



*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**



**SEPTIEMBRE -2014**

## 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-Química de Sedimentos Submareales         | 21 |
| Granulometría                                            | 21 |
| Calidad Química de los Sedimentos                        | 22 |
| Metales Pesados en Biota                                 | 24 |
| Biota Intermareal                                        | 24 |
| Biota submareal                                          | 26 |
| <b>Conclusiones Generales</b>                            | 29 |
| <b>Literatura Citada</b>                                 | 34 |
| <b>Figuras</b>                                           | 36 |
| <b>Tablas</b>                                            | 51 |

|                                     |    |
|-------------------------------------|----|
| <b>Anexos</b>                       | 58 |
| <b>Equipo de Trabajo</b>            | 59 |
| <b>Acreditaciones</b>               | 60 |
| LE 226                              | 60 |
| LE 228                              | 68 |
| LE 1067                             | 72 |
| <b>Informes de análisis</b>         | 75 |
| <b>Antecedentes complementarios</b> | 88 |

## RESUMEN EJECUTIVO

Este informe describe los resultados de la décima quinta 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 **DÉCIMA QUINTA** campaña de muestreo, realizada en septiembre 2014, se resumen en lo siguiente:

- 1.- Los valores obtenidos durante la campaña de invierno 2014, 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 (Tº 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 de un evento El Niño débil en 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. El presente muestreo del Programa de Seguimiento Ambiental se realizó durante una fase de relajación del evento de surgencia caracterizado por aguas



transparentes y una productividad biológica estratificada determinada por una condición 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 temperatura del agua de mar (D2), sólidos suspendidos, As, Zn y Hg,
- II.- CLASE 2 para Cu y Cr,
- III.- CLASE 3 para Pb y Cd.

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 y moderadamente seleccionadas, con formas simétricas a sesgadas a un alto a moderado exceso de sedimentos finos o 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 septiembre 2014, 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 **DÉCIMA QUINTA** 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 (FIG. 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 quinta 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 02 y 05 de septiembre del 2014.

### **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:
  - o Número de OT
  - o Fecha y hora de recepción de las muestras en el Laboratorio
  - o Firma y nombre del receptor
  - o Cantidad de muestras
  - o Identificación de cada muestra
  - o Tipo de muestra y análisis requeridos
  - o Verificación de las muestras recibidas por el Jefe Técnico
  - o 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.
  - o 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 RIL y 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 Oficial 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 (µg/L)</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 (mg/Kg)</b> |
| Plomo                                                  | Manual de Métodos de análisis Físico-Químico de Alimentos, Aguas y Suelos. Ministerio de Salud. Instituto de Salud Publica 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 Publica 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 Publica 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 Publica 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 Publica 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°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 µm previamente tarada. El residuo retenido fue secado hasta peso constante a 103~105°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 ( $\text{pH} < 2$  con  $\text{HNO}_3$  a  $4^\circ\text{C}$ ).

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 ( $\text{pH} < 2$  con  $\text{HCl}$  a  $4^\circ\text{C}$ ). 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 básales.

## **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  $\text{HNO}_3$  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 moluscos bentónicos: *Argopecten purpuratus* (Ostión del Norte), y *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°C y 0.2 mBar respectivamente. Las exigencias de calidad son las que se norman en los procedimientos de acreditación, y por la ISO 17025. 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 SEPTIEMBRE 2014

#### 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 septiembre 2014, correspondiente al muestreo de invierno 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, septiembre 2014), asociado a marejadas y 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  $17,58 \pm 0,40^{\circ}\text{C}$  (rango:  $17,00$ - $18,10^{\circ}\text{C}$ ) en la superficie y de  $15,02 \pm 0,90^{\circ}\text{C}$  (rango:  $14,00$ - $16,40^{\circ}\text{C}$ ) en el fondo (TABLA 2). La columna de agua durante el muestreo presentó una estratificación térmica subsuperficial ( $\Delta T^{\circ}$  promedio de  $2,56 \pm 1,17^{\circ}\text{C}$ ), afectado por la profundización de la isoterma de los  $14^{\circ}\text{C}$  hacia estratos profundos 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 normal o neutra, asociada a la presencia de anomalías positivas de las temperaturas superficiales del océano costero en el Pacífico Suroriental (Boletín CIIFEN septiembre 2014). 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 (septiembre 2014), 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 septiembre 2014, se observa una condición oceanográfica neutra, pero durante estos últimos meses se detectan anomalías térmicas positivas en la columna de agua. Actualmente las condiciones térmicas son típicas de invierno, y están caracterizadas por una menor variabilidad térmica en la columna de agua (FIGURA 2) y la manifestación de intensos eventos de surgencia costera, alternados por períodos de relajación de surgencia.

## TRANSPARENCIA DE LA COLUMNA DE AGUA

La transparencia de la columna de agua, medida con Disco Secchi, tiene un valor promedio de  $3,60 \pm 0,55$  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 8 y 12 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 la Est.1 y Est.2 de referencia y máximo en las estaciones de monitoreo (Est.3 y Est.4) 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 aguajes o mareas rojas (Álvarez *et al.* 2011). Durante el muestreo, se manifestó una marea roja que abarcó 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 septiembre 2014 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 fue registrado en el presente muestreo, es frecuente que ocurran floraciones superficiales de microalgas no nocivas que tiñen las aguas de color café verdoso, y que son conocidas como “aguajes café” o “aguajes verde” o FAN (floración algal nociva) llamadas “mareas rojas” (Suárez & Guzmán 1998, Álvarez *et al.* 2011). Estos aguajes 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). El muestreo de invierno 2014 se realizó durante la fase de relajación de un evento de surgencia. Sin embargo, sólo unos pocos muestreos (*e.g.* invierno 2008, 2012) se han efectuado durante el inicio de un evento de surgencia caracterizado por una mínima productividad primaria.

## SÓLIDOS SUSPENDIDOS

La concentración promedio de sólidos suspendidos en las estaciones de muestreo fue de  $21,74 \pm 7,15$  mg/L, variando entre 3,63 y 27,07 mg/L (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  $24,95 \pm 2,15$  mg/L (rango: 21,70–26,46 mg/L), mientras que el estrato profundo fue de  $18,54 \pm 9,21$  mg/L (rango: 3,63–27,07 mg/L) (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 Sb, Zn disuelto, Pb disuelto, Hg y Ag en la columna de agua de las estaciones de muestreo en invierno 2014 están bajo los niveles mínimos de detección del instrumento o de certificación del método (TABLA 2).

El As en el agua de mar del área de estudio presentó una concentración promedio de  $1,83 \pm 0,74$  µg/L (rango: 1,50 y 3,70 µg/L); con una distribución homogénea en la columna de agua que alcanzó niveles de  $1,72 \pm 0,49$  µg/L (rango: 1,50–2,60 µg/L) en el estrato superficial y de  $1,94 \pm 0,98$  µg/L (rango: 1,50–3,70 µg/L) en el estrato profundo (TABLA 2).

El Cu en el agua de mar del área de estudio presentó una concentración promedio de  $50,10 \pm 6,92$  µg/L (rango: 31,00 y 54,00 µg/L); con una distribución estratificada en la columna de agua que alcanzó niveles de  $47,00 \pm 9,11$  µg/L (rango: 31,00–54,00 µg/L) en el estrato superficial y de  $53,20 \pm 0,84$  µg/L (rango: 52,00–54,00 µg/L) en el estrato profundo (TABLA 2).

El Zn disuelto en la columna de agua de mar presentó una concentración promedio que estuvo por debajo de límite de detección del instrumento o de certificación del análisis, mientras que el Zn Total tuvo una concentración promedio de  $41,00 \pm 6,51$  µg/L (rango: 32,0–49,0 µg/L). En la

columna de agua el Zn total tuvo una distribución homogénea. En el estrato superficial, la concentración promedio de Zn total fue de  $39,00 \pm 7,07$  µg/L (rango: 32,0-48,0 µg/L); mientras que en el estrato profundo la concentración promedio Zn total fue de  $43,0 \pm 5,96$  µg/L (rango: 33,0-49,0 µg/L), respectivamente (TABLA 2).

El Pb disuelto en la columna de agua de mar presentó una concentración promedio que estuvo por debajo de límite de detección del instrumento o de certificación del análisis, mientras que el Pb Total tuvo una concentración promedio de  $366,30 \pm 31,38$  µg/L (rango: 325,0-410,0 µg/L). El Pb total muestra una distribución estratificada en la columna de agua. En el estrato superficial, el Pb total registró una concentración promedio de  $371,00 \pm 36,82$  µg/L (rango: 325,0-410,0 µg/L). En el estrato profundo, el Pb total tuvo una concentración promedio de  $361,60 \pm 28,36$  µg/L (rango: 328,0-401,0 µg/L) (TABLA 2).

Durante el presente muestreo, el Cd en el agua de mar tuvo una concentración promedio de  $71,80 \pm 1,81$  µg/L, oscilando entre 70,0 y 75,0 µg/L. En la columna de agua, la concentración promedio de Cd en el estrato superficial fue de  $72,00 \pm 2,12$  µg/L (rango: 70,0-75,0 µg/L), mientras que en el estrato profundo fue de  $71,60 \pm 1,67$  µg/L (rango: 70,0-74,0 µg/L) (TABLA 2).

La concentración de Fe en el agua de mar fue de  $177,4 \pm 32,55$  µg/L, variando entre 140,0 y 218,0 µg/L. En la columna de agua, la concentración promedio de Fe fue de  $207,4 \pm 9,15$  µg/L (rango: 197,0-218,0 µg/L) en el estrato superficial y de  $147,40 \pm 7,06$  µg/L (rango: 140,0 y 158,0 µg/L) en el estrato profundo, respectivamente (TABLA 2).

La concentración de Cr en el agua de mar fue de  $46,14 \pm 6,87$  µg/L, variando entre 39,0 y 58,0 µg/L. En la columna de agua, la concentración promedio de Cr fue de  $41,0 \pm 1,41$  µg/L (rango: 40,0-42,0 µg/L) en el estrato superficial y de  $48,20 \pm 7,19$  µg/L (rango: 39,0 y 58,0 µg/L) en el estrato profundo, respectivamente (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  $74,00 \pm 23,00$  µg/L en la superficie, y de  $83,3 \pm 6,8$  µg/L en el fondo. El Zn presentó una concentración de  $83,8 \pm 65,0$  µg/L en superficie y  $172,5 \pm 27,5$  µg/L en el fondo, mientras que el Pb presentó un valor promedio de  $327,5 \pm 62,4$  µg/L en la superficie y de  $377,5 \pm 61,3$  µg/L 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 2014, 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 µg/L, desde invierno 2008 los valores promedios de este elemento disminuyen significativamente manteniéndose en un rango que oscila entre 10 y 60 µg/L, excepto en invierno 2011 para Zn total donde el valor promedio osciló entre 60-70 µg/L (FIGURA 3). El Cu, excluyendo los niveles máximos (por sobre 100 µg/L, *i.e.* marzo 2006, noviembre 2006, invierno 2011, verano 2012) y los mínimos (por debajo de 20 µg/L, *i.e.* mayo 2006, verano 2010, invierno 2012, verano 2014), muestra una tendencia temporalmente conservativa que oscila entre los 30 y 80 µg/L (FIGURA 3); aunque se mantuvo por sobre 80 µg/L en el periodo entre invierno 2011 y 2013. La concentración de Fe presenta una tendencia temporal en el agua de mar que oscila entre 100 y 200 µg/L, 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 µg/L durante el período 2007-2008. En los años 2008 y 2009, la concentración de Pb se estabiliza en torno a los 200 µg/L incrementando en el 2010 en torno a los 250 µg/L y 350 µg/L; mientras que en el período 2011-2012 incrementa nuevamente a niveles que oscilan entre 400 y 500 µg/L con concentraciones semejantes a las detectadas a inicios del PSM. Entre invierno 2013 e invierno 2014, el plomo total alcanza concentraciones promedio cercanas o menores a los detectados en el período 2007-2008 (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 µg/L. En los inviernos 2011, 2012, 2013 y 2014 se detectaron incremento significativo en la concentración promedio de Cd en agua de mar (aprox. 100 µg/L) 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 2014 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, arenas medianas, arenas finas y arenas muy finas asociadas al predominio de fracciones poco y moderadamente seleccionadas, con formas sesgadas a un alto o moderado exceso de granos finos o gruesos, o simétricas, en las colas de sus curvas granulométricas (TABLA 3). El contenido de materia orgánica en los sedimentos de las estaciones de muestreo tiene un promedio de  $25,44 \pm 8,54$  mg/g, con un rango de variación que oscila entre 15,10 mg/g (Est.5) y 35,80 mg/g (Est.4) (TABLA 3).

En las estaciones referenciales y control, se observan arenas gruesas (Est.1) y arenas medianas (Est.2) y arenas muy finas (Est.5), con un predominio de fracciones poco a moderadamente seleccionadas con formas simétricas o sesgadas a un moderado exceso de finos en las colas de sus curvas granulométricas, y con un contenido de materia orgánica que oscila entre 15,10 y 22,40 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, poco a moderadamente seleccionadas, con un moderado a alto exceso de gruesos en las colas de sus curvas granulométricas, y con un contenido de materia orgánica que oscila entre 32,60 y 35,80 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, arenas finas y arenas muy finas en la bahía. Estos sedimentos están asociados a fracciones moderada 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 35,80 mg/g) si se compara con bahías del sur (como por ejemplo bahía Concepción donde se han reportado valores por sobre los 100,0 mg/g), 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 MARINOS**

Durante el décimo quinto 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 Hg y Sb durante el muestreo de septiembre 2014 están bajo los niveles de detección del método o de certificación del instrumento en todas las estaciones de monitoreo de sedimentos (TABLA 4).

El Zn muestra un promedio de  $23,50 \pm 9,74$  mg/Kg, con una concentración mínima de 13,80 mg/Kg (Est.2) y una máxima de 34,00 mg/Kg (Est.3 y Est.4). El Cd tuvo un promedio de  $1,95 \pm 1,17$  mg/Kg en los sedimentos marinos, con una concentración mínima de 0,90 mg/Kg (Est.1 y Est.2) y una máxima de 3,62 mg/Kg (Est.4). La concentración de Cr en los sedimentos marinos presenta un valor promedio de  $16,86 \pm 3,78$  mg/Kg, con valores mínimos en la Est.1 (10,60 mg/Kg) y máximos en la Est.5 (20,00 mg/Kg). La concentración de Cu tuvo un valor promedio de  $14,60 \pm 9,77$  mg/Kg en el área de estudio, con un valor mínimo (2,40 mg/Kg) en la Est.4 y un máximo (28,00 mg/Kg) en la Est.3. Para el Fe, la concentración promedio observada en los sedimentos marinos fue de  $6.562 \pm 1.753$  mg/Kg, fluctuando entre 4.735 mg/Kg (Est.5) y 8.749 mg/Kg (Est.1). La concentración promedio del Pb en los sedimentos marinos fue de  $7,91 \pm 6,26$  mg/Kg, con un valor mínimo en la Est.2 (2,50 mg/Kg) y un máximo en la Est.4 (15,30 mg/Kg). La concentración promedio del As en los sedimentos marinos fue de  $2,35 \pm 0,96$  mg/Kg, con un nivel mínimo en la Est.1 (0,79 mg/Kg) y un máximo en la Est.4 (3,22 mg/Kg), respectivamente (TABLA 4). La concentración promedio del Ag en los sedimentos marinos fue de  $1,59 \pm 0,70$  mg/Kg, con un nivel mínimo en la Est.12 (1,04 mg/Kg) y un máximo en la Est.3 (2,67 mg/Kg), respectivamente (TABLA 4).

