas como naturales ( $20\text{-}30 \mu\text{g g}^{-1}$ ; Crecelius *et al.*, 1985) y a las concentraciones ER-L ( $34 \mu\text{g g}^{-1}$ , rango de efecto bajo, considerado como criterio de toxicidad crónica para sedimentos), mientras que sólo la estación C-09 evidenció concentraciones superiores al criterio ER-M de  $270 \mu\text{g g}^{-1}$  (rango de efecto medio, considerado como criterio de toxicidad aguda para sedimentos).

Destacó también durante esta campaña los altos valores registrados en la estación C-02, ubicada frente al muelle de carguío de Puerto Padrones, la cual presentó una concentración promedio de  $113,3 \mu\text{g g}^{-1}$ , siendo superiores a las concentraciones ER-L.

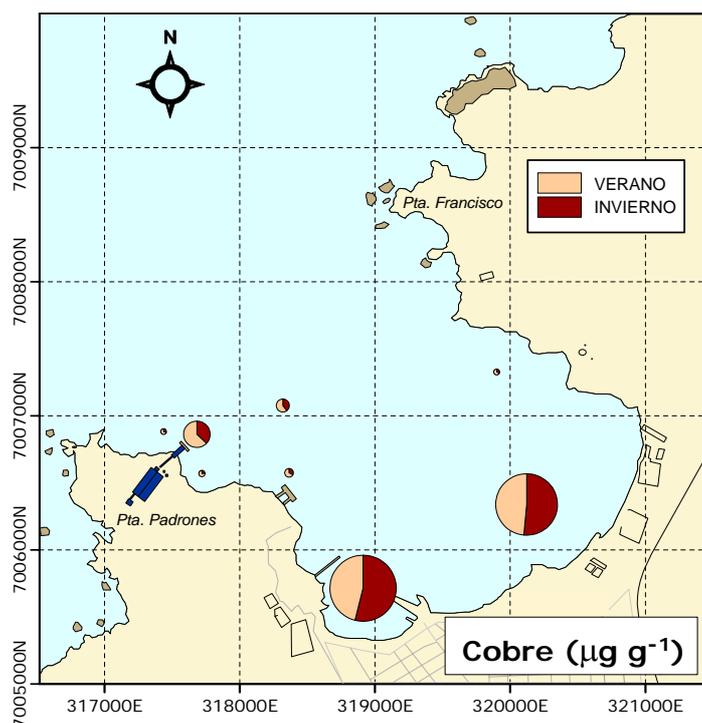
Por otra parte, las menores concentraciones se registraron en la estación C-10, dispuesta en el sector oriental de la bahía, y en C-01 y C-03, en torno al muelle de Punta Padrones, todas las cuales presentaron concentraciones en el rango a las establecidas como naturales ( $20\text{-}30 \mu\text{g g}^{-1}$ ; Crecelius *et al.*, 1985).

La campaña invernal de 2008 presentó una concentración promedio de cobre de  $68,9 \pm 85,4 \mu\text{g g}^{-1}$ , la cual fue inferior a la observada en el verano. Durante esta campaña, las máximas concentraciones fueron registradas nuevamente en las estaciones del fondo de saco de la bahía ( $232,7 \pm 10,7 \mu\text{g g}^{-1}$  y  $202,0 \pm 5,2 \mu\text{g g}^{-1}$  para las estaciones C08 y C-09,

respectivamente). Las estaciones restantes presentaron concentraciones en el rango de las concentraciones naturales para sedimentos marinos ( $20-30 \mu\text{g g}^{-1}$ ), a excepción de la estación C-02 (frente al Puerto de Punta Padrones) la cual presentó una concentración promedio de  $66,8 \mu\text{g g}^{-1}$  (**Figura 5, Tabla 2**), la cual superó el criterio ERL ( $34 \mu\text{g g}^{-1}$ ), pero que fue inferior al criterio ER-M ( $270 \mu\text{g g}^{-1}$ ).

La distribución de la concentración de cobre durante ambos periodos estacionales de 2008, ratificó el patrón de distribución histórico observado al interior de Bahía Caldera, donde las menores concentraciones de cobre han estado permanentemente asociadas al sector marino adyacente a Puerto Padrones y al sector oriental del área de estudio, mientras que los mayores valores han sido detectados permanentemente en el sector de fondo de saco de la bahía (estaciones C-08 y C09).

Las concentraciones registradas durante las campañas de 2008 fueron, en general, similares o mayores de las determinadas para el estudio de Línea Base Ambiental de 1993 durante el período estival, y menores durante la campaña invernal (**Tabla 2**).



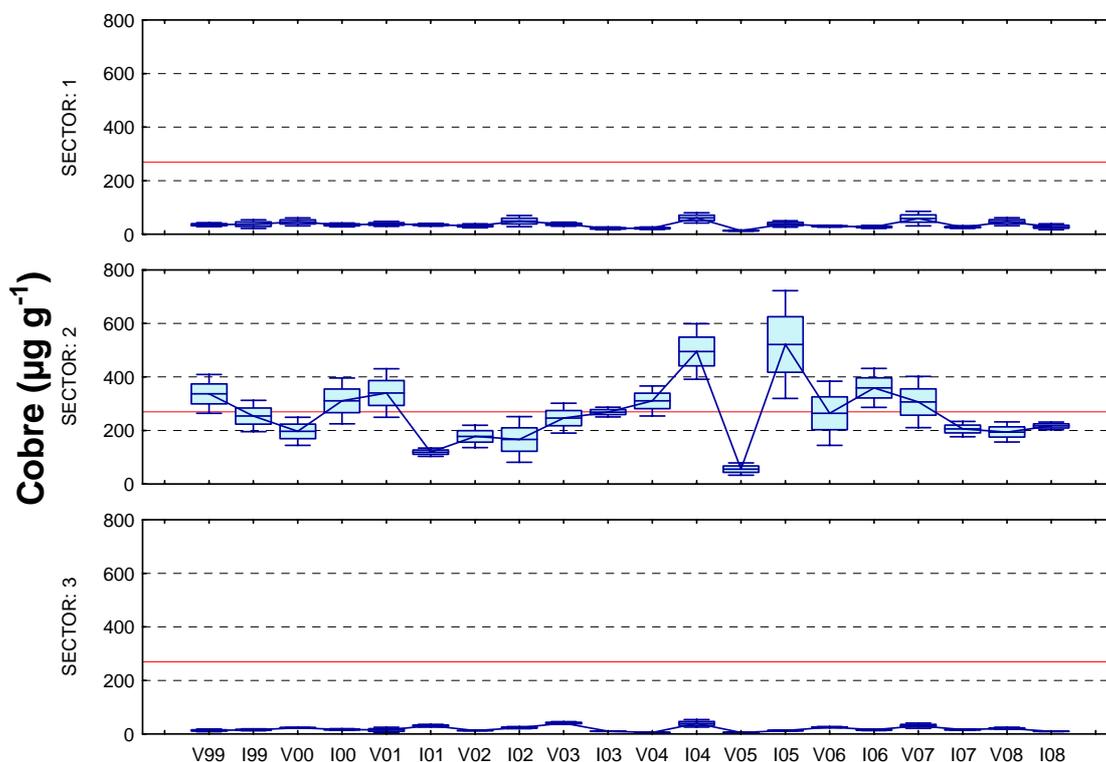
**Figura 5.** Distribución de la concentración de cobre en sedimentos sublitóral al interior de Bahía Caldera durante los periodos estival e invernal de 2008.

**Tabla 2.** Concentración promedio ( $\pm$  desviación estándar) de cobre ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) en sedimentos sublitorales de Bahía Caldera determinadas en el verano e invierno de 2008. Se incluye las concentraciones promedio del estudio de Línea Base ambiental para el área de estudio.

Estación	Línea Base 1993	Verano 2008	Invierno 2008
Bahía Inglesa	11,5 $\pm$ 05,5		
C-01	24,8	26,00 $\pm$ 4,0	11,23 $\pm$ 1,26
C-02	41,9	113,33 $\pm$ 11,5	66,83 $\pm$ 20,64
C-03	28,6 $\pm$ 02,9	30,70 $\pm$ 1,3	9,68 $\pm$ 1,18
C-04	51,9	49,87 $\pm$ 4,0	33,03 $\pm$ 2,68
C-13	145,4 $\pm$ 41,5	39,17 $\pm$ 3,5	24,27 $\pm$ 4,12
C-08	664,3 $\pm$ 93,0	199,03 $\pm$ 33,7	232,67 $\pm$ 10,69
C-09	65,2	190,33 $\pm$ 66,1	202,00 $\pm$ 5,20
C-10	31,1 $\pm$ 01,8	21,10 $\pm$ 3,6	10,03 $\pm$ 0,84

El análisis histórico de la serie temporal de cobre fue realizado agrupando la información por sectores de impacto al interior de bahía Caldera (**Figura 6**). Así, fueron definidos en tres sectores: a) sector cercano al Puerto Padrones (estaciones C-01, C-02, C-03, C-04 y C-13), b) sector del fondo de saco de la bahía (estaciones C-08 y C-09) y c) sector oriental de la bahía (estación C-10).

A partir de este análisis fue posible corroborar que el sector del fondo de saco de la bahía ha evidenciado históricamente concentraciones de cobre significativamente más altas que las reportadas en los sectores restantes (Puerto Padrones y sector oriental de la bahía). Durante las campañas desarrolladas en 2008, esta distribución de cobre se mantuvo en los dos períodos evaluados. Las estaciones cercanas a Puerto Padrones y la estación C-10, situada en el sector oriental de la bahía, mantuvieron durante ambas campañas de 2008 las bajas concentraciones exhibidas históricamente.



**Figura 6.** Serie de tiempo de la concentración de cobre ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) en sedimentos de Bahía Caldera. a) sector Puerto Padrones, b) fondo de saco de la bahía y c) sector oriental de la bahía. Se destaca el promedio, el error estándar (caja) y la desviación estándar (barras) para cada período estacional en el período 1999-2008. La línea segmentada representa el criterio ER-M para cobre en sedimentos ( $270 \mu\text{g g}^{-1}$ ).

## b. Zinc

Durante los monitoreos ejecutados en 2008 se verificó diferencias significativas en la distribución espacial de la concentración de zinc en los sedimentos sublitorales al interior de Bahía Caldera tanto en el ámbito temporales como espaciales; lo cual implica diferencias en las concentraciones de zinc detectadas entre las campañas de verano e invierno, así como también entre las estaciones de muestreo evaluadas.

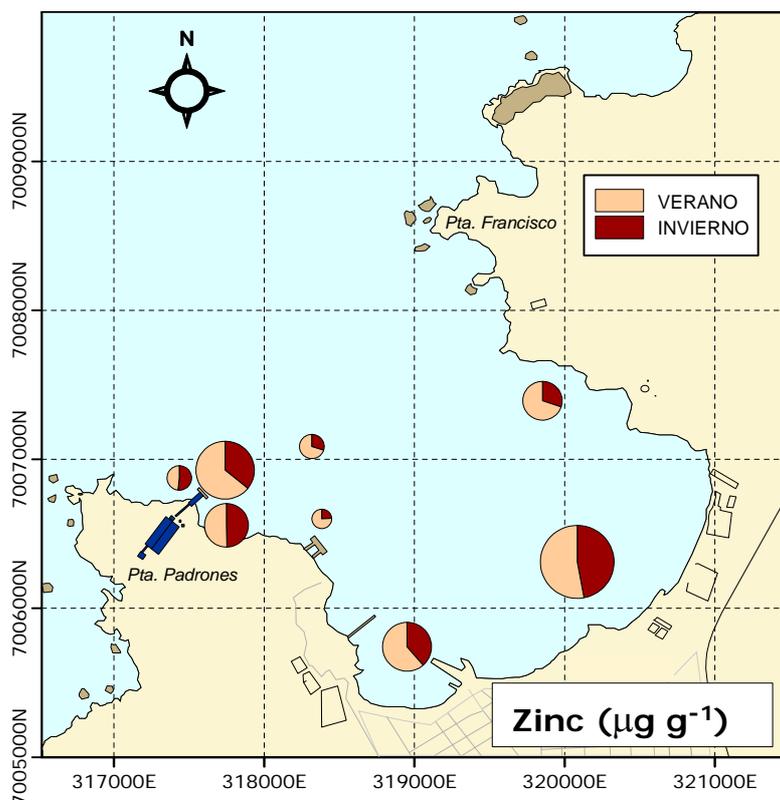
La concentración de zinc promedio para el verano 2008 presentó una concentración promedio general para la bahía de  $52,2 \pm 24,6 \mu\text{g g}^{-1}$ , fluctuando entre los  $25,8 \pm 2,2 \mu\text{g g}^{-1}$  (estación C-01) y los  $86,9 \pm 9,4 \mu\text{g g}^{-1}$  (estación C-09) (**Figura 7, Tabla 3**). Durante esta campaña todas las estaciones evaluadas presentaron concentraciones en el rango de las concentraciones consideradas naturales para este metal en sedimentos marinos ( $90-100 \mu\text{g g}^{-1}$ ; Crecelius *et al.*, 1985), siendo, además, inferiores al criterio de toxicidad crónica para la concentración de zinc en sedimentos ( $\text{ER-L} = 150 \mu\text{g g}^{-1}$ ).

Durante el invierno de 2008 se registraron concentraciones marcadamente inferiores respecto a las determinadas en el período estival 2008, con una concentración promedio de  $37,0 \pm 20,2 \mu\text{g g}^{-1}$ , evidenciando un rango de variación que fluctuó entre  $10,0 \pm 1,7$  y los  $77,1 \pm 6,2 \mu\text{g g}^{-1}$ . Las concentraciones más altas de este período fueron registradas en la estación C-09, la cual presentó un valor promedio de  $77,1 \pm 6,2 \mu\text{g g}^{-1}$ , siendo significativamente mayores a las observadas en las estaciones de muestreo restantes, las cuales presentaron valores de zinc inferiores a entre  $48,7 \pm 4,2 \mu\text{g g}^{-1}$ . Durante esta campaña ninguna estación sobrepasó al criterio de toxicidad crónica ( $\text{ER-L} = 150 \mu\text{g g}^{-1}$ ) para zinc en sedimentos sublitorales marinos (**Figura 7, Tabla 3**), ni las concentraciones consideradas naturales para este metal.

La distribución de las concentraciones de zinc al interior de Bahía Caldera durante las campañas de 2008 mantuvo el patrón de distribución históricamente ratificado para el sector de estudio, donde las mayores concentraciones de zinc estuvieron asociadas al fondo de saco de Bahía Caldera, más específicamente a la estación C-09. Cabe señalar que durante el verano de 2008 se identificó altas concentraciones asociadas a la estación C-02 ( $84,0 \mu\text{g g}^{-1}$ ).

Asimismo, las concentraciones determinadas en ambas campañas de 2008 fueron menores de las determinadas para el estudio de Línea Base Ambiental de 1993 (**Tabla 3**).





**Figura 7.** Distribución de la concentración de zinc en sedimentos sublitorales al interior de Bahía Caldera durante los períodos estival e invernal de 2008.

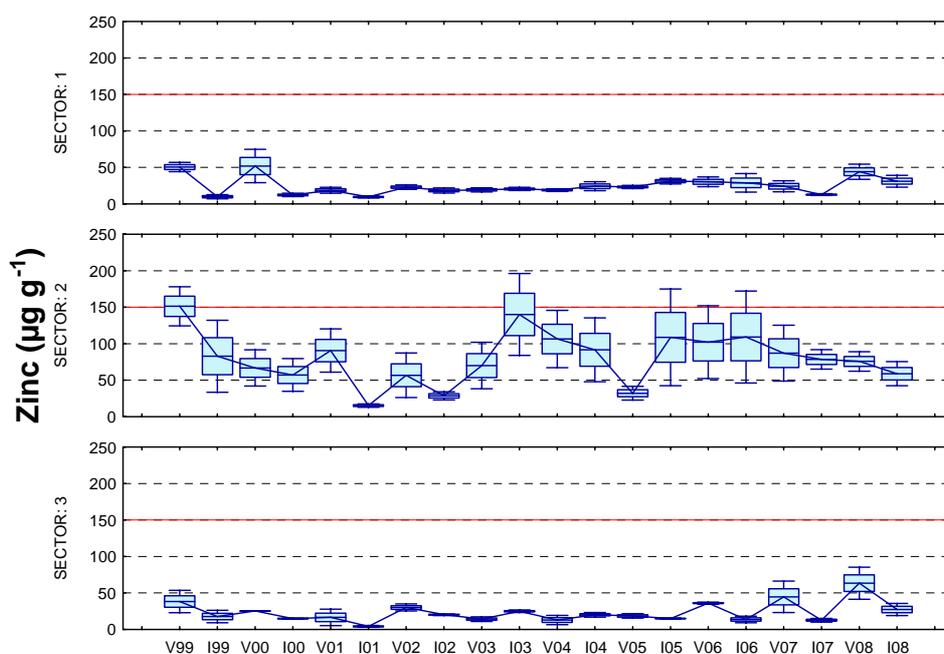
**Tabla 3.** Concentración promedio ( $\pm$  desviación estándar) de zinc ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) en sedimentos sublitorales de Bahía Caldera determinadas en el verano e invierno de 2008. Se incluye las concentraciones promedio del estudio de Línea Base ambiental para el área de estudio.

Estación	Línea Base 1993	Verano 2008	Invierno 2008
Bahía Inglesa	24,4 $\pm$ 33,5		
C-01	118,0	25,750 $\pm$ 2,2	27,475 $\pm$ 1,162
C-02	159,0	84,033 $\pm$ 27,8	46,800 $\pm$ 4,900
C-03	67,5 $\pm$ 8,2	49,300 $\pm$ 5,4	48,725 $\pm$ 4,240
C-04	144,4	39,600 $\pm$ 1,9	17,067 $\pm$ 4,600
C-13	214,5 $\pm$ 13,9	31,400 $\pm$ 4,9	10,010 $\pm$ 1,793
C-08	52,7 $\pm$ 4,4	64,700 $\pm$ 15,6	40,77 $\pm$ 7,221
C-09	190,6	86,933 $\pm$ 9,4	77,100 $\pm$ 6,188
C-10	103,1 $\pm$ 11,2	63,400 $\pm$ 19,7	27,333 $\pm$ 7,438

La **Figura 8** presenta la distribución temporal (1999-2008) del zinc en los sedimentos del área de estudio para tres sectores espacialmente diferenciados, esto es: sector adyacente a Puerto Padrones, sector del fondo de saco de la bahía y sector oriental de la bahía.

De manera similar a lo descrito para la distribución de cobre en sedimentos, existen concentraciones marcadamente superiores asociadas al sector de fondo de saco de la bahía, situación que ha sido recurrente a través de la serie histórica. Durante las campañas ejecutadas en 2008 se mantuvo el patrón anteriormente descrito, verificándose las mayores concentraciones asociadas al sector de fondo de saco de la bahía, las cuales a partir del invierno de 2005 han evidenciado un patrón descendente y con una menor variabilidad asociada.

Las concentraciones de zinc en los sedimentos de las estaciones cercanas a Puerto Padrones y del margen oriental de la bahía, mantuvieron durante el año 2008 su tendencia con concentraciones significativamente menores que el fondo de saco.



**Figura 8.** Serie de tiempo de la concentración de zinc ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) en sedimentos de Bahía Caldera. a) sector Puerto Padrones, b) fondo de saco de la bahía y c) sector oriental de la bahía. Se destaca el promedio, el error estándar (caja) y la desviación estándar (barras) para cada período estacional en el período 1999-2008. La línea segmentada representa el criterio ER-L para zinc en sedimentos ( $150 \mu\text{g g}^{-1}$ ).

### c. Hierro

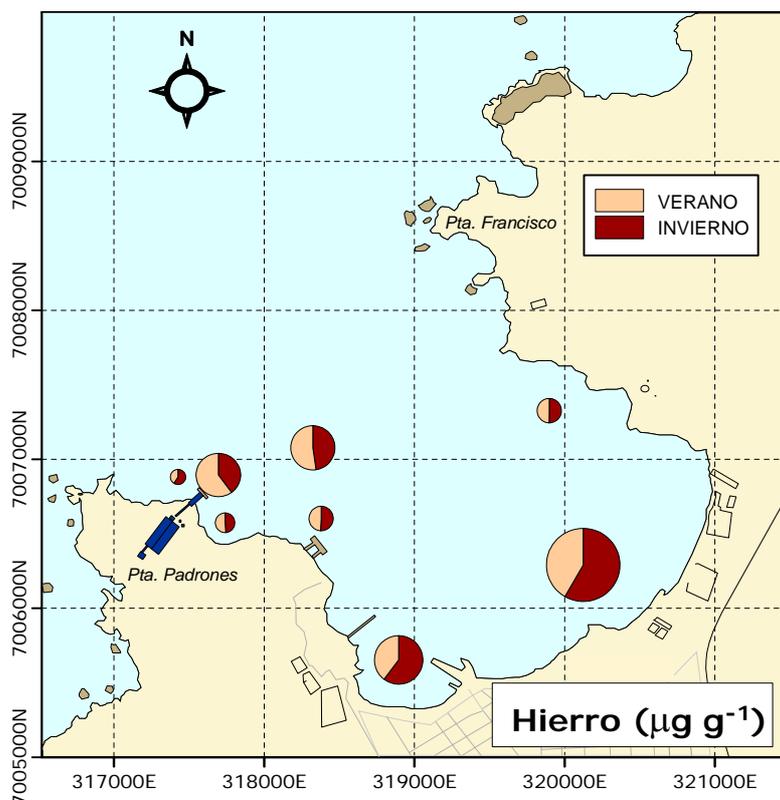
La distribución de la concentración de hierro en Bahía Caldera durante el desarrollo de Programa de Monitoreo 2008 verificó la existencia de diferencias estadísticas entre los resultados obtenidos entre las campañas de monitoreo ejecutadas en verano e invierno de 2007. Asimismo, en el ámbito espacial también se verificaron diferencias en la distribución de este metal entre las diferentes estaciones de muestreo evaluadas.

Durante el verano de 2008, la distribución espacial del hierro en los sedimentos sublitorales mostró una concentración promedio para el área de estudio de  $4008,3 \pm 2109,5 \mu\text{g g}^{-1}$ , evidenciando diferencias significativas entre las estaciones de muestreo, con concentraciones más altas asociadas a las estaciones C-09 y C02 ( $8615,5 \pm 1233,3 \mu\text{g g}^{-1}$  y  $6197,7 \pm 1101,7 \mu\text{g g}^{-1}$ , **Figura 9, Tabla 4**), en tanto el resto de las estaciones presentó concentraciones que variaron entre  $1418,7 \pm 49,7 \mu\text{g g}^{-1}$  y  $5460,4 \pm 728,9 \mu\text{g g}^{-1}$ . Durante este período, y al igual a lo informado en campañas anteriores, ninguna estación de muestreo sobrepasó las concentraciones consideradas naturales para sedimentos marinos ( $< 21200 \mu\text{g g}^{-1}$ ).

La distribución de hierro en el período invernal de 2008 en Bahía Caldera presentó una concentración promedio similar a la verificada en el período estival ( $4441,3 \pm 2756,3 \mu\text{g g}^{-1}$ ). Las mayores concentraciones de este período estuvieron asociadas a las estaciones dispuestas en el sector de fondo de saco, esto es las estaciones C-08 y C-09 ( $7213,3 \pm 308,9 \mu\text{g g}^{-1}$  y  $10417,2 \pm 921,6 \mu\text{g g}^{-1}$ , respectivamente), mientras que las estaciones restantes fueron significativamente menores, con concentraciones menores a  $4981,2 \mu\text{g g}^{-1}$  (**Figura 9, Tabla 4**). De manera similar al período estival, durante esta campaña ninguna estación de muestreo sobrepasó las concentraciones consideradas naturales para hierro en sedimentos marinos ( $< 21200 \mu\text{g g}^{-1}$ ).

Al contrastar estos resultados con los reportados para el estudio de Línea Base de 1993, durante la campaña estival las estaciones C-02, C-09 y C-10 presentaron concentraciones superiores a los valores registrados durante la Línea Base; en tanto que, en la campaña invernal sólo las estaciones C-08, C-09 y C-10 sobrepasaron las concentraciones registradas durante el estudio ambiental de 1993.



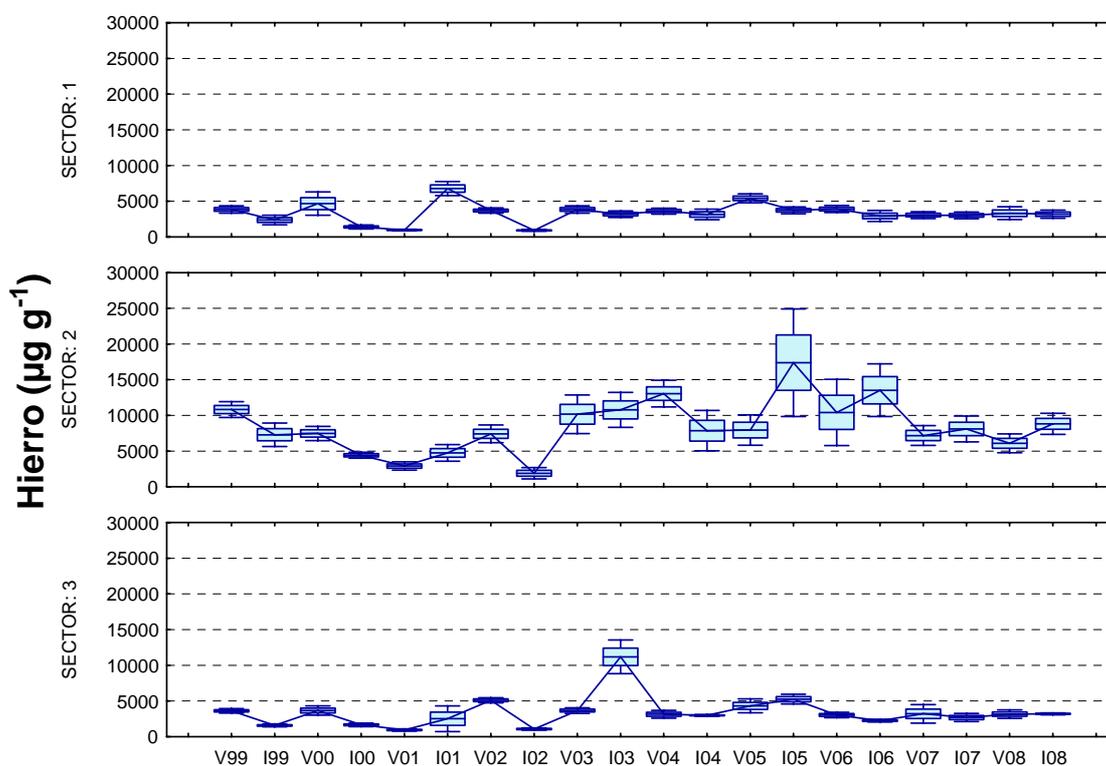


**Figura 9.** Distribución de la concentración de hierro en sedimentos sublitorales al interior de Bahía Caldera durante los períodos estival e invernal de 2008.

**Tabla 4.** Concentración promedio ( $\pm$  desviación estándar) de hierro ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) en sedimentos sublitorales de Bahía Caldera determinadas en el verano e invierno de 2008. Se incluye las concentraciones promedio de estudio de Línea Base ambiental para el área de estudio.

Estación	Línea Base 1993	Verano 2008	Invierno 2008
Bahía Inglesa	4156 $\pm$ 1445		
C-01	2091	1418,7 $\pm$ 49,7	2060,8 $\pm$ 267,8
C-02	4408	6197,7 $\pm$ 1101,7	4121,9 $\pm$ 252,2
C-03	3255 $\pm$ 453	2190,0 $\pm$ 278,0	2094,0 $\pm$ 477,3
C-04	5473	5460,4 $\pm$ 728,9	4981,2 $\pm$ 316,8
C-13	23248 $\pm$ 17552	2908,2 $\pm$ 359,8	3008,1 $\pm$ 48,1
C-08	6915 $\pm$ 1698	4737,1 $\pm$ 845,2	7213,3 $\pm$ 308,9
C-09	5084	7455,9 $\pm$ 880,5	10417,2 $\pm$ 921,6
C-10	2968 $\pm$ 100	3168,1 $\pm$ 524,6	3209,7 $\pm$ 118,1

La **Figura 10** presenta la distribución temporal de hierro por sector de estudio y para el período 1999 - 2008. A lo largo de la serie histórica se ha advertido que el sector de fondo de saco ha evidenciado las concentraciones más altas registradas a través de los 10 años de evaluación, el cual, a partir del verano de 2007 ha presentado un comportamiento estable con concentraciones menores a  $10000 \mu\text{g g}^{-1}$ . Los sectores de Puerto Padrones y oriental de la bahía han mantenido una tendencia relativamente estable a lo largo de toda la serie de tiempo, situación que sólo se vio alterada durante el invierno de 2003 en el sector oriental de la bahía. En tanto, durante las campañas de 2008 estos sectores mantuvieron las bajas concentraciones históricamente registradas en estos sectores ( $<5000 \mu\text{g g}^{-1}$ ).



**Figura 10.** Serie de tiempo de la concentración de hierro ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) en sedimentos de Bahía Caldera. a) sector Puerto Padrones, b) fondo de saco de la bahía y c) sector oriental de la bahía. Se destaca el promedio, el error estándar (caja) y la desviación estándar (barras) para cada período estacional en el período 1999-2008.

#### d. Plomo

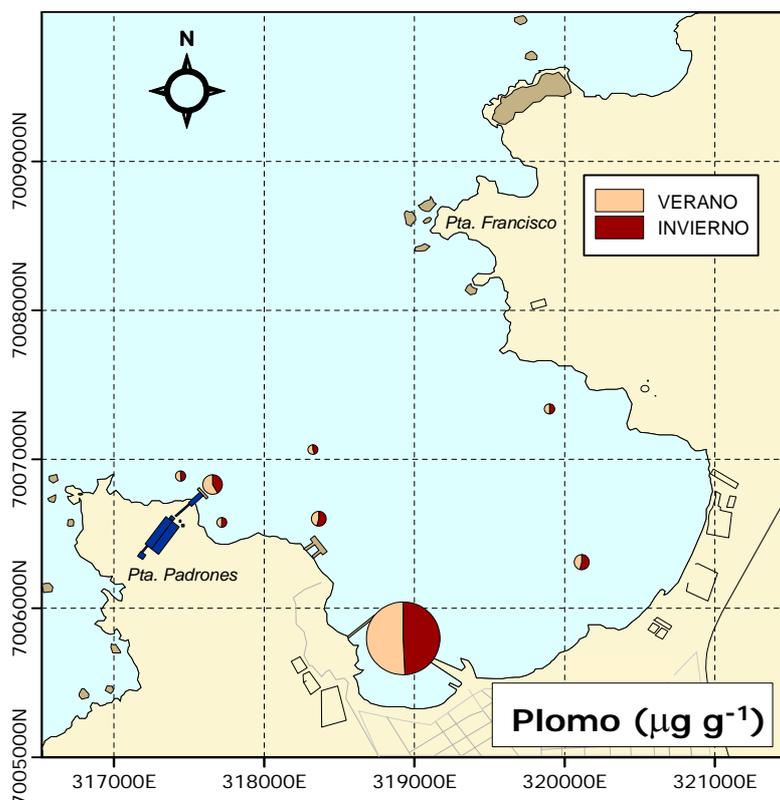
La distribución espacial de la concentración de plomo en sedimentos de Bahía Caldera evidenció diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) sólo en términos espaciales, esto es entre las estaciones de muestreo, pero esto no fue verificable en el ámbito temporal, ya que las concentraciones medidas en las dos campañas realizadas en el año 2008 no evidenciaron diferencias significativas.

Durante el verano 2008 la concentración promedio de plomo en sedimentos marinos fue de  $8,6 \pm 8,9 \mu\text{g g}^{-1}$ . Las mayores concentraciones para este metal durante esta campaña estuvieron nuevamente asociadas a las estaciones del fondo de saco de la bahía: C-08 ( $32,0 \pm 1,5 \mu\text{g g}^{-1}$ ), mientras que las estaciones restantes presentaron valores que fluctuaron entre los  $3,2 \pm 0,13 \mu\text{g g}^{-1}$  y los  $10,0 \pm 2,5 \mu\text{g g}^{-1}$  (**Figura 11, Tabla 5**). De esta manera, sólo la estación C-08 presentó valores de plomo superiores a las concentraciones consideradas naturales ( $20-30 \mu\text{g g}^{-1}$ ), sin embargo éstos fueron menores al criterio de toxicidad crónica ( $\text{ER-L} = 46,7 \mu\text{g g}^{-1}$ ) para el plomo en sedimentos marinos.

Durante la campaña de invierno la concentración promedio de plomo de la bahía presentó una concentración de plomo similar a la registrada en el verano, con un valor promedio de  $8,3 \pm 8,9 \mu\text{g g}^{-1}$ . Las mayores concentraciones de este metal estuvieron asociadas a las estaciones del fondo de saco de la bahía, *i.e.* C-08 ( $31,1 \pm 8,96 \mu\text{g g}^{-1}$ ), en tanto que las concentraciones en las estaciones restantes fueron inferiores a  $7,4 \mu\text{g g}^{-1}$ . De esta manera, sólo las concentraciones detectadas en la estación C-08 sobrepasaron a las establecidas como naturales ( $20-30 \mu\text{g g}^{-1}$ ), si bien se mantuvieron bajo el límite ER-L ( $46,7 \mu\text{g g}^{-1}$ ).

La distribución de plomo en sedimentos de Bahía Caldera durante el año 2008 confirmó la existencia de concentraciones significativamente mayores vinculadas con las estaciones situadas en el fondo de saco de Bahía Caldera, especialmente en la estación C-08 (**Figura 11**). Sin embargo, durante las determinaciones realizadas durante el año 2008, ninguna estación presentó concentraciones de plomo superiores a las registradas durante el estudio de Línea Base Ambiental realizada en 1993.



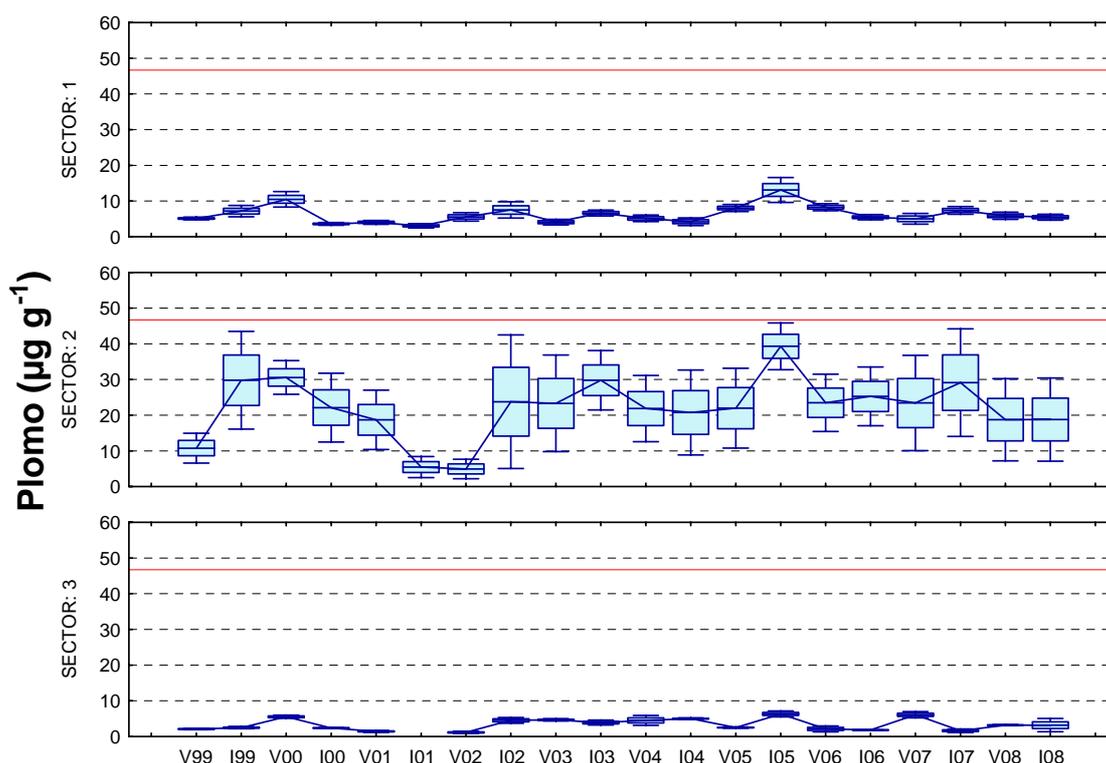


**Figura 11.** Distribución de la concentración de plomo en sedimentos sublitorales al interior de Bahía Caldera durante los períodos estival e invernal de 2008.

**Tabla 5.** Concentración promedio ( $\pm$  desviación estándar) de plomo ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) en sedimentos sublitorales de Bahía Caldera determinadas en el verano e invierno de 2008. Se incluye las concentraciones promedio del estudio de Línea Base ambiental para el área de estudio.

Estación	Línea Base 1993	Verano 2008	Invierno 2008
Bahía Inglesa	15,2 $\pm$ 13,4		
C-01	44,7	5,320 $\pm$ 0,33	4,928 $\pm$ 0,602
C-02	23,0	9,993 $\pm$ 2,47	7,127 $\pm$ 1,308
C-03	38,0 $\pm$ 1,9	4,543 $\pm$ 0,22	4,635 $\pm$ 0,717
C-04	18,5	4,373 $\pm$ 0,54	3,597 $\pm$ 0,688
C-13	37,1 $\pm$ 2,0	6,283 $\pm$ 0,08	7,427 $\pm$ 1,095
C-08	44,8 $\pm$ 4,0	32,000 $\pm$ 1,47	31,067 $\pm$ 8,963
C-09	11,8	5,543 $\pm$ 0,61	6,533 $\pm$ 2,892
C-10	32,8 $\pm$ 2,3	3,193 $\pm$ 0,13	3,193 $\pm$ 1,658

La **Figura 12** presenta la distribución temporal (1999-2008) para el plomo en los sectores: a) Puerto Padrones, b) fondo de saco de la bahía y c) sector oriental (estación C-10). Históricamente, el sector del fondo de saco de la bahía ha presentado concentraciones más altas que los otros dos sectores evaluados, situación que fue ratificada durante las dos campañas ejecutadas durante el 2008. De igual manera, los sectores de Puerto Padrones y al oriente de la bahía mantuvieron las bajas concentraciones registradas en campañas anteriores y comportamiento comparativamente estacionario.



**Figura 12.** Serie de tiempo de la concentración de plomo ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) en sedimentos de Bahía Caldera. a) sector Puerto Padrones, b) fondo de saco de la bahía y c) sector oriental de la bahía. Se destaca el promedio, el error estándar (caja) y la desviación estándar (barras) para cada período estacional en el período 1999-2008. La línea segmentada representa el criterio ER-L para plomo en sedimentos ( $46,7 \mu\text{g g}^{-1}$ ).

## e. Cadmio

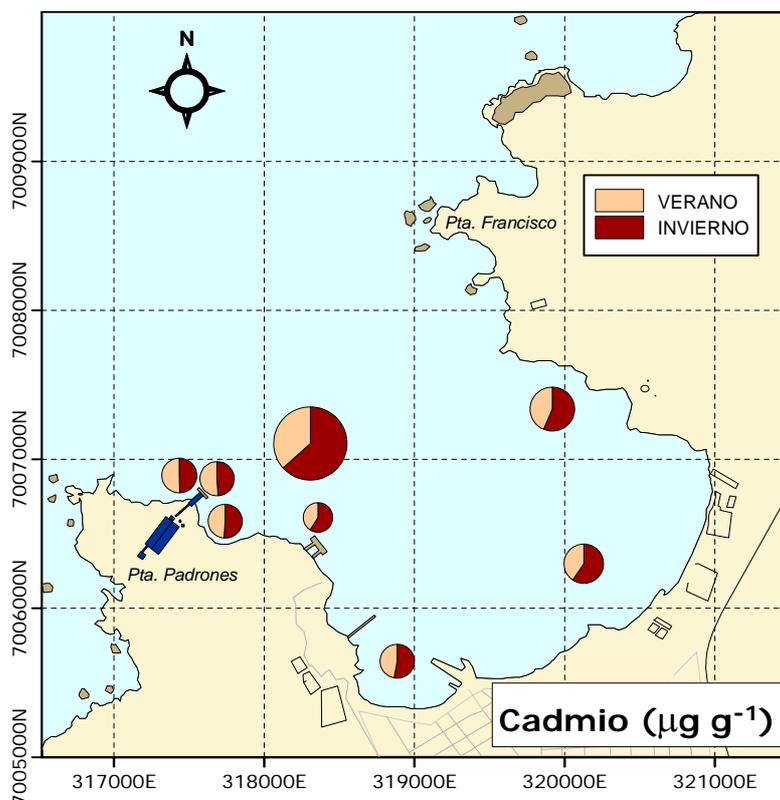
El contenido de cadmio en los sedimentos sublitorales de Bahía Caldera mostró diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) tanto entre las dos campañas realizadas en el año 2008 (verano e invierno) como entre las diferentes estaciones de muestreo.

