



*Departamento de Biología Marina  
Facultad de Ciencias del Mar  
Universidad Católica del Norte*

## **PROGRAMA DE SEGUIMIENTO DEL MEDIO AMBIENTE MARINO: AMPLIACIÓN DE LAS INSTALACIONES PORTUARIAS DE PUERTO MEJILLONES ETAPA DE OPERACIÓN**



**JULIO - 2016**

## ÍNDICE

<b>Índice</b>	2
<b>Resumen Ejecutivo</b>	4
<b>Introducción</b>	7
<b>Materiales y Métodos</b>	8
Área de Estudio	8
Programa de Muestreo Variables Físicas y Químicas	8
Preservación y recolección de muestras	9
Métodos analíticos	10
Caracterización Física y Química de la Columna de Agua	11
Caracterización Química de los Sedimentos	12
Caracterización Física de los Sedimentos (Granulometría)	13
Biota (Metales pesados en moluscos y crustáceos)	13
<b>Resultados</b>	15
Calidad Física y Química de la Columna de Agua	15
Temperatura	15
Transparencia de la Columna de Agua	17
Sólidos suspendidos	18
Metales pesados	18
Calidad Físico y Química de Sedimentos Marinos	21
Granulometría	21
Calidad Química de los Sedimentos	22
Metales Pesados en Biota	24
Biota Intermareal	25
Biota submareal	27
<b>Conclusiones Generales</b>	30
<b>Literatura Citada</b>	35
<b>Figuras</b>	37
<b>Tablas</b>	52

<b>Anexos</b>	59
<b>Equipo de Trabajo</b>	60
<b>Acreditaciones</b>	61
LE 226	61
LE 228	69
LE 1067	73
<b>Informes de análisis</b>	76
RUM	88

## RESUMEN EJECUTIVO

Este informe describe los resultados de la décima novena campaña de evaluación del **PROGRAMA ANUAL DE SEGUIMIENTO DEL MEDIO AMBIENTE MARINO (PSM) – ETAPA DE OPERACIÓN DE LA AMPLIACIÓN DE LAS INSTALACIONES PORTUARIAS DE PUERTO MEJILLONES (PM)**. Además, integra la información obtenida durante el período de construcción de la ampliación de las instalaciones portuarias de Puerto Mejillones (PSM-PM 2006-2008), y durante la Línea Base del proyecto (2004). El área de estudio está localizada en el sector costero de Bahía Mejillones del Sur en la II Región, e incluye el área donde actualmente se ubican las instalaciones de la empresa **PUERTO DE MEJILLONES S.A.**

La concentración de metales pesados en la columna de agua, en sedimentos y en organismos marinos fue determinada por el Laboratorio de Servicios Analíticos (LSA) de la Universidad Católica del Norte en Antofagasta, el cual ha renovado su acreditación en el Sistema Nacional de Acreditación del INN (ver **Anexos**).

El programa de seguimiento tiene como objetivos específicos monitorear los siguientes componentes ambientales:

- 1.- Calidad física y química de la columna de agua.
- 2.- Calidad química de los sedimentos marinos.
- 3.- Características granulométricas de los sedimentos marinos.
- 4.- Concentración de metales pesados en biota intermareal y submareal.

Los principales resultados obtenidos en esta **DÉCIMO NOVENA** campaña de muestreo, realizada en julio 2016, se resumen en lo siguiente:

- 1.- Los valores obtenidos durante la campaña de invierno 2016, para las variables incluidas en el PROGRAMA DE SEGUIMIENTO DEL MEDIO AMBIENTE MARINO - AMPLIACIÓN DE LAS INSTALACIONES PORTUARIAS DE PUERTO MEJILLONES están en los rangos de normalidad y estacionalidad esperados.
- 2.- La caracterización física de la columna de agua ( $T^{\circ}C$ ) evidencia una situación de invierno, determinada por una condición oceanográfica asociada a un forzamiento térmico anómalo positivo en el agua de mar, determinada por la manifestación del evento El Niño 2015-2016 de gran magnitud. Los niveles de transparencia de la columna de agua y la concentración de sólidos suspendidos sugieren una permanentemente alta productividad del sistema, determinada por el estado de fase del evento de surgencia, que puede ser activa o en relajación. La presente campaña de muestreo del Programa de Seguimiento Ambiental se realizó durante una fase de relajación del evento de surgencia

caracterizado por aguas claras y una productividad biológica estratificada determinada por una condición de post marejada en la bahía.

3.- Las concentraciones de algunos metales pesados en la columna de agua presentan niveles no detectados por la sensibilidad de los métodos, o concentraciones por debajo de las normas máximas permitidas para el ensayo.

4.- La caracterización química de la columna de agua en función de los metales pesados evaluados, muestra leves diferencias entre el área que circunscribe las actividades operativas de Puerto Mejillones (Estaciones de monitoreo Est.3 y Est.4) con las estaciones de muestreo referenciales (Est.1 y Est.2) y de control (Est.5), más distantes. Aunque, la caracterización química de la columna de agua en el gradiente de distancia sugiere un leve impacto por la concentración de algunos metales, no se detecta un patrón general que diferencie la columna de agua del área cercana al Puerto, con las áreas referenciales o de control.

5.- Los análisis de conglomerados y de nMDS, utilizando las variables químicas de la columna de agua de cada una de las estaciones de muestreo, sugieren distintas asociaciones espaciales dependientes del estrato (profundidad) de muestreo, y temporales dependientes de la estacionalidad (variabilidad anual) y del clima oceanográfico (variabilidad interanual).

6.- La calidad físico-química de la columna de agua en el área de estudio, utilizando los criterios específicos de las normas secundarias de calidad ambiental para la protección de aguas:

- I.- CLASE 1 para sólidos suspendidos, Zn, As y Hg,
- II.- CLASE 2 para temperatura (D3)
- III.- CLASE 3 para Cu, Cd, Cr y Pb.

7.- La granulometría de los sedimentos submareales indica una heterogeneidad del grano comprendido en el rango de las arenas gruesas, arenas medianas, arenas finas y arenas muy finas. Estas arenas están asociadas a un predominio de fracciones poco o moderadamente seleccionadas, con formas simétricas o sesgadas a un alto o moderado exceso de sedimentos gruesos en las colas de sus curvas granulométricas.

8.- La caracterización química de los sedimentos marinos en función de los metales pesados, mantiene en general, las condiciones observadas en las campañas de Línea Base, del PSM - etapa de construcción, y PSM - etapa de operación de la ampliación de las instalaciones de PM, anteriores.

9.- La caracterización química de los sedimentos marinos no discrimina algún efecto asociado al área cercana a PM, en comparación con las áreas referenciales y control.

10.- La caracterización química de la columna de agua y de los sedimentos marinos muestra tendencias similares, presentando una alta variabilidad espacial de los distintos metales pesados analizados. Esta variabilidad espacial en los componentes químicos del agua de mar y de los sedimentos, depende también, de la variación estacional y anual del clima oceanográfico.

11.- Las concentraciones de metales pesados monitoreadas en las partes blandas de la biota intermareal (*Emerita análoga*) y submareal (moluscos bivalvos *Choromytilus chorus* y/o *Argopecten purpuratus*) de Bahía Mejillones del Sur durante el muestreo de julio 2016, están sobre o dentro del rango de variabilidad obtenido en la línea base realizada en marzo del 2004, ó de los muestreos del PSM realizados durante la etapa de construcción y de operación de las ampliaciones de PM. La variabilidad en la concentración de metales pesados en partes blandas de la biota intermareal y submareal, podría estar asociada a la manifestación de eventos oceanográficos de gran escala (e.g. El Niño y La Niña, maremotos, marejadas) que modifican la fisiología y el comportamiento de los organismos.

12.- El análisis de conglomerado y nMDS de la concentración de metales pesados en organismos intermareales y submareales no discrimina entre las estaciones de monitoreo, aledañas a PM (Est. 3 y Est.4) y las estaciones de referencia (Est.1 y Est.2) o la estación control (Est.5). Lo anterior, y en general, sugiere la manifestación de eventos no localizados en la bahía y la ausencia de un patrón espacial de los metales pesados en PM. Por otra parte, considerando el período de muestreo del PSM, las concentraciones de metales pesados presentan variabilidad estacional e interanual. Los eventos de surgencia con origen en Punta Angamos junto con las marejadas producen una constante resuspensión de sedimentos que influyen en los niveles de turbidez del agua de mar podrían explicar en parte la variabilidad espacial y temporal de la concentración de metales en la biota. Ambos procesos oceanográficos costeros incorporan metales pesados a la columna de agua en el área de estudio. La pulgas de mar *Emerita analoga* y los moluscos bivalvos *Argopecten purpuratus* y *Choromytilus chorus* son especies filtradoras que incorporan rápidamente en su organismo los metales biodisponibles. Conjuntamente con las marejadas, fuertes vientos del suroeste son frecuentes en el sector, generando arrastre de sedimentos desde ambientes terrestres hacia el mar, contribuyendo también a la variabilidad espacio-temporal de metales biodisponibles en la columna de agua. En este contexto, existe amplia evidencia en la literatura del aporte de metales pesados ha ambientes marinos costeros, provenientes de ambientes continentales.

## INTRODUCCIÓN

La evaluación de la diversidad, abundancia y distribución espacial de las poblaciones naturales, y el estudio de las condiciones físico-químicas del ambiente constituyen una etapa fundamental en el diagnóstico de las perturbaciones antrópicas. En este contexto, muestreos cualitativos y/o cuantitativos previos y posteriores a una perturbación, son sin duda una de las herramientas de mayor utilidad que permiten determinar el impacto de las perturbaciones inducidas. Estas evaluaciones son fundamentales al momento de generar medidas de remediación o mitigación, permitiendo que la actividad antrópica productiva no modifique significativamente la sustentabilidad biológica y ecológica del ambiente.

El Proyecto “Ampliación de las Instalaciones Portuarias de Puerto Mejillones” comprende una etapa de construcción que contempla compromisos ambientales establecidos en la Resolución Exenta Nº 0019 del 28 de enero del 2005 de la COREMA II Región, en el Estudio de Impacto Ambiental del proyecto y de sus *Adendum*.

Este informe describe los resultados de la **DÉCIMO NOVENA** campaña de evaluación del **PROGRAMA DE SEGUIMIENTO DEL MEDIOAMBIENTE MARINO (PSM) – ETAPA DE OPERACION DE LA AMPLIACIÓN DE LAS INSTALACIONES PORTUARIAS DE PUERTO MEJILLONES (PM)**. Además, integra los resultados de la Línea Base 2004 y del PSM - etapa de construcción de la ampliación de PM, generando un informe que da cuenta de la variabilidad espacial, temporal y del estado ambiental del medioambiente marino asociado a las actividades de la empresa.

El programa de seguimiento tiene como objetivos específicos monitorear los siguientes componentes ambientales:

- 1.- Calidad física y química de la columna de agua.
- 2.- Calidad química de los sedimentos marinos.
- 3.- Características granulométricas de los sedimentos marinos.
- 4.- Concentración de metales pesados en la biota intermareal y submareal.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **ÁREA DE ESTUDIO**

El área de estudio está localizada en el sector costero de Bahía Mejillones del Sur en la Región de Antofagasta, e incluye el área donde actualmente se ubican las instalaciones de la empresa PUERTO DE MEJILLONES S.A., y en áreas aledañas donde se ubican dos estaciones, de REFERENCIA y de CONTROL (FIGURA 1). Las coordenadas geográficas de cada una de las estaciones de muestreo intermareales y submareales se indican en la TABLA 1. En cada una de las estaciones submareales se recolectaron muestras en la columna de agua a dos profundidades, y de sedimentos y de la biota en el fondo, mientras que en las estaciones intermareales se recolectaron muestras de biota.

La concentración de metales pesados en la columna de agua, en los sedimentos y en la biota marina fue determinada por el Laboratorio de Servicios Analíticos (LSA) de la Universidad Católica del Norte en Antofagasta, el cual se encuentra acreditado (ver Anexos).

La periodicidad de los muestreos está programada cada seis meses desde el inicio de las operaciones de la ampliación de las instalaciones portuarias de Puerto Mejillones. El presente informe corresponde a la décima novena campaña de muestreo del Programa de Seguimiento del Medio Ambiente Marino, durante la etapa de operaciones de la denominada ampliación de las instalaciones portuarias de Puerto Mejillones. Esta campaña de muestreo fue realizada entre el 24 y 25 de julio del 2016.

### **PROGRAMA DE MUESTREO VARIABLES FÍSICAS Y QUÍMICAS**

En el muestreo de las variables físico y químicas de la columna de agua se cumplieron los Procedimientos o Normas siguientes:

- Norma Chilena NCh 411/1. Of.95 Calidad de Agua – Muestreo - Parte 1: Guía para el diseño de programas de muestreo.
- Norma Chilena NCh 411/2. Of.96 Calidad de Agua – Muestreo - Parte 2: Guía sobre técnicas de muestreo.
- Norma Chilena NCh 411/3. Of.96 Calidad de Agua – Muestreo - Parte 3: Guía sobre la preservación y manejo de las muestras.
- Norma Chilena NCh 411/9. Of.97 Calidad de Agua – Muestreo - Parte 10: Guía para el muestreo de Aguas Marinas.

## PRESERVACIÓN Y RECOLECCIÓN DE LAS MUESTRAS

- La preservación y el manejo de las muestras se realizaron según los procedimientos establecidos en la Norma Chilena de calidad de aguas NCh 411/3 Of.96 Calidad de Agua-Muestreo-Parte 3: Guía sobre la preservación y manejo de las muestras.
- Los envases de muestreo, limpios y con preservantes químicos y recipientes refrigerados fueron proporcionados por LSA de la UCN.
- Se estableció una cadena de custodia desde que éstos son preparados, sellados en bolsas de polietileno y enviados, permaneciendo cerrados hasta el momento de ser utilizados en terreno.
- El registro del formato de custodia acompañó los envases de muestra.
- El transporte de las muestras con sus preservantes desde la zona de muestreo hasta el LSA fue realizado por profesionales del Departamento de Biología Marina de la Universidad Católica del Norte.
- Los diferentes preservadores químicos y tipo de envase que se utilizaron, dependiendo del parámetro químico a analizar, se resumen en el siguiente cuadro:

PARÁMETROS	TIPO ENVASE	PRESERVANTES NCh411/3
Mercurio	VB	HCl hasta pH:2
Plomo, cadmio, cinc, plata, arsénico	P	HNO <sub>3</sub> hasta pH:2
Cobre	P o VB	HNO <sub>3</sub> hasta pH:2
Cromo	P o VB	HNO <sub>3</sub> hasta pH:2
Hierro	P o VB	HNO <sub>3</sub> hasta pH:2
Antimonio	P o VB	HNO <sub>3</sub> hasta pH:2

P= polietileno de alta densidad; V= vidrio neutro; VB= vidrio de borosilicato

- Para el control de recepción de muestras se utilizó el siguiente procedimiento:
  - Número de OT
  - Fecha y hora de recepción de las muestras en el Laboratorio
  - Firma y nombre del receptor
  - Cantidad de muestras
  - Identificación de cada muestra
  - Tipo de muestra y análisis requeridos
  - Verificación de las muestras recibidas por el Jefe Técnico
  - Se devolvió firmado una de las copias a Biología Marina (JVC), la solicitud de análisis quedó archivada y la copia restante acompañó al lote de muestras al laboratorio.
  - Se anotó en la etiqueta del envase el número de solicitud de análisis.

**MÉTODOS ANALÍTICOS**

- Los métodos analíticos empleados en el Laboratorio de Servicios Analíticos (LSA) están implementados bajo las normativas nacionales, métodos EPA.
- Los análisis de Agua de Mar se realizaron según las técnicas analíticas de la norma NCh 2313 Aguas Residuales- Métodos de Análisis. Si no existe un método oficial, se utilizó el Manual de Análisis de RILy Aguas Servidas de la SISS, editado en 1994, o en su defecto el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th edición 1999.
- Los análisis de metales pesados en sedimentos se realizaron según el Manual de Métodos de Análisis Físico-Químicos de Alimentos, Aguas y Suelos, 1998, del Instituto de Salud Pública.
- Los análisis de metales pesados en productos hidrobiológicos se realizaron según el Manual de Métodos de Análisis Físico-Químicos de Alimentos, Aguas y Suelos, 1998, del Instituto de Salud Pública y para la preparación de la muestra el Official Methods of Análisis of AOAC International 16th edition 1997, Método 937.07 Fish and Marine Products-Treatment and Preparation of Sample Procedure.
- La calidad de los reactivos que se utilizan en el LSA son de calidad p.a. y el agua destilada disponible en el laboratorio cumple con la norma NCh 426/2 of.97, para cada clase.

<b>ENSAYO QUÍMICO EN AGUA</b>	<b>Método</b>	<b>Límite de Detección (<math>\mu\text{g L}^{-1}</math>)</b>
Cadmio	NCh2313/10.Of96	5
Plomo	NCh2313/10.Of96	5
Zinc	NCh2313/10.Of96	5
Plata	Standard Methods, 20th ed. 1999. Método 3111B	5
Arsénico	NCh 2313/9	0,05
Mercurio	NCh 2313/12	1
Cobre	NCh2313/10.Of96	10
Cromo	Standard Methods, 20th ed. 1999. Método 3111B	10
Hierro	Standard Methods, 20th ed. 1999. Método 3111B	50
Antimonio	Standard Methods, 20th ed. 1999. Método 3111B	100
<b>ENSAYO QUÍMICO EN SEDIMENTOS, MOLUSCOS Y PULGAS</b>	<b>Método</b>	<b>Límite de Detección (<math>\text{mg kg}^{-1}</math>)</b>
Plomo	Manual de Métodos de análisis Físico-Químico de Alimentos, Aguas y Suelos. Ministerio de Salud. Instituto de Salud Pública de Chile - Sub Departamento del Ambiente.	0,5
Zinc	Manual de Métodos de análisis Físico-Químico de Alimentos, Aguas y Suelos. Ministerio de Salud. Instituto de Salud Pública de Chile - Sub Departamento del Ambiente.	0,5
Plata	Manual de Métodos de análisis Físico-Químico de Alimentos, Aguas y Suelos. Ministerio de Salud. Instituto de Salud Pública de Chile - Sub Departamento del Ambiente.	1,25
Arsénico	Manual de Métodos de análisis Físico-Químico de Alimentos, Aguas y Suelos. Ministerio de Salud. Instituto de Salud Pública de Chile - Sub Departamento del Ambiente.	1
Mercurio	Manual de Métodos de análisis Físico-Químico de Alimentos, Aguas y Suelos. Ministerio de Salud. Instituto de Salud Pública de Chile - Sub Departamento del Ambiente.	0,005

Cadmio	Manual de Métodos de análisis Físico-Químico de Alimentos, Aguas y Suelos. Ministerio de Salud. Instituto de Salud Pública de Chile - Sub Departamento del Ambiente.	0,5
Cobre	Espectrometría de Absorción Atómica del LAQ. ISO 17025.	0,5
Cromo	Manual de Métodos de análisis Físico-Químico de Alimentos, Aguas y Suelos. Ministerio de Salud. Instituto de Salud Pública de Chile - Sub Departamento del Ambiente.	4
Hierro	Manual de Métodos de análisis Físico-Químico de Alimentos, Aguas y Suelos. Ministerio de Salud. Instituto de Salud Pública de Chile - Sub Departamento del Ambiente.	40
Antimonio	Método EPA 3050 B. Digestión ácida de sedimentos, lodos y suelos y sedimentos y determinación por absorción atómica con llama directa	0,006

## CARACTERIZACION FISICA Y QUIMICA DE LA COLUMNA DE AGUA

**Preparación de envases para toma de muestras de agua:** Para la toma de muestra de agua, se realizó un lavado de los envases (vidrio y polietileno de alta densidad) con agua corriente, detergentes, y luego con agua destilada. Posteriormente, fueron lavados en HNO<sub>3</sub> al 10% en caliente, y enjuagados con agua calidad Milli-Q (agua supra pura). Dependiendo del tipo de análisis, se agregaron preservantes, y se guardaron en bolsas de polietileno selladas, las que fueron etiquetadas de acuerdo al código de estaciones de muestreo. Una vez extraídas las muestras, los envases fueron traspasados a bolsas de polietileno debidamente rotuladas y trasladadas al laboratorio en cajas térmicas refrigeradas. En el laboratorio las muestras fueron mantenidas en frío hasta su análisis.

**Temperatura:** La temperatura fue medida *in situ* con un termómetro de Hg de  $\pm 0.1^{\circ}$  C. Además, durante el período de estudio se mantuvo una cadena de termógrafos de registro continuo de transmisión óptica (StowAway Tidbit TBI32-20+50), programados para un registro cada 60 min. Los termógrafos fueron instalados a 5 m, 10 m y 15 m de profundidad en uno de los pilares de sostén de las instalaciones de Puerto Mejillones.

**Transparencia de la columna de agua:** Se utilizó un Disco Secchi y estimación visual. Para minimizar el error asociado al evaluador las medidas fueron, en lo posible, realizadas siempre por la misma persona.

**Sólidos suspendidos:** Para este análisis las muestras fueron refrigeradas a 4<sup>o</sup> C y protegidas de la luz. En el laboratorio, la muestra homogeneizada fue filtrada a través de una membrana de acetato de celulosa de 1,2  $\mu$ m previamente tarada. El residuo retenido fue secado hasta peso constante a 103~105<sup>o</sup> C. El aumento de peso de la membrana representa el contenido de Sólidos Totales Suspendidos. El límite de detección del método es de 0,1 mg/L (APHA, AWWA, WEF, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater”, 19 Ed., 1995.)

**Metales Pesados:** Para la determinación del contenido de plomo (Pb), cadmio (Cd), cobre (Cu), plata (Ag) y cinc (Zn) las muestras fueron depositadas en recipientes de polietileno de alta densidad. Cada recipiente fue guardado en una bolsa limpia de polietileno, debidamente rotulada para su transporte y preservación. Las muestras fueron preservadas en medio ácido y refrigeradas (pH<2 con HNO<sub>3</sub> a 4°C).

Para la cuantificación de estos metales se utilizó la técnica de Espectrofotometría de Absorción Atómica con llama previo acomplejamiento de estos metales con DCPA (pirrolidin ditiocarbamato de amonio) seguido de una extracción con MIBC (metil isobutil cetona). (APHA, AWWA, WEF, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater”, 3111 C 1999). Para la determinación de la concentración de arsénico (As) y mercurio (Hg) las muestras fueron depositadas en recipientes de vidrio. Cada recipiente fue guardado en una bolsa limpia de polietileno, debidamente rotulada para su transporte y preservación. Las muestras fueron preservadas en medio ácido y refrigeradas (pH<2 con HCl a 4°C). Estos metales pesados fueron determinados mediante Espectrofotometría de Absorción Atómica de vapor frío para mercurio, y por generación de hidruros para arsénico (APHA, AWWA, WEF, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater”, 3112B y 3114A 20<sup>TH</sup>., 1999).

Para la cuantificación de cromo (Cr), hierro (Fe) y antimonio (Sb) se utilizó Espectrofotometría de Absorción Atómica con aspiración directa, como lo indica el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater”, 3111C 20<sup>TH</sup>., 1999) o la norma respectiva de la serie 2313.

En el caso de las concentraciones de plomo (Pb) y cinc (Zn) se midió en el cuerpo de agua y en cada estación de monitoreo la concentración total recuperable y la concentración disuelta, de tal manera que por diferencia se haga el seguimiento de la concentración particulada del metal correspondiente, concentraciones que serán comparadas con los niveles basales.

#### **CARACTERIZACION QUIMICA DE LOS SEDIMENTOS**

Los envases (de vidrio y/o de polietileno de alta densidad) utilizados para almacenar las muestras de sedimentos fueron lavados con agua corriente, detergente, agua destilada, y posteriormente con HNO<sub>3</sub> al 10% en caliente. Finalmente, estos fueron lavados con agua calidad Milli-Q (agua supra pura). Los envases se guardaron en bolsas de polietileno selladas. Las muestras, una vez extraídas, fueron traspasadas a bolsas de polietileno debidamente rotuladas y trasladadas al laboratorio en cajas térmicas refrigeradas. Los metales pesados en sedimentos solicitados en los compromisos ambientales fueron determinados de acuerdo a lo descrito en el Manual de Métodos

de análisis Físico Químicos de Alimentos, Aguas y Suelos del Ministerio de Salud publicado por el Instituto de Salud Pública de Chile –Sub Departamento del Ambiente. Excepto para el Antimonio que se utilizó el Método EPA 3050 B de digestión ácida de sedimentos, lodos y suelos y determinación por absorción atómica con llama directa.

### **CARACTERIZACIÓN FÍSICAS DE LOS SEDIMENTOS (GRANULOMETRÍA)**

La caracterización granulométrica del sedimento fue determinada en muestras recolectadas en las estaciones submareales posicionadas anteriormente, y utilizadas en la recolección de las muestras para la caracterización de la columna de agua. Las muestras fueron almacenadas en bolsas plásticas previamente etiquetadas y preservadas en frío (-20º C) hasta su análisis en el Laboratorio de Sedimentología de la Universidad Católica del Norte en Coquimbo.

Las muestras para el análisis físico fueron tamizadas a intervalos de 1 grado  $\phi$  (Denominación de Wentworth para *Phi*, tamaño de abertura de malla del tamiz), empleando para ello un agitador de tamices marca Tyler modelo RX-24. Cuando las muestras presentaron un porcentaje significativo de grava se utilizaron tamices de mayor tamaño. La cantidad de sedimento retenido fue pesado en balanzas de precisión (Sartorius 1204 MP de 0,01 g).

En el análisis de la distribución granulométrica se empleó la denominación propuesta por Wentworth (1922). Los parámetros correspondientes al diámetro medio y selección de los sedimentos, se calculó en base a la metodología descrita por Folk y Ward (1957). El análisis químico para la evaluación de la materia orgánica en los sedimentos se realizó según lo descrito por Gaudette *et al.* (1974). Con los resultados de los análisis texturales y granulométricos se realizaron análisis estadísticos univariados comparativos entre las diferentes características de los sedimentos de fondo.

### **BIOTA (METALES PESADOS EN MOLUSCOS Y CRUSTÁCEOS)**

Para la determinación de metales pesados en macroinvertebrados intermareales se recolectaron muestras de *Emerita analoga* (“pulga de mar”). Las muestras fueron depositadas en bolsas de polietileno debidamente rotuladas y trasladadas al laboratorio en cajas térmicas refrigeradas.