En la décima quinta 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 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  $16,78 \pm 4,71$  mg/Kg para Cu,  $9,34 \pm 1,66$  mg/Kg para Pb y  $17,60 \pm 2,99$  mg/Kg 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 2012, 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 el décimo quinto muestreo 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, excepto durante enero y mayo del 2007 donde ocurren incrementos significativos que aumentan la variabilidad temporal de este elemento traza (FIGURA 5). El Cr en los sedimentos marinos de la bahía alterna una fase de altos niveles de concentración (20 a 40 mg/Kg) durante 2006 y 2008; y con otra de bajos valores (entre 10 y 20 mg/Kg en verano y otoño 2007); estos últimos niveles se han mantenido hasta la actualidad desde el año 2009 (FIGURA 5). La concentración promedio de Cu oscila entre 10 y 20 mg/Kg a lo largo del período de estudio, excepto en invierno 2009 y verano 2011 donde aumentan significativamente (FIGURA 5). 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, con niveles mínimos en enero 2007 e invierno 2009, 2011 y 2012 (FIGURA 5). 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 (FIGURA 5). 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 entre 2006 y 2008; posteriormente los niveles incrementan significativamente hasta alcanzar valores cercanos a 20 mg/kg 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 2014 que rondan entre 10 y 20 mg/kg (FIGURA 5). El Zn en los sedimentos marinos de la bahía oscila temporalmente entre 10 y 70 mg/Kg en el área de estudio, aunque muestra incrementos significativos en septiembre y noviembre 2006 y durante los muestreos verano e invierno 2008 (FIGURA 5). 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 y 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 (ostión del norte: *Argopecten purpuratus*; choro: *Choromytilus chorus*) para el análisis químico de sus partes blandas (TABLA 5).

## **BIOTA INTERMAREAL**

Durante el décimo quinto muestreo 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 Sb y Ag durante el muestreo de septiembre 2014 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  $1,185 \pm 0,335$  mg/Kg, con una concentración mínima de 0,921 mg/Kg (Est.2) y máxima de 1,700 mg/Kg (Est.4) (TABLA 5). El Cd tuvo una concentración promedio de  $6,77 \pm 2,96$  mg/Kg, variando entre 3,72 mg/Kg (Est.2) y 11,70 mg/Kg (Est.5). El Zn tuvo una concentración promedio de  $52,40 \pm 8,32$  mg/Kg, variando entre 41,00 mg/Kg (Est.5) y 64,00 mg/Kg (Est.1) (TABLA 5). La concentración de Cu en las partes blandas de *Emerita análoga* osciló entre 48,00 (Est.5) y 86,00 (Est.1 y Est.2) mg/Kg en las estaciones de muestreo, con un promedio de  $70,80 \pm 15,90$  mg/Kg en el área de estudio. La concentración de Fe presentó un valor promedio de  $342,20 \pm 99,38$  mg/Kg, variando entre una concentración mínima en la Est.4 (242,0 mg/Kg), y una máxima en la Est.1 (487,0 mg/Kg). Mientras que el Cr tuvo una concentración promedio de  $5,15 \pm 0,17$  mg/Kg, que osciló

entre un mínimo de 4,99 mg/Kg (Est.3) y un máximo de 5,39 mg/Kg (Est.5). El Pb tuvo una concentración promedio de  $12,48 \pm 3,47$  mg/Kg que osciló entre un mínimo de  $<0,2$  mg/Kg (Est.3 y Est.5) y un máximo de 16,40 mg/Kg (Est.1) (TABLA 5).

Al igual que en los muestreos 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  $34,54 \pm 24,57$  mg/kg para el Cu, de  $9,43 \pm 3,37$  mg/kg para el Pb y de  $30,67 \pm 13,63$  mg/kg 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 2013). En general, los niveles de metales en partes blandas de pulgas de mar muestran una alta variabilidad estacional e interanual.

Durante el décimo quinto 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 para el Zn, entre 50 y 100 para el Cu y entre 5 y 15 mg 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, oscilando entre 20 y 25 mg por kg (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

(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 que oscilan entre 250 y 500 mg/kg, excepto en invierno 2009 y verano 2011 para el Fe donde el promedio alcanza 1500 mg/kg. Para el Cd, desde el 2011, la concentración oscila entre 5 y 15 mg/ Kg, 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, el 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 décimo quinto 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* y ostión del norte *Argopecten purpuratus*) ha sido estocástica. En este contexto, 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 Sb, Ag y Pb durante el muestreo de septiembre 2014, 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 As presentó un valor promedio de  $1,020 \pm 0,463$  mg/Kg, con una concentración mínima de 0,630 mg/Kg (Est.5) y máxima de 1,780 mg/Kg (Est.2) (TABLA 5). El Cd presentó un valor promedio de

5,92±2,49 mg/Kg, con una concentración mínima de 1,92 mg/Kg (Est.3) y máxima de 8,33 mg/Kg (Est.5) (TABLA 5). El Zn presentó una concentración promedio de 103,80±66,90 mg/Kg, con una concentración mínima de 41,00 mg/Kg (Est.3) y una máxima de 186,00 mg/Kg (Est.2) (TABLA 5). La concentración de Cu en las partes blandas de la biota submareal en las estaciones de muestreo varió entre 12,70 mg/Kg (Est.5) y 112,00 mg/Kg (Est.1), con una concentración promedio de 35,48±42,83 mg/Kg en el área de estudio (Tabla 5).

La concentración promedio de Fe en los tejidos de la biota submareal fue de 175,20±130,06 mg/Kg, variando entre 62,00 mg/Kg (Est.3) y 324,00 mg/Kg (Est.1); mientras que la concentración promedio de Cr fue de 5,28±0,80 mg/Kg, con un rango de variación que va desde 4,48 mg/kg (Est.3) hasta 6,44 mg/Kg (Est.5) (TABLA 5). La concentración de Hg en las partes blandas de la biota submareal en las estaciones de muestreo varió entre 0,14 mg/Kg (Est.1) y 0,25 mg/Kg (Est.4), con una concentración promedio de 0,16±0,05 mg/Kg en el área de estudio (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 las partes blandas de moluscos 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. Sin embargo, en verano 2011 la concentración de As mostró un incremento de un orden de magnitud con respecto a los muestreos posteriores. 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 mg/kg. La variación temporal de la concentración promedio de Zn, Cu, Pb y Fe sigue una tendencia semejante a la descrita para Cd. Aunque las concentraciones difieren en magnitudes, es común para cada elemento traza detectar una alta variabilidad entre muestreos (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, con una alta dispersión en el invierno 2012 e incrementos significativos en verano 2011 y verano 2014. El periodo 2009-2014, se caracteriza por una alta variabilidad espacial para el Cu, oscilando entre 15 y 75 mg/kg, excepto en verano 2012 donde se detectan los valores mínimos. Desde el 2009, el Fe oscila entre 100 y 500 mg/kg, 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, invierno 2014) (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 septiembre 2014, 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 el décimo quinto 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 decima quinta campaña, realizada en septiembre 2014, 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 (Tº C) durante el muestreo de septiembre 2014 evidencia una situación de invierno tardío. Los registros de temperatura indican una condición oceanográfica neutral o normal con una tendencia anómala asociadas a un evento El Niño débil en magnitud (Boletín CIIFEN septiembre 2014).

En el presente muestreo 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 quinto 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 2010-2014, 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) a aguajes 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 del muestreo de septiembre 2014, 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 formado por una estaciones de monitoreo (Est.4) y la estación de control (Est.5), que se diferencia de otro grupo formado por las estaciones de referencia (Est1. y Est.2) y la otra estación de monitoreo (Est.1) (FIGURA 8). En el estrato profundo de la columna de agua se observa una asociación distinta entre estaciones de muestreo. Un grupo conformado por la estación de control (Est.5) y una estación de monitoreo (Est.4) que se separa de un grupo conformado por una estación de referencia (Est.1), luego de la otra (Est.2), y finalmente de la otra estación de monitoreo (Est.3) (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 temperatura del agua de mar (D2), sólidos suspendidos, As, Zn y Hg,
- II.- CLASE 2 para Cu y Cr,
- III.- CLASE 3 para Pb y Cd.

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 a sesgadas a un alto a moderado exceso de granos finos o 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 septiembre 2014, 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 poco a moderadamente seleccionadas con formas simétricas o sesgadas a un moderado exceso de finos 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 poco a moderadamente seleccionadas con formas sesgadas a un alto a moderado 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 acreción 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 septiembre 2014 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 septiembre 2014, 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 muestra que las estaciones están subdivididas en dos grupos claramente diferenciados. Un grupo compuesto por las estaciones de monitoreo (Est.3 y Est.4), fuertemente asociada a la (Est.5), que se diferencian notoriamente de las estaciones referenciales (Est.1 y Est.2) (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 de nivel medio-leve y altamente 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 el décimo quinto muestreo del PSM durante la etapa de operación de las ampliaciones portuarias de PM están 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 2006-2014 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 en la bahía en transición hacia una potencial manifestación de un evento El Niño (CIIFEN, boletín abril 2014).

El análisis de conglomerado y nMDS de la concentración de metales pesados en partes blandas de *Emerita analoga* recolectadas en el muestreo de septiembre 2014 (FIGURA 13) no discriminan entre las estaciones aledañas a Puerto Mejillones (Est.3 y Est.4) y las estaciones de referencia (Est.1 y Est.2) y control (Est.5). En el análisis se observa dos grupos de estaciones segregadas en función de la concentración de los elementos medidos en partes blandas de pulgas de mar. El primer grupo está formado por una estación de monitoreo (Est.4) y las dos estaciones de referencial (Est.1, Est.2), que se diferencia de un segundo grupo conformado por la otra estación de monitoreo (Est.3) y la estación control (Est.5) (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 clasificados entre las estaciones de muestreo. Una asociación ocurre entre las estaciones de referencia (Est.1 y Est.2), que se diferencia de otra asociación formada por la estación control (Est.5) y ambas estaciones de

monitoreo (Est.4 y 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 (López *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.

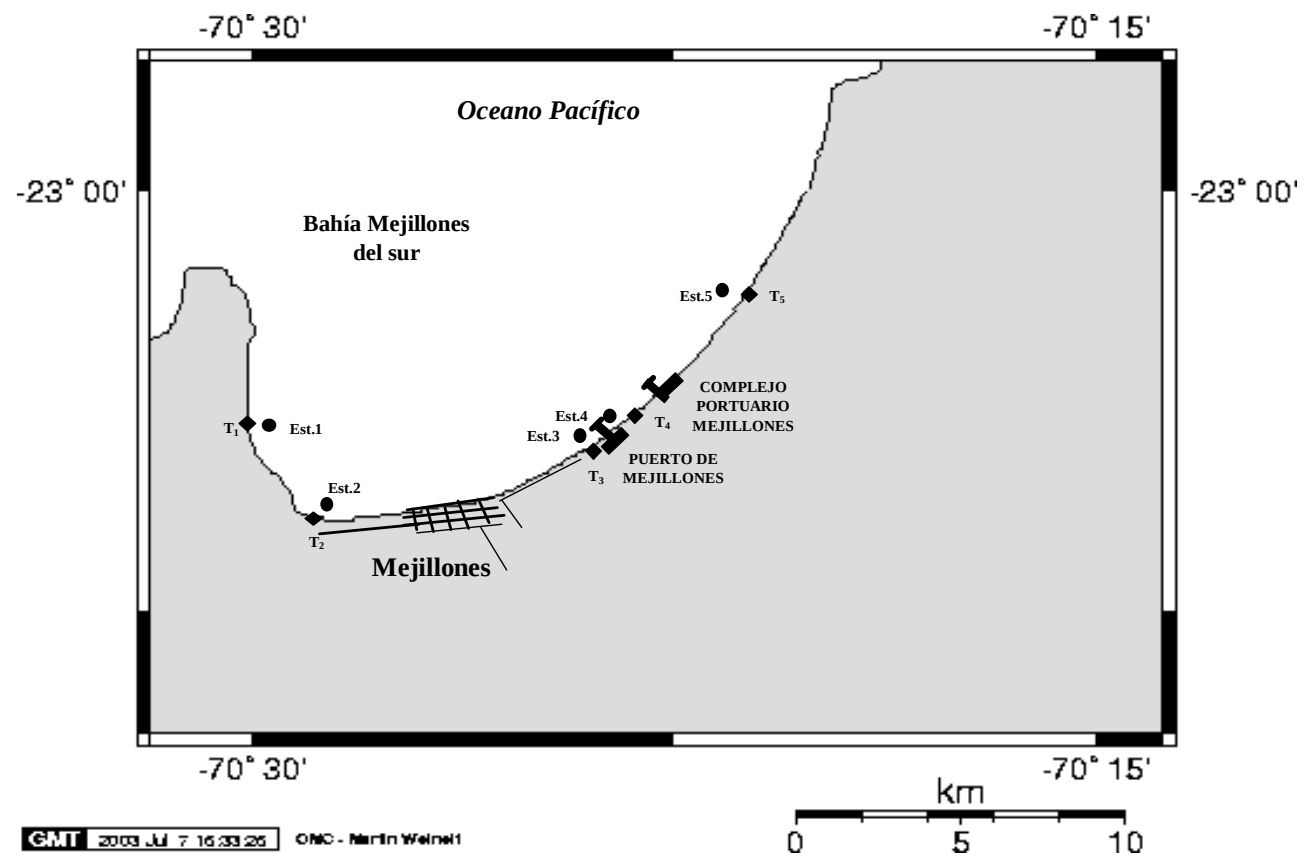
## LITERATURA CITADA

- 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 2011. Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno de El Niño. Boletín marzo 2011. [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 ARRIAGADA. 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.