La campaña estival 2008 estableció que la concentración de cadmio en sedimentos de Bahía Caldera presentó un valor promedio de  $0,31 \pm 0,07 \mu\text{g g}^{-1}$ , constituyéndose en el valor más bajos de la serie histórica en Bahía Caldera, y el cual estuvo asociado a un estrecho rango de variación el cual fluctuó entre  $0,21 \pm 0,03 \mu\text{g g}^{-1}$  (C-13) y  $0,47 \pm 0,02 \mu\text{g g}^{-1}$  (C-04). Durante esta campaña las concentraciones registradas fueron inferiores al límite establecido para concentraciones naturales en sedimentos marinos ( $0,4\text{-}0,5 \mu\text{g g}^{-1}$ ), a excepción de la estación C-04 ( $0,47 \pm 0,02 \mu\text{g g}^{-1}$ ), la cual, sin embargo, fueron inferiores al criterio ER-L para cadmio en sedimentos marinos ( $1,2 \mu\text{g g}^{-1}$ ).

En el invierno de 2008 se reportó una concentración promedio de cadmio de  $0,38 \pm 0,17 \mu\text{g g}^{-1}$ . Durante este período, las mayores concentraciones de cadmio estuvieron asociadas a la estación C-04 ( $0,80 \pm 0,02 \mu\text{g g}^{-1}$ ), mientras que las estaciones restantes presentaron concentraciones menores a  $0,42 \pm 0,12 \mu\text{g g}^{-1}$  (**Figura 13, Tabla 6**). Durante este período, todas las estaciones se presentaron en los rangos de concentración considerados naturales para sedimentos marinos ( $0,4 - 0,5 \mu\text{g g}^{-1}$ ), y, a su vez, presentaron concentraciones inferiores al criterio de toxicidad ER-L ( $1,2 \mu\text{g g}^{-1}$ ) para cadmio en sedimentos marinos.

Durante las campañas ejecutadas en 2008, todas las concentraciones determinadas presentaron concentraciones de cadmio inferiores a las informadas en el estudio de Línea Base de 1993.



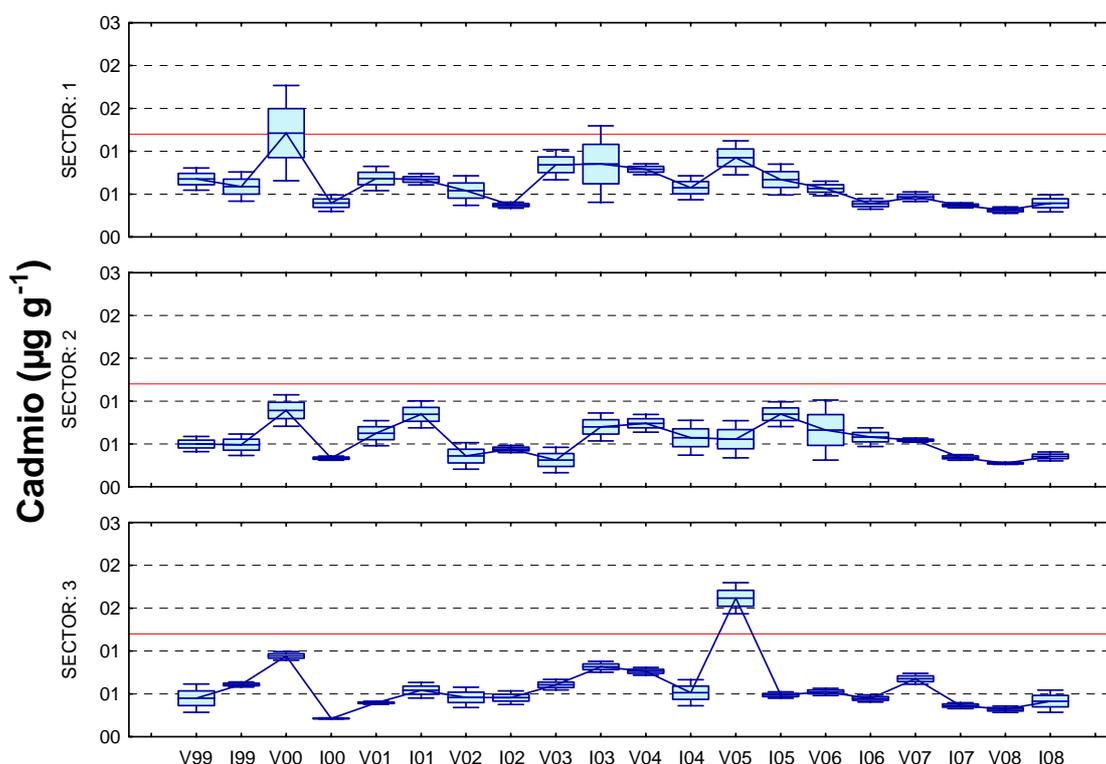


**Figura 13.** Distribución de la concentración de cadmio en sedimentos sublitorales al interior de Bahía Caldera durante los períodos estival e invernal de 2008.

**Tabla 6.** Concentración promedio ( $\pm$  desviación estándar) de cadmio ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) en sedimentos sublitorales de Bahía Caldera determinadas en el verano e invierno de 2008. Se incluye las concentraciones promedio del estudio de Línea Base ambiental para el área de estudio

Estación	Línea Base 1993	Verano 2008	Invierno 2008
Bahía Inglesa	$3,37 \pm 1,23$		
C-01	6,60	$0,303 \pm 0,04$	$0,298 \pm 0,016$
C-02	4,10	$0,302 \pm 0,01$	$0,291 \pm 0,033$
C-03	$6,30 \pm 0,44$	$0,294 \pm 0,03$	$0,308 \pm 0,049$
C-04	3,30	$0,465 \pm 0,02$	$0,804 \pm 0,017$
C-13	$4,03 \pm 0,65$	$0,210 \pm 0,03$	$0,302 \pm 0,034$
C-08	$1,90 \pm 0,20$	$0,276 \pm 0,02$	$0,309 \pm 0,035$
C-09	2,10	$0,274 \pm 0,02$	$0,401 \pm 0,054$
C-10	$5,30 \pm 0,20$	$0,321 \pm 0,03$	$0,415 \pm 0,115$

La **Figura 14** presenta la distribución temporal de cadmio para los tres sectores evaluados al interior de Bahía Caldera en el período 1999-2008. El análisis histórico no evidenció diferencias entre las tendencias observadas en los tres sectores evaluados. La serie muestra que la mayor parte de las campañas presentaron concentraciones determinadas en los diferentes sectores de Bahía Caldera fueron inferiores al ER-L, a excepción del sector oriental (estación C-10) durante el verano de 2005. Durante las campañas de 2008 los tres sectores evidenciaron concentraciones de cadmio similares, manteniendo de esta forma la tendencia observada en toda el área de estudio, con una progresiva disminución de la concentración de este metal a partir del verano de 2005.



**Figura 14.** Serie de tiempo de la concentración de cadmio ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) en sedimentos de Bahía Caldera. a) sector Puerto Padrones, b) fondo de saco de la bahía y c) sector oriental de la bahía. Se destaca el promedio, el error estándar (caja) y la desviación estándar (barras) para cada período estacional en el período 1998-2008. La línea segmentada representa el criterio ER-L para cadmio en sedimentos ( $1,2 \mu\text{g g}^{-1}$ ).

## 3.2. Agua de mar

### 3.2.1. Variables Higrográficas

#### a. Transparencia

La transparencia, determinada a través de la profundidad de disco secchi, medida durante el verano de 2008 presentó un rango de valores que fluctuaron entre los 2,0 y los 5,5 m de profundidad, estableciendo un valor promedio de  $4,29 \pm 1,27$  m. Estos valores de transparencia se encuentran en el rango descrito para períodos estivales anteriores.

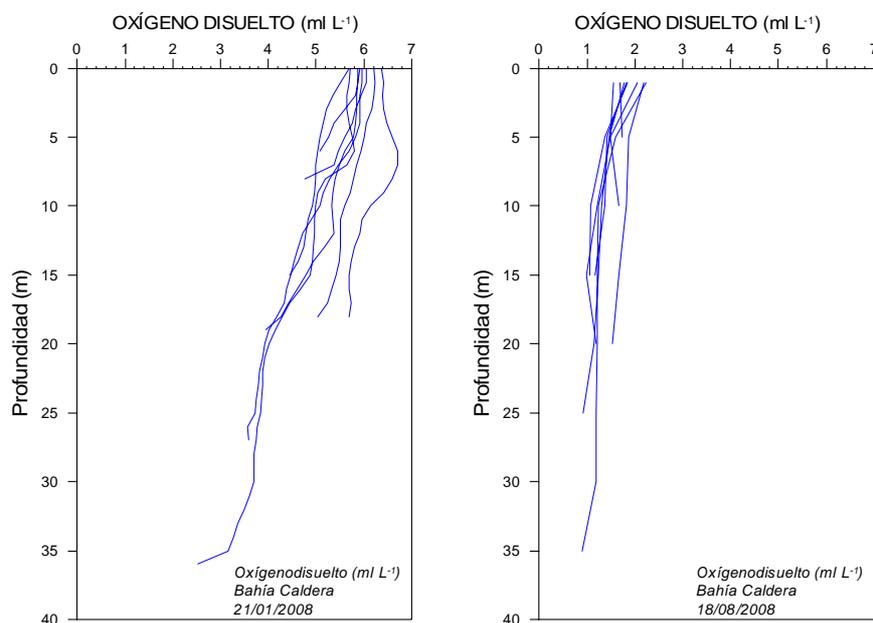
Durante la campaña invernal de 2008 los valores de transparencia fueron mayores a los registrados durante el período estival, estableciéndose un valor promedio de  $14,29 \pm 4,56$  m (8,0 – 22,0 m). Este valor se enmarca en el rango de profundidades registradas históricamente durante el período invernal al interior de Bahía Caldera durante los períodos invernales entre 1996 y 2006 (8,1 - 15,0 m).

#### b. Oxígeno Disuelto

Las concentraciones de oxígeno disuelto determinadas estacionalmente en Bahía Caldera, para el período comprendido entre los años 1994 y 2008, se presentan en los **Anexos 9 y 10** para los períodos de verano e invierno, respectivamente.

La distribución de oxígeno disuelto durante la campaña de verano 2008 estableció que la columna de agua en el estrato superficial presentó una alta oxigenación, con un valor promedio para toda la columna de agua de  $5,95 \pm 0,28$  ml L<sup>-1</sup>, verificándose un descenso en los valores hacia estratos más profundos, razón por la cual el valor promedio hacia estratos más profundos presentó concentraciones comparativamente menores, alcanzando valores de  $3,97 \pm 0,07$  ml L<sup>-1</sup> a los 20 m de profundidad (**Figura 15**). La estructura vertical de esta variable no da cuenta de la presencia de oxiclina definidas, ni de zona de mayores gradientes verticales, sino que se observa un descenso uniforme en la concentración de oxígeno disuelto hacia estratos más profundos.

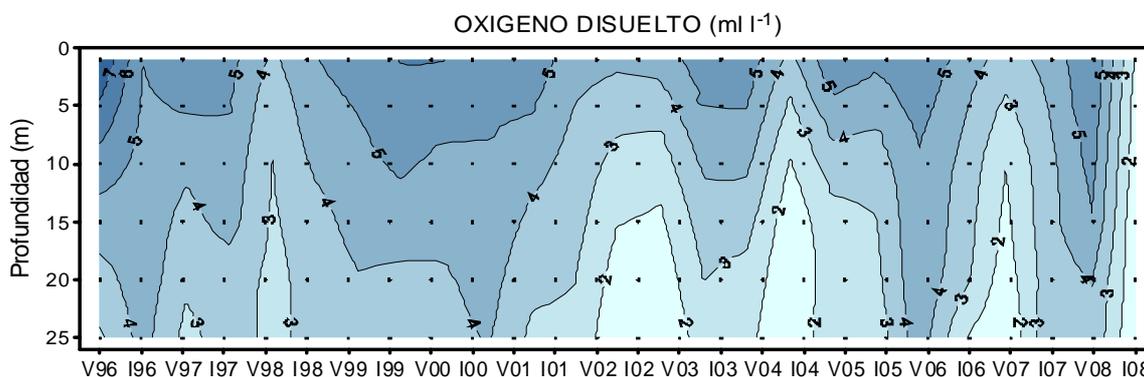
Durante el período invernal, se verificó menores valores en el contenido de oxígeno disuelto en la columna de agua al interior de Bahía Caldera, donde el estrato superficial presentó una concentración promedio de  $1,89 \pm 0,24$  ml L<sup>-1</sup>, verificándose una columna de agua altamente uniforme, lo cual establece concentraciones similares en el estrato de 20 m donde se registró un promedio de  $1,27 \pm 0,18$  ml L<sup>-1</sup>. (**Figura 15**).



**Figura 15.** Distribución vertical de la concentración de oxígeno disuelto ( $\text{ml L}^{-1}$ ) en el agua de mar durante los períodos estival e invernal de 2008.

La **Figura 16** muestra la evolución de la distribución temporal de la concentración de oxígeno disuelto durante el período 1996 - 2008.

Las mayores concentraciones de oxígeno disuelto en el estrato superficial se registraron durante las campañas: estival de 1996 ( $> 7,0 \text{ ml L}^{-1}$ ) y estival de 2000 ( $> 6,0 \text{ ml L}^{-1}$ ), en tanto que durante las campañas realizadas en el verano de 1998, entre el invierno de 2001 y el invierno de 2002 se reportó concentraciones superficiales menores a  $5,0 \text{ ml L}^{-1}$ . A partir del verano de 2004 y hasta las campañas ejecutadas durante 2007, se ha encontrado un a columna de agua con menores valores en la concentración de oxígeno disuelto superficial ( $>5,0 \text{ ml L}^{-1}$ ), con la única excepción del período invernal de 2005. Durante el período invernal de 2008 se verifican los menores valores de oxígeno disuelto en la serie histórica, donde la columna de agua en su totalidad presentó valores promedio inferiores a  $2 \text{ ml L}^{-1}$ .



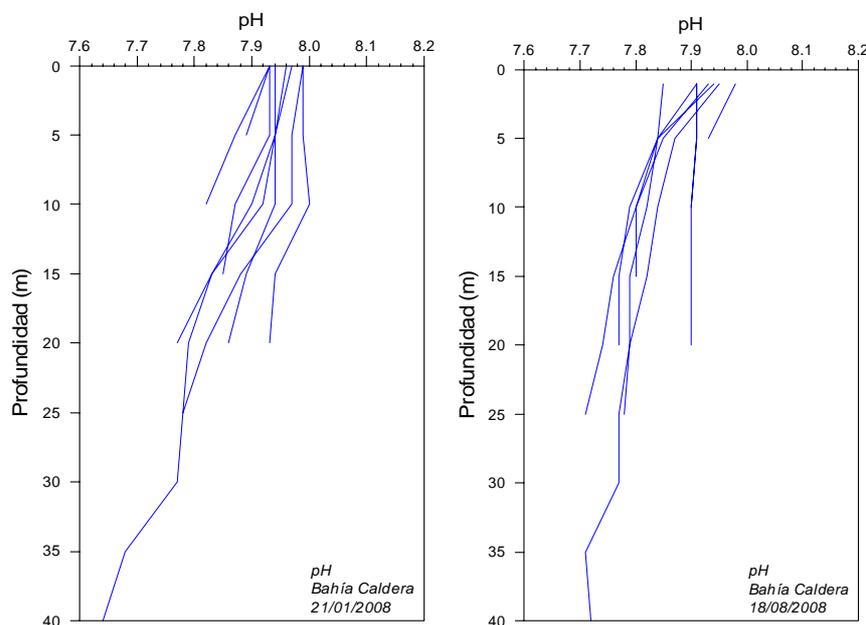
**Figura 16.** Variación temporal estacional de la concentración de oxígeno disuelto (ml L<sup>-1</sup>) para el período 1996 - 2008.

### c. pH

La serie de tiempo estacional de los valores de pH en agua de mar para Bahía Caldera, considerando el período comprendido entre 1994 y 2008, se presenta en los **Anexos 11 y 12**, para las campañas estivales e invernales, respectivamente.

Durante el verano de 2008 el pH presentó una distribución vertical prácticamente homogénea, registrándose un valor superficial promedio de  $7,96 \pm 0,03$ , donde la estructura vertical no evidenció gradientes verticales marcados, sino más bien un leve descenso en profundidad, estableciendo hacia el estrato de 20 m de profundidad un pH promedio de  $7,83 \pm 0,06$ , muy similar a lo descrito para el estrato superficial.

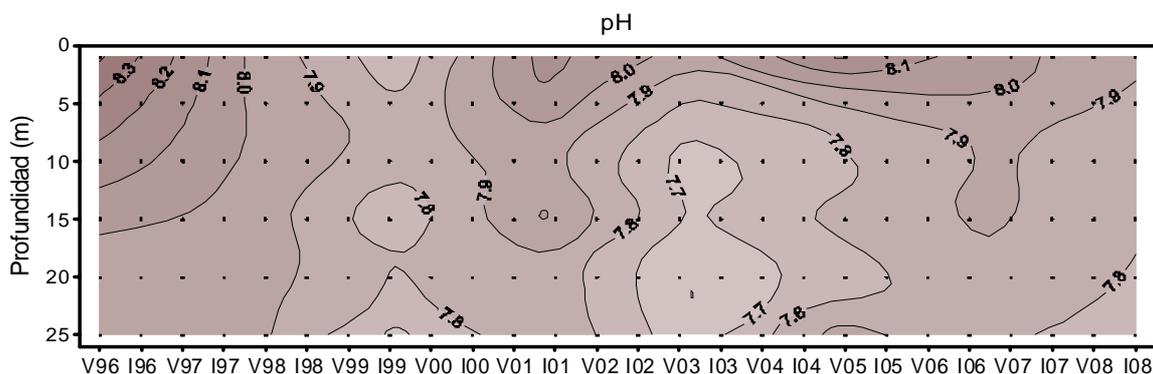
Un patrón de distribución similar se verificó durante el invierno de 2008, donde tanto el patrón vertical de la columna de agua como la magnitud de los valores de pH determinados fueron similares a los verificados durante la campaña de verano. El estrato superficial reportó un valor promedio de  $7,92 \pm 0,04$ , mostrando una distribución vertical homogénea, muy similar al valor promedio en el estrato de 20 m de profundidad ( $7,80 \pm 0,06$ ) (**Figura 17**).



**Figura 17.** Distribución vertical de pH en el agua de mar durante los períodos estival e invernal de 2008.

La **Figura 18** muestra la distribución vertical de pH para el período 1996–2008.

En las primeras evaluaciones realizadas, esto es entre el verano de 1996 y el verano de 1998, los valores de pH fluctuaron entre 8,0 y 8,3, mientras que en el invierno de 1998 y de 2000 el pH tuvo un comportamiento más homogéneo, con valores menores a 7,9 en toda la columna de agua. A partir del período invernal de 2000 y hasta el invierno de 2001 los valores de pH se incrementaron levemente hasta alcanzar valores superiores a 8,1; por el contrario en el año 2003 se observó un claro decremento ( $< 7,8$ ) que se intensificó durante las campañas del año 2004 y 2005, donde se observó los valores más bajos de la serie ( $< 7,7$ ). A partir de entonces, los valores de pH se han mantenido en rangos entre 7,8 y 7,9 para la columna de agua entera, lo cual se mantuvo durante el 2008.



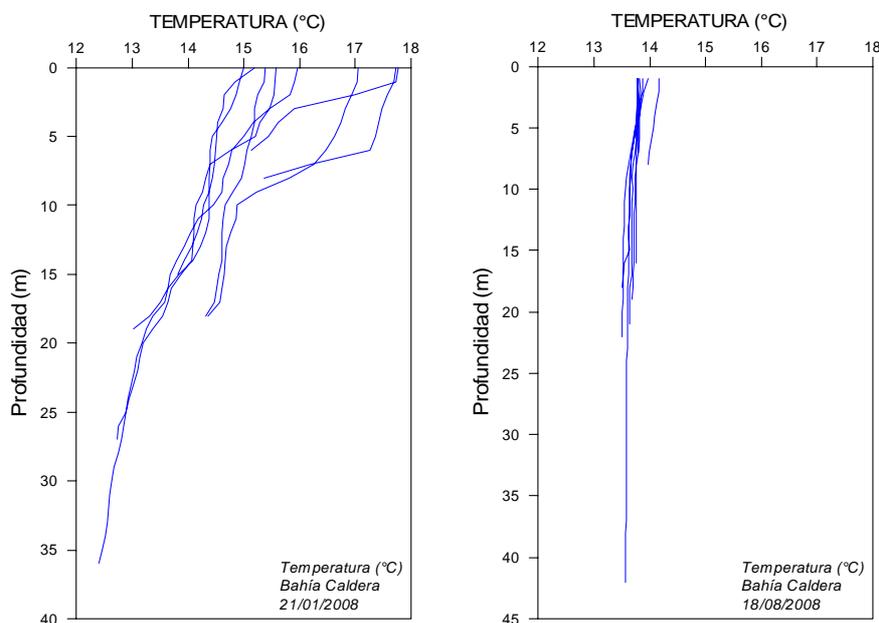
**Figura 18.** Variación temporal estacional de pH para el período 1996 - 2008.

#### d. Temperatura

Los valores de temperatura en el agua de mar para la Bahía de Caldera, registrados estacionalmente durante el período 1993 - 2008, se presentan en los **Anexos 13 y 14**, para el período estival e invernal, respectivamente.

El período estival de 2008 presentó un valor promedio de la temperatura superficial del mar de  $16,1 \pm 1,19$  °C, describiendo un patrón vertical caracterizado por una mayor variabilidad en los primeros 10 m de profundidad, observando el desarrollo termoclinas bien desarrollada entre el estrato superficial y los 10 m de profundidad, las cuales fueron más intensas en el sector de fondo de saco de la bahía (estaciones C-08 y C-09). El patrón vertical establece que bajo los 10 m de profundidad la temperatura presentó un descenso uniforme hasta la máxima profundidad de muestreo. En el estrato de 20m se observó un valor promedio de  $13,18 \pm 0,01$  °C (**Figura 19**).

El invierno de 2008 presentó una distribución de temperatura con presencia de aguas más frías ( $> 14$ °C) y ausencia de estratificación térmica. El estrato superficial tuvo una temperatura promedio de  $13,87 \pm 0,13$  °C, valor muy similar al verificado hacia estratos más profundos (*i.e.*, 20 m), donde se observó un promedio de  $13,59 \pm 0,07$  °C, evidenciando ausencia de estratificación vertical.



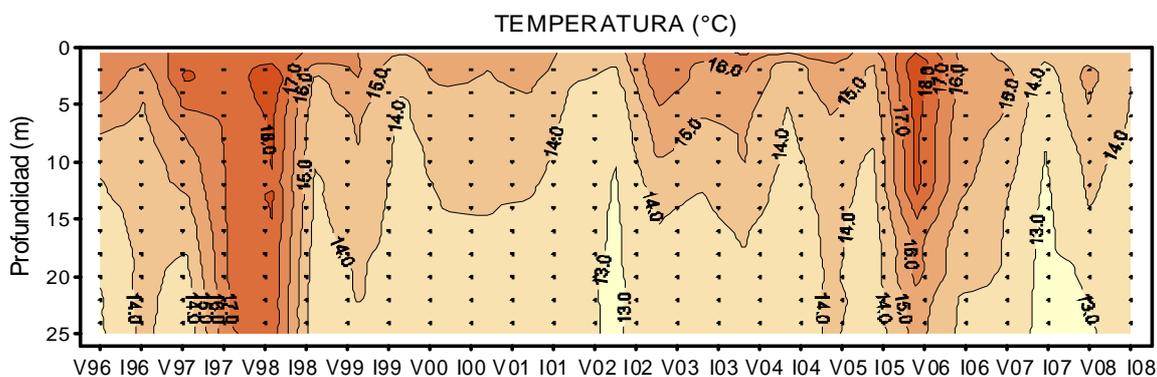
**Figura 19.** Distribución vertical de la temperatura (°C) en agua de mar durante los períodos estival e invernal de 2008.

La **Figura 20** muestra la evolución temporal de la temperatura promedio del mar para la bahía, considerando el período comprendido entre los años 1996 y 2008.

El estrato superficial (sobre los 10 m de profundidad) presentó las mayores variaciones térmicas estacionales, estableciendo valores de temperatura más altas (hasta en 2 °C) durante el período estival. El resto de la columna de agua no reflejó marcados cambios térmicos estacionales. En este contexto, destaca una drástica alteración en este patrón durante la manifestación de un evento ENOS (El Niño 1997-1998), que implicó el ingreso de aguas cálidas al interior de la bahía (>18 °C) en el año 1997, para llegar a temperaturas superficiales mayores a 19°C en el verano de 1998. Posteriormente, en el invierno de 1998, se produjo una progresiva recuperación del patrón hidrográfico, estableciéndose un grado de normalidad en el campo térmico a partir del año 1999 hasta el invierno de 2002, año en que se registró el período estival de menor temperatura (>14°C) de la serie histórica hasta la fecha.

A partir del verano de 2003 y hasta el invierno de 2005 se caracterizó por una marcada variabilidad estacional, característica del sector. Durante el verano de 2006 se describe un marcado aumento en la temperatura promedio similares a las descritas para el período 1997-1998. Durante el año 2007 se verificó temperaturas comparativamente más fría a las observadas históricamente, situación que fue mayormente significativa en el invierno de 2007, con una estructura altamente uniforme y temperaturas menores a 13°C.

Posteriormente, en las campañas realizadas en 2008 se verificó el retorno al comportamiento histórico de la columna de agua en Bahía Caldera, esto es con una marcada diferenciación estacional tanto en la magnitud de los valores de temperatura como en el grado de estratificación entre los períodos de verano e invierno.



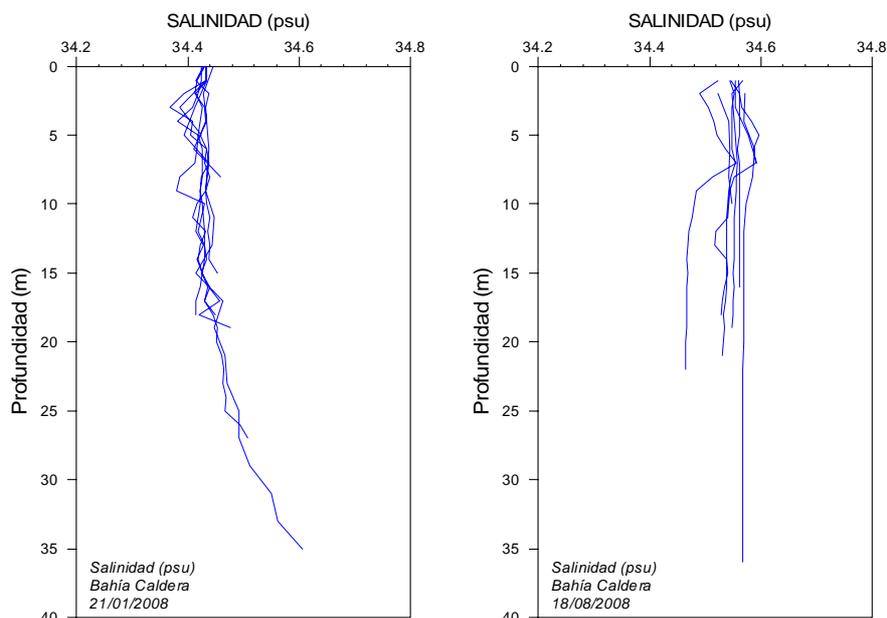
**Figura 20.** Variación temporal estacional de la temperatura (°C) para el período 1996-2008.

### e. Salinidad

Los valores de salinidad en Bahía Caldera para el período comprendido entre los años 1993 y 2008, considerando los períodos estacionales de verano e invierno, se presentan en los **Anexos 15 y 16**, respectivamente.

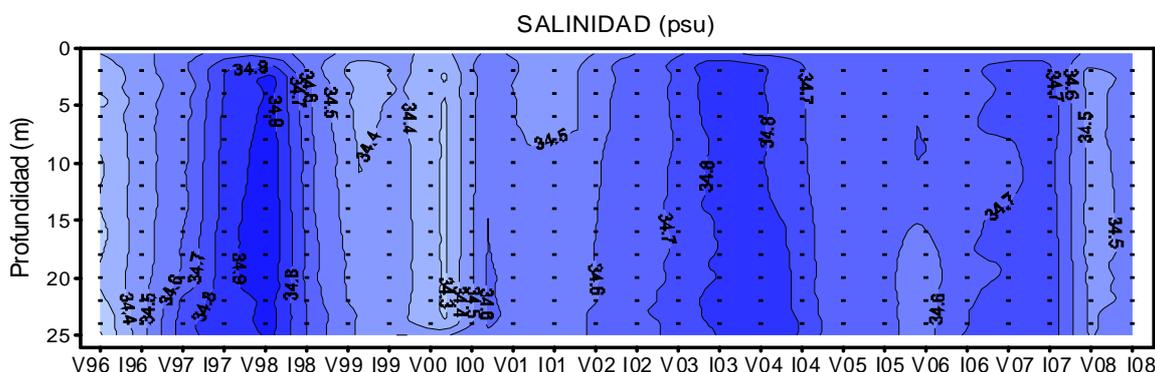
Durante la campaña estival de 2008 se verificó una columna de agua altamente homogénea, caracterizada por la ausencia de clinas y gradientes verticales de importancia. Así, el estrato superficial presentó una salinidad promedio de  $34,43 \pm 0,008$  psu, donde no se identificó una haloclina desarrollada. Hacia estratos más profundos, la salinidad no presentó variaciones importantes registrándose un valor promedio fue de  $34,45 \pm 0,003$  a los 20 m de profundidad (**Figura 21**).

El invierno de 2008 presentó valores de salinidad similares a los registros verificados en el verano, mientras que la distribución vertical de esta variable, y de manera similar a lo reportado para períodos invernales anteriores, ni exhibió estratificación ni el desarrollo de haloclinas. El valor promedio de salinidad en el estrato superficial presentó un valor promedio de  $34,54 \pm 0,029$  psu, mientras que hacia profundidades superiores, estrato de 20 m de profundidad, la salinidad promedio fue de  $34,522 \pm 0,053$ .



**Figura 21.** Distribución vertical de la salinidad (psu) en agua de mar durante los períodos estival e invernal de 2008.

La **Figura 22** muestra la variación temporal de la salinidad en la columna de agua para el período comprendido entre los años 1996 y 2008, considerando las campañas estivales e invernales. El comportamiento salino estacional, que verificó aguas más salinas en el verano y salinidades menores en invierno, estuvo fuertemente alterado por la manifestación de un evento El Niño (1997-1998), que implicó el ingreso de aguas más salinas al área de estudio durante el invierno de 1997 y el verano de 1998, alcanzando valores superiores a 34,9 psu, revelando la presencia de aguas subtropicales al interior de la bahía. A partir del año 1999, el patrón estacional de distribución salina parece establecerse en un grado de normalidad hidrográfica. Durante la campaña estival de 2000 se registraron valores inferiores a 34,3 psu en toda la columna de agua los que incrementaron (>34,5 psu) hacia el verano del 2001. A partir de la campaña estival de 2002 la salinidad presentó un aumento progresivo hasta alcanzar valores superiores 34,8 psu durante las campañas invernal de 2003 y estival de 2004, en tanto que durante el invierno de 2004 se registraron salinidades levemente menores (34,7 psu), situación que se extendió hasta el invierno de 2006. Durante las campañas de 2007 se verificó una columna de agua altamente homogénea caracterizada por salinidades de 34,7 psu, situación que se extendió hasta el verano de 2008, donde se registraron valores de salinidad <34,5 y caracterizados por una alta homogeneidad.

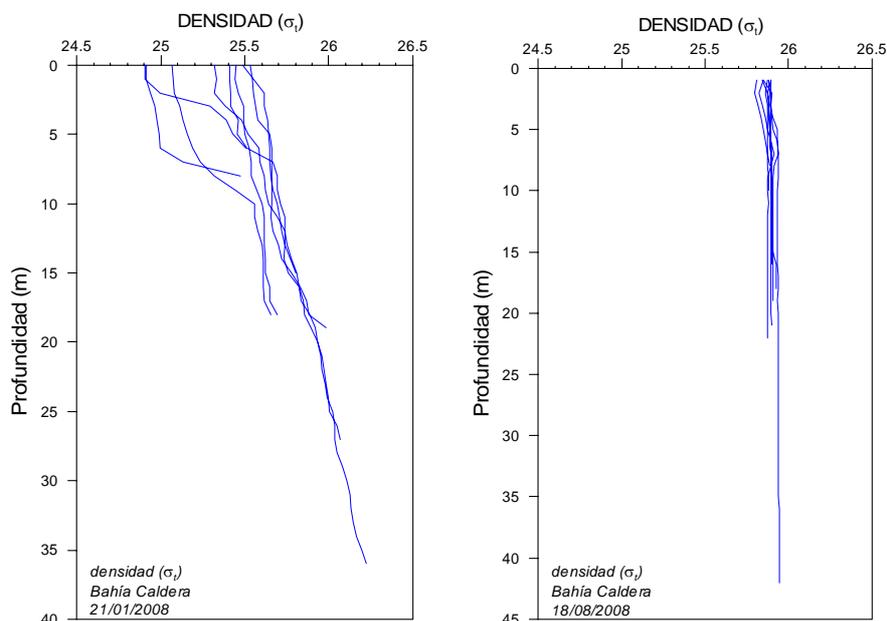


**Figura 22.** Variación temporal estacional de la salinidad (psu) para el período 1996-2008.

## f. Densidad

La densidad superficial del agua de mar durante el verano de 2008 presentó un valor promedio de  $25,27 \pm 0,27 \sigma_t$  considerando todas las estaciones de muestreo. La estructura vertical establece que la densidad tendió a aumentar de manera uniforme hacia las máximas profundidades de muestreo, evidenciando una mayor variabilidad en los primeros 10 m de profundidad, pero sin la presencia de picnoclinas definidas. Así, la densidad en el estrato de 20 m de profundidad presentó un valor promedio de  $25,93 \pm 0,001 \sigma_t$  con un rango de variación mucho menor que en superficie (**Figura 23**).

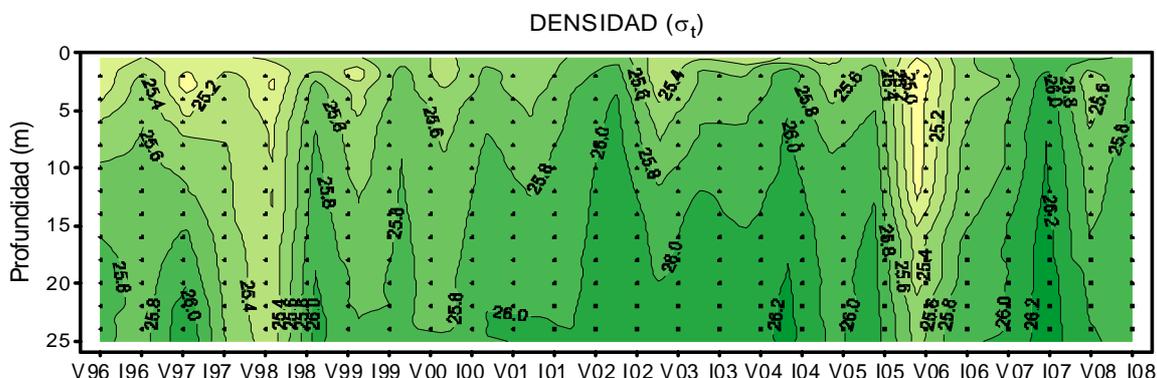
La campaña invernal de 2008 presentó valores de densidad comparativamente más altos, observándose en el estrato superficial un valor de  $26,86 \pm 0,029 \sigma_t$ , caracterizándose por evidenciar una columna de agua bien mezclada verticalmente, sin la presencia de picnoclinas y escasa variación entre las estaciones de muestreo. A la profundidad de 20 m de profundidad la densidad presentó un valor promedio de  $25,90 \pm 0,031 \sigma_t$ .



**Figura 23.** Distribución vertical la densidad ( $\sigma_t$ ) en agua de mar durante los períodos estival e invernal de 2008.

La **Figura 24** presenta la evolución temporal de la densidad del agua de mar entre el verano de 1996 y el invierno de 2008. Se identifica un marcado patrón estacional en la distribución vertical de densidad a lo largo de la serie, comprendido por la alternancia entre períodos caracterizados por estratificación y mezcla, especialmente en los primeros 10 m de la columna de agua. Destaca la alteración de este patrón de distribución ocurrido entre el verano de 1997 y el verano de 1998, por la manifestación del evento El Niño 1997-98, estableciéndose una estructura vertical homogénea y la presencia de densidades menores en toda la columna de agua, específicamente en el invierno de 1997. Posteriormente, durante el invierno de 1998, se observa un drástico cambio en las condiciones hidrográficas de la bahía, con densidades fluctuando entre  $25,4 \sigma_t$  y  $25,8 \sigma_t$  y el progresivo restablecimiento de condiciones normales para el sector. Esto se verificó completamente a partir de 1999, continuando durante 2000 y 2001 donde, al igual que en 1996, se observó el patrón estacional normal descrito para la hidrografía local. Durante 2002, sin embargo, se observó un aumento progresivo de la densidad alcanzando valores de  $26,0$  y  $26,2 \sigma_t$ , en tanto que durante los años 2003 y 2005 nuevamente se observaron las características asociadas al patrón estacional histórico, con mayor estratificación en el período estival y aguas homogéneas durante el invierno. El período estival de 2006 presentó valores en el rango del observado durante el período 1997-1998, con valores mínimos de densidad, situación que fue focalizada sólo en aquel período, observándose que a partir del año 2007 se verificó un

retorno a las condiciones previas observándose alternancias estacionales entre períodos mayormente estratificados (verano) y períodos altamente uniformes (invierno).



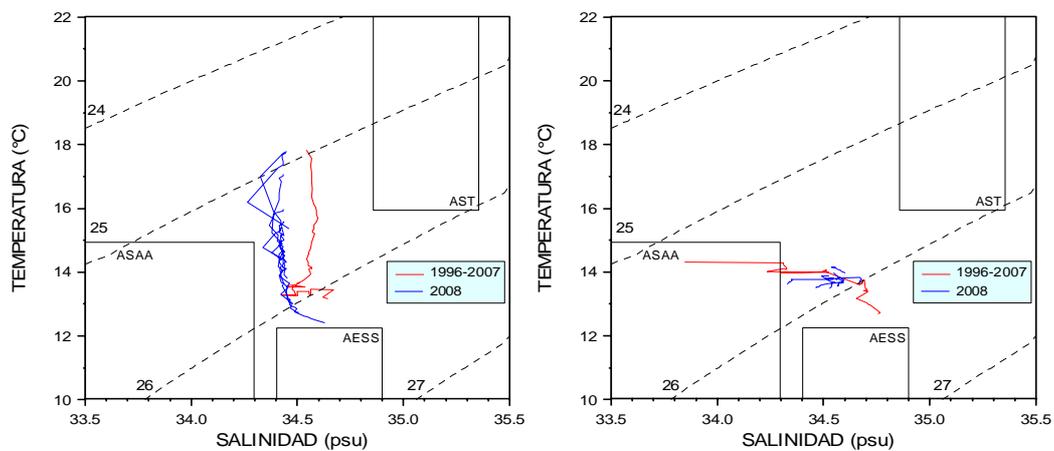
**Figura 24.** Variación temporal estacional de la densidad ( $\sigma_t$ ) para el período 1996-2008.

### g. Relación entre salinidad y temperatura

El análisis de la relación entre la temperatura y la salinidad se realizó a través de diagramas T-S, con el fin de identificar las masas de agua presentes al interior de Bahía Caldera durante la realización de las campañas de monitoreo durante 2008 (**Figura 25**).

Durante el verano se observaron aguas cuyo rango de temperaturas se encontró dentro de las características observadas históricamente al interior de Bahía Caldera, mientras que en términos salinos, el período estival presentó aguas menos salinas que el promedio histórico para el sector. Los índices termohalinos para el verano de 2008 fueron 12,44 - 17,79 °C y 34,26 - 34,64 psu, correspondiendo a aguas de mezcla entre Aguas Subtropicales (AST) y aguas subantárticas (ASAA).

La campaña invernal 2008 se identificó índices termosalinicos entre 13,45 - 14,17 °C y 34,32 - 34,67 psu, para la temperatura y salinidad, respectivamente. Esta característica define aguas más frías que las verificadas en el período estival, pero con un rango salino similar. Los índices anteriormente señalados se encuentran dentro de los valores observados históricamente para las campañas invernales desarrolladas al interior de Bahía Caldera.



**Figura 25.** Diagramas T-S para Bahía Caldera. Período estival 1996-2008 (panel izquierda), Período invernal 1996-2008 (panel derecha).