En las estaciones submareales de muestreo, se recolectaron individuos del molusco bivalvo bentónico *Choromytilus chorus* (Choro). Al igual que las muestras obtenidas en las estaciones intermareales, estas fueron depositadas en bolsas de polietileno debidamente rotuladas y trasladadas al laboratorio en cajas térmicas refrigeradas.

Las muestras de pulgas de mar fueron lavadas con agua bi-destilada, molidas, liofilizadas y vueltas a moler hasta llegar a un polvo homogéneo. Los moluscos fueron desconchados, extraídas sus partes blandas, lavados, molidos, liofilizados y vueltos a moler hasta llegar a un polvo homogéneo. Los sedimentos fueron tamizados para eliminar restos de algas y conchas marinas, y posteriormente liofilizados. Todos estos procedimientos fueron realizados con material que reduce los riesgos de contaminación (cuchillos de titanio y/o teflón), y en ambiente limpio (sala limpia clase 100). Las temperaturas y presiones extremas de liofilización fueron  $-30^{\circ}\text{C}$  y 0,2 m Bar respectivamente. Las exigencias de calidad son las que se norman en los procedimientos de acreditación, y por la ISO 17.025. Los metales pesados en sedimentos solicitados en los compromisos ambientales fueron determinados de acuerdo a lo descrito en el Manual de Métodos de análisis Físico Químicos de Alimentos, Aguas y Suelos del Ministerio de Salud publicado por el Instituto de Salud pública de Chile – Sub Departamento del Ambiente. Excepto para el Antimonio que se utilizó el Método EPA 3050 B de digestión ácida de sedimentos, lodos y suelos y determinación por absorción atómica con llama directa.

## RESULTADOS

### CAMPAÑA JULIO 2016

#### CALIDAD FÍSICA Y QUÍMICA DE LA COLUMNA DE AGUA

##### TEMPERATURA

La temperatura superficial del mar en la Bahía de Mejillones durante las distintas etapas del PSM de PM (*i.e.* Línea Base, construcción y operación) presenta una distribución espacial determinada por la actividad del centro de surgencia permanente ubicado en Punta Angamos (Letelier *et al.* 2012). Esta regulación térmica superficial en la bahía de Mejillones del Sur producida por el sistema de surgencia de Punta Angamos tiene connotación histórica y es permanente (Vargas *et al.* 2003). En el muestreo de julio, correspondiente a la campaña de invierno 2016 del PSM - etapa de operación de la ampliación de PM, la distribución espacial de la temperatura superficial fue homogénea, caracterizada por aguas frías en el centro de la bahía así como en el sector oceánico ubicado costa afuera (Boletín CIIFEN, julio 2016), debido a la manifestación de marejadas con mar de fondo en bahías ([www.directemar.cl](http://www.directemar.cl)).

En las estaciones de muestreo, ubicadas cerca de la costa, el registro *in situ* de la temperatura del agua de mar tuvo un promedio de  $17,20 \pm 2,05^{\circ}\text{C}$  (rango:  $15,00-19,70^{\circ}\text{C}$ ). En la superficie de la columna de agua hubo  $17,50 \pm 0,50^{\circ}\text{C}$  (rango:  $17,00-18,00^{\circ}\text{C}$ ) y en el fondo hubo  $16,18 \pm 0,36^{\circ}\text{C}$  (rango:  $18,00-16,50^{\circ}\text{C}$ ) en el fondo (TABLA 2). La columna de agua durante el muestreo presentó una estratificación térmica subsuperficial ( $\Delta T^{\circ}$  promedio de  $1,32 \pm 0,28^{\circ}\text{C}$ ; rango:  $1,00^{\circ}\text{C}-1,70^{\circ}\text{C}$ ), afectado por la profundización de la isoterma de los  $14^{\circ}\text{C}$  hacia estratos ubicados por debajo de los 20 m de profundidad.

El estado relativamente cálido de la columna de agua en la bahía de Mejillones está relacionado con una condición oceanográfica con anomalías positivas de las temperaturas superficiales del océano costero en el Pacífico Suroriental propio de un evento El Niño en desarrollo (Boletín CIIFEN julio 2016). En el área de estudio, la temperatura del agua de mar presenta una marcada estacionalidad con registros máximos en verano y mínimos en invierno (FIGURA 2). Esta oscilación estacional de la temperatura del mar varía año a año en función de las anomalías térmicas producidas por la manifestación de eventos cálidos El Niño o por su contraparte fría La Niña (Letelier *et al.* 2012).

Desde marzo 2006, se ha monitoreado la temperatura en tres estratos de la columna de agua (superficial, intermedio y profundo), a través de una cadena de termógrafos que registran

continuamente, cada una hora, ubicados a 5m, 10m y 15m de profundidad (FIGURA 2). Desde el inicio del monitoreo hasta la fecha (julio 2016), los máximos de temperatura de la columna de agua se observan en el estrato superficial ( $15,61^{\circ}\pm 1,50^{\circ}\text{C}$ ), y los mínimos en el estrato profundo ( $14,25^{\circ}\pm 1,02^{\circ}\text{C}$ ) de la columna de agua (FIGURA 2). Los registros de temperatura muestran que en otoño 2006 (marzo-mayo), la columna de agua presentó una estratificación de la temperatura ( $\Delta T$ :  $2,39$ - $1,36^{\circ}\text{C}$ ), interrumpida por la intrusión de aguas cálidas causada por marejadas y cambios en la dirección de los vientos dominantes (*e.g.* desde el 26 al 30 de abril y desde el 28 mayo al 3 de junio) produciendo procesos de mezcla en la columna de agua. En invierno 2006 (junio-agosto), la temperatura de los estratos en la columna de agua presentó poca variabilidad térmica ( $0,76$ - $0,75^{\circ}\text{C}$ ), producida por el incremento en la frecuencia e intensidad de las marejadas invernales. En primavera 2006 (septiembre-noviembre) la intrusión de aguas subsuperficiales a la bahía, causada por la intensificación de los procesos de surgencia costera, mantuvo al estrato profundo con poca variabilidad térmica ( $\Delta T$ :  $0,47$ - $0,54^{\circ}\text{C}$ ) en comparación con los estratos superiores de la columna de agua ( $\Delta T$ :  $0,63$ - $1,24^{\circ}\text{C}$ ), donde se produce una termoclina durante períodos de relajación de los vientos. En verano 2007, se observó un calentamiento anómalo de las aguas superficiales con una marcada termoclina ( $\Delta T$ :  $2,02$ - $2,57^{\circ}\text{C}$ ) asociado a un evento El Niño de suave intensidad, y que anticipadamente cambió a una condición La Niña durante otoño 2007 (abril-mayo 2007). Esta condición fría, se caracterizó por una poca variabilidad térmica en la columna de agua ( $\Delta T$ :  $0,65$ - $1,05^{\circ}\text{C}$ ), que persistió desde invierno 2007 (junio-agosto 2007) hasta otoño 2008 (mayo-junio 2008). Entre invierno 2008 a invierno 2009, la temperatura mantuvo una condición “normal” caracterizada por una tendencia anual de incremento, interrumpida semanalmente por eventos de surgencia que se intensificaron en frecuencia e intensidad durante primavera y verano. Desde agosto 2009 hasta junio 2010, un evento El Niño de moderada intensidad produjo un aumento en la variabilidad de la temperatura de la columna de agua. Entre junio 2010 y marzo 2012, las aguas presentaron condiciones típicas de un evento La Niña caracterizada por la intensificación de los eventos de surgencia en el área de estudio produciendo aguas frías y una persistencia de la isoterma de los  $14^{\circ}\text{C}$  en aguas sub-superficiales. Desde abril 2012 hasta octubre 2014, se observa una condición oceanográfica neutra, luego pasa a una etapa de transición (noviembre 2014 a abril 2015), que actualmente constituye una condición fuertemente cálida denominada El Niño 2015-2016. Durante el muestreo, las condiciones térmicas del agua de mar son típicas de verano, caracterizadas por una marcada estratificación térmica en la columna de agua (FIGURA 2), debido a la manifestación de

eventos de surgencia regulados por el desarrollo del evento El Niño 2015-2016 de fuerte intensidad (boletín CIIFEN julio 2016).

### **TRANSPARENCIA DE LA COLUMNA DE AGUA**

La transparencia de la columna de agua, medida con Disco Secchi, tiene un valor promedio de  $9,60 \pm 0,55$  m. Este valor promedio de transparencia indica que la profundidad de la capa fótica (1% de luz) en la columna de agua durante el muestreo oscila entre 16 y 20 m. La variabilidad en torno al promedio de la transparencia de la columna de agua está dada por la diferencia entre estaciones de muestreo, con un valor mínimo en las estaciones de monitoreo (Est.3 y Est.4) y máximo en la estación control referencial (Est.5) y de referencia (Est.1 y Est.2) y control referencial (Est.5) (TABLA 2). En Bahía Mejillones, la transparencia en la columna de agua está relacionada con la suspensión de material particulado en fondos someros cercanos a la costa, y con la ocurrencia de floraciones algales caracterizadas por agujas o mareas rojas (Álvarez *et al.* 2011). Durante el muestreo, no se detectó ninguna marea roja en el área de estudio entorno a la franja costera donde están ubicadas las estaciones de muestreo del PSM de PM.

La productividad del ecosistema en la columna de agua de la Bahía de Mejillones siempre ha sido alta durante los muestreos del Programa (Informes PSM, etapa de construcción y operación), excepto en unas pocas oportunidades donde disminuyó significativamente (*e.g.* invierno 2008, 2012). El muestreo de julio 2016 fue realizado durante la fase de relajación de la surgencia costera a lo largo de toda la costa del norte de Chile, incluido el sistema de surgencia costera permanente de Punta Angamos (Vargas *et al.* 2003). Como ha sido registrado en algunos muestreos (*e.g.* enero 2015, marzo 2016), es frecuente que ocurran floraciones superficiales de microalgas no nocivas que tiñen las aguas de color café verdoso, y que son conocidas como “aguas café” o “aguas verde” o FAN (floración algal nociva) llamadas “mareas rojas” (Suárez & Guzmán 1998, Álvarez *et al.* 2011). Estos agujas son comunes en las bahías del norte de Chile, como Bahía Mejillones, y se manifiestan generalmente durante el período de relajación de la surgencia, caracterizado por suaves vientos del suroeste y un moderado flujo de corrientes de fondo en profundidades someras (Álvarez *et al.* 2011).

En Bahía Mejillones del sur, a menudo se detectan las máximas concentraciones superficiales de clorofila en el sector costero ( $> 5 \text{mg/m}^3$ ; Boletines FIP 2009-38). La alta productividad (expresada en Clorofila a) está relacionada con la distribución espacial de la clorofila superficial, que disminuye progresivamente desde la costa hacia mar adentro (Boletines FIP 2009-38, Letelier *et al.* 2012). La campaña de verano e invierno 2016 se realizaron durante la fase de relajación de un evento de

surgencia. Algunos muestreos (*e.g.* invierno 2008, 2012), incluido el muestreo de julio 2016, se han efectuado durante el inicio de un evento de surgencia caracterizado por una mínima productividad primaria y aguas claras.

### **SÓLIDOS SUSPENDIDOS**

La concentración promedio de sólidos suspendidos en las estaciones de muestreo fue de  $18,3 \pm 2,58 \text{ mg L}^{-1}$ , variando entre  $14,22$  y  $21,02 \text{ mg L}^{-1}$  (TABLA 2). Los sólidos suspendidos presentan una estratificación en la columna de agua de las estaciones de muestreo con una concentración promedio en el estrato superficial de  $17,96 \pm 2,75 \text{ mg L}^{-1}$  (rango:  $14,22$ – $21,02 \text{ mg L}^{-1}$ ), mientras que el estrato profundo fue de  $10,80 \pm 1,10 \text{ mg L}^{-1}$  (rango:  $10,00$ – $12,00 \text{ mg L}^{-1}$ ) (TABLA 2).

En el presente muestreo, como en los muestreos anteriores del PSM de las ampliaciones de PM, la variabilidad espacial de la concentración de sólidos suspendidos en la columna de agua de cada estación o entre estaciones está relacionada con los niveles de productividad biológica del sistema (Suárez & Guzmán 2005). La máxima productividad biológica ocurre durante y/o después de la etapa activa de los eventos de surgencia costera (Marín *et al.* 2001). Es en este contexto que las concentraciones de sólidos suspendidos durante los muestreos pueden presentar estratificación en la columna de agua (en la estación de muestreo) o producir gradientes de distribución espacial dentro de la bahía (entre estaciones de muestreo). Además, existe variabilidad temporal dependiente del clima oceanográfico (variabilidad interanual), de la estacionalidad (variabilidad anual), o de la fase de desarrollo de los eventos de surgencia costera (variabilidad mensual, semanal o diaria).

### **METALES PESADOS**

Las concentraciones de Hg en la columna de agua de las estaciones de muestreo en la campaña de invierno 2016 están cerca o bajo los niveles mínimos de detección del instrumento o de certificación del método (TABLA 2).

El Sb en el agua de mar del área de estudio presentó una concentración promedio de  $0,45 \pm 0,09 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$  (rango:  $0,327$  y  $0,610 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$ ); con una distribución estratificada en la columna de agua que alcanzó niveles de  $0,510 \pm 0,074 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$  (rango:  $0,408$ – $0,610 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$ ) en el estrato superficial y de  $0,396 \pm 0,068 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$  (rango:  $0,327$ – $0,508 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$ ) en el estrato profundo (TABLA 2).

El As en el agua de mar del área de estudio presentó una concentración promedio de  $2,21 \pm 0,27 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$  (rango:  $1,84$  y  $2,59 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$ ); con una distribución homogénea en la columna de agua

que alcanzó niveles de  $2,25 \pm 0,29 \mu\text{g L}^{-1}$  (rango: 1,89-2,59  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) en el estrato superficial y de  $2,17 \pm 0,28 \mu\text{g L}^{-1}$  (rango: 1,84-2,43  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) en el estrato profundo (TABLA 2).

El Cd en el agua de mar del área de estudio presentó una concentración promedio de  $81,10 \pm 4,53 \mu\text{g L}^{-1}$  (rango: 76,0 y 87,0  $\mu\text{g L}^{-1}$ ); con una distribución estratificada en la columna de agua que alcanzó niveles de  $83,40 \pm 3,21 \mu\text{g L}^{-1}$  (rango: 78,00-86,00  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) en el estrato superficial y de  $78,80 \pm 4,76 \mu\text{g L}^{-1}$  (rango: 76,00-87,00  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) en el estrato profundo (TABLA 2).

El Zn total en el agua de mar del área de estudio presentó una concentración promedio de  $84,40 \pm 45,67 \mu\text{g L}^{-1}$  (rango: 38,0 y 168,0  $\mu\text{g L}^{-1}$ ); con una distribución estratificada en la columna de agua que alcanzó niveles de  $98,00 \pm 60,33 \mu\text{g L}^{-1}$  (rango: 41,00-168,00  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) en el estrato superficial y de  $70,80 \pm 24,28 \mu\text{g L}^{-1}$  (rango: 38,0-106,0  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) en el estrato profundo (TABLA 2). El Zn disuelto en el agua de mar del área de estudio presentó una concentración promedio de  $79,90 \pm 43,62 \mu\text{g L}^{-1}$  (rango: 34,0 y 162,0  $\mu\text{g L}^{-1}$ ); con una distribución estratificada en la columna de agua que alcanzó niveles de  $92,60 \pm 57,75 \mu\text{g L}^{-1}$  (rango: 38,0 y 162,0  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) en el estrato superficial y de  $67,20 \pm 23,32 \mu\text{g L}^{-1}$  (rango: 34,0-99,0  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) en el estrato profundo (TABLA 2).

El Cu en el agua de mar del área de estudio presentó una concentración promedio de  $84,60 \pm 8,55 \mu\text{g L}^{-1}$  (rango: 72,0 y 96,0  $\mu\text{g L}^{-1}$ ); con una distribución homogénea en la columna de agua que alcanzó niveles de  $83,60 \pm 9,45 \mu\text{g L}^{-1}$  (rango: 72,0-96,0  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) en el estrato superficial y de  $85,60 \pm 8,53 \mu\text{g L}^{-1}$  (rango: 77,0-95,0  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) en el estrato profundo (TABLA 2).

El Cr en el agua de mar del área de estudio presentó una concentración promedio de  $72,40 \pm 6,55 \mu\text{g L}^{-1}$  (rango: 65,0 y 85,0  $\mu\text{g L}^{-1}$ ); con una distribución estratificada en la columna de agua que alcanzó niveles de  $68,20 \pm 2,86 \mu\text{g L}^{-1}$  (rango: 65,0-72,0  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) en el estrato superficial y de  $76,60 \pm 6,66 \mu\text{g L}^{-1}$  (rango: 67,0-85,0  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) en el estrato profundo (TABLA 2).

El Fe en el agua de mar del área de estudio presentó una concentración promedio de  $120,20 \pm 8,87 \mu\text{g L}^{-1}$  (rango: 106,0 y 129,0  $\mu\text{g L}^{-1}$ ); con una distribución estratificada en la columna de agua que alcanzó niveles de  $126,20 \pm 2,17 \mu\text{g L}^{-1}$  (rango: 123,0-129,0  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) en el estrato superficial y de  $114,20 \pm 9,07 \mu\text{g L}^{-1}$  (rango: 106,0-128,0  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) en el estrato profundo (TABLA 2).

El Ag en el agua de mar del área de estudio presentó una concentración promedio de  $33,90 \pm 3,41 \mu\text{g L}^{-1}$  (rango: 29,0 y 40,0  $\mu\text{g L}^{-1}$ ); con una distribución homogénea en la columna de agua que alcanzó niveles de  $34,20 \pm 3,42 \mu\text{g L}^{-1}$  (rango: 31,0-40,0  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) en el estrato superficial y de  $33,60 \pm 3,78 \mu\text{g L}^{-1}$  (rango: 29,0-38,0  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) en el estrato profundo (TABLA 2).

El Pb disuelto en el agua de mar del área de estudio presentó una concentración promedio de  $441,90 \pm 102,47 \mu\text{g L}^{-1}$  (rango: 304,0 y  $660,0 \mu\text{g L}^{-1}$ ); con una distribución estratificada en la columna de agua que alcanzó niveles de  $500,20 \pm 110,47 \mu\text{g L}^{-1}$  (rango: 356,0- $660,0 \mu\text{g L}^{-1}$ ) en el estrato superficial y de  $383,60 \pm 54,09 \mu\text{g L}^{-1}$  (rango: 304,0- $443,0 \mu\text{g L}^{-1}$ ) en el estrato profundo (TABLA 2). El Pb total en el agua de mar del área de estudio presentó una concentración promedio de  $501,00 \pm 97,57 \mu\text{g L}^{-1}$  (rango: 384,0 y  $680,0 \mu\text{g L}^{-1}$ ); con una distribución homogénea en la columna de agua que alcanzó niveles de  $557,40 \pm 112,34 \mu\text{g L}^{-1}$  (rango: 384,0- $680,0 \mu\text{g L}^{-1}$ ) en el estrato superficial y  $444,60 \pm 29,12 \mu\text{g L}^{-1}$  (rango: 404,0- $480,0 \mu\text{g L}^{-1}$ ) en el estrato profundo (TABLA 2).

Durante el presente muestreo del PSM, la concentración de metales pesados en la columna de agua de las estaciones de monitoreo, referencia y control presentan valores promedios sobre o dentro de los rangos de variabilidad detectado durante el estudio de Línea Base (enero 2004), y durante el PSM - etapa de construcción y de operación de la ampliación de las instalaciones portuarias de PM (FIGURAs 3 y 4). Durante el estudio de Línea Base, la concentración de Cu en la columna de agua en las estaciones cercanas a las instalaciones portuarias fue de  $74,00 \pm 23,00 \mu\text{g L}^{-1}$  en la superficie, y de  $83,3 \pm 6,8 \mu\text{g L}^{-1}$  en el fondo. El Zn presentó una concentración de  $83,8 \pm 65,0 \mu\text{g L}^{-1}$  en superficie y  $172,5 \pm 27,5 \mu\text{g L}^{-1}$  en el fondo, mientras que el Pb presentó un valor promedio de  $327,5 \pm 62,4 \mu\text{g L}^{-1}$  en la superficie y de  $377,5 \pm 61,3 \mu\text{g L}^{-1}$  en el fondo. Por otra parte, los valores observados en las estaciones de muestreo están bajo o dentro del rango de variabilidad detectado durante el seguimiento temporal de metales pesados en la columna de agua en Bahía Mejillones del Sur entre los años 2004 y 2016, los cuales muestran alta variabilidad estacional e interanual (FIGURAs 3 y 4).

Considerando el estudio de Línea Base y los muestreos del PSM - etapas de construcción de la ampliación de PM (marzo 2006) hasta el presente muestreo de la etapa de operación, el Zn (total y disuelto) muestra un incremento de las concentraciones promedios hasta verano 2008 donde alcanza valores máximos circunscritos entre 80 y  $100 \mu\text{g L}^{-1}$ , desde invierno 2008 los valores promedios de este elemento disminuyen significativamente manteniéndose en un rango que oscila entre 10 y  $60 \mu\text{g L}^{-1}$ , excepto en invierno 2011 para Zn total donde el valor promedio osciló entre 60- $70 \mu\text{g L}^{-1}$  (FIGURA 3). El Cu, excluyendo los niveles máximos (por sobre  $100 \mu\text{g L}^{-1}$ , *i.e.* marzo 2006, noviembre 2006, invierno 2011, verano 2012) y los mínimos (por debajo de  $20 \mu\text{g L}^{-1}$ , *i.e.* mayo 2006, verano 2010, invierno 2012, verano 2014), muestra una tendencia temporalmente conservativa que oscila entre los 30 y  $80 \mu\text{g L}^{-1}$ ; aunque se mantuvo por sobre  $80 \mu\text{g L}^{-1}$  en el periodo entre invierno 2011 y 2013. En verano 2015 e invierno 2016, el Cu presenta un incremento significativo tanto en las estaciones de

monitoreo así como en las estaciones de referencia y control (FIGURA 3). La concentración de Fe presenta una tendencia temporal en el agua de mar que oscila entre 100 y 200  $\mu\text{g L}^{-1}$ , con un máximo fuera del rango en primavera 2006 y un mínimo en invierno 2009; entre invierno 2011 y verano 2014 se observa otros máximos importantes interrumpido una disminución a niveles históricos mínimos en verano 2013 (FIGURA 3). La concentración de Pb total y disuelto presenta una alta variabilidad interanual, con concentraciones que oscilan entre 200 y 600  $\mu\text{g L}^{-1}$  durante el período 2007-2008. En los años 2008 y 2009, la concentración de Pb se estabiliza en torno a los 200  $\mu\text{g L}^{-1}$  incrementando en el 2010 en torno a los 250 y 350  $\mu\text{g L}^{-1}$ ; mientras que en el período 2011-2012 e invierno 2014 incrementa nuevamente a niveles que oscilan entre 400 y 500  $\mu\text{g L}^{-1}$  con concentraciones semejantes a las detectadas a inicios del PSM. En invierno 2013, el Pb total alcanza concentraciones promedio cercanas o menores a los detectados en el período 2007-2008, mientras que para el Pb disuelto ocurre en el año 2014 (FIGURA 4). La concentración de As en el agua de mar ha disminuido temporalmente a niveles cercanos al límite de detección del instrumento, aunque se detectan incrementos significativos durante el año 2006, en invierno 2009, sumado a un leve repunte en el presente muestreo (FIGURA 4). El Cd ha presentado una alta variabilidad en las concentraciones durante el período de muestreo oscilando entre 20 y 80  $\mu\text{g L}^{-1}$ . En los inviernos 2011, 2012, 2013 y 2014 se detectaron incremento significativo en la concentración promedio de Cd en agua de mar (aprox. 100  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) que contrastan con los niveles estivales que oscilan dentro del rango histórico (FIGURA 4). En general, la variación temporal de la concentración de metales en la columna de agua es similar entre las estaciones referenciales y de control y las estaciones de monitoreo cercanas al muelle de Puerto de Mejillones (FIGURAS 3 y 4), lo cual sugiere que los cambios temporales en la concentración de metales pesados ocurren en toda el área de estudio.

## **CALIDAD FÍSICA Y QUÍMICA DE LOS SEDIMENTOS MARINOS**

### **GRANULOMETRÍA**

La profundidad de las estaciones de muestreo durante la evaluación para la caracterización granulométrica de los sedimentos marinos en el área de estudio varió entre 17 y 21 m de profundidad. En la campaña de invierno 2016 del PSM—etapa de operación de la ampliación de PM, los sedimentos submareales se caracterizan por tener una heterogeneidad del grano comprendido en el rango de las arenas gruesas y arenas muy finas asociadas al predominio de fracciones poco a moderadamente seleccionadas, con formas simétricas a sesgadas a un alto exceso de granos finos o gruesos en las colas de sus curvas granulométricas. El contenido de materia orgánica en los sedimentos de las estaciones de

muestreo tiene un promedio de  $11,08 \pm 4,28 \text{ mg g}^{-1}$ , con un rango de variación que oscila entre  $6,50 \text{ mg g}^{-1}$  (Est.1) y  $16,00 \text{ mg g}^{-1}$  (Est.2) (TABLA 3).

En las estaciones referenciales y control, se observan arenas gruesas (Est.1), medianas (Est.2) y arenas muy finas (Est.5), con un predominio de fracciones poco a moderadamente seleccionadas con formas simétricas a sesgadas a alto exceso de gruesos en las colas de sus curvas granulométricas, y con un contenido de materia orgánica que oscila entre  $6,50$  y  $16,00 \text{ mg/g}$  (TABLA 3). En las estaciones de monitoreo cercanas a las instalaciones del muelle de Puerto Mejillones, que corresponden a la Est.3 y Est.4, se observan arenas finas y muy finas, moderadamente seleccionadas, con un moderado o alto exceso de gruesos en las colas de sus curvas granulométricas, y con un contenido de materia orgánica que oscila entre  $8,80$  y  $15,30 \text{ mg/g}$  (TABLA 3).

