



**Estudios y Gestión Ambiental S.A.**

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

**INFORME ANUAL 2009**

***Minera  
candelaria***

**Enero de 2010**

# PROGRAMA DE MONITOREO MARINO COSTERO EN BAHÍA CALDERA

## INFORME ANUAL 2009

PREPARADO PARA:

*Minera  
candelaria*

COMPAÑÍA CONTRACTUAL MINERA  
CANDELARIA

PREPARADO POR:



ESTUDIOS Y GESTIÓN AMBIENTAL S.A.

Enero de 2010

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

## **INFORME ANUAL 2009**

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-iii
<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.....	53
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.....	74
<b>5.- CONCLUSIONES</b> .....	75
<b>6.- LITERATURA CITADA</b> .....	79
<b>ANEXOS</b> .....	88



## 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 2009. 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 2009, fue comparado con los resultados reportados históricamente para todo el período de desarrollo del Programa de Monitoreo (1999-2008) y con la información proveniente del estudio de línea base ambiental de 1993.

Los resultados de las campañas de monitoreo realizadas durante 2009 establecen que la clasificación granulométrica presentó un patrón de distribución similar en ambos períodos evaluados, caracterizado por 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 cobre presentó diferencias espaciales y temporales significativas (entre estaciones de muestreo y entre períodos de monitoreo), lo cual se explica por las altas concentraciones asociadas a las estaciones ubicadas en el fondo de saco de la bahía (estaciones C-08 y C-09), y a que las concentraciones determinadas durante el período invernal fueron significativamente superiores a las registradas durante el período estival. De las estaciones monitoreadas en torno a las instalaciones de CCMC en Puerto Punta Padrones, las estaciones C-01y 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 ( $170,7$  y  $54,9 \mu\text{g g}^{-1}$  para verano e invierno, respectivamente). Sin embargo, las concentraciones medidas fueron inferiores al criterio ER-M ( $270 \mu\text{g g}^{-1}$ ).

Durante el período evaluado, los elementos traza zinc, hierro y plomo presentaron un patrón de distribución espacial similar al descrito para el cobre, donde las mayores concentraciones estuvieron asociadas con las estaciones del sector de fondo saco de la bahía (estaciones C-08 y C-09). El cadmio, por su parte, presentó mayores concentraciones asociadas a la estación C-04 en ambos períodos estacionales, explicando la presencia de diferencias espaciales significativas para este metal.

La comparación de las concentraciones determinadas 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 ( $20-30 \mu\text{g g}^{-1}$ ); 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-01, C-03 y C-08 durante la campaña estival, y a C-04, C-09 y C-10 en el período invernal; sin embargo, salvo la estación C-04 durante la campaña estival, 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 2009, 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.

La distribución de la concentración de cobre en agua de mar al interior de bahía Caldera establecieron diferencias temporales y espaciales estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ). Durante el período estival las concentraciones de cobre en agua de mar presentaron un



rango de variación que osciló entre los 1,09 y los 1,33  $\mu\text{g L}^{-1}$ , mientras que durante el invierno presentaron un rango de variación comparativamente menor, oscilando entre los 1,01  $\mu\text{g L}^{-1}$  y los 1,46  $\mu\text{g L}^{-1}$ , 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 evidenciaron diferencias significativas temporales y espaciales durante los monitoreos de 2009, presentando un rango de variación estival entre 4,82 y 7,41  $\mu\text{g L}^{-1}$ , en tanto que durante el invierno se verificó un rango entre los 6,33 y 76,83  $\mu\text{g L}^{-1}$ , detectando mayores concentraciones en el fondo de saco de la bahía. 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 2009 presentaron concentraciones que sólo en algunos casos del período invernal sobrepasaron 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 2009, presentaron concentraciones de cadmio dentro de los rangos considerados como naturales. Además, todas las concentraciones registradas durante el 2009 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 2009 definió aguas con características que se encuentran dentro de los valores observados históricamente para las campanas invernales desarrolladas al interior de Bahía Caldera.

La concentración de oxígeno disuelto estableció una columna de agua bien oxigenada durante los dos períodos estacionales, verificándose un descenso hacia estratos más profundo, posiblemente influenciados por la presencia de aguas de surgencia (AESS) bajas en oxígeno disuelto, procedentes desde el sector costero adyacente a Bahía Caldera.

Finalmente, la fauna marina presentó una marcada disminución en los niveles de abundancia numérica, siendo similares a las abundancias registradas durante la campaña estival de 2008, invernal de 1996 y estival de 2000. Durante este período, y de manera similar a lo verificado en campañas previas, el grupo faunístico mayormente representado fue Mollusca, seguido de Crustacea. Además, durante ambos 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.



## 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 2009, 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 19, 20 y 21 de enero de 2009 (campaña estival) y los días 20, 21 y 22 de julio de 2009 (campaña invernal).

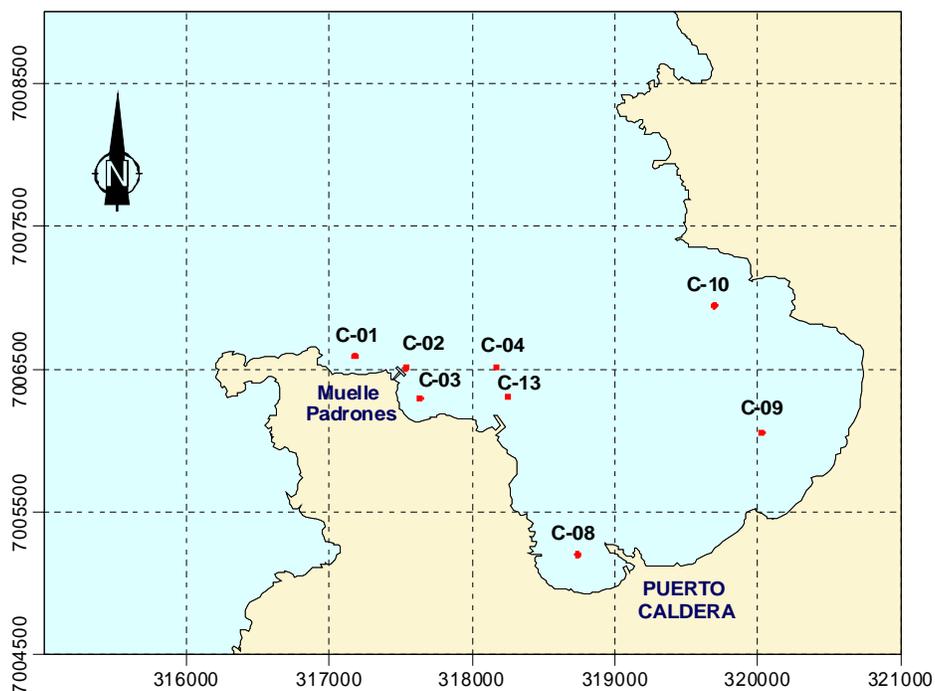
El diseño de muestreo en ambas campañas consideró la evaluación de 8 estaciones de muestreo dispuestas al interior de Bahía Caldera, con especial énfasis en el sector de Puerto Punta Padrones, donde se emplaza el puerto de carguío de concentrado de cobre que Minera Candelaria posee en el sector.

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 2009.

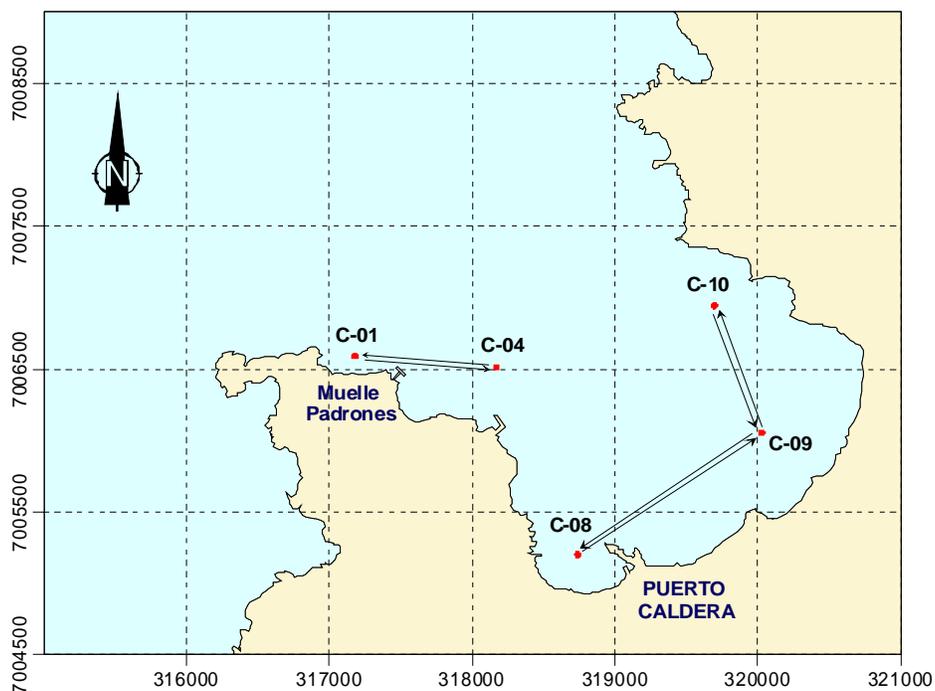
Estación	Coordenada norte	Coordenada este
C-01	7.006.915	317.401
C-02	7.006.823	317.611
C-03	7.006.511	317.720
C-04	7.007.123	318.254
C-13	7.006.452	318.215
C-08	7.005.610	318.800
C-09	7.006.325	320.001

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 2009.

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-01R3B y C-03R3B), 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 R3B-y C03 R3B), 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  $\sigma_t$ ). 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 2009.



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 2009. 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

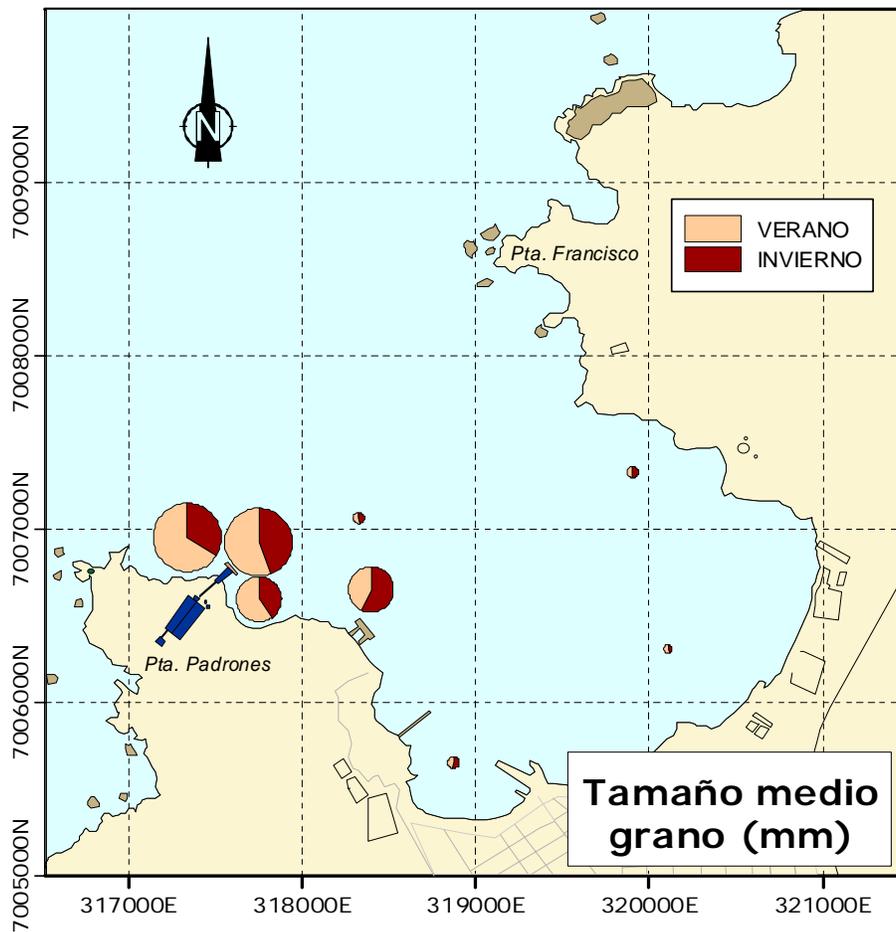
##### 3.1.1. Granulometría

La distribución del tamaño de grano durante las campañas realizadas durante 2009, presentó características similares para los períodos estacionales de verano e invierno, donde se registró sedimentos clasificados como arenas gruesas asociadas en el sector en torno al Puerto Padrones. Hacia el sector de fondo de saco de la bahía (estaciones C-08 y C-09), así como en las estaciones C-04 y C-10 (**Tabla 2, Figura 3**), se verificaron arenas finas.

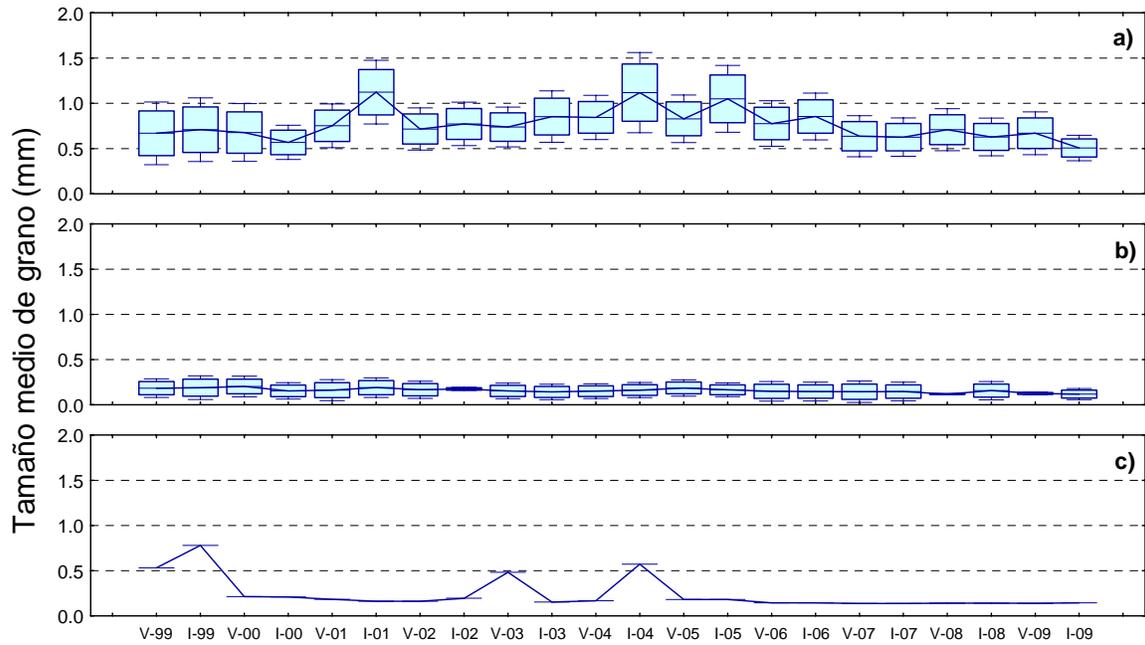
La distribución granulométrica reportada para el período 1999-2009 (**Figura 4**) establece que a pesar de la variabilidad interanual, existe un patrón que tiende a mantenerse en el tiempo caracterizado por un tamaño medio menor en el fondo de saco y el sector oriental de la bahía respecto de las estaciones próximas a Puerto Padrones.

**Tabla 2.** Granulometría de sedimentos sublitorales de Bahía Caldera durante las campañas estival e invernal de 2009.

Estación	Diámetro medio (mm)		phi		Clasificación granulométrica	
	verano 2009	invierno 2009	verano 2009	invierno 2009	verano 2009	invierno 2009
C-01	1,107	0,567	-0,147	0,818	Arena muy gruesa	Arena gruesa
C-02	0,929	0,722	0,106	0,469	Arena gruesa	Arena gruesa
C-03	0,692	0,468	0,531	1,097	Arena gruesa	Arena mediana
C-04	0,147	0,141	2,771	2,821	Arena fina	Arena fina
C-13	0,476	0,630	1,072	0,668	Arena mediana	Arena gruesa
C-08	0,137	0,159	2,864	2,653	Arena fina	Arena muy fina
C-09	0,115	0,075	3,115	3,740	Arena muy fina	Arena fina
C-10	0,140	0,145	2,837	2,784	Arena fina	Arena fina



**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 2009.



**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 2009 se presentan en los **Anexos 3, 4, 5, 6 y 7**, respectivamente.

#### a. Cobre

La distribución de cobre en durante el desarrollo del programa de Monitoreo de 2009 evidenció la existencia de diferencias temporales significativas entre las concentraciones detectadas en las campañas de verano e invierno. En el ámbito espacial, también se observó diferencias estadísticas significativas entre las concentraciones de cobre verificadas en las diferentes estaciones de muestreo al interior del área de estudio.

Durante el verano de 2009, la distribución de cobre en sedimentos de Bahía Caldera presentó una concentración promedio de  $71,6 \pm 82,5 \mu\text{g g}^{-1}$ , observándose un rango de variación entre  $11,3 \pm 2,27$  y  $234,4 \pm 25,0 \mu\text{g g}^{-1}$ . Durante este período se mantuvo el patrón de distribución histórico para esta variable, observándose las máximas concentraciones asociadas al sector de fondo de saco, *i.e.*,  $141,0 \pm 14,5 \mu\text{g g}^{-1}$  y  $234,3 \pm 25,0 \mu\text{g g}^{-1}$ , correspondientes a las estaciones C-08 y C-09, respectivamente (**Figura 5, Tabla 2**). En esta campaña, junto a lo anterior, destacan las altas concentraciones registradas en la estación C-02, cercana al muelle de Punta Padrones, donde se verificó una concentración promedio de  $170,7 \pm 6,5 \mu\text{g g}^{-1}$ . Todas las concentraciones antes señaladas fueron superiores a las establecidas como naturales por Crecelius *et al.*, 1985 ( $20-30 \mu\text{g g}^{-1}$ ), siendo, además, también superiores al rango de efecto bajo, considerado como criterio de toxicidad crónica para sedimentos (ERL) establecido por EPA ( $34 \mu\text{g g}^{-1}$ ); sin embargo, las máximas concentraciones de esta campaña no superaron el criterio ER-M de  $270 \mu\text{g g}^{-1}$  (rango de efecto medio, considerado como criterio de toxicidad aguda para sedimentos).

Todas las estaciones restantes presentaron valores en el rango establecido como concentraciones naturales ( $20-30 \mu\text{g g}^{-1}$ ; Crecelius *et al.*, 1985) y fueron inferiores al criterio de toxicidad crónica ERL.

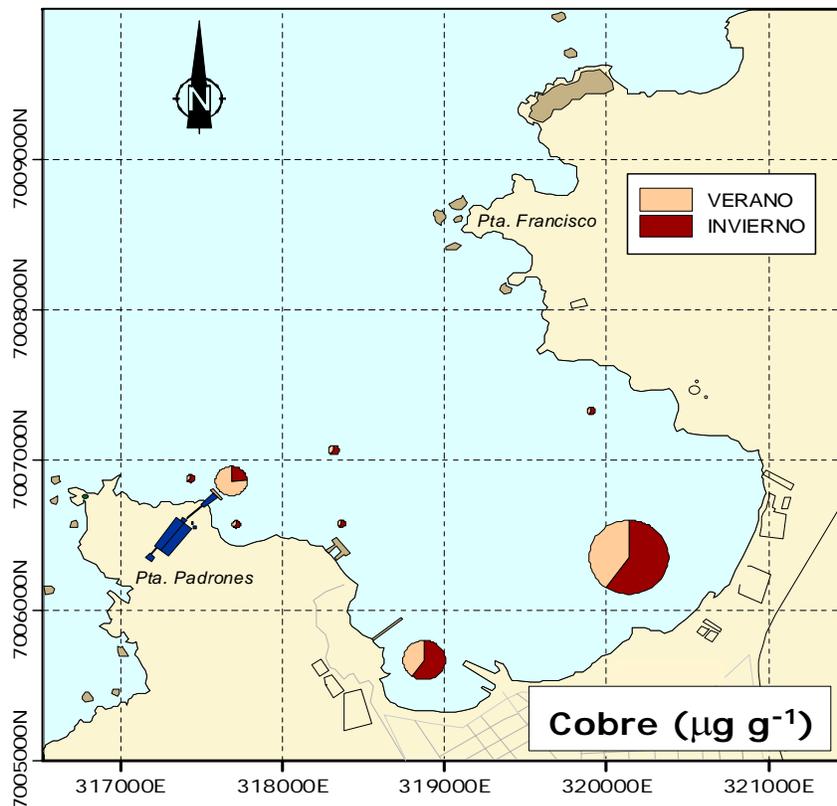
Durante el invierno de 2009 se registró una concentración promedio de cobre de  $84,88 \pm 111,8 \mu\text{g g}^{-1}$ , la cual fue superior a la observada en el período estival. Durante esta campaña, las máximas concentraciones fueron registradas nuevamente en las estaciones del fondo de saco de la bahía ( $183,6 \pm 11,9 \mu\text{g g}^{-1}$  y  $354,3 \pm 485,0 \mu\text{g g}^{-1}$  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 las estación C-02 (frente al Puerto de Punta Padrones) y C-04, las cuales presentaron una concentración promedio de  $54,9$  y  $43,57 \mu\text{g g}^{-1}$ , respectivamente (**Figura 5, Tabla 2**),



superando en ambos casos el criterio ERL ( $34 \mu\text{g g}^{-1}$ ), pero que fue inferior al criterio ERM ( $270 \mu\text{g g}^{-1}$ ).

La distribución de la concentración de cobre durante ambos periodos estacionales de 2009, ratificó el patrón de distribución histórico observado al interior de Bahía Caldera, donde las mayores concentraciones de este metal han sido detectados permanentemente en el sector de fondo de saco de la bahía (estaciones C-08 y C09), contrastando con menores valores registrados en el resto de la bahía.

Las concentraciones registradas durante las campañas de 2009 fueron, en general, menores de las determinadas para el estudio de Línea Base Ambiental de 1993, a excepción de los valores registrados en las estaciones C-02 y C-09 que fueron mayores (**Tabla 2**).



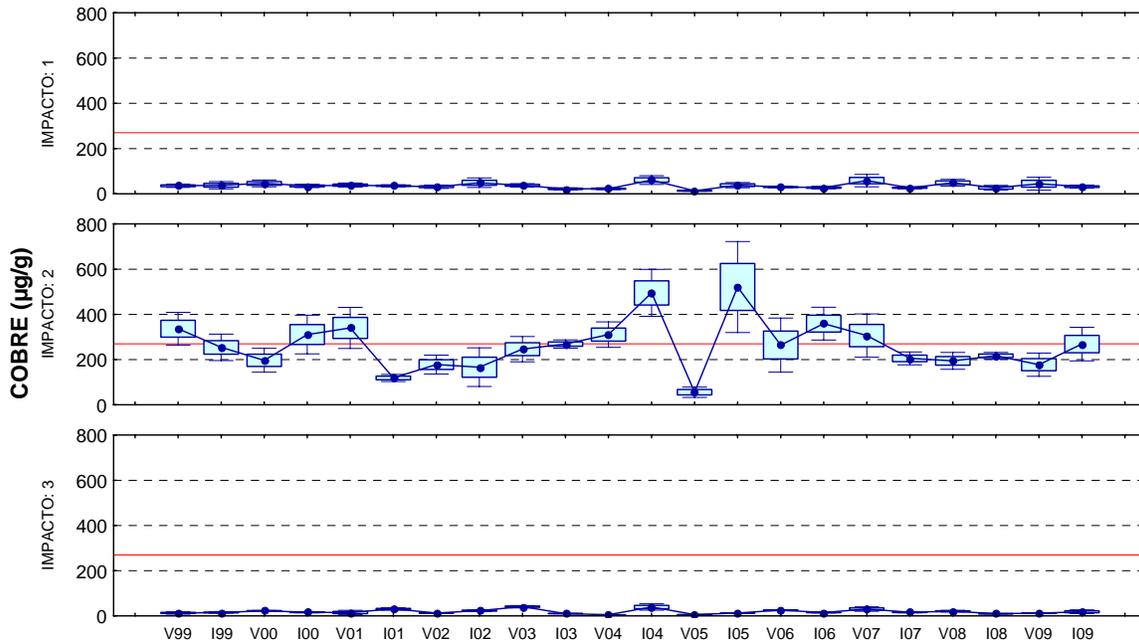
**Figura 5.** Distribución de la concentración de cobre en sedimentos sublitorales al interior de Bahía Caldera durante los periodos estival e invernal de 2009.

**Tabla 3.** 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 2009. Se incluye las concentraciones promedio del estudio de Línea Base ambiental para el área de estudio.

Estación	Línea Base 1993	Verano 2009	Invierno 2009
Bahía Inglesa	11,5 $\pm$ 05,5		
C-01	24,8	12,19 $\pm$ 1,80	21,85 $\pm$ 0,89
C-02	41,9	170,67 $\pm$ 6,51	54,90 $\pm$ 5,86
C-03	28,6 $\pm$ 02,9	11,30 $\pm$ 2,27	17,60 $\pm$ 3,45
C-04	51,9	29,10 $\pm$ 2,23	43,57 $\pm$ 5,98
C-13	145,4 $\pm$ 41,5	21,77 $\pm$ 1,22	28,07 $\pm$ 5,23
C-08	664,3 $\pm$ 93,0	121,03 $\pm$ 14,50	183,6 $\pm$ 11,86
C-09	65,2	234,43 $\pm$ 24,99	354,27 $\pm$ 485
C-10	31,1 $\pm$ 01,8	11,90 $\pm$ 1,39	18,63 $\pm$ 7,77

El análisis histórico de la serie temporal de cobre fue realizada 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 2009, 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 2009 las bajas concentraciones exhibidas históricamente, con la única excepción de las concentraciones registrada en la estación C-02, las cuales estuvieron bajo el criterio ER-M para cobre en sedimentos ( $270 \mu\text{g g}^{-1}$ ).