### 3.2.2. Metales Traza

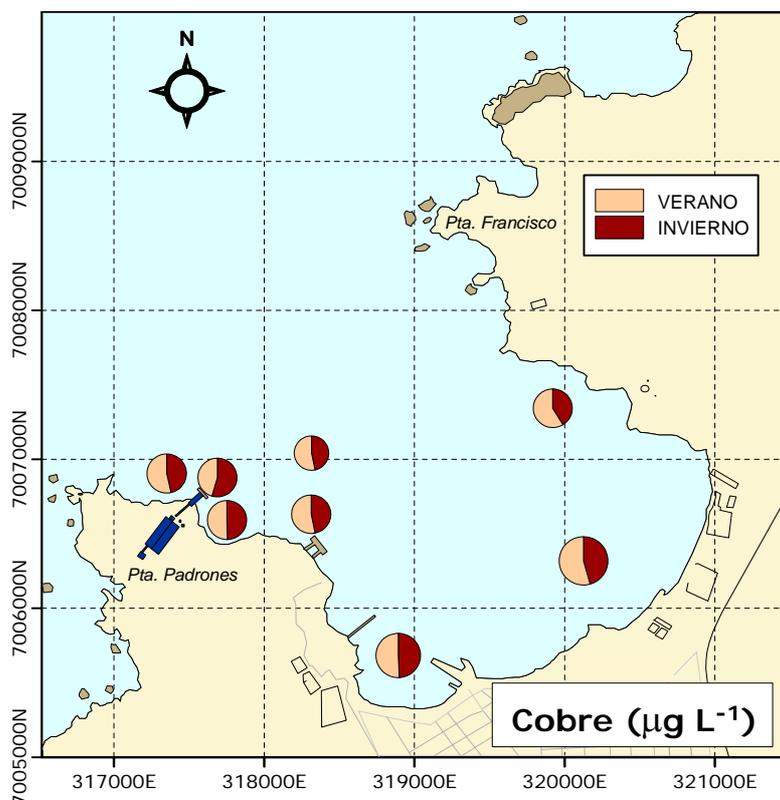
Las concentraciones de cobre, hierro, cadmio y plomo determinadas en muestras de agua de mar recolectadas en estaciones de muestreo situadas al interior de Bahía Caldera durante el período comprendido entre los años 1993 y 2008, se presentan en los **Anexos 17, 18, 19 y 20**.

#### a. Cobre

La distribución de cobre en agua de mar reveló diferencias estacionales significativas ( $p < 0,05$ ) entre los períodos estacionales evaluados durante 2008. De igual manera se detectó variaciones espaciales, verificándose diferencias significativas entre las estaciones de muestreo.

Los resultados registrados en la campaña estival de 2008 establecen una concentración promedio de  $1,26 \pm 0,18 \mu\text{g L}^{-1}$ , esto es considerando la totalidad de estaciones evaluadas al interior de Bahía Caldera. El rango de variación para este metal fluctuó entre  $1,01 \pm 0,05 \mu\text{g L}^{-1}$  y  $1,57 \pm 0,06 \mu\text{g L}^{-1}$  (**Figura 26, Tabla 7**). En esta campaña, los valores registrados estuvieron en los rangos de concentración considerados naturales para este metal ( $< 2,3 \mu\text{g L}^{-1}$ ) (Furness & Rainbow, 1990), y fueron marcadamente inferiores a los criterios de calidad establecidos por EPA para niveles de Concentración Continua (CCC= $3,1 \mu\text{g L}^{-1}$ ) y de Concentración Máxima (CMC= $4,8 \mu\text{g L}^{-1}$ ) (USEPA, 2006).

Durante el invierno de 2008 se determinó una concentración promedio de cobre levemente inferior a la verificada en la campaña estival ( $1,14 \pm 0,14 \mu\text{g L}^{-1}$ ), distribuyéndose en un estrecho rango de variación, con una concentración menor en la estación C-04 ( $0,98 \pm 0,03 \mu\text{g L}^{-1}$ ) y una concentración máxima en las estaciones C-08 y C-09, ambas con una concentración promedio de  $1,32 \mu\text{g L}^{-1}$  (**Figura 26, Tabla 7**). De manera similar a lo reportado para la campaña estival, durante esta campaña no se verificó estaciones con concentraciones promedio por sobre las concentraciones consideradas como naturales ni tampoco que sobrepasaran los criterios EPA para este metal en agua de mar.

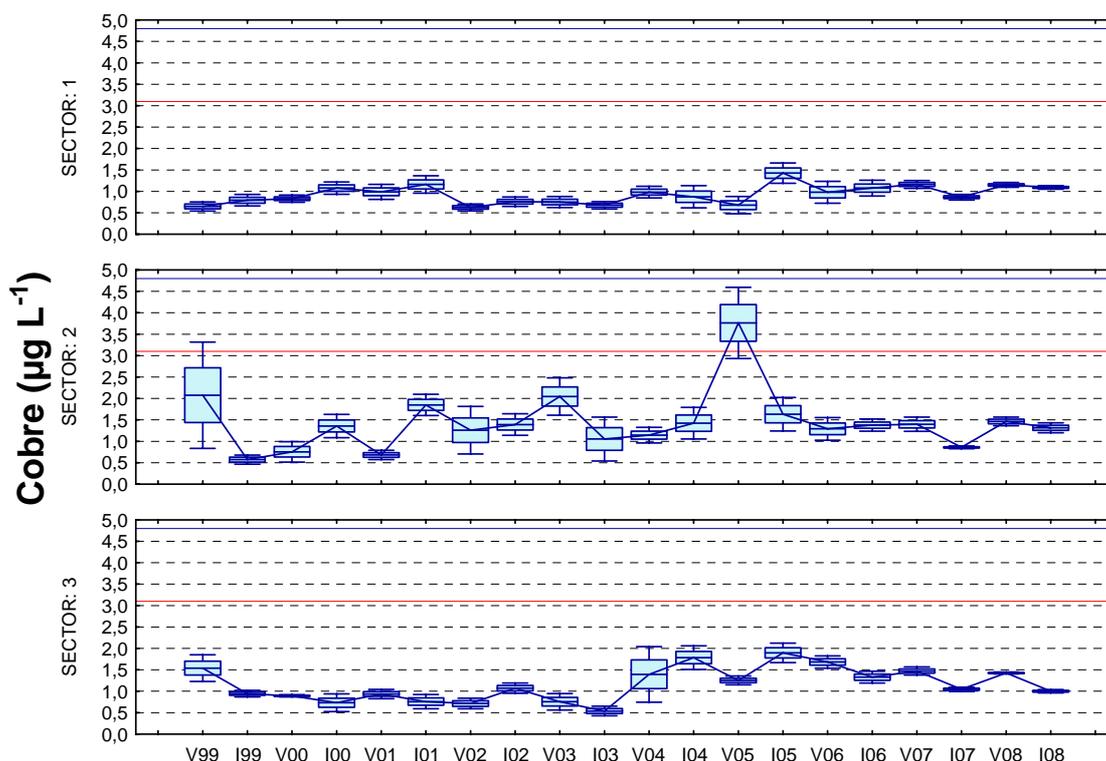


**Figura 26.** Distribución espacial y temporal (estacional) de la concentración de cobre ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) en agua de mar de Bahía Caldera durante los períodos estival e invernal de 2008.

**Tabla 7.** Concentración promedio ( $\pm$  desviación estándar) del cobre ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) en agua de mar de Bahía Caldera determinada por estación de muestreo para el verano e invierno de 2008.

Estación	Verano 2008	Invierno 2008
C-01	1,248 $\pm$ 0,131	1,085 $\pm$ 0,079
C-02	1,006 $\pm$ 0,049	1,203 $\pm$ 0,046
C-03	1,108 $\pm$ 0,084	1,098 $\pm$ 0,030
C-04	1,123 $\pm$ 0,047	0,979 $\pm$ 0,029
C-13	1,257 $\pm$ 0,032	1,110 $\pm$ 0,069
C-08	1,357 $\pm$ 0,047	1,317 $\pm$ 0,191
C-09	1,573 $\pm$ 0,061	1,317 $\pm$ 0,127
C-10	1,427 $\pm$ 0,021	1,001 $\pm$ 0,034

La **Figura 27** muestra la distribución espacio-temporal de las concentraciones de cobre en agua de mar para el periodo 1999-2008 en los tres sectores evaluados al interior de Bahía Caldera. En general las concentraciones de cobre en el sector del fondo de saco fueron superiores a las detectadas en el sector marino cercano a Puerto Padrones y en la parte sector oriental de la bahía, sin embargo a partir del verano de 2004, el sector sur-oriental de la bahía ha presentado concentraciones similar al del sector de fondo. Por su parte, el sector de Punta Padrones ha presentado valores en torno a  $1 \mu\text{g L}^{-1}$  durante toda la serie histórica, situación que se mantuvo durante la ejecución de las campañas de 2008.



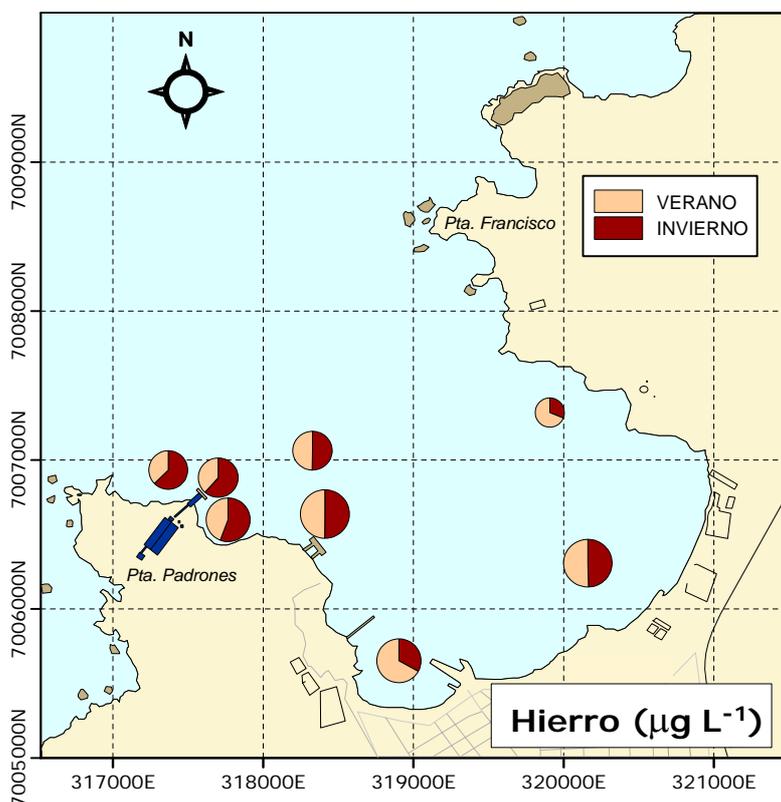
**Figura 27.** Serie de tiempo de la concentración de cobre ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) en agua de mar de Bahía Caldera. a) sector Puerto Padrones, b) fondo de saco de la bahía y c) sector oriental de la bahía. Se destaca el promedio, el error estándar (caja) y la desviación estándar (barras) para cada período estacional en el período 1999-2008. La línea segmentada representa el Criterio de Concentración Continua para cobre en agua de mar ( $3,1 \mu\text{g L}^{-1}$ ; EPA, 1999). No se incluye en Criterio de Concentración Máxima ( $4,8 \mu\text{g L}^{-1}$ ; EPA, 1999) por encontrarse fuera del rango de valores utilizado en el gráfico.

## b. Hierro

La distribución de la concentración de hierro al interior de bahía Caldera no evidenció diferencias temporales significativas entre las campañas realizadas en 2008; de manera similar tampoco mostró diferencias entre las diferentes estaciones de muestreo.

Durante el período estival 2008 se registró una concentración promedio de hierro para la bahía de  $6,85 \pm 2,32 \mu\text{g L}^{-1}$ , fluctuando entre los  $4,76 \pm 0,51$  (estación C-02) y los  $10,27 \pm 0,12 \mu\text{g L}^{-1}$  (estación C-13) (**Figura 28, Tabla 8**).

De manera similar, las concentraciones de hierro determinadas durante la campaña invernal de 2008 reportaron valores a los informados en la campaña estival, verificando una concentración promedio de  $6,65 \pm 1,39 \mu\text{g L}^{-1}$  y un rango de variación que fluctuó entre los  $4,89 \pm 0,21 \mu\text{g L}^{-1}$  (estación C-09) y los  $8,19 \pm 0,57 \mu\text{g L}^{-1}$  (estación C-01) (**Figura 28, Tabla 8**).



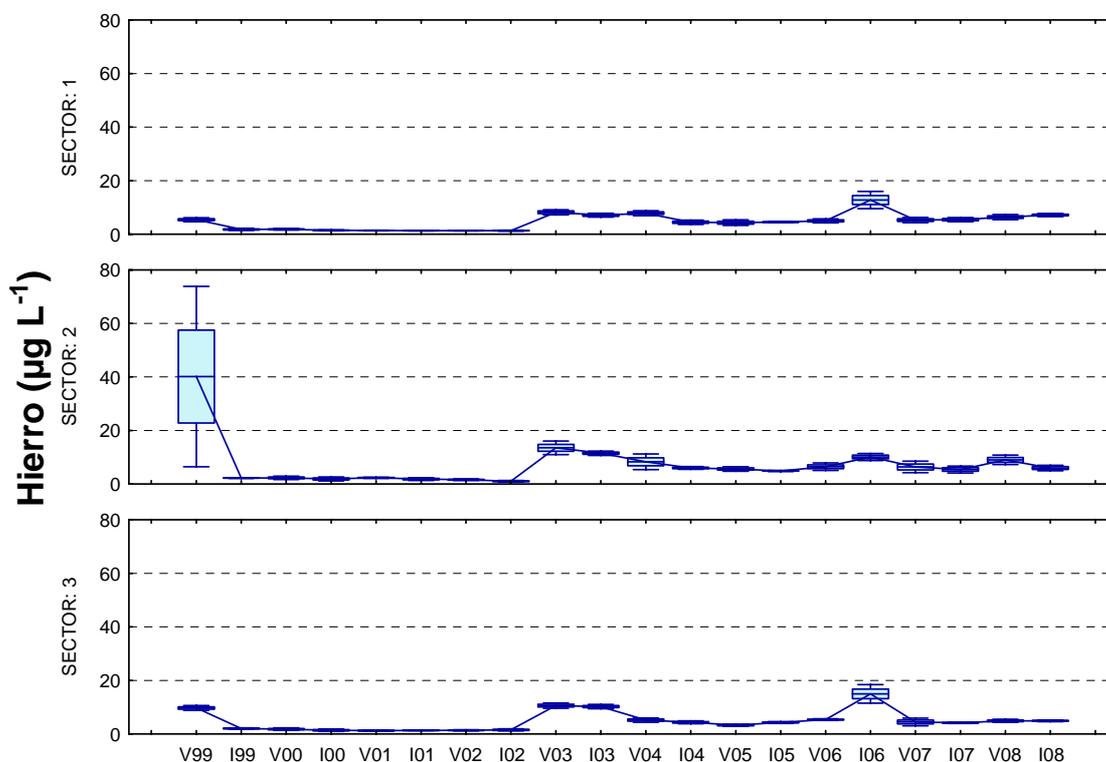
**Figura 28.** Distribución espacial y temporal (estacional) de la concentración de hierro ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) en agua de mar de Bahía Caldera durante los períodos estival e invernal de 2008.

**Tabla 8.** Concentración promedio ( $\pm$  desviación estándar) del hierro ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) en agua de mar de Bahía Caldera determinada en el verano e invierno de 2008.

<b>Estación</b>	<b>Verano 2008</b>	<b>Invierno 2008</b>
C-01	4,89 $\pm$ 0,88	8,185 $\pm$ 0,571
C-02	4,76 $\pm$ 0,51	7,640 $\pm$ 0,757
C-03	6,23 $\pm$ 0,46	7,870 $\pm$ 0,309
C-04	6,44 $\pm$ 0,27	6,503 $\pm$ 0,506
C-13	10,27 $\pm$ 0,12	5,070 $\pm$ 0,075
C-08	7,27 $\pm$ 0,215	7,140 $\pm$ 0,511
C-09	10,84 $\pm$ 1,70	4,893 $\pm$ 0,208
C-10	4,92 $\pm$ 0,49	4,937 $\pm$ 0,276

La **Figura 29** muestra la distribución espacio-temporal de las concentraciones de hierro en agua de mar para el período comprendido entre 1999 y 2008, para los tres sectores evaluados al interior de Bahía Caldera.

Las concentraciones más altas fueron registradas al inicio de serie, estos es durante el verano de 1999. A partir del invierno de 1999 y hasta el invierno de 2002 el hierro presentó concentraciones muy bajas y un comportamiento prácticamente estacionario. Durante el verano de 2003 se advierte un marcado aumento en la concentración de hierro en todos los sectores evaluados, a partir del cual se verificó una tendencia relativamente estable hasta las campañas actuales (2008), con un evento único ocurrido durante el invierno de 2006, donde se verificó un aumento en las concentraciones.



**Figura 29.** Serie de tiempo de la concentración de hierro ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) en agua de mar de Bahía Caldera. a) sector Puerto Padrones, b) fondo de saco de la bahía y c) sector oriental de la bahía. Se destaca el promedio, el error estándar (caja) y la desviación estándar (barras) para cada período estacional en el período 1999-2008.

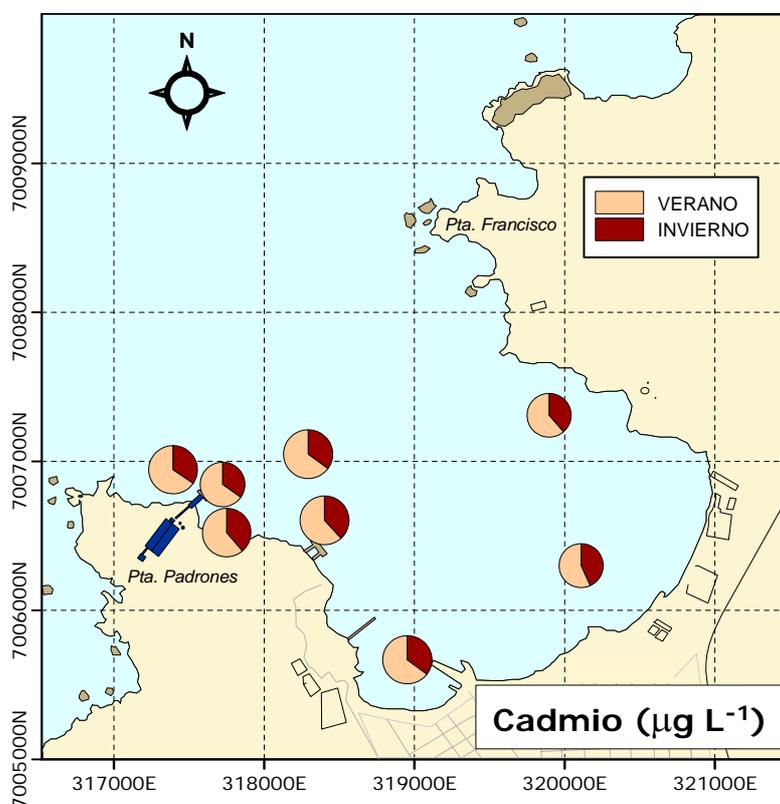
### c. Cadmio

El contenido de cadmio en el agua de mar al interior de Bahía Caldera evidenció diferencias significativas tanto en el ámbito temporal (verano-invierno), como en espacial, esto es entre las estaciones de muestreo.

Durante la campaña estival de 2008 la concentración de cadmio promedio fue de  $0,056 \pm 0,005 \mu\text{g L}^{-1}$ . Las máximas concentraciones estuvieron asociadas a las estaciones C-01 y C-04, ambas con una concentración de  $0,061$  y  $0,060 \mu\text{g L}^{-1}$ , respectivamente. El resto de las estaciones se distribuyó en un rango de variación entre los  $0,048 \pm 0,002 \mu\text{g L}^{-1}$  y los  $0,059 \pm 0,03 \mu\text{g L}^{-1}$  (**Figura 30, Tabla 8**).

Las concentraciones informadas para el período invernal fueron inferiores a las de la campaña de verano, con un valor promedio para el área de estudio de  $0,033 \pm 0,003 \mu\text{g L}^{-1}$ . Las concentraciones no presentaron un patrón de distribución definido y revelaron valores entre  $0,030 \pm 0,002 \mu\text{g L}^{-1}$  y  $0,036 \pm 0,001 \mu\text{g L}^{-1}$  (**Figura 30, Tabla 8**).

En todas las estaciones de muestreo, tanto las evaluadas en el verano como en el invierno de 2008, las concentraciones de cadmio en el agua de mar se encontraron dentro de los rangos considerados como naturales ( $0,07-0,1 \mu\text{g L}^{-1}$ ; Furness & Rainbow, 1990); estando además muy por debajo de los criterios de calidad para aguas marinas establecidos por la US-EPA, esto es,  $9,3 \mu\text{g L}^{-1}$  (Criterio de Concentración Continua) y  $42 \mu\text{g L}^{-1}$  (Criterio de Concentración Máxima) (USEPA, 2006).

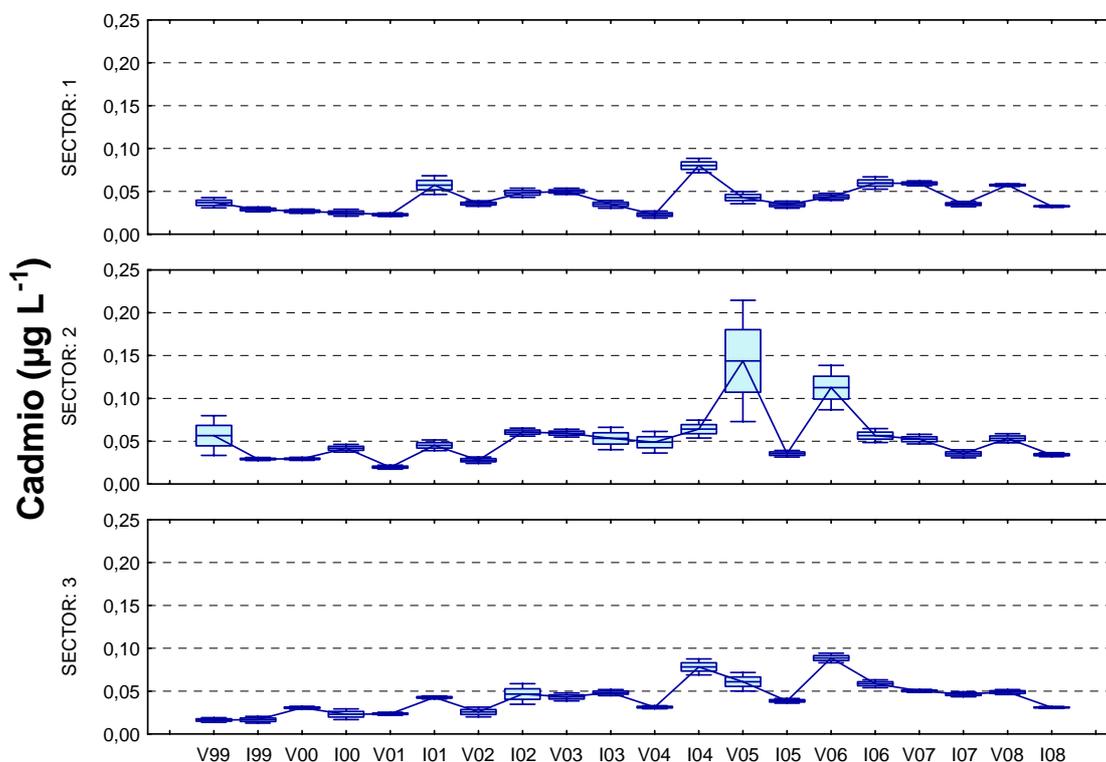


**Figura 30.** Distribución espacial y temporal (estacional) de la concentración de cadmio ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) en agua de mar de Bahía Caldera durante los períodos estival e invernal de 2008.

**Tabla 8.** Concentración promedio ( $\pm$  desviación estándar) del cadmio ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) en agua de mar de Bahía Caldera determinada en el verano e invierno de 2008.

<b>Estación</b>	<b>Verano 2008</b>	<b>Invierno 2008</b>
C-01	0,061 $\pm$ 0,003	0,032 $\pm$ 0,002
C-02	0,056 $\pm$ 0,002	0,030 $\pm$ 0,002
C-03	0,054 $\pm$ 0,001	0,034 $\pm$ 0,002
C-04	0,060 $\pm$ 0,002	0,032 $\pm$ 0,003
C-13	0,056 $\pm$ 0,003	0,035 $\pm$ 0,002
C-08	0,059 $\pm$ 0,003	0,032 $\pm$ 0,003
C-09	0,048 $\pm$ 0,002	0,036 $\pm$ 0,001
C-10	0,049 $\pm$ 0,003	0,031 $\pm$ 0,002

La **Figura 31** muestra la distribución temporal de las concentraciones de cadmio en agua de mar para Bahía Caldera durante las campañas estacionales realizadas en el período 1999-2008. Se observa una tendencia estable, sin variaciones temporales significativas entre el verano de 1999 y el verano de 2004, donde tampoco se verificaron diferencias entre los distintos sectores evaluados. Durante el invierno de 2004 se observó un aumento en las concentraciones a partir de lo cual se verifica una disminución en las concentraciones durante ambas campañas de 2005 tanto en el sector de Punta Padrones como en el sector oriental. El sector de fondo de saco, sin embargo, verificó un notorio incremento presentando valores mayores a todas las campañas anteriores, situación que se verificó también en la campaña estival de 2006. A partir de entonces, los sectores de fondo de saco y oriental de la bahía han manifestado un progresivo descenso en las concentraciones, situación que se extendió durante las campañas de 2008.



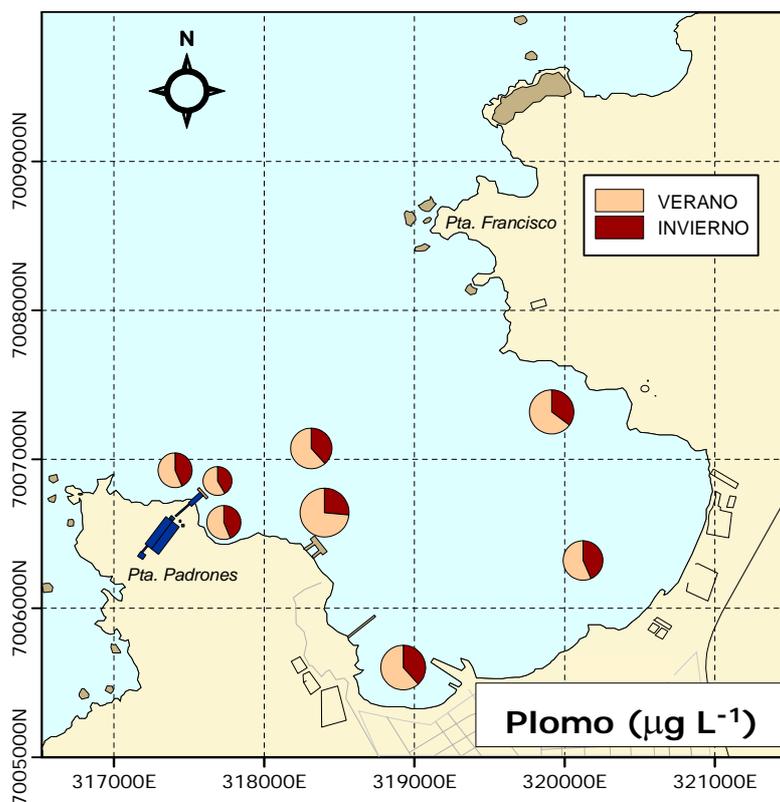
**Figura 31.** Serie de tiempo de la concentración de cadmio ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) en agua de mar de Bahía Caldera. a) sector Puerto Padrones, b) fondo de saco de la bahía y c) sector oriental de la bahía. Se destaca el promedio, el error estándar (caja) y la desviación estándar (barras) para cada período estacional en el período 1999-2008. No se incluyen los criterios de concentración continua ( $9,3 \mu\text{g L}^{-1}$ ) ni de concentración máxima ( $42 \mu\text{g L}^{-1}$ ) para cadmio en agua de mar (EPA, 1999) por encontrarse fuera del rango de valores utilizado en el gráfico.

#### d. Plomo

La distribución de plomo en el agua de mar de Bahía Caldera presentó diferencias espaciales y temporales durante las campañas realizadas en 2008, esto es entre las estaciones de muestreo y los diferentes períodos evaluados (verano-invierno) presentaron diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ).

La concentración promedio de plomo durante el verano de 2008 fue de  $0,047 \pm 0,011 \mu\text{g L}^{-1}$ , presentando un estrecho rango de variación, donde las menores concentraciones estuvieron asociadas a la estación C-01 y C-02 ( $0,038$  y  $0,036 \mu\text{g L}^{-1}$ , respectivamente) y las mayores a la estación C-13 ( $0,071 \pm 0,002 \mu\text{g L}^{-1}$ ) (**Figura 32, Tabla 9**). Durante este período las concentraciones determinadas se encontraron por sobre las concentraciones consideradas naturales ( $< 0,03 \mu\text{g L}^{-1}$ ; Furness & Rainbow, 1990), sin embargo, estos valores fueron muy inferiores a los criterios de concentración continua y de concentración máxima propuestos por la US-EPA para el agua de mar, esto es, de  $8,1 \mu\text{g L}^{-1}$  y  $210 \mu\text{g L}^{-1}$ , respectivamente (USEPA, 2006).

Durante el invierno de 2008 se reportó un marcado descenso en las concentraciones promedio de plomo respecto de las concentraciones verificadas en el verano de 2008, estableciéndose una concentración promedio de  $0,029 \pm 0,003$ , con un rango de variación entre  $0,025 \pm 0,001$  (C-01) y  $0,033 \mu\text{g L}^{-1}$  (C-08 y C-09), no verificándose tendencias en su distribución espacial (**Figura 32, Tabla 9**). Durante esta campaña sólo las estaciones C-03, C-08 y C-09 sobrepasaron el límite de las concentraciones naturales de plomo ( $0,03 \mu\text{g L}^{-1}$ ) definido por Furness & Rainbow (1990). Todas las concentraciones medidas durante el período invernal de 2008 se encontraron muy por debajo de los criterios US-EPA para plomo en agua de mar.

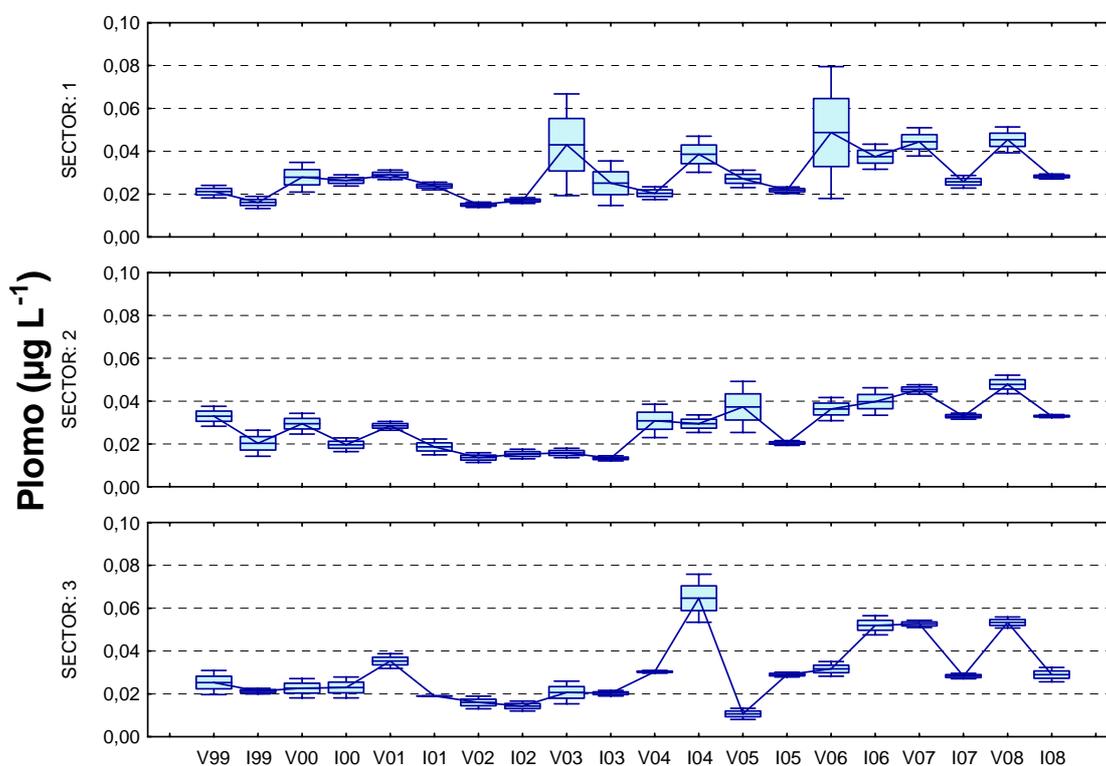


**Figura 32.** Distribución espacial y temporal (estacional) de la concentración de plomo ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) en agua de mar de Bahía Caldera durante los períodos estival e invernal de 2008.

**Tabla 9.** Concentración promedio ( $\pm$  desviación estándar) del plomo ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) en agua de mar de Bahía Caldera determinada en el verano e invierno de 2008.

Estación	Verano 2008	Invierno 2008
C-01	0,038 $\pm$ 0,002	0,029 $\pm$ 0,002
C-02	0,036 $\pm$ 0,002	0,025 $\pm$ 0,001
C-03	0,040 $\pm$ 0,002	0,031 $\pm$ 0,001
C-04	0,047 $\pm$ 0,002	0,029 $\pm$ 0,001
C-13	0,071 $\pm$ 0,002	0,026 $\pm$ 0,001
C-08	0,052 $\pm$ 0,003	0,033 $\pm$ 0,001
C-09	0,043 $\pm$ 0,003	0,033 $\pm$ 0,001
C-10	0,053 $\pm$ 0,002	0,029 $\pm$ 0,003

La **Figura 33** muestra la distribución temporal de las concentraciones de plomo en agua de mar para Bahía Caldera durante las campañas estacionales realizadas en el período 1999-2008. Se observa que la serie de plomo presenta una serie irregular a través de todos los sectores evaluados, verificando una alta variabilidad a través de las diferentes campañas. En el marco del monitoreo de 2008 destaca una marcada estacionalidad verificada durante las campañas realizadas a partir de 2006, en donde se verifica mayores concentraciones asociadas al período estival y menores concentraciones durante el invierno, lo cual es válidos para los tres sectores evaluados.



**Figura 33.** Serie de tiempo de la concentración de plomo ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) en agua de mar de Bahía Caldera. a) sector Puerto Padrones, b) fondo de saco de la bahía y c) sector oriental de la bahía. Se destaca el promedio, el error estándar (caja) y la desviación estándar (barras) para cada período estacional en el período 1999-2008. No se incluyen los criterios de concentración continua ( $8,1 \mu\text{g L}^{-1}$ ) ni de concentración máxima ( $210 \mu\text{g L}^{-1}$ ) para plomo en agua de mar (EPA, 1999) por encontrarse fuera del rango de valores utilizado en el gráfico.

### 3.3. Composición de la fauna bentónica

#### 3.3.1. Sedimentos

El análisis del sedimento obtenido en Bahía Caldera como parte del análisis de la fauna bentónica, no presentó diferencias estacionales de importancia, presentando características similares en ambas campañas de 2008, y evidenciando claras diferencias en los distintos sectores de Bahía Caldera.

Así, el fondo submareal estuvo constituido por sedimentos blandos de tipo arenosos a lo largo de los tres transectos evaluados. El transecto T-I (entre las estaciones C-01 y C-04) presentó sedimentos de mayor tamaño, los que fueron clasificados como arenas de grano grueso, compuesta por una gran cantidad de arenisca y conchilla. Hacia el interior de la bahía, se identificó sedimentos de menor tamaño, estableciendo que los transectos T-II y T-III presentaron arenas finas y muy finas.

#### 3.3.2. Macroalgas

La revisión de las comunidades de macroalgas observadas en los distintos sectores de Bahía Caldera permiten establecer que ambas campañas de monitoreo realizadas durante 2008 presentaron una distribución similar en términos de la especies de microalgas presentes en cada transecto. Es así como el transecto T-I estuvo caracterizado por la presencia de algas rojas (Rhodophytas) tales como *Rhodymenia sp*, *Gracilaria sp*, *Chondrus sp* y *Dendrymenia sp*.

Por otra parte, en los transectos T-II y T-III se colectó, además, algunas frondas de algas café (Phaeophytas) tales como *Macrocystis sp*, y de algas verdes (Chlorophyta) de la especie *Ulva sp*.

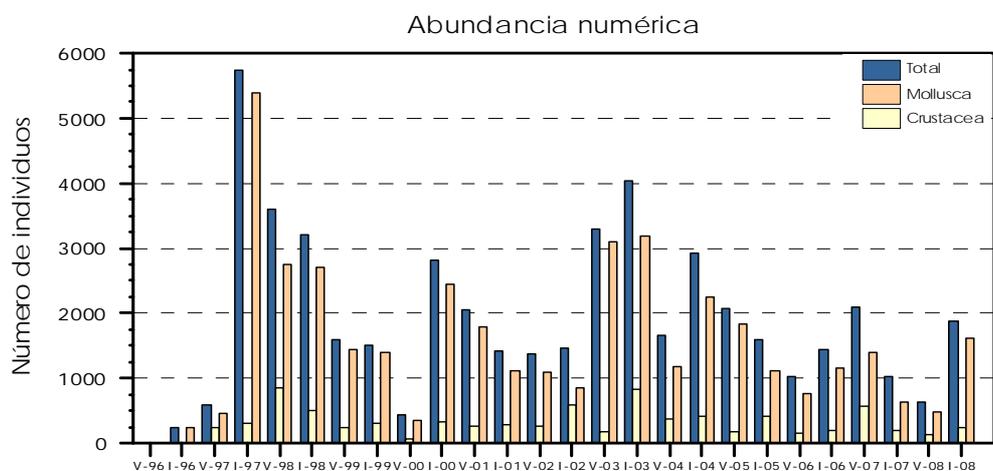
### 3.3.3. Fauna

La comunidad macrobentónica asociada a los fondos blandos de Bahía Caldera durante la campaña estival 2008 estuvo constituida por una total de 43 especies o formas taxonómicas identificadas, en tanto que la abundancia numérica total fue de 643 individuos (**Tabla 10**). Estos índices representan una disminución respecto al registro de la campaña invernal de 2007. Durante el periodo estival de 2008, el grupo taxonómico mayormente representado correspondió a Mollusca, con un 46,5% del total de los organismos identificados (**Figura 34**). Posteriormente, el grupo Crustacea representó casi el 32,6% y Echinodermata el 14% del total. Durante esta campaña, las proporciones para cada uno de los grupos se han mantenido a través de las diferentes campañas.

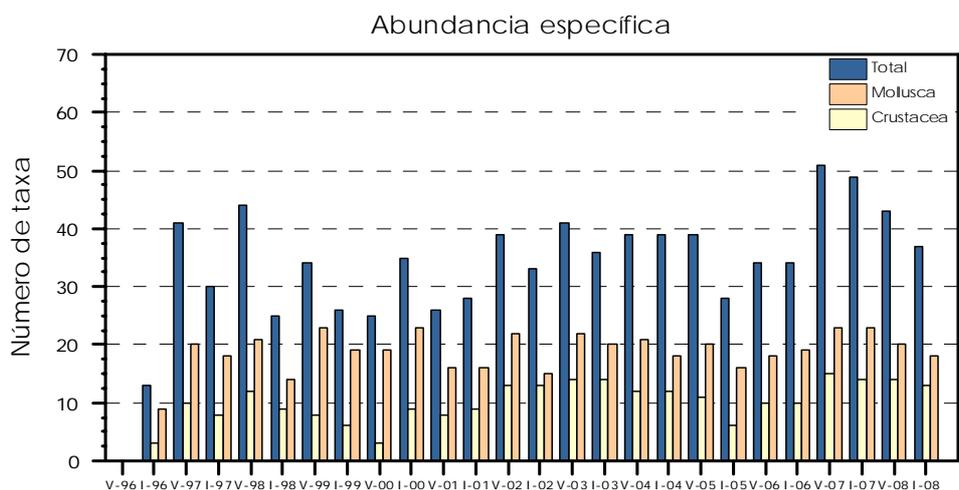
Durante el invierno de 2008, se identificó un total de 37 especies, las cuales pertenecieron a 8 grupos taxonómicos mayores (Mollusca, Crustacea., Echinoderata, Polychaeta. Porifera, Nemertinea, Anthozoa y Priapulida), donde el grupo Mollusca, y al igual de lo registrado históricamente, fue el grupo más representado, concentrando casi el 48,7% del total de los individuos identificados. Este grupo ha dominado la composición de la comunidad en todas las campañas, seguido de los crustáceos que en esta oportunidad significaron el 35,1%. Durante esta campaña destaca la baja presencia de especies del grupo Echinodermata, del cual sólo se colectó una especie con un par de ejemplares y considerando que en la mayoría de los muestreos este grupo ha contribuido con un mayor número de taxa.

**Tabla 10.** Composición de la fauna de Bahía Caldera durante las campañas de monitoreo de 2008. S: numero de especies por taxa, N: abundancia numérica y sus respectivos porcentajes.

TAXA	Período estival				Período invernal			
	S	%	N	%	S	%	N	%
Mollusca	20	46,51	474	73,72	18	48,65	1.621	86,27
Crustácea	14	32,56	128	19,91	13	35,14	234	12,45
Echinodermata	6	13,95	33	5,13	1	2,70	2	0,11
Polychaeta	2	4,65	6	0,93				
Otras	1	2,33	2	0,31	5	13,51	22	1,17
Total	43	100	643	100	49	100	1.022	100



**Figura 34.** Análisis histórico de la abundancia numérica para el período 1996-2008 (incluyendo campañas estivales e invernales) en Bahía Caldera.



**Figura 35.** Análisis histórico de la abundancia específica para el período 1996-2008 (incluyendo campañas estivales e invernales) en Bahía Caldera.