El análisis estadístico de los sedimentos submareales muestra un predominio de sustratos comprendidos en un rango de escala correspondiente a arenas gruesas y arenas muy finas en la bahía. Estos sedimentos están asociados a fracciones bien, moderadas o poco seleccionadas, lo que denota un ambiente con mayor estabilidad hidrodinámica de la columna de agua en el sector del muelle (Est.3 y Est.4). El contenido de materia orgánica en el sector submareal en general es bajo (inferior a  $16,00 \text{ mg g}^{-1}$ ) si se compara con bahías del sur (como por ejemplo bahía Concepción donde se han reportado valores por sobre los  $100,0 \text{ mg g}^{-1}$ ), pero está dentro de los rangos registrados para bahías del norte de nuestro país (Berrios & Olivares 1996) y Bahía de Mejillones del Sur (Valdés & Sifeddine 2009).

### **CALIDAD QUÍMICA DE LOS SEDIMENTOS**

Durante la décima novena campaña de muestreo del PSM – etapa de operación de la ampliación de PM, la concentración de metales pesados en los sedimentos submareales ha sido variable entre estaciones de muestreo. Aunque al comparar las estaciones referenciales (Est. 1 y Est.2) y control (Est. 5) con las estaciones de monitoreo (Est. 3 y Est.4), la mayoría de los metales pesados evaluados varían en un rango de concentración similar.

La concentración de Ag durante el muestreo de julio 2016 están cerca o bajo los niveles de detección del método o de certificación del instrumento en todas las estaciones de monitoreo de sedimentos (TABLA 4).

La concentración de As en los sedimentos tiene un valor promedio de  $1,73 \pm 0,32 \text{ mg kg}^{-1}$ , con una concentración mínima de  $1,38 \text{ mg kg}^{-1}$  (Est.3) y una máxima de  $2,16 \text{ mg kg}^{-1}$  (Est.5). El Cd tuvo un promedio de  $3,10 \pm 0,88 \text{ mg kg}^{-1}$ , con una concentración mínima bajo el límite de detección del instrumento / certificación del método  $< 0,25 \text{ mg kg}^{-1}$  (Est.1) y una máxima de  $4,19 \text{ mg kg}^{-1}$  (Est.3). La

concentración de Cr en los sedimentos marinos presenta un valor promedio de  $10,87 \pm 2,41 \text{ mg kg}^{-1}$ , con valores mínimos en la Est.1 ( $6,93 \text{ mg kg}^{-1}$ ) y máximos en la Est.3 ( $13,40 \text{ mg kg}^{-1}$ ). La concentración de Cu tuvo un valor promedio de  $18,06 \pm 5,84 \text{ mg kg}^{-1}$  en el área de estudio, con un valor mínimo ( $13,40 \text{ mg kg}^{-1}$ ) en la Est.1 y un máximo ( $27,00 \text{ mg kg}^{-1}$ ) en la Est.3. Para el Fe, la concentración promedio observada en los sedimentos marinos fue de  $4.549 \pm 2.127 \text{ mg kg}^{-1}$ , fluctuando entre  $2.977 \text{ mg kg}^{-1}$  (Est.5) y  $8.180 \text{ mg kg}^{-1}$  (Est.1). La concentración promedio del Hg en los sedimentos marinos fue de  $0,0156 \pm 0,0094 \text{ mg kg}^{-1}$ , con un nivel mínimo en la Est.1 ( $0,006 \text{ mg kg}^{-1}$ ) y un máximo en la Est.3 ( $0,026 \text{ mg kg}^{-1}$ ), respectivamente. La concentración promedio del Pb fue de  $11,83 \pm 6,89 \text{ mg kg}^{-1}$ , con un valor mínimo de  $6,35$  (Est.1) y un máximo en la Est.3 ( $22,00 \text{ mg kg}^{-1}$ ). El Zn muestra un promedio de  $25,18 \pm 11,90 \text{ mg kg}^{-1}$ , con una concentración mínima de  $13,00 \text{ mg kg}^{-1}$  (Est.2) y una máxima de  $43,00 \text{ mg kg}^{-1}$  (Est.3). El Sb muestra un promedio de  $0,03 \pm 0,01 \text{ mg kg}^{-1}$ , con una concentración mínima de  $0,015 \text{ mg kg}^{-1}$  (Est.4) y una máxima de  $0,034 \text{ mg kg}^{-1}$  (Est.1) (TABLA 4).

En la décima novena campaña del PSM – etapa de operación de la ampliación de PM, la concentración de metales pesados en los sedimentos de las estaciones de Monitoreo, Referencia y Control presentan valores promedios que oscilan sobre y/o dentro del rango de variación detectados durante el estudio de línea base (realizadas en enero 2004; considerando Cu, Pb y Zn) y durante el PSM – etapa de construcción de la ampliación de las instalaciones portuarias de Puerto Mejillones, realizada entre marzo 2006 y mayo 2007 (FIGURA 5). Los sedimentos marinos cercanos a las instalaciones portuarias durante el estudio de Línea Base presentaron una concentración de  $16,78 \pm 4,71 \text{ mg kg}^{-1}$  para Cu,  $9,34 \pm 1,66 \text{ mg kg}^{-1}$  para Pb y  $17,60 \pm 2,99 \text{ mg kg}^{-1}$  para Zn, respectivamente (Vásquez 2004). Los valores promedios encontrados en las estaciones de muestreo están dentro o sobre el rango de variabilidad temporal de metales pesados en sedimentos de Bahía Mejillones, reportados en otros programas de seguimiento realizados entre los años 2002 y 2016, u otros estudios (Valdés *et al.* 2005, Váldez & Sifeddine 2009) (TABLA 4). En general, estos estudios han demostrado que los metales pesados presentan una alta variabilidad estacional e interanual en los sedimentos submareales. Además, las concentraciones de los distintos metales pesados analizados en los sedimentos de las estaciones de muestreo ubicadas en bahía de Mejillones están cerca o bajo los valores obtenidos desde materiales de referencia de sedimentos marinos para metales trazas y otros constituyentes (NRC-CNRC, 1997; Townsend *et al.* 2007; TABLA 4).

Incorporando los datos de metales pesados en sedimentos obtenidos durante la décima novena campaña del PASMAM – etapa de operación de la ampliación de PM, a la serie de tiempo generada por los muestreos realizados para la Línea Base y durante la etapa de construcción de la

ampliación de PM, se observa que la concentración de As en los sedimentos oscila entre 3 y 9 mg kg<sup>-1</sup>, excepto durante enero y mayo del 2007 donde ocurren incrementos significativos que aumentan la variabilidad temporal de este elemento traza. El Cr en los sedimentos marinos de la bahía alterna una fase de altos niveles de concentración (20 a 40 mg kg<sup>-1</sup>) durante 2006 y 2008; con otra de bajos valores (entre 10 y 20 mg kg<sup>-1</sup> en verano y otoño 2007); estos últimos niveles se han mantenido desde el año 2009 hasta la actualidad. La concentración promedio de Cu oscila entre 10 y 20 mg kg<sup>-1</sup> a lo largo del período de estudio, excepto en invierno 2009, verano 2011, e invierno 2016 donde aumentan significativamente. La concentración promedio de Fe en los sedimentos marinos de la bahía presenta una variabilidad temporal que oscila entre 5.000 y 15.000 mg kg<sup>-1</sup>, con niveles mínimos en enero 2007 e invierno 2009, 2011 y 2012. El Hg en los sedimentos marinos de la bahía presenta máximas concentraciones entre mayo y junio 2006, mientras que concentraciones mínimas se han mantenido desde invierno 2008 hasta el presente muestreo. El Pb en los sedimentos marinos de la bahía presenta una fase de alta variabilidad de la concentración oscilando entre 1 a 10 mg kg<sup>-1</sup> entre 2006 y 2008; posteriormente los niveles incrementan significativamente hasta alcanzar valores cercanos a 20 mg kg<sup>-1</sup> en invierno 2009 y luego disminuyen a niveles históricos durante 2010 y 2011; lo anterior contrasta con el incremento significativo de este elemento traza durante los muestreos realizado en el año 2012 y 2016 que rondan entre 10 y 30 mg kg<sup>-1</sup>. El Zn en los sedimentos marinos de la bahía oscila temporalmente entre 10 y 70 mg kg<sup>-1</sup> en el área de estudio, aunque muestra incrementos significativos en septiembre y noviembre 2006 y durante los muestreos de verano e invierno 2008. La concentración de Cd en los sedimentos muestra un máximo significativo en marzo y mayo 2006 en el área de estudio, mientras que después disminuye a concentraciones que oscilan entre 1 y 6 mg kg<sup>-1</sup>, pero variando interanualmente (FIGURA 5). En general, la variación temporal de la concentración de metales pesados en los sedimentos marinos durante el PSM es similar entre las estaciones referenciales, de control y las estaciones de monitoreo ubicadas próximas al muelle de Puerto Mejillones (FIGURA 5).

### **METALES PESADOS EN BIOTA**

En el presente muestreo, así como en los muestreos de Línea Base y del PSM – etapa de construcción y operación de la ampliación de PM se han recolectado individuos de *Emerita analoga* (Hippidae; pulga de mar), desde los ambientes intermareales de playas de arena para evaluar la concentración de metales pesados en sus partes blandas (TABLA 5). Mientras que en las estaciones de

muestreo de fondos blandos de ambientes submareales se han recolectado individuos de moluscos bivalvos (Choro: *Choromytilus chorus*) para el análisis químico de sus partes blandas (TABLA 5).

### BIOTA INTERMAREAL

Durante la décimo novena campaña del PSM– etapa de operación de la ampliación de PM, la concentración de metales pesados en partes blandas de *Emerita analoga* recolectadas en los ambientes intermareales presenta una distribución aleatoria (TABLA 5), sin un patrón espacial definido, de manera similar a lo descrito en los muestreos anteriores del PSM.

La concentración de Ag y Sb durante el muestreo de julio 2016 están bajo o cerca de los niveles de detección del método o de certificación del instrumento en todas las estaciones de monitoreo de pulgas de mar (TABLA 5).

El As presentó un valor promedio de  $0,222 \pm 0,062 \text{ mg kg}^{-1}$ , con una concentración mínima de  $0,132 \text{ mg kg}^{-1}$  (Est.1) y máxima de  $0,275 \text{ mg kg}^{-1}$  (Est.2). El Cd tuvo una concentración promedio de  $6,57 \pm 5,34 \text{ mg kg}^{-1}$ , variando entre  $2,83 \text{ mg kg}^{-1}$  (Est.2) y  $15,90 \text{ mg kg}^{-1}$  (Est.5). El Zn tuvo una concentración promedio de  $41,20 \pm 9,91 \text{ mg kg}^{-1}$ , variando entre  $27,00 \text{ mg kg}^{-1}$  (Est.4) y  $53,00 \text{ mg kg}^{-1}$  (Est.1). La concentración de Cu en las partes blandas de *Emerita análoga* osciló entre  $40,00$  (Est.4) y  $84,00$  (Est.2)  $\text{mg kg}^{-1}$  en las estaciones de muestreo, con un promedio de  $64,20 \pm 17,21 \text{ mg kg}^{-1}$  en el área de estudio. Mientras que el Cr tuvo una concentración promedio de  $1,051 \pm 0,235 \text{ mg kg}^{-1}$ , que osciló entre un mínimo de  $0,872 \text{ mg kg}^{-1}$  (Est.1, Est.5) y un máximo de  $1,350 \text{ mg kg}^{-1}$  (Est.3). La concentración de Fe tuvo un valor promedio de  $411,80 \pm 351,34 \text{ mg kg}^{-1}$ , variando entre una concentración mínima en la Est.1 ( $195,0 \text{ mg kg}^{-1}$ ), y una máxima en la Est.4 ( $1027,0 \text{ mg kg}^{-1}$ ). La concentración de Hg presentó un valor promedio de  $0,041 \pm 0,006 \text{ mg kg}^{-1}$ , variando entre una concentración mínima en la Est.2 ( $0,034 \text{ mg kg}^{-1}$ ), y una máxima en la Est.5 ( $0,047 \text{ mg kg}^{-1}$ ) (TABLA 5). La concentración de Pb presentó un valor promedio de  $0,24 \pm 0,08 \text{ mg kg}^{-1}$ , variando entre una concentración mínima en la Est.4 ( $<0,14 \text{ mg kg}^{-1}$ ), y una máxima en la Est.3 ( $0,34 \text{ mg kg}^{-1}$ ).

Al igual que en los muestreos de las campañas anteriores del PSM de la ampliación de PM, la distribución espacial de la mayoría de los metales pesados analizados en las partes blandas de *Emerita analoga*, muestra una bioacumulación homogénea en todas las estaciones de muestreo (TABLA 5). Esto sugiere que los efectos de resuspensión de sedimentos y bioacumulación en los organismos de playas de arena tienen lugar en toda el área de estudio.

En el estudio de Línea Base, la concentración promedio de metales pesados en el tejido de pulgas de mar en el área próxima a las instalaciones portuarias fue de  $34,54 \pm 24,57 \text{ mg kg}^{-1}$  para el Cu,

de  $9,43 \pm 3,37$  mg kg<sup>-1</sup> para el Pb y de  $30,67 \pm 13,63$  mg kg<sup>-1</sup> para el Zn. La concentración de metales pesados en los tejidos blandos de *Emerita analoga* en el presente muestreo del PSM – etapa de operación, están dentro de los rangos de variación temporal detectado en otros programas de seguimiento que han utilizado a este organismo en Bahía Mejillones como un indicador de perturbaciones de origen antrópico (Vásquez 2015). En general, los niveles de metales en partes blandas de pulgas de mar muestran una alta variabilidad estacional e interanual.

Durante el décima novena campaña de muestreo del PSM – etapa de operación de la ampliación de PM, la concentración de Pb, Cu y Zn en los tejidos de *Emerita analoga* en las estaciones de monitoreo y de control presentan una alta variación temporal. Durante el 2006 las concentraciones promedios de estos elementos traza oscilaron dentro del rango de variación detectado durante el estudio de Línea Base realizado en enero del 2004. Posteriormente, durante el 2007, la concentración promedio de estos metales pesados en partes blandas de pulgas de mar aumenta significativamente. A fines del 2007 y durante el 2008, la concentración de Zn, Cu y Pb en los tejidos de pulgas de mar retornan a niveles bajo o iguales a los detectados en la línea base, excepto para el Cu en verano 2008. Desde 2009 hasta la fecha, la concentración de cada uno de estos metales traza ha incrementado con una alta variabilidad temporal oscilando entre 30 y 60 mg kg<sup>-1</sup> para el Zn, entre 50 y 100 para el Cu y entre 5 y 15 mg kg<sup>-1</sup> para el Pb (FIGURA 6). En invierno 2012 y verano 2013, la concentración de plomo alcanzó los máximos registros en las partes blandas de estos invertebrados, oscilado entre 20 y 25 mg kg<sup>-1</sup>, mientras que en el año 2015 y 2016, lo registros están por debajo de este rango (FIGURA 6).

En un contexto temporal, incorporando este muestreo del PSM - etapa de operación, la concentración del As en partes blandas de *Emerita analoga* presenta una alta variabilidad, principalmente determinada por incrementos significativos en enero y mayo del 2007 y marzo 2011, y en el monitoreo del presente año (FIGURA 6). Como en otros metales analizados (e.g. Zn, Cu y Pb), el Fe y el Cd en las partes blandas de *Emerita analoga* presenta una marcada variabilidad durante el programa de seguimiento, con valores mínimos durante el 2006 y valores máximos entre enero y mayo del 2007. Desde octubre 2007 se restablecen los niveles mínimos de concentración del Fe, que oscilan entre 250 y 500 mg kg<sup>-1</sup>, excepto en invierno 2009 y verano 2011 donde el promedio alcanza 1500 mg kg<sup>-1</sup>. Para el Cd, desde el 2011, la concentración oscila entre 5 y 15 mg Kg<sup>-1</sup>, con una marcada estacionalidad durante los años (FIGURA 6).

Los cambios significativos de todos los metales en el programa de seguimiento pueden ser atribuidos en parte a las oscilaciones climáticas y oceanográficas interanuales (e.g. eventos El Niño y

La Niña) que afectan la fisiología y el comportamiento de invertebrados como *Emerita* en este ecosistema, y en consecuencia afecta también sus capacidades para bio-acumular metales. Sin embargo no hay argumentos científicos suficientes que verifiquen esta hipótesis (Allan *et al.* 2008). En este contexto, como ejemplo, la campaña de muestreo de verano 2011 fue realizado inmediatamente después de ocurrido la llegada del maremoto de Japón a las costas del Pacífico Sudamericano, el cual modificó la calidad físico-química de la columna de agua y los sedimentos de fondos afectando las comunidades bentónicas. En general, la variación temporal de la concentración de metales pesados en partes blandas de las pulgas de mar presentan un acoplamiento de las tendencias temporales entre las estaciones referenciales de control y las estaciones de monitoreo, ubicadas cerca del muelle de Puerto Mejillones (FIGURA 6).

### BIOTA SUBMAREAL

Durante el décima novena campaña de muestreo del PSM - etapa de operación de la ampliación de PM, la distribución espacial de las concentraciones de metales pesados en partes blandas de moluscos submareales (choro *Choromytilus chorus*) es estocástica. Esto indica que las estaciones referenciales y de control presentan un rango de variación de metales pesados en los tejidos de moluscos bivalvos submareales semejantes a los detectados en las estaciones de seguimiento (TABLA 5).

La concentración de Ag durante los muestreos de la campaña realizada en julio 2016, estuvieron cercanos o bajo los niveles de detección del instrumento o de certificación del método en todas las estaciones de monitoreo de la biota submareal.

El Sb presentó una concentración de  $0,081 \pm 0,018 \text{ mg kg}^{-1}$ , con un mínimo de  $0,060 \text{ mg kg}^{-1}$  (Est.1) y máximo de  $0,106 \text{ mg kg}^{-1}$  (Est.2). El As presentó una concentración de  $0,705 \pm 0,219 \text{ mg kg}^{-1}$ , con un mínimo de  $0,403 \text{ mg kg}^{-1}$  (Est.3) y máximo de  $0,891 \text{ mg kg}^{-1}$  (Est.3). El Cd presentó un valor de  $12,50 \pm 10,68 \text{ mg kg}^{-1}$ , con una concentración mínima de  $5,11 \text{ mg kg}^{-1}$  (Est.1) y una máxima de  $31,00 \text{ mg kg}^{-1}$  (Est.4). El Zn presentó una concentración de  $109,00 \pm 93,30 \text{ mg kg}^{-1}$ , con un valor mínimo de  $40,00 \text{ mg kg}^{-1}$  (Est.5) y un máximo de  $266,00 \text{ mg kg}^{-1}$  (Est.4). La concentración de Cu en las partes blandas de la biota submareal en las estaciones de muestreo varió entre  $19,20 \text{ mg kg}^{-1}$  (Est.5) y  $182,00 \text{ mg kg}^{-1}$  (Est.1), con una concentración promedio de  $81,24 \pm 68,92 \text{ mg kg}^{-1}$  en el área de estudio (Tabla 5).

La concentración promedio de Cr en los tejidos de biota submareal fue de  $1,29 \pm 0,54 \text{ mg kg}^{-1}$ , variando entre  $0,67 \text{ mg kg}^{-1}$  (Est.2) y  $2,00 \text{ mg kg}^{-1}$  (Est.3); mientras que la concentración promedio de

Fe fue de  $294,60 \pm 248,21 \text{ mg kg}^{-1}$ , con un rango de variación que va desde  $68,00 \text{ mg kg}^{-1}$  (Est.5) hasta  $653,00 \text{ mg kg}^{-1}$  (Est.4). La concentración de Hg en las partes blandas de la biota submareal en las estaciones de muestreo varió entre  $0,094 \text{ mg kg}^{-1}$  (Est.1) y  $0,108 \text{ mg kg}^{-1}$  (Est.3), con una concentración promedio de  $0,103 \pm 0,006 \text{ mg kg}^{-1}$  en el área de estudio. El Pb presentó una concentración de  $0,812 \pm 0,547 \text{ mg kg}^{-1}$ , con un valor mínimo que está por debajo del valor de detección o certificación del instrumento (Est.1, Est.2) y un máximo de  $1,390 \text{ mg kg}^{-1}$  (Est.3) (Tabla 5).

En el estudio de Línea Base ejecutado en marzo del 2004 no se encontró biota submareal, imposibilitando realizar comparaciones con los resultados obtenidos en las distintas etapas del PSM de la ampliación de PM. Es por esto que los resultados del presente muestreo se anexan a la serie de tiempo de metales pesados en partes blandas de la biota submareal obtenidas durante el PSM - etapa de construcción y etapa de operación de la ampliación de PM. En comparación con los muestreos anteriores del PSM, y similar a lo observado en crustáceos intermareales, la distribución espacial (entre estaciones de muestreo) de los diferentes metales pesados obtenidos de las partes blandas de moluscos submareales no muestra un patrón definido ni definido por alguna estación de monitoreo en particular, y es por esto también que las concentraciones promedio de metales pesados en los organismos submareales del área de estudio presentan una alta variabilidad. Esto se debe a un aumento en la variación de los residuales causada por incrementos puntuales (datos fuera de rango) de la concentración de los metales pesados en las partes blandas de moluscos bivalvos, en algunas de las estaciones de muestreo. Esta variabilidad desplaza el valor promedio de la concentración de los diferentes metales pesados, e incrementan la varianza.

La concentración de As en partes blandas de bivalvos submareales presentó una alta variabilidad al inicio de los muestreos, principalmente por incrementos significativos entre enero y mayo del 2007; posteriormente la concentración de As se ha mantenido en niveles mínimos. Aunque, en verano 2011 la concentración de As mostró un incremento de un orden de magnitud con respecto a los muestreos posteriores hasta el año 2014. En el año 2015 se detecta un incremento menos pronunciado del As, con un retorno a los niveles mínimos reportados para este elemento traza en el año 2016. El Cd en la biota submareal presenta una marcada variabilidad estacional e interanual caracterizada por períodos de baja (2006, 2008, 2012) y alta concentración (2007, 2009-2011); pero desde el año 2012, el Cd ha mantenido una concentración promedio que oscila entre 5 y  $20 \text{ mg kg}^{-1}$ . La variación temporal de la concentración promedio de Zn, Cu, Fe y Pb sigue una tendencia semejante a la descrita para Cd. Aunque las concentraciones difieren en magnitudes, es común detectar una alta variabilidad entre muestreos para cada elemento traza (FIGURA 7).

Desde el comienzo del PSM hasta otoño 2007 hubo un incremento significativo en la concentración de Zn, Cu, Pb y Fe que, entre el periodo 2007-2008, es restablecida a niveles mínimos semejantes a los detectados a inicio de los registros. La concentración de Zn, desde el año 2009, oscila entre 50 y 150 mg kg<sup>-1</sup>, con una alta dispersión en el invierno 2012 e incrementos significativos en verano 2011, 2014 y 2015. El periodo 2009-2016, se caracteriza por una alta variabilidad espacial para el Cu, oscilando entre 15 y 75 mg kg<sup>-1</sup>, excepto en verano 2012 y 2016 donde se detectan los valores mínimos. Desde el 2009, el Fe oscila entre 100 y 500 mg kg<sup>-1</sup>, excepto en verano 2011 y 2012 donde se observa una alta variabilidad en torno a los valores promedios. La concentración de Pb desde el año 2009, alterna fases de incremento de las concentraciones con alta dispersión de la variabilidad (verano 2009 y 2013, invierno 2010, verano 2014) alternada con periodos de bajas concentraciones (2001-2012, invierno 2013, 2014-2016) (FIGURA 7). En los muestreos del PSM, los cambios temporales en la concentración promedio de la mayoría de los metales pesados evaluados en las partes blandas de moluscos bivalvos submareales oscilan dentro del rango de variación, tanto de las estaciones referenciales y de control, así como las de monitoreo (FIGURA 7). Al igual que lo documentado para la biota intermareal, la calidad físico-química de la columna de agua y de los sedimentos de fondos es modificada por eventos de gran escala (*e.g.* maremoto de Japón, marejadas, evento El Niño) afectando las comunidades bentónicas submareales. Esto sugiere, en parte, que los efectos de resuspensión de sedimentos y la bioacumulación en los organismos de fondos blandos submareales es un evento que ocurre en toda la Bahía de Mejillones.

## CONCLUSIONES GENERALES

Estas conclusiones generales corresponden a las aproximaciones que emergen del muestreo de julio 2016, del **PROGRAMA ANUAL DE SEGUIMIENTO DEL MEDIOAMBIENTE MARINO (PSM) – ETAPA DE OPERACIÓN DE LA AMPLIACIÓN DE LAS INSTALACIONES PORTUARIAS DE PUERTO MEJILLONES (PM)**. En consecuencia, este informe da cuenta de los valores registrados en la décimo novena campaña de muestreo del presente Programa, integrando además las evaluaciones realizadas durante la **Línea Base** y el **PSM – etapa de construcción y de operación de la ampliación de las instalaciones portuarias de PM**.

Los valores obtenidos durante la décimo novena campaña, realizada en invierno 2016, para las variables incluidas en el PSM durante la etapa de operación de la ampliación de las instalaciones portuarias de PM, están dentro de los rangos de normalidad y estacionalidad esperados.

La caracterización física de la columna de agua (T°C) durante el muestreo de julio 2016 evidencia una situación de invierno. Los registros de temperatura indican una condición oceanográfica anómala asociadas al evento El Niño 2015-2016, fuerte en magnitud, que está en retirada (Boletín CIIFEN julio 2016).

En la presente campaña, así como en los muestreos realizados en las distintas etapas del PSM, los niveles de transparencia de la columna de agua, y la concentración de sólidos suspendidos están relacionados a la productividad de bahía de Mejillones. Durante el décimo noveno muestreo de la etapa de operación de las ampliaciones del puerto, la productividad del sistema se ha mantenido de manera semejante a lo reportado en las campañas 2010-2016, realizadas semestralmente durante el año en verano e invierno. La productividad del sistema depende de la actividad y la fase (relajación-activa) del foco de surgencia permanente ubicado en Punta Angamos que puede llegar a producir desde aguas transparentes (*e.g.* invierno 2008, invierno 2013, verano 2014, verano 2015) a agujas café, rojos o verdes (*e.g.* invierno 2009, verano 2011, verano 2013).