**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 1999-2009. La línea segmentada representa el criterio ER-M para cobre en sedimentos ( $270 \mu\text{g g}^{-1}$ ).

## b. Cadmio

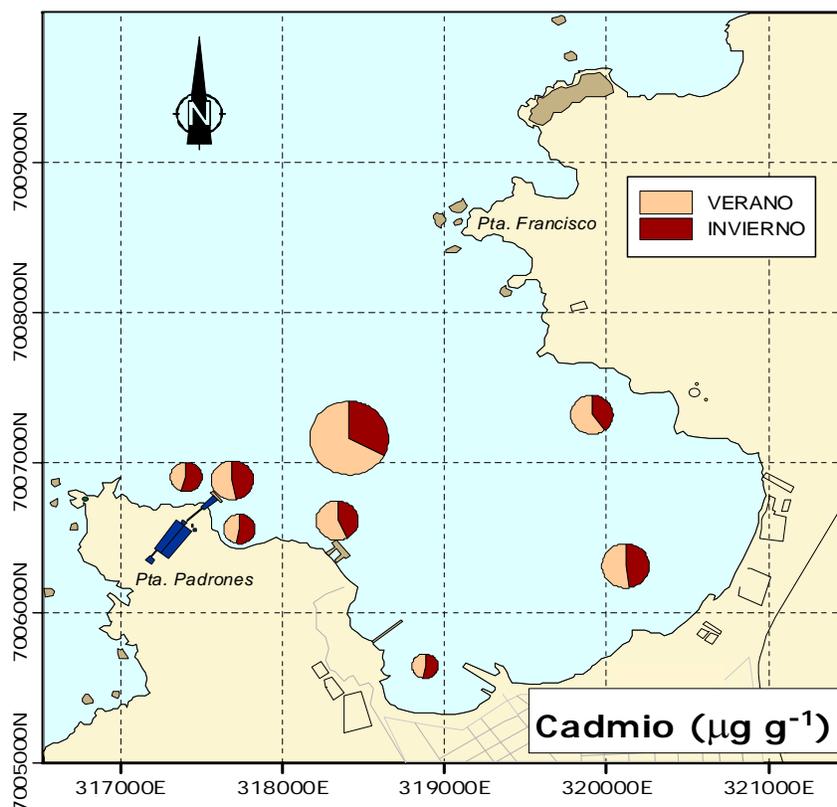
El contenido de cadmio en los sedimentos sublitorales de Bahía Caldera mostró diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) tanto entre los dos períodos estacionales evaluados durante 2009 (verano e invierno) como entre las diferentes estaciones de muestreo.

La concentración promedio de cadmio en sedimentos de Bahía Caldera durante el período estival 2009 fue de  $0,60 \pm 0,33 \mu\text{g g}^{-1}$ , con un rango de variación que fluctuó entre  $0,32 \pm 0,002 \mu\text{g g}^{-1}$  (C-08) y  $1,31 \pm 0,24 \mu\text{g g}^{-1}$  (C-04). Durante esta campaña las concentraciones registradas fueron superiores al límite establecido para concentraciones naturales en sedimentos marinos ( $0,4\text{-}0,5 \mu\text{g g}^{-1}$ ), a excepción de las estaciones C-01 ( $0,37 \pm 0,07 \mu\text{g g}^{-1}$ ), C-03 ( $0,34 \pm 0,04 \mu\text{g g}^{-1}$ ) y C-08 ( $0,32 \pm 0,002 \mu\text{g g}^{-1}$ ). Sin embargo, durante este período las concentraciones registradas fueron inferiores al criterio ER-L para cadmio en sedimentos marinos ( $1,2 \mu\text{g g}^{-1}$ ), con la única excepción de la estación C-04.

Durante la campaña invernal de 2009 se reportó concentraciones de cadmio menor a la informada durante el período estival, con un valor promedio de  $0,49 \pm 0,10 \mu\text{g g}^{-1}$ . Durante este período, las mayores concentraciones de cadmio estuvieron asociadas a la estación C-04 ( $0,65 \pm 0,09 \mu\text{g g}^{-1}$ ) y C-10 ( $0,59 \pm 0,03 \mu\text{g g}^{-1}$ ), mientras que las estaciones restantes presentaron concentraciones menores a  $0,55 \mu\text{g g}^{-1}$  (**Figura 4, Tabla 6**). Durante este período, la mayoría de las estaciones presentaron concentraciones circunscritas a los rangos de concentración considerados naturales para sedimentos marinos ( $0,4 - 0,5 \mu\text{g g}^{-1}$ ), a excepción de las estaciones C-04, C-09 y C-10. Por otra parte, durante este período ninguna estación alcanzó concentraciones establecidas como criterio de toxicidad ER-L ( $1,2 \mu\text{g g}^{-1}$ ) para cadmio en sedimentos marinos.

Durante las campañas ejecutadas en 2009, todas las concentraciones determinadas presentaron concentraciones de cadmio inferiores a las informadas en el estudio de Línea Base de 1993.



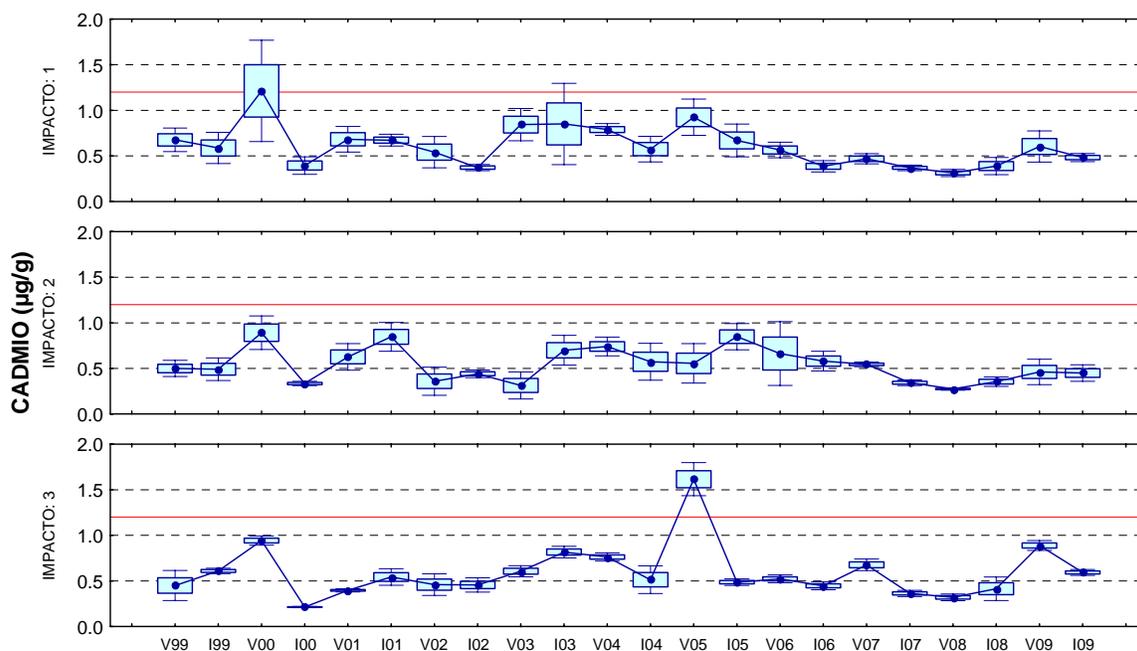


**Figura 7.** Distribución de la concentración de cadmio en sedimentos sublitorales al interior de Bahía Caldera durante los períodos estival e invernal de 2009.

**Tabla 4.** 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 2009. Se incluye las concentraciones promedio del estudio de Línea Base ambiental para el área de estudio

Estación	Línea Base 1993	Verano 2009	Invierno 2009
Bahía Inglesa	3,37 $\pm$ 1,23		
C-01	6,60	0,373 $\pm$ 0,074	0,459 $\pm$ 0,071
C-02	4,10	0,543 $\pm$ 0,061	0,478 $\pm$ 0,003
C-03	6,30 $\pm$ 0,44	0,335 $\pm$ 0,040	0,417 $\pm$ 0,023
C-04	3,30	1,310 $\pm$ 0,235	0,649 $\pm$ 0,092
C-13	4,03 $\pm$ 0,65	0,597 $\pm$ 0,035	0,438 $\pm$ 0,024
C-08	1,90 $\pm$ 0,20	0,320 $\pm$ 0,002	0,347 $\pm$ 0,034
C-09	2,10	0,604 $\pm$ 0,128	0,552 $\pm$ 0,003
C-10	5,30 $\pm$ 0,20	0,890 $\pm$ 0,048	0,594 $\pm$ 0,029

La **Figura 8** presenta la distribución temporal de cadmio para los tres sectores evaluados al interior de Bahía Caldera en el período 1999-2009. 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 2009 los tres sectores evidenciaron concentraciones de cadmio similares, manteniendo de esta forma la tendencia observada en toda el área de estudio, con una tendencia estacionaria de la concentración de este metal a partir del verano de 2005.



**Figura 8.** 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 1998-2009. La línea segmentada representa el criterio ER-L para cadmio en sedimentos ( $1,2 \mu\text{g g}^{-1}$ ).

### c. Hierro

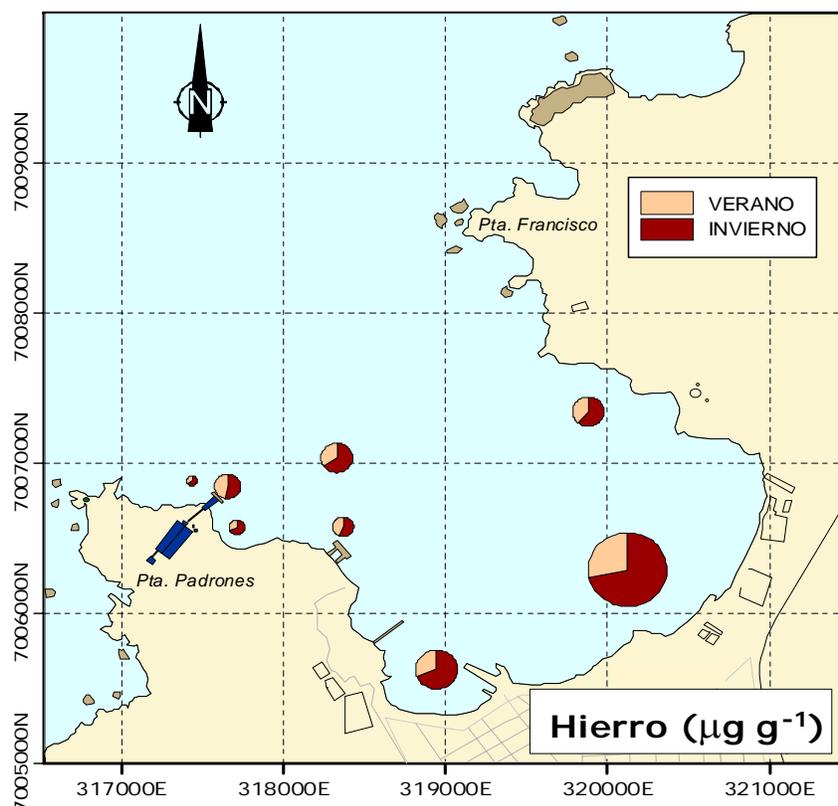
Durante 2009, la distribución de la concentración de hierro en Bahía Caldera verificó la existencia de diferencias estadísticas entre los resultados obtenidos en las campañas realizadas en verano e invierno. Asimismo, en el ámbito espacial también se verificaron diferencias en la distribución de este metal entre las diferentes estaciones de muestreo evaluadas.

Durante el verano de 2009, la distribución espacial del hierro en sedimentos sublitorales presentó una concentración promedio de  $2665,8 \pm 1529,5 \mu\text{g g}^{-1}$ , evidenciando un rango de fluctuación que varió entre  $1099,4 \pm 137,7 \mu\text{g g}^{-1}$  (C-01) y  $5692,0 \pm 246,0 \mu\text{g g}^{-1}$  (C-09), (**Figura 9, Tabla 5**). Durante este período, y al igual a lo informado en campañas anteriores, todas las estaciones presentaron concentraciones marcadamente inferiores al límite establecido como concentraciones naturales para sedimentos marinos para este metal ( $< 21200 \mu\text{g g}^{-1}$ ).

La distribución de hierro en el período invernal de 2009 presentó una concentración promedio comparativamente mayor a la verificada en el período estival ( $5073,5 \pm 3815,0 \mu\text{g g}^{-1}$ ). 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 ( $7300,0 \pm 598,7 \mu\text{g g}^{-1}$  y  $14330,8 \pm 1117,1 \mu\text{g g}^{-1}$ , respectivamente), mientras que las estaciones restantes fueron significativamente menores, con concentraciones menores a  $5192,5 \mu\text{g g}^{-1}$  (**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 sólo la estación C-08 presentó concentraciones superiores a los valores registrados durante la Línea Base; en tanto que, en la campaña invernal las estaciones C-08 y C-09 sobrepasaron las concentraciones registradas durante el estudio ambiental de 1993.



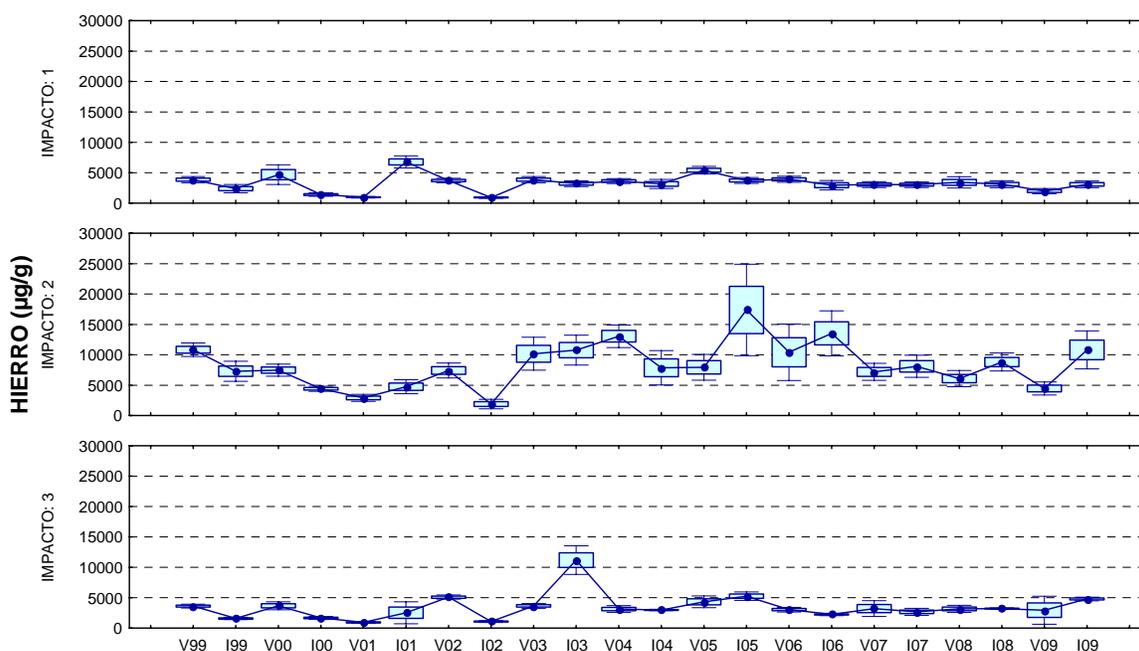


**Figura 9.** Distribución de la concentración de hierro en sedimentos sublitorales al interior de Bahía Caldera durante los períodos estival e invernial de 2009.

**Tabla 5.** 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 2009. Se incluye las concentraciones promedio de estudio de Línea Base ambiental para el área de estudio.

Estación	Línea Base 1993	Verano 2009	Invierno 2009
Bahía Inglesa	4156 $\pm$ 1445		
C-01	2091	1099,4 $\pm$ 137,7	1956,8 $\pm$ 193,5
C-02	4408	3165,0 $\pm$ 641,3	3624,5 $\pm$ 285,9
C-03	3255 $\pm$ 453	1187,1 $\pm$ 124,4	2561,3 $\pm$ 117,3
C-04	5473	2836,2 $\pm$ 83,5	5192,5 $\pm$ 432,0
C-13	23248 $\pm$ 17552	2164,4 $\pm$ 199,4	2703,9 $\pm$ 409,1
C-08	6915 $\pm$ 1698	3240,9 $\pm$ 82,4	7300,0 $\pm$ 598,7
C-09	5084	5692,0 $\pm$ 246,0	14330,8 $\pm$ 1117,1
C-10	2968 $\pm$ 100	2956,0 $\pm$ 2056,5	2703,9 $\pm$ 409,1

La **Figura 10** presenta la distribución temporal de hierro por sector de estudio y para el período 1999 - 2009. La serie histórica ha establecido que a través de las diferentes campañas el sector de fondo de saco ha evidenciado las concentraciones más altas registradas, el cual a partir del verano de 2007 ha presentado un comportamiento relativamente 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 2009 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 1999-2009.

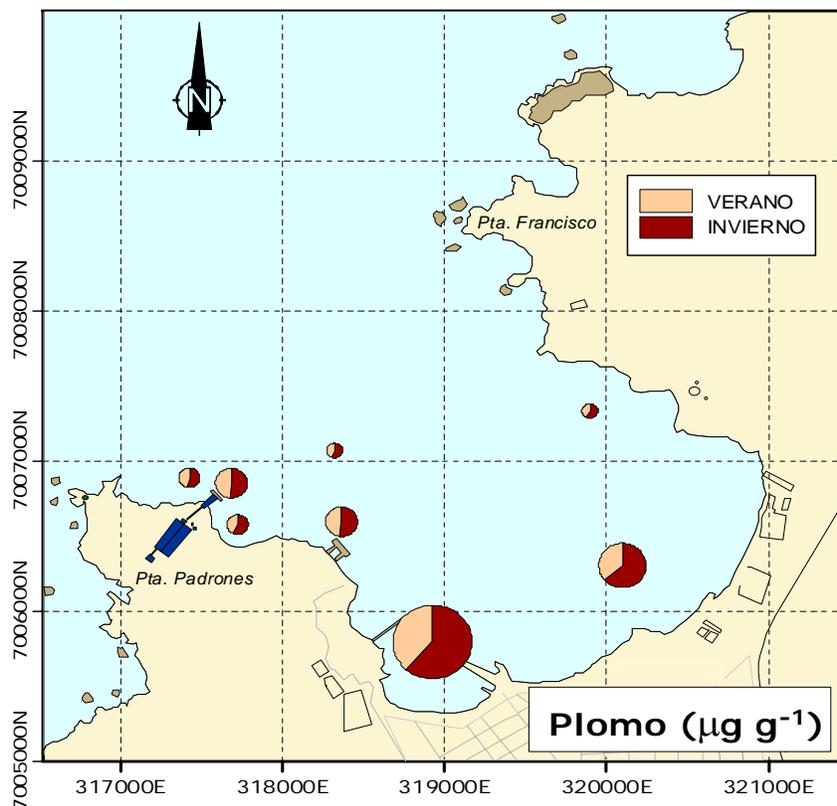
#### d. Plomo

La distribución espacial de la concentración de plomo en sedimentos de Bahía Caldera evidenció diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) tanto en términos espaciales (entre las estaciones de muestreo) como temporales (entre los períodos de verano e invierno de 2009).

El período estival de 2009 estableció una concentración promedio de plomo en sedimentos marinos de  $5,77 \pm 3,14 \mu\text{g g}^{-1}$ . Las mayores concentraciones para este metal durante esta campaña estuvieron nuevamente asociadas a las estaciones del fondo de saco de la bahía, especialmente asociados a la estación C-08 ( $12,9 \pm 1,3 \mu\text{g g}^{-1}$ ), mientras que las estaciones restantes presentaron valores que fluctuaron entre los  $2,34 \pm 0,06 \mu\text{g g}^{-1}$  y los  $7,08 \pm 0,60 \mu\text{g g}^{-1}$  (**Figura 11, Tabla 6**). De esta manera, ninguna de las estaciones evaluadas en esta campaña superó las concentraciones consideradas naturales ( $20-30 \mu\text{g g}^{-1}$ ), ni al criterio de toxicidad crónica ( $\text{ER-L} = 46,7 \mu\text{g g}^{-1}$ ) para el plomo en sedimentos marinos.

Durante el invierno la concentración promedio de plomo de la bahía presentó un valor promedio de  $7,84 \pm 5,55 \mu\text{g g}^{-1}$ , donde las mayores concentraciones de este metal estuvieron asociadas a las estaciones del fondo de saco de la bahía, *i.e.* C-08 ( $20,73 \pm 4,45 \mu\text{g g}^{-1}$ ) y C-09 ( $12,53 \pm 1,07 \mu\text{g g}^{-1}$ ), en tanto que las concentraciones en las estaciones restantes fueron inferiores a  $7,26 \mu\text{g g}^{-1}$ . De esta manera, y a la igual que lo verificado en el período estival, las concentraciones detectadas durante esta campaña se encontraron en el rango de concentraciones establecidas como naturales ( $20-30 \mu\text{g g}^{-1}$ ), no sobrepasando tampoco el límite de toxicidad crónica ER-L ( $46,7 \mu\text{g g}^{-1}$ ).

La distribución de plomo en sedimentos de Bahía Caldera durante el año 2009 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 2009, ninguna estación presentó concentraciones de plomo superiores a las registradas durante el estudio de Línea Base Ambiental realizada en 1993.

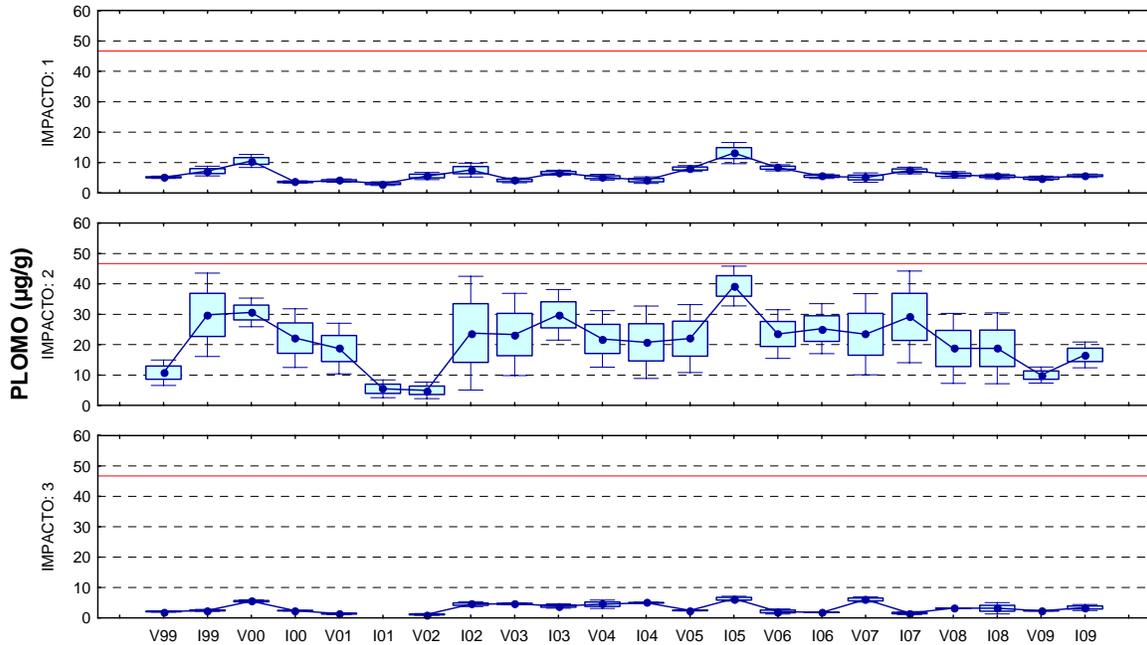


**Figura 11.** Distribución de la concentración de plomo en sedimentos sublitorales al interior de Bahía Caldera durante los períodos estival e invernal de 2009.

**Tabla 6.** 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 2009. Se incluye las concentraciones promedio del estudio de Línea Base ambiental para el área de estudio.

Estación	Línea Base 1993	Verano 2009	Invierno 2009
Bahía Inglesa	15,2 $\pm$ 13,4		
C-01	44,7	4,258 $\pm$ 0,162	4,738 $\pm$ 0,124
C-02	23,0	6,533 $\pm$ 0,830	6,817 $\pm$ 0,258
C-03	38,0 $\pm$ 1,9	4,160 $\pm$ 0,297	5,675 $\pm$ 0,093
C-04	18,5	3,230 $\pm$ 0,155	4,113 $\pm$ 0,384
C-13	37,1 $\pm$ 2,0	6,583 $\pm$ 1,293	7,263 $\pm$ 0,734
C-08	44,8 $\pm$ 4,0	12,933 $\pm$ 1,290	20,733 $\pm$ 4,447
C-09	11,8	7,080 $\pm$ 0,599	12,533 $\pm$ 1,069
C-10	32,8 $\pm$ 2,3	2,347 $\pm$ 0,058	3,447 $\pm$ 0,886

La **Figura 12** presenta la distribución temporal (1999-2009) 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 2009. 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 1999-2009. La línea segmentada representa el criterio ER-L para plomo en sedimentos ( $46,7 \mu\text{g g}^{-1}$ ).