La abundancia y densidad de la fauna en los 3 transectos evaluados en ambas campañas de monitoreo se presenta en la **Tabla 11**.

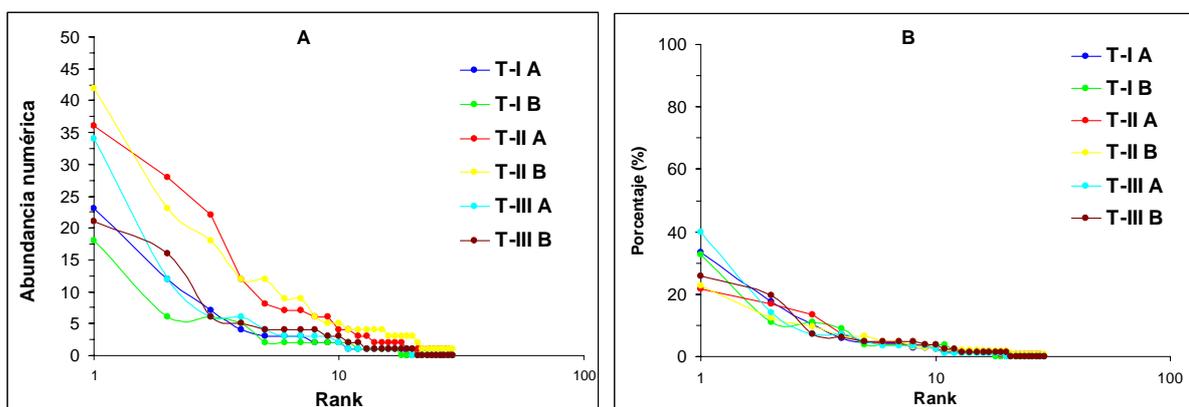
Durante la campaña estival de 2008 las mayores abundancia fueron establecidas en los dos lances correspondientes al transecto T-II ubicado en el fondo del saco de la bahía (**Tabla 11**). Este sector presentó una densidad promedio entre los dos lances de 0,55 ind/m<sup>2</sup>. Los otros dos transectos tuvieron densidades menores y similares entre ellas, con promedios cercanas a los 0,2 ind/m<sup>2</sup>. Las bajas desviaciones estándar indicaron que los dos lances de un mismo transecto no fueron muy diferentes en cuanto a sus densidades. Aún cuando las diferencias entre los tres sectores fueron de baja magnitud, el transecto T-II continúa presentando densidades algo mayores a los otros dos coincidiendo con lo observado en la mayoría de los muestreos anteriores (Figura 3). Todos los transectos han disminuido en forma sostenida sus densidades en el tiempo, alcanzando sus menores valores en la presente campaña.

La abundancia de epifauna en la campaña invernal, observamos claramente que los dos lances correspondientes al Transecto II tuvieron abundancias notoriamente mayores (**Tabla 11**). Estos lances, T-II A y T-II B ubicados en la zona más interna de la bahía, alcanzaron un total de 558 ind. y 904 ind. respectivamente, mientras que los otros transectos presentaron abundancias muy inferiores con valores bajo los 160 ind. El promedio de los dos lances del transecto T-II entregó una densidad cercana a los 2,3 ind/m<sup>2</sup>, mientras que T-I sólo alcanzó a los 0,15 ind/m<sup>2</sup> y T-III a los 0,5 ind/m<sup>2</sup>. En esta oportunidad, la diferencia en las magnitudes de densidad de los tres transectos se acentuó, acercándose a la situación que se registrara hasta antes del invierno del 2005 y luego de que entre mediados del 2005 y hasta el verano del 2008 los tres transectos presentaran densidades bastante similares.

**Tabla 11.** Abundancia y densidad de la fauna en los transectos analizados durante 2008. S (especies/transecto), N° (ejemplares/transecto), Densidad (ejemplares/m<sup>2</sup>).

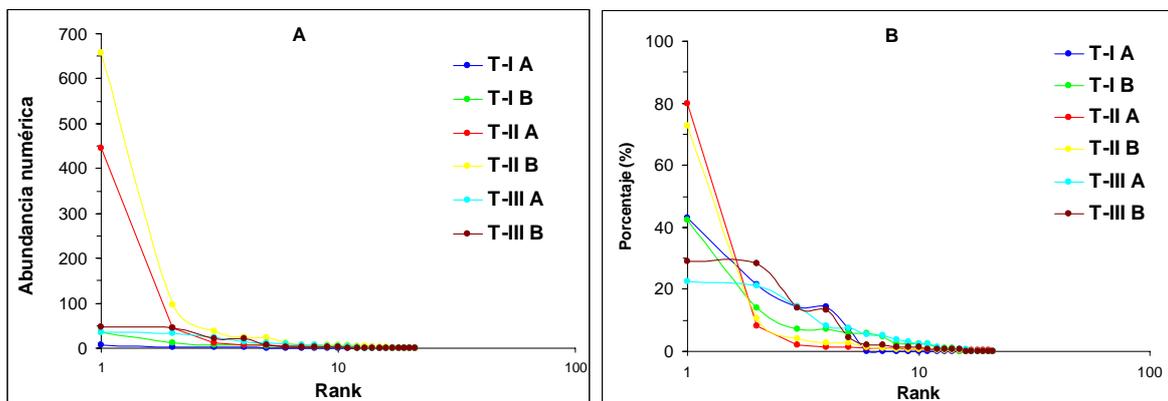
		Período estival			Período invernal		
		S	N°	Densidad	S	N°	Densidad
T-I	A	18	69	0,22	5	14	0,04
	B	17	55	0,17	14	85	0,27
T-II	A	28	166	0,52	20	558	1,74
	B	29	186	0,58	21	904	2,83
T-III	A	19	85	0,27	16	160	0,50
	B	20	82	0,26	15	158	0,49

La **Figura 36** en el gráfico A muestra para cada uno de los seis lances, las curvas de abundancia de las especies presentes ordenadas de mayor a menor número de individuos, y el gráfico B las curvas de dominancia de tipo RSA (Rank Species Abundance) consideradas como un indicador del nivel de perturbación ambiental en directa relación con el grado de dominancia específica. Aún cuando en todos los transectos se observó al menos una especie con mayor abundancia en la comunidad, los niveles de dominancia específica que generaron no fueron altos. Tal como se observa en la figura B, las dominancias fueron inferiores al 40% en todos los casos, valores que a pesar de ser algo mayores a los de la campaña anterior, siguen siendo bajos para este tipo de comunidades bentónicas



**Figura 36.** a) curvas de abundancia de las estaciones presentes, b) Curvas de dominancia (tipo RSA) para la abundancia de las especies de Bahía de Caldera. Enero 2008.

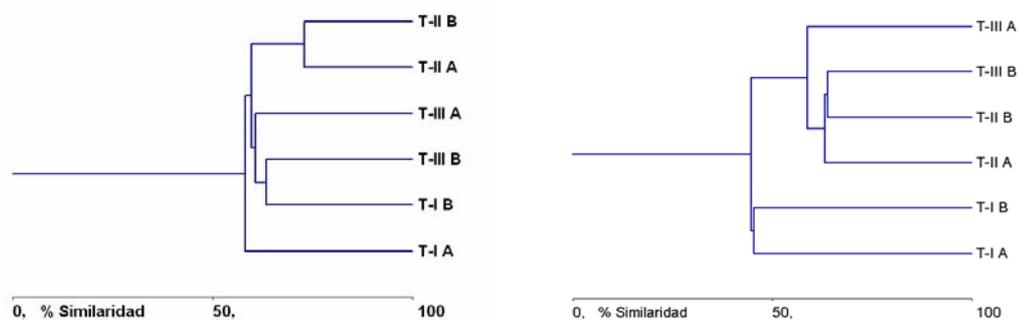
Durante el invierno de 2008, las curvas de abundancia evidencian valores mayores para los dos lances del Transecto II, correspondiendo en ambos casos al gastrópodo *Nassarius sp.* Esta situación determinó en los dos lances un alto nivel de dominancia específica graficado en las curvas RSA indicaron dominancias entre un 70% y 80%. Los otros lances en cambio, tuvieron dominancias de menor magnitud, con valores bajo el 45% en todos los casos y relacionados con la característica de que en estas comunidades varias especies alcanzaron o compartieron las mayores abundancias (**Figura 37**).



**Figura 37.** a) curvas de abundancia de las estaciones presentes, b) Curvas de dominancia (tipo RSA) para la abundancia de las especies de Bahía de Caldera. Agosto 2008.

El dendrograma de clasificación numérica basado en los datos de abundancia de las especies presentes en cada uno de los lances realizados para cada una de las campañas realizadas durante 2008 (**Figura 38**). Durante el verano de 2008 se verificó que los dos lances del transecto T-II se unieron con el mayor nivel de similaridad faunística, cerca de un 70%. Ambas compartieron las mayores abundancias y riquezas de especies del área, junto con la dominancia de los gasterópodos *Nassarius sp.* y *Oliva peruviana*. Los otros lances se unieron entre ellos con niveles de similaridad menores, los que variaron cercanos al 60%-65% de similaridad

Durante el invierno de 2008, el dendrograma diferenció en un grupo con el menor grado de similaridad faunística a los dos lances del Transecto I. Ambos casos tuvieron las menores densidades y riquezas de especies del área junto con bajas dominancias específicas. El resto de los lances de los transectos T-II y T-III formaron prácticamente un solo grupo de similaridad cercana al 65%. Ellos compartieron en general las mismas especies más abundantes, aun cuando los niveles de dominancia fueron claramente mayores en T-II.



**Figura 38.** Dendrograma de análisis de conglomerados, para los transectos T-I, T-II y T-III (y sus réplicas A y B) en Bahía Caldera: (a) período estival y (b) período invernal de 2008.

### 3.4. Composición química del concentrado de cobre embarcado por la Compañía Contractual Minera Candelaria

En la **Tabla 12** se presentan las variaciones en la composición porcentual de los componentes del concentrado de cobre producido por la Compañía Contractual Minera Candelaria, a través de los diferentes períodos de evaluación (1995 a 2008). Los promedios históricos de la caracterización del mineral establecen el predominio de los elementos cobre y hierro (48,7 %), destacando además el azufre con un 32,5%. Por su parte, los promedios históricos del resto de los elementos analizados no superaron individualmente el 1%, a excepción del SiO<sub>2</sub> (4,1%) y el Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+MgO (1,4%).

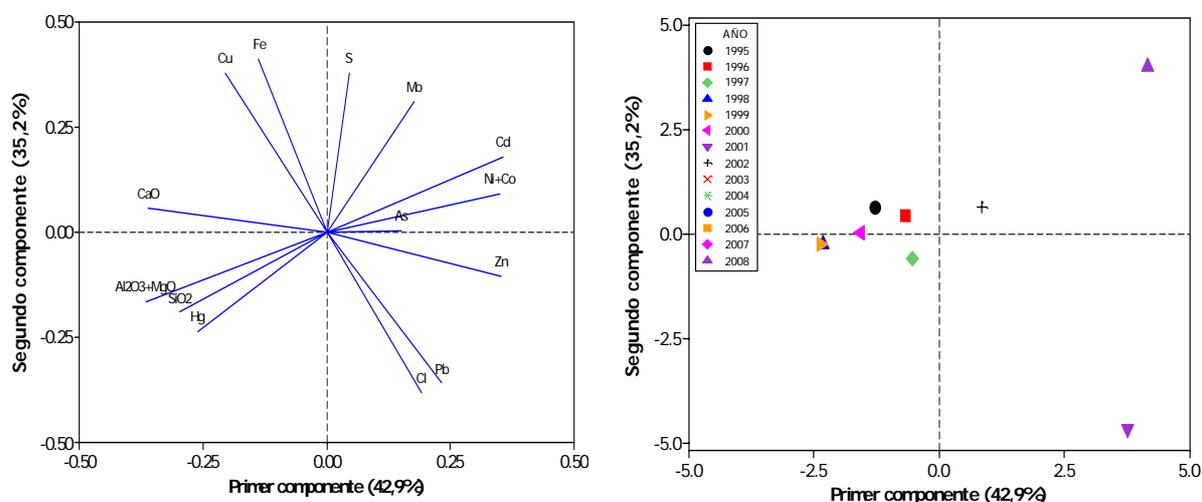
Al analizar la variación porcentual histórica considerando el período 1994 a 2008, es posible identificar que las menores variaciones en las magnitudes se encontraron asociadas a los elementos hierro (2,6 %) y cobre (2,7 %), mientras que los mayores coeficientes de variación se registraron para los parámetros plomo (308,7%) y cloro (116,5%), debido a los comparativamente mayores magnitudes de estos elementos traza durante el año 2001.

El Análisis de Componentes Principales (ACP) realizado sobre la composición histórica del concentrado de cobre, período 1995 a 2008, se caracterizó por explicar entre las dos primeras componentes generadas un 42,9% de la variabilidad total de la información. Correlaciones significativas positivas se detectaron entre los parámetros Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+MgO, CaO, Hg y SiO<sub>2</sub>, entre el Cu y Fe, entre Cl y Pb, y entre Cd y Ni+Co. (**Figura 39**).

La representación bidimensional de los resultados del ACP muestran un grupo conformado por los valores promedios de los años 1995 a 2000 caracterizados por presentar mayores valores de CaO, Hg, SiO<sub>2</sub> y Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+MgO. Se identifica también en esta representación gráfica el año 2001 por presentar mayores magnitudes de Pb y Cl respecto del resto de los años evaluados y el año 2008 se caracterizó por una concentración de Cd y Ni+Co más alta que en otros años (**Figura 39**).

**Tabla 12.** Composición porcentual de elementos presentes en el concentrado de cobre de Minera Candelaria entre los años 1994-2008.

Año	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + MgO	As	CaO	Cd	Cl	Cu	Fe	Hg	Mo	Ni+Co	Pb	S	SiO <sub>2</sub>	Zn
1995	1,664	0,005	0,616	0,001	0,018	30,080	29,075	0,000	0,014	0,011	0,049	31,242	3,818	0,216
1996	1,487	0,007	0,498	0,001	0,010	30,352	28,991	0,000	0,011	0,010	0,055	31,597	3,989	0,269
1997	1,608	0,008	0,487	0,001	0,010	29,687	29,143	0,000	0,010	0,017	0,093	31,614	5,144	0,441
1998	1,684	0,005	0,685	0,001	0,010	29,845	28,838	0,000	0,010	0,011	0,038	32,063	4,883	0,227
1999	1,760	0,006	0,635	0,001	0,010	29,824	28,975	0,000	0,010	0,014	0,026	32,286	5,074	0,177
2000	1,706	0,005	0,611	0,001	0,010	30,080	29,046	0,000	0,010	0,017	0,042	32,429	5,040	0,340
2001	1,412	0,006	0,359	0,002	0,086	27,463	26,964	0,000	0,010	0,022	2,424	30,023	4,041	0,605
2002	1,360	0,006	0,402	0,002	0,010	29,834	28,914	0,000	0,010	0,019	0,025	33,572	4,385	0,504
2003	1,280	0,007	0,416	0,002	0,010	29,853	29,397	0,000	0,010	0,018	0,048		4,349	0,593
2004	1,417	0,001		0,001	0,035	29,360	27,350	0,000	0,010	0,018	0,035	32,163	4,983	0,427
2005	1,153	0,010		0,001	0,015	30,755	28,769	0,000	0,013	0,021	0,016	33,790	3,133	0,297
2006	1,111	0,007		0,001	0,012	30,728	28,875	0,000	0,017	0,021	0,015	32,703	3,604	0,216
2007	0,971	0,006		0,003	0,015	30,663	29,458	0,000	0,013	0,019	0,006	34,396	2,408	0,487
2008	1,088	0,007	0,416	0,004	0,001	30,166	29,635	0,000	0,016	0,030	0,026	34,109	2,885	0,494
<b>Promedio</b>	<b>1,407</b>	<b>0,006</b>	<b>0,512</b>	<b>0,002</b>	<b>0,018</b>	<b>29,906</b>	<b>28,816</b>	<b>0,000</b>	<b>0,012</b>	<b>0,018</b>	<b>0,207</b>	<b>32,461</b>	<b>4,124</b>	<b>0,378</b>
<b>Desv est.</b>	<b>0,258</b>	<b>0,002</b>	<b>0,116</b>	<b>0,001</b>	<b>0,021</b>	<b>0,815</b>	<b>0,749</b>	<b>0,000</b>	<b>0,002</b>	<b>0,005</b>	<b>0,638</b>	<b>1,248</b>	<b>0,880</b>	<b>0,147</b>



**Figura 39.** Análisis de componentes principales (PCA) para la composición de los elementos presentes en el concentrado de cobre embarcado por Minera Candelaria. Período 1995 - 2008.

### 3.5. Análisis de muestras certificadas

La determinación analítica de los elementos traza informados en las campañas de monitoreo durante 2008, se utilizó como control de calidad interna de laboratorio el estándar Cass-4 para las mediciones de cobre, cadmio y plomo, cuyas concentraciones estándar de referencia se presentan en la **Tabla 13**. En el caso del hierro se utilizó el estándar PSAM (patrón secundario de agua de mar).

En el análisis de los metales traza en la matriz agua de mar, las diferencias observadas entre los valores de referencia certificados y los valores informados son bajas indicando que las mediciones reportadas no constituyen una fuente de error significativa en la determinación de las concentraciones de los metales evaluados al interior de Bahía Caldera.

**Tabla 13.** Patrón de referencia Cass-4 y PSAM para metales en agua de mar ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) analizado por Laboratorio de Química, Universidad de Antofagasta.

Metal	Valores de referencia ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	Valores observados Verano 2008 ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	Valores observados Invierno 2008 ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )
Cass-4 Cd	0,026	0,027 $\pm$ 0,001	0,026 $\pm$ 0,001
Cass-4 Cu	0,592	0,579 $\pm$ 0,028	0,613 $\pm$ 0,010
Cass-4 Pb	0,0098	0,0096 $\pm$ 0,0015	0,011 $\pm$ 0,0006
PSAM Fe	5,0	4,845 $\pm$ 0,276	5,015 $\pm$ 0,134

De igual manera, para el análisis de los sedimentos marinos de bahía Caldera durante ambas campañas de 2008 se realizó utilizando el estándar Mess-2 en las determinaciones de todos los metales evaluados, donde las concentraciones de referencia y los valores de análisis para las campañas de invierno y verano se presentan en la **Tabla 14**.

La determinación de los estándares de calidad en sedimentos involucró bajas diferencias entre los valores de referencia certificados y los valores obtenidos analíticamente, estableciendo que las mediciones reportadas no constituyen una fuente de error significativa.

**Tabla 14.** Patrón de referencia Mess-2 para metales en sedimentos ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) analizados por el Laboratorio de Química, Universidad de Antofagasta.

<b>Metal</b>	<b>Valores de referencia (<math>\mu\text{g g}^{-1}</math>)</b>	<b>Valores observados Verano 2008 (<math>\mu\text{g g}^{-1}</math>)</b>	<b>Valores observados Invierno 2008 (<math>\mu\text{g g}^{-1}</math>)</b>
Mess-2 Cd	0,24	0,24	0,24
Mess-2 Cu	39,3	39,50	39,2
Mess-2 Pb	21,9	22,4	21,8
Mess-2 Fe	43.502,7	43.385,2	43.288,1
Mess-2 Zn	172,0	172,9	172,0

## 4. DISCUSIÓN

### 4.1. Metales en sedimentos

Los sedimentos son considerados como un importante indicador ambiental, ya que actúan permanentemente como trampas que colectan el material que se encuentra en la columna de agua (Pardo *et al.*, 1990; Combest, 1991; Schintu *et al.*, 1991; Long, 1992), constituyendo además, el hábitat para una amplia diversidad organismos. Por tal motivo, variadas son las investigaciones que se han desarrollado para evaluar la calidad y el grado de contaminación que presentan los sedimentos, tanto en el medio ambiente marino como continental.

Entre las sustancias que han sido ampliamente evaluadas en los sedimentos y que se han utilizado para establecer categorías de calidad ambiental, se encuentran los metales o elementos traza. Estos elementos pueden ingresar al ambiente a través de diversas vías entre las que destacan la descarga de desechos municipales, descargas industriales directas, escurrimiento y derrames desde sitios con desechos peligrosos y sólidos, escurrimiento agrícola, escurrimiento desde operaciones de la minería, escurrimiento desde sitios de manufactura y almacenamiento industrial, deposición atmosférica, incendios forestales, erupciones volcánicas, etc. (Luoma, 1990; De Gregori *et al.*, 1996). Como los sedimentos constituyen la matriz final para las sustancias que ingresan al ambiente acuático, las concentraciones de los elementos traza en los sedimentos usualmente exceden entre 3 a 5 veces las concentraciones que son descritas en el agua (Ansari *et al.*, 2004). Por tal motivo, la calidad de los sedimentos es particularmente importante debido a que muchos contaminantes tóxicos que sólo se encuentran en niveles traza en el agua de mar, alcanzan niveles elevados en la matriz sedimentaria. Esta situación representa un riesgo potencial para la salud humana, ya que muchos contaminantes tienen la capacidad de bioacumularse a niveles significativos en la trama alimentaria, pudiendo eventualmente ser incorporados al metabolismo humano a través de la ingesta de organismos que habitan fondos sedimentarios contaminados.

Aunque entre los elementos traza se han identificado algunos que son considerados como esenciales para la vida bajo ciertas concentraciones (Fe, Mn, Mg, Co, Zn y Cu), ya que participan en procesos bioquímicos, otros en cambio no poseen alguna función biológica conocida, presentando además un grado de toxicidad variable (Cd, Hg, Cr, Pb y Ag; Ahumada, 1998). Elementos traza como el V, Al, Ni, Cd, Mn, Zn y otros, usualmente son incorporados en estudios de contaminación o de los denominados Línea Base de los ambientes marinos, debido a que generalmente están relacionados con actividades antropogénicas (Srinivasa *et al.*, 2004; Burton *et al.*, 2004; Muñoz *et al.*, 2004).

Si bien se ha descrito que uno de los factores más significativos que influyen los niveles de elementos traza en los sedimentos es el tamaño de las partículas (De Gregori *et al.*,



1996), variados son los factores físicos y químicos que pueden alterar la biodisponibilidad de los elementos traza, destacando entre otros la reactividad del metal, las características mineralógicas de los sedimentos, la presencia de sustancias o complejos que puedan interactuar con los elementos traza, el grado de oxidación del ambiente, el contenido de materia orgánica, etc. (Di Toro *et al.*, 1991; Long *et al.*, 1995; De Gregori *et al.*, 1996; Ahumada & Vargas, 2005).

Por otro lado, se debe destacar que la sola determinación de las concentraciones de los elementos traza no provee una efectiva estimación del potencial efecto sobre la biota, debiendo contrastarse los resultados obtenidos con magnitudes o niveles que han sido establecidos como guías de calidad (Di Toro *et al.*, 1991; MacDonald, 1993; Long *et al.*, 1995). En este sentido, la Directemar durante el año 2007, a través del Programa de Observación del Ambiente Litoral (POAL), presentó las directrices de calidad para sedimentos nacionales, los cuales se basan a su vez en las directrices propuestas por Canadá considerando el nivel de un efecto probable (PEL); sin embargo, los valores propuestos son solamente referenciales y no constituyen una herramienta regulatoria de carácter obligatorio o impositivo (Directemar, 2007).

En general, las guías de calidad para sedimentos marinos se basan en una compilación de resultados obtenidos en distintos ensayos toxicológicos realizados con diversos organismos, encontrándose entre los índices toxicológicos de calidad más utilizados a nivel internacional el TEL/PEL y ERL/ERM (MacDonald *et al.*, 1996; Long *et al.*, 1998; Annicchiarico *et al.*, 2007). Los índices ERLs y TELs indican la concentración más baja sobre la cual existe una probabilidad de observar un efecto tóxico sobre los organismos, mientras que los índices ERM y PELs se relacionan con rangos medios que son magnitudes mayores que las especificadas por los ERLs y TELs, sobre las cuales es más probable o frecuente observar un efecto adverso sobre los organismos (Long *et al.*, 1998).

#### 4.1.1. Cobre

Este elemento traza es considerado esencial para la vida aunque puede ser tóxico para la biota acuática en concentraciones elevadas (Canadian Council of Ministers of the Environment, 1999a). Posee una alta afinidad por el material particulado, principalmente con las fracciones que contienen hierro, óxidos de manganeso y materia orgánica, por lo que presenta una tendencia a acumularse en los sedimentos (Campbell & Tessier, 1996). En este contexto, el Programa de Monitoreo Marino de Minera Candelaria evalúa el cobre en sedimentos sublitorales desde el año 1989 a la fecha, formando parte integral de las variables que son evaluadas semestralmente en los sedimentos marinos de Bahía Caldera.

Durante el año 2008, las concentraciones promedios de cobre por campaña fueron de  $79,43 \pm 73,0 \mu\text{g g}^{-1}$  (estival) y de  $68,85 \pm 85,4 \mu\text{g g}^{-1}$  (invernal). En ambas campañas, se observó el patrón de distribución histórico que ha sido reportado para el cobre al interior de Bahía

Caldera, el cual se caracteriza por presentar las mayores concentraciones en las estaciones C-08 y C-09, las cuales están emplazadas hacia el fondo de saco de la bahía. Por su parte, al considerar las estaciones situadas en torno al muelle de carguío de CCMC en Puerto Padrones (estaciones C-01, C-02 y C-03), se observó que en ambas campañas las mayores magnitudes en este sector estuvieron asociadas a la estación C-02 la cual está localizada hacia la cabecera del muelle. Sin embargo, los valores de cobre descritos en este punto de muestreo, fueron inferiores a la concentración máxima establecida por el estudio de Evaluación de Impacto Ambiental, considerando como criterio de referencia de calidad ambiental por CCMC para Bahía Caldera ( $150 \mu\text{g g}^{-1}$ ).

Al considerar los criterios de calidad toxicológicos descritos para el cobre en los sedimentos marinos (**Tabla 15**), es posible establecer que las magnitudes promedios por campaña durante el año 2008 no superaron los límites máximos (ERMs y PELs) sobre los cuales es esperable observar algún efecto sobre los organismos. Sin embargo, al considerar los resultados obtenidos para cada una de las estaciones de muestreo por campaña, es posible establecer que en general, salvo las estaciones C-02 (solamente en campaña estival), C-08 y C-09, el área de estudio presentó magnitudes de cobre que se encontraron entre los rangos toxicológicos mínimos y máximos; por tal motivo, no es esperable la existencia de algún estrés por el cobre sobre las comunidades, ya que en este rango de magnitudes los efectos tóxicos son raramente observados (Annicchiarico *et al.*, 2007).

Se debe destacar que aunque las estaciones C-02 (solamente en campaña estival), C-08 y C-09, superaron el límite establecido por el índice PEL (nivel con efecto probable) el cual es utilizado en Canadá como directriz de calidad y como referencial en nuestro país por parte de la Directemar, los resultados detectados son inferiores a los  $270 \mu\text{g g}^{-1}$ , el cual constituye el otro índice toxicológico (ERM: rango de concentración media; Long *et al.*, 1998). Además, se debe destacar la totalidad de los resultados reportados durante el 2008 en los sedimentos marinos de Bahía Caldera, son inferiores a los máximos valores reportados para este mismo sector en el Estudio de Línea Base desarrollado en 1993.

Al contrastar los resultados obtenidos durante el año 2008 con lo reportado para otras zonas de nuestro país, es posible establecer que salvo las estaciones del fondo de saco de la bahía (estaciones C-08 y C-09) y la estación de la cabecera del muelle de CCMC (estación C-02), las magnitudes de cobre descritas se encuentran dentro de los rangos que se han reportado para otras zonas como Bahía Mejillones (Valdés *et al.*, 2005) y Bahía San Vicente (Ahumada & Vargas, 2005); y aunque las estaciones anteriormente mencionadas presentaron magnitudes de cobre comparativamente mayores al resto del área de estudio, los valores máximos descritos en Bahía Caldera son inferiores a los resultados presentados en sectores contaminados localizados en Bahía Quinteros, en las cercanías de la localidad de Ventanas, donde se han reportado concentraciones de cobre  $>400 \mu\text{g g}^{-1}$  (De Gregori *et al.*, 1996).



### 4.1.2. Zinc

De manera similar a lo descrito anteriormente para el cobre, el zinc es considerado un elemento traza esencial para la vida, pero puede tener efectos tóxicos para la biota en concentraciones elevadas (Canadian Council of Ministers of the Environment, 1999b). El zinc no se encuentra en forma elemental en el ambiente y frecuentemente está asociado con sulfuros de otros metales, particularmente plomo y cadmio.

Durante el año 2008, la concentración promedio estival fue de  $52,25 \pm 24,60 \mu\text{g g}^{-1}$  mientras que durante la campaña invernal, el área de estudio presentó un promedio de  $37,00 \pm 20,17 \mu\text{g g}^{-1}$ . En ambas campañas, las máximas magnitudes se encontraron asociadas a la estación C-09 localizada en el fondo de saco de la bahía, mientras que de las estaciones cercanas al muelle de Punta Padrones, sólo C-02 presentó durante la campaña estival valores similares a los máximos de C-09. Sin embargo, se debe destacar que la totalidad de los registros obtenidos durante el año 2008, fueron inferiores a los límites toxicológicos de calidad establecidos para este metal (**Tabla 15**); siendo además estos resultados, inferiores a lo descrito para el zinc en el Estudio de Línea Base de Bahía Caldera ( $120,4 \mu\text{g g}^{-1}$ ).

En general, los valores de zinc descritos en el área de estudio, son contrastables a los reportados en otros sectores de nuestro país como en lo descrito en la Bahía Mejillones (Valdés *et al.*, 2005) y el sector sin la influencia directa de las industrias en Bahía San Vicente (Ahumada & Vargas, 2005). En este contexto, es posible establecer que los sedimentos de Bahía Caldera presentan concentraciones de zinc que no constituyen un riesgo toxicológico para los organismos bentónicos.

### 4.1.3. Hierro

El hierro es considerado un componente esencial para la vida, formando parte integral de unidades complejas como proteínas (Ansari *et al.*, 2004), constituye el cuarto elemento más abundante de la Tierra y comprende alrededor del 5% de la corteza terrestre. En los materiales particulados del ambiente acuático, los hidróxidos y óxidos de hierro generalmente se encuentran formando capas sobre minerales y partículas finas. Si el medio circundante es anóxico, predominará la forma de Fe(II), pero en regiones oxigenadas predomina el Fe(III) con precipitación de FeOOH amorfo. Este proceso puede ser modificado por procesos como la bioperturbación o bien por la acción de las olas o el grado de acidez-alkalinidad. El proceso de formación de óxidos de hierro descrito anteriormente constituye un importante factor para la depositación en los sedimentos de otros metales traza como el como Cu, Cd, Cr, Pb, Zn, Co y Ni, ya que constituyen un buen sustrato para la adsorción.

Al considerar los resultados descritos para el hierro en los sedimentos marinos de Bahía Caldera durante el 2008, es posible establecer que al igual que lo descrito anteriormente para el zinc, la estación C-09 localizada en el fondo de saco de la bahía presentó en ambas campañas las mayores magnitudes de hierro. Durante la campaña estival la concentración promedio fue de  $4161,5 \pm 2560,4 \mu\text{g g}^{-1}$ , mientras que durante el invierno el promedio de la campaña fue levemente mayor alcanzando los  $4441,3 \pm 2576,3 \mu\text{g g}^{-1}$ . Debido a la abundancia que tiene este elemento tanto en el medio ambiente como en los distintos organismos, no existe para este metal guías de calidad ambiental a nivel nacional o internacional (**Tabla 15**). Sin embargo, cabe destacar que las magnitudes de hierro descritas durante el año 2008, son similares en promedio a las reportadas durante el año 2007, encontrándose entre los niveles más bajos detectados desde 1999 a la fecha en los sedimentos marinos de Bahía Caldera.

#### 4.1.4. Plomo

A diferencia de lo presentado anteriormente, el plomo es un elemento traza considerado no esencial ya que hasta el momento no se le conocen efectos beneficiosos para la salud (Thompson, 1990). Este elemento se encuentra ampliamente distribuido en el ambiente acuático debido principalmente a la variedad de fuentes antropogénicas, excediendo en un factor de 10 a 15 veces su tasa de movilidad natural (Phillips, 1987). El plomo llega a los sedimentos marinos por asociación a las partículas orgánicas que sedimentan, o por adsorción a óxidos de hierro o manganeso, o bien por precipitación de carbonatos o sulfuros (Eisler, 1988; Prosi, 1989).

Este metal ha sido descrito como un tóxico prioritario para los ambientes acuáticos, describiéndose efectos nocivos desde organismos unicelulares como los protozoos hasta organismos más complejos como peces, crustáceos, bivalvos, mamíferos, etc (Ansari *et al.*, 2004); por tal motivo, es un elemento que ha sido considerado en la elaboración de las guías de calidad para los sedimentos marinos (Long *et al.*, 1998; Canadian Council of Ministers of the Environment, 1999c; Directemar, 2007). Durante el año 2008, los sedimentos marinos de Bahía Caldera se caracterizaron por presentar concentraciones promedios  $<10 \mu\text{g g}^{-1}$ ; a excepción del máximo asociado a la estación C-08 localizada en el fondo de saco de la bahía, donde en ambas campañas presentó magnitudes  $>30 \mu\text{g g}^{-1}$ .

Sin embargo, pese a esta diferencia detectada entre la estación C-08 y el resto de los puntos de muestreo, los niveles de plomo descritos en Bahía Caldera son inferiores a los reportados para el sector más industrializado de Bahía San Vicente, donde producto de la intensa actividad antropogénica se han reportado concentraciones  $>50 \mu\text{g g}^{-1}$  (Ahumada & Vargas, 2005). Además, cabe destacar que los resultados presentados son inferiores a las concentraciones teóricas sobre las cuales se podría esperar algún efecto (ERL y TEL; **Tabla 15**). Al considerar los valores promedios de plomo por estación de muestreo, solamente la estación C-08 localizada en el fondo de saco de la bahía, sobrepasó en ambas

campañas, el límite toxicológico inferior TEL ( $30,24 \mu\text{g g}^{-1}$ ); sin embargo, se debe destacar que la totalidad de los registros de plomo obtenidos durante el año 2008, son inferiores a los límites máximos (ERM y PEL), sobre los cuales es esperable que exista algún efecto tóxico. Por tal motivo, es posible establecer que los niveles de plomo de Bahía Caldera no debiesen presentar niveles de riesgo toxicológicos para las comunidades bentónicas.

#### 4.1.5. Cadmio

El cadmio ha sido considerado como un elemento potencialmente tóxico, particularmente en sus formas soluble y respirable. Se ha sugerido que este elemento es bioconcentrado en las tramas tróficas por lo que existe la posibilidad de contaminación de los sedimentos costeros y en varias especies de invertebrados (Canadian Council of Ministers of the Environment, 1999d), en los cuales puede ser retenido por largos períodos de tiempo; por tal motivo, todos los compuestos de cadmio son potencialmente peligrosos o tóxicos para la salud humana. Como es característico de los elementos traza, el cadmio tienen afinidad con la materia orgánica y los hidróxidos de hierro y manganeso, precipitando además a los sedimentos por los carbonatos y sulfuros (Landrum & Robbins, 1990; Burton, 1992).

Durante el año 2008, las concentraciones promedios de cadmio por campaña fueron de  $0,305 \pm 0,070 \mu\text{g g}^{-1}$  (estival) y de  $0,384 \pm 0,167 \mu\text{g g}^{-1}$  (invernal). En ambas campañas, destacó la estación C-04 la cual presentó las comparativamente mayores magnitudes de cadmio del área de estudio ( $0,465 \mu\text{g g}^{-1}$  campaña estival y  $0,804 \mu\text{g g}^{-1}$  campaña invernal). Sin embargo, la totalidad de los registros obtenidos en Bahía Caldera, son inferiores a los reportados para otros cuerpos semi-cerrados de nuestro país y que presentan además un alto grado de actividad antrópica, como lo es la Bahía San Vicente, donde se han detectado magnitudes de cadmio que oscilan entre los  $1,33$  a  $5,90 \mu\text{g g}^{-1}$  (Ahumada & Vargas, 2005).

Al considerar los criterios de calidad toxicológicos descritos para este metal (**Tabla 15**), es posible establecer que las magnitudes promedios por campaña durante el año 2008 no superaron los límites toxicológicos (ERL/ERM y TEL/PEL). Sin embargo, al considerar los resultados obtenidos para cada una de las estaciones de muestreo por campaña, solamente la estación C-04 durante la campaña invernal superó levemente la mínima concentración sobre la cual podría detectarse algún efecto (TEL); sin embargo, todos los registros obtenidos durante el año 2008 son inferiores a los límites máximos de los criterios toxicológicos, por lo que es posible señalar que es muy poco probable que exista algún efecto de las concentraciones de cadmio de los sedimentos marinos de Bahía Caldera sobre las comunidades bentónicas.

**Tabla 15.** Concentración promedio de los elementos traza en los sedimentos marinos de Bahía Caldera por campaña de muestreo, se indica además los valores de los índices toxicológicos ERL/ERM y TEL/PEL.

Elementos Traza	Estival 2008 ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	Invernal 2008 ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	ERL ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	ERM ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	TEL ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	PEL * ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )
Cobre	79,4	68,9	34,0	270,0	18,7	108,2
Zinc	52,2	37,0	150	410	124	271
Hierro	4161,5	4441,3	---	---	---	---
Plomo	8,6	8,3	46,7	218,0	30,24	112,18
Cadmio	0,31	0,38	1,2	9,6	0,68	4,21

\*: Utilizado por Directemar como directriz de calidad nacional.

## 4.2. Metales en agua de mar

Generalmente, los sectores costeros cercanos a áreas urbanas e industriales son afectados por productos de desechos propios de la actividad, que en muchos casos cambian los patrones naturales de las substancias que tienen tanto fuente natural como antropogénica (Luoma, 1990; Giordano *et al.*, 1992; Frech, 1993). En este contexto, los metales traza provenientes de una fuente natural en los sectores costeros, siguen las mismas vías geoquímicas que los metales trazas provenientes de una fuente antropogénica, mezclando ambas señales, complicando el entendimiento de los patrones de distribución espacial y sus abundancias (Chester & Murphy, 1990; Kudo *et al.*, 1996; Salamanca *et al.*, 2000).

Aunque muchos metales traza son considerados como elementos biológicos esenciales, todos tienen la potencialidad de ser tóxicos para los organismos marinos cuando se encuentran por sobre concentraciones consideradas umbrales. En ambientes costeros, las concentraciones de metales traza son generalmente superiores a las reportadas para aguas oceánicas, existiendo también diferencias notables entre las concentraciones de metales de aguas superficiales y las de fondo, correlacionándose frecuentemente los perfiles con las concentraciones de nutrientes y el material orgánico particulado. En nuestro país, diversas investigaciones realizadas en la zona costera, han demostrado que existe una clara alteración de los aportes naturales, tanto en la zona norte (Castilla, 1983; Olivares & Ruiz, 1991; Salamanca *et al.*, 2000; Ratkevicius *et al.*, 2003; Salamanca *et al.*, 2004; Stauber *et al.*, 2005), como en la zona centro sur (Salamanca *et al.*, 1986; Salamanca & Camaño, 1994; Salamanca, 1996; Ahumada & Vargas, 2005).

Para establecer niveles de concentraciones que se pudiesen relacionar con una determinada calidad ambiental, la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA), elaboró el año 2002, el Instructivo Presidencial para el establecimiento de normas secundarias de calidad ambiental para aguas continentales superficiales y aguas marinas, según el acuerdo N°

210/02, en el cual se establecen para las aguas marinas ciertos niveles de concentración o magnitud que se asocian con una cierta calidad ambiental; al respecto, es posible identificar las siguientes clases: a) clase 1 o de muy buena calidad, b) clase 2 o de buena calidad y , c) clase 3 regular calidad. Al respecto, los resultados obtenidos para las aguas de Bahía Caldera son complementados además por los criterios toxicológicos Criterio de Concentración Continua (CCC) y Criterio de Máxima Concentración (CMC), los cuales han sido propuestos por la U.S. Environmental Protection Agency (EPA), y que tienen relación con la más alta concentración a la cual se puede exponer una población indefinidamente sin presentar efectos nocivos (CCC) y el nivel más alto a la cual se puede exponer una población brevemente, sin presentar efectos nocivos (CMC; USEPA, 2006).

#### 4.2.1. Cobre

Durante el año 2008, las concentraciones de cobre en agua de mar de Bahía Caldera, fluctuaron entre valores promedios de  $1,256 \pm 0,184 \mu\text{g L}^{-1}$  (período estival) y  $1,135 \pm 0,142 \mu\text{g L}^{-1}$  (período invernal). Cabe destacar que de manera similar a lo reseñado anteriormente para los sedimentos marinos, en ambas campañas las mayores concentraciones de cobre se encontraron asociadas a las estaciones C-08 y C-09 las cuales están ubicadas hacia el fondo de saco de la bahía. Al considerar los resultados obtenidos en torno al Puerto Padrones, es posible establecer que en ambas campañas, las estaciones C-01, C-02 y C-03, presentaron magnitudes de cobre que se encuentran dentro los rangos que se han reportado como naturales ( $0,012\text{-}2,3 \mu\text{g L}^{-1}$ ; Furness & Rainbow, 1990).