Las concentraciones de algunos metales pesados en la columna de agua presentan niveles no detectados por la sensibilidad del instrumento, bajo el nivel de certificación del instrumento, o concentraciones por debajo de las normas máximas permitidas.

La caracterización química de la columna de agua en función de los metales pesados muestra pocas diferencias entre el área que circunscribe las actividades operativas de Puerto Mejillones (Est.3 y Est.4), y las estaciones de muestreo referenciales más distantes ubicadas en un área de manejo en proceso de desafección por incumplimiento de los seguimientos del plan de manejo (Est. 1), en un área apta para actividades de cultivos marinos extensivos (Est. 2), y en la estación control (Est. 5).

Aunque, la caracterización química de la columna de agua en el gradiente de distancia sugiere un leve impacto en algunos metales, no se detecta un patrón general que disgregue efectos en la columna de agua del área cercana al muelle de Puerto Mejillones, con las áreas referenciales o de control.

Los análisis de conglomerados y de nMDS, utilizando las variables químicas de la columna de agua de cada una de las estaciones de La campaña de invierno 2016, sugieren asociaciones espaciales dependientes del estrato (profundidad) de muestreo. En el estrato superficial de la columna de agua se establecen dos grupos de estaciones en función de la calidad química del agua. Un grupo que asocia a la estación control (Est.5), una de las estaciones de referencia (Est.2) y una de las estaciones de monitoreo (Est.3), que se diferencian del otro grupo formado por la estación de monitoreo (Est.4) y una estación de referencia (Est.1) (FIGURA 8). En el estrato profundo de la columna de agua se observa una asociación distinta entre estaciones de muestreo. Un grupo basal conformado por la estación referencial (Est.2) junto con ambas estaciones de monitoreo (Est.3 y Est.4), anexado posteriormente a la estación control referencial (Est.5) y a la otra estación de referencia (Est.1) (FIGURA 9). En ambos estratos de la columna de agua, las diferencias entre estaciones de muestreo del PSM (referencia y control) están dadas por cambios puntuales en las concentraciones de algunos de los elementos trazas.

La calidad físico-química de la columna de agua en el área de estudio, utilizando los criterios específicos de las normas secundarias de calidad ambiental para la protección de aguas marinas corresponde a:

- I.- CLASE 1 para sólidos suspendidos, Zn, As y Hg,
- II.- CLASE 2 para temperatura del agua de mar (D3)
- III.- CLASE 3 para Cu, Cd, Cr y Pb.

En el presente muestreo del PSM de PM, la granulometría muestra que los sedimentos submareales se caracterizan por una heterogeneidad del grano comprendido en el rango de las arenas gruesas, arenas medianas, arenas finas y arenas muy finas, con un predominio de fracciones poco y moderadamente seleccionadas con formas simétricas y sesgadas a un moderado o alto exceso de granos gruesos en las colas de sus curvas granulométricas. Esto sugiere un ambiente de mayor estabilidad hidrodinámica de la columna de agua en las estaciones de monitoreo, característica de la bahía de Mejillones, la cual está protegida a los vientos dominantes del suroeste. Durante el muestreo de julio 2016, en las estaciones de referencia y control, se observan arenas gruesas (Est.1), arenas medianas (Est.2) y arenas muy finas (Est.5) con un predominio de fracciones moderadamente

seleccionadas con formas simétricas y sesgadas a un alto exceso de finos o gruesos en las colas de sus curvas granulométricas. Mientras que en las estaciones de monitoreo (Est.3 y Est.4), se observan arenas finas y muy finas con un predominio de fracciones moderada o poco seleccionadas con formas sesgadas a un moderado o alto exceso de gruesos en las colas de las curvas granulométricas.

Considerando los muestreos del PSM - etapa de construcción de la ampliación de Puerto Mejillones, iniciado en marzo 2006, con excepción de la Est.3 (monitoreo), las arenas muestran cambios en el diámetro  $\Phi$ , lo cual se debe al reemplazo de las arenas dominantes (TABLA 6, FIGURA 10). Este reemplazo se debe a desplazamiento de las arenas producido por procesos de erosión y acresión de sedimentos en la costa, y es típico de bahías del norte y centro de Chile (Berrios & Olivares 1996). La materia orgánica en las estaciones de monitoreo (Est. 3 y Est. 4), junto con la estación control (Est. 5) presentan tendencias temporales similares durante el PSM, contrastando con la alta variabilidad observada en las estaciones de referencia (FIGURA 11).

La caracterización química de los sedimentos submareales en función de los metales pesados, mantiene en general, las condiciones observadas durante el estudio de Línea Base y el PSM - etapa de construcción y el PSM – etapa de operación de las ampliaciones de Puerto Mejillones. Sin embargo, se observan leves diferencias entre el área que circunscribe las actividades operativas de Puerto Mejillones (Est.3 y Est.4), y las estaciones de muestreo referenciales más distantes, ubicadas en un área de manejo en proceso de desafección por incumplimiento de los seguimientos del plan de manejo (Est. 1) y en un área apta para cultivo extensivo (Est. 2), y la estación control (Est. 5). Los valores de metales pesados obtenidos en los análisis de sedimentos muestreados en julio 2016 están por sobre, por debajo o dentro de los rango de variabilidad descritos en el material de referencia certificados de la NRC-CNRC (1997), caracterizados por Townsend *et al.* (2007). Además, los niveles de algunos metales (*e.g.* Cd y Zn) están dentro del rango de variabilidad descritos para la bahía (Valdés *et al.* 2005; Valdés & Sedaffine 2009).

En el muestreo de julio 2016, la caracterización química de los sedimentos no discrimina efectos asociados al área cercana al Puerto, en comparación con las áreas referenciales y de control. El análisis nMDS y de conglomerados muestra que los elementos traza en los sedimentos de las estaciones forman un escalamiento espacial que comienza con un grupo basal entre ambas estaciones de monitoreo (Est.4 y Est.3) claramente diferenciado de la estación control (Est.5) y de las estaciones referenciales (Est.2 y Est.1) (FIGURA 12). El análisis multidimensional (nMDS) sugiere que los agrupamientos en conglomerados son producidos por cambios particulares de algunos metales pesados en las estaciones de muestreo.

La caracterización química de la columna de agua y de los sedimentos de fondos muestra tendencias similares que están definidas por una alta variabilidad espacial de los distintos metales pesados. Esta variabilidad espacial en los componentes químicos del agua y de los sedimentos depende también de las variaciones estacionales y anuales del clima oceanográfico. Sin embargo, y en general, el impacto es nivel medio-leve y muy localizado en la columna de agua y en los sedimentos. Este eventual impacto se concentra en las cercanías del muelle de Puerto Mejillones (Est.3 y Est.4), y se diluye hacia las estaciones más alejadas del foco de perturbación (Est.1, Est.2 y Est.5).

Las concentraciones de metales pesados monitoreados en las partes blandas de *Emerita analoga* durante la décima novena campaña del PSM durante la etapa de operación de las ampliaciones portuarias de PMestán dentro, y en algunos casos sobre, el rango de variabilidad de los niveles obtenidos en la Línea Base realizada en enero 2004 y en el PSM - etapa de construcción de la ampliación de PM. Las variaciones espacio-temporales en las concentraciones de metales pesados en este organismo biomonitor durante el período 2006-2016 parecen estar asociadas en parte a la alternancia de anomalías oceanográficas producidas por El Niño o su contraparte La Niña. Es en este contexto que el presente muestreo se realizó en una condición oceanográfica con anomalías positivas asociadas al evento El Niño 2015-2016 de gran intensidad, pero en retira (boletín CIIFEN agosto 2016).

El análisis de conglomerado y nMDS de la concentración de metales pesados en partes blandas de *Emerita analoga* recolectadas en la campaña de invierno 2016 (FIGURA 13) no discriminan entre las estaciones aledañas a Puerto Mejillones (Est.3 y Est.4) y la estaciones de referencia (Est.1 y Est.2) y control (Est.5). En el análisis se observa un escalamiento de estaciones segregadas en función de la concentración de los elementos medidos en partes blandas de pulgas de mar. Un grupo basal está formado por las estaciones de referencia (Est.1 y Est.2), que se diferencia de la estación control referencial (Est.5), y posteriormente de las estaciones de monitoreos (Est.3 y Est.4) (FIGURA 13). Las estaciones se diferencian entre sí, en cambios puntuales en las concentraciones de algunos metales pesados y en cambios causados por diferencias en el conjunto de los valores de los metales pesados. El análisis de conglomerado y nMDS de la concentración de metales pesados en biota submareal (FIGURA 14) tampoco discrimina entre las estaciones aledañas a Puerto Mejillones (Est. 3 y 4) y las estaciones de referencia (Est. 1 y Est. 2) y control (Est. 5). El análisis nMDS y de conglomerados, muestra dos grupos distintos en las estaciones de muestreo muy asociadas entre sí. Un grupo está conformado por una estación de monitoreo (Est.4) junto con una estación referencial (Est.1), que se diferencia de otro grupo conformado por la otra estación referenciales (Est.2), una estación de

monitoreo (Est.3) y la estación control referencial (Est.5). El análisis multidimensional sugiere que las asociaciones conformadas por las estaciones son producidas por variaciones en la concentración de algunos de los metales pesados analizados en las partes blandas de los organismos submareales.

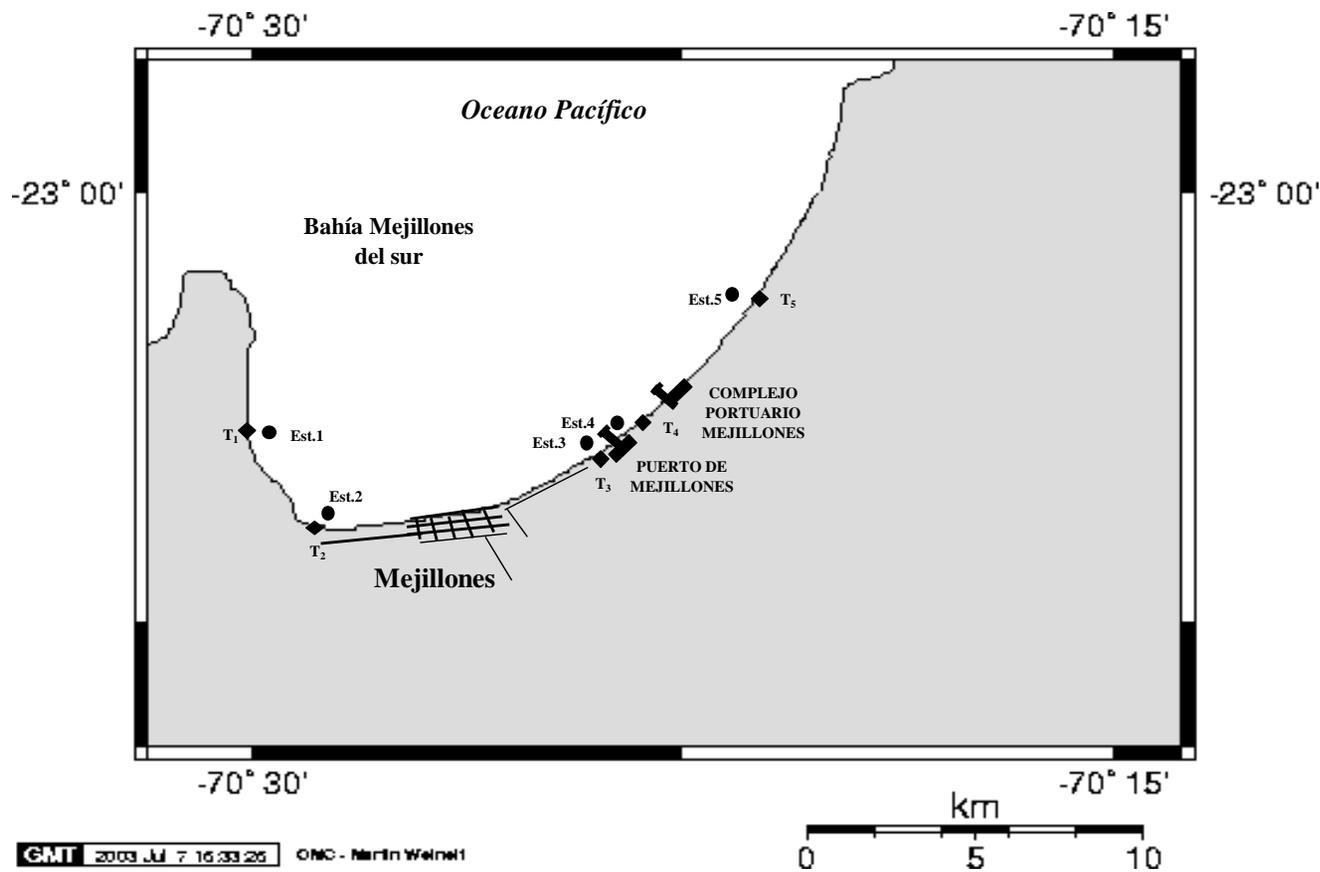
Los eventos climáticos de baja frecuencia y de gran magnitud (*e.g.* El Niño, La Niña, terremotos, maremotos y marejadas), que actúan a distintas escalas espaciales, aumentan la suspensión de sedimentos incorporando metales pesados a la columna de agua. *Emerita analoga* y los moluscos bivalvos *Argopecten purpuratus* y *Choromytilus chorus*, son especies filtradoras que incorporan rápidamente en su organismo los metales biodisponibles (Lépez *et al.* 2001, Allan *et al.* 2008). Conjuntamente con los eventos climáticos, es frecuente que los fuertes vientos dominantes del suroeste afecten el sector costero de la bahía, generando arrastre de sedimentos desde ambientes terrestres. En este contexto, existe amplia evidencia en la literatura del aporte de metales pesados a ambientes marinos costeros, proveniente de ambientes continentales. Con respecto a los criterios de calidad ambiental en función de la biota existe mucha información (*e.g.* [www.epa.gov/waterscience/cs/guidelines.htm](http://www.epa.gov/waterscience/cs/guidelines.htm)), pero ninguna es especie específica o informa efectos con respecto al consumo humano o efectos a nivel letal.

## LITERATURA CITADA

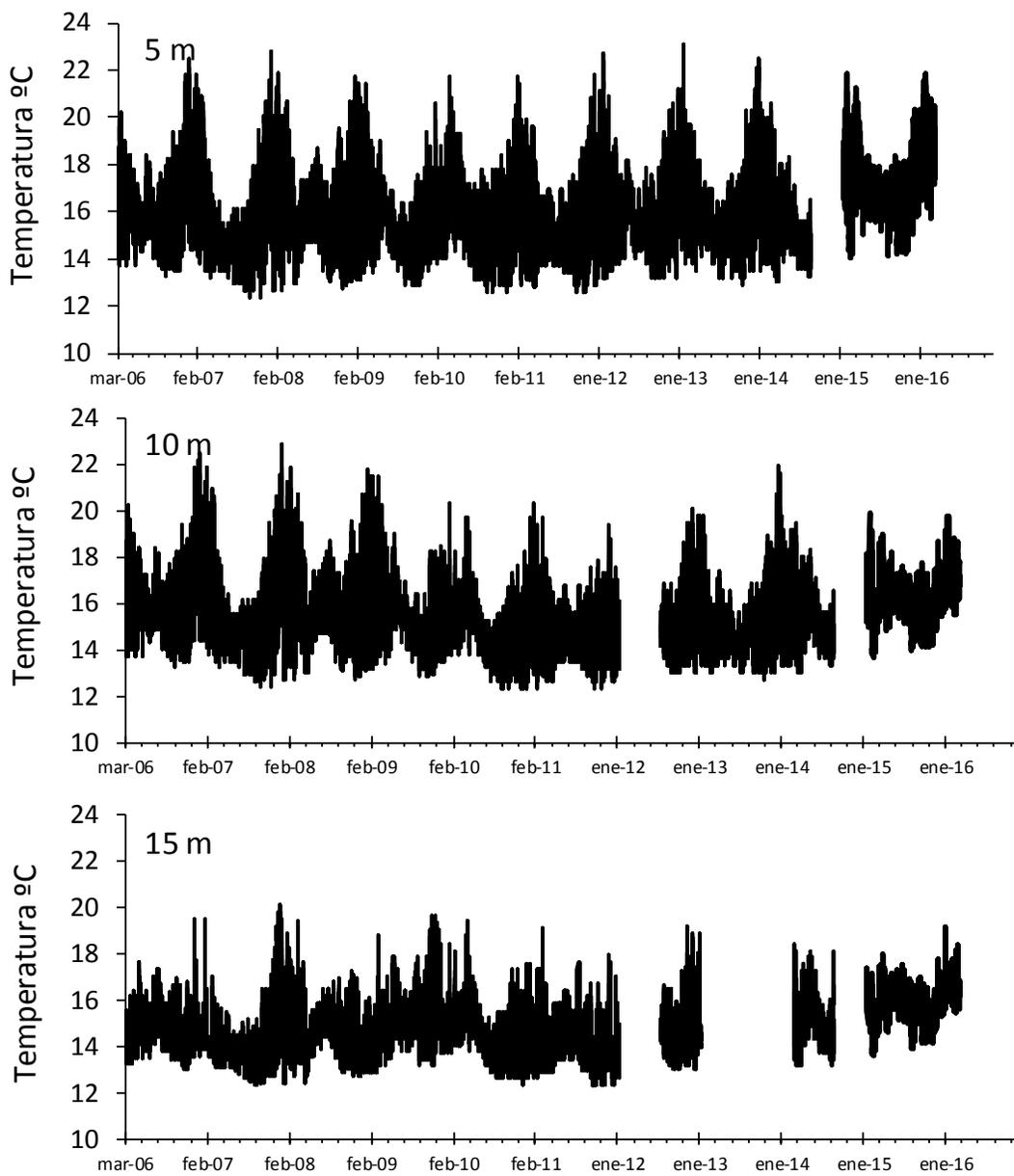
- ALLAN S, C RAMÍREZ & JA VÁSQUEZ. 2008. Effects of dredging on subtidal macrobenthic community structure in Mejillones Bay, Chile. 23:12-134.
- ÁLVAREZ G, E URIBE, R DÍAZ, M BRAUN, C MARIÑO, J BLANCO. 2011. Bloom of the Yessotoxin producing dinoflagellate *Protoceratium reticulatum* (Dinophyceae) in Northern Chile. Journal of Sea Research 65: 427-434.
- BERRIOS M & J OLIVARES. 1996. Caracterización granulométrica y contenido de carbono orgánico de los sedimentos marinos superficiales, en el Sistema de bahías de la IV región. Coquimbo. CONA 19:
- BROWER EJ, JH ZAR & CN von ENDE. 1994. Field and laboratory methods for general ecology. Fourth Ed. WCB McGraw-Hill Co. USA.
- BRAUN M, REYES H, VALENZUELA V, CAÑÓN JR, PIZARRO E, & V CATASTI 2007. Monitoreo de las condiciones bio-oceanográficas entre la I y IV Regiones Año 2006 Proyecto FIP N° 2006-01. Boletín N°10.
- CIIFEN 2016. Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno de El Niño. Boletín julio 2016. [www.ciifen-int.org](http://www.ciifen-int.org)
- EATON AD, LS CLESCERI & AE GREENBERG. 1995. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association (APHA) American Water Works Association (AWWA) Water Environment Federation (WEF) 19 Ed. 850 pp.
- IFOP 2010. Condiciones bio-oceanográficas de las regiones XV a VI. Boletín N°12 Proyecto FIP 2008-32. [www.fip.cl](http://www.fip.cl).
- FOLK R & WC WARD. 1957. Brazos river bar, a study in the significance of grain size parameters. J. Sediment Petrol. 6: 73-93.
- GAUDETTE HE, WR FLIGHT, L TONER & W FOLGER. 1974. An inexpensive titration method for the determination of organic carbon in recent sediments. J. Sediment Petrol. 44: 249-253.
- LETELIER J, L SOTO-MARDONES, S SALINAS & L VINCETI, R PAVEZ & M MARRIAGADA. 2012. Influencia de la península de Mejillones en la variabilidad oceanográfica anual e interanual frente al norte de Chile Revista de Biología Marina y Oceanografía 47(3): 513-526.
- LEPEZ I, L FURET L & O ARACENA. 2001. Poblacion de *Emerita analoga* (Stimpson 1857) en playas amarilla y rinconada, antofagasta: aspectos abioticos, bioticos y concentracion de cobre. Gayana (Concepc.), 65(1): 55-76.

- NATIONAL RESEARCHES COUNCIL CANADA - CONSEIL NATIONAL DE RECHERCHES CANADA. 2004. HISS-1, MESS-3, PACS-2. Marine Sediment Reference Materials for trace metals and other constituents. NRCC-CNRC. Certified Reference Material. 4 pp.
- SUÁREZ B & L GUZMÁN. 1998. Mareas rojas y toxinas marinas, Floraciones de algas nocivas. Editorial Universitaria, 77 pp.
- TOWNSEND AT., PALMER AS, STARK SC, SAMSON C, RC SCOLLER & I SNAPE. 2007. Trace metal characterisation of marine sediment reference materials MESS-3 and PACS-2 in dilute HCl extracts. *Baseline / Marine Pollution Bulletin* 54 (2007) 226-246 237
- VALDÉS J, VARGAS G, SIFEDDINE A, L ORTLIEB & M. GUIÑES. 2005. Distribution and enrichment evaluation of heavy metals in Mejillones Bay (23°S), Northern Chile: Geochemical and statistical approach. *Marine Pollution Bulletin* 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. Res.*, 37(2): 131-141.
- VASQUEZ JA. 2004. Estudio de línea base para la evaluación de impacto ambiental del Proyecto “Ampliación de las Instalaciones Portuarias del Puerto de Mejillones” en el litoral de Bahía Mejillones. Informe Final. Puerto de Mejillones.
- VASQUEZ JA. 2007. Programa de Seguimiento del Medio Ambiente Marino (PSM) – Etapa de construcción de las ampliaciones portuarias de Puerto Mejillones (PM). Informe final Junio 2007. Puerto Mejillones.
- VASQUEZ JA. 2015. Programa Anual de Seguimiento del Medio Ambiente Marino “Terminal 1” Complejo Portuario Mejillones”. Informe Anual 2015. Puerto Angamos.
- WENTWORTH CK. 1922. A scale of grade and class terms for clastic sediments. *Journal of Geology* 30: 377-392.

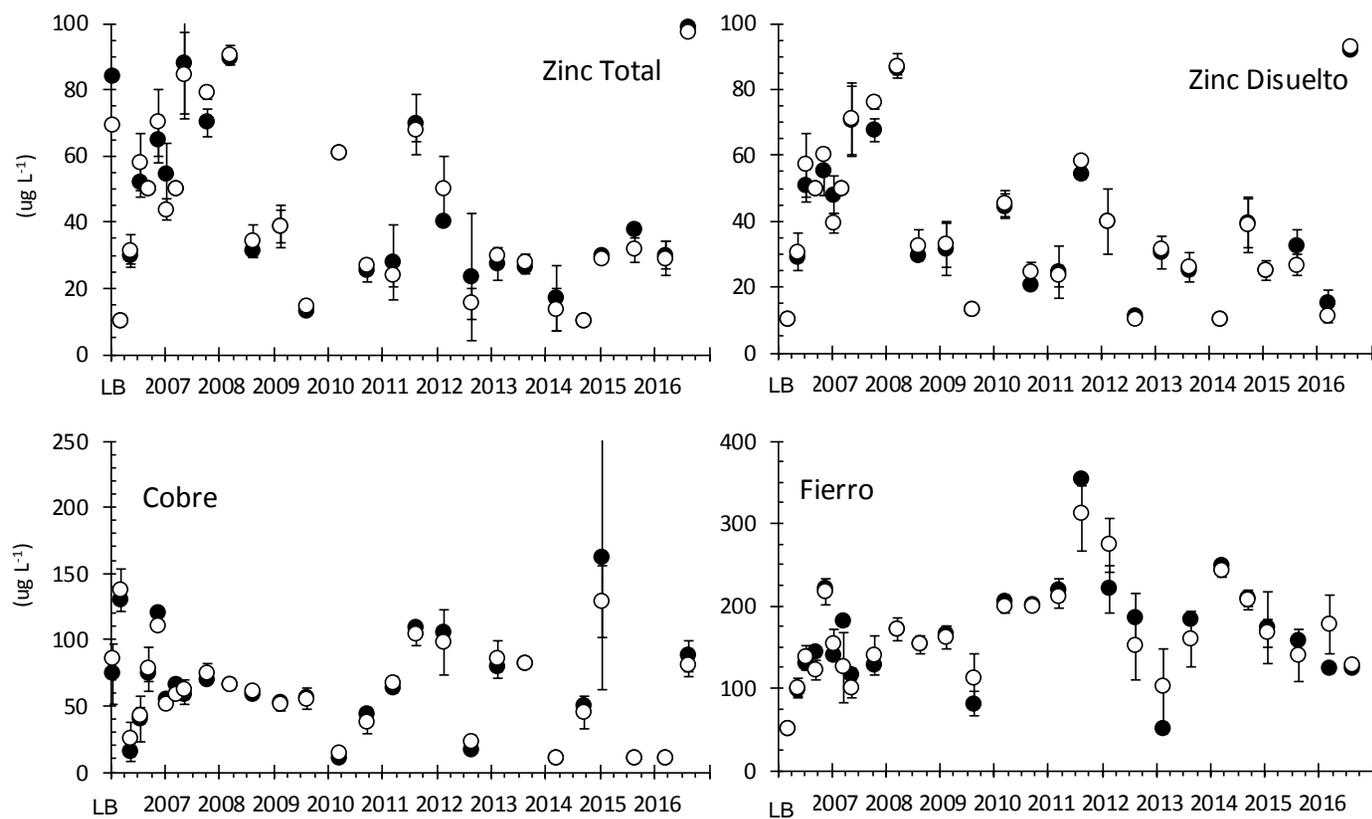
# FIGURAS



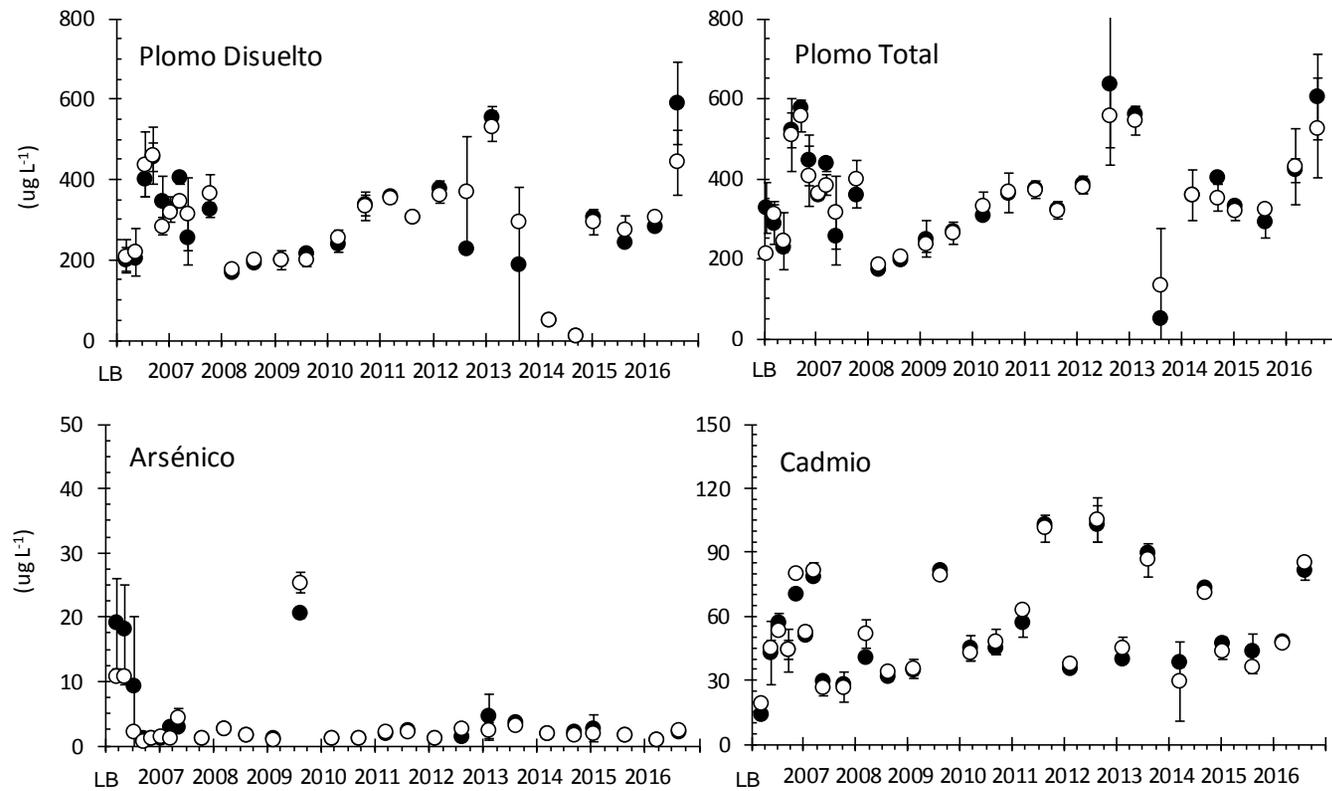
**FIGURA 1. PUERTO MEJILLONES.** Mapa esquemático que indica la ubicación de las estaciones de muestreo de la columna de agua, de los sedimentos y de la fauna submareal (Est. y círculos). Además, se muestran las transectas intermareales para la recolección de fauna intermareal (T y rombos) del Programa de Seguimiento del Medio Ambiente Marino (**PSM**) de **PUERTO MEJILLONES** en la Bahía de Mejillones del Sur.