## e. Zinc

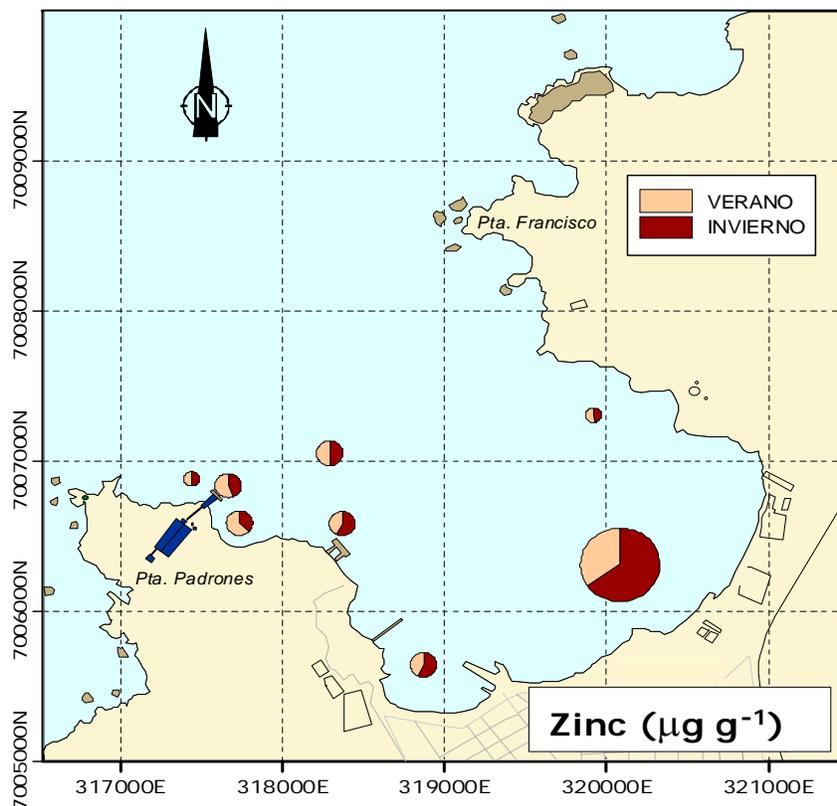
Durante los monitoreos ejecutados en 2009 se verificó diferencias significativas en la distribución de la concentración de zinc sólo en términos espaciales, observándose diferencias en las concentraciones medidas en las distintas estaciones de muestreo, mientras que en el ámbito temporal, no se verificaron diferencias entre las campañas de verano e invierno.

La concentración de zinc promedio para el verano 2009 presentó una concentración promedio general para la bahía de  $39,9 \pm 17,4 \mu\text{g g}^{-1}$ , fluctuando entre los  $23,5 \pm 4,6 \mu\text{g g}^{-1}$  (estación C-01) y los  $77,3 \pm 20,1 \mu\text{g g}^{-1}$  (estación C-09) (**Figura 13, Tabla 7**). 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 (ER-L=  $150 \mu\text{g g}^{-1}$ ).

Durante el invierno de 2009 se registraron concentraciones superiores a las determinadas en el período estival, con una concentración promedio de  $45,6 \pm 38,7 \mu\text{g g}^{-1}$ , evidenciando un rango de variación que fluctuó entre  $21,6 \pm 1,4$  y los  $146,2 \pm 19,4 \mu\text{g g}^{-1}$ . Las concentraciones más altas de este período fueron registradas en la estación C-09, la cual presentó un valor promedio de  $146,2 \mu\text{g g}^{-1}$ , siendo significativamente mayores a las observadas en las estaciones de muestreo restantes, las cuales presentaron valores de zinc inferiores a entre  $44,5 \pm 15,3 \mu\text{g g}^{-1}$ . Durante esta campaña ninguna estación sobrepasó al criterio de toxicidad crónica (ER-L= $150 \mu\text{g g}^{-1}$ ) para zinc en sedimentos sublitorales marinos (**Figura 13, Tabla 7**), ni las concentraciones consideradas naturales para este metal.

La distribución de las concentraciones de zinc al interior de Bahía Caldera durante las campañas de 2009 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, especialmente en relación a la estación C-09.

Asimismo, las concentraciones determinadas en ambas campañas de 2009 fueron menores de las determinadas para el estudio de Línea Base Ambiental de 1993 (**Tabla 7**).



**Figura 13.** Distribución de la concentración de zinc en sedimentos sublitorales al interior de Bahía Caldera durante los períodos estival e invidual de 2009.

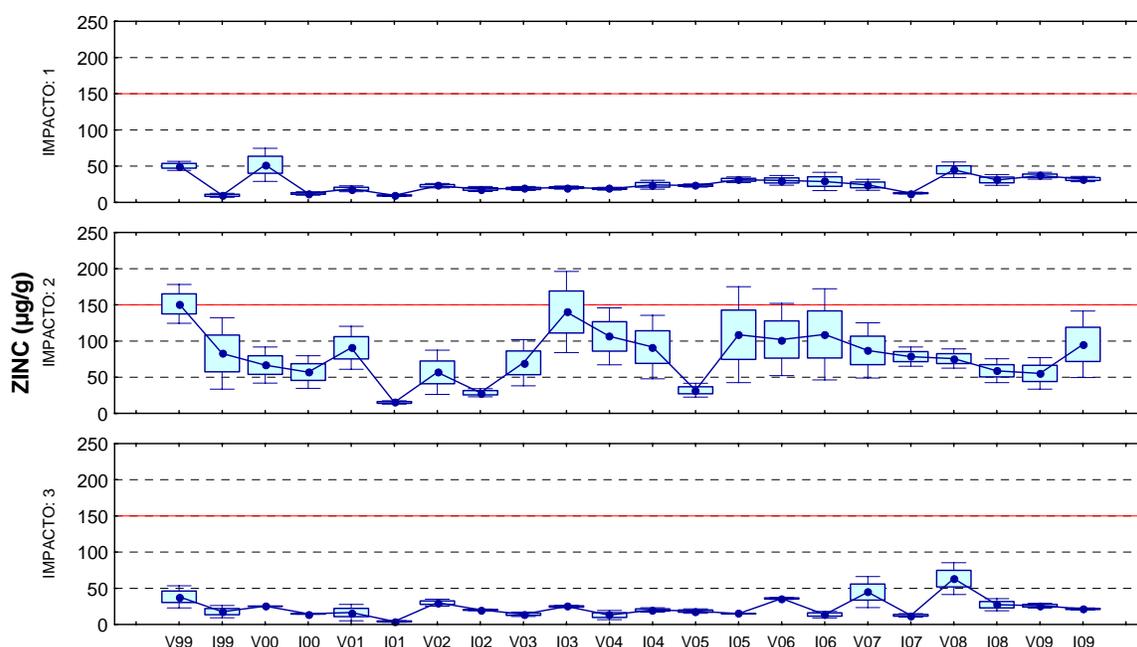
**Tabla 7.** Concentración promedio ( $\pm$  desviación estándar) de zinc ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) en sedimentos sublitorales de Bahía Caldera determinadas en el verano e invierno de 2009. Se incluye las concentraciones promedio del estudio de Línea Base ambiental para el área de estudio.

Estación	Línea Base 1993	Verano 2009	Invierno 2009
Bahía Inglesa	24,4 $\pm$ 33,5		
C-01	118,0	23,525 $\pm$ 4,570	24,575 $\pm$ 2,069
C-02	159,0	45,733 $\pm$ 5,437	34,333 $\pm$ 3,456
C-03	67,5 $\pm$ 8,2	45,950 $\pm$ 6,264	27,650 $\pm$ 6,628
C-04	144,4	38,433 $\pm$ 2,122	37,133 $\pm$ 8,201
C-13	214,5 $\pm$ 13,9	31,933 $\pm$ 2,991	41,667 $\pm$ 1,201
C-08	52,7 $\pm$ 4,4	33,433 $\pm$ 5,801	44,467 $\pm$ 15,289
C-09	190,6	77,267 $\pm$ 20,145	146,20 $\pm$ 19,390
C-10	103,1 $\pm$ 11,2	26,067 $\pm$ 2,859	21,567 $\pm$ 1,401

La **Figura 14** presenta la distribución temporal (1999-2009) 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 el año 2009 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 y hasta la campaña estival de 2009 evidenciaron un patrón descendente. Durante el invierno de este año, existió un aumento en las concentraciones, lo cual no implicó sobrepasar el criterio de toxicidad crónica (ER-L)

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 2009 su tendencia estacionaria con concentraciones significativamente menores que el fondo de saco.



**Figura 14.** 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 1999-2009. La línea segmentada representa el criterio ER-L para zinc en sedimentos ( $150 \mu\text{g g}^{-1}$ ).

## 3.2. Agua de mar

### 3.2.1. Variables Hidrográficas

#### a. Transparencia

La transparencia, determinada a través de la profundidad de disco secchi, medida durante el verano de 2009 presentó un rango de valores que fluctuaron entre los 4,0 y los 5,0 m de profundidad, estableciendo un valor promedio de  $4,63 \pm 0,52$  m. Los valores antes descritos se encuentran en el rango descrito para períodos estivales anteriores.

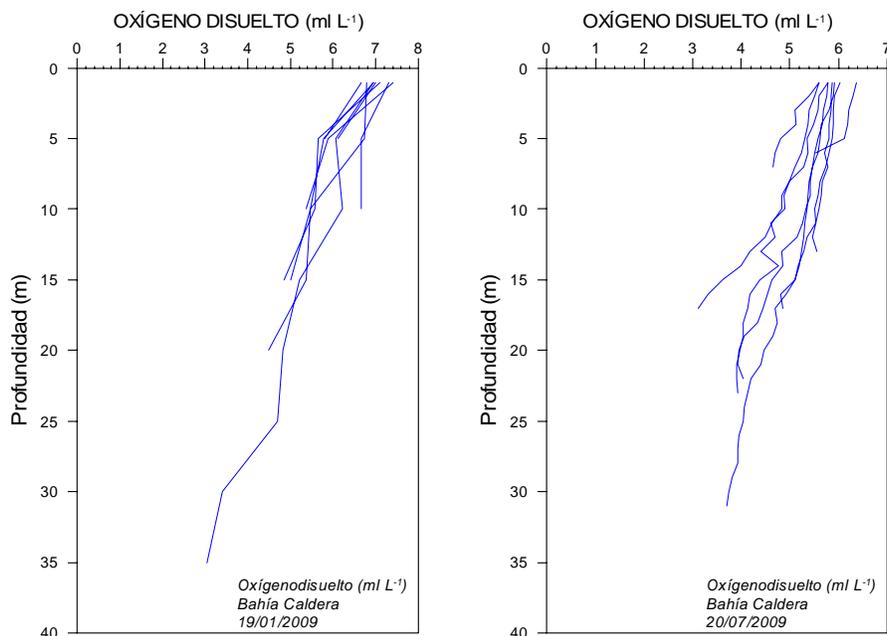
Durante la campaña invernal de 2009 los valores de transparencia fueron mayores a los registrados durante el período estival, estableciéndose un valor promedio de  $10,69 \pm 2,60$  m (4,5 – 12,0 m), valor se enmarca en el rango de profundidades registradas históricamente durante el período invernal al interior de Bahía Caldera.

#### b. Oxígeno Disuelto

Las concentraciones de oxígeno disuelto determinadas estacionalmente en Bahía Caldera, para el período comprendido entre los años 1994 y 2009, se presentan en los **Anexos 8 y 9** para los períodos de verano e invierno, respectivamente.

La distribución de oxígeno disuelto durante la campaña de verano 2009 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  $7,01 \pm 0,25$  ml L<sup>-1</sup>, verificándose un descenso en los valores hacia estratos más profundos, alcanzando valores de  $4,65 \pm 0,23$  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.

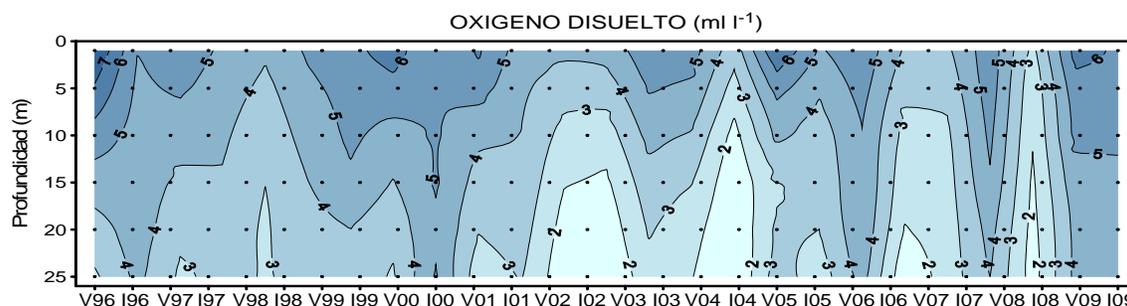
Durante el período invernal, se verificó menores valores en el contenido de oxígeno disuelto en la columna de agua al interior de Bahía Caldera, donde el estrato superficial presentó una concentración promedio de  $4,19 \pm 0,24$  ml L<sup>-1</sup>. A partir de esta profundidad se verificó el descenso uniforme de la concentración de oxígeno disuelto, donde en el estrato de 20 m se registró un promedio de  $2,56 \pm 0,29$  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 2009.

La **Figura 16** muestra la evolución de la distribución temporal de la concentración de oxígeno disuelto durante el período 1996 - 2009.

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 las campañas de 2008 se verifican bajas concentraciones de oxígeno disuelto en comparación a la serie histórica, donde la columna de agua en su totalidad presentó valores promedio inferiores a  $2 \text{ ml L}^{-1}$ , mientras que durante 2009 se verificó un retorno hacia las tendencias históricas, tanto durante el período estival como invernal.



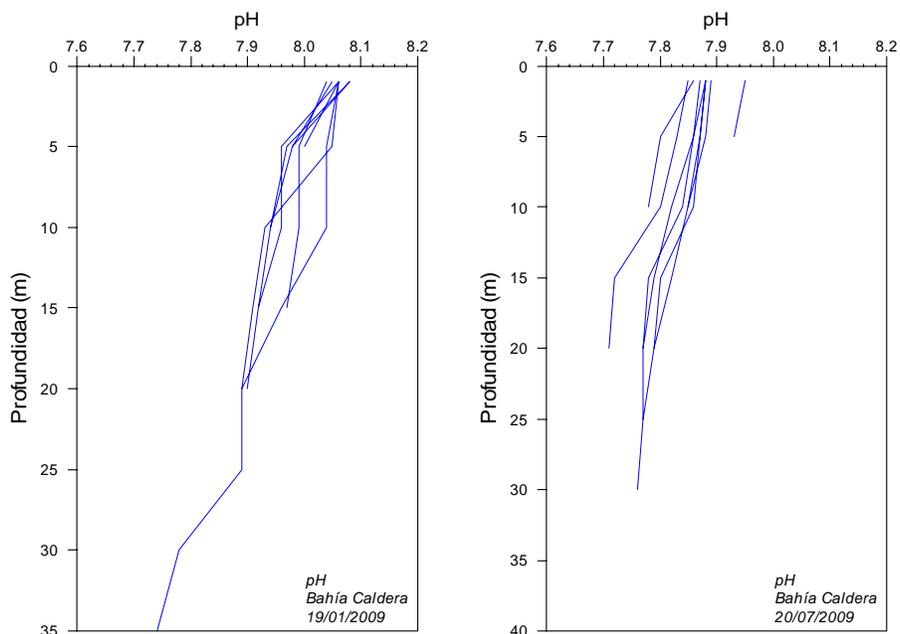
**Figura 16.** Variación temporal estacional de la concentración de oxígeno disuelto (ml L<sup>-1</sup>) para el período 1996 - 2009.

### 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 2009, se presenta en los **Anexos 10 y 11**, para las campañas estivales e invernales, respectivamente.

La distribución del pH durante el período estival de 2009 presentó una distribución vertical prácticamente homogénea, registrándose un valor superficial promedio de  $8,06 \pm 0,01$ , 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  $7,89 \pm 0,01$ .

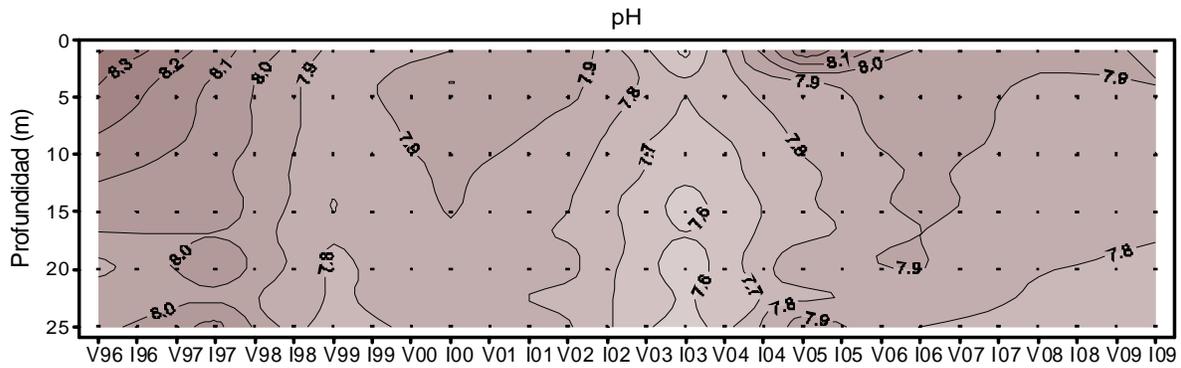
Un patrón de distribución similar se verificó durante el invierno de 2009, donde tanto el patrón vertical de la columna de agua como la magnitud de los valores de pH determinados fueron similares a los verificados durante la campaña de verano. El estrato superficial reportó un valor promedio de  $7,88 \pm 0,24$ , mostrando una distribución vertical homogénea, muy similar al valor promedio en el estrato de 20 m de profundidad ( $7,77 \pm 0,38$ ) (**Figura 17**).



**Figura 17.** Distribución vertical de pH en el agua de mar durante los períodos estival e invernal de 2009.

La **Figura 18** muestra la distribución vertical de pH para el período 1996–2009.

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 2002 pH tuvo un comportamiento más homogéneo, con valores menores a 7,9 en toda la columna de agua. A partir del período invernal de 2002 y hasta el invierno de 2004 se observó un claro decremento ( $< 7,8$ ) en los valores de pH. A partir de entonces, los valores de pH se han mantenido con valores centrados entre 7,8 y 7,9 para la columna de agua entera, lo cual se ha mantenido relativamente estable desde el invierno de 2006 hasta la última campaña de 2009.



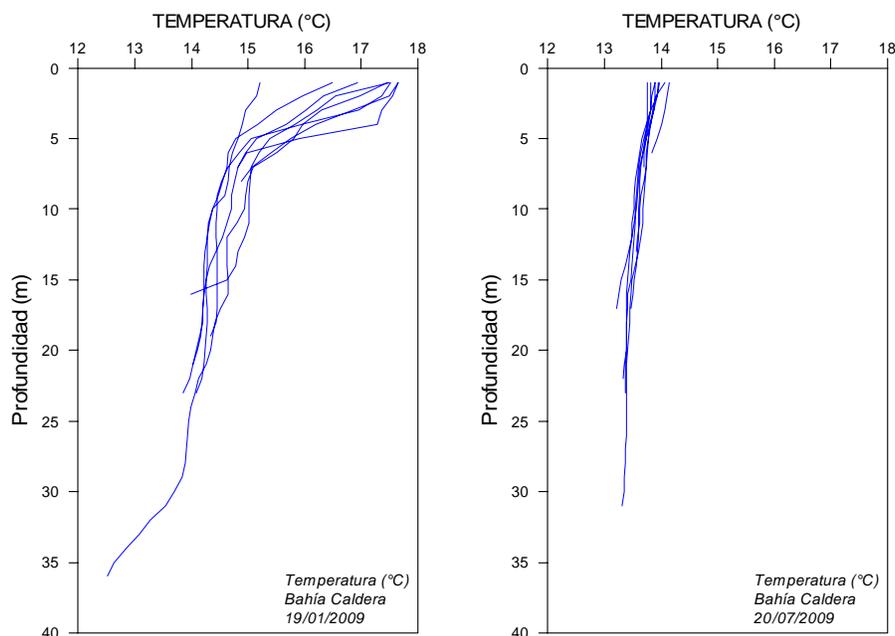
**Figura 18.** Variación temporal estacional de pH para el período 1996 - 2009.

#### d. Temperatura

Los valores de temperatura en el agua de mar para la Bahía de Caldera, registrados estacionalmente durante el período 1993 - 2009, se presentan en los **Anexos 12 y 13**, para el período estival e invernal, respectivamente.

Durante la campaña estival de 2009 la temperatura superficial presentó un valor promedio de  $17,05 \pm 0,85$  °C, describiendo un patrón vertical caracterizado por una mayor variabilidad en los primeros 5 m de profundidad, observándose el desarrollo termoclinas bien desarrolladas entre el estrato superficial y esta profundidad. El patrón vertical establece que bajo los 5 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  $14,19 \pm 0,12$  °C (**Figura 19**).

El invierno de 2009 presentó una distribución de temperatura con presencia de aguas más frías ( $<14$  °C) que durante el período estival, caracterizada verticalmente por una alta homogeneidad térmica. El estrato superficial tuvo una temperatura promedio de  $13,94 \pm 0,13$  °C, valor muy similar al verificado hacia estratos más profundos (*i.e.*, 20 m), donde se observó un promedio de  $13,39 \pm 0,02$  °C, evidenciando ausencia de estratificación vertical.



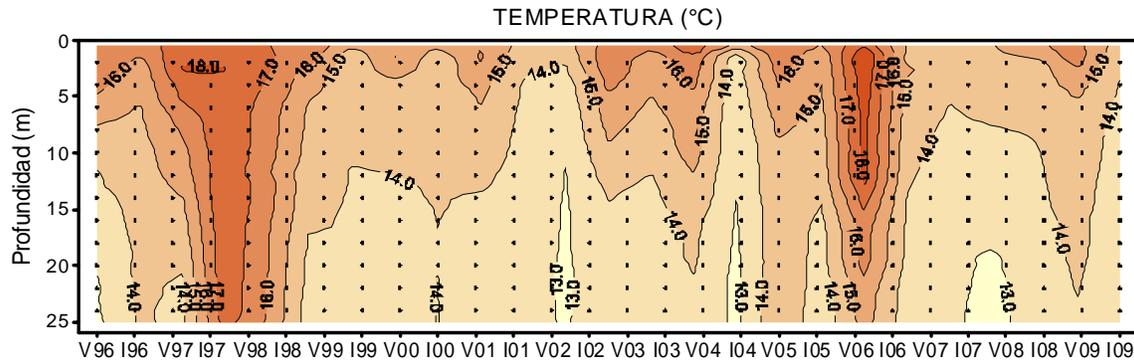
**Figura 19.** Distribución vertical de la temperatura (°C) en agua de mar durante los períodos estival e invernal de 2009.

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 2009.

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 le 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 se extendió hasta el invierno de 2007, destacando una estructura altamente uniforme y temperaturas menores a 13°C. Posteriormente, en las

campañas realizadas en 2008 y 2009 se verificó el retorno al comportamiento histórico de la columna de agua en Bahía Caldera, anteriormente descrita.



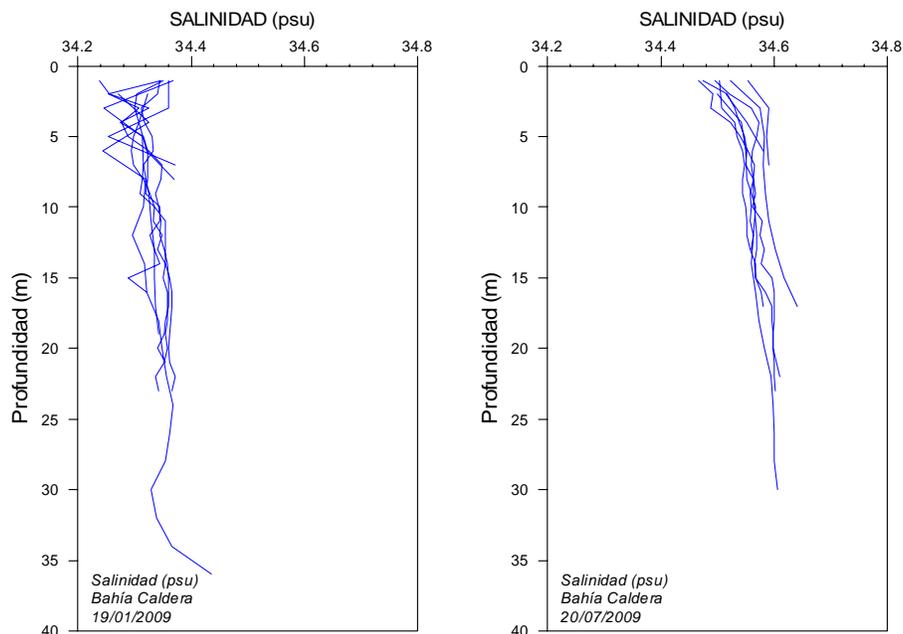
**Figura 20.** Variación temporal estacional de la temperatura (°C) para el período 1996-2009.