Al considerar los estándares de calidad nacional e internacionales establecidos para el cobre en agua de mar (**Tabla 16**), es posible observar que en ambas campañas toda el área de estudio presentó concentraciones de cobre inferiores a los  $3,1 \mu\text{g L}^{-1}$ , la cual constituye la máxima concentración a la cual se puede exponer indefinidamente una población sin presentar efectos nocivos (CCC), correspondiendo además a aguas de muy buena calidad o de Clase I según los límites estipulados por la CONAMA. En este sentido, es posible establecer que durante el año 2008, las aguas evaluadas al interior de Bahía Caldera, aunque presentaron una tendencia con mayores magnitudes asociadas hacia el fondo de saco de la bahía, no se detectaron concentraciones de cobre que pudiesen implicar un riesgo para la salud del ecosistema marino.

Estas bajas magnitudes de cobre descritas contrastan con las reportadas para otros sectores de nuestro país que presentan un impacto antropogénico como el sector industrializado de en las cercanías de Caleta Palito donde por más de 60 años se recibió el impacto de las actividades de la mina de cobre El Salvador (Castilla, 1996; Correa *et al.*, 1996), registrándose concentraciones de cobre  $> 20 \mu\text{g L}^{-1}$  respectivamente (Ratkevicius *et al.*, 2003; Stauber *et al.*, 2005).



## 4.2.2. Hierro

Este elemento es muy abundante tanto en el ambiente sedimentario como en la columna de agua y al igual que el cobre, es considerado como un metal traza esencial, y participa en una serie de procesos biológicos al ser parte integral de unidades complejas como las proteínas (Ansari *et al.*, 2004). Por tal motivo, no existe para este elemento guías de calidad ambiental en el ambiente marino, a nivel nacional o internacional (**Tabla 16**).

Durante el período estival, las concentraciones promedios de hierro en las aguas de Bahía Caldera, alcanzaron los  $6,845 \pm 2,324 \mu\text{g L}^{-1}$ , mientras que durante el período invernal se registraron magnitudes levemente inferiores, las que alcanzaron los  $6,645 \pm 1,391 \mu\text{g L}^{-1}$ . Al considerar los resultados por estación de muestreo, es posible establecer que el hierro presenta un comportamiento irregular, sin una tendencia clara definida, con máximos asociados a la estación C-09 en verano y a la estación C-01 en invierno. Sin embargo, este comportamiento irregular presentó durante el año 2008 magnitudes de hierro más bajas a las reportadas en otros sectores de nuestro país donde las magnitudes han oscilado entre  $1,0 \mu\text{g L}^{-1}$ , hasta máximos  $>800 \mu\text{g L}^{-1}$  en Caleta Palito (Ratkevicius *et al.*, 2003; Stauber *et al.*, 2005). Por tal motivo, es posible establecer que los niveles de hierro descritos en las aguas de Bahía Caldera, no presentan un patrón de distribución o niveles que se pudiesen asociar a una alteración antropogénica sobre los rangos de concentración naturales del sector.

## 4.2.3. Plomo

A diferencia del cobre y el hierro, el plomo es un elemento traza considerado tóxico, describiéndose efectos adversos sobre una amplia variedad de organismos (Ansari *et al.*, 2004). En este contexto, el Monitoreo Marino Costero de CCMC en Bahía Caldera ha evaluado las concentraciones de este metal desde 1999 a la fecha. Durante el año 2008, todas las estaciones de muestreo presentaron concentraciones comparativamente mayores durante el período estival, registrándose una concentración promedio de  $0,047 \pm 0,011 \mu\text{g L}^{-1}$ , lo que contrasta con los  $0,029 \pm 0,003 \mu\text{g L}^{-1}$  registrados durante la campaña invernal.

Sin embargo, pese a este contraste estacional, la totalidad de los registros obtenidos para el plomo en Bahía Caldera, son inferiores a los criterios toxicológicos CCC y CMC propuestos por la EPA para este metal (Salamanca *et al.*, 2000 y 2004), correspondiendo además a aguas de Clase 1 o muy buena calidad según el Instructivo de CONAMA (CONAMA, 2002; **Tabla 16**).

Al contrastar los resultados obtenidos con los informados para otras zonas de nuestro país, es posible establecer que en general, los niveles de plomo descrito para Bahía Caldera son contrastables con los niveles de plomo descritos para Bahía San Jorge y sensiblemente menores a los que se han reportado en Bahía Puerto Montt (Alarcón, 2003).



#### 4.2.4. Cadmio

De manera similar a lo reseñado anteriormente para el plomo, el cadmio es considerado un elemento traza no esencial y que puede ser tóxico para la biota sobre ciertas concentraciones (Eisler, 2000). De igual manera, los resultados obtenidos en ambas campañas presentaron un comportamiento estacional, con magnitudes promedios comparativamente mayores durante el período estival ( $0,056 \pm 0,005 \mu\text{g L}^{-1}$ ), mientras que durante la campaña invernal 2008 se registró un promedio de  $0,033 \pm 0,003 \mu\text{g L}^{-1}$ .

Cabe destacar, que aunque durante la campaña estival 2008 se registraron concentraciones de cadmio comparativamente mayores, durante el año 2008, la totalidad de los registros obtenidos para este elemento traza en las aguas de Bahía Caldera, fueron inferiores a los criterios de toxicidad toxicológicos CCC y CMC propuestos por la EPA para este metal, correspondiendo además a aguas de Clase 1 o muy buena calidad, según lo estipulado por el Instructivo de Conama (**Tabla 16**). Además estas bajas concentraciones son similares a los rangos de concentración que se ha determinado para el cadmio en Bahía Puerto Montt (Alarcón, 2003).

**Tabla 16.** Concentración promedio de los elementos traza en los sedimentos marinos de Bahía Caldera por campaña de muestreo, se indica además los valores de los índices toxicológicos CCC/CMC y los estándares de calidad nacional para aguas marinas.

Elementos Traza	Estival 2008 ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	Invernal 2008 ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	CCC/CMC ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	CLASE 1 ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	CLASE 2 ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	CLASE 3 ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )
Cobre	1,26	1,14	3,1 – 4,8	<10	10-50	50
Hierro	6,85	6,65	---	---	---	---
Plomo	0,047	0,029	8,1-210	<3	3-50	50
Cadmio	0,056	0,033	8,8-40	<5	5-10	10

### **4.3. Variables que afectan la distribución de metales**

Una serie de procesos físicos y geoquímicos afectan el transporte, movilidad, solubilidad, partición y biodisponibilidad de los metales en el medio marino. Las propiedades del agua de mar que con mayor probabilidad afectan el comportamiento químico de los metales son la presencia de sales, las altas concentraciones de materia orgánica, el material coloidal, cambios en los potenciales de óxido-reducción, la capacidad tampón del pH y los cambios en las velocidades cinéticas de las reacciones en el tiempo.

#### **4.3.1. Granulometría**

El tamaño del gránulo constituye el factor físico más significativo en la determinación de la distribución y biodisponibilidad de los metales en los sedimentos. En los sistemas acuáticos los metales muestran una alta afinidad por la materia particulada y preferentemente por la fracción de grano fino. Generalmente, a medida que las partículas de sedimento se hacen más pequeñas, el área de superficie aumenta así como también el contenido de carbono orgánico debido a la existencia de sitios adicionales de asociación. También, el hierro y el manganeso están correlacionados positivamente con el menor tamaño del grano y pueden controlar las concentraciones de metales proporcionando una superficie para adsorción vía óxidos de hierro y manganeso (Horowitz & Elrick, 1987).

Los sedimentos al interior de Bahía Caldera han presentado un alto grado de asociación entre el tamaño de grano y en el contenido de metales a través de toda la serie de tiempo evaluada históricamente, expresándose claramente en el caso del cobre, zinc, plomo y hierro. Este patrón ha sido corroborado también durante la ejecución del Programa de Monitoreo de CCMC en 2008, estableciendo una distribución de sedimentos donde las estaciones del fondo de saco de la bahía (C-08 y C-09) aparecen constituidas por partículas más finas y, asociadas a ello, han sido estas estaciones las que siempre han presentado la mayor concentración de metales (a excepción del caso del cadmio). Por el contrario, los sectores de la bahía con sedimentos más gruesos estuvieron asociadas a las estaciones cercanas a Puerto Padrones (estaciones C-01, C-02, C-03, C-04 y C-13), generalmente han presentado menores concentraciones de metales.



### 4.3.2. Variables hidrográficas

Las características hidrográficas en la región Norte de Chile han establecido una marcada variabilidad estacional, la cual establece notorias diferencias en la estructura vertical de la columna de agua entre los períodos de verano e invierno, donde en el período de verano se verifica una columna de agua más cálida, estratificada y con termoclinas bien desarrolladas, mientras que, por el contrario, en invierno se ha descrito una columna verticalmente bien mezclada (Ortiz, 1997). Esta variación estacional del campo hidrográfico vertical, también ha sido descrita para otros cuerpos de agua semicerrados en la región norte del país, *e.g.*, Bahía de Mejillones del Sur (Navea & Miranda, 1980; Rodríguez *et al.*, 1987; 1991; Escribano & Rodríguez, 1999); Bahía de San Jorge (Rodríguez *et al.*, 1987), Punta Coloso (Arcos & Núñez, 1998), Bahía de Coquimbo (Olivares, 1989), Bahía Herradura (Olivares, 1988).

Durante la campaña estival realizada al interior de Bahía Caldera durante el año 2007 se observó aguas menos salinas respecto de otras campañas realizadas durante similar período (verano), pero que en términos del rango térmico presentaron características similares a las verificadas en el promedio histórico. Así, los índices termohalinos para el verano de 2007 fueron 12,44 - 17,98 °C y 34,26 - 34,64 psu. En invierno se identificó que los rangos de temperatura y salinidad se enmarcaron dentro de los rangos observados en la mayoría de las evaluaciones invernales desarrolladas en la bahía.

La distribución de la concentración de oxígeno disuelto durante el período invernal fue marcadamente inferior a lo observado en períodos anteriores, posiblemente influenciado por la presencia de aguas de surgencia (AESS) bajas en oxígeno disuelto, al interior de Bahía Caldera. Durante la campaña estival, por el contrario, se verificó una columna de agua mayormente oxigenada, con valores similares a lo observado en campañas previas. Por su parte, el pH presentó los valores similares a los registrados durante las campañas de 2006, y 2007, describiendo una alta homogeneidad en toda la columna de agua.

La circulación al interior de Bahía Caldera y la alternancia estacional entre periodos marcados por estratificación y mezcla deben ser consideradas al explicar la variabilidad espacial de metales determinados en los sedimentos sublitorales y, en menor grado, en el agua de mar. El patrón de circulación al interior de Bahía Caldera ha sido descrito como un sistema antihorario, donde el ingreso de agua hacia Bahía Caldera ocurre por el sector sector occidental de la bahía (Punta Padrones), mientras que la salida es por el sector oriental (Arcos *et al.*, 1997, Ortiz, 1997).



#### **4.4. Organismos marinos**

Durante el desarrollo del Programa de Monitoreo de CCMC en el año 2008, la distribución de la macroinfauna registrada durante ambas campañas evidenció una disminución en los niveles de abundancia numérica en la campaña estival de 2008 similares a las observadas durante el invierno de 1996 y al verano de 2000. Posteriormente, durante la campaña invernal se observó una recuperación de los niveles de e abundancia, similar a la del verano de 2007.

Durante el año 2008, y de manera similar a lo verificado en campañas realizadas históricamente en Bahía Caldera, el grupo faunístico mayormente representado correspondió a Mollusca, mientras que al evaluar los distintos sectores de la bahía se verifica que en ambas períodos estacionales las mayores abundancias fueron registradas en el Transecto T-II, ubicado en el fondo de saco de la bahía, asociado a sedimentos de pequeño tamaño de gránulo. El transecto T-I, ubicado frente a Punta Padrones y al muelle de la compañía, ha presentado históricamente los niveles más bajos de densidad, situación que se ha mantenido en esta campaña y donde se registran sedimentos con los mayores tamaños de grano.



## 5. CONCLUSIONES

La realización de campañas estacionales verano-invierno, correspondientes al Programa de Monitoreo Marino en Bahía Caldera, que desarrolla la Compañía Contractual Minera Candelaria, ha contribuido fuertemente a mejorar el conocimiento tanto de las variaciones espacio-temporales de la distribución de elementos traza en el agua de mar y sedimentos sublitorales, así como de las fluctuaciones del ambiente hidrográfico y de la fauna bentónica al interior de este cuerpo de agua.

En este contexto, los resultados reportados y analizados en este informe, correspondientes a las campañas de monitoreo estival e invernal de 2008, han permitido concluir lo siguiente:

### Elementos traza en sedimentos

1. La distribución de las concentraciones de cobre en sedimentos sublitorales al interior de Bahía Caldera presentó diferencias espaciales y temporales significativas (entre estaciones de muestreo y entre períodos de monitoreo), debido a las altas concentraciones promedio asociadas a las estaciones situadas en el fondo de saco de la bahía (estaciones C-08 y C-09), y a que las concentraciones determinadas durante el período estival fueron significativamente superiores a las reportadas para el invierno. De las estaciones monitoreadas en torno a las instalaciones de CCMC en Puerto Punta Padrones, las estaciones C-01 y C-03 presentaron concentraciones en el rango y/o son superiores a las consideradas naturales ( $20-30 \mu\text{g g}^{-1}$ ) y al criterio ER-L ( $34 \mu\text{g g}^{-1}$ ) para cobre en sedimentos, mientras que C-02 fue superior a estos índices en los dos períodos estacionales evaluados ( $113,3$  y  $66,8 \mu\text{g g}^{-1}$  para verano e invierno, respectivamente). Sin embargo, las concentraciones medidas fueron inferiores al criterio ER-M ( $270 \mu\text{g g}^{-1}$ ).
2. Durante esta campaña se ratificó una vez más el patrón de distribución histórico para la concentración de cobre descrito para monitoreos anteriores, esto es mayores concentraciones asociadas al fondo de saco de la bahía. La serie histórica ha evidenciado que a partir del invierno de 2005 se ha verificado una disminución de las concentraciones de cobre en sedimentos en el sector de fondo de saco, situación que se mantuvo durante 2008, donde las concentraciones medidas en este sector fueron inferiores al criterio ER-M ( $270 \mu\text{g g}^{-1}$ ). Las estaciones cercanas a Puerto Padrones y la del sector oriental de la bahía han mantenido las concentraciones bajas exhibidas históricamente, sin evidenciar variaciones estacionales, intra-anales ni inter-anales de importancia.



3. La distribuciones de los elementos traza zinc, hierro y plomo presentaron un patrón similar al descrito para el cobre, describiendo mayores concentraciones asociadas con las estaciones ubicadas en el saco de la bahía (estaciones C-08 y C-09), lo cual fue válido para ambas campañas de 2008. El cadmio mantuvo la tendencia histórica para este metal de no verificar un patrón de distribución definido al interior de bahía Caldera, sin evidenciar diferencias entre los tres sectores evaluados.
4. La comparación de las concentraciones determinadas durante el año 2008 con las normas de protección de la vida acuática reveló que: a) las concentraciones de zinc fueron inferiores al criterio ER-L ( $150 \mu\text{g g}^{-1}$ ) y estuvieron en el rango de las concentraciones naturales ( $90-100 \mu\text{g g}^{-1}$ ); b) los valores de plomo en sedimentos estuvieron muy por debajo del criterio ER-L ( $46,7 \mu\text{g g}^{-1}$ ) y de las concentraciones naturales ( $20-30 \mu\text{g g}^{-1}$ ), con la excepción de la estación C-08, que presentó concentraciones superiores a la naturales, pero que no superaron el criterio ER-L durante la campaña de invierno; c) los valores de hierro en sedimentos fueron inferiores a las concentraciones consideradas como naturales de este metal en sedimentos marinos ( $< 21.200 \mu\text{g g}^{-1}$ ) y d) las concentraciones de cadmio se encontraron en el rango de las concentraciones naturales para este metal ( $0,4-0,5 \mu\text{g g}^{-1}$ ), a excepción de la estación C-04 durante la campaña estival, sin embargo, ninguna estación presentó concentraciones superiores al criterio ER-L ( $1,2 \mu\text{g g}^{-1}$ ).

### **Elementos traza en agua de mar**

1. En general, las concentraciones de elementos traza determinados en el agua de mar en las campañas estacionales realizadas en el año 2008, no mostraron ninguna evidencia de alteración en Bahía Caldera debido a que todas las concentraciones se encontraron en el rango o muy por debajo de las concentraciones denominadas naturales, estableciendo concentraciones que se enmarcaron el criterios de Calidad Clase 1 de acuerdo a la Guía de CONAMA, y siendo inferiores a los criterios crónicos de calidad acuática utilizados por la US-EPA.
2. Las concentraciones de cobre en agua de mar evidenciaron la existencia de diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) tanto espaciales como temporales durante las campañas ejecutadas en 2008. Durante el período estival las concentraciones de cobre en agua de mar presentaron un rango de variación que osciló entre los  $1,01$  y los  $1,43 \mu\text{g L}^{-1}$ , mientras que durante el invierno presentaron un rango de variación comparativamente menor, oscilando entre los  $0,98 \mu\text{g L}^{-1}$  y los  $1,32 \mu\text{g L}^{-1}$ , las cuales fueron inferiores a los criterios de la US-EPA ( $3,1$  y  $4,8 \mu\text{g L}^{-1}$ , respectivamente USEPA, 2006).

3. Las concentraciones de hierro en agua de mar no evidenciaron diferencias significativas temporales ni espaciales durante los monitoreos de 2008, presentando un rango de variación estival entre 4,76 y 10,84  $\mu\text{g L}^{-1}$ , en tanto que durante el invierno se verificó un rango entre los 4,89 y 8,18  $\mu\text{g L}^{-1}$ . El plomo en agua de mar presentó diferencias significativas tanto entre las estaciones del año como entre las estaciones de muestreo ( $p < 0,05$ ). Las concentraciones determinadas durante 2008 presentaron concentraciones, en algunos casos superiores a las concentraciones consideradas como naturales ( $< 0,03 \mu\text{g L}^{-1}$ ), pero fueron significativamente menores al criterio US-EPA para aguas marinas y para los criterios de concentración continua y máxima, así como también a los establecidos por CONAMA en la Guía de establecimiento de normas de calidad ambiental. Finalmente, todas las estaciones de muestreo, tanto las evaluadas en el verano como en el invierno de 2008, presentaron concentraciones de cadmio dentro de los rangos considerados como naturales. Además, todas las concentraciones registradas durante el 2008 estuvieron también muy por debajo de los criterios US-EPA y por CONAMA para este metal.

### **Oceanografía y fauna bentónica**

1. Durante el verano se observaron aguas cuyo rango de temperaturas se encontró dentro de las características observadas históricamente al interior de Bahía Caldera, mientras que en términos salinos, el período estival presentó aguas menos salinas que el promedio histórico para el sector. La campaña invernal 2008 definió aguas con características que se encuentran dentro de los valores observados históricamente para las campañas invernales desarrolladas al interior de Bahía Caldera.
2. La distribución de la concentración de oxígeno disuelto durante el verano de 2008 presentó aguas bien oxigenadas en toda la columna de agua, mientras que durante el invierno se verificaron concentraciones marcadamente inferiores a lo observado en períodos anteriores, posiblemente influenciado por la presencia de aguas de surgencia (AESS) bajas en oxígeno disuelto, al interior de Bahía Caldera.
3. Desde el punto de vista de la epifauna marina, durante el verano de 2008 se verificó una marcada disminución en términos de abundancia (similares al invierno de 1996 y al verano de 2000), situación que fue superada durante el período invernal, donde los niveles de abundancia volvieron a rangos históricos. De manera similar a lo verificado en campañas previas, durante las campañas de 2008 el grupo faunístico mayormente representado fue Mollusca, mientras que al evaluar los distintos sectores monitoreados se verifica que en ambas campañas de muestreo de 2008 las mayores abundancias fueron registradas en el Transecto T-II, ubicado en el



fondo de saco de la bahía, asociado a sedimentos de pequeño tamaño de gránulo. El transecto T-I, ubicado frente a Punta Padrones y al muelle de la compañía, ha presentado históricamente los niveles más bajos de densidad, situación que se ha mantenido en esta campaña y donde se registran sedimentos con los mayores tamaños de grano.



## 6. LITERATURA CITADA

- Ahumada, R. 1998. Metales traza en los sedimentos marinos: Una herramienta de gestión ambiental para la zona costera. En: D. Arcos (Ed.), *Minería del cobre, ecología y ambiente costero*. Editorial Aníbal Pinto S.A. Chile, 297-315.
- Ahumada R. & J. Vargas. 2005. Trace metals: inputs, sedimentation and accumulation in San Vicente Bay, Chile. *Environ Monit and Assess.* 100: 11-22.
- Alarcón, A. 2003. Determinación de elementos traza (Cd, Cu, Ni, Pb, Hg y As) en agua de mar y sedimento de la Bahía de Puerto Montt. Tesis de Grado presentada como parte de los requisitos para optar al Título de Químico Farmacéutico. Escuela de Química y Farmacia. Facultad de Ciencias. Universidad Austral de Chile. 84 p.
- American Official Analytical Chemist (AOAC). 1984. Metals and other elements at trace levels in foods. 25:444-445.
- Annicchiarico, C., Biandolino, F., Cardellicchio, N., Di Leo, A., Giandomenico, S. & E. Prato. 2007. Predicting toxicity in marine sediment in Taranto Gulf (Ionian Sea, Southern Italy) using sediment quality guidelines and battery bioassay. *Ecotoxicology.* 16: 239-246.
- Ansari, T., Marr, I. & N. Tariq. 2004. Heavy metals in marine pollution perspective a mini review. *Journal of Applied Sciences.* 4 (1): 1-20.
- Arcos D., J. Ortiz & A. Urrutia. 1997. Variabilidad estacional de las condiciones hidrográficas de Bahía Caldera, III Región - Chile. *Compañía Contractual Minera Candelaria, Bahía Caldera, III Región.* 67 pp.
- Arcos, D. & S. Núñez. 1998. Características oceanográficas del área costera de Punta Coloso. En: *Minería, Ecología y Ambiente Costero: El Caso de Minera Escondida Limitada* (D. Arcos, Ed.).
- Burton, G. 1992. *Sediment Toxicity Assessment*, Lewis Publishers, Chelsea, MI, 457 p.
- Burton, E., Phillips, I. & D. Hawker. 2004. Trace metals nutrients in bottom sediments of the Southport Broadwater, Australia. *Mar. Poll. Bull.* 48: 378-384.
- Campbell, P. & A. Tessier. 1996. Ecotoxicology of metals in aquatic environments: geochemical aspect. In: *Ecotoxicology: A hierarchical treatment*. M.C. Newman & C.H. Jago (Eds). CRC Press. 411 p.

- Canadian Council of Ministers of the Environment. 1999a. Canadian sediment quality guidelines for the protection of aquatic life: copper. In: Canadian Environmental Quality Guidelines, Canadian Council of Ministers of the Environment, Winnipeg.
- Canadian Council of Ministers of the Environment. 1999b. Canadian sediment quality guidelines for the protection of aquatic life: zinc. In: Canadian Environmental Quality Guidelines, Canadian Council of Ministers of the Environment, Winnipeg.
- Canadian Council of Ministers of the Environment. 1999c. Canadian sediment quality guidelines for the protection of aquatic life: lead. In: Canadian Environmental Quality Guidelines, Canadian Council of Ministers of the Environment, Winnipeg.
- Canadian Council of Ministers of the Environment. 1999d. Canadian sediment quality guidelines for the protection of aquatic life: cadmium. In: Canadian Environmental Quality Guidelines, Canadian Council of Ministers of the Environment, Winnipeg.
- Castilla, J. 1983. Environmental impact in sandy beaches of copper minetailings at Chañaral, Chile. *Marine Pollution Bulletin* 14:459-464.
- Castilla, J. 1996. Copper mine tailing disposal in Northern Chile rocky shores: *Enteromorpha compressa* as a sentinel species. *Environmental Monitoring and Assessment* 40: 41-54.
- Chester, R. & K. Murphy. 1990. Metals in the marine atmosphere. In: *Heavy Metals in the Marine Environment*. Furnes, R. & P. Rainbow. (Eds.). CRC Press. Inc New York. 225 p.
- Combest, K.B. 1991. Trace metals in sediments: spatial trends and sorption processes. *Water Resources Bulletin*. 27: 19-28.
- Correa, J., Ramírez, M., Fatigante, F. & J. Castilla. 1996. Copper algae interactions in Northern Chile: The Chañaral case. In: Björk, M., Semesi, A., Pedersen, M., Bergman, B. (Eds), *Current Trends in Marine Botanical Research in the East African Region*. Ord and Vetande, Uppsala, Sweden, 99-129.
- Creclius, E.A., R.G. Riley, N.S. Bloom & B.L. Thomas. 1985. History of contamination of sediment in Commencement Bay, Tacoma, Washington. U.S. Dep. Commer., NOAA Tech Memo. NOS OMA 14, 44p.
- De Gregori, I., Pinochet, H., Arancibia, M. & A. Vidal. 1996. Grain size effect on trace metals distribution in sediments from two coastal areas of Chile. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 57: 163-170.

- Directemar. 2007. Calidad ambiental de los cuerpos marinos y continentales controlados en el marco del Programa de Observación del Ambiente Litoral (POAL). Armada de Chile. Capítulo 1. 15 p.
- Di Toro, D., Zarba, C., Hansen, D., Berry, W., Swartz, R., Cowan, C., Pavlou, S., Allen, H., Thomas, N. & P. Paquin. 1991. Technical basis for establishing sediment quality criteria for nonionic organic chemicals using equilibrium partitioning. *Environmental Toxicology and Chemistry*. 10: 1-43.
- Eisler, R. 1988. Lead hazard to fish, wildlife, and invertebrates: a synoptic review. *Biol. Rep.* 85 p.
- Eisler, R. 2000. *Handbook of Chemical Risk Assessment. Health, Hazard to Humans, Plants and Animals*. Lewis Publishers, Boca Raton, Florida, 650 p.
- Escribano, R. & J.P. Rodríguez. 1999. Efecto de la surgencia de primavera de 1998 en la circulación de Bahía Mejillones del Sur (23°S). *Actas del XIX Congreso de Ciencias del Mar*. 3.7 Mayo de 1999, Antofagasta, Chile, pp: 104.
- Folk, R.L. 1974. *Petrology of sedimentary rocks*. Hemphill Pub. Co. Austin, Texas. 182 pp.
- Folk, R.L. & W. C. Ward 1957. Brazos River bar, a study in the significance of grain size parameters. *Jour. Sed. Petrol.*, 27: 3-26.
- French, P. 1993. Post-industrial pollutant levels in contemporary Svern estuary intertidal sediments compared to pre-industrial levels. *Marine Pollution Bulletin* 26:30-35.
- Furness, I. & H. Rainbow. 1990. *Heavy metals in the environment*. CRC Press, Inc. 256 p.
- Gillain, G & G. Duyckaerts. 1979. Direct and simultaneous determinations of Zn, Cd, Pb, Cu, Sb, and Bi dissolved in sea water by differential pulse anodic stripping voltametry with a hanging mercury drop electrode. *Analytica Chimica Acta* 105:23-37.
- Giordano, P., Musmeci, L., Ciaralli, P., Vernillo, J., Chirico, N., Piccioni & S. Costatini. 1992. Total content and sequential extractions of Hg, Cd and Pb in coastal sediments. *Marine Pollution Bulletin* 24: 350-357.
- Holmes, N.A. & A. D. McIntyre. 1971. *Methods for the study of marine benthos*. Blacwell Scientific Publications, Oxford and Edinburgh. IBP Handbook n° 16. 334 pp.

- Horowitz, A.J. & K.A. Elrick. 1987. The relation of stream sediment surface areas, grain size and composition to trace element chemistry. *Applied Geochemistry* 2:437-451.
- Instituto Nacional de Normalización (INN). 1994a. Nch 411/3, Guía sobre la preservación y manejo de muestras. 34 pp.
- Instituto Nacional de Normalización (INN). 1994b. Nch 411/2, Guía sobre técnicas de muestreo. 15 pp.
- Klapow, L. A. & R. H. Lewis. 1979. Analysis of toxicity data for California marine water quality standards. *J. Water Pollut. Control Fed.* 51:2051-2070.
- Kudo, I., Kokubun, H. & K. Matsunaga. 1996. Cadmium in the southwest Pacific Ocean. Two factors significantly affecting the Cd-PO<sub>4</sub> relationship in the ocean. *Marine Chemistry* 54:55-67.
- Landrum, P. & J. Robbins. 1990. Bioavailability of Sediment-Associated Contaminants to Benthic Invertebrates. Chapter 8. In R. Baudo, J.P Giesy and H. Muntau, eds., *Sediments: Chemistry and Toxicity of In-Place Pollutants*. Lewis Publishers, Inc., Ann Arbor, MI
- Long, E.R. 1992. Ranges in chemical concentrations in sediment associated with adverse biological effects. *Mar. Poll. Bull.* 24: 38-45.
- Long, E., MacDonald, D., Smith, S. & F. Calder. 1995. Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments. *Environmental Management*. Vol 19. N°1: 81-97.
- Long, E., Field, L. & D. MacDonald. 1998. Predicting toxicity in marine sediments with numerical sediment quality guidelines. *Environ. Toxicol. Chem.* 17: 714-727.
- Luoma, S. N. 1990. Processes affecting metal concentrations in estuarine and coastal marine sediments. In: *Heavy metals in the marine environment*. CRC Press, Boca Raton, Florida, Pages 51-66.
- MacDonald, D. 1993. Development of an approach to the assessment of sediment quality in Florida coastal waters. Prepared by MacDonald Environmental Sciences, LTD. Ladysmith, British Columbia. Prepares for Florida Department of Environmental Regulation, Tallahassee, Florida. Vol 1, 128 p. Vol 2, 117 p.

- MacDonald, D., Carr, R., Calder, F., Long, E. & C. Ingersoll. 1996. Development and evaluation of sediment quality guidelines for Florida coastal waters. *Ecotoxicology*. 5: 253-278.
- Matthiessen, P., J. Reed & M. Johnson. 1999. Sources and potential effects of copper and zinc concentrations in the estuarine waters of Essex and Suffolk, United Kingdom. *Mar. Pollut. Bull.* 38:908-920.
- Muñoz, A., Gutiérrez, E., Segovia, J., Delgadillo, F. & G. Sandoval. 2004. Trace metals enrichment in surficial sediments of the northwest coast of Baja California, México. *Mar. Poll. Bull.* 48: 587-603.
- Navea, E & O. Miranda. 1980. Ciclo anual de las condiciones oceanográficas en Mejillones del Sur (Chile). *Revista de Biología Marina, Valparaíso* 17:97-133.
- Olivares J. 1988. Hidrografía de la Bahía de Coquimbo (Chile). Resúmenes de las VIII Jornadas de las Ciencias del Mar. Universidad Católica de Chile, Sede Talcahuano, 84 pp.
- Olivares J. 1989. Aspectos hidrográficos de la Bahía de Coquimbo. *Biología Pesquera* 18: 97-108.
- Olivares, J. & C. Ruiz. 1991. Metales en traza en sedimentos de la IV Región, Coquimbo, Chile. En: *Memorias del Primer Seminario Internacional sobre Investigación y Vigilancia de la Contaminación Marina en el Pacífico Sudeste.*
- Ortiz, J. 1997. Caracterización hidrográfica estacional de Bahía Caldera (27°01'S) III Región, Chile. Seminario de Título. Departamento de Oceanografía, Universidad de Concepción, 74 pp.
- Pardo, R., Barrado, E., Pérez, L. & M. Vega. 1990. Determination and specification of heavy metals in sediments of the Pisuerga River. *Wat. Res.* 24: 373-379.
- Parsons. T.R., Y. Maita & C.M. Lalli. 1984. A manual of chemical and biological methods for seawater analysis. Pergamon Press, 173 pp.
- Phillips, D.J.H. 1987. Toxic contaminants in the San Francisco Bay-Delta and they possible biological effects. Draft Report, San Francisco Bay-Delta Aquatic Habitat Institute, Richmond, CA, 413p.
- Prosi, F. 1989. Factor controlling biological availability and toxic effects of lead in aquatic organism. *Sci. Total Environ.* 79: 157-169.

- Ratkevicius, N., Correa, J. & A. Moenne. 2003. Copper accumulation, synthesis of ascorbate and activation of ascorbate peroxidase in *Enteromorpha compressa* Grev. (Chlorophyta) from heavy metal enriched environments in northern Chile. *Plant. Cell and Environment*. 26: 1599-1608.
- Rodríguez, L., O. Zárate & E. Oyarce. 1987. Producción primaria del fitoplancton y su relación con la temperatura, oxígeno, nutrientes y salinidad en la Bahía de Mejillones del Sur. *Rev. Biol. Mar.*, Valparaíso, 22(1):75-96.
- Rodríguez, L., V. Marín, M. Farías & E. Oyarce. 1991. Identification of an upwelling zone by remote sensing and in situ measurements in Mejillones del Sur bay (Antofagasta-Chile). *Sci. Mar.*, 55(3):467-473.
- Salamanca, M., Chuecas, L. & F. Carrasco. 1986. Heavy metals in surface sediments from three embayments of CentralSouth Chile. *Marine Pollution Bulletin* 17:567-569.
- Salamanca, M. & A. Camaño. 1994. Historia de la contaminación por metales en traza en dos áreas costeras del norte y centro-sur de Chile. *Gayana Oceanológica* 2:31-48.
- Salamanca, M. 1996. Geocronología de sedimentos marinos de la zona de fiordos de la XI Región. Resultados Crucero CIMAR-FIORDO 1. CONA. 64-68.
- Salamanca, M., Camaño, A., Jara, B. & T. Rodríguez. 2000. Cu, Pb and Zn distribution in nearshore water en San Jorge Bay, Northern Chile. *Gayana* 64: 195- 204.
- Salamanca, M., Jara, B. & T. Rodríguez. 2004. Niveles de Cu, Pb y Zn en agua y *Perumytilus purpuratus* en Bahía San Jorge, norte de Chile. *Gayana* 68 (1): 53- 62.
- Schintu, M., Meloni, P., Kudo, A. & A. Contu. 1991. Trace metals in sediments from Albia Bay, Italy. *Mar. Poll. Bull.* 22: 360-362.
- SHOA. 2005. Instrucciones Oceanográficas N° 1: Especificaciones técnicas para mediciones y análisis oceanográficos. 3° Edición. Servicio Hidrográfico. Armada de Chile. 22 págs.
- Srinivasa, M., Basha, S., Sravan, V., Joshi, H. & G. Ramachandraiah. 2004. Distribution enrichment and accumulation of heavy metals in coastal sediments of Alang-Sosiya ship scraping yard India. *Mar. Poll. Bull.* 48: 1955-1959.
- Standard Methods for Examination of Wastewater. 1992. 18<sup>th</sup> Edition. Edited by A. E. Greenberg, L. S. Clescerl and A. D. Eaton.

- Stauber, J., Andrade, S., Ramírez, M., Adams, M. & J. Correa. Copper bioavailability in coastal environment of northern Chile: comparison of bioassay and analytical specification approaches. *Ma. Poll. Bull.* 50: 1363-1372.
- Thompson, D. R. 1990. Metal levels in marine invertebrates In: R. W Furness & P. S. Rainbow (eds.) *Heavy metals in marine environment* C. R. C Press, Boca Raton, Fl. Pp. 143-182.
- USEPA. 2006. National recommended water quality criteria. United States Environmental Protection Agency, EPA 4304T, 24 p.
- Valdés, J., Vargas, G., Sifeddine, A., Ortlieb, L. & M. Guíñez. 2005. Distribution and enrichment evaluation in Mejillones Bay (23°S), northern Chile: geochemical and statistical approach. *Mar. Poll. Bull.* 50: 1558-1568.
- Wentworth, C. K. 1922. A scale grade and class-term for clastic sediments. *Journal of Geology*, 30(5):337-392.
- Zar, J.H. 1984. *Biostatistical analysis*. Second Edition. Prentice Hal, Inc., 717 pp.



## ANEXOS



**Anexo 1.** Límite de detección para muestras de sedimentos en Bahía Caldera, 2008 (H.H.P.N.: High hydraulic pressure nebulization A.A.S: Espectrofotometría Absorción Atómica, AOAC: American Official Association Chemists).

Parámetro	Límite de detección ( $\mu\text{g ml}^{-1}$ )	Método analítico	Fuente
Cadmio	0,096	H.H.N.P.	AOAC (15 Edición, 1990)
Cobre	65,00	H.H.N.P.	AOAC (15 Edición, 1990)
Hierro	0,88	A.A.S.	AOAC (15 Edición, 1990)
Plomo	0,92	A.A.S.	AOAC (15 Edición, 1990)
Zinc	16,30	A.A.S.	AOAC (15 Edición, 1990)

**Anexo 2.** Límite de detección para muestras de agua de mar de Bahía Caldera, 2008 (P.S.A.: Potenciometric stripping analysis, H.H.P.N.: High hydraulic pressure nebulization, S.M.E.W.W.: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater).

Metal	Límite de detección ( $\mu\text{g l}^{-1}$ )	Método analítico	Fuente
Cadmio	0,006	P.S.A.	Gillain & Duyckaerts (1979)
Cobre	0,030	P.S.A.	Gillain & Duyckaerts (1979)
Hierro	0,040	H.H.P.N.	S.M.E.W.W. (18 Edición, 1992)
Plomo	0,006	P.S.A.	Gillain & Duyckaerts (1979)

**Anexo 3.** Granulometría de sedimentos sublitorales de Bahía Caldera durante las campañas estival e invernal de 2008.

Estación	Diámetro medio (mm)		phi		Clasificación granulométrica	
	verano 2008	invierno 2008	verano 2008	invierno 2008	verano 2008	invierno 2008
C-01	1,134	0,914	-0,181	0,129	Arena muy gruesa	Arena gruesa
C-02	0,935	0,965	0,097	0,052	Arena gruesa	Arena gruesa
C-03	0,695	0,537	0,525	0,897	Arena gruesa	Arena gruesa
C-04	0,150	0,140	2,737	2,837	Arena fina	Arena fina
C-13	0,630	0,586	0,667	0,770	Arena gruesa	Arena gruesa
C-08	0,123	0,230	3,023	2,121	Arena fina	Arena fina
C-09	0,116	0,085	3,108	3,556	Arena fina	Arena muy fina
C-10	0,142	0,138	2,816	2,857	Arena fina	Arena fina



**Anexo 4.** Concentraciones promedios  $\pm$  desviación estándar de cobre ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) en sedimentos de Bahía Caldera en la Línea Base de 1993 y entre las campañas de 1999 y 2008 (Se incluye el promedio de Línea Base de Bahía Inglesa). Los signos <, >, = significan valores significativamente mayores, menores ( $p < 0,05$ ) o ausencia de diferencias significativas ( $p > 0,05$ ), respectivamente.