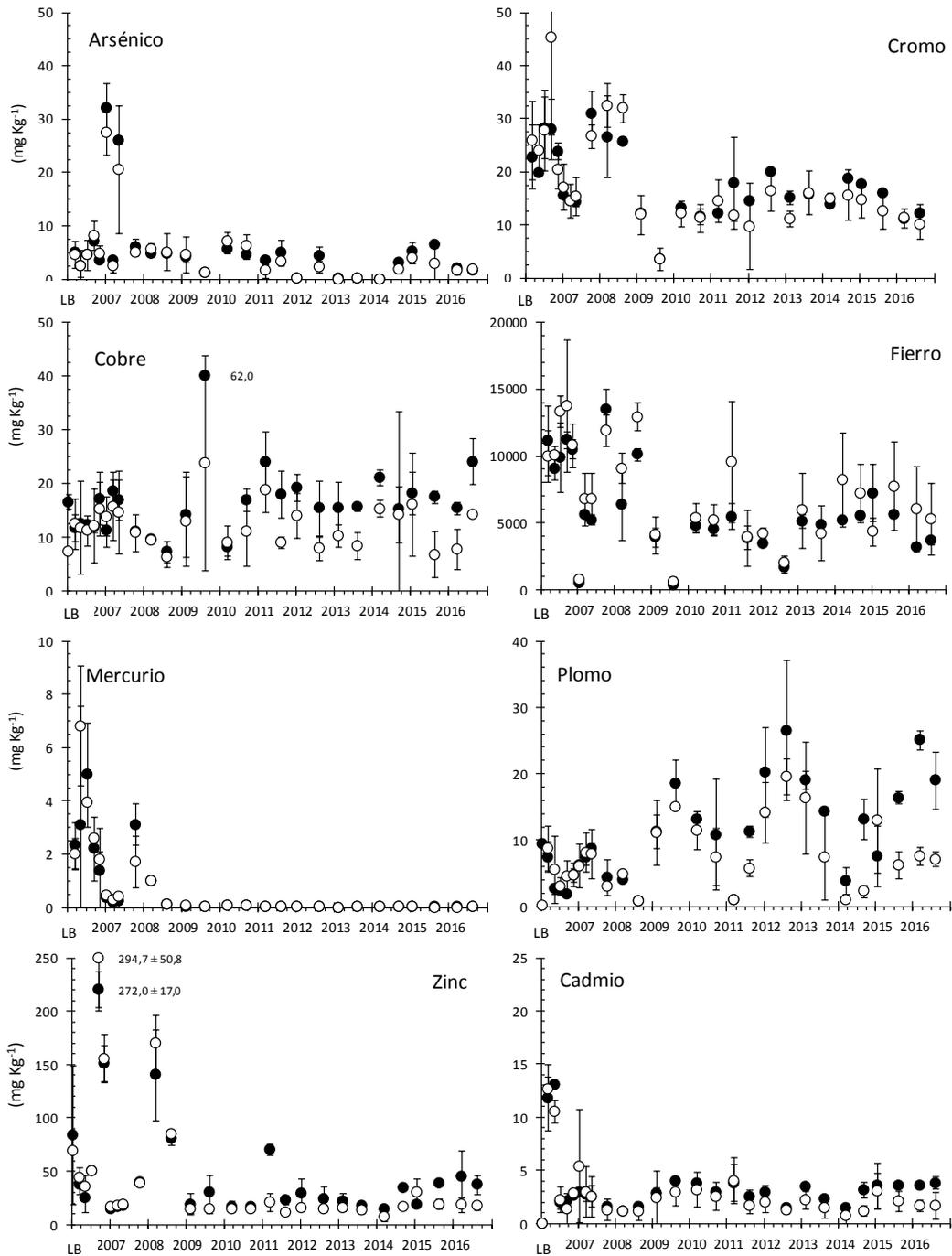
**FIGURA 2. PUERTO MEJILLONES.** Variación temporal de la temperatura (° C) por estrato de profundidad (m) en el área de estudio del PSM. MONITOREO JULIO 2016.



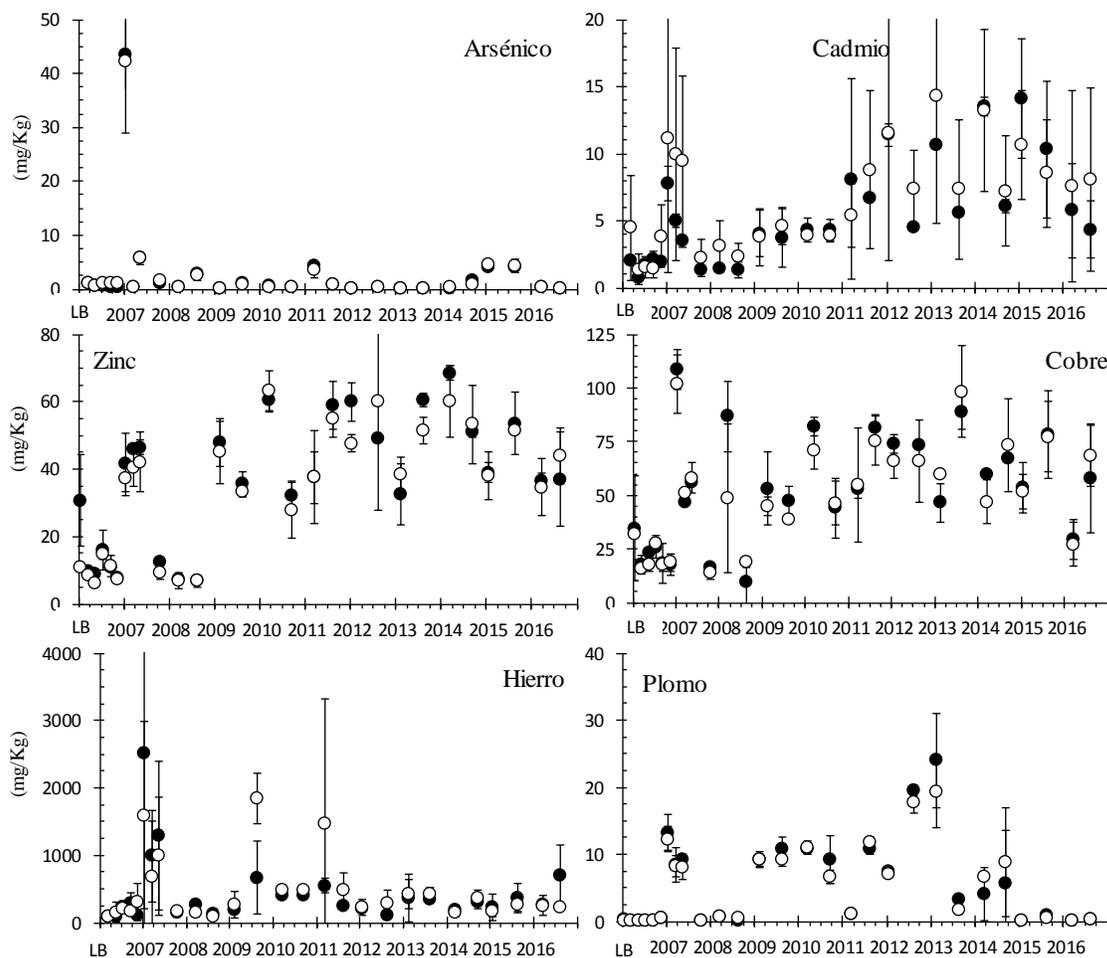
**FIGURA 3. PUERTO MEJILLONES.** Variabilidad temporal de los parámetros ambientales evaluados en el estrato superficial de la columna de agua de mar. Contraste de la concentración de metales pesados entre estaciones "referenciales y control" (círculos abiertos) y estaciones de monitoreo (círculos cerrados) del PSM. **MONITOREO MARZO 2016.** Media  $\pm$  DS. LB: Línea Base.



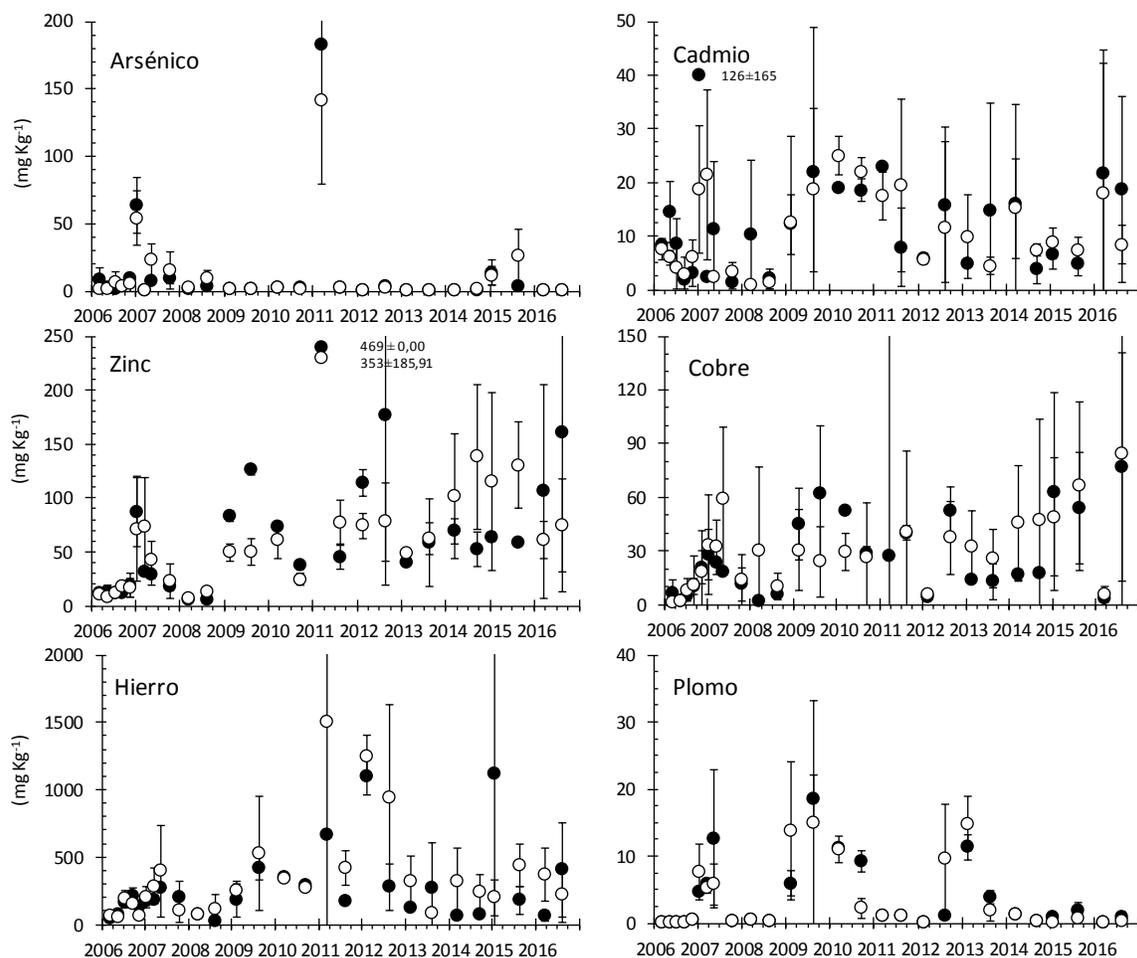
**FIGURA 4. PUERTO MEJILLONES.** Variabilidad temporal de los parámetros ambientales evaluados en el estrato superficial de la columna de agua de mar. Contraste de la concentración de metales pesados entre estaciones "referenciales y control" (círculos abiertos) y estaciones de monitoreo (círculos cerrados) del **PSM. MONITOREO JULIO 2016.** Media  $\pm$  DS. LB: Línea Base.



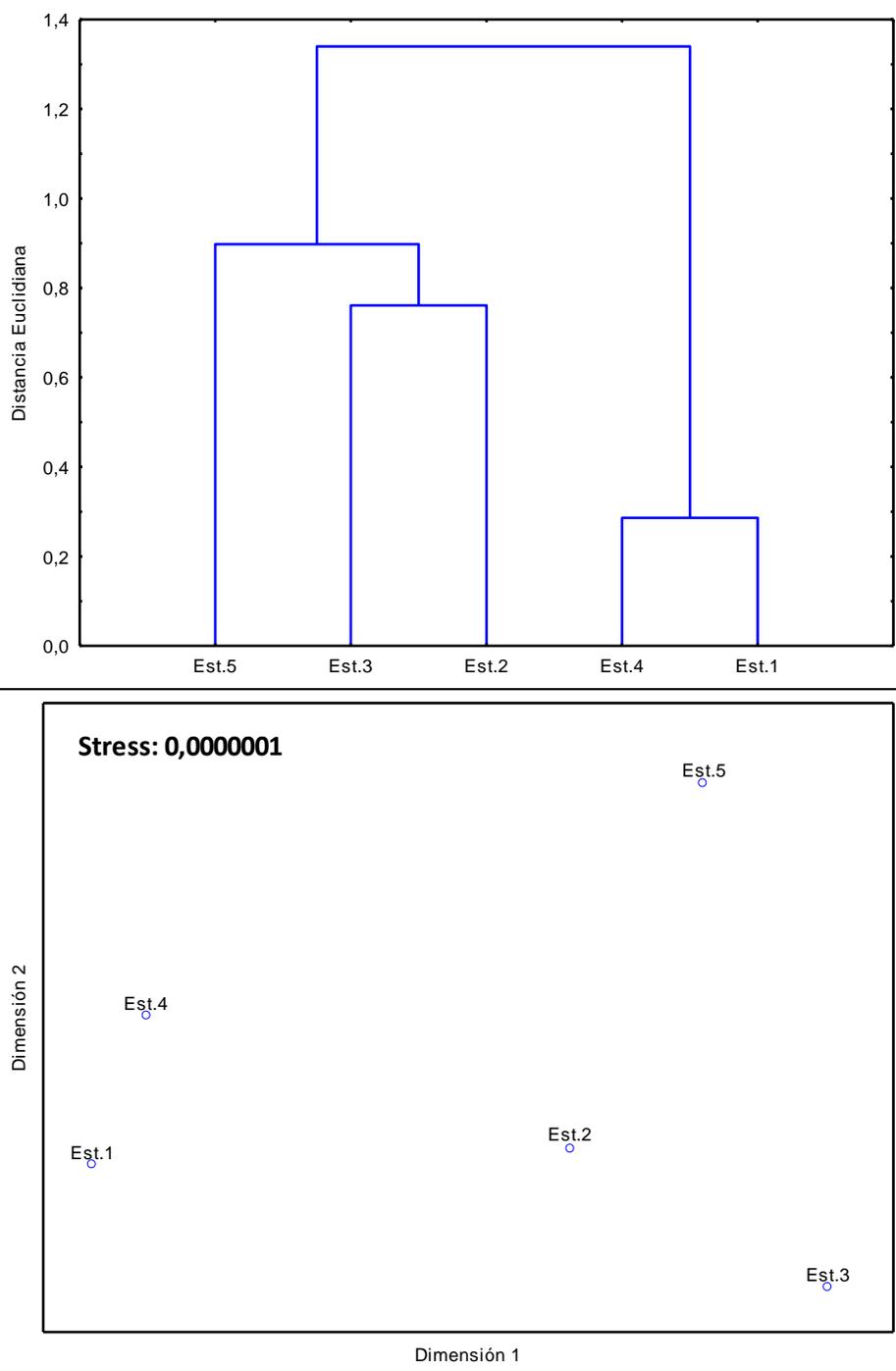
**FIGURA 5. PUERTO MEJILLONES.** Variabilidad temporal de parámetros ambientales evaluados en los sedimentos de fondos blandos submareales en el área de estudio. Contraste entre las estaciones "referenciales y control" (círculos abiertos) y estaciones de monitoreo (círculos cerrados) del PSM. **MONITOREO JULIO 2016.** Media ± DS. LB: Línea Base.



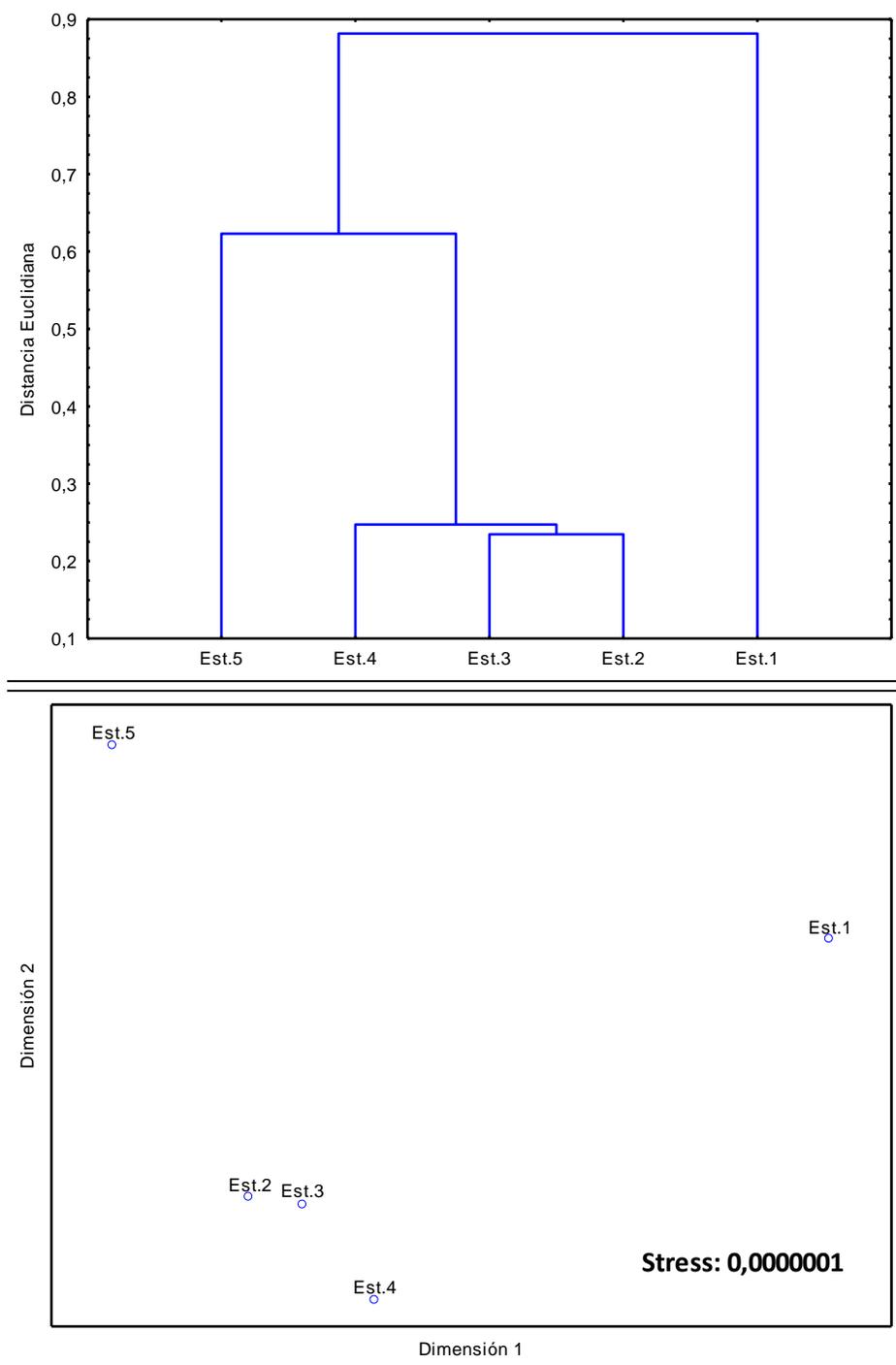
**FIGURA 6. PUERTO MEJILLONES.** Variabilidad temporal de parámetros ambientales evaluados en partes blandas de *Emerita analoga* en el área de estudio. Contraste entre las estaciones "referenciales y control" (círculos abiertos) y estaciones de monitoreo (círculos cerrados) del PSM. **MONITOREO JULIO 2016.** Media  $\pm$  DS. LB: Línea Base.



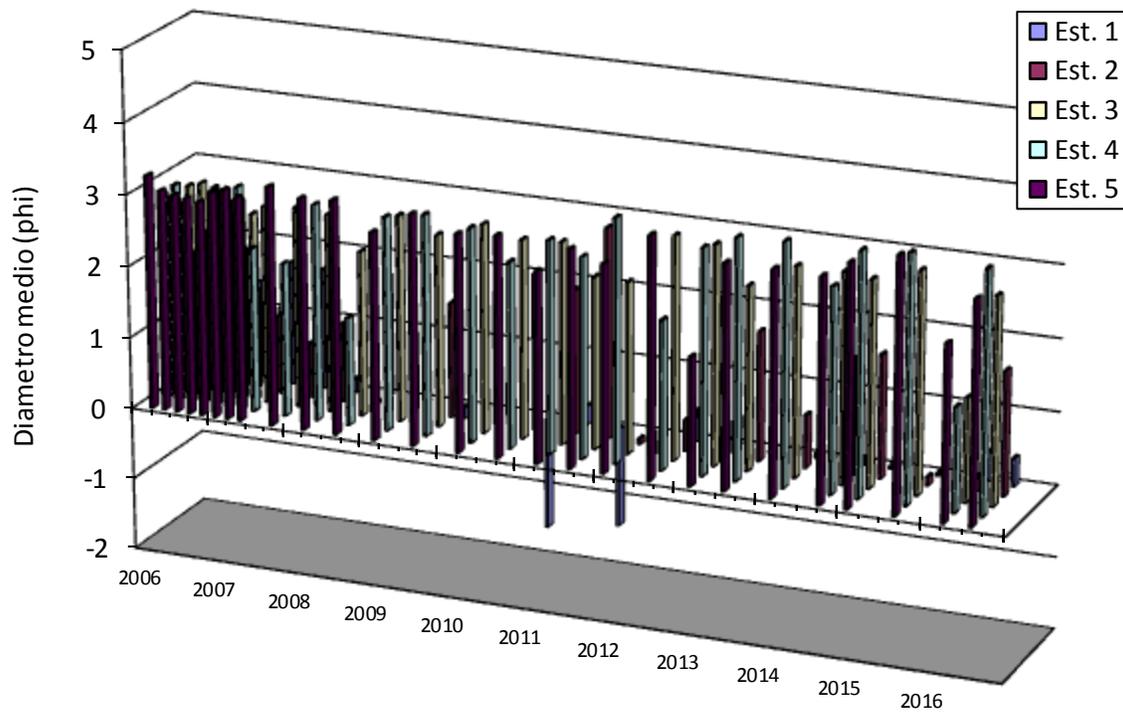
**FIGURA 7. PUERTO MEJILLONES.** Variabilidad temporal de parámetros ambientales evaluados en partes blandas de Moluscos Bivalvos en el área de estudio. Contraste entre las estaciones "referenciales y control" (círculos abiertos) y estaciones de monitoreo (círculos cerrados) del PSM. **MONITOREO JULIO 2016.** Media  $\pm$  DS. Nota: Durante el muestreo de Línea Base no se encontraron Moluscos Bivalvos submareales para realizar análisis de metales pesados en partes blandas.