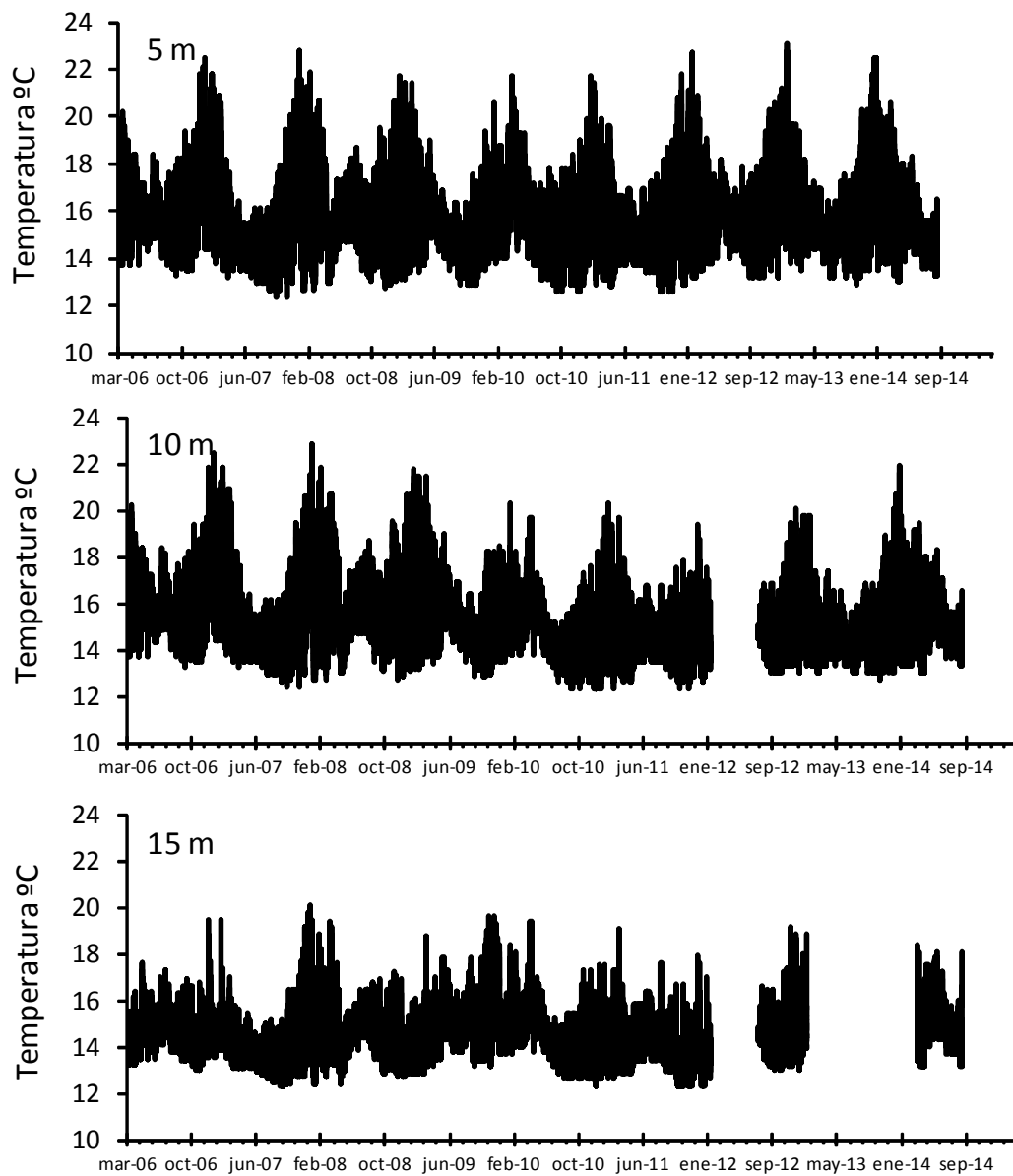
- NATIONAL RESEARCHES COUNCIL CANADA - CONSEIL NATIONAL DE RECHERCHES CANADA. 2004. HISS-1, MESS-3, PACS-2. Marine Sediment Reference Materials for trace metals and other constituents. NRCC-CNRC. Certified Reference Material. 4 pp.
- SUÁREZ B & L GUZMÁN. 1998. Mareas rojas y toxinas marinas, Floraciones de algas nocivas. Editorial Universitaria, 77 pp.
- TOWNSEND AT, PALMER AS, STARK SC, SAMSON C, RC SCOULLER & 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. 2012. Programa Anual de Seguimiento del Medio Ambiente Marino "Terminal 1" Complejo Portuario Mejillones". Informe Anual 2012. Puerto Angamos.
- WENTWORTH CK. 1922. A scale of grade and class terms for clastic sediments. Journal of Geology 30: 377-392.

## **FIGURAS**

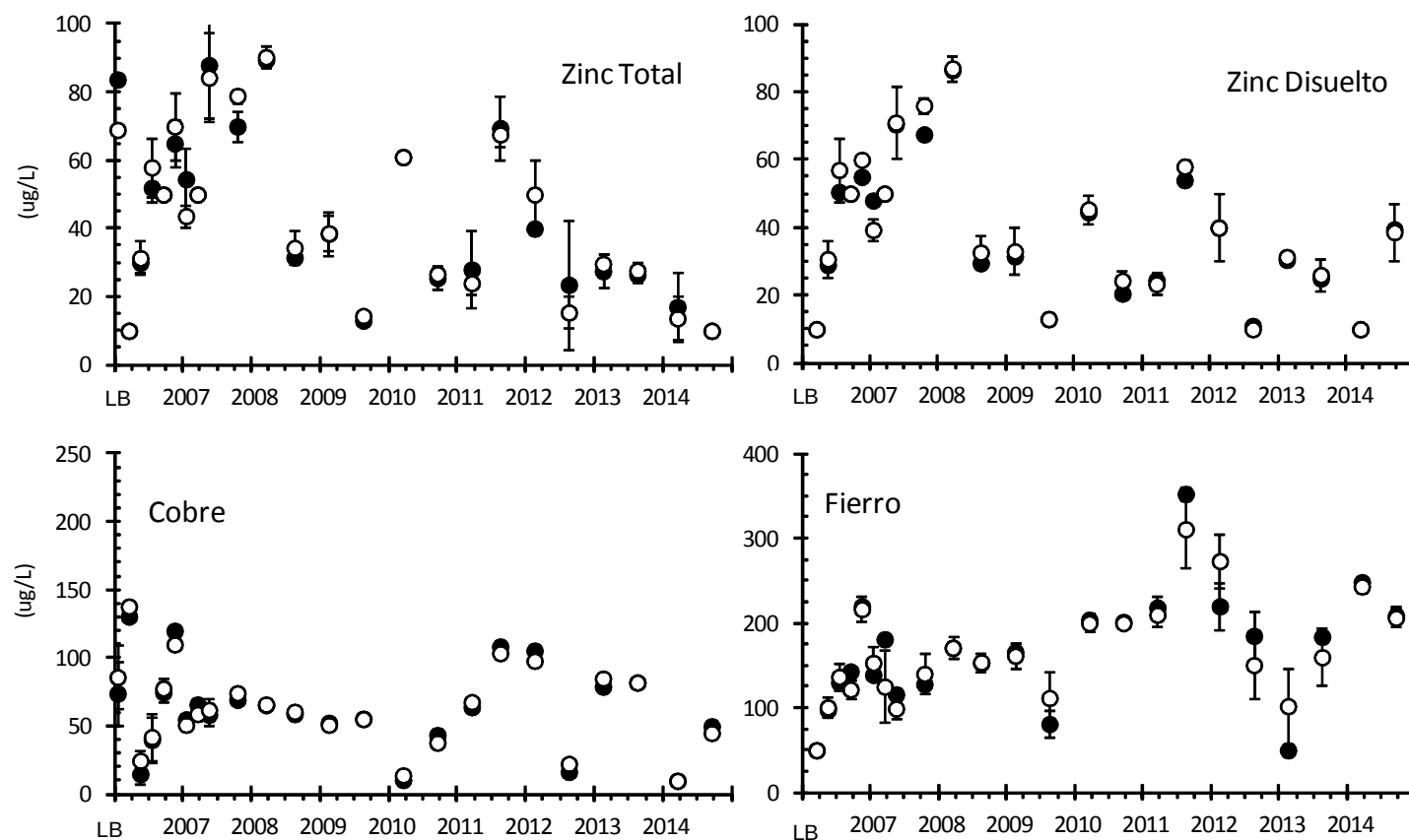




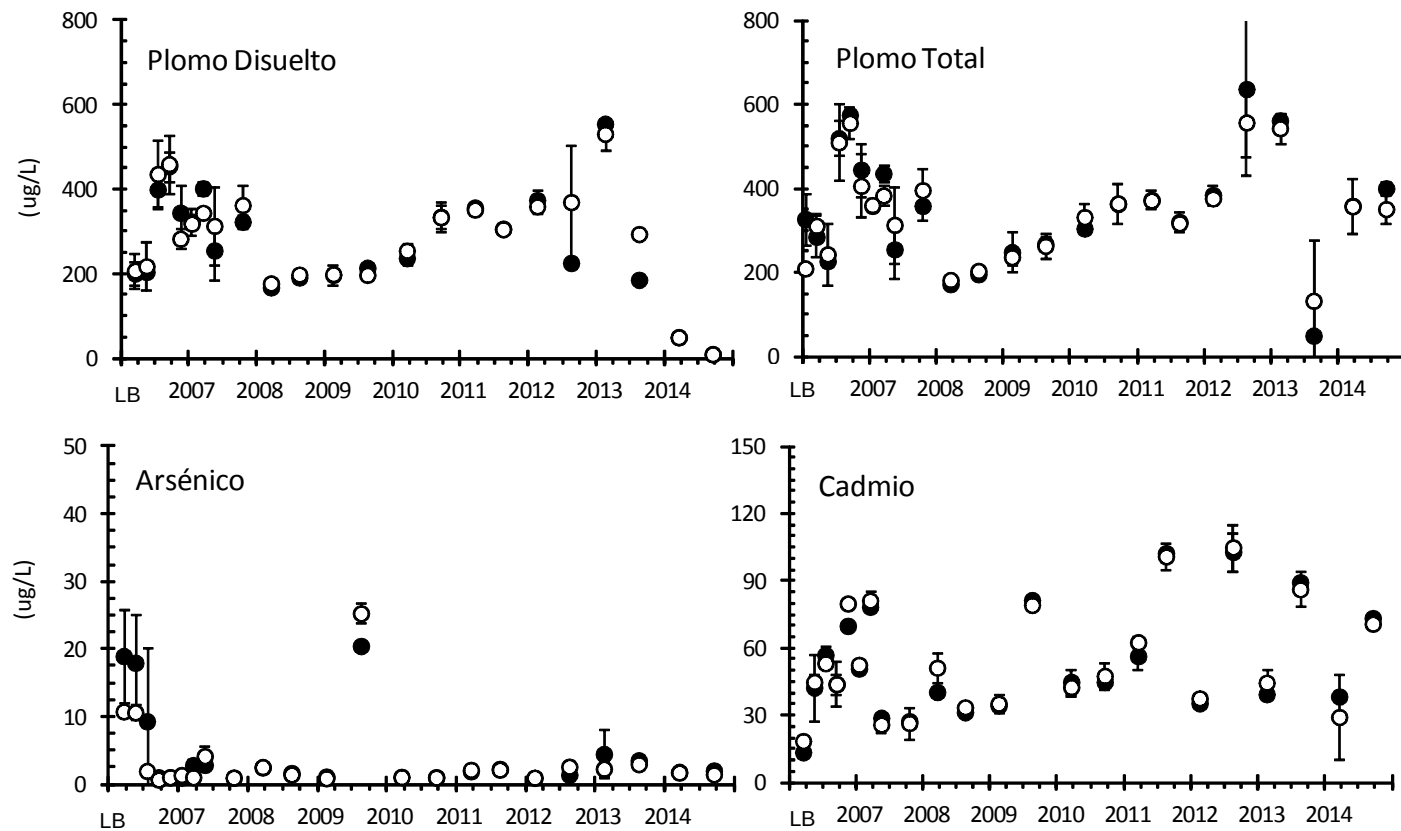
**FIGURA 1. PUERTO MEJILLONES.** Mapa esquemático que indica la ubicación de las estaciones de muestreo de la columna de agua, de los sedimentos y de la fauna submareal (Est. y círculos). Además, se muestran las transectas intermareales para la recolección de fauna intermareal (T y rombos) del Programa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



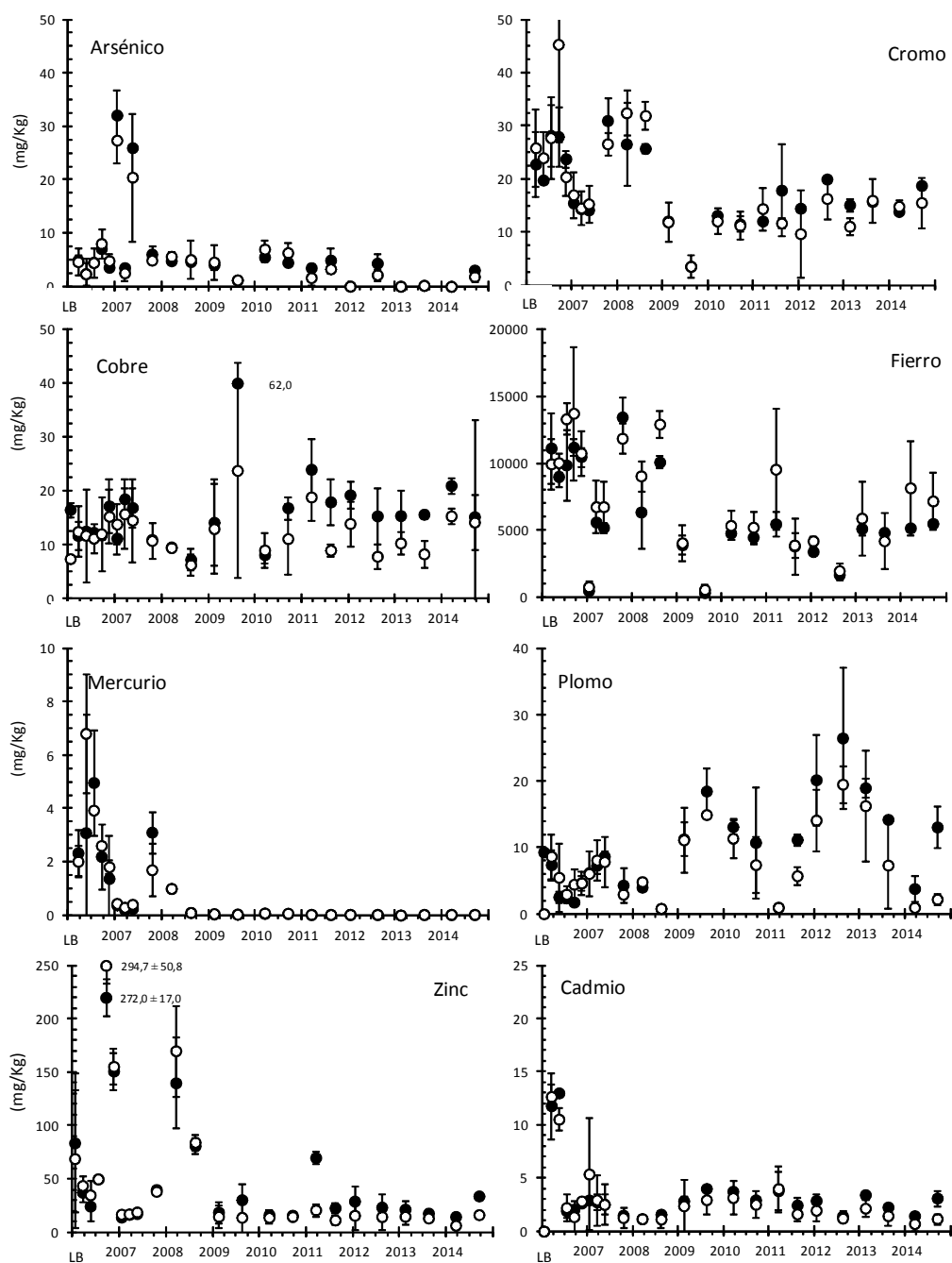
**FIGURA 2. PUERTO MEJILLONES.** Variación temporal de la temperatura (° C) por estrato de profundidad (m) en el área de estudio del PSM. MONITOREO SEPTIEMBRE 2014.