Estación	LB 1993	Verano 1999	Invierno 1999	Verano 2000	Invierno 2000	Verano 2001	Invierno 2001	Verano 2002
BI	11,5 $\pm$ 5,5							
C-01	24,8	21,1 $\pm$ 6,6 >	12,9 $\pm$ 1,2 =	19,5 $\pm$ 8,5 =	20,2 $\pm$ 2,0 =	19,3 $\pm$ 2,3 =	33,4 $\pm$ 16,5 =	22,3 $\pm$ 1,4
C-02	41,9	49,9 $\pm$ 11,2 >	27,0 $\pm$ 3,0 =	27,6 $\pm$ 1,6 =	58,4 $\pm$ 22,3 =	54,8 $\pm$ 9,1 >	33,4 $\pm$ 7,6 <	57,6 $\pm$ 1,9
C-03	28,6 $\pm$ 2,9	21,8 $\pm$ 9,8 =	13,5 $\pm$ 0,4 <	35,0 $\pm$ 16,1 =	26,1 $\pm$ 3,2 =	22,5 $\pm$ 8,9 <	38,6 $\pm$ 11,21 >	15,9 $\pm$ 1,4
C-04	51,9	38,6 $\pm$ 4,2 <	55,6 $\pm$ 6,7 =	56,3 $\pm$ 1,0 >	40,4 $\pm$ 1,3 <	47,8 $\pm$ 2,9 >	32,8 $\pm$ 9,4 =	42,8 $\pm$ 7,4
C-13	145,4 $\pm$ 41,5	55,5 $\pm$ 2,2 <	97,0 $\pm$ 32,2 =	105,4 $\pm$ 1,4 >	36,4 $\pm$ 5,9 <	58,9 $\pm$ 19,7 =	38,5 $\pm$ 10,2 >	25,1 $\pm$ 0,5
C-08	664,3 $\pm$ 93,0	321,5 $\pm$ 66,1 >	190,5 $\pm$ 12,7 >	138,2 $\pm$ 21,4 <	398,6 $\pm$ 31,5 =	375,0 $\pm$ 120,4 >	110,3 $\pm$ 15,3 <	217,2 $\pm$ 31,5
C-09	65,2	352,6 $\pm$ 126,0 =	318,0 $\pm$ 35,2 >	256,0 $\pm$ 12,9 =	222,8 $\pm$ 69,1 =	305,3 $\pm$ 120,3 >	127,8 $\pm$ 22,8 =	139,4 $\pm$ 37,0
C-10	31,1 $\pm$ 1,8	13,4 $\pm$ 4,4 =	15,6 $\pm$ 3,1 <	23,2 $\pm$ 1,0 =	16,7 $\pm$ 2,6 =	15,1 $\pm$ 8,9 <	30,9 $\pm$ 4,6 >	12,9 $\pm$ 0,4

Estación	Verano 2002	Invierno 2002	Verano 2003	Invierno 2003	Verano 2004	Invierno 2004	Verano 2005
BI							
C-01	22,3 $\pm$ 1,4 >	18,0 $\pm$ 1,1 =	18,0 $\pm$ 2,2 >	13,3 $\pm$ 3,0 =	14,9 $\pm$ 2,1 <	29,1 $\pm$ 13,2 >	8,8 $\pm$ 2,6
C-02	57,6 $\pm$ 1,9 >	32,0 $\pm$ 8,1 <	47,7 $\pm$ 4,3 >	17,1 $\pm$ 1,8 <	34,6 $\pm$ 14,3 =	79,7 $\pm$ 19,6 >	13,6 $\pm$ 4,7
C-03	15,9 $\pm$ 1,4 <	31,0 $\pm$ 3,4 <	48,3 $\pm$ 9,6 >	16,4 $\pm$ 3,1 =	17,5 $\pm$ 2,1 <	26,4 $\pm$ 2,7 >	10,4 $\pm$ 1,5
C-04	42,8 $\pm$ 7,4 =	44,4 $\pm$ 5,1 <	54,2 $\pm$ 1,6 >	43,6 $\pm$ 3,4 >	31,6 $\pm$ 1,2 <	63,1 $\pm$ 2,1 >	15,5 $\pm$ 4,7
C-13	25,1 $\pm$ 0,5 <	135,8 $\pm$ 38,3 >	21,8 $\pm$ 2,3 =	23,2 $\pm$ 0,8 >	18,1 $\pm$ 0,8 <	128,2 $\pm$ 30,4 >	20,2 $\pm$ 1,9
C-08	217,2 $\pm$ 31,5 <	264,5 $\pm$ 13,4 >	189,2 $\pm$ 34,7 <	259,5 $\pm$ 10,5 <	373,6 $\pm$ 24,1 =	382,6 $\pm$ 38,5 >	81,2 $\pm$ 12,4
C-09	139,4 $\pm$ 37,0 >	68,8 $\pm$ 7,0 <	303,7 $\pm$ 36,0 =	278,4 $\pm$ 30,9 =	247,8 $\pm$ 10,0 <	608,0 $\pm$ 59,0 >	30,9 $\pm$ 3,7
C-10	12,9 $\pm$ 0,4 <	23,5 $\pm$ 3,3 <	41,0 $\pm$ 4,8 >	10,6 $\pm$ 0,8 >	5,2 $\pm$ 0,4 <	39,6 $\pm$ 12,4 >	5,7 $\pm$ 0,4

**Anexo 4.** (Continuación) Concentraciones promedios  $\pm$  desviación estándar de cobre ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) en sedimentos de Bahía Caldera en la Línea Base de 1993 y entre las campañas de 1999 y 2008 (Se incluye el promedio de Línea Base de Bahía Inglesa).

Estación	Verano 2005		Invierno 2005		Verano 2006		Invierno 2006		Verano 2007		Invierno 2007		Verano 2008
BI													
C-01	8,8 $\pm$ 2,6	<	21,0 $\pm$ 5,2	=	27,2 $\pm$ 3,0	>	18,8 $\pm$ 1,3	<	25,6 $\pm$ 1,9	=	21,3 $\pm$ 6,2	=	26,00 $\pm$ 4,0
C-02	13,6 $\pm$ 4,7	<	84,1 $\pm$ 17,9	>	29,3 $\pm$ 9,0	=	43,6 $\pm$ 10,2	=	119,4 $\pm$ 124,4	=	22,1 $\pm$ 1,6	<	113,33 $\pm$ 11,5
C-03	10,4 $\pm$ 1,5	<	22,6 $\pm$ 3,0	=	26,3 $\pm$ 5,5	=	18,9 $\pm$ 3,3	<	26,9 $\pm$ 1,7	>	18,5 $\pm$ 1,4	<	30,70 $\pm$ 1,3
C-04	15,5 $\pm$ 4,7	<	48,4 $\pm$ 3,4	=	39,3 $\pm$ 10,3	=	40,2 $\pm$ 4,5	<	54,3 $\pm$ 2,4	>	39,9 $\pm$ 3,0	<	49,87 $\pm$ 4,0
C-13	20,2 $\pm$ 1,9	=	26,2 $\pm$ 5,6	=	30,5 $\pm$ 4,1	>	22,1 $\pm$ 2,7	<	88,4 $\pm$ 18,2	>	36,0 $\pm$ 13,3	=	39,17 $\pm$ 3,5
C-08	81,2 $\pm$ 12,4	<	312,4 $\pm$ 17,8	=	242,8 $\pm$ 65,8	=	310,6 $\pm$ 87,7	=	206,4 $\pm$ 16,7	=	224,7 $\pm$ 43,3	=	199,03 $\pm$ 33,7
C-09	30,9 $\pm$ 3,7	<	730,4 $\pm$ 172,1	=	286,3 $\pm$ 226,4	=	408,0 $\pm$ 79,1	=	406,9 $\pm$ 76,8	>	186,8 $\pm$ 16,2	=	190,33 $\pm$ 66,1
C-10	5,7 $\pm$ 0,4	<	12,9 $\pm$ 1,2	<	25,5 $\pm$ 2,1	>	15,3 $\pm$ 2,6	<	30,6 $\pm$ 8,7	=	16,1 $\pm$ 2,1	=	21,10 $\pm$ 3,6

Estación	Verano 2008		Invierno 2008
BI			
C-01	26,00 $\pm$ 4,0	>	11,23 $\pm$ 1,26
C-02	113,33 $\pm$ 11,5	>	66,83 $\pm$ 20,64
C-03	30,70 $\pm$ 1,3	>	9,68 $\pm$ 1,18
C-04	49,87 $\pm$ 4,0	>	33,03 $\pm$ 2,68
C-13	39,17 $\pm$ 3,5	>	24,27 $\pm$ 4,12
C-08	199,03 $\pm$ 33,7	=	232,67 $\pm$ 10,69
C-09	190,33 $\pm$ 66,1	=	202,00 $\pm$ 5,20
C-10	21,10 $\pm$ 3,6	>	10,03 $\pm$ 0,84

**Anexo 5.** Concentraciones promedios  $\pm$  desviación estándar de zinc ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) en sedimentos de Bahía Caldera en la Línea Base de 1993 y entre las campañas de 1999 y 2008 (Se incluye el promedio de Línea Base de Bahía Inglesa). Los signos <, >, = significan valores significativamente mayores, menores ( $p < 0,05$ ) o ausencia de diferencias significativas ( $p > 0,05$ ), respectivamente.

Estación	LB 1993	Verano 1999	Invierno 1999	Verano 2000	Invierno 2000	Verano 2001	Invierno 2001	Verano 2002
BI	24,4 $\pm$ 33,5							
C-01	118,0	38,9 $\pm$ 6,0	> 5,5 $\pm$ 1,7	< 9,3 $\pm$ 2,4	= 9,1 $\pm$ 3,5	< 18,7 $\pm$ 10,5	= 8,7 $\pm$ 1,9	< 16,1 $\pm$ 2,3
C-02	159,0	53,6 $\pm$ 14,2	> 8,5 $\pm$ 0,5	= 9,7 $\pm$ 1,1	= 15,4 $\pm$ 1,4	< 27,3 $\pm$ 11,7	> 8,6 $\pm$ 1,6	< 32,9 $\pm$ 4,6
C-03	67,5 $\pm$ 8,2	59,2 $\pm$ 15,5	> 5,0 $\pm$ 1,1	< 115,9 $\pm$ 19,1	> 8,4 $\pm$ 4,0	< 13,9 $\pm$ 3,1	> 9,6 $\pm$ 1,6	< 20,2 $\pm$ 3,2
C-04	144,4	62,3 $\pm$ 3,8	> 12,9 $\pm$ 1,2	< 65,6 $\pm$ 59,6	= 17,7 $\pm$ 5,1	= 13,7 $\pm$ 6,9	= 11,9 $\pm$ 7,6	< 24,9 $\pm$ 2,0
C-13	214,5 $\pm$ 13,9	39,4 $\pm$ 2,1	> 20,6 $\pm$ 1,3	< 52,2 $\pm$ 7,1	> 13,3 $\pm$ 1,8	< 21,5 $\pm$ 7,0	> 9,5 $\pm$ 1,5	< 24,1 $\pm$ 6,5
C-08	52,7 $\pm$ 4,4	125,2 $\pm$ 10,0	> 26,4 $\pm$ 2,7	< 38,7 $\pm$ 3,2	= 36,6 $\pm$ 8,1	< 57,5 $\pm$ 1,4	> 13,9 $\pm$ 2,5	< 25,4 $\pm$ 10,3
C-09	190,6	177,6 $\pm$ 26,7	= 139,3 $\pm$ 11,6	> 95,1 $\pm$ 8,6	= 77,8 $\pm$ 26,0	< 123,9 $\pm$ 14,2	> 16,5 $\pm$ 3,1	< 88,3 $\pm$ 25,4
C-10	103,1 $\pm$ 11,2	38,4 $\pm$ 13,6	= 17,8 $\pm$ 7,5	= 25,3 $\pm$ 0,1	= 14,9 $\pm$ 0,6	= 16,6 $\pm$ 10,1	= 4,3 $\pm$ 1,1	< 30,2 $\pm$ 4,3

Estación	Verano 2002	Invierno 2002	Verano 2003	Invierno 2003	Verano 2004	Invierno 2004	Verano 2005
BI							
C-01	16,1 $\pm$ 2,3	> 12,6 $\pm$ 1,6	= 14,9 $\pm$ 2,49	< 19,7 $\pm$ 3,1	= 19,9 $\pm$ 4,8	> 12,1 $\pm$ 4,5	= 18,8 $\pm$ 4,7
C-02	32,9 $\pm$ 4,6	> 13,8 $\pm$ 1,6	< 19,4 $\pm$ 3,1	= 17,5 $\pm$ 5,7	= 20,4 $\pm$ 3,2	= 25,1 $\pm$ 5,4	= 21,4 $\pm$ 2,8
C-03	20,2 $\pm$ 3,2	> 14,4 $\pm$ 1,0	< 24,4 $\pm$ 2,6	> 17,3 $\pm$ 3,9	= 18,5 $\pm$ 4,8	= 12,8 $\pm$ 5,0	< 24,5 $\pm$ 2,9
C-04	24,9 $\pm$ 2,0	= 23,2 $\pm$ 2,0	= 24,9 $\pm$ 4,8	= 24,9 $\pm$ 2,6	= 20,9 $\pm$ 2,2	< 28,3 $\pm$ 4,9	= 26,3 $\pm$ 7,1
C-13	24,1 $\pm$ 6,5	= 31,5 $\pm$ 4,0	> 12,2 $\pm$ 2,7	< 24,8 $\pm$ 2,0	> 14,7 $\pm$ 2,4	< 42,6 $\pm$ 4,2	> 27,8 $\pm$ 3,3
C-08	25,4 $\pm$ 10,3	= 34,5 $\pm$ 3,0	= 34,7 $\pm$ 3,5	< 75,5 $\pm$ 2,9	> 61,6 $\pm$ 6,4	> 41,8 $\pm$ 10,8	> 23,6 $\pm$ 1,9
C-09	88,3 $\pm$ 25,4	> 22,9 $\pm$ 3,8	< 105,4 $\pm$ 16,8	< 204,8 $\pm$ 1,5	> 151,4 $\pm$ 10,2	= 141,7 $\pm$ 5,6	> 40,7 $\pm$ 11,6
C-10	30,2 $\pm$ 4,3	> 20,3 $\pm$ 1,0	> 4,3 $\pm$ 1,1	< 25,0 $\pm$ 1,5	> 13,1 $\pm$ 5,7	= 20,2 $\pm$ 2,3	= 18,6 $\pm$ 2,7

**Anexo 5.** (Continuación) Concentraciones promedios  $\pm$  desviación estándar de zinc ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) en sedimentos de Bahía Caldera en la Línea Base de 1993 y entre las campañas de 1999 y 2008 (Se incluye el promedio de Línea Base de Bahía Inglesa).

Estación	Verano 2005		Invierno 2005		Verano 2006		Invierno 2006		Verano 2007		Invierno 2007		Verano 2008
BI													
C-01	18,8 $\pm$ 4,7	=	24,8 $\pm$ 1,9	>	15,5 $\pm$ 4,8	=	31,6 $\pm$ 28,8	=	11,8 $\pm$ 5,4	=	9,2 $\pm$ 0,9	<	25,750 $\pm$ 2,2
C-02	21,4 $\pm$ 2,8	<	33,5 $\pm$ 6,5	=	25,3 $\pm$ 13,1	=	19,8 $\pm$ 3,5	=	31,2 $\pm$ 25,1	=	13,7 $\pm$ 3,1	<	84,033 $\pm$ 27,8
C-03	24,5 $\pm$ 2,9	=	24,9 $\pm$ 5,5	=	47,2 $\pm$ 23,5	=	22,8 $\pm$ 3,1	>	11,1 $\pm$ 4,5	=	13,6 $\pm$ 1,2	<	49,300 $\pm$ 5,4
C-04	26,3 $\pm$ 7,1	<	43,6 $\pm$ 5,0	=	37,3 $\pm$ 9,9	=	55,3 $\pm$ 55,1	=	34,7 $\pm$ 5,4	>	15,4 $\pm$ 1,7	<	39,600 $\pm$ 1,9
C-13	27,8 $\pm$ 3,3	=	33,5 $\pm$ 5,4	=	36,2 $\pm$ 10,8	=	15,8 $\pm$ 1,8	<	41,0 $\pm$ 0,6	>	13,1 $\pm$ 0,8	<	31,400 $\pm$ 4,9
C-08	23,6 $\pm$ 1,9	<	33,5 $\pm$ 3,3	=	78,0 $\pm$ 50,2	=	43,4 $\pm$ 10,3	=	50,7 $\pm$ 33,2	=	80,1 $\pm$ 8,3	=	64,700 $\pm$ 15,6
C-09	40,7 $\pm$ 11,6	<	184,1 $\pm$ 22,0	=	126,3 $\pm$ 75,1	=	175,0 $\pm$ 52,3	=	123,4 $\pm$ 27,5	=	77,0 $\pm$ 25,1	=	86,933 $\pm$ 9,4
C-10	18,6 $\pm$ 2,7	=	15,0 $\pm$ 0,6	<	36,1 $\pm$ 1,3	>	13,7 $\pm$ 4,0	=	44,8 $\pm$ 19,2	=	12,7 $\pm$ 2,2	<	63,400 $\pm$ 19,7

Estación	Verano 2008		Invierno 2008
BI			
C-01	25,750 $\pm$ 2,2	=	27,475 $\pm$ 1,162
C-02	84,033 $\pm$ 27,8	=	46,800 $\pm$ 4,900
C-03	49,300 $\pm$ 5,4	=	48,725 $\pm$ 4,240
C-04	39,600 $\pm$ 1,9	>	17,067 $\pm$ 4,600
C-13	31,400 $\pm$ 4,9	>	10,010 $\pm$ 1,793
C-08	64,700 $\pm$ 15,6	=	40,77 $\pm$ 7,221
C-09	86,933 $\pm$ 9,4	=	77,100 $\pm$ 6,188
C-10	63,400 $\pm$ 19,7	>	27,333 $\pm$ 7,438

**Anexo 6.** Concentraciones promedios  $\pm$  desviación estándar de cadmio ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) en sedimentos de Bahía Caldera en la Línea Base de 1993 y entre las campañas de 1999 y 2008 (Se incluye el promedio de Línea Base de Bahía Inglesa). Los signos <, >, = significan valores significativamente mayores, menores ( $p < 0,05$ ) o ausencia de diferencias significativas ( $p > 0,05$ ), respectivamente.

Estación	LB 1993	Verano 1999	Invierno 1999	Verano 2000	Invierno 2000	Verano 2001	Invierno 2001	Verano 2002
BI	3,4 $\pm$ 1,2							
C-01	6,6	0,39 $\pm$ 0,10 =	0,39 $\pm$ 0,02 =	0,32 $\pm$ 0,08 =	0,23 $\pm$ 0,03 <	0,57 $\pm$ 0,11 <	0,70 $\pm$ 0,13 >	0,35 $\pm$ 0,04
C-02	4,1	0,55 $\pm$ 0,12 =	0,43 $\pm$ 0,03 <	0,55 $\pm$ 0,05 =	0,34 $\pm$ 0,11 <	0,62 $\pm$ 0,01 =	0,60 $\pm$ 0,04 >	0,44 $\pm$ 0,01
C-03	6,3 $\pm$ 0,4	0,61 $\pm$ 0,24 =	0,37 $\pm$ 0,02 >	0,29 $\pm$ 0,04 =	0,33 $\pm$ 0,02 <	0,50 $\pm$ 0,03 =	0,60 $\pm$ 0,08 >	0,39 $\pm$ 0,04
C-04	3,3	0,97 $\pm$ 0,11 <	1,33 $\pm$ 0,02 <	2,60 $\pm$ 0,23 >	0,80 $\pm$ 0,01 <	1,29 $\pm$ 0,11 >	0,80 $\pm$ 0,22 <	1,30 $\pm$ 0,07
C-13	4,0 $\pm$ 0,7	0,98 $\pm$ 0,11 >	0,56 $\pm$ 0,03 <	2,90 $\pm$ 0,07 >	0,35 $\pm$ 0,02 <	0,52 $\pm$ 0,04 <	0,70 $\pm$ 0,02 >	0,33 $\pm$ 0,00
C-08	1,9 $\pm$ 0,2	0,40 $\pm$ 0,04 =	0,35 $\pm$ 0,05 <	0,69 $\pm$ 0,08 >	0,35 $\pm$ 0,02 <	0,46 $\pm$ 0,06 <	0,90 $\pm$ 0,20 >	0,18 $\pm$ 0,03
C-09	2,1	0,60 $\pm$ 0,04 =	0,63 $\pm$ 0,05 <	1,09 $\pm$ 0,09 >	0,32 $\pm$ 0,04 <	0,79 $\pm$ 0,04 =	0,80 $\pm$ 0,24 >	0,54 $\pm$ 0,02
C-10	5,3 $\pm$ 0,2	0,45 $\pm$ 0,15 =	0,61 $\pm$ 0,03 <	0,94 $\pm$ 0,04 >	0,21 $\pm$ 0,01 <	0,40 $\pm$ 0,01 <	0,54 $\pm$ 0,08 >	0,46 $\pm$ 0,11

Estación	Verano 2002	Invierno 2002	Verano 2003	Invierno 2003	Verano 2004	Invierno 2004	Verano 2005
BI							
C-01	0,35 $\pm$ 0,04 =	0,43 $\pm$ 0,10 =	0,53 $\pm$ 0,04 >	0,45 $\pm$ 0,07 <	0,68 $\pm$ 0,09 >	0,44 $\pm$ 0,11 <	0,74 $\pm$ 0,12
C-02	0,44 $\pm$ 0,01 =	0,42 $\pm$ 0,01 <	0,86 $\pm$ 0,10 >	0,50 $\pm$ 0,09 <	0,84 $\pm$ 0,21 >	0,40 $\pm$ 0,06 <	0,78 $\pm$ 0,04
C-03	0,39 $\pm$ 0,04 >	0,31 $\pm$ 0,05 <	0,72 $\pm$ 0,13 >	0,40 $\pm$ 0,08 <	0,79 $\pm$ 0,16 >	0,63 $\pm$ 0,02 =	0,68 $\pm$ 0,06
C-04	1,30 $\pm$ 0,07 >	0,38 $\pm$ 0,03 <	1,57 $\pm$ 0,10 <	2,79 $\pm$ 0,56 >	0,78 $\pm$ 0,02 =	1,09 $\pm$ 0,23 =	1,80 $\pm$ 0,58
C-13	0,33 $\pm$ 0,00 =	0,33 $\pm$ 0,03 <	0,69 $\pm$ 0,16 >	0,40 $\pm$ 0,02 <	0,91 $\pm$ 0,05 >	0,37 $\pm$ 0,06 <	0,87 $\pm$ 0,06
C-08	0,18 $\pm$ 0,03 <	0,44 $\pm$ 0,06 >	0,14 $\pm$ 0,02 <	0,58 $\pm$ 0,24 =	0,72 $\pm$ 0,19 >	0,34 $\pm$ 0,05 =	0,32 $\pm$ 0,10
C-09	0,54 $\pm$ 0,02 >	0,44 $\pm$ 0,06 =	0,48 $\pm$ 0,02 <	0,82 $\pm$ 0,08 =	0,76 $\pm$ 0,07 =	0,80 $\pm$ 0,04 =	0,79 $\pm$ 0,09
C-10	0,46 $\pm$ 0,11 =	0,46 $\pm$ 0,07 <	0,61 $\pm$ 0,06 <	0,82 $\pm$ 0,06 =	0,76 $\pm$ 0,04 =	0,51 $\pm$ 0,14 <	1,62 $\pm$ 0,16

**Anexo 6.** (Continuación) Concentraciones promedios  $\pm$  desviación estándar de cadmio ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) en sedimentos de Bahía Caldera en la Línea Base de 1993 y entre las campañas de 1999 y 2008 (Se incluye el promedio de Línea Base de Bahía Inglesa).

Estación	Verano 2005	Invierno 2005	Verano 2006	Invierno 2006	Verano 2007	Invierno 2007	Verano 2008
BI							
C-01	0,74 $\pm$ 0,12 >	0,44 $\pm$ 0,07 =	0,46 $\pm$ 0,04 >	0,30 $\pm$ 0,06 <	0,47 $\pm$ 0,05 >	0,37 $\pm$ 0,03 =	0,303 $\pm$ 0,04
C-02	0,78 $\pm$ 0,04 >	0,50 $\pm$ 0,02 >	0,36 $\pm$ 0,04 =	0,42 $\pm$ 0,14 =	0,35 $\pm$ 0,02 <	0,41 $\pm$ 0,02 >	0,302 $\pm$ 0,01
C-03	0,68 $\pm$ 0,06 =	0,53 $\pm$ 0,13 =	0,56 $\pm$ 0,05 =	0,51 $\pm$ 0,13 =	0,49 $\pm$ 0,04 >	0,32 $\pm$ 0,05 =	0,294 $\pm$ 0,03
C-04	1,80 $\pm$ 0,58 =	1,45 $\pm$ 0,01 >	0,88 $\pm$ 0,03 >	0,43 $\pm$ 0,12 <	0,67 $\pm$ 0,04 >	0,46 $\pm$ 0,01 =	0,465 $\pm$ 0,02
C-13	0,87 $\pm$ 0,06 >	0,56 $\pm$ 0,10 =	0,61 $\pm$ 0,13 >	0,26 $\pm$ 0,06 =	0,36 $\pm$ 0,04 =	0,31 $\pm$ 0,02 >	0,210 $\pm$ 0,03
C-08	0,32 $\pm$ 0,10 <	0,83 $\pm$ 0,28 =	0,39 $\pm$ 0,01 =	0,49 $\pm$ 0,13 =	0,55 $\pm$ 0,04 >	0,38 $\pm$ 0,03 >	0,276 $\pm$ 0,02
C-09	0,79 $\pm$ 0,09 =	0,86 $\pm$ 0,04 =	0,94 $\pm$ 0,51 =	0,67 $\pm$ 0,05 >	0,54 $\pm$ 0,03 >	0,31 $\pm$ 0,01 =	0,274 $\pm$ 0,02
C-10	1,62 $\pm$ 0,16 >	0,49 $\pm$ 0,03 =	0,52 $\pm$ 0,04 =	0,45 $\pm$ 0,04 <	0,68 $\pm$ 0,06 >	0,36 $\pm$ 0,03 =	0,321 $\pm$ 0,03

Estación	Verano 2008	Invierno 2008
BI		
C-01	0,303 $\pm$ 0,04 =	0,298 $\pm$ 0,016
C-02	0,302 $\pm$ 0,01 =	0,291 $\pm$ 0,033
C-03	0,294 $\pm$ 0,03 =	0,308 $\pm$ 0,049
C-04	0,465 $\pm$ 0,02 <	0,804 $\pm$ 0,017
C-13	0,210 $\pm$ 0,03 <	0,302 $\pm$ 0,034
C-08	0,276 $\pm$ 0,02 =	0,309 $\pm$ 0,035
C-09	0,274 $\pm$ 0,02 <	0,401 $\pm$ 0,054
C-10	0,321 $\pm$ 0,03 =	0,415 $\pm$ 0,115

**Anexo 7.** Concentraciones promedios  $\pm$  desviación estándar de plomo ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) en sedimentos de Bahía Caldera en la Línea Base de 1993 y entre las campañas de 1999 y 2008 (Se incluye el promedio de Línea Base de Bahía Inglesa). Los signos <, >, = significan valores significativamente mayores, menores ( $p < 0,05$ ) o ausencia de diferencias significativas ( $p > 0,05$ ), respectivamente.

Estación	LB 1993	Verano 1999	Invierno 1999	Verano 2000	Invierno 2000	Verano 2001	Invierno 2001	Verano 2002
BI	15,2 $\pm$ 13,4							
C-01	44,7	5,5 $\pm$ 0,4 >	4,2 $\pm$ 0,5 =	6,4 $\pm$ 1,9 =	3,9 $\pm$ 0,3 =	3,3 $\pm$ 0,7 =	2,8 $\pm$ 0,6 <	5,0 $\pm$ 0,8
C-02	23,0	6,2 $\pm$ 0,6 =	6,5 $\pm$ 0,8 >	10,2 $\pm$ 1,5 >	4,7 $\pm$ 1,0 =	4,1 $\pm$ 0,6 >	3,1 $\pm$ 0,5 <	9,3 $\pm$ 2,8
C-03	38,0 $\pm$ 1,9	4,9 $\pm$ 0,4 <	6,1 $\pm$ 0,2 =	8,7 $\pm$ 2,2 >	3,3 $\pm$ 0,1 =	3,5 $\pm$ 0,3 =	3,7 $\pm$ 2,2 =	5,2 $\pm$ 1,2
C-04	18,5	4,0 $\pm$ 0,4 <	7,5 $\pm$ 1,2 <	10,0 $\pm$ 0,4 >	2,4 $\pm$ 0,1 <	3,4 $\pm$ 0,2 >	1,8 $\pm$ 0,5 =	2,3 $\pm$ 0,6
C-13	37,1 $\pm$ 2,0	5,0 $\pm$ 0,2 <	13,0 $\pm$ 4,0 =	19,1 $\pm$ 0,9 >	3,7 $\pm$ 0,5 <	6,2 $\pm$ 0,6 >	3,9 $\pm$ 0,7 <	6,3 $\pm$ 1,1
C-08	44,8 $\pm$ 4,0	15,5 $\pm$ 1,8 <	44,4 $\pm$ 10,5 =	35,6 $\pm$ 0,4 =	33,0 $\pm$ 0,7 =	28,2 $\pm$ 0,6 >	8,8 $\pm$ 1,4 >	2,2 $\pm$ 0,7
C-09	11,8	6,1 $\pm$ 1,1 <	15,2 $\pm$ 1,4 <	25,6 $\pm$ 3,5 >	11,3 $\pm$ 4,1 =	9,2 $\pm$ 2,3 >	2,2 $\pm$ 0,6 <	7,7 $\pm$ 2,4
C-10	32,8 $\pm$ 2,3	2,1 $\pm$ 0,2 =	2,5 $\pm$ 0,3 <	5,5 $\pm$ 0,4 >	2,4 $\pm$ 0,1 >	1,4 $\pm$ 0,3 =	1,2 $\pm$ 1,1 =	1,2 $\pm$ 0,3

Estación	Verano 2002	Invierno 2002	Verano 2003	Invierno 2003	Verano 2004	Invierno 2004	Verano 2005
BI							
C-01	5,0 $\pm$ 0,8 >	3,7 $\pm$ 0,9 =	3,7 $\pm$ 0,3 <	5,2 $\pm$ 0,5 =	5,5 $\pm$ 1,2 =	7,1 $\pm$ 1,76 =	7,3 $\pm$ 0,94
C-02	9,3 $\pm$ 2,8 <	12,8 $\pm$ 0,4 >	5,5 $\pm$ 0,8 =	6,8 $\pm$ 0,8 =	6,9 $\pm$ 0,2 >	4,5 $\pm$ 0,64 <	7,3 $\pm$ 0,92
C-03	5,2 $\pm$ 1,2 =	6,3 $\pm$ 1,4 =	5,9 $\pm$ 1,0 =	6,0 $\pm$ 0,5 >	4,7 $\pm$ 0,5 =	4,0 $\pm$ 1,37 <	7,4 $\pm$ 0,25
C-04	2,3 $\pm$ 0,6 =	2,6 $\pm$ 0,2 <	3,5 $\pm$ 0,3 <	6,0 $\pm$ 0,1 >	1,8 $\pm$ 0,2 =	1,6 $\pm$ 0,36 <	6,7 $\pm$ 1,91
C-13	6,3 $\pm$ 1,1 <	14,2 $\pm$ 1,7 >	1,5 $\pm$ 0,2 <	10,1 $\pm$ 0,1 >	7,2 $\pm$ 0,8 >	2,8 $\pm$ 0,29 <	12,5 $\pm$ 0,42
C-08	2,2 $\pm$ 0,7 <	45,1 $\pm$ 6,3 =	38,6 $\pm$ 5,5 =	39,4 $\pm$ 1,4 >	32,4 $\pm$ 3,3 =	33,6 $\pm$ 8,18 =	34,8 $\pm$ 1,36
C-09	7,7 $\pm$ 2,4 >	2,6 $\pm$ 0,5 <	8,1 $\pm$ 0,8 <	20,3 $\pm$ 0,4 >	11,4 $\pm$ 1,5 >	7,9 $\pm$ 2,30 =	9,1 $\pm$ 0,75
C-10	1,2 $\pm$ 0,3 <	4,6 $\pm$ 0,7 =	4,7 $\pm$ 0,3 =	3,9 $\pm$ 0,6 =	4,7 $\pm$ 0,3 =	5,0 $\pm$ 0,18 >	2,5 $\pm$ 0,17

**Anexo 7.** (Continuación) Concentraciones promedios  $\pm$  desviación estándar de plomo ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) en sedimentos de Bahía Caldera en la Línea Base de 1993 y entre las campañas de 1999 y 2008 (Se incluye el promedio de Línea Base de Bahía Inglesa).

Estación	Verano 2005	Invierno 2005	Verano 2006	Invierno 2006	Verano 2007	Invierno 2007	Verano 2008
BI							
C-01	7,3 $\pm$ 0,94	= 6,6 $\pm$ 0,44	< 8,5 $\pm$ 1,20	> 5,8 $\pm$ 0,93	< 8,3 $\pm$ 1,09	= 7,0 $\pm$ 0,67	> 5,320 $\pm$ 0,33
C-02	7,3 $\pm$ 0,92	< 11,4 $\pm$ 0,15	> 7,6 $\pm$ 1,36	= 6,8 $\pm$ 0,71	= 6,4 $\pm$ 4,37	= 8,6 $\pm$ 1,41	= 9,993 $\pm$ 2,47
C-03	7,4 $\pm$ 0,25	= 8,9 $\pm$ 1,66	= 7,6 $\pm$ 0,62	> 4,8 $\pm$ 0,49	< 6,1 $\pm$ 0,60	= 7,0 $\pm$ 1,27	> 4,543 $\pm$ 0,22
C-04	6,7 $\pm$ 1,91	< 22,5 $\pm$ 8,32	> 5,9 $\pm$ 0,50	> 3,0 $\pm$ 0,59	> 1,7 $\pm$ 0,09	< 4,0 $\pm$ 0,36	= 4,373 $\pm$ 0,54
C-13	12,5 $\pm$ 0,42	= 19,8 $\pm$ 6,50	= 11,9 $\pm$ 0,47	> 7,1 $\pm$ 0,76	> 1,4 $\pm$ 0,16	< 10,59 $\pm$ 1,02	> 6,283 $\pm$ 0,08
C-08	34,8 $\pm$ 1,36	< 46,2 $\pm$ 4,61	= 28,2 $\pm$ 10,99	= 33,9 $\pm$ 6,71	= 38,8 $\pm$ 1,99	= 45,8 $\pm$ 8,17	= 32,000 $\pm$ 1,47
C-09	9,1 $\pm$ 0,75	< 32,5 $\pm$ 2,86	= 18,8 $\pm$ 8,35	= 16,7 $\pm$ 1,17	> 8,1 $\pm$ 1,20	= 12,5 $\pm$ 2,50	> 5,543 $\pm$ 0,61
C-10	2,5 $\pm$ 0,17	< 6,3 $\pm$ 0,73	> 2,1 $\pm$ 0,74	= 1,8 $\pm$ 0,02	< 6,1 $\pm$ 0,79	> 1,6 $\pm$ 0,44	< 3,193 $\pm$ 0,13

Estación	Verano 2008	Invierno 2008
BI		
C-01	5,320 $\pm$ 0,33	= 4,928 $\pm$ 0,602
C-02	9,993 $\pm$ 2,47	= 7,127 $\pm$ 1,308
C-03	4,543 $\pm$ 0,22	= 4,635 $\pm$ 0,717
C-04	4,373 $\pm$ 0,54	= 3,597 $\pm$ 0,688
C-13	6,283 $\pm$ 0,08	= 7,427 $\pm$ 1,095
C-08	32,000 $\pm$ 1,47	= 31,067 $\pm$ 8,963
C-09	5,543 $\pm$ 0,61	= 6,533 $\pm$ 2,892
C-10	3,193 $\pm$ 0,13	= 3,193 $\pm$ 1,658

**Anexo 8.** Concentraciones promedios  $\pm$  desviación estándar de hierro ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) en sedimentos de Bahía Caldera en la Línea Base de 1993 y entre las campañas de 1999 y 2008 (Se incluye el promedio de Línea Base de Bahía Inglesa). Los signos <, >, = significan valores significativamente mayores, menores ( $p < 0,05$ ) o ausencia de diferencias significativas ( $p > 0,05$ ), respectivamente.

Estación	LB 1993	Verano 1999	Invierno 1999	Verano 2000	Invierno 2000	Verano 2001	Invierno 2001	Verano 2002
BI	4156 $\pm$ 1445							
C-01	2091	2762 $\pm$ 377 >	1053 $\pm$ 130 <	2338 $\pm$ 317 >	804 $\pm$ 41 >	605 $\pm$ 69 <	6402,1 $\pm$ 1150,7 >	3251,7 $\pm$ 152,6
C-02	4408	3800 $\pm$ 609 >	1941 $\pm$ 287 <	2861 $\pm$ 279 =	2006 $\pm$ 1227 =	963 $\pm$ 96 <	6457,8 $\pm$ 1473,9 >	3895,8 $\pm$ 320,2
C-03	3255 $\pm$ 453	3342 $\pm$ 542 >	1338 $\pm$ 87 <	2967 $\pm$ 58 >	1446 $\pm$ 164 >	1024 $\pm$ 49 <	7027,8 $\pm$ 1350,4 >	3535,8 $\pm$ 389,8
C-04	5473	4411 $\pm$ 944 =	4088 $\pm$ 362 <	4862 $\pm$ 141 >	1576 $\pm$ 213 >	1157 $\pm$ 185 <	4820,7 $\pm$ 915,4 =	5078,8 $\pm$ 512,1
C-13	23248 $\pm$ 17552	5498 $\pm$ 295 >	4246 $\pm$ 292 <	11696 $\pm$ 521 >	1393 $\pm$ 80 =	1192 $\pm$ 271 <	9220,7 $\pm$ 3501,6 >	2972,5 $\pm$ 248,5
C-08	6915 $\pm$ 1698	10322 $\pm$ 1995 >	5479 $\pm$ 888 =	6522 $\pm$ 214 >	4094 $\pm$ 214 >	2290 $\pm$ 397 <	5802,5 $\pm$ 1365,8 =	6514,4 $\pm$ 1413,8
C-09	5084	11357 $\pm$ 359 >	9121 $\pm$ 314 =	8438 $\pm$ 1060 >	4750 $\pm$ 580 >	3548 $\pm$ 133 =	3707,1 $\pm$ 416,3 <	8332,8 $\pm$ 1244,3
C-10	2968 $\pm$ 100	3628 $\pm$ 277 >	1591 $\pm$ 176 <	3670 $\pm$ 577 >	1670 $\pm$ 217 >	947 $\pm$ 144 =	2523,8 $\pm$ 1612,3 <	5109,9 $\pm$ 313,5

Estación	Verano 2002	Invierno 2002	Verano 2003	Invierno 2003	Verano 2004	Invierno 2004	Verano 2005
BI							
C-01	3251,7 $\pm$ 152,6 >	574,2 $\pm$ 139,1 <	2468,3 $\pm$ 264,6 <	3075,8 $\pm$ 561,4 =	2461,0 $\pm$ 189,6 >	1949,0 $\pm$ 476,4 <	4120,4 $\pm$ 756,2
C-02	3895,8 $\pm$ 320,2 >	789,1 $\pm$ 102,3 <	4420,0 $\pm$ 224,3 >	2155,3 $\pm$ 140,4 <	3912,3 $\pm$ 740,2 =	3591,7 $\pm$ 664,7 <	5865,1 $\pm$ 1249,0
C-03	3535,8 $\pm$ 389,8 >	956,4 $\pm$ 81,9 <	4105,3 $\pm$ 344,5 >	2386,8 $\pm$ 144,9 <	4227,9 $\pm$ 638,0 >	2010,0 $\pm$ 731,7 <	5768,3 $\pm$ 1139,6
C-04	5078,8 $\pm$ 512,1 >	1045,9 $\pm$ 75,0 <	5463,0 $\pm$ 401,2 >	4458,3 $\pm$ 20,0 =	4470,6 $\pm$ 21,3 >	3004,7 $\pm$ 282,4 =	4398,1 $\pm$ 1512,3
C-13	2972,5 $\pm$ 248,5 >	1334,4 $\pm$ 169,2 <	3207,3 $\pm$ 294,5 <	4247,0 $\pm$ 434,1 >	3284,5 $\pm$ 326,0 <	5986,0 $\pm$ 382,6 <	6954,0 $\pm$ 235,7
C-08	6514,4 $\pm$ 1413,8 >	2714,6 $\pm$ 688,1 <	7230,3 $\pm$ 641,8 =	8037,7 $\pm$ 330,7 <	12458,1 $\pm$ 3388,7 >	4770,0 $\pm$ 305,6 <	10055,3 $\pm$ 489,0
C-09	8332,8 $\pm$ 1244,3 >	1093,5 $\pm$ 61,6 <	13120,7 $\pm$ 1661,7 =	13523,3 $\pm$ 1158,4 =	13661,0 $\pm$ 1122,2 =	10975,7 $\pm$ 1690,0 >	5852,0 $\pm$ 2101,7
C-10	5109,9 $\pm$ 313,5 >	1079,1 $\pm$ 143,0 <	3661,0 $\pm$ 345,8 <	11187,7 $\pm$ 2108,0 >	3144,7 $\pm$ 484,8 =	2986,0 $\pm$ 111,6 =	4325,3 $\pm$ 863,2

**Anexo 8.** (Continuación) Concentraciones promedios  $\pm$  desviación estándar de hierro ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) en sedimentos de Bahía Caldera en la Línea Base de 1993 y entre las campañas de 1999 y 2008 (Se incluye el promedio de Línea Base de Bahía Inglesa).

Estación	Verano 2005	Invierno 2005	Verano 2006	Invierno 2006	Verano 2007	Invierno 2007	Verano 2008
BI							
C-01	4120,4 $\pm$ 756,2 >	2828,4 $\pm$ 495,9 =	3931,4 $\pm$ 801,8 >	1713,4 $\pm$ 265,2 <	2737,5 $\pm$ 235,2 >	1975,6 $\pm$ 257,5 >	1418,7 $\pm$ 49,7
C-02	5865,1 $\pm$ 1249,0 >	3704,3 $\pm$ 607,7 =	2927,5 $\pm$ 472,4 =	3317,1 $\pm$ 475,9 =	3465,8 $\pm$ 381,7 =	2740,6 $\pm$ 689,3 <	6197,7 $\pm$ 1101,7
C-03	5768,3 $\pm$ 1139,6 >	2949,3 $\pm$ 425,7 <	3894,5 $\pm$ 364,1 >	2202,5 $\pm$ 350,1 =	1798,4 $\pm$ 314,7 <	2926,9 $\pm$ 211,2 >	2190,0 $\pm$ 278,0
C-04	4398,1 $\pm$ 1512,3 =	5223,3 $\pm$ 440,6 =	5580,1 $\pm$ 450,0 =	6126,5 $\pm$ 498,7 >	3156,2 $\pm$ 578,5 <	4657,4 $\pm$ 677,8 =	5460,4 $\pm$ 728,9
C-13	6954,0 $\pm$ 235,7 >	4513,4 $\pm$ 85,9 =	3250,4 $\pm$ 996,5 >	2023,6 $\pm$ 62,1 <	4672,7 $\pm$ 325,2 >	3231,1 $\pm$ 422,2 =	2908,2 $\pm$ 359,8
C-08	10055,3 $\pm$ 489,0 =	8997,6 $\pm$ 494,5 =	7926,3 $\pm$ 2256,6 =	9527,1 $\pm$ 2435,1 =	5764,6 $\pm$ 357,5 =	6925,7 $\pm$ 2196,5 =	4737,1 $\pm$ 845,2
C-09	5852,0 $\pm$ 2101,7 <	25781,7 $\pm$ 3800,4 =	12927,8 $\pm$ 7858,0 =	17548,6 $\pm$ 495,7 >	8615,5 $\pm$ 1233,3 =	9287,5 $\pm$ 2036,9 =	7455,9 $\pm$ 880,5
C-10	4325,3 $\pm$ 863,2 =	5258,1 $\pm$ 610,6 >	3046,0 $\pm$ 336,1 >	2262,2 $\pm$ 180,9 =	3211,9 $\pm$ 1156,1 =	2687,5 $\pm$ 506,8 =	3168,1 $\pm$ 524,6

Estación	Verano 2008	Invierno 2008
BI		
C-01	1418,7 $\pm$ 49,7 <	2060,8 $\pm$ 267,8
C-02	6197,7 $\pm$ 1101,7 >	4121,9 $\pm$ 252,2
C-03	2190,0 $\pm$ 278,0 =	2094,0 $\pm$ 477,3
C-04	5460,4 $\pm$ 728,9 =	4981,2 $\pm$ 316,8
C-13	2908,2 $\pm$ 359,8 =	3008,1 $\pm$ 48,1
C-08	4737,1 $\pm$ 845,2 <	7213,3 $\pm$ 308,9
C-09	7455,9 $\pm$ 880,5 <	10417,2 $\pm$ 921,6
C-10	3168,1 $\pm$ 524,6 =	3209,7 $\pm$ 118,1

**Anexo 9.** Concentraciones de oxígeno disuelto (en ml L<sup>-1</sup>) determinadas en Bahía Caldera durante las campañas estivales desde 1994 a 2008.