### e. Salinidad

Los valores de salinidad en Bahía Caldera para el período comprendido entre los años 1993 y 2009, considerando los períodos estacionales de verano e invierno, se presentan en los **Anexos 14 y 15**, respectivamente.

Durante la campaña estival de 2009, la distribución de salinidad presentó un valor promedio de  $34,34 \pm 0,04$  psu, caracterizada verticalmente por presentar una columna de agua altamente homogénea, donde se verificó ausencia de clinas y gradientes verticales de importancia. Hacia estratos más profundos, la salinidad no presentó variaciones importantes registrándose un valor promedio muy similar al estrato superficial ( $34,34 \pm 0,03$  psu) a los 20 m de profundidad (**Figura 21**).

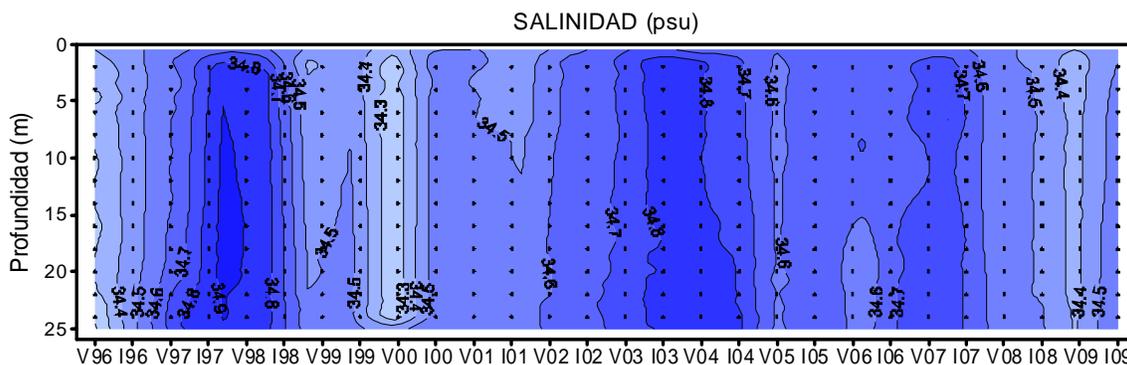
El invierno de 2009 presentó valores de salinidad similares a los registros verificados en el verano, mientras que la distribución vertical de esta variable, y de manera similar a lo reportado para periodos invernales anteriores, no exhibió estratificación ni haloclinas desarrolladas. El valor promedio de salinidad en el estrato superficial presentó un valor promedio de  $34,50 \pm 0,03$  psu, mientras que hacia el estrato de 20 m de profundidad, la salinidad promedio fue de  $34,59 \pm 0,01$  psu.



**Figura 21.** Distribución vertical de la salinidad (psu) en agua de mar durante los períodos estival e invernal de 2009.

La **Figura 22** muestra la variación temporal de la salinidad en la columna de agua para el período comprendido entre los años 1996 y 2009, 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. El verano de 2009 presentó menores valores de salinidad (34,4 psu) al interior de la bahía, mientras que en el invierno se registraron valores similares al período 2008.

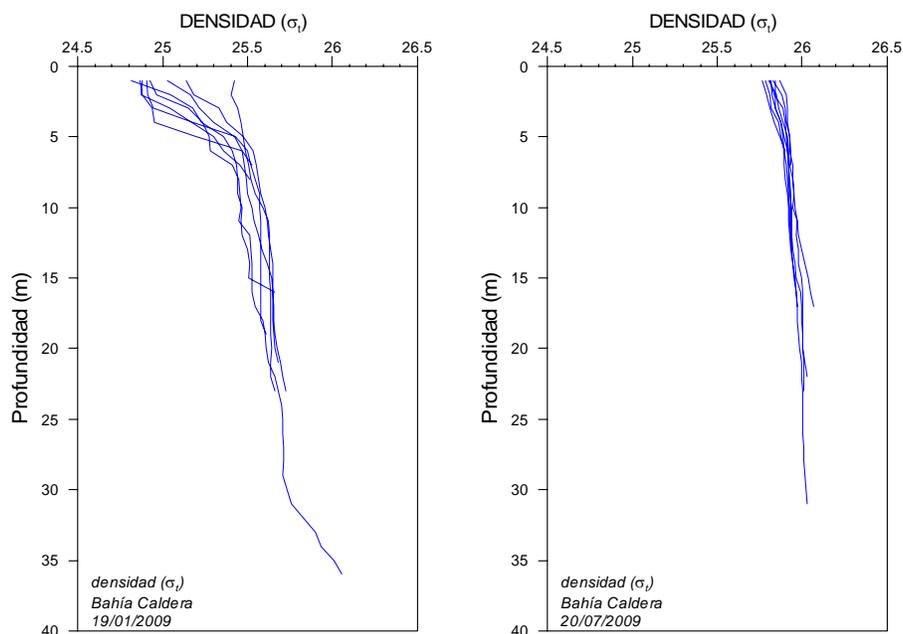


**Figura 22.** Variación temporal estacional de la salinidad (psu) para el período 1996-2009.

## f. Densidad

La distribución de la densidad durante el verano de 2009 presentó un valor promedio de  $25,00 \pm 0,20 \sigma_t$  considerando todas las estaciones de muestreo. La estructura vertical establece que el estrato superficial (primeros 5 m de profundidad) establece mayores gradientes con picnoclinas desarrolladas en este nivel. Bajo los 5 m, la densidad tendió a aumentar de manera uniforme hacia las máximas profundidades de muestreo. Así, la densidad en el estrato de 20 m de profundidad presentó un valor promedio de  $25,65 \pm 0,06 \sigma_t$  (**Figura 23**).

Durante el invierno de 2009 presentó valores de densidad comparativamente más altos a los registrados durante el verano, observándose en el estrato superficial un valor de  $25,82 \pm 0,03 \sigma_t$ , 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  $26,00 \pm 0,01 \sigma_t$ .

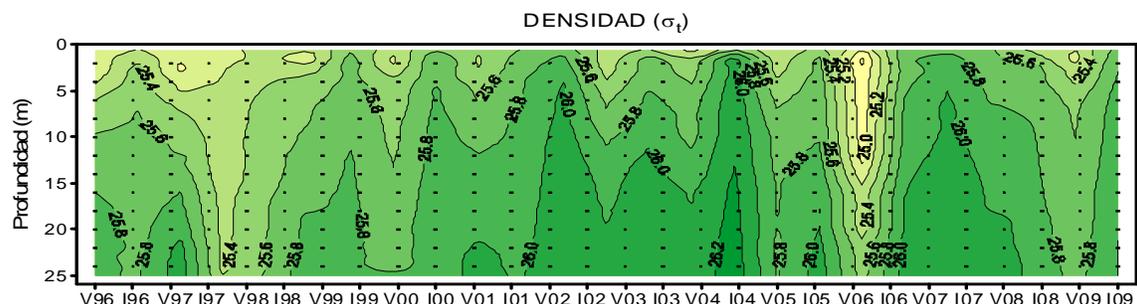


**Figura 23.** Distribución vertical la densidad ( $\sigma_t$ ) en agua de mar durante los períodos estival e invernal de 2009.

La **Figura 24** presenta la evolución temporal de la densidad del agua de mar entre el verano de 1996 y el invierno de 2009. 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 los  $25,4 \sigma_t$  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), situación que se mantuvo durante las campañas de 2009.



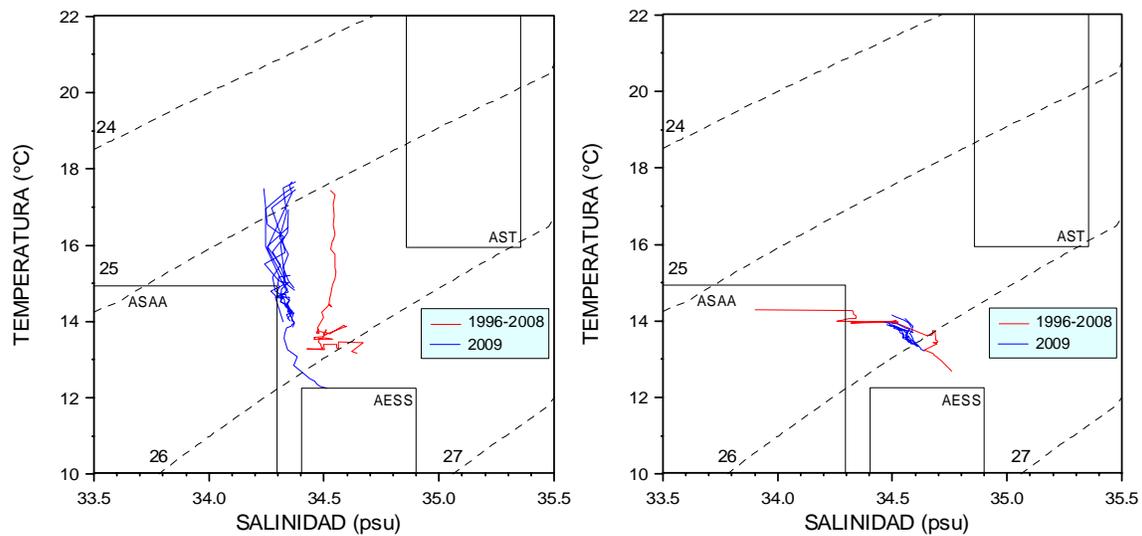
**Figura 24.** Variación temporal estacional de la densidad ( $\sigma_t$ ) para el período 1996-2009.

### g. Relación entre salinidad y temperatura

Se realizó diagramas TS para identificar las masas de agua presentes al interior de Bahía Caldera durante la realización de las campañas de monitoreo durante 2009 (**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 2009 fueron 12,20 - 17,76 °C y 34,23 - 34,51 psu, correspondiendo a aguas de mezcla entre Aguas Subtropicales (AST) y Aguas Subantárticas (ASAA).

Durante el invierno se identificó índices termosalinos entre 13,20 - 14,13 °C y 34,47 - 34,64 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 más estrecho que durante aquel período. Los índices anteriormente señalados se encuentran dentro de los valores observados históricamente para las campañas invernales desarrolladas al interior de Bahía Caldera, correspondiendo a aguas de mezcla entre Aguas Subantárticas (ASAA) y Aguas Ecuatoriales Subsuperficiales (AESS).



**Figura 25.** Diagramas T-S para Bahía Caldera. Período estival 1996-2009 (panel izquierda), Período invernal 1996-2009 (panel derecha).

### 3.2.2. Metales Traza

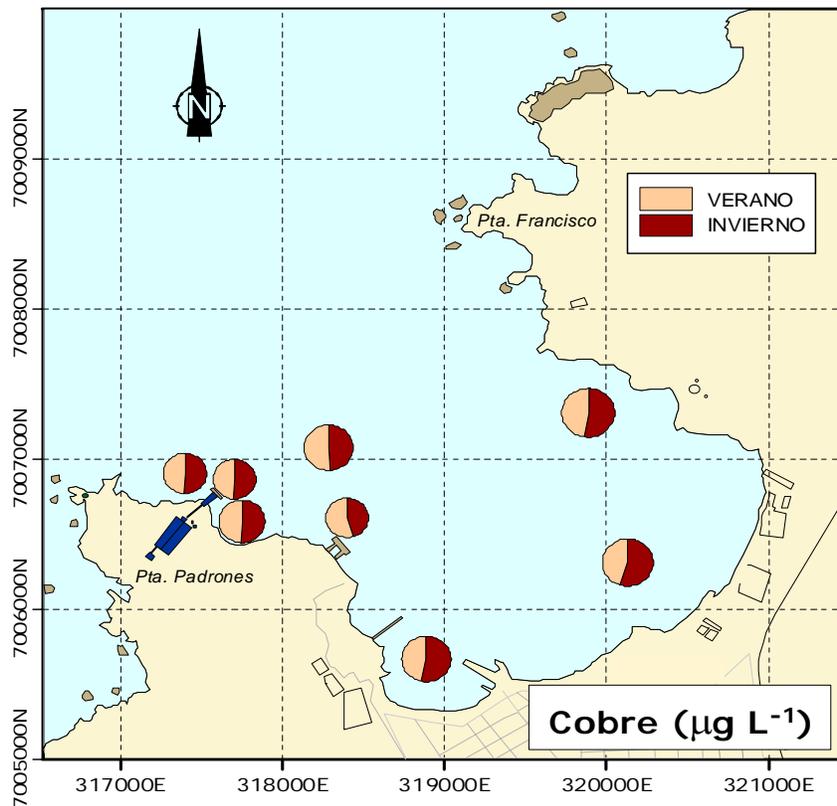
Las concentraciones de cobre, hierro, cadmio y plomo determinadas en muestras de agua de mar recolectadas en estaciones de muestreo situadas al interior de Bahía Caldera durante el período comprendido entre los años 1993 y 2009, se presentan en los **Anexos 16, 17, 18 y 19**.

#### a. Cobre

Durante el monitoreo realizado en 2009, la distribución de cobre en agua de mar reveló diferencias estacionales significativas ( $p < 0,05$ ) entre los períodos estacionales evaluados durante 2009 (verano e invierno). De igual manera se detectó variaciones espaciales, verificándose diferencias significativas entre las estaciones de muestreo.

La distribución de cobre en agua de mar durante la campaña estival de 2009 establece una concentración promedio de  $1,20 \pm 0,12 \mu\text{g L}^{-1}$ , estableciendo un rango de variación entre  $1,09 \pm 0,13 \mu\text{g L}^{-1}$  y  $1,33 \pm 0,14 \mu\text{g L}^{-1}$  (**Figura 26, Tabla 7**). Todas las concentraciones medidas durante este estudio se encuentran en el rango establecido como concentraciones naturales para este metal ( $< 2,3 \mu\text{g L}^{-1}$ ) (Furness & Rainbow, 1990). Desde el punto de vista toxicológico, las concentraciones obtenidas en el verano de 2009 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= $4,8 \mu\text{g L}^{-1}$ ) (EPA, 1999).

En el período invernal se determinó una concentración promedio de cobre levemente superior a la verificada en la campaña estival ( $1,25 \pm 0,15 \mu\text{g L}^{-1}$ ), distribuyéndose en un estrecho rango de variación, con una concentración menor en la estación C-13 ( $1,01 \pm 0,03 \mu\text{g L}^{-1}$ ) y una concentración máxima en la estación C-09 ( $1,46 \mu\text{g L}^{-1}$ ) (**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.

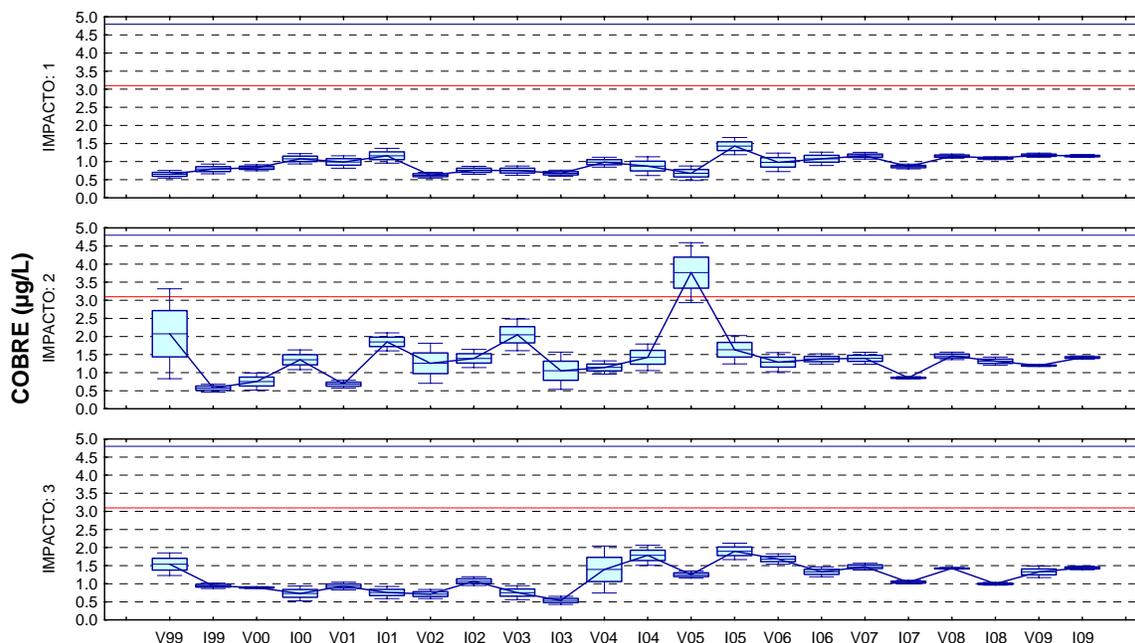


**Figura 26.** Distribución espacial y temporal (estacional) de la concentración de cobre ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) en agua de mar de Bahía Caldera durante los períodos estival e invernal de 2009.

**Tabla 8.** 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 2009.

Estación	Verano 2009	Invierno 2009
C-01	1,130 $\pm$ 0,078	1,138 $\pm$ 0,019
C-02	1,093 $\pm$ 0,127	1,147 $\pm$ 0,031
C-03	1,190 $\pm$ 0,086	1,218 $\pm$ 0,054
C-04	1,293 $\pm$ 0,159	1,250 $\pm$ 0,030
C-13	1,203 $\pm$ 0,159	1,012 $\pm$ 0,027
C-08	1,197 $\pm$ 0,049	1,377 $\pm$ 0,025
C-09	1,197 $\pm$ 0,015	1,463 $\pm$ 0,042
C-10	1,330 $\pm$ 0,142	1,440 $\pm$ 0,046

La **Figura 27** muestra la distribución espacio-temporal de las concentraciones de cobre en agua de mar para el periodo 1999-2009 en los tres sectores evaluados al interior de Bahía Caldera. En general, al inicio de la serie 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 2006, todos los sectores de la bahía ha presentado concentraciones similares con valores entre 1,0 a 1,5  $\mu\text{g L}^{-1}$ , situación que se mantuvo durante la ejecución de las campañas de 2009, en los tres sectores evaluados.

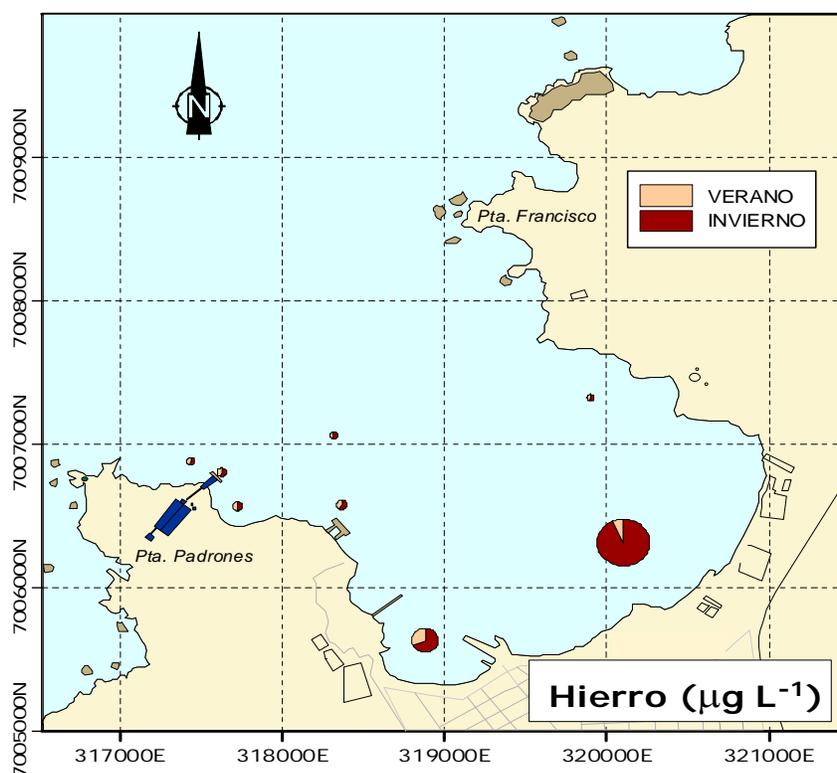


**Figura 27.** Serie de tiempo de la concentración de cobre ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) en agua de mar de Bahía Caldera. a) sector Puerto Padrones, b) fondo de saco de la bahía y c) sector oriental de la bahía. Se destaca el promedio, el error estándar (caja) y la desviación estándar (barras) para cada período estacional en el período 1999-2009. 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 evidenció diferencias tanto temporales como espaciales significativas durante los muestreos realizados en 2009, significando diferencias significativas entre las campañas estacionales (verano e invierno) así como entre las estaciones de muestreo.

Durante el verano de 2009 se registró una concentración promedio de hierro para la bahía de  $6,03 \pm 0,90 \mu\text{g L}^{-1}$ , fluctuando entre los  $4,82 \pm 0,24$  (estación C-10) y los  $7,41 \pm 0,47 \mu\text{g L}^{-1}$  (estación C-03) (**Figura 28, Tabla 8**). De manera similar, las concentraciones de hierro determinadas durante el invierno de 2009 reportaron valores superiores a los informados en la campaña estival, verificando una concentración promedio de  $19,06 \pm 23,69 \mu\text{g L}^{-1}$ , estableciéndose como el valor promedio más alto de la serie histórica para este metal. El rango de variación fluctuó entre los  $6,33 \pm 0,55 \mu\text{g L}^{-1}$  (estación C-10) y los  $76,83 \pm 15,01 \mu\text{g L}^{-1}$  (estación C-09). El alto valor promedio de esta campaña está altamente influenciado por concentraciones medidas en la estación C-09, ubicada en el fondo de saco de la bahía, las cuales son superiores a las registradas históricamente en el sector (**Figura 28, Tabla 8**).



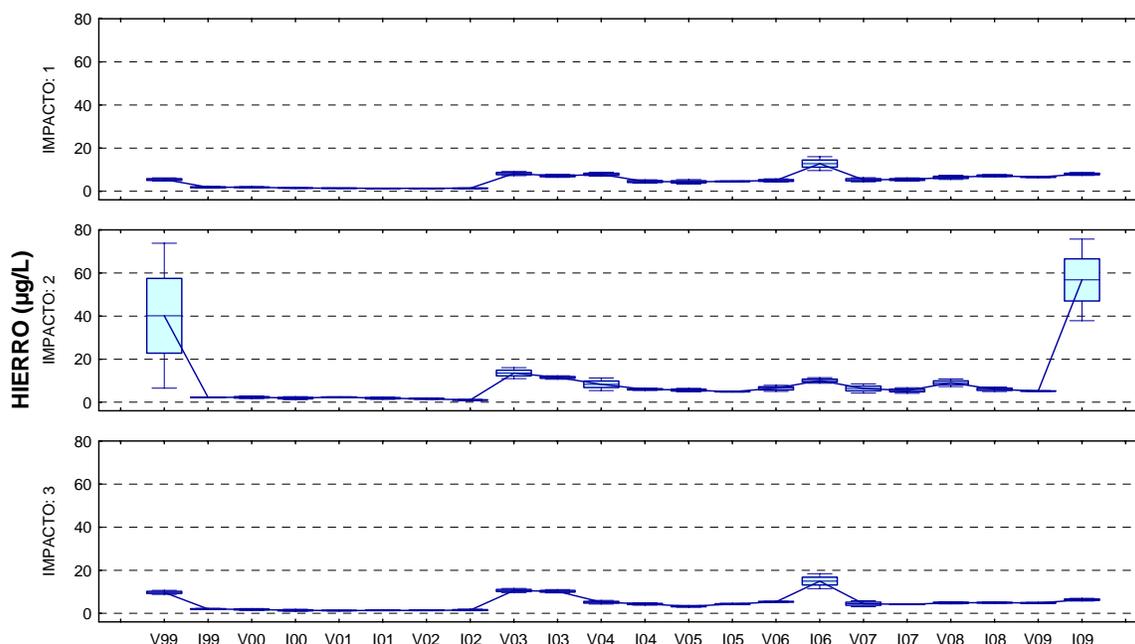
**Figura 28.** Distribución espacial y temporal (estacional) de la concentración de hierro ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) en agua de mar de Bahía Caldera durante los períodos estival e invernal de 2009.

**Tabla 9.** 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 2009.

<b>Estación</b>	<b>Verano 2009</b>	<b>Invierno 2009</b>
C-01	6,500 $\pm$ 0,162	6,860 $\pm$ 1,558
C-02	6,397 $\pm$ 0,523	8,277 $\pm$ 0,778
C-03	7,410 $\pm$ 0,474	8,078 $\pm$ 0,372
C-04	5,640 $\pm$ 0,308	6,963 $\pm$ 0,709
C-13	6,467 $\pm$ 0,095	10,050 $\pm$ 1,547
C-08	5,047 $\pm$ 0,199	36,767 $\pm$ 2,329
C-09	5,373 $\pm$ 0,135	76,833 $\pm$ 15,010
C-10	4,827 $\pm$ 0,236	6,333 $\pm$ 0,547

La **Figura 29** muestra la distribución espacio-temporal de las concentraciones de hierro en agua de mar para el período comprendido entre 1999 y 2009, 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 la campaña estival de 2009. Durante el invierno de 2009, los sectores de Punta Padrones y oriental de la Bahía mantuvieron la tendencia descrita anteriormente, con valores  $< 10$  mg/L, mientras que el sector de fondo de saco experimentó un alza significativa de la concentración de hierro hacia valores similares a los registrados al inicio de la serie en el mismo sector (verano de 1999).