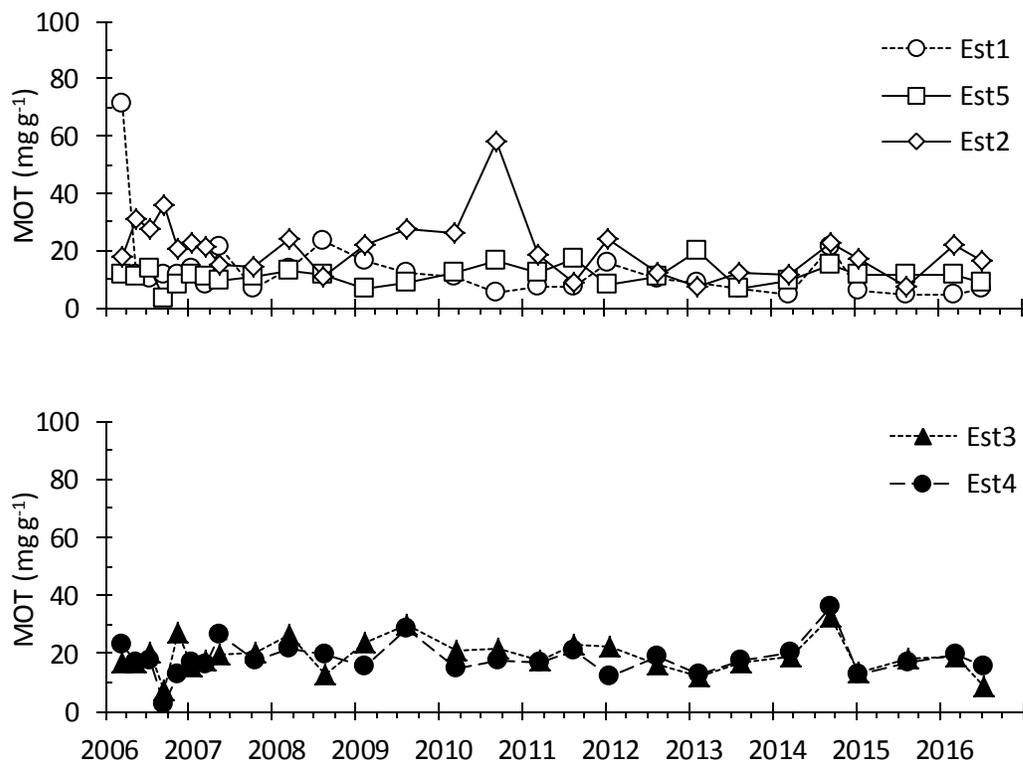
**FIGURA 8. PUERTO MEJILLONES.** Análisis multidimensional de las variables químicas en el estrato SUPERFICIAL de la columna de agua en las estaciones de muestreo del PSM. MONITOREO JULIO 2016.



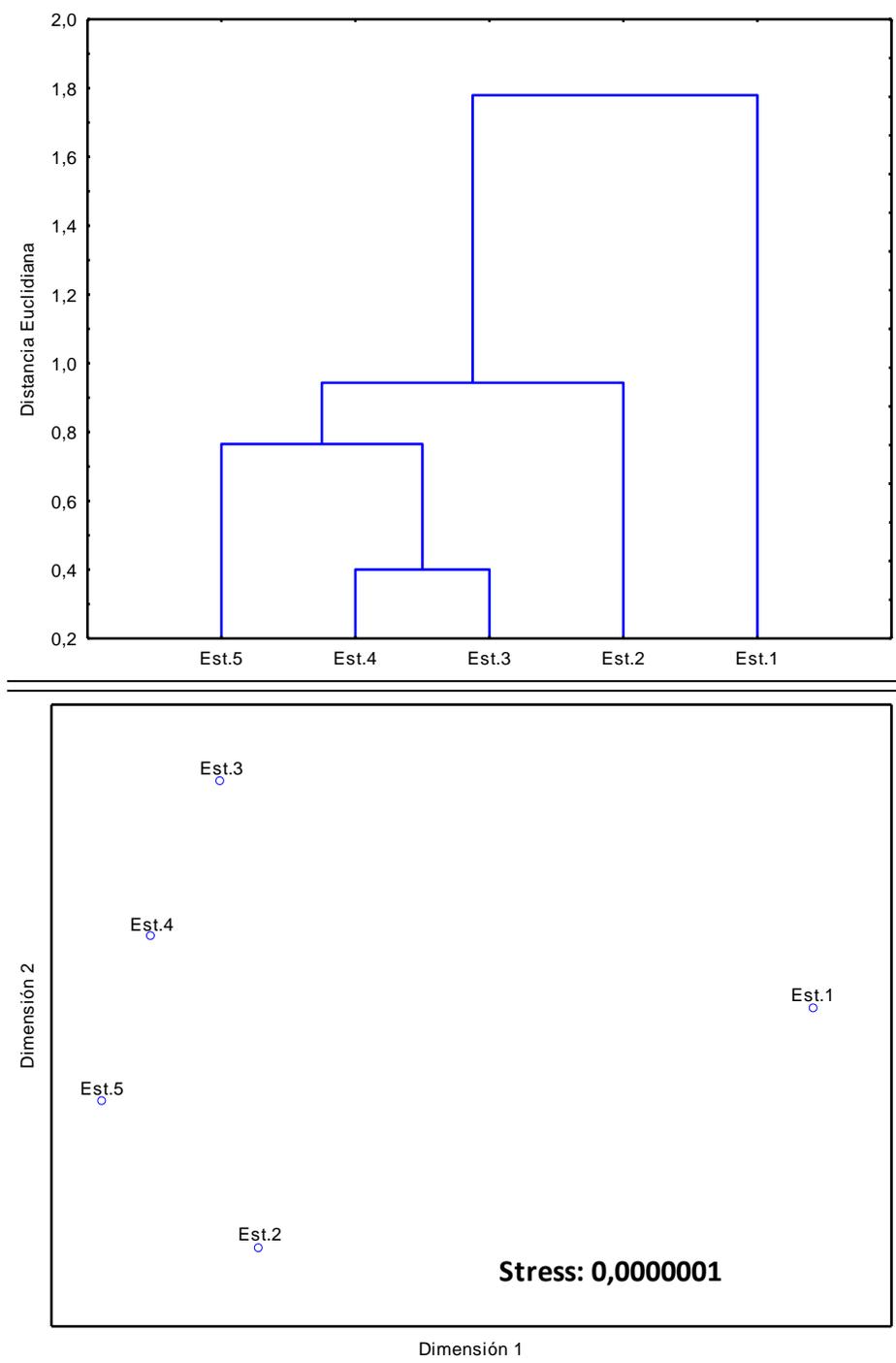
**FIGURA 9. PUERTO MEJILLONES.** Análisis multidimensional de las variables químicas del estrato PROFUNDO de la columna de agua en las estaciones de muestreo del PSM. MONITOREO JULIO 2016.



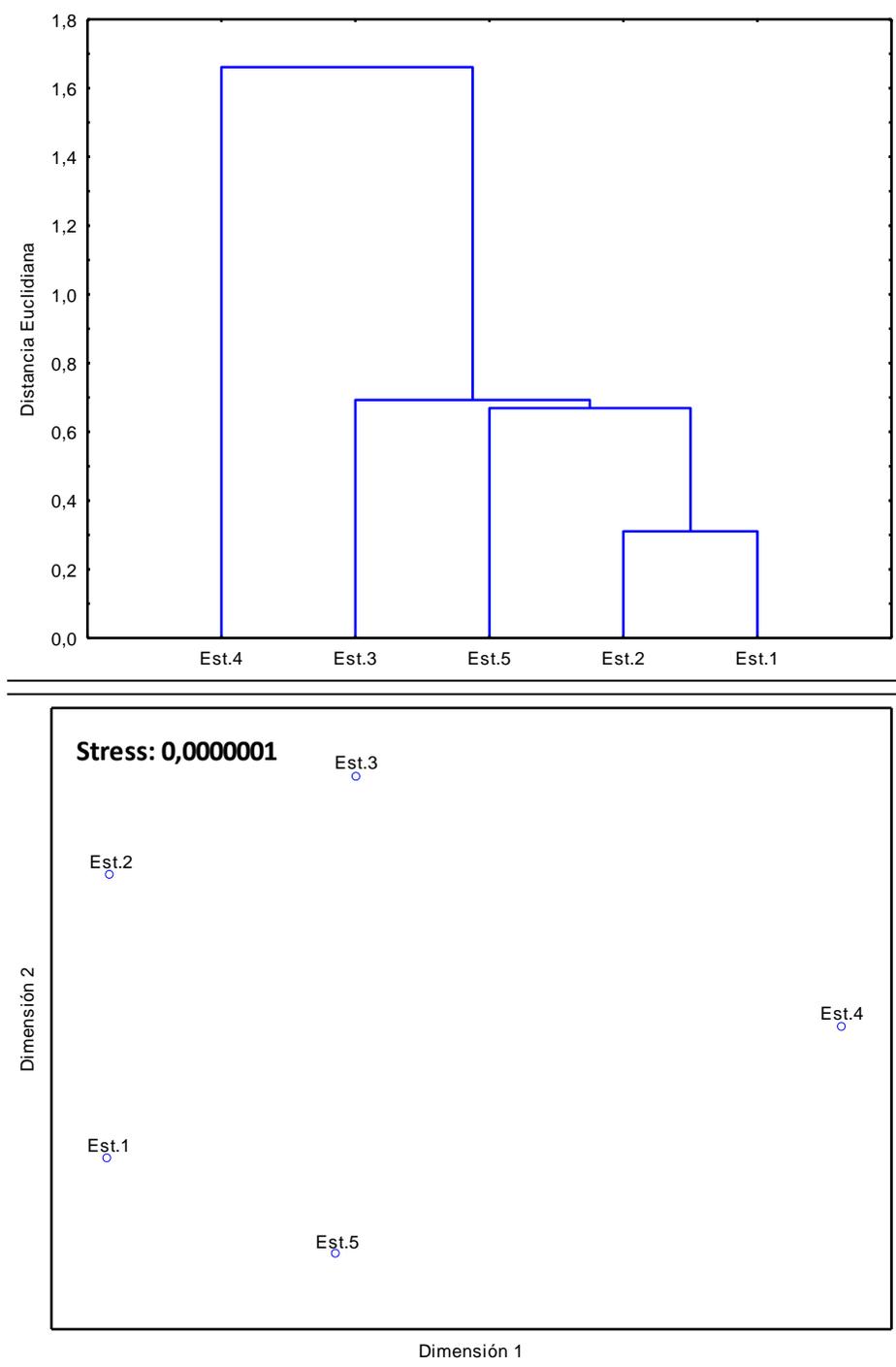
**FIGURA 10. PUERTO MEJILLONES.** Variabilidad temporal del **DIAMETRO PROMEDIO** de los sedimentos submareales del **PSM. MONITOREO JULIO 2016.**



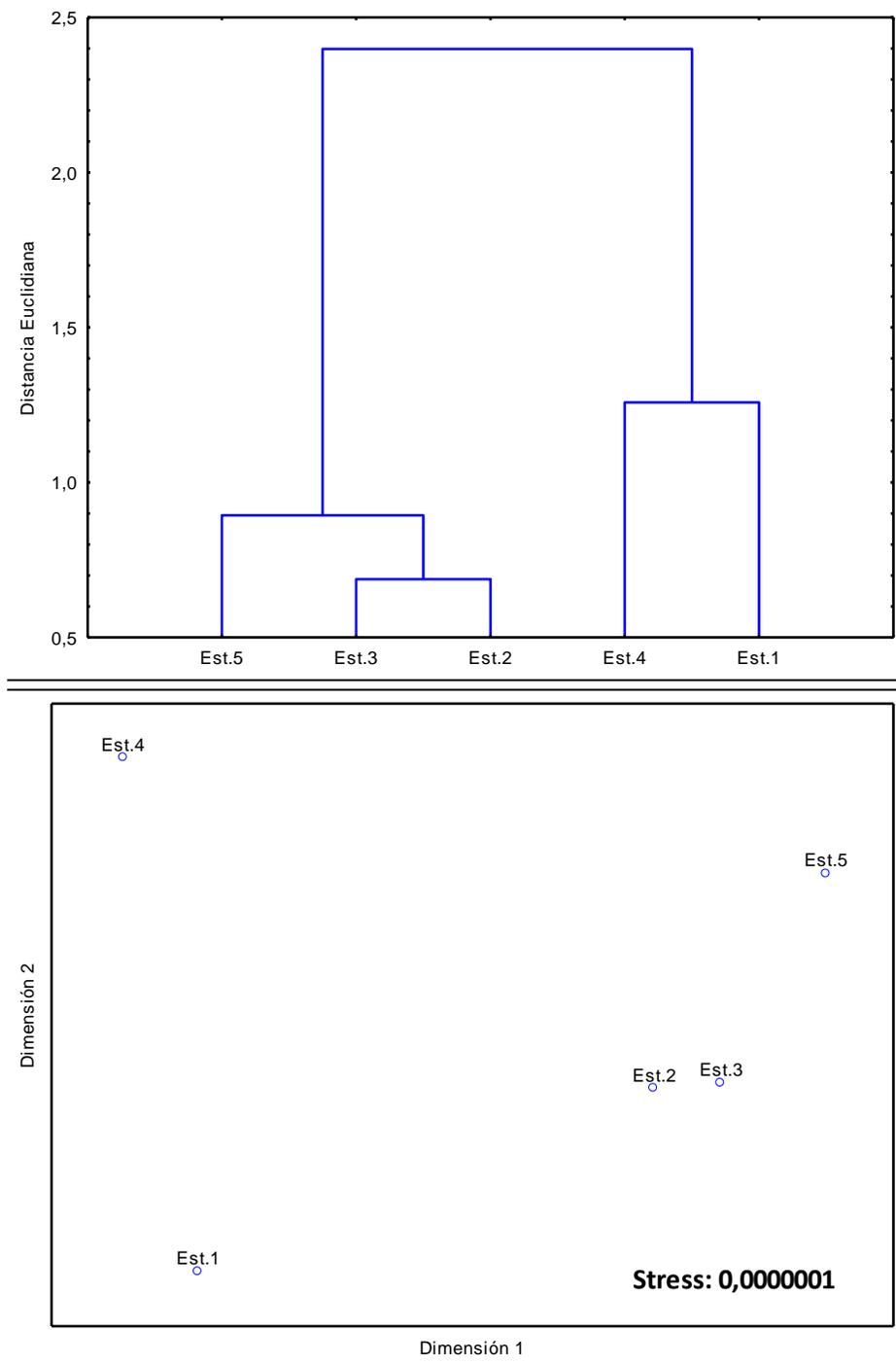
**FIGURA 11. PUERTO MEJILLONES.** Variabilidad temporal de la materia orgánica de los sedimentos submareales. Contraste entre las estaciones de referencia (Est. 1: Círculo; Est. 2: Rombo) y control (Est. 5; Cuadrado) y las estaciones de monitoreo (Est. 3: Triángulo; Est. 4: Círculo) del **PSM**. **MONITOREO JULIO 2016.**



**FIGURA 12. PUERTO MEJILLONES.** Análisis multidimensional de las variables químicas en los sedimentos de las estaciones submareales en el muestreo del **PSM. MONITOREO JULIO 2016.**



**FIGURA 13. PUERTO MEJILLONES.** Análisis multidimensional de las variables químicas en biota intermareal (*Emerita analoga*) en las transectas intermareales de muestreo del PSM. **MONITOREO JULIO 2016.**



**FIGURA 14. PUERTO MEJILLONES.** Análisis multidimensional de las variables químicas en biota submareal (moluscos bivalvos) en las estaciones submareales de muestreo del **PSM. MONITOREO JULIO 2016.**

# TABLAS

**TABLA 1. PUERTO MEJILLONES.** Coordenadas (UTM) de las estaciones de muestreo intermareales y de las estaciones de muestreo submareales del **PSM. MONITOREO JULIO 2016.**

<b>SUBMAREAL</b>	<b>Norte</b>	<b>Este</b>	<b>Profundidad (m)</b>
Estación 1 (Control)	7.448.122	347.305	20
Estación 2	7.446.166	348.386	19
Estación 3	7.446.747	354.720	20
Estación 4	7.446.983	355.303	20
Estación 5 (Control)	7.451.105	360.032	23

<b>INTERMAREAL</b>	<b>Norte</b>	<b>Este</b>	<b>Profundidad (m)</b>
Estación 1 (Control)	7.447.825	346.716	0
Estación 2	7.445.867	347.949	0
Estación 3	7.446.248	354.983	0
Estación 4	7.446.495	355.518	0
Estación 5 (Control)	7.450.624	360.714	0

**TABLA 2. PUERTO MEJILLONES.** Caracterización química de la columna de agua de mar en las estaciones submareales del **PSM. MONITOREO JULIO 2016.** (“<” indica nivel bajo el límite de detección o de certificación indicado para el instrumento)

ENSAYOS		ESTACION 1		ESTACION 2		ESTACION 3		ESTACION 4		ESTACION 5	
Profundidad		0,5 m	19 m	0,5 m	17 m	0,5 m	21 m	0,5 m	18 m	0,5 m	18 m
Turbidez (m)		10,00		10,00		9,00		9,00		10,00	
Temperatura [°C]		17,00	15,80	17,00	15,80	18,00	16,50	18,00	16,30	17,50	16,50
Solidos totales [mg L <sup>-1</sup> ]		45,20	40,50	40,30	41,00	42,00	40,50	39,70	40,60	39,40	40,30
Solidos suspendidos [mg L <sup>-1</sup> ]		21,02	20,92	18,02	21,01	20,10	14,79	16,42	19,38	14,22	17,12
<b>METALES</b>											
Antimonio [ug L <sup>-1</sup> ]	Sb	0,502	0,508	0,542	0,365	0,486	0,404	0,408	0,378	0,610	0,327
Arsénico [ug L <sup>-1</sup> ]	As	1,89	2,40	2,59	2,28	2,19	1,91	2,10	1,84	2,50	2,43
Cadmio [ug L <sup>-1</sup> ] Total	Cd	86	87	85	76	78	76	85	79	83	76
Cinc [ug L <sup>-1</sup> ] Total	Zn	168	38	75	74	41	71	157	65	49	106
Cinc [ug L <sup>-1</sup> ] disuelto	Zn	162	34	72	73	38	68	146	62	45	99
Cobre [ug L <sup>-1</sup> ]	Cu	72	95	81	86	79	77	96	77	90	93
Cromo [ug L <sup>-1</sup> ] Total	Cr	68	85	66	67	65	75	70	80	72	76
Hierro [ug L <sup>-1</sup> ]	Fe	126	128	129	106	123	116	126	115	127	106
Mercurio [ug L <sup>-1</sup> ]	Hg	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2
Plata [ug L <sup>-1</sup> ]	Ag	34	29	33	37	33	32	40	32	31	38
Plomo [ug L <sup>-1</sup> ] Disuelto	Pb	514	373	455	424	660	374	516	443	356	304
Plomo [ug L <sup>-1</sup> ] Total	Pb	572	431	623	462	680	480	528	446	384	404

**TABLA 3. PUERTO MEJILLONES.** Diámetro medio, Clasificación, Selección, Asimetría y Materia Orgánica del sedimento en las estaciones submareales de muestreo del PSM. **MONITOREO JULIO 2016.**

<b>Estación de muestreo</b>	<b>Est. 1</b>	<b>Est. 2</b>	<b>Est. 3</b>	<b>Est. 4</b>	<b>Est. 5</b>
<b>Profundidad (m)</b>	19 m	17 m	21 m	18 m	18 m
<b>Diámetro medio (Phi)</b>	0,38	1,71	2,85	3,33	3,06
<b>Clasificación de las arenas</b>	Arena Gruesa	Arena Mediana	Arena Fina	Arena Muy Fina	Arena Muy Fina
<b>Grado de Selección</b>	0,86	1,67	0,99	0,70	0,74
<b>Clasificación de Selección</b>	Moderada	Poco	Moderada	Moderada	Moderada
<b>Asimetría</b>	-0,32	-0,09	-0,24	-0,62	0,09
<b>Clasificación Asimetría</b>	Alto exceso de gruesos	Simétrica	Moderado exceso de gruesos	Alto exceso de gruesos	Simétrica
<b>Diámetro medio (mm)</b>	0,766	0,304	0,138	0,099	0,119
<b>Materia Orgánica (mg/g)</b>	6,50	16,00	8,80	15,30	8,80

**TABLA 4. PUERTO MEJILLONES.** Calidad química de los sedimentos en las estaciones submareales de muestreo del **PSM. MONITOREO JULIO 2016.** MRC: Material de Referencia Certificado. RF: Referencia bibliográfica obtenida para la Bahía de Mejillones del sur Valdés & Siffedine (2009). (“<” indica nivel bajo el límite de detección o de certificación indicado para el instrumento; ds: desviación estándar)

METALES PESADOS		Est. 1	Est. 2	Est. 3	Est. 4	Est. 5	MRC		RF	
							media	ds	mínimo	máximo
Plata [mg Kg <sup>-1</sup> ]	Ag	< 1,25	< 1,25	< 1,25	< 1,25	< 1,25	1,22	0,14	-	-
Arsénico [mg Kg <sup>-1</sup> ]	As	1,87	1,44	1,38	1,79	2,16	26,20	1,50	-	-
Cadmio [mg Kg <sup>-1</sup> ]	Cd	< 0,25	2,65	4,19	3,37	2,18	2,11	0,15	2,38	14,59
Cromo [mg Kg <sup>-1</sup> ]	Cr	6,93	11,30	13,40	10,80	11,90	90,70	4,60	-	-
Cobre [mg Kg <sup>-1</sup> ]	Cu	13,40	14,50	27,00	21,00	14,40	310,00	12,00	10,02	83,86
Hierro [mg Kg <sup>-1</sup> ]	Fe	8180	4663	3654	3271	2977	310,00	12,00	-	-
Mercurio [µg Kg <sup>-1</sup> ]	Hg	0,006	0,008	0,026	0,025	0,013	3,04	0,20	-	-
Plomo [mg Kg <sup>-1</sup> ]	Pb	6,61	8,31	22,00	15,90	6,35	183,00	8,00	8,77	28,58
Antimonio [mg Kg <sup>-1</sup> ]	Sb	0,034	0,022	0,033	0,015	0,030	11,30	2,60	-	-
Cinc [mg Kg <sup>-1</sup> ]	Zn	20,00	13,00	43,00	31,00	18,90	364,00	23,00	12,13	99,48

**TABLA 5. PUERTO MEJILLONES.** Concentración de metales pesados en biota intermareal de playas de arena y biota submareal de fondos blandos en las estaciones del **PSM. MONITOREO JULIO 2016.** (< = bajo el límite de detección indicado; -: sin análisis de muestra).

<b>INTERMAREAL</b>						
<b><i>Emerita analoga</i></b>		<b>Est.1</b>	<b>Est.2</b>	<b>Est.3</b>	<b>Est.4</b>	<b>Est.5</b>
Antimonio [mg Kg <sup>-1</sup> ]	Sb	< 0,032	< 0,032	< 0,032	< 0,032	< 0,032
Arsénico [mg Kg <sup>-1</sup> ]	As	0,132	0,275	0,254	0,183	0,264
Cadmio [mg Kg <sup>-1</sup> ]	Cd	4,81	3,48	5,85	2,83	15,90
Cinc [mg Kg <sup>-1</sup> ]	Zn	53	42	47	27	37
Cobre [mg Kg <sup>-1</sup> ]	Cu	65,0	84,0	76,0	40,0	56,0
Cromo [mg Kg <sup>-1</sup> ]	Cr	0,87	0,90	1,35	1,26	0,87
Hierro [mg Kg <sup>-1</sup> ]	Fe	195	215	379	1027	243
Mercurio [µg Kg <sup>-1</sup> ]	Hg	0,046	0,034	0,036	0,044	0,047
Plata [mg Kg <sup>-1</sup> ]	Ag	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4
Plomo [mg Kg <sup>-1</sup> ]	Pb	0,174	0,186	0,340	< 0,14	0,246

<b>SUBMAREAL</b>						
<b>Mollusca: bivalvia</b>		<b>Est.1</b>	<b>Est.2</b>	<b>Est.3</b>	<b>Est.4</b>	<b>Est.5</b>
Antimonio [mg Kg <sup>-1</sup> ]	Sb	0,060	0,106	0,088	0,070	0,081
Arsénico [mg Kg <sup>-1</sup> ]	As	0,883	0,800	0,891	0,548	0,403
Cadmio [mg Kg <sup>-1</sup> ]	Cd	5,11	12,20	6,50	31,00	7,70
Cinc [mg Kg <sup>-1</sup> ]	Zn	123	60	56	266	40
Cobre [mg Kg <sup>-1</sup> ]	Cu	182,0	51,0	32,0	122,0	19,2
Cromo [mg Kg <sup>-1</sup> ]	Cr	1,46	0,67	2,00	1,46	0,84
Hierro [mg Kg <sup>-1</sup> ]	Fe	452	145	155	653	68
Mercurio [µg Kg <sup>-1</sup> ]	Hg	0,094	0,104	0,108	0,107	0,102
Plata [mg Kg <sup>-1</sup> ]	Ag	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4
Plomo [mg Kg <sup>-1</sup> ]	Pb	< 0,14	< 0,14	1,390	0,302	0,745

**TABLA 6. PUERTO MEJILLONES.** Variación temporal de los sedimentos por estación de monitoreo del **PSM** en función del diámetro medio ( $\Phi$ ) de acuerdo a la Clasificación de Wentworth. **MONITOREO JULIO 2016.** (AMG: Arena Muy Gruesa, AG: Arena Gruesa, AM: Arena Mediana, AF: Arena Fina, AMF: Arena Muy Fina y GMF: Grava Muy Fina)

Fecha	Est. 1	Est. 2	Est. 3	Est. 4	Est. 5
marzo-06	AG	AG	AF	AF	AMF
mayo-06	AM	AM	AF	AMF	AMF
julio-06	AM	AF	AF	AF	AMF
septiembre-06	AM	AM	AF	AF	AMF
noviembre-06	AM	AM	AF	AMF	AF
enero-07	AG	AM	AF	AMF	AMF
marzo-07	AM	AM	AF	AMF	AMF
mayo-07	AM	AM	AF	AF	AMF
octubre-07	AM	AG	AF	AF	AMF
marzo-08	AG	AM	AF	AMF	AMF
agosto-08	AM	AG	AF	AMF	AMF
enero-09	AMG	AM	AF	AF	AF
agosto-09	AMG	AM	AF	AMF	AMF
marzo-10	AG	AM	AF	AF	AMF
septiembre-10	GMF	AF	AF	AF	AMF
marzo-11	AG	AF	AF	AF	AF
agosto-11	GMF	AF	AF	AF	AMF
enero-12	AMG	AG	AF	AMF	AF
agosto-12	AG	AG	AMF	AF	AMF
enero-13	AG	AG	AMF	AF	AMF
julio-13	AMG	AM	AF	AMF	AMF
marzo-14	AG	AG	AF	AMF	AMF
septiembre-14	AG	AM	AF	AF	AMF
enero-15	AG	AM	AF	AMF	AMF
agosto-15	AG	AG	AMF	AMF	AMF
marzo-16	AG	AG	AM	AM	AF
julio-16	AG	AM	AF	AMF	AMF

# **ANEXOS**

## EQUIPO DE TRABAJO

<b>Nombre</b>	<b>Labores</b>
Dr. Julio Vásquez	Director Laboratorio de Biodiversidad y Ecología Costera (LABECO) Coordinación muestreos
Dra. Susana Stegen	Director Laboratorio de Servicios Analíticos (LSA) Coordinador de los análisis químicos
Quím. Carmen Carrasco	Jefe técnico y encargada del Aseguramiento de calidad LSA
Quím. Silvana Romero	Muestreo químico
M. Cs. Alonso Vega	Muestreo intermareal & submareal Informe y análisis de la información
M. Cs. Nicole Piaget	Análisis de la información
Lic Ac. Rafael Vega	Toma de muestras intermareales y Submareales
Téc. Sergio Fuentes	Toma de muestras intermareales y Submareales

## ACREDITACIONES



### ACREDITACION LE 226

El Instituto Nacional de Normalización, INN, certifica que:

#### **UNIVERSIDAD CATOLICA DEL NORTE**

##### **DEPARTAMENTO DE QUIMICA LABORATORIO DE SERVICIOS ANALITICOS**

ubicado en Av. Angamos N°0610, Antofagasta

ha renovado su acreditación en el Sistema Nacional de Acreditación del INN, como

#### **Laboratorio de Ensayo**

**según NCh-ISO 17025.Of2005**

en el área Físico-química para aguas, con el alcance indicado en anexo.