Profundidad (m)	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
0	6,98 ± 0,74	10,35±2,30	8,20 ± 0,37	5,52 ± 1,13	3,71 ± 0,34	5,32 ± 0,52	6,53 ± 0,754	6,32±0,507
5	6,80 ± 1,27	7,21 ± 2,33	7,24 ± 0,49	5,09 ± 0,94	3,20 ± 0,39	4,84 ± 0,64	5,62 ± 0,658	5,54±0,875
10	6,70 ± 1,21	5,36 ± 2,33	5,27 ± 1,19	4,22 ± 0,55	2,97 ± 0,32	4,56 ± 0,60	4,54 ± 0,182	4,17±0,544
15	6,63 ± 0,78	4,92 ± 1,86	4,26 ± 0,66	3,49 ± 0,23	2,93 ± 0,36	4,28 ± 0,70	3,90 ± 0,367	3,57±0,508
20	6,27 ± 1,04	3,50 ± 0,65	3,44 ± 0,21	2,92 ± 0,51	2,74 ± 0,13	3,86 ± 0,77	3,27 ± 0,207	3,04±0,431
25	4,90 ± 0,96	2,36 ± 0,04	3,03	2,62	2,6	3,04	2,84 ± 0,488	2,30±0,529
30	4,01 ± 0,09	2,05 ± 0,20	2,68 ± 0,20	3,23	-	-	2,88 ± 0,507	1,94
35	3,83 ± 0,09	1,68	-	-	-	-	2,25	2,21
40	3,92 ± 0,19	1,49	-	-	-	-	1,35	
45	3,92	-	-	-	-	-	-	

Profundidad (m)	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
0	4,44±0,536	5,01±0,619	5,11±0,332	6,99±0,427	6,03±0,530	3,48±0,634	5,95±0,283
5	3,41±1,058	3,59±0,821	4,34±0,376	5,36±0,973	5,65±0,535	2,78±1,051	5,74±0,462
10	2,82±0,807	2,55±0,878	3,31±0,191	4,28±0,515	5,78±0,142	1,97±0,382	5,34±0,467
15	2,25±0,735	1,99±0,428	2,43±0,606	2,88±1,149	5,26±0,371	1,74±0,204	4,95±0,505
20	1,97±0,051	1,60±0,446	1,75±0,184	3,57±0,023	5,10±0,212	1,49±0,387	3,97±0,068
25	1,54	1,17	1,59	3,50	5,13	9,7±0,734	3,77±0,077
30	1,48	1,05	1,48	3,17	4,77	1,42	3,69
35		0,97	1,19	3,64	4,21	1,46	3,16
40		0,83	1,61		4,16	1,26	
45		-	-	-	-		

**Anexo 10.** Concentraciones de oxígeno disuelto (en ml L<sup>-1</sup>) determinadas en Bahía Caldera durante las campañas invernales desde 1994 a 2008.

Profundidad (m)	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
0	6,19 ± 0,86	7,16 ± 1,14	5,08 ± 0,29	5,54 ± 0,88	4,85 ± 0,41	5,90 ± 0,57	5,14 ± 0,23	4,56±0,13
5	5,96 ± 1,00	6,46 ± 0,30	4,93 ± 0,29	5,30 ± 0,91	4,55 ± 0,34	5,40 ± 0,63	5,16 ± 0,30	4,42±0,18
10	5,30 ± 1,19	6,33 ± 0,59	4,78 ± 0,32	5,00 ± 0,64	4,09 ± 0,30	5,35 ± 0,64	5,16 ± 0,27	4,34±0,22
15	4,43 ± 0,97	6,31 ± 0,56	4,72 ± 0,31	4,32 ± 0,69	3,34 ± 0,32	4,89 ± 0,65	5,14 ± 0,15	4,20±0,24
20	4,05 ± 0,94	5,70 ± 0,52	4,67 ± 0,21	4,12 ± 1,17	3,20 ± 0,20	3,90 ± 1,19	5,04 ± 0,16	3,81±0,20
25	4,17 ± 0,78	5,08 ± 0,68	4,56 ± 0,23	2,42	3,52 ± 0,04	3,63 ± 0,37	5,04 ± 0,14	3,45
30	3,70	4,53	4,27	3,81	3,02	3,87	4,99 ± 0,19	2,88
35	2,85	4,07	3,58	4,54	2,95	4,05	4,60 ± 0,35	2,78
40	3,40	3,70	-	-	3,29	3,52	-	2,23
45	3,00	1,60	-	-	-	-	-	-

Profundidad (m)	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
0	4,16±0,421	5,98±0,270	3,30±0,689	4,80±0,253	4,37±0,184	4,52±0,402	1,89±0,242
5	3,49±0,789	5,75±0,217	2,56±0,889	3,99±0,462	3,79±0,604	4,33±0,260	1,55±0,173
10	2,65±1,022	5,13±0,745	1,58±0,425	3,29±0,876	3,37±0,588	3,91±0,282	1,39±0,264
15	2,03±1,056	4,21±0,492	1,24±0,092	2,92±0,963	3,08±0,695	3,94±0,264	1,22±0,239
20	1,37±0,014	3,85±0,442	1,16±0,092	2,78±1,205	2,97±0,901	3,69±0,901	1,27±0,181
25	1,20	3,21	1,02	2,07	1,41	4,07	1,19
30	1,05	3,10	1,03	1,91	1,59	3,88	0,91
35		2,89	0,61	1,98	1,56	3,77	1,01
40		2,53	0,53	1,73		3,51	
45							

**Anexo 11.** pH determinados en Bahía Caldera durante las campañas estivales desde 1994 a 2008.

Profundidad (m)	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
0	7,99 ± 0,05	8,19 ± 0,25	8,42 ± 0,05	8,29 ± 0,08	7,87 ± 0,039	7,87 ± 0,01	8,19±0,06	8,13±0,06
5	7,96 ± 0,08	7,96 ± 0,22	8,30 ± 0,08	8,25 ± 0,08	7,85 ± 0,025	7,87 ± 0,02	8,14±0,07	8,06±0,06
10	7,92 ± 0,07	7,80 ± 0,21	8,13 ± 0,11	8,15 ± 0,06	7,84 ± 0,014	7,85 ± 0,03	8,02±0,07	7,97±0,04
15	7,91 ± 0,10	7,80 ± 0,08	8,00 ± 0,06	8,04 ± 0,05	7,83 ± 0,017	7,81 ± 0,04	7,97±0,09	7,90±0,02
20	7,75 ± 0,30	7,69 ± 0,11	7,93 ± 0,03	7,99	7,83 ± 0,014	7,79 ± 0,03	7,92±0,04	7,86±0,02
25	7,77 ± 0,09	7,70 ± 0,01	7,95	7,83	-	7,71	7,86±0,03	7,78±0,05
30	7,76 ± 0,03	7,56 ± 0,06	7,85 ± 0,04	8,01	-	-	7,86±0,07	7,74
35	7,67 ± 0,02	7,58	-	-	-	-	7,82	7,74
40	7,71 ± 0,01	7,67	7,83	-	-	-	7,70	
45	7,67	-	-	-	-	-	-	

Profundidad (m)	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
0	7,99±0,18	8,11±0,056	7,69±0,167	8,26±0,082	8,16±0,080	8,12±0,078	7,96±0,026
5	7,95±0,20	7,98±0,091	7,62±0,186	8,07±0,165	8,17±0,087	8,06±0,097	7,93±0,039
10	7,87±0,20	7,84±0,078	7,59±0,165	7,91±0,093	8,16±0,107	7,98±0,033	7,92±0,061
15	7,81±0,06	7,80±0,095	7,51±0,169	7,89±0,087	8,17±0,052	7,96±0,021	7,87±0,042
20	7,86±0,08	7,72±0,051	7,47±0,042	7,97±0,078	8,20±0,065	7,90±0,038	7,83±0,063
25	7,81	7,68	7,31	7,96	8,18	7,85±0,050	7,78
30	7,78	7,68	7,41	7,78	8,08	7,90	7,77
35		7,68	7,35	7,94	8,09	7,92	7,68
40		7,66	7,42		8,02	7,85	7,64
45							

**Anexo 12.** pH determinados en Bahía Caldera durante las campañas invernales desde 1994 a 2008.

Profundidad (m)	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
0	7,85 ± 0,06	7,77 ± 0,16	8,14 ± 0,03	8,15 ± 0,01	7,88 ± 0,02	7,66 ± 0,01	8,19±0,06	8,14±0,03
5	7,85 ± 0,04	7,68 ± 0,25	8,12 ± 0,03	8,16 ± 0,01	7,86± 0,04	7,62 ± 0,08	8,14±0,07	8,12±0,04
10	7,81 ± 0,06	7,71 ± 0,22	8,11 ± 0,04	8,16 ± 0,02	7,87 ± 0,02	7,65 ± 0,06	8,02±0,07	8,09±0,04
15	7,76 ± 0,02	7,66 ± 0,16	8,09 ± 0,04	8,16 ± 0,01	7,85 ± 0,02	7,64 ± 0,04	7,97±0,09	8,08±0,04
20	7,73 ± 0,03	7,59 ± 0,20	8,08 ± 0,07	8,15 ± 0,01	7,84 ± 0,02	7,65 ± 0,07	7,92±0,04	8,04±0,06
25	7,74 ± 0,01	7,69 ± 0,10	8,05 ± 0,03	8,13	7,85 ± 0,03	7,70	7,86±0,03	7,93
30	7,74	7,67	8,03	8,12	7,84	7,67	7,86±0,07	7,86
35	7,66	7,43	7,95	8,13	7,82	7,63	7,82	7,85
40	7,67	7,28	-	-	7,82	7,62	7,70	7,80
45	7,69	7,73	-	-	-	-	-	-

Profundidad (m)	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
0	7,65±0,14	7,57±0,114	7,88±0,110	7,61±0,047	7,98±0,011	7,68±0,023	7,93±0,038
5	7,60±0,19	7,55±0,105	7,84±0,159	7,57±0,057	7,95±0,032	7,66±0,020	7,87±0,037
10	7,57±0,16	7,48±0,131	7,79±0,185	7,54±0,054	7,92±0,029	7,65±0,009	7,84±0,047
15	7,49±0,17	7,47±0,126	7,79±0,183	7,53±0,032	7,89±0,034	7,64±0,023	7,81±0,050
20	7,47±0,18	7,50±0,108	7,85±0,064	7,50±0,025	7,86±0,014	7,64±0,001	7,80±0,061
25	7,63	7,52	7,78	7,47	7,80	7,63	7,75
30	7,41	7,51	7,80	7,54	7,78	7,64	7,77
35		7,48	7,89	7,57	7,75	7,63	7,71
40		7,48	7,80	7,52		7,64	7,72
45							

**Anexo 13.** Temperatura (°C) en Bahía Caldera durante el verano entre 1993 y 2008.

Estación	Año	superficie	5 m	10 m	20 m
C-01	1993	17,04	16,62	15,90	-
	1994	17,63	16,87	15,35	-
	1995	16,61	15,33	14,51	-
	1996	16,55	15,13	14,59	-
	1997	18,75	17,75	16,27	-
	1998	19,74	19,52	19,17	-
	1999	16,35	15,86	15,66	-
	2000	15,33	14,45	14,33	13,65
	2001	15,64	15,67	14,50	-
	2002	15,09	13,95	13,36	-
	2003	19,99	18,35	16,52	-
	2004	17,71	16,82	16,20	-
	2005	16,96	16,47	15,58	14,92
	2006	19,92	19,87	19,59	-
	2007	15,63	14,91	14,54	-
	2008	14,92	14,43	14,38	-
C-02	1993	17,47	16,70	16,22	14,88
	1994	17,92	16,17	15,25	14,24
	1995	16,78	15,23	14,63	13,67
	1996	16,99	15,91	15,26	13,17
	1997	18,44	17,10	15,69	13,55
	1998	19,99	19,54	19,10	18,51
	1999	15,79	15,67	15,61	14,56
	2000	14,75	14,36	14,12	13,72
	2001	15,44	14,74	14,32	-
	2002	14,28	14,19	13,51	12,99
	2003	19,93	17,05	16,04	14,33
	2004	17,82	16,68	16,10	14,25
	2005	17,23	16,48	15,67	15,36
	2006	20,06	19,90	19,79	17,23
	2007	15,89	15,03	14,43	-
	2008	15,37	15,13	14,68	-

Continuación Anexo 13.

Estación	Año	superficial	5 m	10 m	20 m
C-03	1993	17,19	16,59	16,22	-
	1994	18,04	15,88	15,21	-
	1995	17,12	15,80	15,17	-
	1996	16,72	15,80	14,49	-
	1997	18,70	17,22	15,79	-
	1998	19,99	19,27	19,06	-
	1999	15,95	15,51	15,26	-
	2000	16,03	15,09	14,41	-
	2001	15,75	15,17	14,42	-
	2002	14,78	13,82	13,67	-
	2003	19,70	18,01	16,40	-
	2004	17,24	16,73	16,19	-
	2005	17,08	17,01	15,79	-
	2006	20,16	19,86	19,79	-
	2007	15,37	14,79	14,66	-
	2008	14,85	14,51	14,29	-
C-04	1993	17,58	16,54	16,04	14,58
	1995	16,75	15,87	15,39	14,06
	1996	16,43	15,51	14,06	13,08
	1997	18,68	17,10	15,41	-
	1998	19,61	19,01	18,72	18,27
	1999	16,46	15,66	14,34	13,91
	2000	15,16	14,67	14,30	13,52
	2001	16,10	14,71	14,37	13,56
	2002	14,80	13,47	13,28	13,10
	2003	19,80	18,35	16,52	14,44
	2004	17,88	16,83	15,94	14,28
	2005	17,63	16,83	15,64	15,14
2006	20,22	19,88	19,74	16,92	
2007	15,71	15,02	14,42	14,11	
2008	15,59	15,22	14,45	13,19	

Continuación Anexo 13.

Estación	Año	superficial	5 m	10 m	20 m
C-08	1993	16,80	15,95	-	-
	1994	17,93	16,08	-	-
	1995	16,74	14,44	-	-
	1996	17,54	15,18	-	-
	1997	18,84	17,00	-	-
	1998	19,75	19,26	-	-
	1999	17,53	15,28	-	-
	2000	18,05	-	-	-
	2001	17,41	15,14	-	-
	2002	14,77	13,25	-	-
	2003	19,43	16,99	-	-
	2004	18,35	16,19	-	-
	2005	18,21	15,86	-	-
	2006	21,34	19,90	-	-
	2007	17,24	14,63	-	-
	2008	17,73	15,45	-	-
C-09	1993	17,66	16,65	-	-
	1995	16,95	14,81	17,18	-
	1996	18,50	16,05	-	-
	1997	18,93	18,93	-	-
	1998	20,09	18,62	18,27	-
	1999	18,55	17,46	-	-
	2000	17,90	14,71	-	-
	2001	17,77	17,39	-	-
	2002	14,47	13,31	-	-
	2003	19,89	18,69	-	-
	2004	17,90	15,97	-	-
	2005	19,46	16,50	14,23	-
	2006	21,90	20,15	18,64	-
2007	17,26	17,09	-	-	
2008	17,69	17,36	-	-	

Continuación Anexo 13.

Estación	Año	superficial	5 m	10 m	20 m
C-10	1993	17,51	16,45	15,34	-
	1994	18,21	16,02	14,94	-
	1995	17,09	14,75	13,88	-
	1996	18,30	16,16	13,54	-
	1997	18,61	17,34	14,88	-
	1998	19,48	18,40	18,01	-
	1999	16,76	16,14	15,91	-
	2000	18,11	14,72	-	-
	2001	17,15	15,95	15,28	-
	2002	14,92	13,14	12,88	-
	2003	19,38	17,94	16,16	-
	2004	18,98	16,17	14,88	-
	2005	18,48	16,33	14,28	-
	2006	21,18	20,40	19,95	-
	2007	17,38	17,30	16,60	-
	2008	17,03	16,63	14,89	-
C-13	1994	17,74	16,03	15,45	-
	1995	16,48	15,23	14,32	13,38
	1996	17,16	15,56	14,14	-
	1997	17,94	16,53	15,23	-
	1998	20,10	18,79	18,53	-
	1999	16,36	15,10	14,53	13,99
	2000	16,16	15,21	14,24	13,48
	2001	16,66	14,76	14,16	13,26
	2002	14,92	14,12	13,46	-
	2003	19,69	18,91	16,53	14,64
	2004	17,61	16,22	15,63	-
	2005	17,95	16,64	15,58	13,93
2006	20,16	19,88	19,86	16,76	
2007	16,98	15,66	14,77	13,97	
2008	15,91	14,99	14,45	13,18	

Anexo 14. Temperatura (°C) en Bahía Caldera durante el invierno entre 1993 y 2007.

Estación	Año	superficie	5 m	10 m	20 m
C-01	1993	14,33	14,15	14,09	-
	1994	14,21	14,06	13,94	-
	1995	14,68	14,30	14,12	-
	1996	14,48	14,47	14,47	-
	1997	16,74	16,77	16,74	-
	1998	14,30	14,04	13,79	-
	1999	13,66	13,54	13,51	-
	2000	14,35	14,12	13,99	-
	2001	14,07	13,95	13,84	13,59
	2002	13,49	13,46	13,37	-
	2003	13,46	13,41	13,03	-
	2004	13,18	12,88	12,82	12,66
	2005	13,60	13,56	13,22	-
	2006	14,46	14,39	14,14	13,43
	2007	12,77	12,63	12,47	-
	C-02	1993	14,35	14,14	14,09
1994		14,18	14,13	13,88	13,88
1995		14,68	14,32	14,01	13,48
1996		14,66	14,51	14,50	-
1997		16,71	16,74	16,74	16,73
1998		13,74	13,73	13,54	13,31
1999		13,79	13,69	13,68	13,53
2000		14,34	14,16	14,07	-
2001		14,07	14,03	13,85	13,43
2002		13,54	13,11	12,81	12,72
2003		13,51	13,47	13,46	13,03
2004		13,19	13,14	12,86	-
2005		13,65	13,52	13,29	13,09
2006		14,48	14,46	14,11	-
2007		12,67	12,65	12,59	12,58
2008		13,87	13,73	13,57	13,51

Continuación Anexo 14.

Estación	Año	superficial	5 m	10 m	20 m
C-03	1993	14,31	14,13	14,09	14,09
	1994	14,06	13,97	13,88	13,81
	1995	14,67	13,38	14,01	13,72
	1996	14,64	14,52	14,50	14,11
	1997	14,73	16,73	16,77	16,77
	1998	13,81	13,62	13,55	-
	1999	13,83	13,81	13,80	-
	2000	14,63	14,14	14,06	-
	2001	14,12	14,01	13,98	-
	2002	13,56	13,28	12,94	-
	2003	13,54	13,49	13,47	-
	2004	13,27	13,07	12,82	-
	2005	13,62	13,52	13,30	-
	2006	14,52	14,44	14,12	-
	2007	12,87	12,65	12,54	-
	2008	13,78	13,78	13,76	-
	C-04	1993	14,39	14,18	14,15
1994		-	-	-	-
1995		14,58	14,28	14,02	13,57
1996		14,68	14,66	14,53	14,38
1997		16,78	16,79	16,78	16,70
1998		13,91	13,66	13,42	13,35
1999		13,76	13,73	13,72	13,70
2000		14,37	14,11	14,04	14,03
2001		14,03	13,87	13,89	13,64
2002		13,60	13,40	12,84	12,81
2003		13,51	13,46	13,43	13,03
2004		13,23	13,06	12,83	12,66
2005	13,68	13,45	13,21	13,08	
2006	14,55	14,13	13,83	13,52	
2007	12,70	12,67	12,54	12,51	
2008	13,80	13,77	13,64	13,61	

Continuación Anexo 14.

Estación	Año	superficial	5 m	10 m	20 m
C-08	1993	14,28	14,24	-	-
	1994	14,79	14,12	-	-
	1995	14,48	14,25	-	-
	1996	14,65		-	-
	1997	16,95	16,95	-	-
	1998	14,46	14,00	-	-
	1999	13,88	13,79	-	-
	2000	14,54	14,44	-	-
	2001	14,04	13,97	-	-
	2002	13,66	13,39	-	-
	2003	13,84	13,62	-	-
	2004	13,24	13,16	-	-
	2005	14,03	13,97	-	-
	2006	14,45	13,96	-	-
	2007	13,06	12,96	-	-
	2008	13,79	13,80	-	-
C-09	1993	14,51	14,19	-	-
	1994	-	-	-	-
	1995	14,08	14,54	-	-
	1996	14,60	-	-	-
	1997	17,03	17,01	-	-
	1998	14,55	14,21	-	-
	1999	13,85	13,73	-	-
	2000	14,35	14,25	-	-
	2001	13,93	13,88	-	-
	2002	13,67	12,98	-	-
	2003	13,87	13,71	13,28	-
	2004	13,18	12,85	-	-
	2005	14,14	13,19	-	-
	2006	14,56	14,56	-	-
	2007	12,69	12,70	-	-
	2008	14,16	14,06	-	-

Continuación Anexo 14.

Estación	Año	superficial	5 m	10 m	20 m
C-10	1993	14,26	14,16	14,13	13,97
	1994	15,04	14,09	13,38	13,28
	1995	14,21	14,17	14,10	13,62
	1996	14,80	14,80	-	14,73
	1997	17,08	17,07	17,07	17,05
	1998	14,72	14,18	13,59	13,39
	1999	13,74	13,65	13,61	-
	2000	14-23	14,05	14,03	13,76
	2001	13,85	13,84	13,84	-
	2002	13,50	13,01	12,86	-
	2003	13,83	13,69	13,52	-
	2004	12,96	12,86	12,78	-
	2005	14,15	14,06	13,87	-
	2006	14,56	14,56	14,56	-
	2007	12,68	12,68	12,66	-
	2008	13,97	13,75	13,64	-
C-13	1993	-	-	-	-
	1994	14,21	14,16	13,99	13,94
	1995	14,69	14,45	14,17	13,75
	1996	14,67	14,60	14,46	14,37
	1997	16,83	16,80	16,80	16,74
	1998	14,05	13,77	13,63	13,25
	1999	13,83	13,76	13,75	13,72
	2000	14,48	14,27	14,19	-
	2001	14,19	13,96	13,84	-
	2002	13,65	13,40	13,08	-
	2003	13,75	13,59	13,49	13,23
	2004	13,07	13,01	12,91	12,70
	2005	13,71	13,69	13,26	-
2006	14,52	14,09	13,90	13,66	
2007	12,72	12,72	12,63	12,57	
2008	13,77	13,75	13,69	13,64	

**Anexo 15.** Salinidad (psu) en Bahía Caldera durante el verano entre 1993 y 2008.

Estación	Año	superficial	5 m	10 m	20 m
C-01	1993	34,65	-	-	-
	1995	34,61	34,86	34,87	-
	1996	34,30	34,26	34,26	-
	1997	34,58	34,59	34,58	-
	1998	34,99	35,00	35,00	-
	1999	34,36	34,37	34,35	-
	2000	34,20	34,20	34,19	34,19
	2001	34,54	34,59	34,59	-
	2002	34,62	34,62	34,63	-
	2003	34,72	34,74	34,68	-
	2004	34,82	34,80	34,81	-
	2005	34,56	34,56	34,54	34,52
	2006	34,75	34,73	34,71	-
	2007	34,72	34,67	34,69	-
2008	34,42	34,42	34,42	-	
C-02	1993	-	-	-	-
	1994	34,75	34,80	34,85	34,84
	1995	34,46	34,58	34,50	34,20
	1996	34,65	34,54	34,53	34,54
	1997	-	-	-	35,02
	1998	35,07	35,05	35,05	-
	1999	34,30	34,31	34,30	34,32
	2000	34,28	34,20	34,18	34,19
	2001	34,51	34,50	34,54	-
	2002	34,59	34,51	34,52	-
	2003	34,74	34,69	34,68	34,70
	2004	34,91	34,81	34,80	34,81
	2005	34,58	34,57	34,55	34,57
	2006	34,67	34,70	34,72	34,49
2007	34,66	34,65	34,71	-	
2008	34,41	34,42	34,43	-	

Continuación Anexo 15.

Estación	Año	superficial	5 m	10 m	20 m
C-03	1993	34,68	-	-	-
	1995	34,61	34,80	34,80	-
	1996	34,39	34,48	-	-
	1997	34,59	34,56	34,52	-
	1998	34,90	34,89	34,93	-
	1999	34,27	34,29	34,35	-
	2000	34,18	34,19	34,20	-
	2001	34,51	34,52	34,54	-
	2002	34,54	34,56	34,57	-
	2003	34,73	34,75	34,72	-
	2004	34,82	34,80	34,80	-
	2005	34,58	34,58	34,57	-
	2006	34,73	34,73	34,71	-
	2007	34,79	34,69	34,67	-
2008	34,41	34,44	34,44	-	
C-04	1993	-	-	-	-
	1995	34,69	34,80	34,82	34,88
	1996	34,30	34,30	34,21	34,26
	1997	34,48	34,58	34,64	34,73
	1998	34,91	34,95	34,93	34,94
	1999	34,34	34,37	34,38	34,38
	2000	34,21	34,19	34,20	34,19
	2001	34,51	34,51	34,52	34,57
	2002	34,59	34,60	34,61	34,62
	2003	34,74	34,78	34,71	34,68
	2004	34,78	34,79	34,78	34,80
	2005	34,59	34,59	34,58	34,57
	2006	34,67	34,66	34,69	34,52
	2007	34,62	34,63	34,65	34,69
2008	34,43	34,39	34,43	34,46	

Continuación Anexo 15.

C-08	1993	-	-	-	-
	1995	34,74	34,78	-	-
	1996	34,20	34,24	-	-
	1997	34,57	34,54	-	-
	1998	34,90	34,92	-	-
	1999	34,29	34,35	-	-
	2000	34,24	-	-	-
	2001	34,53	34,51	-	-
	2002	34,56	34,55	-	-
	2003	34,74	34,67	-	-
	2004	34,79	34,86	-	-
	2005	34,60	34,57	-	-
	2006	34,73	34,71	-	-
	2007	34,75	35,05	-	-
2008	34,43	34,42	-	-	
C-09	1993	-	-	-	-
	1995	34,73	34,80	-	-
	1996	34,25	34,11	-	-
	1997	34,57	34,57	34,56	-
	1998	34,94	34,96	34,97	-
	1999	34,20	34,31	-	-
	2000	34,18	34,20	-	-
	2001	34,48	34,44	-	-
	2002	34,61	34,62	-	-
	2003	34,72	34,68	-	-
	2004	34,82	34,85	-	-
	2005	34,53	34,47	34,50	-
	2006	34,68	34,69	34,68	-
	2007	34,77	34,74	-	-
2008	34,43	34,43	-	-	

C-10	1995	34,73	34,63	34,76	
	1996	34,30	34,22	34,26	-
	1997	34,56	34,56	34,57	-
	1998	34,80	34,78	34,93	-
	1999	34,33	34,32	34,34	-
	2000	34,19	34,21	34,18	-
	2001	34,50	34,50	34,53	-
	2002	34,58	34,60	34,61	-
	2003	34,73	34,72	34,66	-
	2004	34,78	34,75	34,77	-
	2005	34,57	34,57	34,58	-
	2006	34,73	34,70	34,66	-
	2007	34,86	34,67	34,40	-
2008	34,43	34,42	34,43	-	
C-13	1995	34,65	34,81	34,91	-
	1996	34,39	34,40	34,29	-
	1997	34,57	34,56	34,56	34,59
	1998	34,98	35,03	35,01	-
	1999	34,26	34,36	34,49	34,57
	2000	34,20	34,19	34,19	34,19
	2001	34,53	34,53	34,55	34,60
	2002	34,66	34,66	34,66	-
	2003	34,73	34,74	34,67	34,69
	2004	34,62	34,80	34,78	-
	2005	34,59	34,59	34,56	34,62
	2006	34,72	34,71	34,73	34,45
	2007	34,74	34,77	34,73	34,73
2008	34,43	34,41	34,42	34,52	

**Anexo 16.** Salinidad (psu) en Bahía Caldera durante el invierno entre 1993 y 2008.

Estación	Año	Superficial	5 m	10 m	20 m
C-01	1993	34,79	-	-	-
	1994	-	-	-	-
	1995	34,52	34,57	34,58	34,58
	1996	34,43	34,44	34,45	-
	1997	34,77	34,85	34,87	-
	1998	34,64	34,66	34,68	34,71
	1999	34,52	34,57	34,57	-
	2000	34,56	34,56	34,57	-
	2001	34,43	34,44	34,45	34,51
	2002	34,59	34,59	34,61	-
	2003	34,86	34,86	34,86	-
	2004	34,70	34,72	34,73	34,76
	2005	34,68	34,67	34,69	-
	2006	34,68	34,66	34,67	-
	2007	34,84	34,84	34,80	34,79
	2008	34,57	34,56	34,55	-
C-02	1993	-	-	-	-
	1994	-	-	-	-
	1995	34,52	34,57	34,54	34,60
	1996	34,46	34,46	34,46	-
	1997	34,70	34,80	34,82	34,87
	1998	34,65	34,66	34,69	34,71
	1999	34,52	34,54	34,54	34,58
	2000	34,54	34,55	34,55	-
	2001	34,33	34,37	34,42	34,52
	2002	34,63	34,65	34,70	34,76
	2003	34,86	34,85	34,86	34,86
	2004	34,82	34,76	34,79	34,703
	2005	34,66	34,65	34,68	-
	2006	34,68	34,67	34,67	-
	2007	34,79	34,80	34,79	-
	2008	34,52	34,52	34,48	34,47

Continuación Anexo 16.

Estación	Año	Superficial	5 m	10 m	20 m
C-03	1993	34,77	-	-	-
	1994	-	-	-	-
	1995	34,52	34,59	34,56	-
	1996	34,46	34,45	34,43	34,46
	1997	34,79	34,80	34,83	-
	1998	34,70	34,74	34,73	-
	1999	34,52	34,52	34,53	-
	2000	34,57	34,57	34,57	-
	2001	34,50	34,51	34,53	-
	2002	34,65	34,62	34,67	-
	2003	34,85	34,86	34,86	-
	2004	34,65	34,68	34,72	-
	2005	34,66	34,70	34,69	-
	2006	34,68	34,67	34,68	-
	2007	34,82	34,85	34,79	-
	2008	34,60	34,56	34,56	-
C-04	1993	-	-	-	-
	1994	-	-	-	-
	1995	34,52	34,56	34,53	34,55
	1996	34,46	34,48	34,47	34,46
	1997	34,77	34,81	34,83	34,86
	1998	34,62	34,68	34,68	34,67
	1999	34,50	34,51	34,52	34,52
	2000	34,57	34,56	34,56	34,56
	2001	34,42	34,43	34,45	34,53
	2002	34,66	34,63	34,66	34,69
	2003	34,86	34,87	34,87	34,87
	2004	34,77	34,77	34,80	34,84
	2005	34,65	34,67	34,69	34,70
	2006	34,68	34,67	34,69	34,72
	2007	34,79	34,80	34,79	34,79
	2008	34,51	34,58	34,57	34,57

Continuación Anexo 16.

Estación	Año	superficial	5 m	10 m	20 m
C-08	1993	-	-	34,74	-
	1994	-	-	-	-
	1995	34,51	34,46	-	-
	1996	34,42	-	-	-
	1997	34,80	34,80	-	-
	1998	34,55	34,61	-	-
	1999	34,48	34,50	-	-
	2000	34,55	34,56	-	-
	2001	33,88	33,88	-	-
	2002	34,66	34,63	-	-
	2003	34,87	34,87	-	-
	2004	34,73	34,74	-	-
	2005	34,65	34,65	-	-
	2006	34,68	34,67	-	-
	2007	34,77	34,83	-	-
	C-09	2008	34,53	34,54	34,55
1993		-	-	-	-
1994		-	-	-	-
1995		34,59	34,62	-	-
1996		34,48	-	-	-
1997		34,79	34,81	-	-
1998		34,59	34,60	-	-
1999		34,44	34,48	-	-
2000		34,57	34,57	-	-
2001		33,86	33,88	-	-
2002		34,66	34,70	-	-
2003		34,88	34,88	34,87	-
2004		34,72	34,74	-	-
2005		34,67	34,72	-	-
2006		34,67	34,67	-	-
2007		34,77	34,79	-	-
2008	34,55	34,58	-	-	

Continuación Anexo 16.

Estación	Año	superficial	5 m	10 m	20 m
C-10	1993	-	-	-	-
	1994	-	-	-	-
	1995	34,58	34,63	34,62	-
	1996	34,49	34,49	-	-
	1997	34,80	34,81	34,81	-
	1998	34,49	34,65	34,66	34,62
	1999	34,50	34,51	34,52	-
	2000	34,57	34,56	34,56	34,58
	2001	34,01	33,96	33,98	-
	2002	34,58	34,62	34,68	-
	2003	34,85	-	-	-
	2004	34,62	34,66	34,69	-
	2005	34,55	34,60	34,63	-
	2006	34,67	34,67	34,67	-
	2007	34,79	34,79	34,79	-
	2008	34,55	34,60	34,54	-
C-13	1993	-	-	-	-
	1994	-	-	-	-
	1995	34,48	34,56	34,55	-
	1996	34,48	34,49	34,47	-
	1997	34,82	34,83	34,85	-
	1998	34,58	34,67	34,65	34,69
	1999	34,53	34,52	34,53	34,53
	2000	34,57	34,57	34,56	-
	2001	34,45	34,39	34,39	-
	2002	34,60	34,60	34,65	-
	2003	34,85	34,85	34,85	-
	2004	34,73	34,74	34,75	34,79
	2005	34,65	34,66	34,68	-
	2006	34,68	34,65	34,67	34,71
	2007	34,80	34,80	34,79	34,79
	2008	34,54	34,55	34,54	34,53

**Anexo 17.** Concentraciones promedios  $\pm$  desviación estándar de cobre ( $\mu\text{g l}^{-1}$ ) en agua de mar determinadas en Bahía Caldera entre 1999 y 2008. Los signos <, >, = significan valores significativamente mayores, menores ( $p < 0,05$ ) o ausencia de diferencias significativas ( $p > 0,05$ ), respectivamente.

Estación	Verano 1999	Invierno 1999	Verano 2000	Invierno 2000	Verano 2001	Invierno 2001	Verano 2002
C-01	0,889 $\pm$ 0,113	= 0,781 $\pm$ 0,070	= 0,888 $\pm$ 0,155	= 1,171 $\pm$ 0,356	= 0,836 $\pm$ 0,080	= 1,103 $\pm$ 0,181	= 0,705 $\pm$ 0,118
C-02	0,485 $\pm$ 0,177	< 0,724 $\pm$ 0,112	= 0,774 $\pm$ 0,036	= 1,166 $\pm$ 0,364	= 0,954 $\pm$ 0,105	= 0,930 $\pm$ 0,582	= 0,589 $\pm$ 0,060
C-03	0,743 $\pm$ 0,167	= 0,602 $\pm$ 0,109	= 0,708 $\pm$ 0,120	= 1,223 $\pm$ 0,262	> 0,829 $\pm$ 0,079	< 1,519 $\pm$ 0,401	> 0,831 $\pm$ 0,087
C-04	0,653 $\pm$ 0,153	< 1,286 $\pm$ 0,295	= 1,046 $\pm$ 0,260	= 0,942 $\pm$ 0,225	< 1,730 $\pm$ 0,107	= 1,255 $\pm$ 0,237	= 0,477 $\pm$ 0,066
C-13	0,367 $\pm$ 0,019	< 0,657 $\pm$ 0,224	= 0,755 $\pm$ 0,076	= 0,808 $\pm$ 0,220	= 0,706 $\pm$ 0,055	= 1,074 $\pm$ 0,571	= 0,437 $\pm$ 0,033
C-08	0,692 $\pm$ 0,211	= 0,518 $\pm$ 0,035	= 0,867 $\pm$ 0,433	= 1,394 $\pm$ 0,480	= 0,798 $\pm$ 0,036	< 1,886 $\pm$ 0,144	= 1,899 $\pm$ 0,083
C-09	3,461 $\pm$ 0,587	> 0,630 $\pm$ 0,189	= 0,645 $\pm$ 0,049	< 1,323 $\pm$ 0,242	> 0,570 $\pm$ 0,054	< 1,817 $\pm$ 0,472	> 0,623 $\pm$ 0,050
C-10	1,541 $\pm$ 0,279	> 0,944 $\pm$ 0,068	= 0,894 $\pm$ 0,023	= 0,734 $\pm$ 0,185	< 0,936 $\pm$ 0,095	= 0,758 $\pm$ 0,149	= 0,715 $\pm$ 0,112

Estación	Verano 2002	Invierno 2002	Verano 2003	Invierno 2003	Verano 2004	Invierno 2004	Verano 2005
C-01	0,705 $\pm$ 0,118	= 0,728 $\pm$ 0,094	< 0,892 $\pm$ 0,077	= 0,917 $\pm$ 0,084	= 1,054 $\pm$ 0,328	= 0,602 $\pm$ 0,105	< 0,975 $\pm$ 0,311
C-02	0,589 $\pm$ 0,060	< 0,740 $\pm$ 0,029	> 0,609 $\pm$ 0,046	= 0,644 $\pm$ 0,073	< 1,228 $\pm$ 0,399	< 1,943 $\pm$ 0,382	> 1,240 $\pm$ 0,382
C-03	0,831 $\pm$ 0,087	= 0,710 $\pm$ 0,156	= 0,599 $\pm$ 0,098	< 0,739 $\pm$ 0,079	= 0,837 $\pm$ 0,124	> 0,524 $\pm$ 0,038	= 0,490 $\pm$ 0,190
C-04	0,477 $\pm$ 0,066	< 1,149 $\pm$ 0,171	= 1,141 $\pm$ 0,367	> 0,514 $\pm$ 0,030	< 1,025 $\pm$ 0,363	= 0,935 $\pm$ 0,117	> 0,299 $\pm$ 0,048
C-13	0,437 $\pm$ 0,033	< 0,500 $\pm$ 0,117	= 0,531 $\pm$ 0,094	= 0,476 $\pm$ 0,122	< 0,801 $\pm$ 0,091	> 0,578 $\pm$ 0,070	> 0,354 $\pm$ 0,114
C-08	1,899 $\pm$ 0,083	> 1,425 $\pm$ 0,330	= 1,584 $\pm$ 0,158	= 1,534 $\pm$ 0,589	= 1,060 $\pm$ 0,252	= 1,640 $\pm$ 0,617	< 4,207 $\pm$ 1,103
C-09	0,623 $\pm$ 0,050	< 1,360 $\pm$ 0,376	< 2,509 $\pm$ 0,298	> 0,572 $\pm$ 0,096	< 1,229 $\pm$ 0,219	= 1,210 $\pm$ 0,145	< 3,323 $\pm$ 0,968
C-10	0,715 $\pm$ 0,112	= 1,073 $\pm$ 0,107	> 0,756 $\pm$ 0,172	= 0,540 $\pm$ 0,101	< 1,397 $\pm$ 0,579	= 1,787 $\pm$ 0,247	> 1,253 $\pm$ 0,091

**Anexo 17.** (Continuación). Concentraciones promedios  $\pm$  desviación estándar de cobre ( $\mu\text{g l}^{-1}$ ) en agua de mar determinadas en Bahía Caldera entre 1999 y 2008. Los signos  $<$ ,  $>$ ,  $=$  significan valores significativamente mayores, menores ( $p < 0,05$ ) o ausencia de diferencias significativas ( $p > 0,05$ ), respectivamente.