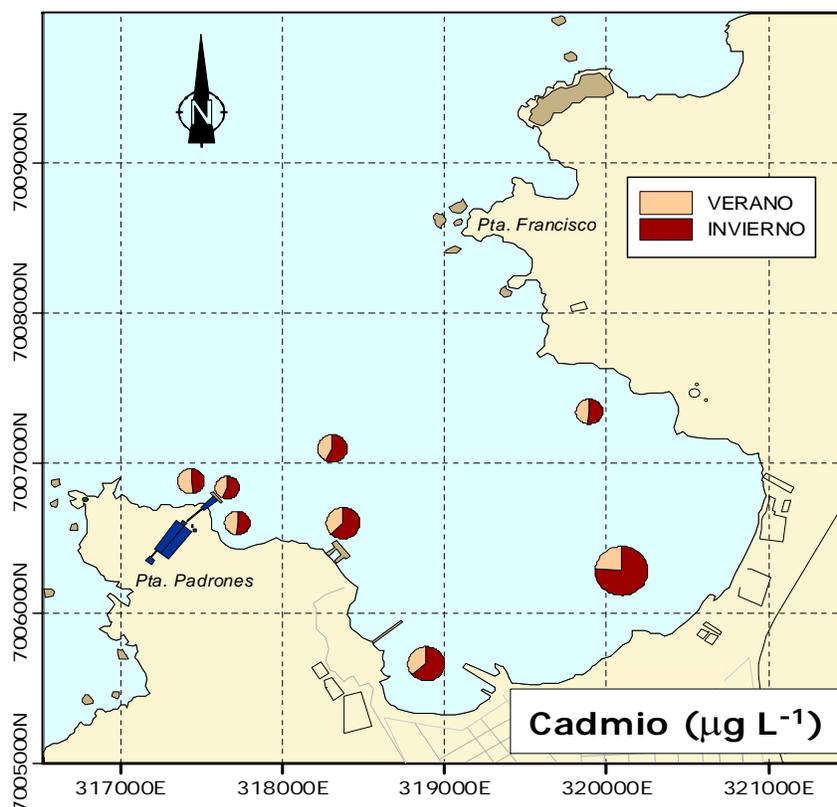
**Figura 29.** Serie de tiempo de la concentración de hierro ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) en agua de mar de Bahía Caldera. a) sector Puerto Padrones, b) fondo de saco de la bahía y c) sector oriental de la bahía. Se destaca el promedio, el error estándar (caja) y la desviación estándar (barras) para cada período estacional en el período 1999-2009.

### c. Cadmio

Durante 2009, 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 2009 la concentración de cadmio promedio fue de  $0,023 \pm 0,003 \mu\text{g L}^{-1}$ , donde el rango de fluctuación fue entre  $0,019 \mu\text{g L}^{-1}$  (C-02) y  $0,026 \mu\text{g L}^{-1}$  (C-01) (**Figura 30, Tabla 8**). Todas las estaciones evaluadas en este estudio presentaron concentraciones de cadmio dentro de los rangos considerados como naturales ( $0,07\text{-}0,1 \mu\text{g L}^{-1}$ ; Furness & Rainbow, 1990); estando además muy por debajo de los criterios de calidad para aguas marinas establecidos por la US-EPA de  $9,3 \mu\text{g L}^{-1}$  (Criterio de Concentración Continua) y  $42 \mu\text{g L}^{-1}$  (Criterio de Concentración Máxima) (EPA, 1999).

Durante el invierno se verificaron concentraciones comparativamente mayores al período estival, con un valor promedio para el área de estudio de  $0,034 \pm 0,016 \mu\text{g L}^{-1}$ . Las concentraciones no presentaron un patrón de distribución definido y revelaron valores entre  $0,023 \pm 0,002 \mu\text{g L}^{-1}$  y  $0,071 \pm 0,004 \mu\text{g L}^{-1}$  (**Figura 30, Tabla 8**), donde, al igual que en períodos anteriores, no se superó las concentraciones establecidas como naturales ( $0,07\text{-}0,1 \mu\text{g L}^{-1}$ ; 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) (EPA, 1999).



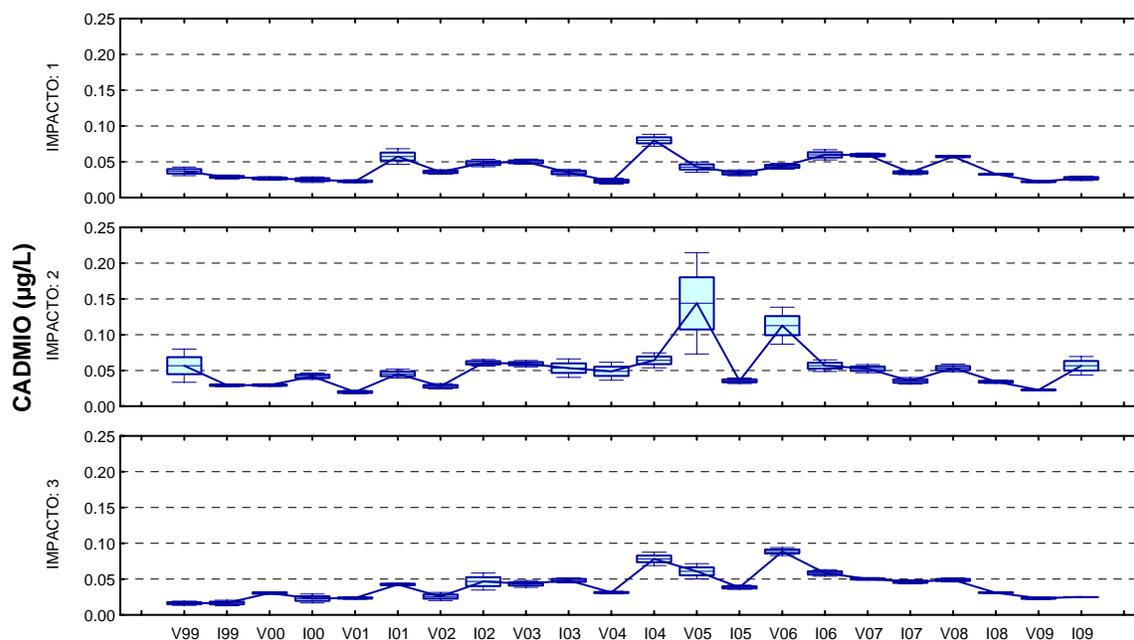
**Figura 30.** Distribución espacial y temporal (estacional) de la concentración de cadmio ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) en agua de mar de Bahía Caldera durante los períodos estival e invernal de 2009.

**Tabla 10.** 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 2009.

<b>Estación</b>	<b>Verano 2009</b>	<b>Invierno 2009</b>
C-01	0,026 $\pm$ 0,002	0,023 $\pm$ 0,002
C-02	0,019 $\pm$ 0,005	0,024 $\pm$ 0,002
C-03	0,022 $\pm$ 0,001	0,023 $\pm$ 0,006
C-04	0,023 $\pm$ 0,002	0,030 $\pm$ 0,003
C-13	0,022 $\pm$ 0,002	0,038 $\pm$ 0,003
C-08	0,023 $\pm$ 0,001	0,042 $\pm$ 0,004
C-09	0,022 $\pm$ 0,002	0,071 $\pm$ 0,004
C-10	0,023 $\pm$ 0,002	0,025 $\pm$ 0,001

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 1999-2009.

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 Punta Padrones y oriental de la bahía han manifestado un progresivo descenso en las concentraciones, situación que se extendió durante las campañas de 2009, mientras que el sector de fondo de saco ha mantenido concentraciones en torno a los 0,05 mg/L.



**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 1999-2009. 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.

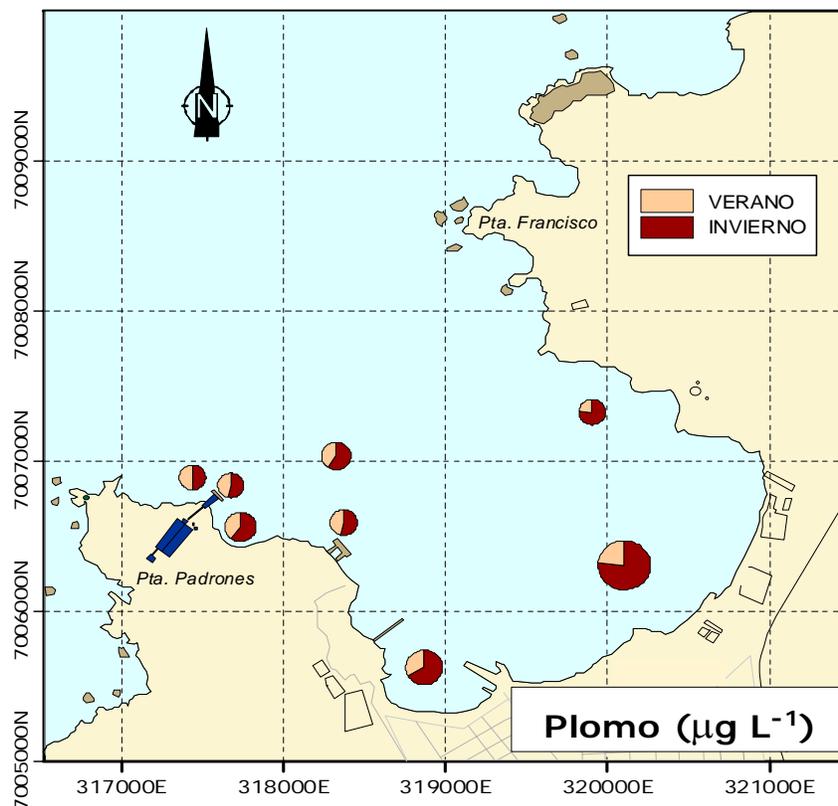
#### d. Plomo

La distribución de plomo en el agua de mar de Bahía Caldera presentó diferencias espaciales y temporales durante las campañas realizadas en 2009, 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 2009 fue de  $0,022 \pm 0,001 \mu\text{g L}^{-1}$ , presentando un estrecho rango de variación que fluctuó entre  $0,021$  y  $0,024 \mu\text{g L}^{-1}$ , (**Figura 32, Tabla 9**). Durante este período las concentraciones determinadas se encontraron por debajo de las concentraciones consideradas naturales ( $< 0,03 \mu\text{g L}^{-1}$ ; Furness & Rainbow, 1990), y fueron además 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 (EPA, 1999).

La campaña invernal de 2009 reportó una concentración promedio de  $0,035 \pm 0,015$ , con un rango de variación entre  $0,024 \pm 0,001$  (C-01) y  $0,072 \mu\text{g L}^{-1}$  (C-09), no verificándose tendencias en su distribución espacial (**Figura 32, Tabla 9**). Durante esta campaña el 50% de las estaciones sobrepasaron el límite de las concentraciones naturales de plomo ( $0,03 \mu\text{g L}^{-1}$ ) definido por Furness & Rainbow (1990); sin embargo, todas las concentraciones medidas durante este estudio se encontraron muy por debajo de los criterios US-EPA para plomo en agua de mar.



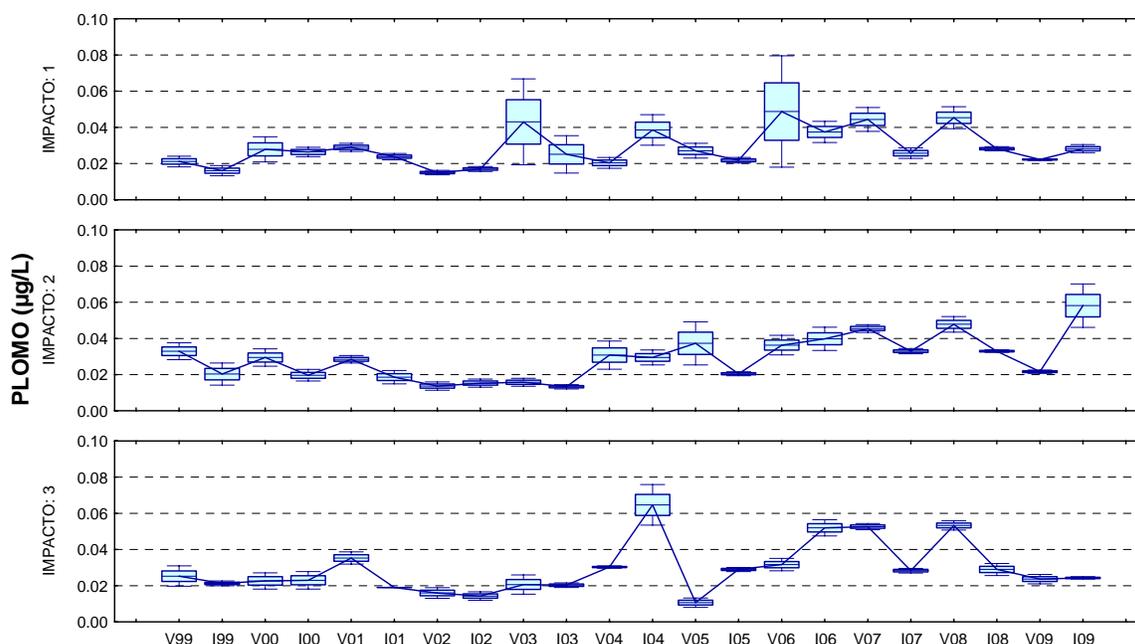


**Figura 32.** Distribución espacial y temporal (estacional) de la concentración de plomo ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) en agua de mar de Bahía Caldera durante los períodos estival e invernal de 2009.

**Tabla 11.** 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 2009.

Estación	Verano 2009	Invierno 2009
C-01	0,023 $\pm$ 0,001	0,024 $\pm$ 0,003
C-02	0,022 $\pm$ 0,001	0,025 $\pm$ 0,003
C-03	0,022 $\pm$ 0,001	0,034 $\pm$ 0,003
C-04	0,022 $\pm$ 0,001	0,031 $\pm$ 0,002
C-13	0,023 $\pm$ 0,001	0,027 $\pm$ 0,001
C-08	0,021 $\pm$ 0,001	0,044 $\pm$ 0,001
C-09	0,022 $\pm$ 0,001	0,072 $\pm$ 0,001
C-10	0,024 $\pm$ 0,002	0,024 $\pm$ 0,001

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 1999-2009. 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, situación que se extendió durante las campañas realizadas durante 2009.



**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 1999-2009. 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 2009, 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 2009 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 de macroinfauna bentónica del fondo blando submareal en Bahía Caldera estuvo compuesta durante el período estival de 2009, por un total de 891 individuos identificados, agrupados en 41 especies o formas taxonómicas diferenciadas. Este valor es muy similar al valor de la campaña de Agosto 2007 y Enero del 2008, correspondiendo en todos estos casos a las abundancias más bajas del periodo de monitoreo (Figura 34). Los Moluscos concentraron el 83,05% de la abundancia total del área, manteniendo así en el tiempo, su clara dominancia en este parámetro seguido de los crustáceos con el 12,9%.

En términos de la riqueza de especies, las especies colectadas pertenecieron a 7 grupos taxonómicos mayores (Mollusca, Crustacea, Echinodermata, Polychaeta, Porifera, Nemertinea y Priapulida), entre los cuales el de los moluscos y crustáceos continúan siendo los mejor representados en el área, concentrando las mayores proporciones de las especies. Estos dos grupos significaron el 53,6% y 31,71% respectivamente de todas las especies (Tabla 10), y han sido los más importantes en número de taxa en todas las campañas realizadas anteriormente en el área (Figura 35). La baja presencia de especies del grupo Echinodermata continua siendo una característica de la comunidad, aún cuando los ejemplares colectados fueron en esta oportunidad de gran tamaño.

Durante la campaña de julio del 2009, se identificó un total de 716 individuos, los cuales fueron agrupados en 27 taxa o especies taxonómicas diferenciadas. Este total de especies representa uno de los valores históricos más bajo del programa de monitoreo, acercándose a las 28 taxa colectadas en la campaña de Agosto del 2005 (Figura 34).

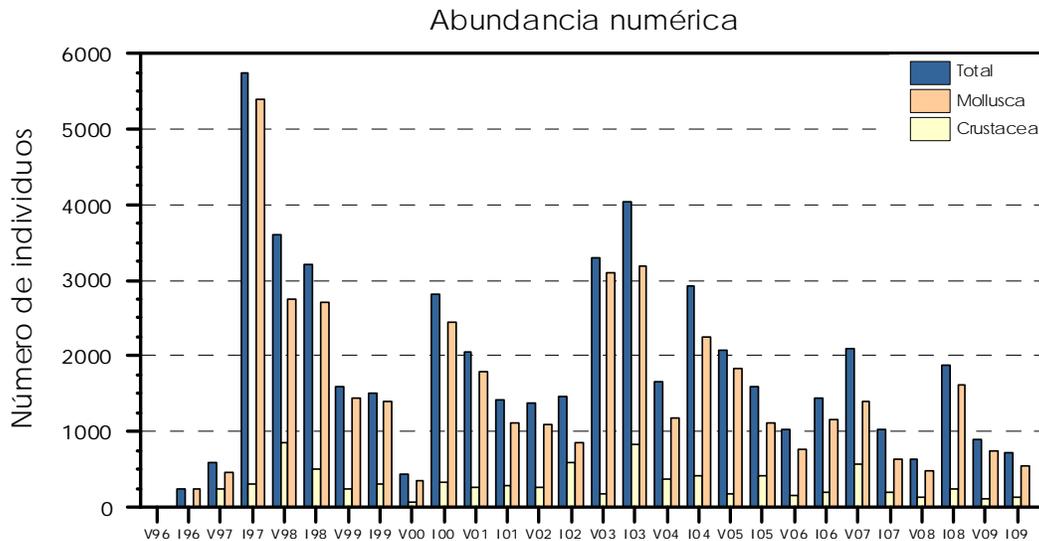
Los niveles de abundancia de esta campaña, menor al registrado durante el período estival 2009, correspondió a una de las abundancias más bajas del programa de monitoreo, de modo que este parámetro se mantiene fluctuando en el rango inferior o de valores más bajos de los registros históricos (Figura 34). El grupo taxonómico de los Moluscos concentró el 75,5% de la abundancia total del área, manteniendo así su marcada dominancia en el tiempo en relación a este parámetro. Al igual que en todas las anteriores campañas, los Crustáceos le siguen en importancia numérica con el 18,4%.

La riqueza durante este período estuvo representada por 6 grupos taxonómicos mayores: Mollusca, Crustacea, Echinodermata, Polychaeta, Porifera y Asidacea, entre los cuales destacaron Mollusca y Crustacea que continúan siendo los mejor representados en la comunidad, concentrando las mayores proporciones de especies colectadas. Los moluscos significaron el 48,2% del total de las especies mientras que los crustáceos el 33,3% (Tabla 10, Figura 35). Los restantes grupos estuvieron presentes con sólo una o dos especies, coincidiendo esta característica con lo encontrado en prácticamente todos los muestreos anteriores.

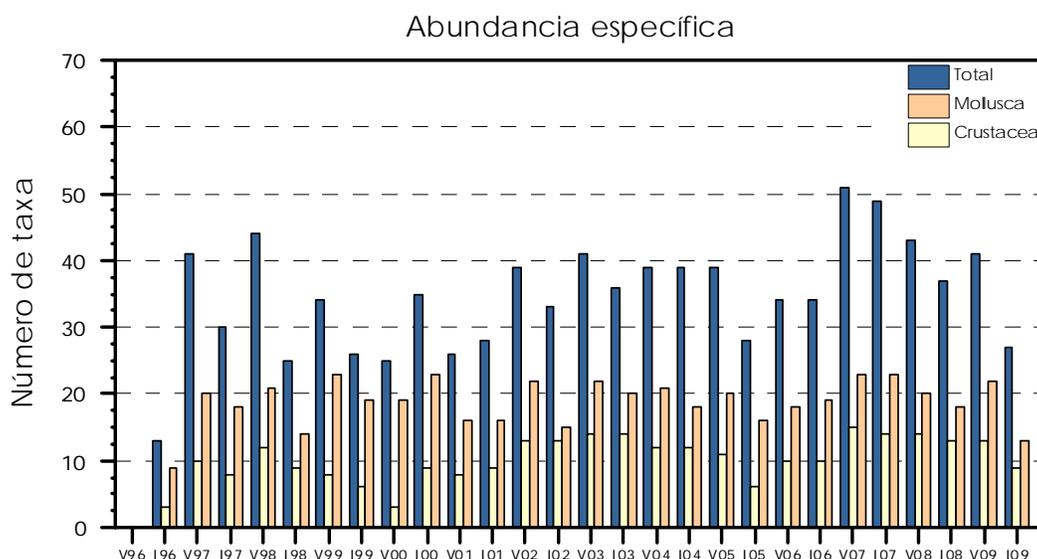


**Tabla 10.** Composición de la fauna de Bahía Caldera durante las campañas de monitoreo de 2009. S: número de especies por taxa, N: abundancia numérica y sus respectivos porcentajes.

TAXA	Período estival				Período invernal			
	S	%	N	%	S	%	N	%
Mollusca	22	53,66	740	83,05	13	48,15	542	75,70
Crustácea	13	31,71	115	12,91	9	33,33	132	18,44
Echinodermata	2	4,88	6	0,67	2	7,41	24	3,35
Otras	4	9,76	30	3,36	3	11,11	18	2,52
<b>Total</b>	<b>41</b>	<b>100</b>	<b>891</b>	<b>100</b>	<b>27</b>	<b>100</b>	<b>716</b>	<b>100</b>



**Figura 34.** Análisis histórico de la abundancia numérica para el período 1996-2009 (incluyendo campañas estivales e invernales) en Bahía Caldera.



**Figura 35.** Análisis histórico de la abundancia específica para el período 1996-2009 (incluyendo campañas estivales e invernales) en Bahía Caldera.

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

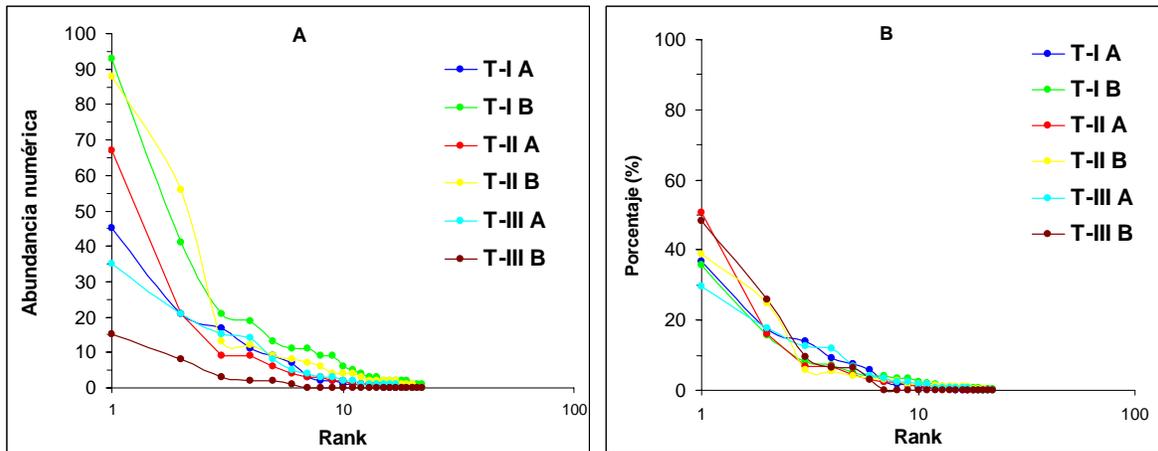
Durante la campaña estival de 2009 los lances correspondientes a los Transectos I y II ubicados en la costa cercana a Punta Padrones y en el fondo de saco de la bahía respectivamente, tuvieron las mayores abundancias. Estos lances alcanzaron abundancias totales entre 122 y 261 individuos con promedios entre ambos lances de 0,6 ind/m<sup>2</sup> y 0,56 ind/m<sup>2</sup> en T-I y T-II respectivamente. El transecto T-III en cambio, tuvo menores abundancias con valores totales de 118 y 31 individuos en los lances A y B y un promedio de 0,23 ind/m<sup>2</sup>.

La abundancia de epifauna en la campaña invernal, observamos claramente que los dos lances correspondientes al Transecto II tuvieron abundancias notoriamente mayores (**Tabla 11**), alcanzando valores de abundancias totales de 243 y 235 individuos en los lances A y B respectivamente realizados en este sector, con un valor de densidad promedio estandarizado de 0,76 ind/m<sup>2</sup>. Situación que ha sido recurrente históricamente, ya que este transecto ha tenido las mayores densidades del área prácticamente en todas las campañas realizadas históricamente. Los otros dos transectos (T-I y T-II) tuvieron abundancias similares, con promedios entre lances A y B de 0,22 ind/m<sup>2</sup> para el Transecto I y 0,15 ind/m<sup>2</sup> para el Transecto III.

**Tabla 11.** Abundancia y densidad de la fauna en los transectos analizados durante 2009. S (especies/transecto), N° (ejemplares/transecto), Densidad (ejemplares/m<sup>2</sup>).