**Primera acreditación:** Desde el 31 de Julio de 2003

Vigencia de la Acreditación : hasta el 31 de Julio de 2017

Santiago de Chile, 5 de Junio de 2014



LE 226  
Anexo

**ALCANCE DE LA ACREDITACION DEL LABORATORIO DE SERVICIOS ANALITICOS DEL DEPARTAMENTO DE QUIMICA DE LA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL NORTE, ANTOFAGASTA, COMO LABORATORIO DE ENSAYO**

**AREA : FISICO-QUIMICA PARA AGUAS**  
**SUBAREA : FISICO-QUIMICA PARA AGUA POTABLE, FUENTES DE CAPTACION Y AGUAS RESIDUALES, SEGUN CONVENIO INN-SISS**

Ensayo	Norma/Especificación	Producto a que se aplica
Amoniaco	ME-27-2007 Superintendencia de Servicios Sanitarios. Manual de Métodos de Ensayo para Agua Potable Método electrodo específico	Agua potable y fuentes de captación
Arsénico total	ME-12-2007 Superintendencia de Servicios Sanitarios. Manual de Métodos de Ensayo para Agua Potable Método Espectrofotometría de absorción atómica con generación de hidruros	Agua potable y fuentes de captación
Cadmio total	ME-13-2007 Superintendencia de Servicios Sanitarios. Manual de Métodos de Ensayo para Agua Potable Método Espectrofotometría de absorción atómica con aspiración directa	Agua potable y fuentes de captación
Cianuro total	Ord. N° 2661 (18/08/2009) validado y autorizado por la SISS Método electrodo específico.	Agua potable y fuentes de captación
Cloro libre residual	ME-33-2007 Superintendencia de Servicios Sanitarios. Manual de Métodos de Ensayo para Agua Potable Método D.P.D. titrimétrico ferroso (F.A.S.)	Agua potable y fuentes de captación
Cloruro	ME-28-2007 Superintendencia de Servicios Sanitarios. Manual de Métodos de Ensayo para Agua Potable Método argentométrico	Agua potable y fuentes de captación
Cobre	ME-04-2007 Superintendencia de Servicios Sanitarios. Manual de Métodos de Ensayo para Agua Potable Método Espectrofotometría de absorción atómica con aspiración directa	Agua potable y fuentes de captación
Color verdadero	ME-24-2007 Superintendencia de Servicios Sanitarios. Manual de Métodos de Ensayo para Agua Potable. Método Platino-Cobalto	Agua potable y fuentes de captación
Compuestos fenólicos	ME-32-2007 Superintendencia de Servicios Sanitarios. Manual de Métodos de Ensayo para Agua Potable. Método Espectrofotometría de absorción molecular UV-Visible	Agua potable y fuentes de captación

1/7

LE 226  
Anexo

Ensayo	Norma/Especificación	Producto a que se aplica
Cromo	ME-05-2007 Superintendencia de Servicios Sanitarios. Manual de Métodos de Ensayo para Agua Potable. Método Espectrofotometría de absorción atómica con aspiración directa	Agua potable y fuentes de captación
Fluoruro	ME-06-2007 Superintendencia de Servicios Sanitarios. Manual de Métodos de Ensayo para Agua Potable. Método electrodo específico	Agua potable y fuentes de captación
Hierro total	ME-07-2007 Superintendencia de Servicios Sanitarios. Manual de Métodos de Ensayo para Agua Potable. Método Espectrofotometría de absorción atómica con aspiración directa	Agua potable y fuentes de captación
Magnesio	ME-09-2007 Superintendencia de Servicios Sanitarios. Manual de Métodos de Ensayo para Agua Potable. Método Espectrofotometría de absorción atómica con aspiración directa	Agua potable y fuentes de captación
Manganeso	ME-08-2007 Superintendencia de Servicios Sanitarios. Manual de Métodos de Ensayo para Agua Potable. Método Espectrofotometría de absorción atómica con aspiración directa	Agua potable y fuentes de captación
Mercurio total	ME-15-2007 Superintendencia de Servicios Sanitarios. Manual de Métodos de Ensayo para Agua Potable. Método Espectrofotometría de absorción atómica con generación de vapor atómico de Hg.	Agua potable y fuentes de captación
Nitrito	ME-17-2007 Superintendencia de Servicios Sanitarios. Manual de Métodos de Ensayo para Agua Potable. Método Espectrofotometría de absorción molecular UV-Visible	Agua potable y fuentes de captación
Olor	ME-25-2007 Superintendencia de Servicios Sanitarios. Manual de Métodos de Ensayo para Agua Potable. Método organoléptico	Agua potable y fuentes de captación
pH	ME-29-2007 Superintendencia de Servicios Sanitarios. Manual de Métodos de Ensayo para Agua Potable. Método electrométrico	Agua potable y fuentes de captación
Plomo	ME-18-2007 Superintendencia de Servicios Sanitarios. Manual de Métodos de Ensayo para Agua Potable. Método Espectrofotometría de absorción atómica con aspiración directa	Agua potable y fuentes de captación
Sabor	ME-26-2007 Superintendencia de Servicios Sanitarios. Manual de Métodos	Agua potable y fuentes de captación

2/7

LE 226  
Anexo

Ensayo	Norma/Especificación	Producto a que se aplica
	de Ensayo para Agua Potable Método organoléptico	
Selenio	ME-10-2007 Superintendencia de Servicios Sanitarios. Manual de Métodos de Ensayo para Agua Potable. Método Espectrofotometría de absorción atómica con generación de hidruros	Agua potable y fuentes de captación
Sólidos disueltos totales	ME-31-2007 Superintendencia de Servicios Sanitarios. Manual de Métodos de Ensayo para Agua Potable. Método gravimétrico	Agua potable y fuentes de captación
Sulfato	ME-30-2007 Superintendencia de Servicios Sanitarios. Manual de métodos de ensayo para agua potable. Método gravimétrico con secado de residuos.	Agua potable y fuentes de captación
Turbiedad	ME-03-2007 Superintendencia de Servicios Sanitarios. Manual de Métodos de Ensayo para Agua Potable Método Nefelométrico	Agua potable y fuentes de captación
Zinc	ME-11-2007 Superintendencia de Servicios Sanitarios. Manual de Métodos de Ensayo para Agua Potable. Método Espectrofotometría de absorción atómica con aspiración directa	Agua potable y fuentes de captación
Aceites y grasa	NCh2313/6.Of97	Aguas residuales
Arsénico	NCh2313/9.Of96	Aguas residuales
Cadmio	NCh2313/10.Of96	Aguas residuales
Cianuro total	NCh2313/14.Of97	Aguas residuales
Cloruros	NCh2313/32.Of99	Aguas residuales
Cobre	NCh2313/10.Of96	Aguas residuales
Cromo	NCh2313/10.Of96	Aguas residuales
Demanda bioquímica de oxígeno	NCh2313/5.Of2005	Aguas residuales
Demanda química de oxígeno	NCh2313/24.Of1997	Aguas residuales
Fluoruro	NCh2313/33.Of1999	Aguas residuales
Fósforo total	NCh2313/15.Of97	Aguas residuales
Hidrocarburos fijos	NCh2313/7.Of97	Aguas residuales
Hierro	NCh2313/10.Of96	Aguas residuales
Índice de fenol	NCh2313/19.Of2001	Aguas residuales
Manganeso	NCh2313/10.Of96	Aguas residuales
Mercurio	NCh2313/12.Of96	Aguas residuales
Molibdeno	NCh2313/13.Of98	Aguas residuales
Níquel	NCh2313/10.Of96	Aguas residuales
Nitrógeno amoniacal	NCh2313/16.Of97	Aguas residuales
Nitrógeno total kjeldahl	NCh2313/28.Of98	Aguas residuales
pH	NCh2313/1.Of95	Aguas residuales
Plomo	NCh2313/10.Of96	Aguas residuales

3/7

LE 226  
Anexo

Ensayo	Norma/Especificación	Producto a que se aplica
Poder espumógeno	NCh2313/21.Of97	Aguas residuales
Selenio	NCh2313/30.Of1999	Aguas residuales
Sólidos sedimentables	NCh2313/4.Of95	Aguas residuales
Sólidos suspendidos totales	NCh2313/3.Of95	Aguas residuales
Sulfatos	NCh2313/18.Of97	Aguas residuales
Surfactantes aniónicos	NCh2313/27.Of98	Aguas residuales
Temperatura	NCh2313/1.Of95	Aguas residuales
Zinc	NCh2313/10.Of96	Aguas residuales

**SUBAREA: FISICO-QUIMICA PARA AGUA DE BEBIDA, AGUAS RESIDUALES, AGUAS CRUDAS, AGUAS DE PROCESO DE OSMOSIS Y AGUA PARA FINES INDUSTRIALES**

Ensayo	Norma/Especificación	Producto a que se aplica
Acidez	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Ed. 22, 2310 B	Aguas crudas, aguas residuales y aguas para fines industriales
Alcalinidad	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Ed. 22, 2320 B	Aguas crudas, aguas residuales y aguas para fines industriales
Aluminio	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Ed. 22, 3111D	Aguas residuales, aguas crudas, y aguas para fines industriales
Antimonio	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Ed. 22, 3111B	Aguas residuales, aguas crudas, y aguas para fines Industriales
Arsénico	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Ed. 22, 3114C	Aguas crudas, y aguas para fines industriales
Bario	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Ed. 22, 3111D	Aguas residuales y aguas crudas
Berilio	Standard Methods for the examination of Water and Wastewater, Ed. 22, 3111D	Aguas residuales, aguas crudas, y aguas para fines industriales
Bicarbonatos	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Ed. 22, 2320 B	Aguas crudas, aguas residuales, aguas de proceso de osmosis, aguas para fines industriales y agua de bebida
Bismuto	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Ed. 22, 3111D	Aguas crudas, aguas residuales y aguas para fines industriales
Boro	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Ed. 22, 4500 B C	Aguas crudas, aguas residuales, aguas para fines industriales y agua de bebida
Cadmio	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Ed. 22, 3111B	Aguas crudas y aguas para fines industriales
Calcio	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Ed. 22, 3111B	Aguas residuales, aguas crudas, y aguas para fines

4/7

LE 226  
Anexo

Ensayo	Norma/Especificación	Producto a que se aplica
		industriales
Carbonatos	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Ed. 22, 2320 B	Aguas crudas, aguas residuales, agua de proceso de osmosis, aguas para fines industriales y agua de bebida
Cloruro	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Ed. 22, 4500 Cl B	Aguas crudas
Cobalto	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Ed. 22, 3111 B	Aguas residuales, aguas crudas, y aguas para fines industriales
Cobre	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Ed. 22, 3111 B	Aguas crudas y aguas para fines industriales
Color verdadero	PT-17 Versión 04 Método basado en el Manual de procedimientos equipo espectrofotómetro DR 2010 HACH. Método 8025. Espectrofotometría de absorción molecular UV-Visible	Aguas residuales, aguas de proceso de osmosis y aguas crudas
Conductividad	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Ed. 22, 2510 B	Aguas crudas y aguas residuales
Cromo	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Ed. 22, 3111 B	Aguas crudas, aguas residuales, aguas para fines industriales y aguas para procesos de osmosis
Cromo hexavalente	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Ed. 22, 3500 B	Aguas crudas y aguas residuales
Demanda bioquímica de oxígeno	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Ed. 22, 5210 B	Aguas crudas
Demanda química de oxígeno	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Ed. 22, 5220 C	Aguas crudas
Dureza	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Ed. 22, 2340 C	Aguas crudas, aguas residuales, agua para proceso de osmosis, agua para fines industriales y agua de bebida
Estaño	Standard Methods for the examination of Water and Wastewater, Ed. 22, 3111 B	Aguas residuales, aguas crudas, y aguas para fines industriales
Estroncio	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Ed. 22, 3111 B	Aguas residuales, aguas crudas, y aguas para fines industriales
Fluoruro	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Ed. 22, 4500 F C	Aguas crudas
Fosforo total	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Ed. 22, 4500 P C	Aguas crudas y aguas para procesos de osmosis
Hierro	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Ed. 22, 3111 B	Aguas crudas y aguas para fines industriales
Litio	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Ed. 22, 3111 B	Aguas residuales, aguas crudas, y aguas para fines

5/7

LE 226  
Anexo

Ensayo	Norma/Especificación	Producto a que se aplica
		Industriales
Magnesio	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Ed. 22, 3111B	Aguas residuales, aguas crudas, y aguas para fines Industriales
Manganeso	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Ed. 22, 3111B	Aguas crudas y aguas para fines industriales
Mercurio	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Ed. 22, 3112 B	Aguas crudas
Molibdeno	PT-11 versión 05 Determinación de Molibdeno Basado en el Manual de procedimientos equipo espectrofotómetro DR 2010 HACH. Método 315 Espectrofotometría de absorción molecular UV-Visible	Aguas crudas, aguas residuales y aguas para fines industriales
Niquel	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Ed. 22,3111B	Aguas crudas y aguas para fines industriales
Nitrato	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Ed. 22, 4500 NO3 B	Aguas crudas, aguas residuales y agua de proceso de osmosis.
Nitrito	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Ed. 22, 4500 NO2 B	Aguas residuales, aguas crudas, y aguas para fines industriales
Nitrógeno total	PT-12 versión 06. Determinación de Nitrógeno Total, basado en Manual del fabricante equipo Velp Scientific –UDK 126 A. Volumetría ácido-base	Aguas crudas y aguas residuales
Oro	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Ed. 22, 3111B	Aguas residuales, aguas crudas, y aguas para fines industriales
Ortofosfato	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Ed. 22, 4500 P-C	Aguas crudas, aguas residuales y aguas para fines industriales
pH	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Ed. 22, 4500 H B	Aguas crudas
Plata	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Ed. 22, 3111B	Aguas residuales, aguas crudas, y aguas para fines Industriales
Plomo	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Ed. 22, 3111B	Aguas crudas y aguas para fines industriales
Potasio	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Ed. 22, 3111B	Aguas residuales, aguas crudas, y aguas para fines Industriales
Selenio	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Ed. 22, 3114 C	Aguas crudas y aguas para fines industriales.
Sílice (SiO <sub>2</sub> )	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Ed. 22, 3111D	Aguas crudas y aguas para fines industriales
Silicio	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Ed. 22, 3111D	Aguas residuales, aguas crudas y aguas para fines

6/7



LE 226  
Anexo

Ensayo	Norma/Especificación	Producto a que se aplica
		industriales
Sodio	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Ed. 22, 3111B	Aguas residuales, aguas crudas, y aguas para fines industriales
Sólidos sedimentables	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Ed. 22, 2540 F	Aguas crudas
Sólidos totales	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Ed. 22, 2540 B.	Aguas crudas y aguas residuales
Sólidos totales disueltos	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Ed. 22, 2540 C.	Aguas crudas y aguas residuales
Sólidos suspendidos totales	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Ed. 22, 2540 D	Aguas crudas
Sulfato	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Ed. 22, 4500 SO4 C	Aguas crudas
Sulfato	PT-23 versión 01 Determinación de Sulfato. Basado en el Manual de procedimientos equipo espectrofotómetro DR 2010 HACH. Métodos 680 y 685. Espectrofotometría de absorción molecular UV-Visible	Aguas crudas y aguas de procesos de osmosis
Surfactantes aniónicos	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Ed. 22, 5540 C	Aguas crudas
Turbiedad	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Ed. 22, 2130 B	Aguas crudas y aguas residuales
Vanadio	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Ed. 22, 3111D	Aguas residuales, aguas crudas, y aguas para fines industriales
Zinc	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Ed. 22, 3111B	Aguas crudas y aguas para fines industriales

**Eduardo Ceballos Osorio**  
Jefe de División Acreditación

**Sergio Toro Galleguillos**  
Director Ejecutivo



**ACREDITACION LE 228**

El Instituto Nacional de Normalización, INN, certifica que:

**UNIVERSIDAD CATOLICA DEL NORTE**

**DEPARTAMENTO DE QUIMICA  
LABORATORIO DE SERVICIOS ANALITICOS**

ubicado en Av. Angamos N°0610, Antofagasta

ha renovado su acreditación en el Sistema Nacional de Acreditación del INN, como

**Laboratorio de Ensayo**

**según NCh-ISO 17025.Of2005**

en el área Química para suelos, relaves y sedimentos, con el alcance indicado en anexo.

Primera acreditación: Desde el 31 de Julio de 2003

Vigencia de la Acreditación : hasta el 31 de Julio de 2017

Santiago de Chile, 5 de Junio de 2014



LE 228

Anexo

**ALCANCE DE LA ACREDITACION DEL LABORATORIO DE SERVICIOS ANALITICOS DEL DEPARTAMENTO DE QUIMICA DE LA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL NORTE, ANTOFAGASTA, COMO LABORATORIO DE ENSAYO**

**AREA : QUIMICA PARA SUELOS, RELAVES, SEDIMENTOS Y SEDIMENTOS MARINOS**

**SUBAREA : QUIMICA PARA SUELOS, RELAVES, SEDIMENTOS Y SEDIMENTOS MARINOS**

Ensayo	Norma/Especificación	Producto a que se aplica
Antimonio	PT-13 versión 10 Método basado en el Manual de Métodos de análisis fisicoquímicos de Alimentos, Agua y Suelos. Ministerio de Salud. Instituto de Salud Pública de Chile-Sub Departamento Laboratorio del Ambiente, 1998 Espectrofotometría de absorción atómica con aspiración directa	Sedimentos marinos
Arsénico	PT-13 versión 10 Método basado en el Manual de Métodos de análisis fisicoquímicos de Alimentos, Agua y Suelos. Ministerio de Salud. Instituto de Salud Pública de Chile-Sub Departamento Laboratorio del Ambiente, 1998 Espectrofotometría de absorción atómica con generación de hidruros	Suelos, relaves y sedimentos marinos
Cadmio	PT-13 versión 10 Método basado en el Manual de Métodos de análisis fisicoquímicos de Alimentos, Agua y Suelos. Ministerio de Salud. Instituto de Salud Pública de Chile-Sub Departamento Laboratorio del Ambiente, 1998 Espectrofotometría de absorción atómica con aspiración directa	Suelos, relaves y sedimentos marinos
Cianuro total y libre	PT-18 versión 04. Método basado en Assay and analytical practice in the South African mining industry, by W.C. Lenahan and R. De L. Murray-Smith. Johannesburg. The South African Institute of Mining and Metallurgy, 1986. RIOO (R80 to Mmbars). Reviewer: N.G. Randolph. volumetría	Suelos y relaves
Cobre	PT-13 ver10 Método basado en el Manual de Métodos de análisis fisicoquímicos de Alimentos, Agua y Suelos. Ministerio de Salud. Instituto de Salud Pública de Chile-Sub Departamento Laboratorio del Ambiente, 1998 Espectrofotometría de absorción atómica con aspiración directa	Suelos, relaves y sedimentos marinos

1/3



LE 228

Anexo

Ensayo	Norma/Especificación	Producto a que se aplica
Cromo	PT-13 versión 10 Método basado en el Manual de Métodos de análisis fisicoquímicos de Alimentos, Agua y Suelos. Ministerio de Salud. Instituto de Salud Pública de Chile-Sub Departamento Laboratorio del Ambiente, 1998 Espectrofotometría de absorción atómica con aspiración directa	Sedimentos marinos
Hierro	PT-13 versión 10 Método basado en el Manual de Métodos de análisis fisicoquímicos de Alimentos, Agua y Suelos. Ministerio de Salud. Instituto de Salud Pública de Chile-Sub Departamento Laboratorio del Ambiente, 1998 Espectrofotometría de absorción atómica con aspiración directa	Suelos, relaves y sedimentos marinos
Mercurio	PT-13 versión 10 Método basado en el Manual de Métodos de análisis fisicoquímicos de Alimentos, Agua y Suelos. Ministerio de Salud. Instituto de Salud Pública de Chile-Sub Departamento Laboratorio del Ambiente, 1998 Espectrofotometría de absorción atómica con generación de vapor atómico de Hg	Suelos, relaves y sedimentos marinos
Molibdeno	PT-13 versión 10 Método basado en el Manual de Métodos de análisis fisicoquímicos de Alimentos, Agua y Suelos. Ministerio de Salud. Instituto de Salud Pública de Chile-Sub Departamento Laboratorio del Ambiente, 1998 Espectrofotometría de absorción atómica con aspiración directa.	Sedimentos marinos
Niquel	PT-13 versión 10 Método basado en el Manual de Métodos de análisis fisicoquímicos de Alimentos, Agua y Suelos. Ministerio de Salud. Instituto de Salud Pública de Chile-Sub Departamento Laboratorio del Ambiente, 1998 Espectrofotometría de absorción atómica con aspiración directa	Sedimentos marinos
Oro	PT-15 versión 04 Método basado en GC-6 Analysis of ores, feeds, tailings and concentrates: Silver and gold assay, Perkin Elmer, Analytical methods for atomic absorption spectrophotometric (1990) Espectrofotometría de absorción atómica con aspiración directa	Suelos y relaves

2/3



LE 228  
Anexo

Ensayo	Norma/Especificación	Producto a que se aplica
Plata	PT-13 ver10 Método basado en el Manual de Métodos de análisis fisicoquímicos de Alimentos, Agua y Suelos. Ministerio de Salud. Instituto de Salud Pública de Chile-Sub Departamento Laboratorio del Ambiente, 1998 Espectrofotometría de absorción atómica con aspiración directa	Suelos, relaves y sedimentos marinos
Plomo	PT-13 versión 10 Método basado en el Manual de Métodos de análisis fisicoquímicos de Alimentos, Agua y Suelos. Ministerio de Salud. Instituto de Salud Pública de Chile-Sub Departamento Laboratorio del Ambiente, 1998 Espectrofotometría de absorción atómica con aspiración directa	Suelos, relaves y sedimentos marinos
Selenio	PT-13 versión 10 Método basado en el Manual de Métodos de análisis fisicoquímicos de Alimentos, Agua y Suelos. Ministerio de Salud. Instituto de Salud Pública de Chile-Sub Departamento Laboratorio del Ambiente, 1998 Espectrofotometría de absorción atómica con generación de hidruros	Suelos, relaves y sedimentos
Zinc	PT-13 versión 10 Método basado en el Manual de Métodos de análisis fisicoquímicos de Alimentos, Agua y Suelos. Ministerio de Salud. Instituto de Salud Pública de Chile-Sub Departamento Laboratorio del Ambiente, 1998 Espectrofotometría de absorción atómica con aspiración directa	Suelos, relaves y sedimentos marinos

**Eduardo Ceballos Osorio**  
Jefe de División Acreditación

**Sergio Toro Galleguillos**  
Director Ejecutivo

acreditación



El Instituto Nacional de Normalización, INN, certifica que:

**UNIVERSIDAD CATOLICA DEL NORTE**

**LABORATORIO DE SERVICIOS ANALITICOS**

ubicado en Av. Angamos N°0610, Antofagasta

ha sido acreditado en el Sistema Nacional de Acreditación del INN,  
como

**Laboratorio de ensayo**

**según NCh-ISO 17025.Of2005**

en el área Química para productos hidrobiológicos, con el  
alcance indicado en anexo.