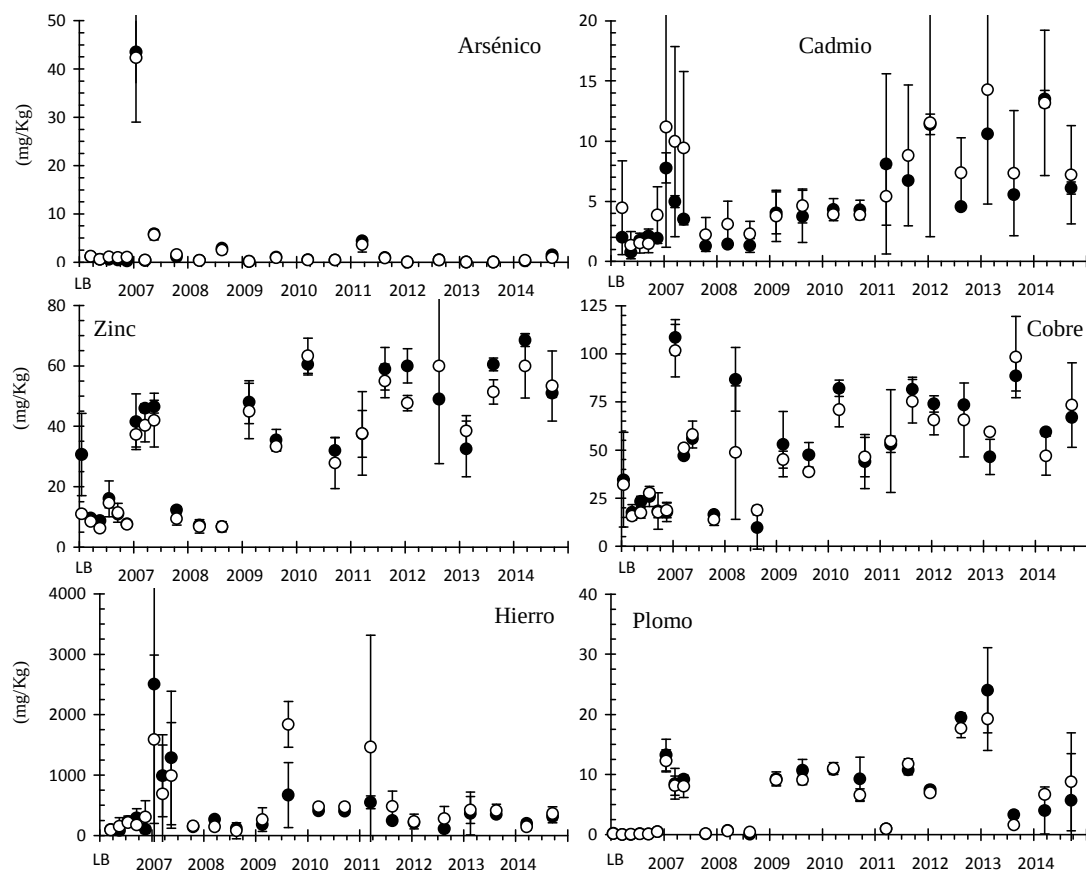
**FIGURA 3. PUERTO MEJILLONES.** Variabilidad temporal de los parámetros ambientales evaluados en el estrato superficial de la columna de agua de mar. Contraste de la concentración de metales pesados entre estaciones "referenciales y control" (círculos abiertos) y estaciones de monitoreo (círculos cerrados) del PSM. **MONITOREO SEPTIEMBRE 2014.** Media  $\pm$  DS. LB: Línea Base.



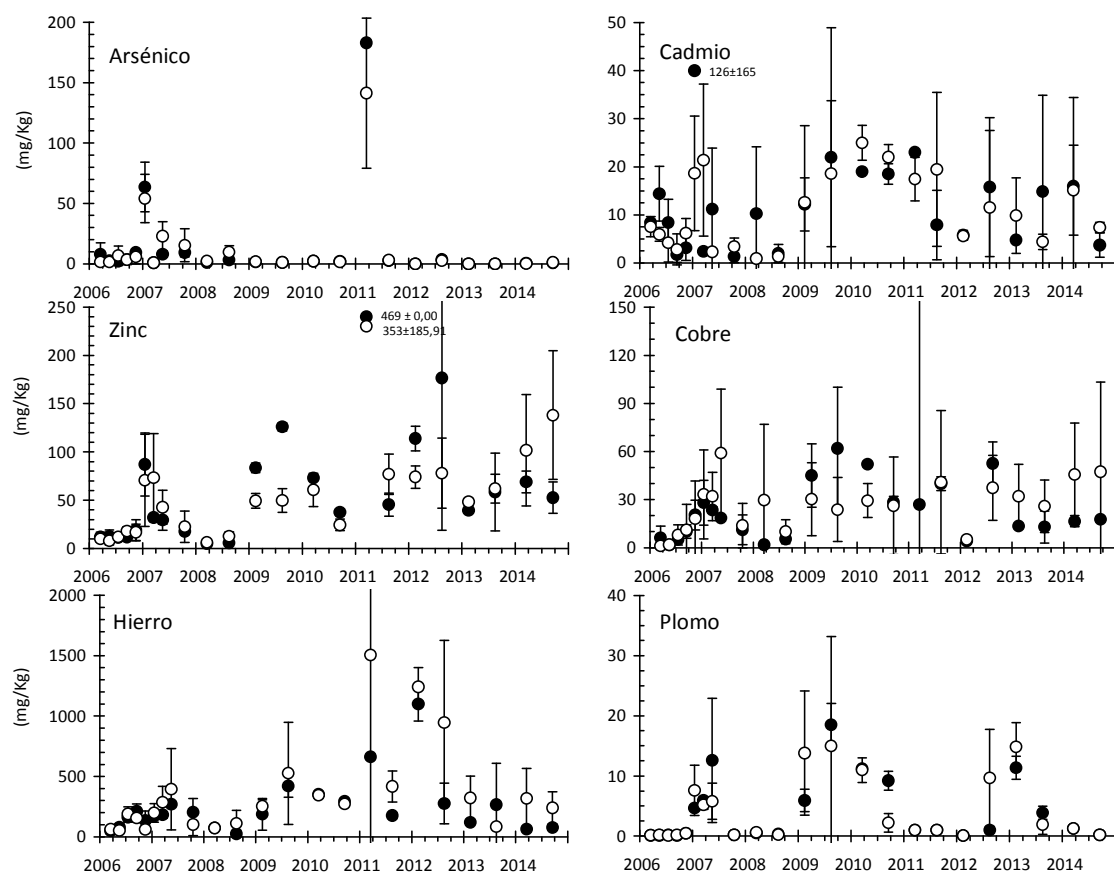
**FIGURA 4. PUERTO MEJILLONES.** Variabilidad temporal de los parámetros ambientales evaluados en el estrato superficial de la columna de agua de mar. Contraste de la concentración de metales pesados entre estaciones "referenciales y control" (círculos abiertos) y estaciones de monitoreo (círculos cerrados) del PSM. **MONITOREO SEPTIEMBRE 2014.** Media  $\pm$  DS. LB: Línea Base.



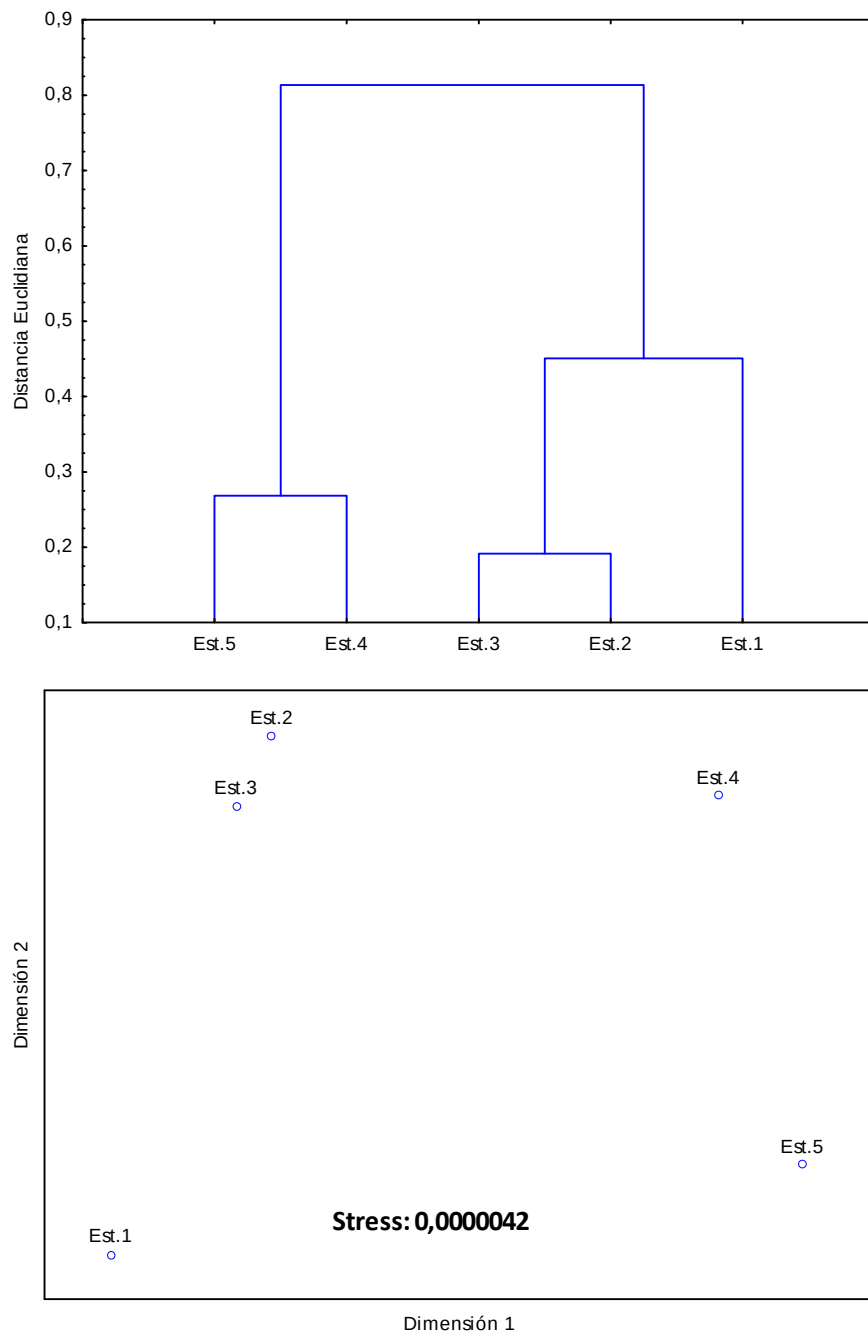
**FIGURA 5. PUERTO MEJILLONES.** Variabilidad temporal de parámetros ambientales evaluados en los sedimentos de fondos blandos submareales en el área de estudio. Contraste entre las estaciones "referenciales y control" (círculos abiertos) y estaciones de monitoreo (círculos cerrados) del PSM. **MONITOREO SEPTIEMBRE 2014.** 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 SEPTIEMBRE 2014.** Media +/- DS. LB: Línea Base.

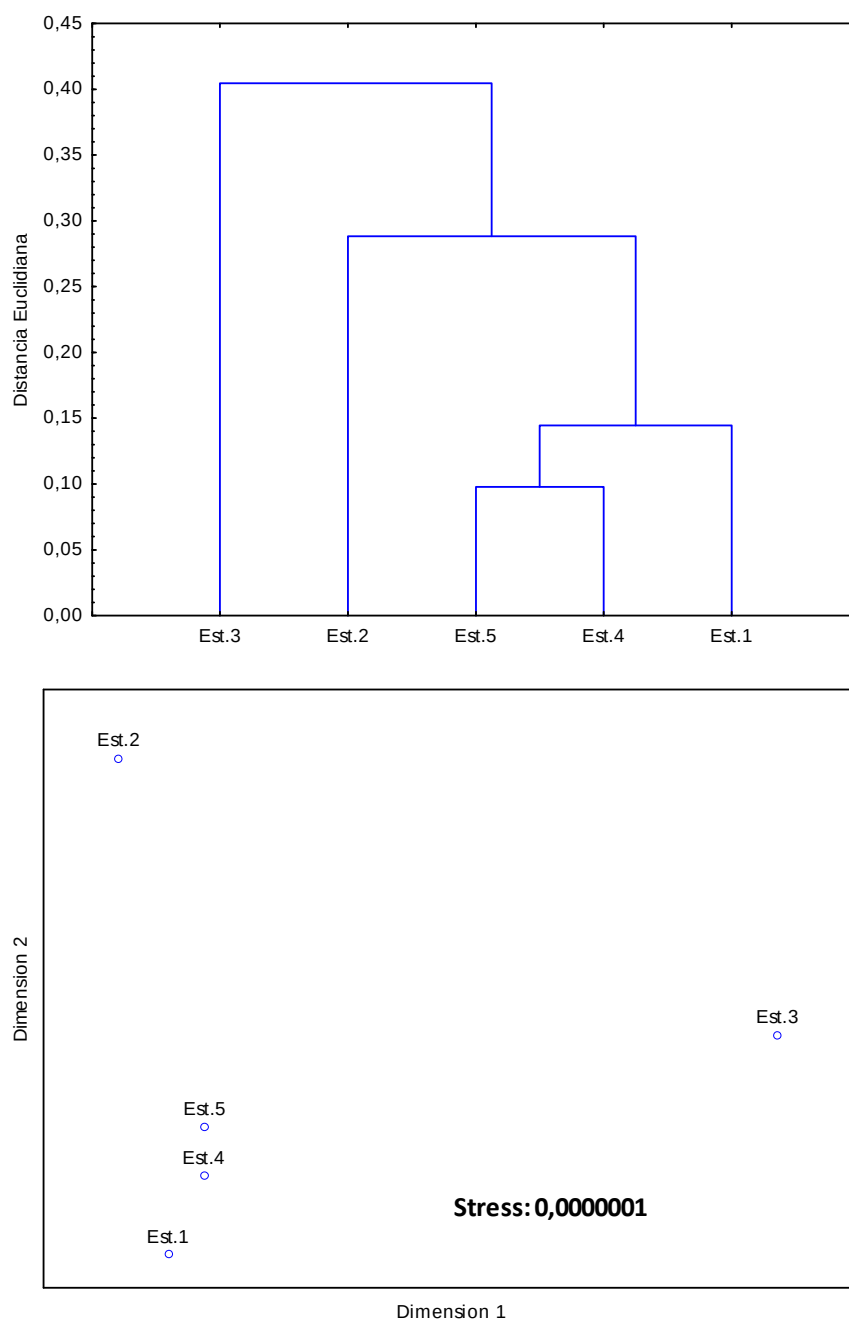


**FIGURA 7. PUERTO MEJILLONES.** Variabilidad temporal de parámetros ambientales evaluados en partes blandas de Moluscos Bivalvos en el área de estudio. Contraste entre las estaciones "referenciales y control" (círculos abiertos) y estaciones de monitoreo (círculos cerrados) del **PSM. MONITOREO SEPTIEMBRE 2014.** 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.