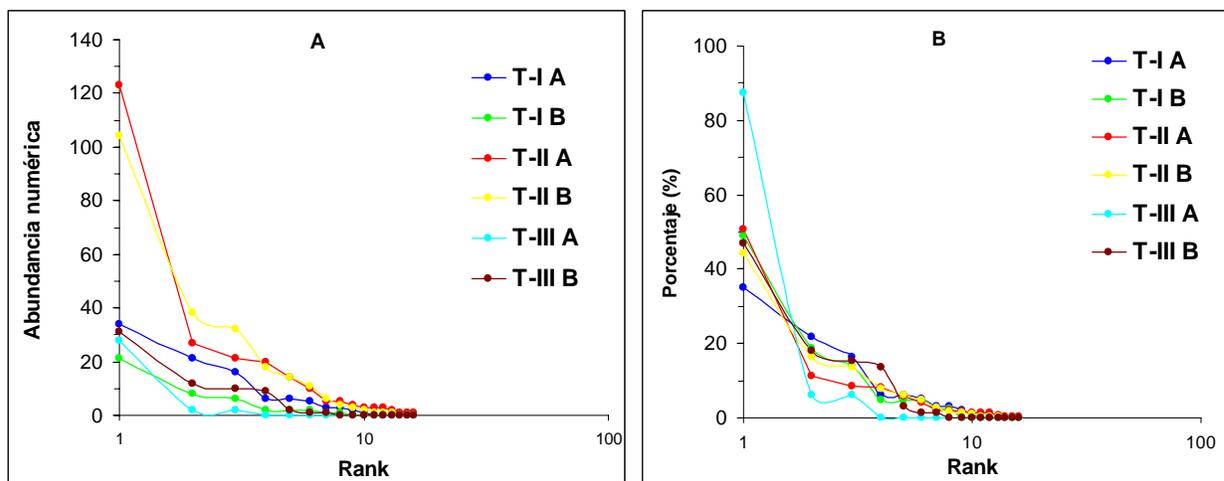
		Período estival			Período invernal		
		S	N°	Densidad	S	N°	Densidad
T-I	A	14	122	0,38	10	97	0,30
	B	22	261	0,82	8	43	0,13
T-II	A	15	132	0,41	16	243	0,76
	B	19	227	0,71	13	235	0,73
T-III	A	17	118	0,37	3	32	0,10
	B	6	31	0,10	7	66	0,21

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. En la Figura A se observa para todos los casos una especie en abundancias muy superiores a la de todas las otras especies, correspondiendo en todos ellos al gastrópodo *Nassarius* sp. Sin embargo, las magnitudes de las diferencias con las abundancias de las otras especies no fueron exageradas, ya que los niveles de dominancia específica graficados en la Figura B, fueron inferiores al 50% en los seis lances. Este nivel de dominancia específica es relativamente bajo comparado con los resultados de campañas anteriores donde generalmente se han registrado dominancias sobre el 50%, especialmente para lances del transecto T-II.



**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 2009.

Durante el invierno de 2009, las curvas de abundancia establecen mayores valores para los dos lances del transecto T-II, donde una especie presentó abundancias notoriamente mayores a la de las restantes especies de la comunidad. En ambos casos correspondió a *Nassarius* sp., especie que también fue la más abundante en todos los otros lances de los transectos T-I y T-III. A pesar de esta situación de mayor abundancia de *Nassarius* sp. los niveles de dominancia específica graficados en las curvas “RSA” de la (Figura 37 B), no fueron extremadamente altos fluctuando cercanos al 50%. La excepción fue el lance T-III B donde la dominancia ejercida por *Nassarius* sp. alcanzó un nivel superior al 85%.

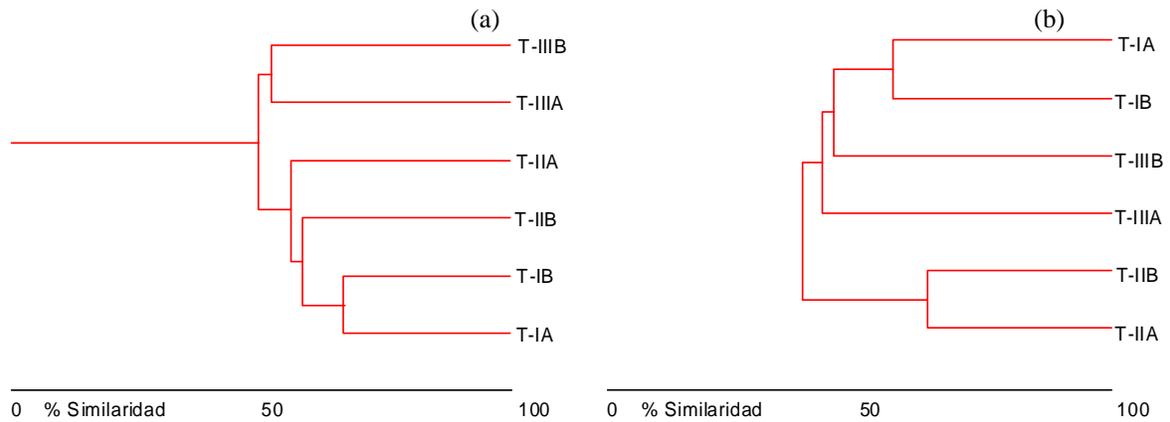


**Figura 37.** a) curvas de abundancia de las estaciones presentes, b) Curvas de dominancia (tipo RSA) para la abundancia de las especies de Bahía de Caldera. Julio 2009.

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 2009 (Figura 38). Durante el verano se diferenció en un grupo a los dos lances del transecto T-III, los cuales compartieron las menores abundancias del área, junto con las menores riquezas de especies. En otro grupo de mayor similitud, se unieron los dos lances del transecto T-I los que compartieron similares niveles en sus parámetros e índices comunitarios y a *Nassarius* sp. como especie dominante. Los lances del Transecto T-I se unieron cercanamente en grado de similitud con los dos lances del transecto T-II, los que igualmente estuvieron dominados por *Nassarius* sp. y cuyos valores de los índices fueron similares a los de T-I.

Durante el invierno de 2009, el dendrograma diferenció claramente en un grupo de mayor similitud faunística a los dos lances del transecto T-II ubicados en el fondo de saco de la bahía, los cuales compartieron las mayores abundancias y riquezas de especies del área. Los restantes cuatro lances correspondientes a los transectos T-I y T-III formaron otro grupo de

menor nivel de similaridad en el cual el lance T-III A fue el de menor grado de similaridad debido a que tal como se analizó anteriormente, tuvo una menor diversidad relacionada con su menor riqueza de especies y mayor dominancia específica por la abundancia de *Nassarius sp.*, además de ser el lance de menor abundancia total del área.



**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 2009.

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

En la **Tabla 14** se presentan los promedios anuales de la composición porcentual de los componentes del concentrado de cobre producido por la Compañía Contractual Minera Candelaria, entre los períodos 1995 al 2009. Los promedios generales indican el amplio predominio de las fracciones azufre, cobre y hierro, los cuales en conjunto conforman el 91,36% del concentrado. Por su parte, los promedios históricos del resto de los elementos analizados no superaron individualmente el 1%, a excepción de las fracciones asociadas al  $\text{SiO}_2$  (3,978%) y al  $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{MgO}$  (1,362%).

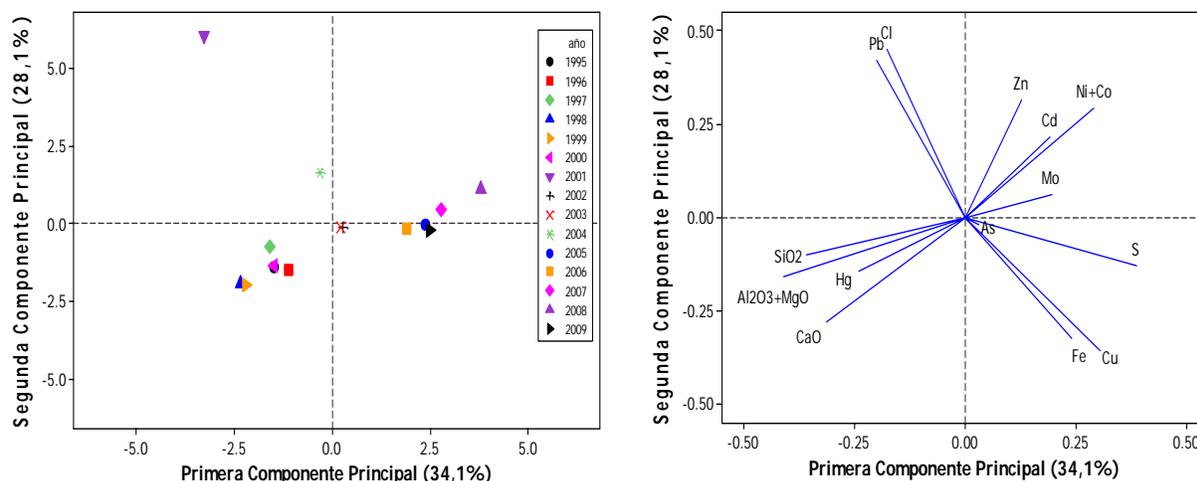
En general, las menores variaciones temporales se registraron asociadas al cobre, hierro y azufre, los presentaron coeficientes de variación que oscilaron entre 2,7% a 3,7%. Por su parte, las mayores variaciones temporales se registraron para los parámetros plomo (318,0%) y cloro (117,6%), situación que se explica por las altas concentraciones que se registró para estas variables en el concentrado de manera puntual durante el año 2001.

El Análisis de Componentes Principales exploratorio (ACP), realizado sobre la composición histórica del concentrado de cobre período 1995 al 2009, reveló que entre las dos primeras componentes generadas se explica un 62,2% de la variabilidad total de la información. La representación bidimensional de estas dos primeras componentes (**Figura 39**), permite la identificación de 4 agrupaciones, de ellas tres se localizan cercanas en torno a los promedios históricos; en tanto que la muestra del año 2001 presentó una marcada segregación del resto de los años evaluados debido a los niveles comparativamente mayores de Cl y Pb; así como también a los menores niveles de Cu y Fe que presentó el concentrado durante aquel año. Un segundo grupo lo conforman los promedios de los años 1995 al 2000, el cual se caracterizó por presentar niveles de CaO, Hg,  $\text{SiO}_2$  y  $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{MgO}$  comparativamente mayores que el resto, un tercer grupo formado por los años 2002 al 2004 presentaron niveles que se encuentran en torno a los promedios generales históricos, mientras que el cuarto grupo, constituido por los años 2005 al 2009 presentaron niveles comparativamente mayores de azufre y Ni+Co; así como también bajos niveles de  $\text{SiO}_2$  y  $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{MgO}$  (**Figura 39**).



**Tabla 14.** Composición porcentual de elementos presentes en el concentrado de cobre de Minera Candelaria entre los años 1994-2009.

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
2009	0,730	0,009	0,313	0,003	0,010	30,817	30,036	0,000	0,012	0,014	0,011	32,924	1,940	0,603
<b>Promedio</b>	1,362	0,006	0,494	0,002	0,017	29,967	28,898	0,000	0,012	0,017	0,194	32,494	3,978	0,393
<b>Desv est.</b>	0,304	0,002	0,125	0,001	0,020	0,820	0,788	0,000	0,002	0,005	0,617	1,205	1,018	0,153



**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 - 2009.

### 3.5. Análisis de muestras certificadas

Durante el monitoreo ejecutado en ambos períodos estacionales de 2009, se utilizó como control de calidad interna de laboratorio de los análisis en agua de mar el estándar Cass-4 para las mediciones de cadmio, cobre y plomo, cuyas concentraciones estándar de referencia se presentan en la **Tabla 15** mientras que en el caso del hierro se utilizó el estándar PSAM (patrón secundario de agua de mar).

El control de calidad interna de laboratorio en el análisis de elementos traza en agua de mar, establece que 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 15.** 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 2009 ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	Valores observados Invierno 2009 ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )
Cass-4 Cd	0,026	0,025 $\pm$ 0,001	0,027 $\pm$ 0,001
Cass-4 Cu	0,592	0,582 $\pm$ 0,006	0,585 $\pm$ 0,003
Cass-4 Pb	0,0098	0,0096 $\pm$ 0,0007	0,0097 $\pm$ 0,0001
PSAM Fe	5,0	5,07 $\pm$ 0,06	5,07 $\pm$ 0,06

De igual manera, para el análisis de los sedimentos marinos de bahía Caldera durante ambas campañas de 2009, el control de calidad de laboratorio se realizó utilizando el estándar Mess-2 en las determinaciones de los metales cadmio, cobre, hierro y zinc, mientras que para el caso del plomo se utilizó el estándar Hiss-1 (**Tabla 16**).

De manera similar a lo observado en el caso de los análisis en agua de mar, se observó 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 16.** 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 2009 (<math>\mu\text{g g}^{-1}</math>)</b>	<b>Valores observados Invierno 2009 (<math>\mu\text{g g}^{-1}</math>)</b>
Mess-2 Cd	0,24	0,24	0,24
Mess-2 Cu	39,3	39,5	39,7
Hiss-1 Pb	3,13	2,93	3,24
Mess-2 Fe	43.502,7	43.056,3	43.913,1
Mess-2 Zn	172,0 (verano) 4,94 (invierno)	171,5	5,07

## 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); por tal motivo, son una matriz que concentra material proveniente desde diversas fuentes tanto propias como externas. Por tal razón, la geoquímica de los sedimentos costeros ha sido ampliamente estudiada, especialmente en relación con el estado de contaminación de los metales en los sistemas costeros (Salomon and Förstner, 1984; Furness & Rainbow, 1990; Silva *et al.*, 2009).

Dependiendo de las variaciones físicas y químicas del ambiente de depositación, estos sedimentos pueden actuar como un sumidero o fuente de una serie de sustancias que modifican las propiedades naturales de la columna de agua y la trama trófica marina (Alagarsamy, 2006; Buccolieri *et al.*, 2006). En este contexto, el conocimiento de las propiedades de los sedimentos permite evaluar las eventuales perturbaciones derivadas de la acumulación de sustancias antropogénicas y/o naturales, las cuales eventualmente podrían constituir un riesgo para la salud del ecosistema (Valdés & Sifedine, 2009).

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).

Si bien se ha descrito que uno de los factores más significativos que influyen los niveles de elementos traza en los sedimentos marinos 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). Sin embargo, cabe destacar que la sola



determinación de las concentraciones de los elementos traza en los sedimentos marinos no provee una efectiva herramienta de gestión ambiental, 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 ERLs 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

Durante el año 2009, en ambas campañas se observó el típico patrón de distribución histórico del cobre, el cual se caracteriza por presentar las mayores concentraciones en las estaciones localizadas hacia el fondo de saco de la Bahía (estaciones C-08 y C-09). Al considerar 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 de este sector, se encontraron en la estación C-02 la cual está localizada hacia la cabecera del muelle, situación que fue especialmente válida durante la campaña estival 2009 donde se detectó una concentración promedio de  $170,67 \mu\text{g g}^{-1}$ . Solamente las determinaciones asociadas a las estaciones C-02 y C-09 (campaña estival) y C-09 campaña invernal presentaron magnitudes por sobre la concentración máxima establecida por el estudio de Evaluación de Impacto Ambiental, considerando como de referencia de calidad ambiental por CCMC para Bahía Caldera ( $150 \mu\text{g g}^{-1}$ ).

Pese a la diferencia numérica existente entre las concentraciones promedios de ambas campañas ( $71,56 \mu\text{g g}^{-1}$  campaña estival y  $84,88 \mu\text{g g}^{-1}$  campaña invernal), el análisis estadístico entre los períodos no reveló la existencia de diferencias significativas ( $p=0,627$ ). Al considerar los criterios de calidad toxicológicos descritos para el cobre en los sedimentos marinos (**Tabla 17**), es posible señalar que las concentraciones promedios de cobre por campaña son inferiores a 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), estaciones 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 anteriormente mencionadas, C-02 (solamente en campaña estival) y estaciones C-08 y C-09 (ambas campañas), superaron el límite establecido por el índice PEL (nivel con efecto probable) el cual está propuesto como de referencia en nuestro país por parte de la Directemar, sólo la determinación del período invernal 2009 de la estación C-09 sobrepasó el otro índice toxicológico máximo (ERM: rango de concentración media; Long *et al.*, 1998).

Al contrastar los resultados obtenidos en las campañas del 2009 respecto de lo reportado en diversas investigaciones realizadas en las costas de nuestro país, es posible establecer que salvo las máximas concentraciones asociadas a las estaciones C-08 y C-09 y la estación C-02 (sólo campaña estival), las magnitudes de cobre descritas se encuentran dentro de los rangos que se han reportado para Bahía Mejillones (10,02-83,86  $\mu\text{g g}^{-1}$ ; Valdés & Sifedine, 2009), Bahía Serena (8,6-32  $\mu\text{g g}^{-1}$ ; De Gregori *et al.*, 1996), Bahía San Vicente (17,19-81,73  $\mu\text{g g}^{-1}$ ; Ahumada & Vargas, 2005), el Golfo de Ancud (10,2-95,4  $\mu\text{g g}^{-1}$ ; Silva *et al.*, 2009), o los sedimentos marinos de la región patagónica (15,0-38,4  $\mu\text{g g}^{-1}$ ; Ahumada *et al.*, 2002). Sin embargo, las máximas concentraciones encontradas durante el año 2009 en los sedimentos marinos de Bahía Caldera, son inferiores a las concentraciones de cobre  $>400 \mu\text{g g}^{-1}$  que se han reportado para el sector de Bahía Quintero (De Gregori *et al.*, 1996), o las magnitudes  $>1.000 \mu\text{g g}^{-1}$  que se han informado en los sedimentos intermareales de la zona cercana a Caleta Palito en Bahía Chañaral la cual ha sido definida como una zona impactada producto de la actividad minera de El Salvador (Ramírez *et al.*, 2005).

#### 4.1.2. Zinc

Aunque las concentraciones promedios de zinc por campaña evidencian una variación estacional (39,865  $\mu\text{g g}^{-1}$  campaña estival y 45,612  $\mu\text{g g}^{-1}$  campaña invernal), el contraste estadístico entre campañas no evidenció la existencia de diferencias significativas ( $p=0,495$ ) entre las condiciones estival e invernal, lo anterior se explica por el amplio rango de fluctuación que presentó la información durante la campaña invernal, debido a un máximo puntual asociado a la estación C-09 (146,20  $\mu\text{g g}^{-1}$ ), el cual está modulando el promedio general de esa campaña.

Destacó en ambos periodos de monitoreo la existencia de un patrón de distribución caracterizado por evidenciar las máximas concentraciones de zinc asociadas a la estación C-09, y aunque la totalidad de los registros son inferiores a los criterios toxicológicos



máximos establecidos para esta variable (criterios ERM/PEL) (**Tabla 17**); solamente la estación C-09 durante la campaña invernal 2009, presentó en forma puntual una concentración de zinc mayor a lo descrito 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 durante el año 2009, son contrastables a los reportados en otros sectores de nuestro país como en lo señalado para Bahía Mejillones ( $10-62 \mu\text{g g}^{-1}$ ; Valdés *et al.*, 2005), el sector menos industrializado de Bahía San Vicente ( $49,0-88,10 \mu\text{g g}^{-1}$ ; Ahumada & Vargas, 2005); la zona del Golfo de Ancud ( $23,4-95,4 \mu\text{g g}^{-1}$ ; Silva *et al.*, 2009) o los sedimentos marinos patagónicos ( $97,3-154,7 \mu\text{g g}^{-1}$ ; Ahumada *et al.*, 2002). Por su parte, el máximo de la estación C-09 reportado durante la campaña invernal ( $146,20 \mu\text{g g}^{-1}$ ), es inferior a las más altas magnitudes que se han detectado en los sectores cercanos a la localidad de Chañaral ( $154-331 \mu\text{g g}^{-1}$ ; Ramírez *et al.*, 2005) o en el sector industrializado de Bahía San Vicente ( $178,20-272,10 \mu\text{g g}^{-1}$ ; Ahumada & Vargas, 2005).

### 4.1.3. Hierro

Los resultados asociados a las determinaciones de hierro en los sedimentos marinos de Bahía Caldera durante las campañas del 2009, se caracterizaron por presentar los mayores niveles asociados al sector de fondo de saco de la Bahía, especialmente en la estación C-09. Aunque como la mayoría de los metales trazas evaluados, las concentraciones descritas durante la campaña invernal fueron mayores que las detectadas durante el período estival, el hierro fue el único cuyas diferencias numéricas estacionales ( $2.665,8-5.073,5 \mu\text{g g}^{-1}$ ; **Tabla 17**) fueron estadísticamente significativas ( $p=0,005$ ).

Esta variable es la que presentó las concentraciones numéricamente más altas de los metales analizados, en este contexto se debe mencionar que al igual que el cobre, el hierro 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), es además uno de los elementos más abundantes en la corteza terrestre, no existiendo para este metal guías de calidad ambiental a nivel nacional o internacional (**Tabla 17**).

En general, el rango de magnitudes de hierro informadas durante el año 2009 en los sedimentos marinos de Bahía Caldera, son bajos y contrastan con las concentraciones  $>20.000 \mu\text{g g}^{-1}$  que han sido reportadas para el sector costero de Chañaral (Ramírez *et al.*, 2005), o los niveles  $>30.000 \mu\text{g g}^{-1}$  que se han detectado en el sector de Golfo de Ancud (Silva *et al.*, 2009). Cabe destacar que las concentraciones informadas para Bahía Caldera, son consistentes con los niveles que se han descrito para los sedimentos marinos libre de contaminación ( $15.000 \mu\text{g g}^{-1}$ ; Silva *et al.*, 2009).



#### 4.1.4. Plomo

A diferencia de los metales anteriormente descritos, el plomo es un elemento traza no esencial (Thompson, 1990) y es considerado 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). Este metal 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).

En general, en ambas campañas se observó que las mayores niveles se encontraron asociados al sector de fondo de saco de la Bahía (estaciones C-08 y C-09), especialmente en la estación C-08, la cual en ambas campañas presentó las concentraciones promedios más altas del área de estudio ( $12,933 \mu\text{g g}^{-1}$  y  $20,733 \mu\text{g g}^{-1}$  para las campañas estival e invernal, respectivamente). Si bien durante la campaña invernal la totalidad de las estaciones de muestreo presentaron niveles de plomo comparativamente mayores que los registrados durante el período estival, el análisis estadístico entre campañas reveló que no existen diferencias estadísticamente significativas ( $p=0,090$ ).

Pese a la distribución espacial que indicó una acumulación de esta variable hacia el sector de fondo de saco de la Bahía en ambas campañas, los niveles de plomo descritos en los sedimentos marinos de Bahía Caldera son bajos, siendo inferiores a los criterios toxicológicos internacionales propuestos para esta variable; 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 (**Tabla 17**).

A modo de contraste, las concentraciones de plomo descritas durante las campañas del 2009 en los sedimentos marinos de Bahía Caldera, se encuentran dentro del rango de variación que ha sido informado en otros estudios desarrollados en los sectores costeros de Bahía Mejillones ( $8,77\text{-}28,58 \mu\text{g g}^{-1}$ ; Valdés & Sifedine, 2009); el Golfo de Ancud ( $6,94\text{-}16,22 \mu\text{g g}^{-1}$ ; Silva *et al.*, 2009) o el sector austral de la Patagonia ( $19,9\text{-}31,8 \mu\text{g g}^{-1}$ ; Ahumada *et al.*, 2002), siendo todas estas concentraciones inferiores a las magnitudes de plomo  $>50 \mu\text{g g}^{-1}$  que se han detectado en la zona más industrializada de Bahía San Vicente (Ahumada & Vargas, 2005).

#### 4.1.5. Cadmio

De manera similar a lo reseñado anteriormente para el plomo, el cadmio es considerado como un elemento potencialmente tóxico, particularmente en sus formas soluble y respirable, pudiendo ser bioconcentrado en las tramas tróficas (Canadian Council of Ministers of the Environment, 1999d). Durante el año 2009 las concentraciones cadmio se encontraron centradas entre los  $0,3$  a los  $0,8 \mu\text{g g}^{-1}$ ; a excepción del máximo de  $1,310 \mu\text{g g}^{-1}$



que fue detectado en la estación C-04 durante la campaña estival 2009. Aunque durante la campaña estival ( $0,604 \mu\text{g g}^{-1}$ ) los niveles promedios fueron levemente mayores que el registrado durante la campaña invernal ( $0,488 \mu\text{g g}^{-1}$ ), estas diferencias no fueron estadísticamente significativas ( $p=0,092$ ).

En general, la totalidad de los resultados informados durante las campañas del 2009, son sensiblemente inferiores a los criterios toxicológicos máximos establecidos para esta variable (criterios ERM/PEL) (**Tabla 17**); por lo que es posible inferir que los niveles de cadmio no constituyen un riesgo ambiental para las comunidades biológicas que están expuestas o que viven insertas en la matriz sedimentaria de Bahía Caldera. Al contrastar los resultados obtenidos con lo reportado en diversas investigaciones desarrolladas a lo largo de la costa de nuestro país, es posible señalar que los sedimentos de Bahía Caldera presentaron niveles de cadmio que son contrastables con lo reportado para el sector costero de la Serena o en Bahía Quintero ( $0,07-0,60 \mu\text{g g}^{-1}$ ; De Gregori *et al.*, 1996); así como también con los bajos niveles que caracterizaron a los sedimentos analizados en el Golfo de Ancud ( $0,08-0,50 \mu\text{g g}^{-1}$ ; Silva *et al.*, 2009), o en el sector austral de Chile ( $0,2-0,5 \mu\text{g g}^{-1}$ ; Ahumada *et al.*, 2002), y contrastan con las comparativamente mayores concentraciones que caracterizan a los sedimentos de Bahía Mejillones ( $3-38 \mu\text{g g}^{-1}$ ; Valdés *et al.*, 2005) y el sector más industrializado de Bahía San Vicente ( $>5 \mu\text{g g}^{-1}$ ; Ahumada & Vargas, 2005).