Estación	Verano 2005		Invierno 2005		Verano 2006		Invierno 2006		Verano 2007		Invierno 2007		Verano 2008
C-01	0,975 $\pm$ 0,311	=	1,570 $\pm$ 0,419	>	0,918 $\pm$ 0,210	<	1,390 $\pm$ 0,299	=	1,370 $\pm$ 0,209	>	1,016 $\pm$ 0,026	<	1,248 $\pm$ 0,131
C-02	1,240 $\pm$ 0,382	=	1,190 $\pm$ 0,050	=	1,763 $\pm$ 0,774	=	0,561 $\pm$ 0,027	<	0,939 $\pm$ 0,094	=	0,862 $\pm$ 0,040	<	1,006 $\pm$ 0,049
C-03	0,490 $\pm$ 0,190	=	1,030 $\pm$ 0,434	=	1,089 $\pm$ 0,355	=	0,819 $\pm$ 0,114	<	1,084 $\pm$ 0,130	>	0,760 $\pm$ 0,026	<	1,108 $\pm$ 0,084
C-04	0,299 $\pm$ 0,048	<	1,240 $\pm$ 0,111	>	0,694 $\pm$ 0,025	=	1,064 $\pm$ 0,172	=	1,137 $\pm$ 0,112	>	0,678 $\pm$ 0,021	<	1,123 $\pm$ 0,047
C-13	0,354 $\pm$ 0,114	<	2,197 $\pm$ 0,284	>	0,422 $\pm$ 0,005	<	1,540 $\pm$ 0,105	>	1,237 $\pm$ 0,118	=	0,996 $\pm$ 0,034	<	1,257 $\pm$ 0,032
C-08	4,207 $\pm$ 1,103	>	2,037 $\pm$ 0,251	>	1,077 $\pm$ 0,021	=	1,327 $\pm$ 0,179	=	1,237 $\pm$ 0,126	>	0,831 $\pm$ 0,027	<	1,357 $\pm$ 0,047
C-09	3,323 $\pm$ 0,968	>	1,230 $\pm$ 0,246	=	1,507 $\pm$ 0,371	=	1,430 $\pm$ 0,199	=	1,560 $\pm$ 0,121	>	0,889 $\pm$ 0,017	<	1,573 $\pm$ 0,061
C-10	1,253 $\pm$ 0,091	<	1,897 $\pm$ 0,202	=	1,683 $\pm$ 0,127	>	1,330 $\pm$ 0,123	=	1,473 $\pm$ 0,083	>	1,047 $\pm$ 0,045	<	1,427 $\pm$ 0,021

Estación	Verano 2008		Invierno 2008
C-01	1,248 $\pm$ 0,131	=	1,085 $\pm$ 0,079
C-02	1,006 $\pm$ 0,049	<	1,203 $\pm$ 0,046
C-03	1,108 $\pm$ 0,084	=	1,098 $\pm$ 0,030
C-04	1,123 $\pm$ 0,047	>	0,979 $\pm$ 0,029
C-13	1,257 $\pm$ 0,032	>	1,110 $\pm$ 0,069
C-08	1,357 $\pm$ 0,047	=	1,317 $\pm$ 0,191
C-09	1,573 $\pm$ 0,061	>	1,317 $\pm$ 0,127
C-10	1,427 $\pm$ 0,021	>	1,001 $\pm$ 0,034

**Anexo 18.** Concentraciones promedios  $\pm$  desviación estándar de hierro ( $\mu\text{g l}^{-1}$ ) en agua de mar determinadas en Bahía Caldera entre 1999 y 2008. Los signos  $<$ ,  $>$ ,  $=$  significan valores significativamente mayores, menores ( $p < 0,05$ ) o ausencia de diferencias significativas ( $p > 0,05$ ), respectivamente.

Estación	Verano 1999		Invierno 1999		Verano 2000		Invierno 2000		Verano 2001		Invierno 2001		Verano 2002
C-01	7,59 $\pm$ 1,07	>	1,21 $\pm$ 0,56	=	1,54 $\pm$ 0,29	=	1,07 $\pm$ 0,07	=	1,26 $\pm$ 0,16	=	1,09 $\pm$ 0,03	=	1,22 $\pm$ 0,09
C-02	3,75 $\pm$ 0,67	>	1,51 $\pm$ 0,35	=	1,67 $\pm$ 0,55	=	1,77 $\pm$ 0,17	=	1,67 $\pm$ 0,09	>	1,32 $\pm$ 0,07	=	1,21 $\pm$ 0,10
C-03	4,81 $\pm$ 1,00	>	1,59 $\pm$ 0,24	=	1,84 $\pm$ 0,42	=	1,58 $\pm$ 0,26	=	1,28 $\pm$ 0,22	=	1,41 $\pm$ 0,11	=	1,45 $\pm$ 0,10
C-04	5,44 $\pm$ 0,68	>	3,41 $\pm$ 0,36	=	2,49 $\pm$ 1,25	=	1,50 $\pm$ 0,36	=	1,42 $\pm$ 0,08	=	1,52 $\pm$ 0,08	=	1,57 $\pm$ 0,08
C-13	5,04 $\pm$ 0,81	>	1,58 $\pm$ 0,33	=	1,71 $\pm$ 0,20	=	1,43 $\pm$ 0,40	=	1,44 $\pm$ 0,12	>	1,22 $\pm$ 0,06	=	1,18 $\pm$ 0,06
C-08	1,39 $\pm$ 0,31	<	2,15 $\pm$ 0,05	=	2,69 $\pm$ 1,01	=	2,71 $\pm$ 0,39	=	2,58 $\pm$ 0,09	=	2,46 $\pm$ 0,29	>	1,96 $\pm$ 0,06
C-09	78,94 $\pm$ 2,44	>	2,40 $\pm$ 0,12	=	1,93 $\pm$ 0,16	>	1,37 $\pm$ 0,06	<	2,15 $\pm$ 0,17	>	1,29 $\pm$ 0,18	=	1,30 $\pm$ 0,23
C-10	9,73 $\pm$ 0,81	>	2,03 $\pm$ 0,22	=	1,81 $\pm$ 0,39	=	1,38 $\pm$ 0,40	=	1,27 $\pm$ 0,14	=	1,34 $\pm$ 0,09	=	1,37 $\pm$ 0,19

Estación	Verano 2002		Invierno 2002		Verano 2003		Invierno 2003		Verano 2004		Invierno 2004		Verano 2005
C-01	1,22 $\pm$ 0,09	=	1,46 $\pm$ 0,26	<	7,028 $\pm$ 0,181	=	5,86 $\pm$ 0,34	=	6,30 $\pm$ 0,32	>	2,05 $\pm$ 0,43	=	1,54 $\pm$ 0,32
C-02	1,21 $\pm$ 0,10	=	1,42 $\pm$ 0,61	<	6,167 $\pm$ 0,582	=	5,76 $\pm$ 0,25	<	6,47 $\pm$ 0,55	>	3,65 $\pm$ 0,58	=	3,08 $\pm$ 0,44
C-03	1,45 $\pm$ 0,10	>	1,13 $\pm$ 0,22	<	7,970 $\pm$ 1,062	>	6,52 $\pm$ 0,34	=	6,90 $\pm$ 1,34	=	5,92 $\pm$ 0,78	=	5,50 $\pm$ 1,08
C-04	1,57 $\pm$ 0,08	>	1,10 $\pm$ 0,09	<	10,377 $\pm$ 0,912	>	8,13 $\pm$ 0,23	<	9,30 $\pm$ 0,27	>	6,13 $\pm$ 0,87	=	7,11 $\pm$ 1,02
C-13	1,18 $\pm$ 0,06	=	1,65 $\pm$ 0,41	<	9,867 $\pm$ 1,365	=	9,86 $\pm$ 0,51	<	11,13 $\pm$ 0,50	>	4,98 $\pm$ 0,27	=	5,00 $\pm$ 1,29
C-08	1,96 $\pm$ 0,06	>	1,14 $\pm$ 0,55	<	11,063 $\pm$ 2,056	=	11,72 $\pm$ 1,40	=	11,67 $\pm$ 0,45	>	5,65 $\pm$ 0,42	=	6,50 $\pm$ 0,56
C-09	1,30 $\pm$ 0,23	=	0,95 $\pm$ 0,12	<	16,033 $\pm$ 1,644	>	11,31 $\pm$ 0,78	>	5,00 $\pm$ 0,80	=	6,39 $\pm$ 0,66	>	4,79 $\pm$ 0,49
C-10	1,37 $\pm$ 0,19	=	1,55 $\pm$ 0,34	<	10,613 $\pm$ 0,873	=	10,23 $\pm$ 0,69	>	5,17 $\pm$ 0,74	=	4,36 $\pm$ 0,48	>	3,27 $\pm$ 0,36

**Anexo 18.** (Continuación) Concentraciones promedios  $\pm$  desviación estándar de hierro ( $\mu\text{g l}^{-1}$ ) en agua de mar determinadas en Bahía Caldera entre 1999 y 2008. Los signos  $<$ ,  $>$ ,  $=$  significan valores significativamente mayores, menores ( $p < 0,05$ ) o ausencia de diferencias significativas ( $p > 0,05$ ), respectivamente.

Estación	Verano 2005		Invierno 2005		Verano 2006		Invierno 2006		Verano 2007		Invierno 2007		Verano 2008
C-01	1,54 $\pm$ 0,32	<	4,59 $\pm$ 0,72	>	3,02 $\pm$ 0,17	<	10,11 $\pm$ 2,13	>	3,43 $\pm$ 0,30	<	4,04 $\pm$ 0,22	=	4,89 $\pm$ 0,88
C-02	3,08 $\pm$ 0,44	=	3,87 $\pm$ 0,31	=	4,48 $\pm$ 0,45	<	7,49 $\pm$ 1,02	>	3,48 $\pm$ 0,83	=	4,12 $\pm$ 0,23	=	4,76 $\pm$ 0,51
C-03	5,50 $\pm$ 1,08	=	4,78 $\pm$ 0,48	<	5,48 $\pm$ 0,20	<	10,40 $\pm$ 2,83	=	7,41 $\pm$ 1,06	=	7,71 $\pm$ 0,79	>	6,23 $\pm$ 0,46
C-04	7,11 $\pm$ 1,02	>	4,46 $\pm$ 0,49	<	7,67 $\pm$ 0,20	=	11,60 $\pm$ 2,71	=	7,69 $\pm$ 1,50	=	6,65 $\pm$ 0,31	=	6,44 $\pm$ 0,27
C-13	5,00 $\pm$ 1,29	=	4,95 $\pm$ 0,19	=	4,87 $\pm$ 0,24	<	26,07 $\pm$ 3,93	>	4,46 $\pm$ 0,39	=	4,40 $\pm$ 0,56	<	10,27 $\pm$ 0,12
C-08	6,50 $\pm$ 0,56	>	4,90 $\pm$ 0,30	<	8,12 $\pm$ 0,14	=	10,49 $\pm$ 2,26	=	8,58 $\pm$ 1,96	=	6,92 $\pm$ 0,25	=	7,27 $\pm$ 0,215
C-09	4,79 $\pm$ 0,49	=	4,94 $\pm$ 0,20	=	4,89 $\pm$ 0,22	<	9,76 $\pm$ 1,10	>	4,27 $\pm$ 0,75	=	4,00 $\pm$ 0,16	<	10,84 $\pm$ 1,70
C-10	3,27 $\pm$ 0,36	<	4,30 $\pm$ 0,31	<	5,38 $\pm$ 0,27	<	14,97 $\pm$ 3,10	>	4,49 $\pm$ 1,26	=	4,16 $\pm$ 0,17	=	4,92 $\pm$ 0,49

Estación	Verano 2008		Invierno 2008
C-01	4,89 $\pm$ 0,88	<	8,185 $\pm$ 0,571
C-02	4,76 $\pm$ 0,51	<	7,640 $\pm$ 0,757
C-03	6,23 $\pm$ 0,46	<	7,870 $\pm$ 0,309
C-04	6,44 $\pm$ 0,27	=	6,503 $\pm$ 0,506
C-13	10,27 $\pm$ 0,12	>	5,070 $\pm$ 0,075
C-08	7,27 $\pm$ 0,215	=	7,140 $\pm$ 0,511
C-09	10,84 $\pm$ 1,70	>	4,893 $\pm$ 0,208
C-10	4,92 $\pm$ 0,49	=	4,937 $\pm$ 0,276

**Anexo 19.** Concentraciones promedios  $\pm$  desviación estándar de plomo ( $\mu\text{g l}^{-1}$ ) en agua de mar determinadas en Bahía Caldera entre 1999 y 2008. Los signos  $<$ ,  $>$ ,  $=$  significan valores significativamente mayores, menores ( $p < 0,05$ ) o ausencia de diferencias significativas ( $p > 0,05$ ), respectivamente.

Estación	Verano 1999	Invierno 1999	Verano 2000	Invierno 2000	Verano 2001	Invierno 2001	Verano 2002
C-01	0,020 $\pm$ 0,002	= 0,014 $\pm$ 0,004	< 0,029 $\pm$ 0,003	= 0,026 $\pm$ 0,006	= 0,028 $\pm$ 0,006	= 0,025 $\pm$ 0,003	> 0,016 $\pm$ 0,003
C-02	0,017 $\pm$ 0,005	= 0,015 $\pm$ 0,005	= 0,025 $\pm$ 0,012	= 0,027 $\pm$ 0,004	= 0,031 $\pm$ 0,005	= 0,028 $\pm$ 0,003	> 0,017 $\pm$ 0,001
C-03	0,020 $\pm$ 0,001	= 0,016 $\pm$ 0,003	= 0,012 $\pm$ 0,002	= 0,022 $\pm$ 0,006	= 0,025 $\pm$ 0,002	= 0,024 $\pm$ 0,002	> 0,014 $\pm$ 0,002
C-04	0,017 $\pm$ 0,004	< 0,026 $\pm$ 0,003	< 0,053 $\pm$ 0,009	> 0,027 $\pm$ 0,004	= 0,034 $\pm$ 0,003	> 0,018 $\pm$ 0,001	= 0,013 $\pm$ 0,004
C-13	0,033 $\pm$ 0,003	> 0,011 $\pm$ 0,001	< 0,025 $\pm$ 0,006	= 0,031 $\pm$ 0,004	= 0,029 $\pm$ 0,003	= 0,023 $\pm$ 0,002	> 0,016 $\pm$ 0,002
C-08	0,028 $\pm$ 0,003	= 0,027 $\pm$ 0,002	= 0,030 $\pm$ 0,006	= 0,023 $\pm$ 0,002	= 0,028 $\pm$ 0,003	> 0,017 $\pm$ 0,003	= 0,015 $\pm$ 0,003
C-09	0,038 $\pm$ 0,002	> 0,014 $\pm$ 0,003	< 0,029 $\pm$ 0,007	= 0,017 $\pm$ 0,003	< 0,029 $\pm$ 0,002	> 0,021 $\pm$ 0,006	> 0,013 $\pm$ 0,003
C-10	0,025 $\pm$ 0,005	= 0,021 $\pm$ 0,001	= 0,023 $\pm$ 0,004	= 0,023 $\pm$ 0,004	< 0,035 $\pm$ 0,003	> 0,019 $\pm$ 0,000	= 0,016 $\pm$ 0,003

Estación	Verano 2002	Invierno 2002	Verano 2003	Invierno 2003	Verano 2004	Invierno 2004	Verano 2005
C-01	0,016 $\pm$ 0,003	= 0,018 $\pm$ 0,002	< 0,129 $\pm$ 0,027	> 0,063 $\pm$ 0,011	> 0,017 $\pm$ 0,003	< 0,057 $\pm$ 0,018	> 0,019 $\pm$ 0,004
C-02	0,017 $\pm$ 0,001	= 0,016 $\pm$ 0,004	= 0,017 $\pm$ 0,003	> 0,013 $\pm$ 0,001	< 0,029 $\pm$ 0,011	= 0,017 $\pm$ 0,002	< 0,024 $\pm$ 0,004
C-03	0,014 $\pm$ 0,002	= 0,017 $\pm$ 0,003	= 0,016 $\pm$ 0,002	= 0,013 $\pm$ 0,003	= 0,019 $\pm$ 0,005	< 0,045 $\pm$ 0,013	= 0,030 $\pm$ 0,010
C-04	0,013 $\pm$ 0,004	= 0,015 $\pm$ 0,004	= 0,013 $\pm$ 0,005	= 0,013 $\pm$ 0,003	< 0,020 $\pm$ 0,001	= 0,026 $\pm$ 0,006	= 0,035 $\pm$ 0,007
C-13	0,016 $\pm$ 0,002	= 0,018 $\pm$ 0,002	= 0,021 $\pm$ 0,007	= 0,015 $\pm$ 0,003	= 0,019 $\pm$ 0,001	< 0,039 $\pm$ 0,005	= 0,031 $\pm$ 0,008
C-08	0,015 $\pm$ 0,003	= 0,015 $\pm$ 0,002	= 0,017 $\pm$ 0,004	= 0,013 $\pm$ 0,001	< 0,034 $\pm$ 0,014	= 0,027 $\pm$ 0,004	= 0,039 $\pm$ 0,022
C-09	0,013 $\pm$ 0,003	= 0,015 $\pm$ 0,004	= 0,015 $\pm$ 0,002	= 0,014 $\pm$ 0,002	< 0,028 $\pm$ 0,004	= 0,032 $\pm$ 0,006	= 0,035 $\pm$ 0,010
C-10	0,016 $\pm$ 0,003	= 0,014 $\pm$ 0,002	= 0,021 $\pm$ 0,005	= 0,020 $\pm$ 0,001	< 0,030 $\pm$ 0,001	< 0,065 $\pm$ 0,010	> 0,035 $\pm$ 0,039

**Anexo 19.** (Continuación) Concentraciones promedios  $\pm$  desviación estándar de plomo ( $\mu\text{g l}^{-1}$ ) en agua de mar determinadas en Bahía Caldera entre 1999 y 2008. Los signos  $<$ ,  $>$ ,  $=$  significan valores significativamente mayores, menores ( $p < 0,05$ ) o ausencia de diferencias significativas ( $p > 0,05$ ), respectivamente.

Estación	Verano 2005	Invierno 2005	Verano 2006	Invierno 2006	Verano 2007	Invierno 2007	Verano 2008
C-01	0,019 $\pm$ 0,004	= 0,021 $\pm$ 0,001	< 0,043 $\pm$ 0,007	= 0,036 $\pm$ 0,005	= 0,034 $\pm$ 0,004	> 0,017 $\pm$ 0,002	< 0,038 $\pm$ 0,002
C-02	0,024 $\pm$ 0,004	= 0,021 $\pm$ 0,002	< 0,027 $\pm$ 0,002	= 0,031 $\pm$ 0,003	= 0,034 $\pm$ 0,002	> 0,024 $\pm$ 0,001	< 0,036 $\pm$ 0,002
C-03	0,030 $\pm$ 0,010	= 0,027 $\pm$ 0,002	= 0,037 $\pm$ 0,010	= 0,029 $\pm$ 0,006	< 0,040 $\pm$ 0,002	> 0,034 $\pm$ 0,002	< 0,040 $\pm$ 0,002
C-04	0,035 $\pm$ 0,007	> 0,019 $\pm$ 0,001	< 0,026 $\pm$ 0,002	= 0,033 $\pm$ 0,008	= 0,047 $\pm$ 0,004	> 0,028 $\pm$ 0,001	< 0,047 $\pm$ 0,002
C-13	0,031 $\pm$ 0,008	= 0,021 $\pm$ 0,002	= 0,027 $\pm$ 0,003	= 0,061 $\pm$ 0,003	< 0,071 $\pm$ 0,002	> 0,027 $\pm$ 0,001	< 0,071 $\pm$ 0,002
C-08	0,039 $\pm$ 0,022	= 0,019 $\pm$ 0,001	= 0,039 $\pm$ 0,009	= 0,043 $\pm$ 0,008	= 0,048 $\pm$ 0,002	> 0,034 $\pm$ 0,001	< 0,052 $\pm$ 0,003
C-09	0,035 $\pm$ 0,010	= 0,022 $\pm$ 0,001	< 0,033 $\pm$ 0,003	= 0,037 $\pm$ 0,009	= 0,043 $\pm$ 0,002	> 0,032 $\pm$ 0,002	< 0,043 $\pm$ 0,003
C-10	0,035 $\pm$ 0,039	< 0,029 $\pm$ 0,001	= 0,032 $\pm$ 0,003	< 0,052 $\pm$ 0,004	= 0,053 $\pm$ 0,002	> 0,028 $\pm$ 0,001	< 0,053 $\pm$ 0,002

Estación	Verano 2008	Invierno 2008
C-01	0,038 $\pm$ 0,002	> 0,029 $\pm$ 0,002
C-02	0,036 $\pm$ 0,002	> 0,025 $\pm$ 0,001
C-03	0,040 $\pm$ 0,002	> 0,031 $\pm$ 0,001
C-04	0,047 $\pm$ 0,002	> 0,029 $\pm$ 0,001
C-13	0,071 $\pm$ 0,002	> 0,026 $\pm$ 0,001
C-08	0,052 $\pm$ 0,003	> 0,033 $\pm$ 0,001
C-09	0,043 $\pm$ 0,003	> 0,033 $\pm$ 0,001
C-10	0,053 $\pm$ 0,002	> 0,029 $\pm$ 0,003

**Anexo 20.** Concentraciones promedios  $\pm$  desviación estándar de cadmio ( $\mu\text{g l}^{-1}$ ) en agua de mar determinadas en Bahía Caldera entre 1999 y 2008. Los signos  $<$ ,  $>$ ,  $=$  significan valores significativamente mayores, menores ( $p < 0,05$ ) o ausencia de diferencias significativas ( $p > 0,05$ ), respectivamente.

Estación	Verano 1999	Invierno 1999	Verano 2000	Invierno 2000	Verano 2001	Invierno 2001	Verano 2002
C-01	0,048 $\pm$ 0,009	> 0,023 $\pm$ 0,002	= 0,025 $\pm$ 0,001	= 0,020 $\pm$ 0,007	= 0,024 $\pm$ 0,006	< 0,054 $\pm$ 0,004	> 0,040 $\pm$ 0,007
C-02	0,039 $\pm$ 0,004	= 0,035 $\pm$ 0,003	= 0,032 $\pm$ 0,001	= 0,031 $\pm$ 0,010	> 0,020 $\pm$ 0,002	< 0,073 $\pm$ 0,036	= 0,033 $\pm$ 0,005
C-03	0,043 $\pm$ 0,005	> 0,025 $\pm$ 0,002	= 0,024 $\pm$ 0,003	= 0,027 $\pm$ 0,007	= 0,021 $\pm$ 0,003	< 0,065 $\pm$ 0,022	> 0,030 $\pm$ 0,001
C-04	0,026 $\pm$ 0,009	= 0,034 $\pm$ 0,008	= 0,034 $\pm$ 0,002	= 0,031 $\pm$ 0,003	= 0,028 $\pm$ 0,002	= 0,039 $\pm$ 0,011	= 0,044 $\pm$ 0,005
C-13	0,022 $\pm$ 0,014	= 0,030 $\pm$ 0,002	> 0,021 $\pm$ 0,001	= 0,017 $\pm$ 0,004	= 0,022 $\pm$ 0,001	< 0,041 $\pm$ 0,008	= 0,034 $\pm$ 0,001
C-08	0,031 $\pm$ 0,003	= 0,028 $\pm$ 0,003	= 0,029 $\pm$ 0,003	< 0,045 $\pm$ 0,006	> 0,017 $\pm$ 0,001	< 0,040 $\pm$ 0,008	= 0,030 $\pm$ 0,005
C-09	0,082 $\pm$ 0,013	> 0,030 $\pm$ 0,001	= 0,030 $\pm$ 0,001	= 0,039 $\pm$ 0,004	> 0,024 $\pm$ 0,001	< 0,051 $\pm$ 0,004	> 0,026 $\pm$ 0,004
C-10	0,016 $\pm$ 0,003	= 0,017 $\pm$ 0,004	< 0,031 $\pm$ 0,001	= 0,023 $\pm$ 0,005	= 0,021 $\pm$ 0,004	< 0,043 $\pm$ 0,002	> 0,026 $\pm$ 0,005

Estación	Verano 2002	Invierno 2002	Verano 2003	Invierno 2003	Verano 2004	Invierno 2004	Verano 2005
C-01	0,040 $\pm$ 0,007	< 0,056 $\pm$ 0,013	= 0,043 $\pm$ 0,008	> 0,023 $\pm$ 0,003	> 0,015 $\pm$ 0,004	< 0,076 $\pm$ 0,011	> 0,039 $\pm$ 0,009
C-02	0,033 $\pm$ 0,005	= 0,042 $\pm$ 0,007	= 0,049 $\pm$ 0,004	= 0,035 $\pm$ 0,012	> 0,013 $\pm$ 0,006	< 0,075 $\pm$ 0,024	= 0,049 $\pm$ 0,034
C-03	0,030 $\pm$ 0,001	< 0,057 $\pm$ 0,004	= 0,053 $\pm$ 0,005	> 0,035 $\pm$ 0,006	> 0,026 $\pm$ 0,004	< 0,086 $\pm$ 0,031	> 0,044 $\pm$ 0,011
C-04	0,044 $\pm$ 0,005	> 0,034 $\pm$ 0,003	< 0,048 $\pm$ 0,007	= 0,046 $\pm$ 0,001	> 0,031 $\pm$ 0,002	< 0,079 $\pm$ 0,012	> 0,046 $\pm$ 0,008
C-13	0,034 $\pm$ 0,001	< 0,049 $\pm$ 0,008	= 0,059 $\pm$ 0,009	> 0,040 $\pm$ 0,002	> 0,032 $\pm$ 0,003	< 0,083 $\pm$ 0,009	> 0,037 $\pm$ 0,010
C-08	0,030 $\pm$ 0,005	< 0,056 $\pm$ 0,004	< 0,063 $\pm$ 0,004	= 0,067 $\pm$ 0,008	= 0,063 $\pm$ 0,007	< 0,070 $\pm$ 0,005	< 0,224 $\pm$ 0,015
C-09	0,026 $\pm$ 0,004	< 0,065 $\pm$ 0,003	= 0,056 $\pm$ 0,005	> 0,039 $\pm$ 0,004	= 0,035 $\pm$ 0,002	= 0,059 $\pm$ 0,018	= 0,063 $\pm$ 0,017
C-10	0,026 $\pm$ 0,005	< 0,047 $\pm$ 0,011	= 0,043 $\pm$ 0,004	= 0,048 $\pm$ 0,003	> 0,031 $\pm$ 0,002	< 0,078 $\pm$ 0,008	> 0,061 $\pm$ 0,010

**Anexo 20.** (Continuación) Concentraciones promedios  $\pm$  desviación estándar de cadmio ( $\mu\text{g l}^{-1}$ ) en agua de mar determinadas en Bahía Caldera entre 1999 y 2008. Los signos  $<$ ,  $>$ ,  $=$  significan valores significativamente mayores, menores ( $p < 0,05$ ) o ausencia de diferencias significativas ( $p > 0,05$ ), respectivamente.

Estación	Verano 2005	Invierno 2005	Verano 2006	Invierno 2006	Verano 2007	Invierno 2007	Verano 2008
C-01	0,039 $\pm$ 0,009	= 0,032 $\pm$ 0,004	= 0,036 $\pm$ 0,009	< 0,064 $\pm$ 0,004	= 0,064 $\pm$ 0,003	> 0,028 $\pm$ 0,002	< 0,061 $\pm$ 0,003
C-02	0,049 $\pm$ 0,034	= 0,051 $\pm$ 0,004	= 0,050 $\pm$ 0,014	= 0,068 $\pm$ 0,008	= 0,056 $\pm$ 0,002	> 0,033 $\pm$ 0,001	< 0,056 $\pm$ 0,002
C-03	0,044 $\pm$ 0,011	= 0,032 $\pm$ 0,003	< 0,042 $\pm$ 0,003	= 0,037 $\pm$ 0,008	< 0,053 $\pm$ 0,008	> 0,034 $\pm$ 0,002	< 0,054 $\pm$ 0,001
C-04	0,046 $\pm$ 0,008	> 0,029 $\pm$ 0,005	< 0,049 $\pm$ 0,007	< 0,077 $\pm$ 0,005	> 0,064 $\pm$ 0,002	> 0,037 $\pm$ 0,001	< 0,060 $\pm$ 0,002
C-13	0,037 $\pm$ 0,010	= 0,031 $\pm$ 0,006	< 0,044 $\pm$ 0,004	< 0,059 $\pm$ 0,005	= 0,060 $\pm$ 0,005	> 0,047 $\pm$ 0,001	< 0,056 $\pm$ 0,003
C-08	0,224 $\pm$ 0,015	> 0,039 $\pm$ 0,003	= 0,117 $\pm$ 0,048	= 0,064 $\pm$ 0,008	= 0,059 $\pm$ 0,002	> 0,034 $\pm$ 0,002	< 0,059 $\pm$ 0,003
C-09	0,063 $\pm$ 0,017	> 0,032 $\pm$ 0,003	< 0,108 $\pm$ 0,017	> 0,050 $\pm$ 0,007	= 0,046 $\pm$ 0,003	= 0,037 $\pm$ 0,009	= 0,048 $\pm$ 0,002
C-10	0,061 $\pm$ 0,010	> 0,039 $\pm$ 0,003	< 0,089 $\pm$ 0,005	> 0,059 $\pm$ 0,004	> 0,050 $\pm$ 0,002	= 0,046 $\pm$ 0,003	= 0,049 $\pm$ 0,003

Estación	Verano 2008	Invierno 2008
C-01	0,061 $\pm$ 0,003	> 0,032 $\pm$ 0,002
C-02	0,056 $\pm$ 0,002	> 0,030 $\pm$ 0,002
C-03	0,054 $\pm$ 0,001	> 0,034 $\pm$ 0,002
C-04	0,060 $\pm$ 0,002	> 0,032 $\pm$ 0,003
C-13	0,056 $\pm$ 0,003	> 0,035 $\pm$ 0,002
C-08	0,059 $\pm$ 0,003	> 0,032 $\pm$ 0,003
C-09	0,048 $\pm$ 0,002	> 0,036 $\pm$ 0,001
C-10	0,049 $\pm$ 0,003	> 0,031 $\pm$ 0,002

**Anexo 21.**

Certificado de análisis de metales en agua y sedimentos determinados en Bahía Caldera durante la campaña estival de 2008





**DETERMINACIONES ELEMENTOS TRAZA EN AGUA DE MAR DE CALDERA.  
MONITOREO DE VERANO, MUESTRAS COLECTADAS EN ENERO DE 2008. MINERA  
CANDELARIA.**

MUESTRA	Cd ( $\mu\text{g/L}$ )	Cu ( $\mu\text{g/L}$ )	Fe ( $\mu\text{g/L}$ )	Pb ( $\mu\text{g/L}$ )
C01-R1	0.057	1.37	4.15	0.04
C01-R2	0.061	1.35	4.1	0.038
C01-R3D1	0.063	1.15	5.74	0.036
C01-R3D2	0.062	1.12	5.55	0.038
C02-R1	0.057	1.06	4.17	0.038
C02-R2	0.056	0.994	5.06	0.035
C02-R3	0.054	0.965	5.06	0.034
C03-R1	0.053	1.15	5.74	0.037
C03-R2	0.055	0.983	5.94	0.04
C03-R3D1	0.053	1.16	6.54	0.04
C03-R3D2	0.056	1.14	6.7	0.041
C04-R1	0.058	1.16	6.73	0.045
C04-R2	0.061	1.14	6.19	0.049
C04-R3	0.061	1.07	6.41	0.047
C08-R1	0.062	1.41	7.05	0.05
C08-R2	0.059	1.34	7.29	0.055
C08-R3	0.057	1.32	7.48	0.052
C09-R1	0.047	1.64	8.91	0.046
C09-R2	0.05	1.52	12.1	0.041
C09-R3	0.046	1.56	11.5	0.043
C10-R1	0.051	1.42	4.49	0.052
C10-R2	0.05	1.45	5.45	0.056
C10-R3	0.046	1.41	4.81	0.052
C13-R1	0.056	1.27	10.2	0.069
C13-R2	0.053	1.28	10.2	0.072
C13-R3	0.059	1.22	10.4	0.072
CASS-4	0.028	0.584	-	0.011
	0.026	0.548	-	0.0081
	0.028	0.604	-	0.0098
PSAM	-	-	4.65	-
	-	-	5.04	-



**LQBIAA. LABORATORIO DE QUÍMICA BIO – INORGÁNICA Y ANALÍTICA AMBIENTAL.**  
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA, FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS. UNIVERSIDAD DE  
ANTOFAGASTA.  
SERVICIOS, INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO.



## **CONTROL DE CALIDAD**

Concentraciones Certificadas (NRC-CNRC) de CASS-4

Cu = 0,592 µg/L; Cd = 0,026 µg/L; Pb= 0,0098 µg/L

PSAM = Patrón secundario de agua de mar, adición de estándar interno

Fe = 10,0 µg/L

Domingo A. Román Silva



**DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN TOTAL DE ELEMENTOS TRAZA EN  
SEDIMENTO MARINO. FRACCIÓN GRANULOMÉTRICA  $\leq 2$  mm, BASE SECA.  
MONITOREO DE VERANO, MUESTRAS COLECTADAS EN ENERO DE 2008. MINERA  
CANDELARIA.**

MUESTRA	Cu ( $\mu\text{g/g}$ )	Cd ( $\mu\text{g/g}$ )	Pb ( $\mu\text{g/g}$ )	Fe ( $\mu\text{g/g}$ )	Zn ( $\mu\text{g/g}$ )
CO1- R1	31.7	0.269	5.03	1477	25.1
CO1- R2	25.4	0.275	5.18	1375.4	27.9
CO1- R3D1	22.7	0.328	5.28	1379.3	27.1
CO1- R3D2	24.2	0.339	5.79	1443.1	22.9
CO2- R1	125	0.301	7.38	6825	68.1
CO2- R2	112.9	0.293	12.3	6842.6	116.1
CO2- R3	102.1	0.313	10.3	4925.6	67.9
CO3- R1	32.1	0.307	4.76	2513.6	51.4
CO3- R2	29.1	0.317	4.59	2323.1	47.6
CO3- R3D1	30.5	0.25	4.24	1911.4	55.4
CO3- R3D2	31.1	0.302	4.58	2011.7	42.8
CO4- R1	48.7	0.453	4.74	5633.9	41.7
CO4- R2	46.6	0.458	4.63	6087	39.1
CO4- R3	54.3	0.485	3.75	4660.4	38
CO8- R1	187.1	0.273	32.3	3763.3	82.6
CO8- R2	237.1	0.293	33.3	5167.3	54.5
CO8- R3	172.9	0.261	30.4	5280.8	57
CO9- R1	217.4	0.252	5.97	7919.5	79.9
CO9- R2	238.6	0.284	5.82	8007.8	83.3
CO9- R3	115	0.287	4.84	6440.5	97.6
C10- R1	17.5	0.302	3.11	2635.4	82.8
C10- R2	21.2	0.301	3.13	3184.5	63.9
C10- R3	24.6	0.359	3.34	3684.3	43.5
C13- R1	41.1	0.181	6.2	3264.8	36.9
C13- R2	35.1	0.208	6.35	2545.3	27.7
C13- R3	41.3	0.24	6.3	2914.6	29.6
MESS-2	39.5	0.24	22.4	43385.2	172.9



**LQBIAA. LABORATORIO DE QUÍMICA BIO – INORGÁNICA Y ANALÍTICA AMBIENTAL.**  
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA, FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS. UNIVERSIDAD DE  
ANTOFAGASTA.  
SERVICIOS, INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO.



## **CONTROL DE CALIDAD**

Concentraciones Certificadas en MESS – 2 (NRC-CNRC). BASE SECA

Cu = 39,3 µg/g; Cd = 0,24 µg/g; Pb = 21,9 µg/g; Fe: 43502,7 µg/g; Zn = 172,0 µg/g

Domingo A. Román Silva

**Anexo 22.**

Certificado de análisis de metales en agua y sedimentos determinados en Bahía Caldera durante la campaña invernal de 2008



**DETERMINACIONES ELEMENTOS TRAZA EN AGUA DE MAR DE CALDERA (a).  
MONITOREO DE INVIERNO, MUESTRAS COLECTADAS EN AGOSTO DE 2008.  
MINERA CANDELARIA.**

MUESTRA	Fe (µg/L)	Cu (µg/L)	Cd (µg/L)	Pb (µg/L)
C01-R1	8,65	1,01	0,032	0,027
C01-R2	8,59	1,19	0,035	0,028
C01-R3D1	8,08	1,10	0,030	0,030
C01-R3D2	7,42	1,04	0,031	0,031
C02-R1	6,80	1,23	0,028	0,026
C02-R2	7,85	1,15	0,031	0,026
C02-R3	8,27	1,23	0,030	0,024
C03-R1	7,69	1,06	0,032	0,029
C03-R2	8,33	1,13	0,037	0,032
C03-R3D1	7,69	1,09	0,033	0,032
C03-R3D2	7,77	1,11	0,035	0,030
C04-R1	6,05	0,973	0,034	0,029
C04-R2	6,41	0,953	0,034	0,030
C04-R3	7,05	1,01	0,029	0,029
C08-R1	7,05	1,52	0,035	0,034
C08-R2	7,69	1,29	0,029	0,032
C08-R3	6,68	1,14	0,033	0,032
C09-R1	5,13	1,46	0,036	0,033
C09-R2	4,81	1,22	0,037	0,033
C09-R3	4,74	1,27	0,036	0,034
C10-R1	4,62	1,04	0,030	0,029
C10-R2	5,06	0,978	0,032	0,032
C10-R3	5,13	0,984	0,031	0,026
C13-R1	5,00	1,15	0,035	0,025
C13-R2	5,06	1,03	0,036	0,027
C13-R3	5,15	1,15	0,033	0,025
CASS-4	-	0,623	0,025	0,0100
	-	0,613	0,025	0,0111
	-	0,603	0,027	0,0107
	5,11	-	-	-
PSAM	4,92	-	-	-

(a) Concentración total disuelta.



**LQBIAA. LABORATORIO DE QUÍMICA BIO – INORGÁNICA Y ANALÍTICA AMBIENTAL.**  
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA, FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS. UNIVERSIDAD DE  
ANTOFAGASTA.  
SERVICIOS, INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO.



## **CONTROL DE CALIDAD**

Concentraciones Certificadas (NRC-CNRC) de CASS-4

Cu = 0,592  $\mu\text{g/L}$ ; Cd = 0,026  $\mu\text{g/L}$ ; Pb= 0,0098  $\mu\text{g/L}$   
Fe = 5,00  $\mu\text{g/L}$  (PSAM = Patrón secundario de agua de mar, adición de estándar interno)

Domingo A. Román Silva



**DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN TOTAL DE ELEMENTOS TRAZA EN  
SEDIMENTO MARINO. FRACCIÓN GRANULOMÉTRICA  $\leq 2$  mm, BASE SECA.  
MONITOREO DE INVIERNO, MUESTRAS COLECTADAS EN AGOSTO DE 2008.  
MINERA CANDELARIA.**

MUESTRA	Cu ( $\mu\text{g/g}$ )	Cd ( $\mu\text{g/g}$ )	Pb ( $\mu\text{g/g}$ )	Fe ( $\mu\text{g/g}$ )	Zn ( $\mu\text{g/g}$ )
CO1- R1	10,7	0,320	4,69	1844,7	28,3
CO1- R2	10,7	0,296	4,38	1814,0	25,9
CO1- R3D1	13,1	0,284	5,78	2305,8	27,3
CO1- R3D2	10,4	0,291	4,86	2278,7	28,4
CO2- R1	64,6	0,318	6,79	4406,4	48,9
CO2- R2	47,4	0,300	6,02	4033,7	41,2
CO2- R3	88,5	0,254	8,57	3925,6	50,3
CO3- R1	8,71	0,249	4,49	1550,9	45,1
CO3- R2	8,69	0,368	3,68	1835,6	53,7
CO3- R3D1	10,2	0,312	5,14	2482,5	50,8
CO3- R3D2	11,1	0,304	5,23	2507,1	45,3
CO4- R1	35,1	0,788	4,38	5261,5	19,1
CO4- R2	30,0	0,802	3,09	4637,5	20,3
CO4- R3	34,0	0,821	3,32	5044,7	11,8
CO8- R1	242	0,335	30,5	7305,5	48,5
CO8- R2	235	0,323	40,3	7465,6	39,6
CO8- R3	221	0,270	22,4	6868,8	34,2
CO9- R1	208	0,456	8,55	10973,3	75,9
CO9- R2	199	0,348	7,83	10925,0	71,6
CO9- R3	199	0,399	3,22	9353,4	83,8
C10- R1	10,7	0,285	1,60	3085,8	19,0
C10- R2	10,3	0,503	3,07	3320,9	33,3
C10- R3	9,08	0,458	4,91	3222,4	29,7
C13- R1	28,9	0,314	7,05	3061,5	10,2
C13- R2	21,0	0,328	6,57	2994,7	11,7
C13- R3	22,9	0,264	8,66	2968,2	8,13
MESS-2	39,2	0,24	21,8	43288,1	172,0



**LQBIAA. LABORATORIO DE QUÍMICA BIO – INORGÁNICA Y ANALÍTICA AMBIENTAL.**  
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA, FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS. UNIVERSIDAD DE  
ANTOFAGASTA.  
SERVICIOS, INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO.



## CONTROL DE CALIDAD

Concentraciones Certificadas en **MESS – 2** (NRC-CNRC). BASE SECA

Cu = 39,3 µg/g; Cd = 0,24 µg/g; Pb = 21,9 µg/g; Fe: 43502,7 µg/g; Zn = 172,0 µg/g

Domingo A. Román Silva

### Anexo 15.

### ANEXO FOTOGRÁFICO