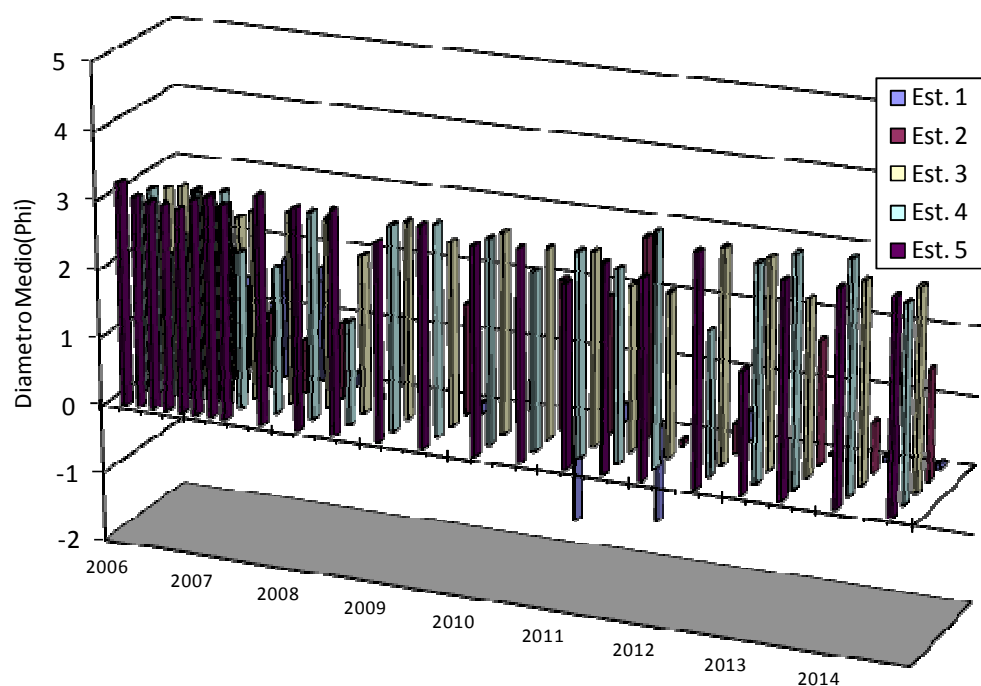


**FIGURA 8. PUERTO MEJILLONES.** Análisis multidimensional de las variables químicas en el estrato **SUPERFICIAL** de la columna de agua en las estaciones de muestreo del **PSM. MONITOREO SEPTIEMBRE 2014.**

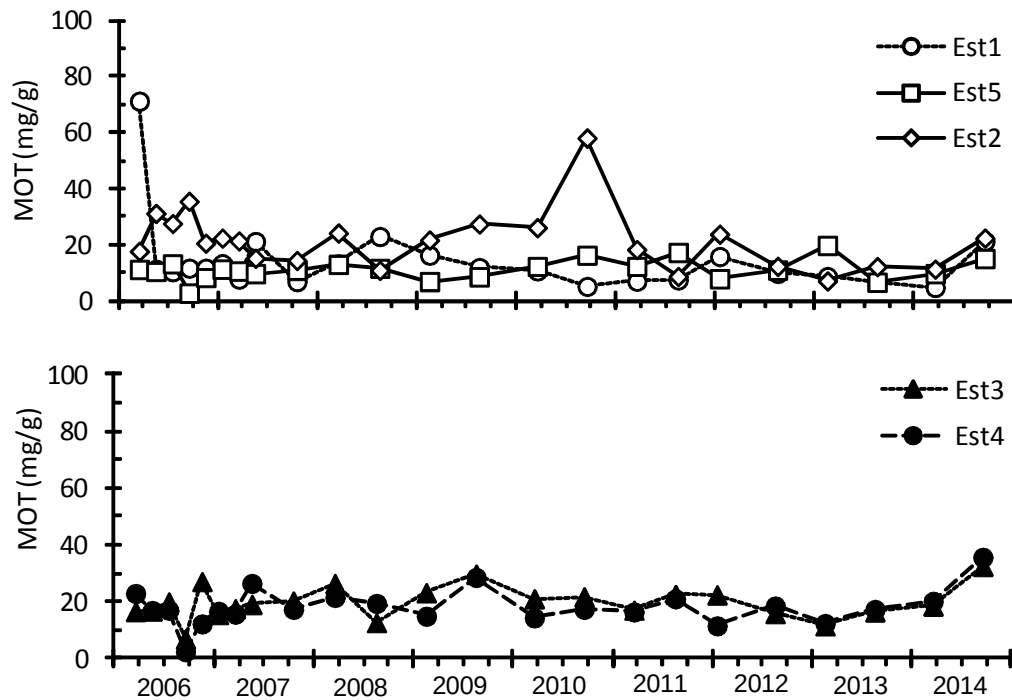




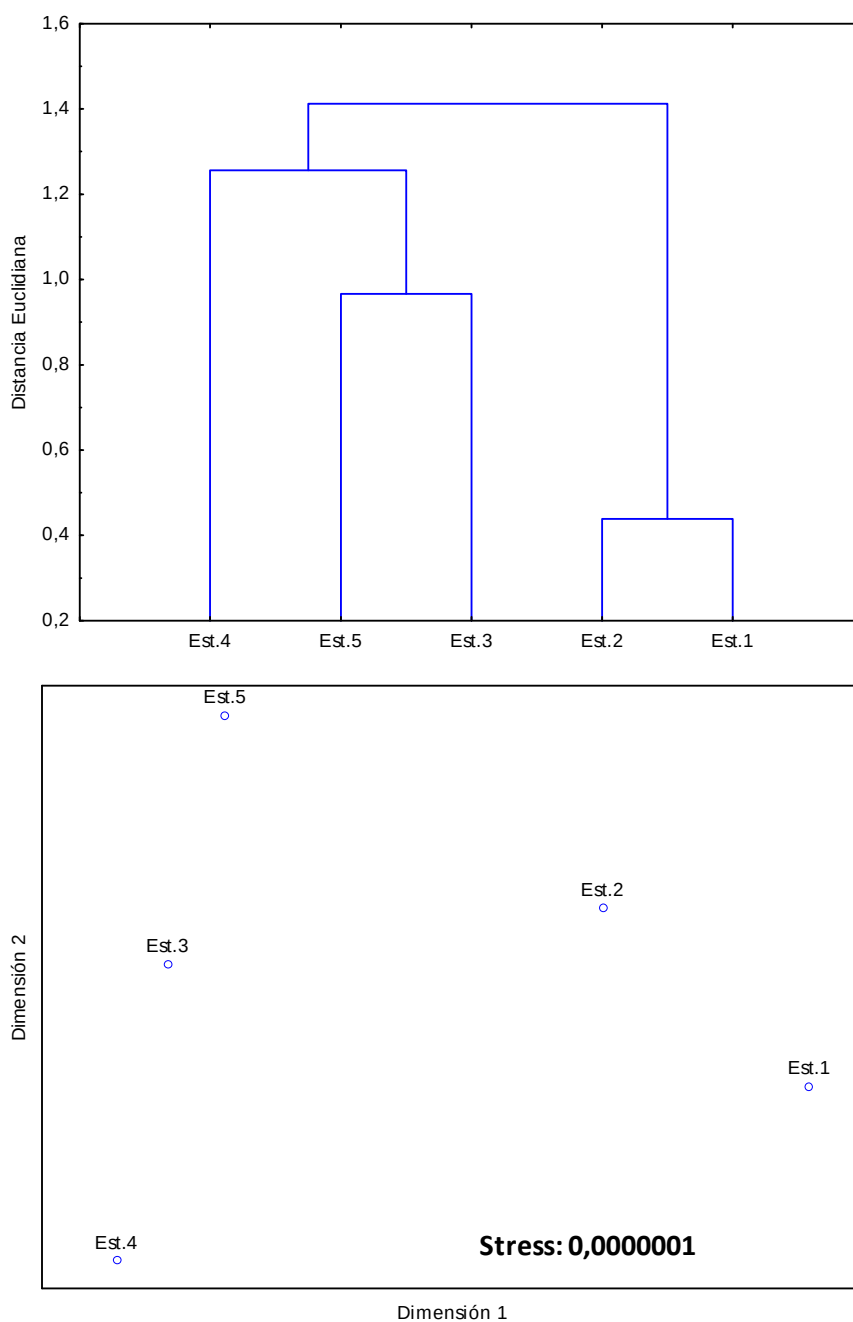
**FIGURA 9. PUERTO MEJILLONES.** Análisis multidimensional de las variables químicas del estrato **PROFUNDO** de la columna de agua en las estaciones de muestreo del **PSM. MONITOREO SEPTIEMBRE 2014.**



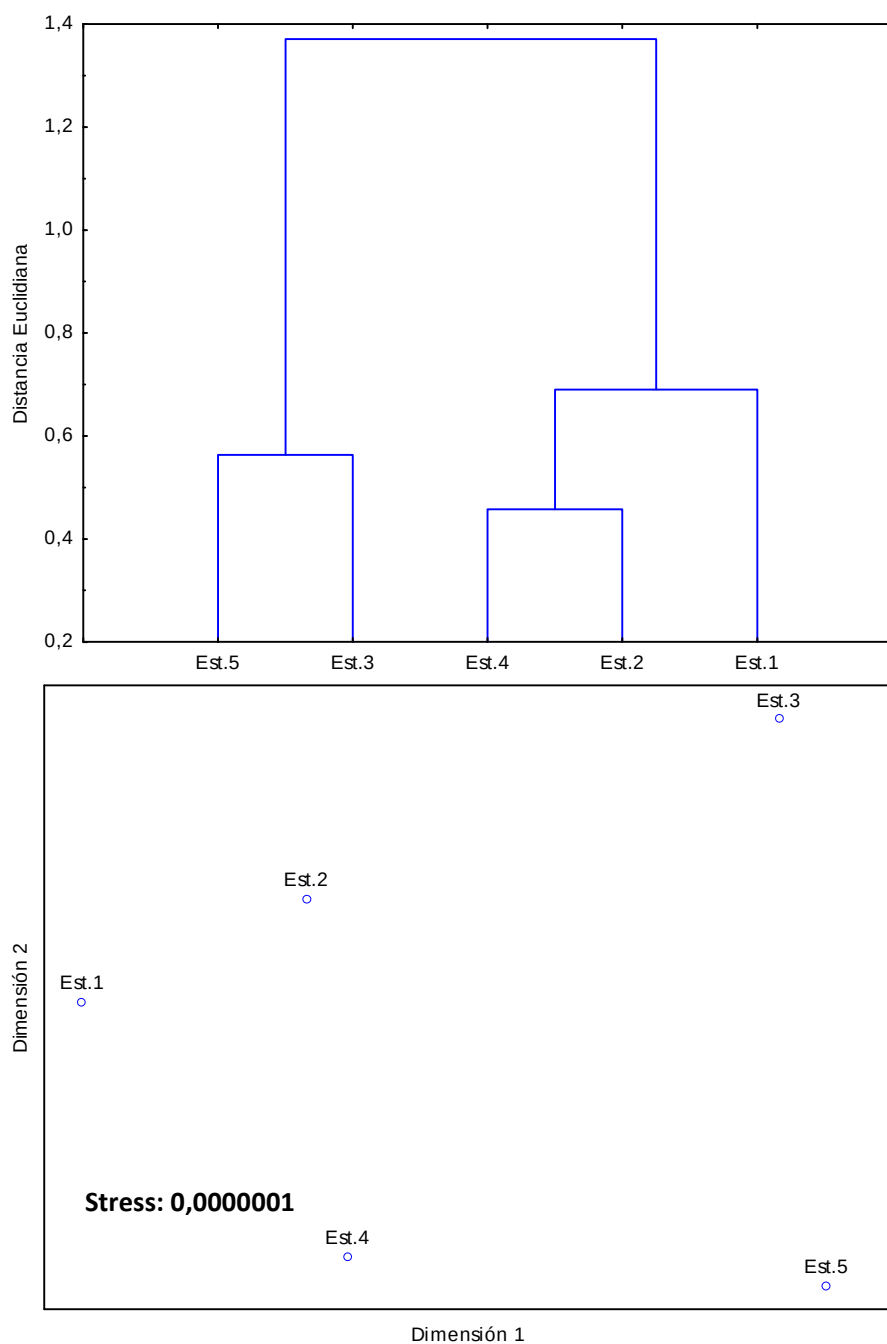
**FIGURA 10. PUERTO MEJILLONES.** Variabilidad temporal del **DIAMETRO PROMEDIO** de los sedimentos submareales del **PSM. MONITOREO SEPTIEMBRE 2014.**