Vigencia de la Acreditación : hasta el 28 de Septiembre de 2015

Santiago de Chile, 28 de Septiembre de 2012

  
**Eduardo Ceballos Osorio**  
Jefe de División Acreditación

  
**Sergio Toro Galleguillos**  
Director Ejecutivo



LAS CONDICIONES BAJO LAS CUALES RIGE ESTA ACREDITACIÓN ESTAN DETALLADAS EN EL ACTA DE COMPROMISO


**INSTITUTO NACIONAL  
DE NORMALIZACION**

LE 1067

Anexo

**ALCANCE DE LA ACREDITACION DEL LABORATORIO DE SERVICIOS ANALITICOS DE LA  
UNIVERSIDAD CATOLICA DEL NORTE, ANTOFAGASTA, COMO LABORATORIO DE ENSAYO****AREA : QUIMICA PARA PRODUCTOS HIDROBIOLÓGICOS**

Ensayo	Norma/Especificación	Producto a que se aplica
Antimonio	PT-14 Pretratamiento de muestras y análisis de productos hidrobiológicos. Basado en EPA 3052 y EPA 3050 B	Productos en conserva, moluscos, invertebrados, productos pesqueros congelados, productos en salazón, productos secos y productos hidrobiológicos procesados, pescado fresco y/o vivos, mariscos frescos, refrigerados y/o vivos.
Arsénico	PT-14 Pretratamiento de muestras y análisis de productos hidrobiológicos. Basado en EPA 3052 y EPA 3050 B	Productos en conserva, moluscos, invertebrados, productos pesqueros congelados, productos en salazón, productos secos y productos hidrobiológicos procesados, pescado fresco y/o vivos, mariscos frescos, refrigerados y/o vivos.
Cadmio	PT-14 Pretratamiento de muestras y análisis de productos hidrobiológicos. Basado en EPA 3052 y EPA 3050 B	Productos en conserva, moluscos, invertebrados, productos pesqueros congelados, productos en salazón, productos secos y productos hidrobiológicos procesados, pescado fresco y/o vivos, mariscos frescos, refrigerados y/o vivos.
Cinc	PT-14 Pretratamiento de muestras y análisis de productos hidrobiológicos. Basado en EPA 3052 y EPA 3050 B	Productos en conserva, moluscos, invertebrados, productos pesqueros congelados, productos en salazón, productos secos y productos hidrobiológicos procesados, pescado fresco y/o vivos, mariscos frescos, refrigerados y/o vivos.
Cobre	PT-14 Pretratamiento de muestras y análisis de productos hidrobiológicos. Basado en EPA 3052 y EPA 3050 B	Productos en conserva, moluscos, invertebrados, productos pesqueros congelados, productos en salazón, productos secos y productos hidrobiológicos procesados, pescado fresco y/o vivos, mariscos frescos, refrigerados y/o vivos.
Cromo	PT-14 Pretratamiento de muestras y análisis de productos hidrobiológicos. Basado en EPA 3052 y EPA 3050 B	Productos en conserva, moluscos, invertebrados, productos pesqueros congelados, productos en salazón, productos secos y productos hidrobiológicos procesados, pescado fresco y/o vivos, mariscos frescos, refrigerados y/o vivos.
Hierro	PT-14 Pretratamiento de muestras y análisis de productos	Productos en conserva, moluscos, invertebrados, productos pesqueros congelados, productos en salazón,

1/2

**INSTITUTO NACIONAL  
DE NORMALIZACION**

LE 1067  
Anexo

Ensayo	Norma/Especificación	Producto a que se aplica
	hidrobiológicos. Basado en EPA 3052 y EPA 3050 B	productos secos y productos hidrobiológicos procesados, pescado fresco y/o vivos, mariscos frescos, refrigerados y/o vivos.
Mercurio	PT-14 Pretratamiento de muestras y análisis de productos hidrobiológicos. Basado en EPA 3052 y EPA 3050 B	Productos en conserva, moluscos, invertebrados, productos pesqueros congelados, productos en salazón, productos secos y productos hidrobiológicos procesados, pescado fresco y/o vivos, mariscos frescos, refrigerados y/o vivos.
Níquel	PT-14 Pretratamiento de muestras y análisis de productos hidrobiológicos. Basado en EPA 3052 y EPA 3050 B	Productos en conserva, moluscos, invertebrados, productos pesqueros congelados, productos en salazón, productos secos y productos hidrobiológicos procesados, pescado fresco y/o vivos, mariscos frescos, refrigerados y/o vivos.
Plata	PT-14 Pretratamiento de muestras y análisis de productos hidrobiológicos. Basado en EPA 3052 y EPA 3050 B	Productos en conserva, moluscos, invertebrados, productos pesqueros congelados, productos en salazón, productos secos y productos hidrobiológicos procesados, pescado fresco y/o vivos, mariscos frescos, refrigerados y/o vivos.
Plomo	PT-14 Pretratamiento de muestras y análisis de productos hidrobiológicos. Basado en EPA 3052 y EPA 3050 B	Productos en conserva, moluscos, invertebrados, productos pesqueros congelados, productos en salazón, productos secos y productos hidrobiológicos procesados, pescado fresco y/o vivos, mariscos frescos, refrigerados y/o vivos.



**Eduardo Ceballos Osorio**  
Jefe de División Acreditación



**Sergio Toro Galleguillos**  
Director Ejecutivo

## INFORMES DE ANALISIS

 <p>Universidad Católica del Norte ver más allá</p>	<p><b>INFORME DE ENSAYO</b></p> <p>N° 1430/016</p>	 <p>UCN LSA Departamento de Química - Facultad de Ciencias</p> <p>Fecha: 13/09/2016</p>
--	--	--

### 1.- ANTECEDENTES

- Solicitante: Sr. Julio Vásquez.
- Correo electrónico: [jvasquez@nevados.ucn.cl](mailto:jvasquez@nevados.ucn.cl)
- Cotización N°: N° 0062/016.
- Fecha / Hora de muestreo: 24 de Julio del 2016.
- Ingreso UCN-LSA: 24 de Julio del 2016 a las 18:00
- El muestreo fue realizado por personal del UCN Coquimbo con apoyo UCN-LSA, según normas vigentes.
- Matriz: Agua Cruda / Sedimentos marinos / Organismos marinos / Submareales.

### 2.- IDENTIFICACIÓN DE LAS MUESTRAS

Muestra	Identificación Agua de Mar
M-1	E1 Superficial 25/07/2016 13:30 horas
M-2	E2 Superficial 25/07/2016 12:41 horas
M-3	E3 Superficial 25/07/2016 11:42 horas
M-4	E4 Superficial 25/07/2016 11:37 horas
M-5	E5 Superficial 25/07/2016 09:46 horas
M-6	E1 Profundo 25/07/2016 13:30 horas
M-7	E2 Profundo 25/07/2016 12:41 horas
M-8	E3 Profundo 25/07/2016 11:42 horas
M-9	E4 Profundo 25/07/2016 11:37 horas
M-10	E5 Profundo 25/07/2016 09:46 horas

  
 Qco. Ind. Belén Torrejón Vera  
 Jefe Técnico y de Calidad  
 Laboratorio de Servicios Analíticos

Laboratorio Acreditado por INN – Acreditación LE – 226 LE – 228

Avda. Angamos 0610, Pabellón N-1 segundo piso • Antofagasta • Fono (55) 2355613 - 2355633 - 2355620 - 2355608  
e-mail: [lsa@ucn.cl](mailto:lsa@ucn.cl)

SE PROHIBE LA REPRODUCCIÓN TOTAL Y PARCIAL DEL INFORME DE ANÁLISIS SIN LA APROBACIÓN ESCRITA DEL LABORATORIO

 Universidad Católica del Norte ver más allá	<b>INFORME DE ENSAYO</b>  N° 1430/016	 Departamento de Química - Facultad de Ciencias
		<b>Fecha: 13/09/2016</b>

Muestra	Identificación Sedimentos
M-1	Estación 1
M-2	Estación 2
M-3	Estación 3
M-4	Estación 4
M-5	Estación 5

Muestra	Identificación Intermareales (Pulgas de mar)
M-1	Estación 1
M-2	Estación 2
M-3	Estación 3
M-4	Estación 4
M-5	Estación 5

Muestra	Identificación Submareales (Ostión o Cholga)
M-1	Estación 1
M-2	Estación 2
M-3	Estación 3
M-4	Estación 4
M-5	Estación 5

  
 Qco. Ina. Belén Torrejón Vera  
 Jefe Técnico y de Calidad  
 Laboratorio de Servicios Analíticos

Laboratorio Acreditado por INN – Acreditación LE – 226 LE – 228  
 Avda. Angamos 0610, Pabellón N-1 segundo piso • Antofagasta • Fono (55) 2355613 - 2355633 - 2355620 - 2355608  
 e-mail: isa@ucn.cl

SE PROHIBE LA REPRODUCCIÓN TOTAL Y PARCIAL DEL INFORME DE ANÁLISIS SIN LA APROBACIÓN ESCRITA DEL LABORATORIO

 Universidad Católica del Norte <small>Voz más allá</small>	<h2 style="margin: 0;">INFORME DE ENSAYO</h2>	 Departamento de Química - Facultad de Ciencias <b>Fecha: 13/09/2016</b>
<b>N° 1430/016</b>		

**3.- RESULTADOS**

**3.1.- COLUMNA DE AGUA**

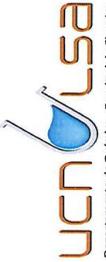
Parámetro	Expresado	Unidad	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5	M-6
Arsénico Total	As	µg/L	1,89	2,59	2,19	2,10	2,50	2,40
Antimonio Total	Sb	µg/L	0,502	0,542	0,486	0,408	0,610	0,508
Cadmio Total	Cd	µg/L	86	85	78	85	83	87
Cobre	Cu	µg/L	72	81	79	96	90	95
Zinc Total	Zn T	µg/L	168	75	41	157	49	38
Zinc Disuelto	Zn D	µg/L	162	72	38	146	45	34
Mercurio	Hg	µg/L	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2
Plata	Ag	µg/L	34	33	33	40	31	29
Plomo Total	Pb T	µg/L	572	623	680	528	384	431
Plomo Disuelto	Pb D	µg/L	514	455	660	516	356	373
Cromo	Cr	µg/L	68	66	65	70	72	85
Hierro	Fe	µg/L	126	129	123	126	127	128

<: Menor que el límite de detección indicado.

Laboratorio Acreditado por INN – Acreditación LE – 226 LE – 228

Avda. Angamos 0610, Pabellón N-1 segundo piso • Antofagasta •Fono (65) 23556613 - 23556633 - 23556620 - 23556608  
e-mail: isa@ucn.cl

**SE PROHIBE LA REPRODUCCIÓN TOTAL Y PARCIAL DEL INFORME DE ANÁLISIS SIN LA APROBACIÓN ESCRITA DEL LABORATORIO**

 Universidad Católica del Norte <small>ver más...</small>	<h2 style="margin: 0;">INFORME DE ENSAYO</h2>	 Departamento de Química - Facultad de Ciencias <b>Fecha: 13/09/2016</b>
<b>N° 1430/016</b>		

**3.1.- COLUMNA DE AGUA**

Parámetro	Expresado	Unidad	M-7	M-8	M-9	M-10	Fecha de análisis
Arsénico Total	As	µg/L	2,28	1,91	1,84	2,43	03-08-2016
Antimonio Total	Sb	µg/L	0,365	0,404	0,378	0,327	26-08-2016
Cadmio Total	Cd	µg/L	76	76	79	76	04-08-2016
Cobre	Cu	µg/L	86	77	77	93	12-08-2016
Zinc Total	Zn T	µg/L	74	71	65	106	05-08-2016
Zinc Disuelto	Zn D	µg/L	73	68	62	99	05-08-2016
Mercurio	Hg	µg/L	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	30-07-2016
Plata	Ag	µg/L	37	32	32	38	01-08-2016
Plomo Total	Pb T	µg/L	462	480	446	404	05-08-2013
Plomo Disuelto	Pb D	µg/L	424	374	443	304	05-08-2016
Cromo	Cr	µg/L	67	75	80	76	16-08-2016
Hierro	Fe	µg/L	106	116	115	106	18-08-2016

<: Menor que el límite de detección indicado.

Laboratorio Acreditado por INN – Acreditación LE – 226 LE – 228

Avda. Angamos 0610, Pabellón N-1 segundo piso • Antofagasta • Fono (55) 2355613 - 2355620 - 23556608  
 e-mail: lsa@ucn.cl

SE PROHIBE LA REPRODUCCIÓN TOTAL Y PARCIAL DEL INFORME DE ANÁLISIS SIN LA APROBACIÓN ESCRITA DEL LABORATORIO

 <p style="text-align: center;">Universidad Católica del Norte <small>ver más allá</small></p>	<h2 style="margin: 0;">INFORME DE ENSAYO</h2> <p style="margin: 0;">N° 1430/016</p>	 <p style="text-align: center;">UCN/LSA <small>Departamento de Química - Facultad de Ciencias</small></p> <p style="margin: 0;">Fecha: 13/09/2016</p>
---	---	--

### 3.2.- SEDIMENTOS

Parámetros	Expresado	Unidad	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5	Fecha de análisis
Arsénico	As	mg/Kg	1,87	1,44	1,38	1,79	2,16	06-09-2016
Cadmio	Cd	mg/Kg	< 0,25	2,65	4,19	3,37	2,18	06-09-2016
Cobre	Cu	mg/Kg	13,4	14,5	27	21	14,4	01-09-2016
Cinc	Zn	mg/Kg	20	13,0	43	31	18,9	01-09-2016
Plomo	Pb	mg/Kg	6,61	8,31	22	15,9	6,35	01-09-2016
Hierro	Fe	mg/Kg	8180	4663	3654	3271	2977	01-09-2016
Plata	Ag	mg/Kg	< 1,25	< 1,25	< 1,25	< 1,25	< 1,5	05-09-2016
Antimonio	Sb	mg/Kg	0,034	0,022	0,033	0,015	0,030	06-09-2016
Mercurio	Hg	mg/Kg	0,006	0,008	0,026	0,025	0,013	25-08-2016
Cromo	Cr	mg/Kg	6,93	11,3	13,4	10,8	11,9	01-09-2016

<: Menor que el límite de detección indicado

Laboratorio Acreditado por INN – Acreditación LE – 226 LE – 228  
 Avda. Angamos 0610, Pabellón N-1 segundo piso • Antofagasta •Fono (55) 2355613 - 2355633 - 2355620 - 2355608  
 e-mail: isa@ucn.cl

SE PROHIBE LA REPRODUCCIÓN TOTAL Y PARCIAL DEL INFORME DE ANÁLISIS SIN LA APROBACIÓN ESCRITA DEL LABORATORIO

 Universidad Católica del Norte <small>ver más info</small>	<h2 style="margin: 0;">INFORME DE ENSAYO</h2> <p style="margin: 0;">N° 1430/016</p>	 Departamento de Química - Facultad de Ciencias <b>Fecha: 13/09/2016</b>
--	---	---

**3.3.- INTERMAREALES (Pulgas de Mar)**

Parámetros	Expresado	Unidad	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5	Fecha de análisis
Arsénico	As	mg/Kg	0,132	0,275	0,254	0,183	0,264	26-08-2016
Cadmio	Cd	mg/Kg	4,81	3,48	5,85	2,83	15,9	07-09-2016
Cobre	Cu	mg/Kg	65	84	76	40	56	07-09-2016
Cinc	Zn	mg/Kg	53	42	47	27	37	07-09-2016
Mercurio	Hg	mg/Kg	0,046	0,034	0,036	0,044	0,047	09-09-2016
Plata	Ag	mg/Kg	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4	05-09-2016
Plomo	Pb	mg/Kg	0,174	0,186	0,340	< 0,14	0,246	07-09-2016
Cromo	Cr	mg/Kg	0,872	0,900	1,35	1,26	0,872	07-09-2016
Hierro	Fe	mg/Kg	195	215	379	1027	243	07-09-2016
Antimonio	Sb	mg/Kg	< 0,032	< 0,032	< 0,032	< 0,032	< 0,032	26-08-2016

<: Menor que el límite de detección.

Laboratorio Acreditado por INN – Acreditación LE – 226 LE – 228

Avda. Angamos 0610, Pabellón N-1 segundo piso • Antofagasta • Fono (55) 2355613 - 2355633 - 2355620 - 2355608

e-mail: lsa@ucn.cl

SE PROHIBE LA REPRODUCCIÓN TOTAL Y PARCIAL DEL INFORME DE ANÁLISIS SIN LA APROBACIÓN ESCRITA DEL LABORATORIO

Página 6 de 10

 Universidad Católica del Norte <small>ver más info</small>	<h2 style="margin: 0;">INFORME DE ENSAYO</h2> <p style="margin: 0;">N° 1430/016</p>	 Departamento de Química - Facultad de Ciencias <b>Fecha: 13/09/2016</b>
--	---	---

**3.4.- SUBMAREALES (MOLUSCOS)**

Parámetros	Expresado	Unidad	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5	Fecha de análisis
Arsénico	As	mg/Kg	0,883	0,800	0,891	0,548	0,403	07-09-2016
Cadmio	Cd	mg/Kg	5,11	12,2	6,50	31	7,70	07-09-2016
Cobre	Cu	mg/Kg	182	51	32	122	19,4	07-09-2016
Cinc	Zn	mg/Kg	123	60	56	266	40	07-09-2016
Mercurio	Hg	mg/Kg	0,094	0,104	0,108	0,107	0,102	09-09-2016
Plata	Ag	mg/Kg	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4	05-09-2016
Plomo	Pb	mg/Kg	<0,14	< 0,14	1,39	0,302	0,745	07-09-2016
Cromo	Cr	mg/Kg	1,46	0,667	2,00	1,46	0,840	07-09-2016
Hierro	Fe	mg/Kg	452	145	155	653	68	07-09-2016
Antimonio	Sb	mg/Kg	0,060	0,106	0,088	0,070	0,081	06-09-2016

<: Menor que el límite de detección.  
 Las concentraciones están expresadas en peso seco.

Laboratorio Acreditado por INN – Acreditación LE – 226 LE – 228

Avda. Angamos 0610, Pabellón N-1 segundo piso • Antofagasta • Fono (55) 2355613 - 2355633 - 2355620 - 2355608  
 e-mail: lsa@ucn.cl

SE PROHIBE LA REPRODUCCIÓN TOTAL Y PARCIAL DEL INFORME DE ANÁLISIS SIN LA APROBACIÓN ESCRITA DEL LABORATORIO

 <p>Universidad Católica del Norte ver más info</p>	<p><b>INFORME DE ENSAYO</b></p> <p>N° 1430/016</p>	 <p>Departamento de Química - Facultad de Ciencias</p> <p>Fecha: 13/09/2016</p>
--	--	--

**4.- METODOS**

4.1.- Columna de Agua

Parámetros	Métodos
Antimonio (*)	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Ed. 22, 3111B
Arsénico	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Ed. 22, 3114C
Cadmio	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Ed. 22, 3111B
Cinc	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Ed. 22, 3111B
Cobre	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Ed. 22, 3111B
Cromo	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Ed. 22, 3111B
Hierro	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Ed. 22, 3111B
Mercurio	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Ed. 22, 3112 B
Plata	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Ed. 22, 3111 B
Plomo	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Ed. 22, 3111 B

(\*) Parámetro no acreditado en esta matriz.

Laboratorio Acreditado por INN – Acreditación LE – 226 LE – 228

Avda. Angamos 0610, Pabellón N-1 segundo piso • Antofagasta •Fono (55) 2355613 - 2355633 - 2355620 - 2355608  
e-mail: lsa@ucn.cl

SE PROHIBE LA REPRODUCCIÓN TOTAL Y PARCIAL DEL INFORME DE ANÁLISIS SIN LA APROBACIÓN ESCRITA DEL LABORATORIO

Página 8 de 10

 <p>Universidad Católica del Norte ver más info</p>	<p><b>INFORME DE ENSAYO</b></p> <p>N° 1430/016</p>	 <p>Departamento de Química - Facultad de Ciencias</p> <p>Fecha: 13/09/2016</p>
--	--	--

4.2.- Sedimentos.

Parámetros	Métodos
Hierro	PT-13 Versión 10 Método basado en el Manual de Métodos de análisis físico-químico de alimentos, aguas y suelos. Ministerio de salud. Instituto de Salud Pública de Chile-Sub Departamento Laboratorio del Ambiente-1998 Espectrofotometría de absorción atómica con aspiración directa
Mercurio	PT-13 Versión 10 Método basado en el Manual de Métodos de análisis físico-químico de alimentos, aguas y suelos. Ministerio de salud. Instituto de Salud Pública de Chile-Sub Departamento Laboratorio del Ambiente-1998 Espectrofotometría de absorción atómica con generación de vapor atómico de Hg
Plomo	PT-13 Versión 10 Método basado en el Manual de Métodos de análisis físico-químico de alimentos, aguas y suelos. Ministerio de salud. Instituto de Salud Pública de Chile-Sub Departamento Laboratorio del Ambiente-1998 Espectrofotometría de absorción atómica con aspiración directa
Antimonio (*)	Basado en PT-13 Versión 10 Método basado en el Manual de Métodos de análisis físico-químico de alimentos, aguas y suelos. Ministerio de salud. Instituto de Salud Pública de Chile-Sub Departamento Laboratorio del Ambiente-1998 Espectrofotometría de absorción atómica con aspiración directa
Cinc	PT-13 Versión 10 Método basado en el Manual de Métodos de análisis físico-químico de alimentos, aguas y suelos. Ministerio de salud. Instituto de Salud Pública de Chile-Sub Departamento Laboratorio del Ambiente-1998 Espectrofotometría de absorción atómica con aspiración directa

(\*) Parámetro no acreditado para esta matriz.

Laboratorio Acreditado por INN – Acreditación LE – 226 LE – 228

Avda. Angamos 0610, Pabellón N-1 segundo piso • Antofagasta • Fono (55) 2355613 - 2355633 - 2355620 - 2355608  
e-mail: isa@ucn.cl

SE PROHIBE LA REPRODUCCIÓN TOTAL Y PARCIAL DEL INFORME DE ANÁLISIS SIN LA APROBACIÓN ESCRITA DEL LABORATORIO

 Universidad Católica del Norte <i>ver más allá</i>	<b>INFORME DE ENSAYO</b>	 Departamento de Química - Facultad de Ciencias
	<b>N° 1430/016</b>	<b>Fecha: 13/09/2016</b>

4.3.- Pulgas y Moluscos.

Parámetros	Métodos
Antimonio	PT-14 Pretratamiento de muestras y análisis de productos hidrobiológicos. Basado en EPA 3052 y EPA 3050 B
Arsénico	PT-14 Pretratamiento de muestras y análisis de productos hidrobiológicos. Basado en EPA 3052 y EPA 3050 B
Cadmio	PT-14 Pretratamiento de muestras y análisis de productos hidrobiológicos. Basado en EPA 3052 y EPA 3050 B
Cinc	PT-14 Pretratamiento de muestras y análisis de productos hidrobiológicos. Basado en EPA 3052 y EPA 3050 B
Cobre	PT-14 Pretratamiento de muestras y análisis de productos hidrobiológicos. Basado en EPA 3052 y EPA 3050 B
Cromo	PT-14 Pretratamiento de muestras y análisis de productos hidrobiológicos. Basado en EPA 3052 y EPA 3050 B
Hierro	PT-14 Pretratamiento de muestras y análisis de productos hidrobiológicos. Basado en EPA 3052 y EPA 3050 B
Mercurio	PT-14 Pretratamiento de muestras y análisis de productos hidrobiológicos. Basado en EPA 3052 y EPA 3050 B
Plata	PT-14 Pretratamiento de muestras y análisis de productos hidrobiológicos. Basado en EPA 3052 y EPA 3050 B
Plomo	PT-14 Pretratamiento de muestras y análisis de productos hidrobiológicos. Basado en EPA 3052 y EPA 3050 B



Qco. Ind. Bejen Torrejón Vera  
 Jefe Técnico y de Calidad  
 Laboratorio de Servicios Analíticos

Laboratorio Acreditado por INN – Acreditación LE – 228 LE – 228

Avda. Angamos 0610, Pabellón N-1 segundo piso • Antofagasta •Fono (55) 2355613 - 2355620 - 2355608  
 e-mail: lsa@ucn.cl

SE PROHIBE LA REPRODUCCIÓN TOTAL Y PARCIAL DEL INFORME DE ANÁLISIS SIN LA APROBACIÓN ESCRITA DEL LABORATORIO

### Certificado Sólidos Suspendidos



Laboratorio de Oceanografía Física & Química  
Departamento de Biología Marina  
UNIVERSIDAD CATOLICA DEL NORTE

ESTACIÓN	MUESTRA (n°)	Sólidos Totales (mg L <sup>-1</sup> )	Sólidos Suspendidos (mg L <sup>-1</sup> )
Est 1A	Nº1	45,20	21,02
Est 1C	Nº2	40,50	20,92
Est 2A	Nº3	40,30	18,02
Est 2C	Nº4	41,00	21,01
Est 3A	Nº5	42,00	20,10
Est 3C	Nº6	40,50	14,79
Est 4A	Nº7	39,70	16,42
Est 4C	Nº8	40,60	19,38
Est 5A	Nº9	39,40	14,22
Est 5C	Nº10	40,30	17,12

MANDANTE:

Dr. Julio A. Vásquez

PROCEDENCIA DE LAS MUESTRAS:

Bahía de Mejillones del Sur

Ing. MANUEL BERRIOS

Jefe de Laboratorio

Agosto 17, 2016



## Certificado de sedimentos



Laboratorio de Oceanografía Física & Química  
Departamento de Biología Marina  
UNIVERSIDAD CATOLICA DEL NORTE

ESTACIÓN	MUESTRA nº	Profundidad m	Diametro medio (phi)	Clasificación de las arenas	Grado de Selección	Clasificación de Selección	Asimetría	Clasificación Asimétrica	Diámetro medio (mm)	Materia Orgánica (mg/m)
PM-1	Nº 1	19 m	0,38	Arena Gruesa	0,86	moderada	-0,32	Alto exceso de gruesos	0,766	6,50
PM-2	Nº 2	17 m	1,71	Arena Mediana	1,67	Poco	-0,09	Simétrica	0,304	16,00
PM-3	Nº 3	21 m	2,85	Arena Fina	0,99	moderada	-0,24	Moderado exceso de gruesos	0,138	8,80
PM-4	Nº 4	18 m	3,33	Arena Muy Fina	0,70	moderada	-0,62	Alto exceso de gruesos	0,099	15,30
PM-5	Nº 5	18 m	3,06	Arena Muy Fina	0,74	moderada	0,09	Simétrica	0,119	8,80

MANDANTE:

Dr. Julio A. Vásquez

Ing. MANUEL BERRIOS

PROCEDENCIA DE LAS MUESTRAS:

Bahía de Mejillones del Sur

Jefe de Laboratorio

Agosto 17, 2016



RUM