**Tabla 17.** 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 2009 ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	Invernal 2009 ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	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	71,56	84,88	34,0	270,0	18,7	108,2
Zinc	39,865	45,621	150	410	124	271
Hierro	2665,8	5073,5	---	---	---	---
Plomo	5,761	7,937	46,7	218,0	30,24	112,18
Cadmio	0,604	0,488	1,2	9,6	0,68	4,21

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

## 4.2. Metales en agua de mar

Diversos autores han establecido que los sectores costeros cercanos a áreas urbanas e industriales presentan alteraciones en los patrones naturales de distribución de las sustancias que tienen como origen tanto una fuente natural como antropogénica (Luoma, 1990; Giordano *et al.*, 1992; French, 1993). Entre estas sustancias se encuentran los elementos traza, los cuales independientemente del origen (antropogénico o natural), una vez en el ambiente siguen las mismas vías geoquímicas, lo que altera 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 una caracterización de la calidad ambiental de las aguas monitoreadas al interior de Bahía Caldera, los resultados obtenidos durante las campañas del 2009 serán contrastados con el documento de referencia elaborado por CONAMA “Instructivo Presidencial para la dictación de normas secundarias de calidad ambiental para aguas continentales superficiales y aguas marinas” (Conama, 2002), el cual entrega una serie de clasificaciones las cuales se relacionan con usos específicos del cuerpo de agua y con el Decreto Oficial N°144 (“Establece normas de calidad primaria para la protección de las aguas marinas y estuarinas aptas para actividades de recreación con contacto directo”), promulgado el 30/12/2008 y publicado en el diario oficial el 07/04/2009. Además, en forma complementaria los resultados serán contrastados con los criterios toxicológicos internacionales propuestos por la US-EPA; estos son, Criterio de Concentración Continua (CCC) y Criterio de Máxima Concentración (CMC), los cuales se relacionan con el nivel más alto a la cual puede ser expuesta una población indefinidamente sin sufrir efectos deletéreos (CCC) y la concentración más alta a la cual puede exponerse una población brevemente sin presentar efectos nocivos (CMC) (EPA, 2006).



### 4.2.1. Cobre

Durante el año 2009, los niveles de cobre determinados en las aguas de Bahía Caldera fueron bajos, encontrándose los resultados dentro los rangos que se han reportado como naturales ( $0,012-2,3 \mu\text{g L}^{-1}$ ; Furness & Rainbow, 1990). Si bien se detectó diferencias estadísticas significativas entre las estaciones de muestreo, las que se explican por los máximos puntuales asociados a las estaciones C-10 (campana estival) y C-09 y C-10 (campana invernal), la totalidad de los resultados clasifican como aguas de Clase 1 o muy buena calidad según los límites establecidos en el Instructivo de Conama, no detectándose espacialmente al interior de Bahía Caldera alguna alteración o cambio en la calidad del agua de mar asociada a este parámetro (**Tabla 18**).

Al considerar los estándares toxicológicos internacionales de la US-EPA, es posible observar que en ambas campañas toda el área de estudio presentó concentraciones de cobre inferiores al estándar toxicológico más bajo ( $\text{CCC} = 3,1 \mu\text{g L}^{-1}$ ), por lo que es posible inferir que los niveles de cobre descritos en el agua de mar de Bahía Caldera no constituyen un riesgo para las comunidades acuáticas (**Tabla 18**).

Los resultados obtenidos, se encuentran dentro del rango de variación que ha sido reportado en otros estudios desarrollados en el sector costero a nivel nacional, como lo informado por Salamanca *et al.* (2004) para la zona de Bahía San Jorge ( $1,76-2,36 \mu\text{g L}^{-1}$ ), o por Leonardo *et al.* (2009) para el sector de Cobquecura, Itata y Bahía Coliumo ( $1,69-1,87 \mu\text{g L}^{-1}$ ); por su parte, estos resultados son sensiblemente inferiores a las concentraciones de cobre que se han determinado en sectores del norte de Chile que recibieron los desechos de la actividad minera de El Salvador (Castilla, 1996; Correa *et al.*, 1996), donde se han informado concentraciones de cobre  $> 20 \mu\text{g L}^{-1}$  (Ratkevicius *et al.*, 2003; Stauber *et al.*, 2005).

### 4.2.2. Hierro

Este metal se caracterizó por presentar un notorio incremento en las concentraciones durante la campana invernal 2009 en las estaciones asociadas al fondote saco de la Bahía (estaciones C-08 y C-09). Sin embargo, este elemento es muy abundante tanto en el ambiente sedimentario como en la columna de agua por lo que no está considerado dentro de los estándares o guías de calidad ambiental a nivel nacional o internacional (**Tabla 18**). En este contexto, aunque se detectó un aumento en los niveles de hierro durante la campana invernal, los valores reportados son consistentes con las magnitudes que se han informado en otros sectores de nuestro país ( $< 50 \mu\text{g L}^{-1}$ ) (Ratkevicius *et al.*, 2003; Stauber *et al.*, 2005), y contrastan con las magnitudes de  $350$  y  $820 \mu\text{g L}^{-1}$  que han sido detectadas en el sector costero de Topocalma y Caleta Palito (Ratkevicius *et al.*, 2003).

### 4.2.3. Plomo

De manera similar a lo mencionado anteriormente para el hierro, durante la campaña invernal se observó un notable incremento de las magnitudes de plomo asociadas a las estaciones emplazadas en el sector de fondo de saco de Bahía (estaciones C-08 y C-09); en donde se reportaron concentraciones promedios de  $0,044 \mu\text{g L}^{-1}$  y  $0,072 \mu\text{g L}^{-1}$ , en tanto que el resto de las estaciones presentaron magnitudes que oscilaron entre los  $0,021$  y  $0,034 \mu\text{g L}^{-1}$ . Sin embargo, pese a esta diferencia numérica detectada, la totalidad de los resultados asociados a esta variable en ambas campañas de muestreo, clasificaron como aguas de Clase 1 o muy buena calidad, encontrándose además las magnitudes reportadas bajos los límites establecidos para el plomo en las aguas marinas destinadas a la recreación con contacto directo (Decreto N°144).

Al considerar los criterios toxicológicos propuestos por la US-EPA, es posible señalar que los niveles de plomo presentes durante el año 2009 en las aguas de Bahía Caldera, no constituyen un riesgo para las comunidades acuáticas (**Tabla 18**). Cabe destacar, que los bajos niveles reportados en Bahía Caldera durante las campañas del 2009, son contrastables con lo informado por Salamanca *et al.* (2004) para Bahía San Jorge ( $0,034$ - $0,046 \mu\text{g L}^{-1}$ ) y contrastan con los niveles comparativamente mayores que se han reportado para Bahía Puerto Montt (Alarcón, 2003).

### 4.2.4. Cadmio

Las concentraciones de cadmio en el agua de Bahía Caldera se caracterizaron por presentar un incremento durante la campaña invernal, con máximos invernales asociado al sector de fondo de saco de la Bahía, donde se reportaron concentraciones promedios de  $0,042 \mu\text{g L}^{-1}$  (estación C-08) y  $0,071 \mu\text{g L}^{-1}$  (estación C-09). Sin embargo, pese a esta diferencia numérica estacional, los bajos niveles reportados clasifican como aguas de Clase 1 o muy buena calidad según el Instructivo de Conama, cumpliendo además con lo estipulado para las aguas marinas destinadas a la recreación con contacto directo (Decreto N° 144).

Como ha sido señalado anteriormente para los metales traza analizados en la columna de agua de Bahía Caldera, durante el año 2009 la totalidad de los registros de cadmio se encontraron bajo los estándares de calidad toxicológicos CCC y CMC propuestos por la US- EPA para este metal (**Tabla 18**); por tal motivo, es posible señalar que los niveles de cadmio presentes en la columna de agua de Bahía Caldera no presentó niveles que se pudiese asociar con la existencia de un posible efecto sobre la biota.

**Tabla 18.** 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 2009 ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	Invernal 2009 ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	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	1,201	1,250	3,1 – 4,8	<10	10-50	50
Hierro	6,034	19,055	---	---	---	---
Plomo	0,022	0,035	8,1-210	<3	3-50	50
Cadmio	0,023	0,034	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.

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 2009, 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.

Por otra parte, 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.

Se ha descrito un patrón de circulación antihorario al interior de Bahía Caldera, caracterizado por el ingreso de agua procedente de corrientes costeras adyacentes, las cuales se internan hacia Bahía Caldera por el sector de Punta Padrones, mientras que la salida sería por el sector oriental (Arcos *et al.*, 1997, Ortiz, 1997).



Debido a lo anterior, el sector de fondo de saco actuaría como un área de remanso en este patrón de circulación, estableciendo condiciones de retención de elementos traza que históricamente han sido aportados en este sector por actividades mineras como el antiguo muelle de carga cercano al sector de Puerto de Caldera y Playa Mansa.

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

Durante las evaluaciones realizadas en 2009, se ha verificado una marcada disminución en los niveles de abundancia numérica similares a las registradas durante la campaña estival de 2008, invierno de 1996 y verano de 2000.

Durante estas campañas, se ratificó la tendencia histórica en las comunidades bentónicas observadas al interior de Bahía Caldera, donde el grupo faunístico mayormente representado sigue siendo Mollusca, seguido de Crustacea. Además, durante ambos 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.



## 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 2009, han permitido concluir lo siguiente:

### Elementos traza en sedimentos

1. La distribución de cobre en sedimentos sublitorales 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 invernal fueron significativamente superiores a las registradas durante el período estival. 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 ( $170,7$  y  $54,9 \mu\text{g g}^{-1}$  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 las estaciones cercanas a Puerto Padrones y la estación C-10, situada en el sector oriental de la bahía, mantuvieron durante ambas campañas de 2009 las menores concentraciones exhibidas históricamente, donde las concentraciones medidas en este sector fueron inferiores al criterio ER-M ( $270 \mu\text{g g}^{-1}$ ). En el sector de fondo de saco, por su parte, superó este criterio durante la campaña invernal, toda vez que la estación C-09 presentó concentraciones  $>350 \mu\text{g g}^{-1}$ .



3. Al igual a lo informado en campañas anteriores, durante el 2009 los elementos traza zinc, hierro y plomo presentaron un patrón de distribución espacial similar al descrito para el cobre, donde las mayores concentraciones estuvieron asociadas con las estaciones del sector de fondo saco de la bahía (estaciones C-08 y C-09). El cadmio presentó mayores concentraciones asociadas a la estación C-04 en ambos períodos de evaluación, explicando la presencia de diferencias espaciales significativas para este metal.
4. Durante este período, la comparación de las concentraciones determinadas 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 ( $20-30 \mu\text{g g}^{-1}$ ); 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-01, C-03 y C-08 durante la campaña estival, y a C-04, C-09 y C-10 en el período invernal; sin embargo, salvo la estación C-04 durante la campaña estival, ninguna estación presentó concentraciones superiores al criterio ERL ( $1,2 \mu\text{g g}^{-1}$ ).

### **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 2009, 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 (aguas de de muy buena calidad) de acuerdo a la Guía de CONAMA, y siendo inferiores a los criterios crónicos de calidad acuática utilizados por la US-EPA.
2. Durante 2009, la distribución de la concentración de cobre en agua de mar al interior de bahía Caldera establecieron diferencias temporales y especiales estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ). Durante el período estival las concentraciones de cobre en agua de mar presentaron un rango de variación que osciló entre los  $1,09$  y los  $1,33 \mu\text{g L}^{-1}$ , mientras que durante el invierno presentaron un rango de variación comparativamente menor, oscilando entre los  $1,01 \mu\text{g L}^{-1}$  y los  $1,46 \mu\text{g L}^{-1}$ , las cuales fueron inferiores a los criterios de la US-EPA ( $3,1$  y  $4,8 \mu\text{g L}^{-1}$ , respectivamente EPA, 1999).



3. Las concentraciones de hierro en agua de mar evidenciaron diferencias significativas temporales y espaciales durante los monitoreos de 2009, presentando un rango de variación estival entre 4,82 y 7,41  $\mu\text{g L}^{-1}$ , en tanto que durante el invierno se verificó un rango entre los 6,33 y 76,83  $\mu\text{g L}^{-1}$ , detectando mayores concentraciones en el fondo de saco de la bahía. 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 2009 presentaron concentraciones que sólo en algunos casos del período invernal sobrepasaron 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 2009, presentaron concentraciones de cadmio dentro de los rangos considerados como naturales. Además, todas las concentraciones registradas durante el 2009 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 2009 definió aguas con características que se encuentran dentro de los valores observados históricamente para las campanas invernales desarrolladas al interior de Bahía Caldera.
2. La distribución de la concentración de oxígeno disuelto estableció una columna de agua bien oxigenada durante los dos períodos estacionales, verificándose un descenso hacia estratos más profundo, posiblemente influenciados por la presencia de aguas de surgencia (AESS) bajas en oxígeno disuelto, procedentes desde el sector costero adyacente a Bahía Caldera.
3. Desde el punto de vista de la fauna marina, se verificó una marcada disminución en los niveles de abundancia numérica, siendo similares a las abundancias registradas durante la campaña estival de 2008, invernal de 1996 y estival de 2000. De manera similar a lo verificado en campañas previas, durante las campañas de 2009 grupo faunístico mayormente representado sigue siendo Mollusca, seguido de Crustacea. Además, durante ambos 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.



## 6. LITERATURA CITADA

- Ahlers, W.W. M. R. Reid, J.P. Kim & K.A. Hunter. 1990. Contamination-free sample collection and handling protocols for trace elements in natural fresh waters. *Australian Journal of Marine and Freshwater Research* 41:713-720.
- 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., Rudolph, A. & S. Contreras. 2002. Contenido de metales (Ba, Cd, Co, Cr, Ni, Pb, Sr, V y Zn) en los sedimentos marinos de la región patagónica (52°-56°S), Chile. *Cienc., Technol., Mar.* 25 (2): 77-86.
- Ahumada R. & J. Vargas. 2005. Trace metals: inputs, sedimentation and accumulation in San Vicente Bay, Chile. *Environ Monit and Assess.* 100: 11-22.
- Alagarsamy, R. 2006. Distribution and seasonal variation of trace metals in surface sediment of the Madovi estuary, west coast of India. *Estuarine, Coastal and Shelf Science.* 67: 333-339.
- 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.).
- Australian Waters Quality National Guidelines from Anzec. 1992. Australian Water Quality Guidelines from Fresh and Marine Waters. November, 1992.
- Buccolieri, A., Buccolieri, G., Cardellicchio, N., Dell Atti, A., Di Leo, A. & A. Maci. 2006. Heavy metals in the marine sediments of Taranto Gulf (Ionian Sea, southern Italy). *Mar. Chem.* 99: 227-235.
- 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. Jagoe (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.



- Chapman, P.M., R.N. Dexter, S.F. Cross & D.G. Mitchell. 1986. A field trial of the sediment quality triad in San Francisco Bay. U.S. Dep. Commer. NOAA Tech. Memo. NOS OMA 25, 134p.
- 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 Chanñaral 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.
- Crecelius, 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.
- Goyer R. A. 1986. Toxic effects of metals. In: Casarett and Doull's Toxicology: The Basic Science of Poisons. C. D. Klaasen, M. O. Amaur and J. Doull, Eds. New York, NY: Macmillum Publishing Company, pp. 582-635.
- Holmes, N.A. & A. D. McIntyre. 1971. Methods for the study of marine benthos. Blacwell Scientific Publications, Oxford and Edinburgh. IBP Handbook nº 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
- Leonardi, M., Vera, J. & E. Tarifeño. 2009. Diseases of the Chilean flounder *Paralichthys adspersus* (Steindachner, 1867) as biomarkers of marine coastal pollution near the Itata River (Chile). Part I: In situ macroscopic lesions. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 56: 536-545.
- Ley N° 19300. Ley de bases del medio Ambiente. Diario oficial del 9 de marzo de 1994.
- 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.
- Louma, S.N. & D.J.H. Phillips. 1988. Distribution, variability and impact of trace elements in San Francisco Bay. *Mar. Pollut. Bull.* 19:413-425
- 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.

- Ramírez, M., Massolo, S., Frache, R. & J. Correa. 2005. Metal speciation and environmental impact on sandy beaches due to El Salvador copper mine, Chile. *Mar. Pollut. Bull.* 50: 62-72.
- 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. Zárata & 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.
- Salomon, W. & U. Förstner. 1984. *Metals in hydrocycle*. Springer-Verlag, New York. 349 pp.
- Schintu, M., Meloni, P., Kudo, A. & A. Contu. 1991. Trace metals in sediments from Albia Bay, Italy. *Mar. Poll. Bull.* 22: 360-362.
- Silva, N., Haro, J. & R. Prego. 2009. Metals background and enrichment in the Chiloé interior sea sediments (Chile). Is there any segregation between fjords, channels and sounds?. *Estuarine, Coastal and Shelf Science.* 82: 469-476.

- 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. 1976. Quality criteria for water. USA Environmental Protection Agency, Washington D.C. 20460.
- USEPA. 1996. Sampling Ambient Water for Trace Metals at EPA. Water Quality Criteria Levels. US Environmental Protection Agency. Office of Water. Engineering and Analysis Division (4303). Washington DC. 20460. 35 pp.
- USEPA. 1997. The Incidence and Severity of Sediment Contamination in Surface Waters of the United States. Volume 1: National Sediment Quality Survey. USEPA 823-R-97-006. Science and Technology, Washington, DC.
- USEPA. 1999. National recommended water quality criteria – Correction. United States Environmental Protection Agency, EPA 822-Z-99-001, 25 p.
- 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.
- Valdés, J. & A. Sifeddine. 2009. Composición elemental y contenido de metales en sedimentos marinos de la bahía Mejillones del sur, Chile: evaluación ambiental de la zona costera. *Lat. Am. J. Aquat. Re.s.* 37 (2): 131-141.
- Wentworth, C. K. 1922. A scale grade and class-term for clastic sediments. *Journal of Geology*, 30(5):337-392.



Young, D.R., A.J. Mearns, T.K. Jan, T.C. Heesen, M.D. Moore, R.P. Eganhouse, G.P. Hershelman & R.W. Gossett. 1980. Trophic structure and pollutant concentrations in marine ecosystems of Southern California. CalCOFI Reports 21:197-206.

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, 2009 (H.H.P.N.: High hydraulic pressure nebulization A.A.S: Espectrofotometría Absorción Atómica, AOAC: American Official Association Chemists).

Parámetro	Límite de detección ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	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, 2009 (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.** 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 2009 (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 3.** (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 2009 (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	Verano 2009	Invierno 2009
BI				
C-01	26,00 $\pm$ 4,0	> 11,23 $\pm$ 1,26	= 12,19 $\pm$ 1,80	< 21,85 $\pm$ 0,89
C-02	113,33 $\pm$ 11,5	> 66,83 $\pm$ 20,64	< 170,67 $\pm$ 6,51	> 54,90 $\pm$ 5,86
C-03	30,70 $\pm$ 1,3	> 9,68 $\pm$ 1,18	= 11,30 $\pm$ 2,27	< 17,60 $\pm$ 3,45
C-04	49,87 $\pm$ 4,0	> 33,03 $\pm$ 2,68	= 29,10 $\pm$ 2,23	= 43,57 $\pm$ 5,98
C-13	39,17 $\pm$ 3,5	> 24,27 $\pm$ 4,12	= 21,77 $\pm$ 1,22	= 28,07 $\pm$ 5,23
C-08	199,03 $\pm$ 33,7	= 232,67 $\pm$ 10,69	> 121,03 $\pm$ 14,50	< 183,6 $\pm$ 11,86
C-09	190,33 $\pm$ 66,1	= 202,00 $\pm$ 5,20	= 234,43 $\pm$ 24,99	< 354,27 $\pm$ 485
C-10	21,10 $\pm$ 3,6	> 10,03 $\pm$ 0,84	= 11,90 $\pm$ 1,39	= 18,63 $\pm$ 7,77

**Anexo 4.** 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 2009 (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 4.** (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 2009 (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	Verano 2009	Invierno 2009
BI				
C-01	0,303 $\pm$ 0,04 =	0,298 $\pm$ 0,016 =	0,373 $\pm$ 0,074 =	0,459 $\pm$ 0,071
C-02	0,302 $\pm$ 0,01 =	0,291 $\pm$ 0,033 <	0,543 $\pm$ 0,061 =	0,478 $\pm$ 0,003
C-03	0,294 $\pm$ 0,03 =	0,308 $\pm$ 0,049 =	0,335 $\pm$ 0,040 =	0,417 $\pm$ 0,023
C-04	0,465 $\pm$ 0,02 <	0,804 $\pm$ 0,017 =	1,310 $\pm$ 0,235 =	0,649 $\pm$ 0,092
C-13	0,210 $\pm$ 0,03 <	0,302 $\pm$ 0,034 <	0,597 $\pm$ 0,035 >	0,438 $\pm$ 0,024
C-08	0,276 $\pm$ 0,02 =	0,309 $\pm$ 0,035 =	0,320 $\pm$ 0,002 =	0,347 $\pm$ 0,034
C-09	0,274 $\pm$ 0,02 <	0,401 $\pm$ 0,054 =	0,604 $\pm$ 0,128 =	0,552 $\pm$ 0,003
C-10	0,321 $\pm$ 0,03 =	0,415 $\pm$ 0,115 <	0,890 $\pm$ 0,048 >	0,594 $\pm$ 0,029

**Anexo 5.** 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 2009 (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 5.** (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 2009 (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	Verano 2009	Invierno 2009
BI				
C-01	5,320 $\pm$ 0,33 =	4,928 $\pm$ 0,602 =	4,258 $\pm$ 0,162 <	4,738 $\pm$ 0,124
C-02	9,993 $\pm$ 2,47 =	7,127 $\pm$ 1,308 =	6,533 $\pm$ 0,830 =	6,817 $\pm$ 0,258
C-03	4,543 $\pm$ 0,22 =	4,635 $\pm$ 0,717 =	4,160 $\pm$ 0,297 <	5,675 $\pm$ 0,093
C-04	4,373 $\pm$ 0,54 =	3,597 $\pm$ 0,688 =	3,230 $\pm$ 0,155 =	4,113 $\pm$ 0,384
C-13	6,283 $\pm$ 0,08 =	7,427 $\pm$ 1,095 =	6,583 $\pm$ 1,293 =	7,263 $\pm$ 0,734
C-08	32,000 $\pm$ 1,47 =	31,067 $\pm$ 8,963 =	12,933 $\pm$ 1,290 =	20,733 $\pm$ 4,447
C-09	5,543 $\pm$ 0,61 =	6,533 $\pm$ 2,892 =	7,080 $\pm$ 0,599 <	12,533 $\pm$ 1,069
C-10	3,193 $\pm$ 0,13 =	3,193 $\pm$ 1,658 =	2,347 $\pm$ 0,058 =	3,447 $\pm$ 0,886

**Anexo 6.** 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 2009 (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 6.** (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 2009 (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	Verano 2009	Invierno 2009
BI				
C-01	1418,7 $\pm$ 49,7 <	2060,8 $\pm$ 267,8 >	1099,4 $\pm$ 137,7 <	1956,8 $\pm$ 193,5
C-02	6197,7 $\pm$ 1101,7 >	4121,9 $\pm$ 252,2 =	3165,0 $\pm$ 641,3 =	3624,5 $\pm$ 285,9
C-03	2190,0 $\pm$ 278,0 =	2094,0 $\pm$ 477,3 >	1187,1 $\pm$ 124,4 <	2561,3 $\pm$ 117,3
C-04	5460,4 $\pm$ 728,9 =	4981,2 $\pm$ 316,8 >	2836,2 $\pm$ 83,5 <	5192,5 $\pm$ 432,0
C-13	2908,2 $\pm$ 359,8 =	3008,1 $\pm$ 48,1 >	2164,4 $\pm$ 199,4 =	2703,9 $\pm$ 409,1
C-08	4737,1 $\pm$ 845,2 <	7213,3 $\pm$ 308,9 >	3240,9 $\pm$ 82,4 <	7300,0 $\pm$ 598,7
C-09	7455,9 $\pm$ 880,5 <	10417,2 $\pm$ 921,6 >	5692,0 $\pm$ 246,0 <	14330,8 $\pm$ 1117,1
C-10	3168,1 $\pm$ 524,6 =	3209,7 $\pm$ 118,1 =	2956,0 $\pm$ 2056,5 =	2703,9 $\pm$ 409,1



**Anexo 7.** 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 2009 (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 7.** (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 2009 (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	Verano 2009	Invierno 2009
BI				
C-01	25,750 $\pm$ 2,2	= 27,475 $\pm$ 1,162	= 23,525 $\pm$ 4,570	= 24,575 $\pm$ 2,069
C-02	84,033 $\pm$ 27,8	= 46,800 $\pm$ 4,900	= 45,733 $\pm$ 5,437	= 34,333 $\pm$ 3,456
C-03	49,300 $\pm$ 5,4	= 48,725 $\pm$ 4,240	= 45,950 $\pm$ 6,264	> 27,650 $\pm$ 6,628
C-04	39,600 $\pm$ 1,9	> 17,067 $\pm$ 4,600	< 38,433 $\pm$ 2,122	= 37,133 $\pm$ 8,201
C-13	31,400 $\pm$ 4,9	> 10,010 $\pm$ 1,793	< 31,933 $\pm$ 2,991	< 41,667 $\pm$ 1,201
C-08	64,700 $\pm$ 15,6	= 40,77 $\pm$ 7,221	= 33,433 $\pm$ 5,801	= 44,467 $\pm$ 15,289
C-09	86,933 $\pm$ 9,4	= 77,100 $\pm$ 6,188	= 77,267 $\pm$ 20,145	< 146,20 $\pm$ 19,390
C-10	63,400 $\pm$ 19,7	> 27,333 $\pm$ 7,438	= 26,067 $\pm$ 2,859	= 21,567 $\pm$ 1,401

**Anexo 8.** Concentraciones de oxígeno disuelto (en ml L<sup>-1</sup>) determinadas en Bahía Caldera durante las campañas estivales desde 1994 a 2009.