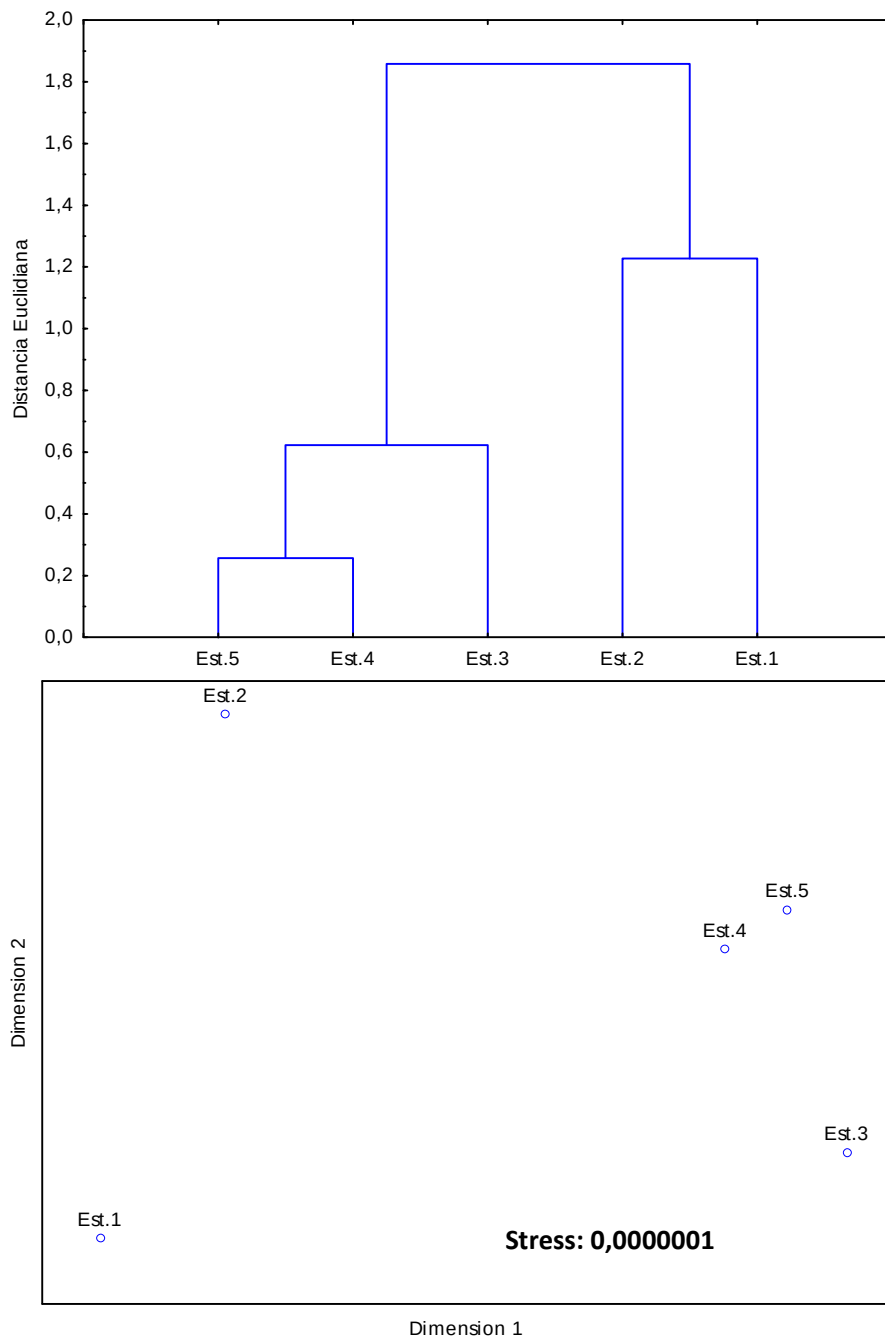
**FIGURA 11. PUERTO MEJILLONES.** Variabilidad temporal de la materia orgánica de los sedimentos submareales. Contraste entre las estaciones de referencia (Est. 1: Círculo; Est. 2: Rombo) y control (Est. 5; Cuadrado) y las estaciones de monitoreo (Est. 3: Triangulo; Est. 4: Círculo) del **PSM**. **MONITOREO SEPTIEMBRE 2014.**



**FIGURA 12. PUERTO MEJILLONES.** Análisis multidimensional de las variables químicas en los sedimentos de las estaciones submareales en el muestreo del **PSM. MONITOREO SEPTIEMBRE 2014.**



**FIGURA 13. PUERTO MEJILLONES.** Análisis multidimensional de las variables químicas en biota intermareal (*Emerita analoga*) en las transectas intermareales de muestreo del **PSM. MONITOREO SEPTIEMBRE 2014.**



**FIGURA 14. PUERTO MEJILLONES.** Análisis multidimensional de las variables químicas en biota submareal (moluscos bivalvos) en las estaciones submareales de muestreo del **PSM. MONITOREO SEPTIEMBRE 2014.**

## **TABLAS**

**TABLA 1. PUERTO MEJILLONES.** Coordenadas (UTM) de las estaciones de muestreo intermareales y de las estaciones de muestreo submareales del **PSM. MONITOREO SEPTIEMBRE 2014.**

| <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 SEPTIEMBRE 2014.** (“<” 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)               |    | 3,0 m      |       | 3,0 m      |       | 4,0 m      |       | 4 m        |       | 4 m        |       |
| Temperatura [°C]           |    | 17,60      | 14,00 | 18,10      | 15,20 | 17,70      | 14,50 | 17,00      | 16,40 | 17,50      | 15,00 |
| Sólidos totales [mg/L]     |    | 39,40      | 39,80 | 40,60      | 41,00 | 40,30      | 42,30 | 41,10      | 40,40 | 40,50      | 39,90 |
| Sólidos suspendidos [mg/L] |    | 21,70      | 17,40 | 26,42      | 27,07 | 23,75      | 25,00 | 26,41      | 19,59 | 26,46      | 3,63  |
| <b>METALES</b>             |    |            |       |            |       |            |       |            |       |            |       |
| Antimonio(ug/L)            | Sb | <30        | <30   | <30        | <30   | <30        | <30   | <30        | <30   | <30        | <30   |
| Arsénico [ug/L]            | As | 1,50       | 1,50  | 1,50       | 1,50  | 2,60       | 3,70  | 1,50       | 1,50  | 1,50       | 1,50  |
| Cadmio [ug/L] Total        | Cd | 73         | 70    | 70         | 74    | 72         | 72    | 75         | 72    | 70         | 70    |
| Cinc [ug/L] Total          | Zn | 32         | 49    | 48         | 33    | 45         | 44    | 34         | 44    | 36         | 45    |
| Cinc [ug/L] disuelto       | Zn | <10        | <10   | <10        | <10   | <10        | <10   | <10        | <10   | <10        | <10   |
| Cobre [ug/L]               | Cu | 31         | 54    | 54         | 54    | 50         | 52    | 50         | 53    | 50         | 53    |
| Cromo (ug/L) Total         | Cr | <10        | 52    | <10        | 58    | <10        | 39    | 40         | 45    | 42         | 47    |
| Hierro (ug/L)              | Fe | 197        | 140   | 218        | 158   | 202        | 149   | 216        | 148   | 204        | 142   |
| Mercurio [ug/L]            | Hg | <0,20      | <0,20 | <0,20      | <0,20 | <0,20      | <0,20 | <0,20      | <0,20 | <0,20      | <0,20 |
| Plata [ug/L]               | Ag | <20        | <20   | <20        | <20   | <20        | <20   | <20        | <20   | <20        | <20   |
| Plomo [ug/L] Disuelto      | Pb | <10        | <10   | <10        | <10   | <10        | <10   | <10        | <10   | <10        | <10   |
| Plomo [ug/L] Total         | Pb | 339        | 328   | 390        | 370   | 391        | 401   | 410        | 341   | 325        | 368   |

**TABLA 3. PUERTO MEJILLONES.** Diámetro medio, Clasificación, Selección, Asimetría y Materia Orgánica del sedimento en los transectos intermareales y en las estaciones submareales de muestreo del **PSM. MONITOREO SEPTIEMBRE 2014.**

| Estación de muestreo               | Est. 1             | Est. 2        | Est. 3               | Est. 4               | Est. 5             |
|------------------------------------|--------------------|---------------|----------------------|----------------------|--------------------|
| <b>Profundidad (m)</b>             | 19 m               | 17 m          | 21 m                 | 18 m                 | 18 m               |
| <b>Diámetro medio (Phi)</b>        | 0,08               | 1,59          | 2,91                 | 2,83                 | 3,09               |
| <b>Clasificación de las arenas</b> | Arena Gruesa       | Arena Mediana | Arena Fina           | Arena Fina           | Arena muy Fina     |
| <b>Grado de Selección</b>          | 1,42               | 1,05          | 0,96                 | 1,15                 | 0,67               |
| <b>Clasificación de Selección</b>  | Poco               | Poco          | Moderada             | Poco                 | Moderada           |
| <b>Asimetría</b>                   | 0,40               | -0,10         | -0,24                | -0,34                | 0,12               |
| <b>Clasificación Asimetría</b>     | Moderado           | Simétrica     | Moderado             | Alto                 | Moderado           |
|                                    | exceso de<br>finos |               | exceso de<br>gruesos | exceso de<br>gruesos | exceso de<br>finos |
| <b>Diámetro medio (mm)</b>         | 0,944              | 0,331         | 0,133                | 0,140                | 0,118              |
| <b>Materia Orgánica (mg/g)</b>     | 21,30              | 22,40         | 32,60                | 35,80                | 15,10              |

**TABLA 4. PUERTO MEJILLONES.** Calidad química de los sedimentos en las estaciones submareales de muestreo del **PSM. MONITOREO SEPTIEMBRE 2014.** 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]    | Ag | 1,920   | 1,150   | 2,670   | 1,040   | 1,150   | 1,22   | 0,14  | -      | -      |
| Arsénico [mg/Kg] | As | 0,793   | 2,080   | 2,920   | 3,220   | 2,720   | 26,20  | 1,50  | -      | -      |
| Cadmio [mg/Kg]   | Cd | 0,90    | 0,90    | 2,60    | 3,62    | 1,72    | 2,11   | 0,15  | 2,38   | 14,59  |
| Cromo (mg/Kg)    | Cr | 10,60   | 16,10   | 18,80   | 18,80   | 20,00   | 90,70  | 4,60  | -      | -      |
| Cobre [mg/Kg]    | Cu | 10,20   | 12,40   | 28,00   | 2,40    | 20,00   | 310,00 | 12,00 | 10,02  | 83,86  |
| Hierro [mg/Kg]   | Fe | 8749    | 8096    | 5512    | 5717    | 4735    | 310,00 | 12,00 | -      | -      |
| Mercurio [µg/Kg] | Hg | < 0,025 | < 0,025 | < 0,025 | < 0,025 | < 0,025 | 3,04   | 0,20  | -      | -      |
| Plomo [mg/Kg]    | Pb | 2,95    | 2,50    | 10,90   | 15,30   | <1,25   | 183,00 | 8,00  | 8,77   | 28,58  |
| Antimonio[mg/Kg] | Sb | < 1,25  | < 1,25  | < 1,25  | < 1,25  | < 1,25  | 11,30  | 2,60  | -      | -      |
| Cinc [mg/Kg]     | Zn | 18,50   | 13,80   | 34,00   | 34,00   | 17,20   | 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 SEPTIEMBRE 2014.** (< = 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]             | Sb | <1           | <1            | <1           | <1           | <1           |
| Arsénico [mg/Kg]              | As | 0,922        | 0,921         | 1,340        | 1,700        | 1,040        |
| Cadmio [mg/Kg]                | Cd | 6,22         | 3,72          | 6,46         | 5,74         | 11,70        |
| Cinc [mg/Kg]                  | Zn | 64           | 55            | 52           | 50           | 41           |
| Cobre [mg/Kg]                 | Cu | 86           | 86            | 67           | 67           | 48           |
| Cromo [mg/Kg]                 | Cr | 5,04         | 5,07          | 4,99         | 5,26         | 5,39         |
| Hierro [mg/Kg]                | Fe | 487          | 331           | 388          | 242          | 263          |
| Mercurio [mg/Kg]              | Hg | 0,19         | 0,195         | 0,148        | 0,092        | 0,117        |
| Plata [mg/Kg]                 | Ag | <1,25        | <1,25         | <1,25        | <1,25        | <1,25        |
| Plomo [mg/Kg]                 | Pb | 16,40        | 9,83          | <0,20        | 11,20        | <0,20        |

| <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]         | Sb | <1           | <1           | <1           | <1           | <1           |
| Arsénico [mg/Kg]          | As | 1,130        | 1,780        | 0,783        | 0,776        | 0,630        |
| Cadmio [mg/Kg]            | Cd | 7,58         | 6,28         | 1,92         | 5,51         | 8,33         |
| Cinc [mg/Kg]              | Zn | 166          | 186          | 41           | 64           | 62           |
| Cobre [mg/Kg]             | Cu | 112,0        | 17,3         | 18,0         | 17,4         | 12,7         |
| Cromo [mg/Kg]             | Cr | 4,84         | 4,88         | 4,48         | 5,78         | 6,44         |
| Hierro [mg/Kg]            | Fe | 324          | 310          | 62           | 93           | 87           |
| Mercurio [µg/Kg]          | Hg | 0,141        | 0,135        | 0,151        | 0,247        | 0,15         |
| Plata [mg/Kg]             | Ag | <1,25        | <1,25        | <1,25        | <1,25        | <1,25        |
| Plomo [mg/Kg]             | Pb | <0,20        | <0,20        | <0,20        | <0,20        | <0,20        |

**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 SEPTIEMBRE 2014.**

| 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    |

## **ANEXOS**

## EQUIPO DE TRABAJO

| Nombre                | Labores                                                                                     |
|-----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| Dr. Julio Vásquez     | Director Laboratorio de Biodiversidad y Ecología Costera (LABECO)<br>Coordinación muestreos |
| Dra. Susana Stegen    | Director Laboratorio de Servicios Analíticos (LSA)<br>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<br>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            |
|----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| Amoníaco             | ME-27-2007 Superintendencia de Servicios Sanitarios. Manual de Métodos de Ensayo para Agua Potable<br>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<br>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<br>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<br>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<br>Método argentométrico                                                     | Agua potable y fuentes de captación |
| Cobre                | ME-04-2007 Superintendencia de Servicios Sanitarios. Manual de Métodos de Ensayo para Agua Potable<br>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.<br>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.<br>Método Espectrofotometría de absorción molecular<br>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 |

LE 226  
Anexo

| Ensayo                        | Norma/Especificación                                                                                                                                                          | Producto a que se aplica            |
|-------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
|                               | de Ensayo para Agua Potable<br>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<br>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, 3111B                                                                                                     | Aguas residuales, aguas crudas, y aguas para fines industriales                                             |
| Cobre                         | Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Ed. 22, 3111B                                                                                                     | Aguas crudas y aguas para fines industriales                                                                |
| Color verdadero               | PT-17 Versión 04<br>Método basado en el Manual de procedimientos equipo espectrofotómetro DR 2010 HACH.<br>Método 8025.<br>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, 3111B                                                                                                     | 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, 5220C                                                                                                     | 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, 3111B                                                                                                     | Aguas residuales, aguas crudas, y aguas para fines industriales                                             |
| Estroncio                     | Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Ed. 22, 3111B                                                                                                     | 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, 3111B                                                                                                     | Aguas crudas y aguas para fines industriales                                                                |
| Litio                         | Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Ed. 22, 3111B                                                                                                     | 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  |
| Níquel          | 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 (SiO2)   | 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 SO <sub>4</sub> C                                                                                                          | Aguas crudas                                                    |
| Sulfato                     | PT-23 versión 01<br>Determinación de Sulfato. Basado en el Manual de procedimientos equipo espectrofotómetro DR 2010 HACH. Métodos 680 y 685.<br>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<br>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<br>Espectrofotometría de absorción atómica con aspiración directa     | Sedimentos marinos                   |
| Arsénico              | PT-13 versión 10<br>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<br>Espectrofotometría de absorción atómica con generación de hidruros | Suelos, relaves y sedimentos marinos |
| Cadmio                | PT-13 versión 10<br>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<br>Espectrofotometría de absorción atómica con aspiración directa     | Suelos, relaves y sedimentos marinos |
| Cianuro total y libre | PT-18 versión 04.<br>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. R100 (R80 to Mmbars). Reviewer: N.G. Randolph.<br>volumetría      | Suelos y relaves                     |
| Cobre                 | PT-13 ver10<br>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<br>Espectrofotometría de absorción atómica con aspiración directa          | Suelos, relaves y sedimentos marinos |