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	2009
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	7,01±0,249
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	6,09±0,406
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	5,80±0,527
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	5,11±0,220
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	4,65±0,226
25	1,54	1,17	1,59	3,50	5,13	9,7±0,734	3,77±0,077	4,69
30	1,48	1,05	1,48	3,17	4,77	1,42	3,69	3,39
35		0,97	1,19	3,64	4,21	1,46	3,16	
40		0,83	1,61		4,16	1,26		
45		-	-	-	-			

**Anexo 9.** Concentraciones de oxígeno disuelto (en ml L<sup>-1</sup>) determinadas en Bahía Caldera durante las campañas invernales desde 1994 a 2009.

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	2009
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	4,19±0,237
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	3,90±0,383
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	3,62±0,300
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	2,97±0,582
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	2,56±0,269
25	1,20	3,21	1,02	2,07	1,41	4,07	1,19	2,47
30	1,05	3,10	1,03	1,91	1,59	3,88	0,91	2,20
35		2,89	0,61	1,98	1,56	3,77	1,01	
40		2,53	0,53	1,73		3,51		
45								

**Anexo 10.** pH determinados en Bahía Caldera durante las campañas estivales desde 1994 a 2009.

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	2009
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	8,06±0,014
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	7,99±0,032
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	7,97±0,042
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	7,94±0,027
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	7,89±0,006
25	7,81	7,68	7,31	7,96	8,18	7,85±0,050	7,78	7,89
30	7,78	7,68	7,41	7,78	8,08	7,90	7,77	7,78
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 11.** pH determinados en Bahía Caldera durante las campañas invernales desde 1994 a 2009.

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	2009
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	7,88±0,030
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	7,86±0,038
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	7,83±0,030
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	7,78±0,038
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	7,77±0,033
25	7,63	7,52	7,78	7,47	7,80	7,63	7,75	7,77
30	7,41	7,51	7,80	7,54	7,78	7,64	7,77	7,76
35		7,48	7,89	7,57	7,75	7,63	7,71	7,76
40		7,48	7,80	7,52		7,64	7,72	7,74
45								

**Anexo 12.** Temperatura (°C) en Bahía Caldera durante el verano entre 1993 y 2009.

<b>Estación</b>	<b>Año</b>	<b>superficie</b>	<b>5 m</b>	<b>10 m</b>	<b>20 m</b>
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	-
	2009	16,48	14,79	14,37	14,08
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	-	
2009	15,22	14,82	14,38	14,25	

Continuación **Anexo 12.**

<b>Estación</b>	<b>Año</b>	<b>superficial</b>	<b>5 m</b>	<b>10 m</b>	<b>20 m</b>
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	-
	2009	17,49	15,38	15,01	-
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	
2009	17,45	15,81	14,94	14,34	

Continuación **Anexo 12.**

<b>Estación</b>	<b>Año</b>	<b>superficial</b>	<b>5 m</b>	<b>10 m</b>	<b>20 m</b>
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	-	-
	2009	17,66	15,75	-	-
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	-	-	
2009	17,66	15,91	-	-	

Continuación **Anexo 12.**

<b>Estación</b>	<b>Año</b>	<b>superficial</b>	<b>5 m</b>	<b>10 m</b>	<b>20 m</b>
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	-
	2009	17,52	15,06	14,45	-
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	
2009	16,93	15,15	14,71	14,10	

**Anexo 13.** Temperatura (°C) en Bahía Caldera durante el invierno entre 1993 y 2009.

<b>Estación</b>	<b>Año</b>	<b>superficie</b>	<b>5 m</b>	<b>10 m</b>	<b>20 m</b>
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	-
	2008	13,82	13,82	13,73	-
	2009	13,82	13,70	13,54	13,39
C-02	1993	14,35	14,14	14,09	14,08
	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
	2009	13,89	13,65	13,53	13,38

Continuación **Anexo 13.**

<b>Estación</b>	<b>Año</b>	<b>superficial</b>	<b>5 m</b>	<b>10 m</b>	<b>20 m</b>
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	-
	2009	13,96	13,78	13,62	-
C-04	1993	14,39	14,18	14,15	14,09
	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
	2009	13,90	13,77	13,69	13,41

Continuación **Anexo 13.**

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	-	-	
	2009	14,15	13,94	-	-	
	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	-	-		
2009	14,06	13,73	-	-		

Continuación **Anexo 13.**

<b>Estación</b>	<b>Año</b>	<b>superficial</b>	<b>5 m</b>	<b>10 m</b>	<b>20 m</b>
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	-
	2009	13,76	13,72	13,57	-
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
	2009	13,95	13,74	13,61	-

**Anexo 14.** Salinidad (psu) en Bahía Caldera durante el verano entre 1993 y 2009.

<b>Estación</b>	<b>Año</b>	<b>superficial</b>	<b>5 m</b>	<b>10 m</b>	<b>20 m</b>
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	-
2009	34,35	34,29	34,34	34,34	
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	-	
2009	34,35	34,30	34,33	34,36	

Continuación **Anexo 14.**

<b>Estación</b>	<b>Año</b>	<b>superficial</b>	<b>5 m</b>	<b>10 m</b>	<b>20 m</b>
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	-	
2009	34,24	34,32	34,34	-	
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	
2009	34,37	34,33	34,32	34,35	

Continuación **Anexo 14.**

<b>Estación</b>	<b>Año</b>	<b>superficial</b>	<b>5 m</b>	<b>10 m</b>	<b>20 m</b>
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	-	-
	2009	34,38	34,35	-	-
	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	-	-
2009		34,36	34,25	-	-

Continuación **Anexo 14.**

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	2009	34,37	34,31	34,33	-
	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	
2009	34,34	34,33	34,33	34,36	

**Anexo 15.** Salinidad (psu) en Bahía Caldera durante el invierno entre 1993 y 2009.

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	-
2009	34,50	34,53	34,55	34,60	
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
2009	34,48	34,55	34,56	34,60	

Continuación **Anexo 15.**

<b>Estación</b>	<b>Año</b>	<b>Superficial</b>	<b>5 m</b>	<b>10 m</b>	<b>20 m</b>
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	-
	2009	34,47	34,54	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
	2009	34,49	34,55	34,57	34,58

Continuación Anexo 15.

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	-	-
	2008	34,53	34,54	34,55	-
	2009	34,50	34,57	-	-
C-09	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	-	-
	2009	34,55	34,59	-	-

Continuación **Anexo 15.**

<b>Estación</b>	<b>Año</b>	<b>superficial</b>	<b>5 m</b>	<b>10 m</b>	<b>20 m</b>
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	-
	2009	34,52	34,58	34,59	-
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
	2009	34,50	34,57	34,57	-

**Anexo 16.** Concentraciones promedios  $\pm$  desviación estándar de cobre ( $\mu\text{g l}^{-1}$ ) en agua de mar determinadas en Bahía Caldera entre 1999 y 2009. 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 16.** (Continuación). Concentraciones promedios  $\pm$  desviación estándar de cobre ( $\mu\text{g l}^{-1}$ ) en agua de mar determinadas en Bahía Caldera entre 1999 y 2009. 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		Verano 2009		Invierno 2009
C-01	1,248 $\pm$ 0,131	=	1,085 $\pm$ 0,079	=	1,130 $\pm$ 0,078	=	1,138 $\pm$ 0,019
C-02	1,006 $\pm$ 0,049	<	1,203 $\pm$ 0,046	=	1,093 $\pm$ 0,127	=	1,147 $\pm$ 0,031
C-03	1,108 $\pm$ 0,084	=	1,098 $\pm$ 0,030	=	1,190 $\pm$ 0,086	=	1,218 $\pm$ 0,054
C-04	1,123 $\pm$ 0,047	>	0,979 $\pm$ 0,029	=	1,293 $\pm$ 0,159	=	1,250 $\pm$ 0,030
C-13	1,257 $\pm$ 0,032	>	1,110 $\pm$ 0,069	=	1,203 $\pm$ 0,159	=	1,012 $\pm$ 0,027
C-08	1,357 $\pm$ 0,047	=	1,317 $\pm$ 0,191	=	1,197 $\pm$ 0,049	<	1,377 $\pm$ 0,025
C-09	1,573 $\pm$ 0,061	>	1,317 $\pm$ 0,127	=	1,197 $\pm$ 0,015	<	1,463 $\pm$ 0,042
C-10	1,427 $\pm$ 0,021	>	1,001 $\pm$ 0,034	=	1,330 $\pm$ 0,142	=	1,440 $\pm$ 0,046

**Anexo 17.** Concentraciones promedios  $\pm$  desviación estándar de hierro ( $\mu\text{g l}^{-1}$ ) en agua de mar determinadas en Bahía Caldera entre 1999 y 2009. 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 17.** (Continuación) Concentraciones promedios  $\pm$  desviación estándar de hierro ( $\mu\text{g l}^{-1}$ ) en agua de mar determinadas en Bahía Caldera entre 1999 y 2009. 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		Verano 2009		Invierno 2009
C-01	4,89 $\pm$ 0,88	<	8,185 $\pm$ 0,571	>	6,500 $\pm$ 0,162	=	6,860 $\pm$ 1,558
C-02	4,76 $\pm$ 0,51	<	7,640 $\pm$ 0,757	=	6,397 $\pm$ 0,523	<	8,277 $\pm$ 0,778
C-03	6,23 $\pm$ 0,46	<	7,870 $\pm$ 0,309	=	7,410 $\pm$ 0,474	=	8,078 $\pm$ 0,372
C-04	6,44 $\pm$ 0,27	=	6,503 $\pm$ 0,506	=	5,640 $\pm$ 0,308	=	6,963 $\pm$ 0,709
C-13	10,27 $\pm$ 0,12	>	5,070 $\pm$ 0,075	<	6,467 $\pm$ 0,095	=	10,050 $\pm$ 1,547
C-08	7,27 $\pm$ 0,215	=	7,140 $\pm$ 0,511	>	5,047 $\pm$ 0,199	<	36,767 $\pm$ 2,329
C-09	10,84 $\pm$ 1,70	>	4,893 $\pm$ 0,208	<	5,373 $\pm$ 0,135	<	76,833 $\pm$ 15,010
C-10	4,92 $\pm$ 0,49	=	4,937 $\pm$ 0,276	=	4,827 $\pm$ 0,236	<	6,333 $\pm$ 0,547

**Anexo 18.** Concentraciones promedios  $\pm$  desviación estándar de plomo ( $\mu\text{g l}^{-1}$ ) en agua de mar determinadas en Bahía Caldera entre 1999 y 2009. 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 18.** (Continuación) Concentraciones promedios  $\pm$  desviación estándar de plomo ( $\mu\text{g l}^{-1}$ ) en agua de mar determinadas en Bahía Caldera entre 1999 y 2009. 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		Verano 2009		Invierno 2009
C-01	0,038 $\pm$ 0,002	>	0,029 $\pm$ 0,002	>	0,023 $\pm$ 0,001	=	0,024 $\pm$ 0,003
C-02	0,036 $\pm$ 0,002	>	0,025 $\pm$ 0,001	>	0,022 $\pm$ 0,001	=	0,025 $\pm$ 0,003
C-03	0,040 $\pm$ 0,002	>	0,031 $\pm$ 0,001	>	0,022 $\pm$ 0,001	<	0,034 $\pm$ 0,003
C-04	0,047 $\pm$ 0,002	>	0,029 $\pm$ 0,001	>	0,022 $\pm$ 0,001	<	0,031 $\pm$ 0,002
C-13	0,071 $\pm$ 0,002	>	0,026 $\pm$ 0,001	=	0,023 $\pm$ 0,001	<	0,027 $\pm$ 0,001
C-08	0,052 $\pm$ 0,003	>	0,033 $\pm$ 0,001	>	0,021 $\pm$ 0,001	<	0,044 $\pm$ 0,001
C-09	0,043 $\pm$ 0,003	>	0,033 $\pm$ 0,001	>	0,022 $\pm$ 0,001	<	0,072 $\pm$ 0,001
C-10	0,053 $\pm$ 0,002	>	0,029 $\pm$ 0,003	=	0,024 $\pm$ 0,002	=	0,024 $\pm$ 0,001

**Anexo 19.** Concentraciones promedios  $\pm$  desviación estándar de cadmio ( $\mu\text{g l}^{-1}$ ) en agua de mar determinadas en Bahía Caldera entre 1999 y 2009. 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 19.** (Continuación) Concentraciones promedios  $\pm$  desviación estándar de cadmio ( $\mu\text{g l}^{-1}$ ) en agua de mar determinadas en Bahía Caldera entre 1999 y 2009. 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		Verano 2009		Invierno 2009
C-01	0,061 $\pm$ 0,003	>	0,032 $\pm$ 0,002	>	0,026 $\pm$ 0,002	>	0,023 $\pm$ 0,002
C-02	0,056 $\pm$ 0,002	>	0,030 $\pm$ 0,002	=	0,019 $\pm$ 0,005	=	0,024 $\pm$ 0,002
C-03	0,054 $\pm$ 0,001	>	0,034 $\pm$ 0,002	>	0,022 $\pm$ 0,001	=	0,023 $\pm$ 0,006
C-04	0,060 $\pm$ 0,002	>	0,032 $\pm$ 0,003	>	0,023 $\pm$ 0,002	<	0,030 $\pm$ 0,003
C-13	0,056 $\pm$ 0,003	>	0,035 $\pm$ 0,002	>	0,022 $\pm$ 0,002	=	0,038 $\pm$ 0,003
C-08	0,059 $\pm$ 0,003	>	0,032 $\pm$ 0,003	>	0,023 $\pm$ 0,001	<	0,042 $\pm$ 0,004
C-09	0,048 $\pm$ 0,002	>	0,036 $\pm$ 0,001	>	0,022 $\pm$ 0,002	<	0,071 $\pm$ 0,004
C-10	0,049 $\pm$ 0,003	>	0,031 $\pm$ 0,002	>	0,023 $\pm$ 0,002	=	0,025 $\pm$ 0,001

**Anexo 20.**

Certificado de análisis de metales en agua y sedimentos determinados en Bahía Caldera durante la campaña estival de 2009





**DETERMINACIONES ELEMENTOS TRAZA EN AGUA DE MAR DE CALDERA (a). MONITOREO DE VERANO, MUESTRAS COLECTADAS EN ENERO DE 2009. MINERA CANDELARIA.**

MUESTRA	Fe ( $\mu\text{g/L}$ )	Cu ( $\mu\text{g/L}$ )	Cd ( $\mu\text{g/L}$ )	Pb ( $\mu\text{g/L}$ )
C01-R1	6,26	1,13	0,024	0,024
C01-R2	6,60	1,04	0,025	0,023
C01-R3A	6,60	1,23	0,029	0,023
C01-R3B	6,54	1,12	0,024	0,022
C02-R1	5,97	1,03	0,013	0,021
C02-R2	6,24	1,01	0,023	0,023
C02-R3	6,98	1,24	0,021	0,021
C03-R1	7,80	1,17	0,022	0,024
C03-R2	7,84	1,28	0,021	0,022
C03-R3A	7,03	1,23	0,021	0,021
C03-R3B	6,97	1,08	0,023	0,021
C04-R1	5,31	1,37	0,021	0,021
C04-R2	5,69	1,11	0,023	0,021
C04-R3	5,92	1,40	0,024	0,023
C08-R1	4,83	1,22	0,024	0,020
C08-R2	5,22	1,14	0,024	0,022
C08-R3	5,09	1,23	0,022	0,021
C09-R1	5,51	1,20	0,023	0,021
C09-R2	5,24	1,21	0,024	0,023
C09-R3	5,37	1,18	0,020	0,023
C10-R1	4,56	1,22	0,023	0,021
C10-R2	4,91	1,49	0,022	0,025
C10-R3	5,01	1,28	0,025	0,025
C13-R1	6,50	1,30	0,022	0,022
C13-R2	6,36	1,29	0,024	0,023
C13-R3	6,54	1,02	0,021	0,023

(a) Concentración total disuelta.



### CONTROL DE CALIDAD

MUESTRA	Fe ( $\mu\text{g/L}$ )	Cu ( $\mu\text{g/L}$ )	Cd ( $\mu\text{g/L}$ )	Pb ( $\mu\text{g/L}$ )
<b>CASS-4</b>	-	0,588	0,025	0,0088
	-	0,582	0,025	0,0101
	-	0,577	0,026	0,0099
<b>PSAM</b>	5,02	-	-	-
	5,11	-	-	-

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 = 5,0  $\mu\text{g/L}$  (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 VERANO, MUESTRAS COLECTADAS EN ENERO DE 2009. 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	12,9	0,281	4,36	958,6	22,7
CO1- R2	9,56	0,351	4,43	1003,9	30,2
CO1- R3A	12,7	0,407	4,13	1222,9	21,0
CO1- R3B	13,6	0,452	4,11	1212,2	20,2
CO2- R1	177,0	0,560	5,71	2709,5	39,5
CO2- R2	164,0	0,594	7,37	3898,4	49,5
CO2- R3	171,0	0,475	6,52	2887,2	48,2
CO3- R1	11,5	0,330	3,76	1160,0	49,4
CO3- R2	14,2	0,315	4,38	1322,9	53,0
CO3- R3A	10,8	0,403	4,39	1029,4	40,0
CO3- R3B	8,70	0,373	4,11	1236,0	41,4
CO4- R1	29,5	1,08	3,07	2906,3	39,9
CO4- R2	26,7	1,30	3,24	2858,5	39,4
CO4- R3	31,1	1,55	3,38	2743,8	36,0
CO8- R1	107,6	0,320	11,5	3267,4	33,3
CO8- R2	119,1	0,318	14,0	3306,8	27,7
CO8- R3	136,4	0,321	13,3	3148,6	39,3
CO9- R1	236,9	0,658	6,77	5614,2	86,2
CO9- R2	208,3	0,457	6,70	5494,3	91,4
CO9- R3	258,1	0,696	7,77	5967,5	54,2
C10- R1	12,7	0,932	2,28	5329,1	23,6
C10- R2	10,3	0,900	2,38	1694,5	29,2
C10- R3	12,7	0,837	2,38	1844,4	25,4
C13- R1	20,7	0,637	5,96	1958,4	28,7
C13- R2	23,1	0,580	8,07	2178,3	32,5
C13- R3	21,5	0,573	5,72	2356,5	34,6



## CONTROL DE CALIDAD

MUESTRA	Cu ( $\mu\text{g/g}$ )	Cd ( $\mu\text{g/g}$ )	Pb ( $\mu\text{g/g}$ )	Fe ( $\mu\text{g/g}$ )	Zn ( $\mu\text{g/g}$ )
MESS-2	39,7	0,234	-	43056,3	171,5
HISS-1	-	-	2,96		5,09

Concentraciones Certificadas en **MESS – 2** (NRC-CNRC). BASE SECA  
Cu = 39,3  $\mu\text{g/g}$ ; Cd = 0,24  $\mu\text{g/g}$ ; Pb = 21,9  $\mu\text{g/g}$ ; Fe: 43502,7  $\mu\text{g/g}$ ; Zn = 172,0  $\mu\text{g/g}$

Concentraciones Certificadas en **HISS – 1** (NRC-CNRC). BASE SECA  
Pb = 3,13  $\mu\text{g/g}$ ; Zn = 4,94  $\mu\text{g/g}$

Domingo A. Román Silva

**Anexo 21.**

Certificado de análisis de metales en agua y sedimentos determinados en Bahía Caldera durante la campaña invernal de 2009



**DETERMINACIONES ELEMENTOS TRAZA EN AGUA DE MAR DE CALDERA (a). MONITOREO DE VERANO, MUESTRAS COLECTADAS EN ENERO DE 2009. MINERA CANDELARIA.**

MUESTRA	Fe ( $\mu\text{g/L}$ )	Cu ( $\mu\text{g/L}$ )	Cd ( $\mu\text{g/L}$ )	Pb ( $\mu\text{g/L}$ )
C01-R1	6,26	1,13	0,024	0,024
C01-R2	6,60	1,04	0,025	0,023
C01-R3A	6,60	1,23	0,029	0,023
C01-R3B	6,54	1,12	0,024	0,022
C02-R1	5,97	1,03	0,013	0,021
C02-R2	6,24	1,01	0,023	0,023
C02-R3	6,98	1,24	0,021	0,021
C03-R1	7,80	1,17	0,022	0,024
C03-R2	7,84	1,28	0,021	0,022
C03-R3A	7,03	1,23	0,021	0,021
C03-R3B	6,97	1,08	0,023	0,021
C04-R1	5,31	1,37	0,021	0,021
C04-R2	5,69	1,11	0,023	0,021
C04-R3	5,92	1,40	0,024	0,023
C08-R1	4,83	1,22	0,024	0,020
C08-R2	5,22	1,14	0,024	0,022
C08-R3	5,09	1,23	0,022	0,021
C09-R1	5,51	1,20	0,023	0,021
C09-R2	5,24	1,21	0,024	0,023
C09-R3	5,37	1,18	0,020	0,023
C10-R1	4,56	1,22	0,023	0,021
C10-R2	4,91	1,49	0,022	0,025
C10-R3	5,01	1,28	0,025	0,025
C13-R1	6,50	1,30	0,022	0,022
C13-R2	6,36	1,29	0,024	0,023
C13-R3	6,54	1,02	0,021	0,023

(a) Concentración total disuelta.



### CONTROL DE CALIDAD

MUESTRA	Fe ( $\mu\text{g/L}$ )	Cu ( $\mu\text{g/L}$ )	Cd ( $\mu\text{g/L}$ )	Pb ( $\mu\text{g/L}$ )
CASS-4	-	0,588	0,025	0,0088
	-	0,582	0,025	0,0101
	-	0,577	0,026	0,0099
PSAM	5,02	-	-	-
	5,11	-	-	-

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 = 5,0  $\mu\text{g/L}$  (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 VERANO, MUESTRAS COLECTADAS EN ENERO DE 2009. 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	12,9	0,281	4,36	958,6	22,7
CO1- R2	9,56	0,351	4,43	1003,9	30,2
CO1- R3A	12,7	0,407	4,13	1222,9	21,0
CO1- R3B	13,6	0,452	4,11	1212,2	20,2
CO2- R1	177,0	0,560	5,71	2709,5	39,5
CO2- R2	164,0	0,594	7,37	3898,4	49,5
CO2- R3	171,0	0,475	6,52	2887,2	48,2
CO3- R1	11,5	0,330	3,76	1160,0	49,4
CO3- R2	14,2	0,315	4,38	1322,9	53,0
CO3- R3A	10,8	0,403	4,39	1029,4	40,0
CO3- R3B	8,70	0,373	4,11	1236,0	41,4
CO4- R1	29,5	1,08	3,07	2906,3	39,9
CO4- R2	26,7	1,30	3,24	2858,5	39,4
CO4- R3	31,1	1,55	3,38	2743,8	36,0
CO8- R1	107,6	0,320	11,5	3267,4	33,3
CO8- R2	119,1	0,318	14,0	3306,8	27,7
CO8- R3	136,4	0,321	13,3	3148,6	39,3
CO9- R1	236,9	0,658	6,77	5614,2	86,2
CO9- R2	208,3	0,457	6,70	5494,3	91,4
CO9- R3	258,1	0,696	7,77	5967,5	54,2
C10- R1	12,7	0,932	2,28	5329,1	23,6
C10- R2	10,3	0,900	2,38	1694,5	29,2
C10- R3	12,7	0,837	2,38	1844,4	25,4
C13- R1	20,7	0,637	5,96	1958,4	28,7
C13- R2	23,1	0,580	8,07	2178,3	32,5
C13- R3	21,5	0,573	5,72	2356,5	34,6



## CONTROL DE CALIDAD

MUESTRA	Cu ( $\mu\text{g/g}$ )	Cd ( $\mu\text{g/g}$ )	Pb ( $\mu\text{g/g}$ )	Fe ( $\mu\text{g/g}$ )	Zn ( $\mu\text{g/g}$ )
MESS-2	39,7	0,234	-	43056,3	171,5
HISS-1	-	-	2,96		5,09

Concentraciones Certificadas en **MESS – 2** (NRC-CNRC). BASE SECA  
Cu = 39,3  $\mu\text{g/g}$ ; Cd = 0,24  $\mu\text{g/g}$ ; Pb = 21,9  $\mu\text{g/g}$ ; Fe: 43502,7  $\mu\text{g/g}$ ; Zn = 172,0  $\mu\text{g/g}$

Concentraciones Certificadas en **HISS – 1** (NRC-CNRC). BASE SECA  
Pb = 3,13  $\mu\text{g/g}$ ; Zn = 4,94  $\mu\text{g/g}$

Domingo A. Román Silva