LE 228

Anexo

| Ensayo    | Norma/Especificación                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Producto a que se aplica             |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| Cromo     | PT-13 versión 10<br>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<br>Espectrofotometría de absorción atómica con aspiración directa                | Sedimentos marinos                   |
| Hierro    | PT-13 versión 10<br>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<br>Espectrofotometría de absorción atómica con aspiración directa                | Suelos, relaves y sedimentos marinos |
| Mercurio  | PT-13 versión 10<br>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<br>Espectrofotometría de absorción atómica con generación de vapor atómico de Hg | Suelos, relaves y sedimentos marinos |
| Molibdeno | PT-13 versión 10<br>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<br>Espectrofotometría de absorción atómica con aspiración directa.               | Sedimentos marinos                   |
| Niquel    | PT-13 versión 10<br>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<br>Espectrofotometría de absorción atómica con aspiración directa                | Sedimentos marinos                   |
| Oro       | PT-15 versión 04<br>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)<br>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<br>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<br>Espectrofotometría de absorción atómica con aspiración directa          | Suelos, relaves y sedimentos marinos |
| Plomo   | PT-13 versión 10<br>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<br>Espectrofotometría de absorción atómica con aspiración directa     | Suelos, relaves y sedimentos marinos |
| Selenio | PT-13 versión 10<br>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<br>Espectrofotometría de absorción atómica con generación de hidruros | Suelos, relaves y sedimentos         |
| Zinc    | PT-13 versión 10<br>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<br>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<br>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<br>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<br>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<br>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<br>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<br>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<br>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<br>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<br>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<br>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<br>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

|                                                                                                                                     |                                                     |                                                                                                                 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <br>Universidad Católica del Norte<br>ver más allá | <b>INFORME DE ENSAYO</b><br><br><b>N° 2267C/014</b> | <br><b>Fecha: 23/12/2014</b> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

### 1.- ANTECEDENTES

- Solicitante: Sr. Julio Vásquez.
- Empresa: Puerto Mejillones.
- Dirección: Avda. Costanera Norte N°2800
- Correo electrónico: [jzavala@puertoangamos.cl](mailto:jzavala@puertoangamos.cl)
- Cotización N°: 0090C/014.
- Fecha / Hora de muestreo: 03 de Septiembre del 2014.
- Ingreso UCN-LSA: 03 de Septiembre del 2014.
- El muestreo fue realizado por personal del UCN-LSA, según normas vigentes.

### 2.- IDENTIFICACIÓN DE LAS MUESTRAS

| Muestra | Identificación Agua de Mar            |
|---------|---------------------------------------|
| M-1     | E1 Superficial 03-09-2014 09:50 horas |
| M-2     | E1 Profundo 03-09-2014 09:55 horas    |
| M-3     | E2 Superficial 03-09-2014 10:30 horas |
| M-4     | E2 Profundo 03-09-2014 10:35 horas    |
| M-5     | E3 Superficial 03-09-2014 11:00 horas |
| M-6     | E3 Profundo 03-09-2014 11:10 horas    |
| M-7     | E4 Superficial 03-09-2014 11:20 horas |
| M-8     | E4 Profundo 03-09-2014 11:25 horas    |
| M-9     | E5 Superficial 03-09-2014 12:20 horas |
| M-10    | E5 Profundo 03-09-2014 12:25 horas    |

  
 Qca. Carmen Carrasco Borquez  
 Jefe de Laboratorio Servicios Analíticos

Laboratorio Acreditado por INN – Acreditación LE – 226 LE – 228  
 Avda. Angamos 0610, Pabellón N-1 segundo piso • Antofagasta • Fono (56) 2355613 - 2355633 - 2355620 - 2355608  
 e-mail: [lsa@ucn.cl](mailto:lsa@ucn.cl)

ESTE DOCUMENTO REEMPLAZA EN SU TOTALIDAD AL INFORME N°2267/014

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

|                                                                                                                                          |                          |                                                                                                                                            |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p>Universidad Católica del Norte<br/>ver misailes</p> | <b>INFORME DE ENSAYO</b> |  <p>Ucn LSA<br/>Laboratorio de Servicios Analíticos</p> |
|                                                                                                                                          | <b>N° 2267C/014</b>      | <b>Fecha: 23/12/2014</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 Submareal (Ostión o Cholga) |
|---------|--------------------------------------------|
| M-1     | Estación 1                                 |
| M-2     | Estación 2                                 |
| M-3     | Estación 3                                 |
| M-4     | Estación 4                                 |
| M-5     | Estación 5                                 |

Qca. Carmen Carrasco Bórquez  
Jefe de Laboratorio 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

ESTE DOCUMENTO REEMPLAZA EN SU TOTALIDAD AL INFORME N°2267/014

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



|                                                                                                                                                              |                                                                                          |                                                                                                                                 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p>Universidad Católica del Norte<br/>Vicerrectoría de Investigación</p> | <p align="center"><b>INFORME DE ENSAYO</b></p> <p align="center"><b>N° 2267C/014</b></p> |  <p align="right"><b>Fecha: 23/12/2014</b></p> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

### 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   | 1,50   | 1,50   | 1,50   | 1,50   | 2,60   | 3,70   |
| Antimonio Total | Sb              | µg/L   | <30    | <30    | <30    | <30    | <30    | <30    |
| Cadmio Total    | Cd              | µg/L   | 73     | 70     | 70     | 74     | 72     | 72     |
| Cobre           | Cu              | µg/L   | 31     | 54     | 54     | 54     | 50     | 52     |
| Zinc Total      | Zn <sub>T</sub> | µg/L   | 32     | 49     | 48     | 33     | 45     | 44     |
| Zinc Disuelto   | Zn <sub>D</sub> | µg/L   | <10    | <10    | <10    | <10    | <10    | <10    |
| Mercurio        | Hg              | µg/L   | <0,200 | <0,200 | <0,200 | <0,200 | <0,200 | <0,200 |
| Plata           | Ag              | µg/L   | <20    | <20    | <20    | <20    | <20    | <20    |
| Plomo Total     | Pb <sub>T</sub> | µg/L   | 339    | 328    | 390    | 370    | 391    | 401    |
| Plomo Disuelto  | Pb <sub>D</sub> | µg/L   | <10    | <10    | <10    | <10    | <10    | <10    |
| Cromo           | Cr              | µg/L   | <10    | 52     | <10    | 58     | <10    | 39     |
| Hierro          | Fe              | µg/L   | 197    | 140    | 218    | 158    | 202    | 149    |

<: Menor que el límite de detección indicado.

Qca. Carmen Carrasco Bórquez  
Jefe de Laboratorio Servicios Analíticos

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

Avda. Angamos 0610, Pabellón N-1 segundo piso - Antofagasta - Fono (56) 2355613 - 2355633 - 2355620 - 2355608  
e-mail: isa@ucn.cl

ESTE DOCUMENTO REEMPLAZA EN SU TOTALIDAD AL INFORME N°2267/014

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

Página 3 de 11

|                                                                                                                                                        |                                                     |                                                                                                               |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <br>Universidad Católica del Norte<br><small>VER FOLIO 3011</small> | <b>INFORME DE ENSAYO</b><br><br><b>N° 2267C/014</b> | <br><b>Fecha: 23/12/2014</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   | 1,50   | 1,50   | 1,50   | 1,50   | 12-09-2014        |
| Antimonio Total | Sb        | µg/L   | <30    | <30    | <30    | <30    | 30-09-2014        |
| Cadmio Total    | Cd        | µg/L   | 75     | 72     | 70     | 70     | 30-09-2014        |
| Cobre           | Cu        | µg/L   | 50     | 53     | 50     | 53     | 26-09-2014        |
| Zinc Total      | Zn T      | µg/L   | 34     | 44     | 36     | 45     | 20-09-2014        |
| Zinc Disuelto   | Zn D      | µg/L   | <10    | <10    | <10    | <10    | 20-09-2014        |
| Mercurio        | Hg        | µg/L   | <0,200 | <0,200 | <0,200 | <0,200 | 29-09-2014        |
| Plata           | Ag        | µg/L   | <20    | <20    | <20    | <20    | 26-09-2014        |
| Plomo Total     | Pb T      | µg/L   | 410    | 341    | 325    | 368    | 26-09-2014        |
| Plomo Disuelto  | Pb D      | µg/L   | <10    | <10    | <10    | <10    | 26-09-2014        |
| Cromo           | Cr        | µg/L   | 40     | 45     | 42     | 47     | 26-09-2014        |
| Hierro          | Fe        | µg/L   | 216    | 148    | 204    | 142    | 24-09-2014        |

&lt;. Menor que el límite de detección indicado.

  
**Qca. Carmen Carrasco Bórquez**  
**Jefe de Laboratorio Servicios Analíticos**  
 Laboratorio Acreditado por INN – Acreditación LE – 226 – LE – 228  
 Avda. Angamos 0610, Pabellón N°1 segundo piso - Antofagasta, Chile (55) 2355613 - 2355620 - 2355608  
 e-mail: isa@ucn.cl

ESTE DOCUMENTO REEMPLAZA EN SU TOTALIDAD AL INFORME N°2267/014

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

|                                                                                                                                        |                                                     |                                                                                              |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| <br>Universidad Católica del Norte<br>Vía: 0212 210 | <b>INFORME DE ENSAYO</b><br><br><b>N° 2267C/014</b> | <br>UCN LSA |
|                                                                                                                                        |                                                     | <b>Fecha: 23/12/2014</b>                                                                     |

### 3.2.- SEDIMENTOS

| Parámetros | Expresado | Unidad | M-1    | M-2    | M-3    | M-4    | M-5    | Fecha de análisis |
|------------|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------------------|
| Arsénico   | As        | mg/Kg  | 0,793  | 2,08   | 2,92   | 3,22   | 2,72   | 09-10-2014        |
| Cadmio     | Cd        | mg/Kg  | 0,900  | 0,900  | 2,60   | 3,62   | 1,72   | 10-10-2014        |
| Cobre      | Cu        | mg/Kg  | 10,2   | 12,4   | 28     | 2,40   | 20     | 08-10-2014        |
| Cinc       | Zn        | mg/Kg  | 18,5   | 13,8   | 34     | 34     | 17,2   | 09-10-2014        |
| Plomo      | Pb        | mg/Kg  | 2,95   | 2,50   | 10,9   | 15,3   | <1,25  | 14-10-2014        |
| Hierro     | Fe        | mg/Kg  | 8749   | 8096   | 5512   | 5717   | 4735   | 14-10-2014        |
| Plata      | Ag        | mg/Kg  | 1,92   | <1,25  | 2,67   | <1,25  | <1,25  | 16-10-2014        |
| Antimonio  | Sb        | mg/Kg  | <1,25  | <1,25  | <1,25  | <1,25  | <1,25  | 16-10-2014        |
| Mercurio   | Hg        | mg/Kg  | <0,025 | <0,025 | <0,025 | <0,025 | <0,025 | 16-10-2014        |
| Cromo      | Cr        | mg/Kg  | 10,6   | 16,1   | 18,8   | 18,8   | 20     | 14-10-2014        |

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

Qca. Carmen Carrasco Borquez  
 Jefe de Laboratorio Servicios Analíticos

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

ESTE DOCUMENTO REEMPLAZA EN SU TOTALIDAD AL INFORME N°2267/014

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

|                                                                                                                                    |                                                     |                                                                                                               |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <br>Universidad Católica del Norte<br>2007-2013 | <b>INFORME DE ENSAYO</b><br><br><b>N° 2267C/014</b> | <br><b>Fecha: 23/12/2014</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  | 0,922 | 0,921 | 1,34   | 1,70  | 1,04   | 06-11-2014        |
| Cadmio     | Cd        | mg/Kg  | 6,22  | 3,72  | 6,46   | 5,74  | 11,7   | 30-10-2014        |
| Cobre      | Cu        | mg/Kg  | 86    | 86    | 67     | 67    | 48     | 27-10-2014        |
| Cinc       | Zn        | mg/Kg  | 64    | 55    | 52     | 50    | 41     | 30-10-2014        |
| Mercurio   | Hg        | mg/Kg  | 0,190 | 0,195 | 0,148  | 0,092 | 0,117  | 26-11-2014        |
| Plata      | Ag        | mg/Kg  | <1,25 | <1,25 | <1,25  | <1,25 | <1,25  | 22-10-2014        |
| Plomo      | Pb        | mg/Kg  | 16,4  | 9,83  | <0,200 | 11,2  | <0,200 | 29-10-2014        |
| Cromo      | Cr        | mg/Kg  | 5,04  | 5,07  | 4,99   | 5,26  | 5,39   | 29-10-2014        |
| Hierro     | Fe        | mg/Kg  | 487   | 331   | 388    | 242   | 263    | 27-10-2014        |
| Antimonio  | Sb        | mg/Kg  | <1,00 | <1,00 | <1,00  | <1,00 | <1,00  | 02-12-2014        |

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

  
 Qca. Carmen Carrasco Bórquez  
 Jefe de Laboratorio 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

ESTE DOCUMENTO REEMPLAZA EN SU TOTALIDAD AL INFORME N°2267/014

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



|                                                                                                                                           |                                                     |                                                                                                               |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <br>Universidad Católica del Norte<br>Valdivia 5090000 | <b>INFORME DE ENSAYO</b><br><br><b>N° 2267C/014</b> | <br><b>Fecha: 23/12/2014</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  | 1,13  | 1,78  | 0,783 | 0,776 | 0,630 | 06-11-2014        |
| Cadmio     | Cd        | mg/Kg  | 7,58  | 6,28  | 1,92  | 5,51  | 8,33  | 30-10-2014        |
| Cobre      | Cu        | mg/Kg  | 112   | 17,3  | 18,0  | 17,4  | 12,7  | 27-10-2014        |
| Cinc       | Zn        | mg/Kg  | 166   | 186   | 41    | 64    | 62    | 30-10-2014        |
| Mercurio   | Hg        | mg/Kg  | 0,141 | 0,135 | 0,151 | 0,247 | 0,150 | 26-11-2014        |
| Plata      | Ag        | mg/Kg  | <1,25 | <1,25 | <1,25 | <1,25 | <1,25 | 22-10-2014        |
| Plomo      | Pb        | mg/Kg  | <0,20 | <0,20 | <0,20 | <0,20 | <0,20 | 29-10-2014        |
| Cromo      | Cr        | mg/Kg  | 4,84  | 4,88  | 4,48  | 5,78  | 6,44  | 29-10-2014        |
| Hierro     | Fe        | mg/Kg  | 324   | 310   | 62    | 93    | 87    | 27-10-2014        |
| Antimonio  | Sb        | mg/Kg  | <1,00 | <1,00 | <1,00 | <1,00 | <1,00 | 02-12-2014        |

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

  
 Qca. Carmen Carrasco Bórquez  
 Jefe de Laboratorio Servicios Analíticos

Laboratorio Acreditado por INN - Acreditación LE - 226 LE - 228  
 Avda. Angamos 0610, Pabellón N°4 segundo piso - Antofagasta - Fono (55) 2355633 - 2355620 - 2355608  
 e-mail: lsa@ucn.cl

ESTE DOCUMENTO REEMPLAZA EN SU TOTALIDAD AL INFORME N°2267/014

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

|                                                                                                                                      |                                              |                                                                                                            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <br>Universidad Católica del Norte<br>verano 2014 | <b>INFORME DE ENSAYO</b><br><br>N° 2267C/014 | <br><br>Fecha: 23/12/2014 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

4.- METODOS

4.1.- Columna de Agua

| Parámetros    | Métodos                                                                      |
|---------------|------------------------------------------------------------------------------|
| Antimonio (*) | Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Ed. 22, 3120 B |
| 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.

  
Qca. Carmen Carrasco Bórquez  
Jefe de Laboratorio 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

ESTE DOCUMENTO REEMPLAZA EN SU TOTALIDAD AL INFORME N°2267/014

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

|                                                                                                                                                         |                                              |                                                                                                        |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <br>Universidad Católica del Norte<br>Vicerrectoría de Investigación | <b>INFORME DE ENSAYO</b><br><br>N° 2267C/014 | <br>Fecha: 23/12/2014 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|

4.2.- Sedimentos.

| Parámetros | Métodos                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Plata      | 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     |
| Arsénico   | 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 Hidruros |
| Cadmio     | 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     |
| Cromo      | 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     |
| Cobre      | 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     |

  
Qca. Carmen Carrasco Borquez  
Jefe de Laboratorio 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

ESTE DOCUMENTO REEMPLAZA EN SU TOTALIDAD AL INFORME N°2267/014

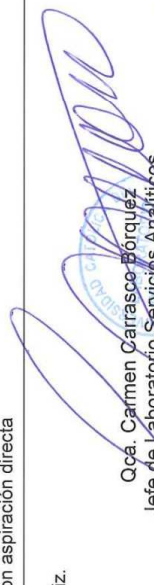
SE PROHIBE LA REPRODUCCIÓN TOTAL Y PARCIAL DEL INFORME DE ANÁLISIS SIN LA APROBACIÓN ESCRITA DEL LABORATORIO

|                                                                                                                                                    |                                                                                          |                                                                                                               |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <br>Universidad Católica del Norte<br><small>ver más...</small> | <p align="center"><b>INFORME DE ENSAYO</b></p> <p align="center"><b>N° 2267C/014</b></p> | <br><b>Fecha: 23/12/2014</b> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

## 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 ° ICP-OES                                                           |
| 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.

  
**Qca. Carmen Carrasco Porquez**  
**Jefe de Laboratorio Servicios Analíticos**  
**Laboratorio Acreditado por INN - Acreditación LE - 226 LE - 228**  
 Avda. Angamos 0610, Pabellón N-1 segundo piso, Antofagasta - Fono (55) 2355613 - 2355620 - 2355608  
 e-mail: isa@ucn.cl

ESTE DOCUMENTO REEMPLAZA EN SU TOTALIDAD AL INFORME N°2267/014

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



|                                                                                                                                       |                                                     |                                                                                                               |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <br>Universidad Católica del Norte<br>VER MÁS ALLÁ | <b>INFORME DE ENSAYO</b><br><br><b>N° 2267C/014</b> | <br><b>Fecha: 23/12/2014</b> |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

4.3.- Pulgas y Moluscos.

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

Los parámetros indicados en esta tabla no están acreditados.

  
Qca. Carmen Carrasco Bórquez  
Jefe de Laboratorio Servicios Analíticos  
Laboratorio Acreditado por INN - Acreditación LE - 226 - LE - 228  
Avda. Angamos 0610, Pabellón N-1 segundo piso • Antofagasta • Fono: (56) 2355613 - 2355633 - 2355620 - 2355608  
e-mail: isa@ucn.cl

ESTE DOCUMENTO REEMPLAZA EN SU TOTALIDAD AL INFORME N°2267/014  
SE PROHIBE LA REPRODUCCIÓN TOTAL Y PARCIAL DEL INFORME DE ANÁLISIS SIN LA APROBACIÓN ESCRITA DEL LABORATORIO



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

| ESTACIÓN | MUESTRA (n°) | Sólidos Totales (mg/L) | Sólidos Suspendidos (mg/L) |
|----------|--------------|------------------------|----------------------------|
| Est 1A   | Nº1          | 39,40                  | 21,70                      |
| Est 1C   | Nº2          | 39,80                  | 17,40                      |
| Est 2A   | Nº3          | 40,60                  | 26,42                      |
| Est 2C   | Nº4          | 41,00                  | 27,07                      |
| Est 3A   | Nº5          | 40,30                  | 23,75                      |
| Est 3C   | Nº6          | 42,30                  | 25,00                      |
| Est 4A   | Nº7          | 41,10                  | 26,41                      |
| Est 4C   | Nº8          | 40,40                  | 19,59                      |
| Est 5A   | Nº9          | 40,50                  | 26,46                      |
| Est 5C   | Nº10         | 39,90                  | 3,63                       |

MANDANTE:

Dr. Julio A. Vásquez

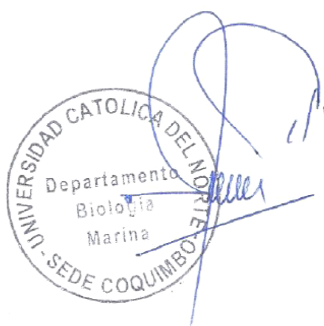
PROCEDENCIA DE LAS MUESTRAS:

Bahía de Mejillones del Sur

Ing. MANUEL BERRIOS

Jefe de Laboratorio

octubre 13, 2014





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

| ESTACIÓN | MUESTRA<br>nº | Profundidad<br>m | Diámetro<br>medio (phi) | Clasificación<br>de las arenas | Grado de<br>Selección | Clasificación<br>de Selección | Asimetría | Clasificación<br>Asimétrica     | Diámetro<br>medio (mm) | Materia<br>Orgánica (mg/m) |
|----------|---------------|------------------|-------------------------|--------------------------------|-----------------------|-------------------------------|-----------|---------------------------------|------------------------|----------------------------|
| PM-1     | Nº 1          | 19 m             | 0,08                    | Arena Gruesa                   | 1,42                  | Poco                          | 0,40      | Moderado<br>exceso de finos     | 0,944                  | 21,30                      |
| PM-2     | Nº 2          | 17 m             | 1,59                    | Arena Mediana                  | 1,05                  | Poco                          | -0,10     | Simétrica                       | 0,331                  | 22,40                      |
| PM-3     | Nº 3          | 21 m             | 2,91                    | Arena Fina                     | 0,96                  | Moderada                      | -0,24     | Moderado<br>exceso de<br>grueso | 0,133                  | 32,60                      |
| PM-4     | Nº 4          | 18 m             | 2,83                    | Arena Fina                     | 1,15                  | Poco                          | -0,34     | Alto exceso de<br>grueso        | 0,140                  | 35,80                      |
| PM-5     | Nº 5          | 18 m             | 3,09                    | Arena muy Fina                 | 0,67                  | Moderada                      | 0,12      | Moderado<br>exceso de finos     | 0,118                  | 15,10                      |

MANDANTE:

Dr. Julio A. Vásquez

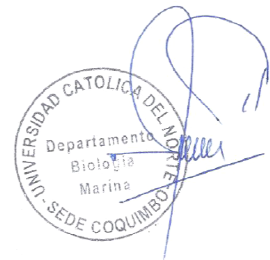
Ing. MANUEL BERRIOS

PROCEDENCIA DE LAS MUESTRAS:

Bahía de Mejillones del Sur

Jefe de Laboratorio

octubre 10, 2014



## ANTECEDENTES COMPLEMENTARIOS

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p style="text-align: center;"><b>Departamento de Química</b><br/> <b>LABORATORIO DE SERVICIOS ANALITICOS</b><br/>         Fonos: (56) 2355608 - (56) 2355613 - (56) 2355620 - (56) 2355633<br/>         e-mail: isa@ucn.cl<br/>         Avda. Angamos 0610 Antofagasta - Chile<br/>         9ª Versión</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | <p style="text-align: center;"><b>RUM</b><br/> <b>INFORME N°</b><br/> <b>2257</b></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <p><b>Identificación</b></p> <p>Nombre: <u>Juan Osorio</u></p> <p>Empresa: <u>Bo. Mejillones</u></p> <p>Según cotización N°:</p> <p>Fono:</p> <p>Fax:</p> <p>N° de muestras: <u>25</u></p> <p>Tipo: <u>Oxígeno / Sedimentos / Or</u></p> <p>Recibido por: <u>Moncho</u></p> <p>Urgente: <u>NO</u></p> <p>Fecha de ingreso: <u>03/08/14</u></p> <p>Fecha Entrega de resultados:</p> <p>Firma Aceptación:</p> <p>Observaciones: <u>espejo</u></p> <p>Fecha de muestreo:</p> <p>Hora de llegada al laboratorio:</p> <p>Temperatura de transporte: °C</p> <p>Cloro libre residual: mg/L</p> <p>Otros:</p> <p><u>PH-1 agua / sed. / Or</u></p> <p><u>PH-2 " " "</u></p> <p><u>PH-3 " " "</u></p> <p><u>PH-4 " " "</u></p> <p><u>PH-5 " " "</u></p> | <p><b>Parámetros</b></p> <p>Acetate y Grasas <input type="checkbox"/></p> <p>Acidez <input type="checkbox"/></p> <p>Alcalinidad <input type="checkbox"/></p> <p>Aluminio <input type="checkbox"/></p> <p>Antimonio <input checked="" type="checkbox"/></p> <p>Amonio <input type="checkbox"/></p> <p>Amoníaco <input type="checkbox"/></p> <p>Arsénico <input checked="" type="checkbox"/></p> <p>Azufre <input type="checkbox"/></p> <p>Bario <input type="checkbox"/></p> <p>Bicarbonatos <input type="checkbox"/></p> <p>Bismuto <input type="checkbox"/></p> <p>Berilio <input type="checkbox"/></p> <p>Boro <input checked="" type="checkbox"/></p> <p>Cadmio <input checked="" type="checkbox"/></p> <p>Calcio <input type="checkbox"/></p> <p>Carbonatos <input type="checkbox"/></p> <p>Carbono y Lignito <input type="checkbox"/></p> <p>Cianuro <input type="checkbox"/></p> <p>Cloruro <input type="checkbox"/></p> <p>Cobalto <input type="checkbox"/></p> <p>Cobre <input checked="" type="checkbox"/></p> <p>Coli fecales <input type="checkbox"/></p> <p>Coli totales <input type="checkbox"/></p> <p>Color verdadero <input type="checkbox"/></p> <p>Conductividad <input type="checkbox"/></p> <p>Consumo de ácidos <input type="checkbox"/></p> <p>COT <input type="checkbox"/></p> <p>Cromo VI <input type="checkbox"/></p> <p>Cromo Total <input checked="" type="checkbox"/></p> <p>Densidad <input type="checkbox"/></p> <p>Detergentes <input type="checkbox"/></p> <p>Difracción de Rayos X <input type="checkbox"/></p> | <p><b>Parámetros</b></p> <p>DBO <input type="checkbox"/></p> <p>DQO <input type="checkbox"/></p> <p>DRX <input type="checkbox"/></p> <p>Dureza total <input type="checkbox"/></p> <p>Estroncio <input type="checkbox"/></p> <p>Estato <input type="checkbox"/></p> <p>E. Coli <input type="checkbox"/></p> <p>Fenol <input type="checkbox"/></p> <p>Fluoruro <input type="checkbox"/></p> <p>Fosforo <input type="checkbox"/></p> <p>Fosfato <input type="checkbox"/></p> <p>Hidrocarburos Volátiles <input type="checkbox"/></p> <p>Hidrocarburos Fijos <input checked="" type="checkbox"/></p> <p>Hierro <input checked="" type="checkbox"/></p> <p>Impurezas orgánicas <input type="checkbox"/></p> <p>Índice de acidez <input type="checkbox"/></p> <p>Índice de fenol <input type="checkbox"/></p> <p>Índice de saponificación <input type="checkbox"/></p> <p>Índice de yodo <input type="checkbox"/></p> <p>Índice de Lageller <input type="checkbox"/></p> <p>IR <input type="checkbox"/></p> <p>Litio <input type="checkbox"/></p> <p>Magnesio <input type="checkbox"/></p> <p>Manganeso <input type="checkbox"/></p> <p>Materia orgánica <input checked="" type="checkbox"/></p> <p>Mercurio <input checked="" type="checkbox"/></p> <p>Níquel <input type="checkbox"/></p> <p>Nitrato <input type="checkbox"/></p> <p>COT <input type="checkbox"/></p> <p>Nitrógeno total <input type="checkbox"/></p> <p>Molibdeno <input type="checkbox"/></p> <p>Olor <input type="checkbox"/></p> <p>Ortofosfato <input type="checkbox"/></p> <p>Oro <input type="checkbox"/></p> | <p><b>Parámetros</b></p> <p>pH <input type="checkbox"/></p> <p>Plata <input checked="" type="checkbox"/></p> <p>Plomo <input checked="" type="checkbox"/></p> <p>Poder espumógeno <input type="checkbox"/></p> <p>Potasio <input type="checkbox"/></p> <p>Punto de fusión <input type="checkbox"/></p> <p>Punto de inflamación <input type="checkbox"/></p> <p>RAS <input type="checkbox"/></p> <p>Sabor <input type="checkbox"/></p> <p>Selenio <input type="checkbox"/></p> <p>SPI <input type="checkbox"/></p> <p>Silice <input type="checkbox"/></p> <p>Sodio <input type="checkbox"/></p> <p>Sodio porcentual <input type="checkbox"/></p> <p>Sales Solubles Totales <input type="checkbox"/></p> <p>Sól. Suspendidos <input type="checkbox"/></p> <p>Sólidos disueltos <input type="checkbox"/></p> <p>Sól. Sedimentables <input type="checkbox"/></p> <p>Sulfatos <input type="checkbox"/></p> <p>Sulfuro <input type="checkbox"/></p> <p>Talio <input type="checkbox"/></p> <p>Teluro <input type="checkbox"/></p> <p>Temperatura <input type="checkbox"/></p> <p>Turbiedad <input type="checkbox"/></p> <p>Vanadio <input type="checkbox"/></p> <p>Zinc <input checked="" type="checkbox"/></p> <p>Otros:</p> <p><u>Zn disuelto</u></p> <p><u>Pb disuelto</u></p> |