

# **Programa de Monitoreo de la Calidad Ambiental de la Zona Interior del Estuario de Bahía Blanca**

## **Informe Final**

**Instituto Argentino de Oceanografía  
(IADO)**

**Bahía Blanca, junio de 2003**

## **PROLOGO**

El presente Informe Final se presenta al Comité Técnico Ejecutivo de Monitoreo Permanente del Estuario de Bahía Blanca, e incluye la información obtenida en las doce (12) campañas de investigación realizadas durante 2002 - 2003, en el marco del ***Programa de Monitoreo de la Calidad Ambiental de la Zona Interior del Estuario de Bahía Blanca***, diseñado a partir del Convenio entre la Municipalidad de Bahía Blanca y el Instituto Argentino de Oceanografía (IADO).

Se incluyen los datos obtenidos en el período monitoreado (abril de 2002 a marzo del presente año), así como un análisis de los mismos ambientalmente integrados.

El proyecto presenta los datos de un año integrados, lo que permitirá sacar algunas conclusiones e identificar tendencias sobre la distribución de parámetros y comportamiento del sistema bajo estudio.

## **INDICE**

Anexo I del Convenio .....	4
Introducción .....	9
Materiales y métodos .....	10
Resultados obtenidos .....	17
Conclusiones para el período estudiado .....	47
Bibliografía .....	49

## **ANEXO I**

### **Programa de Monitoreo de la Calidad Ambiental de la Zona Interior del Estuario de Bahía Blanca**

(Entre Boya 24 y Puerto Cuatrerros – Carta H – 212 del S.H.N.)  
– Plan de Trabajo a Desarrollar Durante el Año 2002 –

Este programa de monitoreo, se extenderá por un período de 12 (doce) meses a partir de su puesta en marcha efectiva, a través del Laboratorio de Química Marina del Instituto Argentino de Oceanografía (IADO).

El Programa incluirá la evaluación de parámetros oceanográficos, característicos de la condición ambiental del sistema, así como las sustancias contaminantes cuya presencia se ha determinado en programas anteriores y de otros cuya presencia se sospecha; puedan existir por diversas circunstancias. El detalle de los mismos se especifica mas adelante.

A tal efecto se fijarán y se efectuarán 8 (ocho) estaciones de muestreos ajustadas al siguiente detalle.

<b>Estación</b>	<b>Ubicación</b>
<b>E 1</b>	Proximidades de la Boya 24
<b>E 2</b>	Proximidades de la Boya 28
<b>E 3</b>	Proximidades del Desagüe Cloacal (Canal de la Ballena)
<b>E 4</b>	Proximidades de la Boya 32
<b>E 5</b>	Proximidades de Puerto Galván (Posta de Inflamables)
<b>E 6</b>	Descarga Polo Petroquímico
<b>E 7</b>	Desagüe Maldonado – Saladillo de García
<b>E 8</b>	Puerto Cuatrerros

Para la recolección de datos se realizarán campañas de investigación mensuales y consecutivas, dentro del período mencionado en las que se obtendrán muestras para ser evaluadas in-situ; o llevadas al Laboratorio a los mismos efectos.

Los parámetros oceanográficos que se estudiarán mensualmente son:

1. Temperatura
2. Salinidad
3. pH
4. O<sub>2</sub> Disuelto y Porcentaje de Saturación de O<sub>2</sub>
5. Material Particulado en Suspensión
6. Clorofila "a" y Feopigmentos en MPS
7. Turbidez
8. Nutrientes de N (NH<sub>3</sub>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> y NO<sub>2</sub><sup>-</sup>)
9. Nutrientes de P (orto – PO<sub>4</sub><sup>-3</sup>)
10. Nutrientes de Si (Silicatos)
11. Materia Orgánica Particulada

Los siete primeros parámetros se registrarán en continuo para obtener una imagen en su distribución en el ambiente, así como de las variaciones estacionales que sufren.

De la misma manera, el muestreo en continuo permitirá minimizar errores que pueden producirse al manipular muestras tomadas en formas discretas. Este trabajo se realizará desde la Boya 24 (E 1) hasta Puerto Cuatrerros (E 8) en el sentido apuntado iniciándolo para situación de pleamar; y finalizándolo en situación de bajamar consecutivo (es decir durante marea baja) respecto del mareógrafo de Ing. White e incluyendo el resto de las estaciones señaladas.

En cada una de las estaciones se obtendrán muestras de:

- \* Agua de Mar
- \* Sedimentos Superficiales y Sub-Superficiales
- \* Peces

Que se realizará de acuerdo a las técnicas que se detallan:

\* **Muestras de Agua de Mar**

Se tomarán en el estrato sub-superficial de la columna de agua (aproximadamente 30 – 50 cm por debajo de la superficie), utilizando botella de Van Dorn, de policarbonato. A partir de estas muestras, se tomarán las submuestras para las determinaciones de nutrientes, pigmentos fotosintetizadores, materia orgánica, metales pesados disueltos e hidrocarburos disueltos, así como las submuestras con las que se controlará (mediante determinaciones en Laboratorio) la calibración de los instrumentos de calibración in-situ que se empleen en la campaña. Los análisis que se realizarán en estas muestras son:

1. **Temperatura:** se medirá con sensores in-situ, calibrados contra termómetros de mercurio de rango expandido.
2. **Salinidad:** con sensores in-situ, calibrados contra mediciones de conductividad de agua de mar.
3. **pH:** Se medirá con sensores in-situ, calibrados contra soluciones buffer internacionalmente estandarizadas.
4. **O<sub>2</sub> Disuelto y Procentaje de Saturación:** Se medirá con sensores in-situ, calibrados contra titulaciones de soluciones estandarizadas (Método Winkler).
5. **Material Particulado en Suspensión:** Se tomarán las muestras en las campañas y se determinarán en el Laboratorio, siguiendo el método descrito por Grasshoff et al.
6. **Clorofila "a" y Feopigmentos en MPS:** Se tomarán las muestras en las campañas y se determinarán en el Laboratorio, siguiendo el método de Lorenzen.
7. **Turbidez:** Se medirá con sensores in-situ, calibrado contra soluciones patrones.
8. **Nutrientes de N:** Se tomarán las muestras en las campañas y se determinarán en el Laboratorio, siguiendo los métodos de Treguer & Le Corre (para NO<sub>3</sub><sup>-</sup>); Grasshoff et al. (para NO<sub>2</sub><sup>-</sup>); y Slawick et al. (para NH<sub>3</sub>); trabajando con un auto analizador Technicon II de cuatro canales y calibrando contra patrones internacionales (COI/UNESCO).
9. **Nutrientes de P (orto-PO<sub>4</sub><sup>-3</sup>):** Se tomarán las muestras en las campañas y se determinarán en el Laboratorio, siguiendo la técnica de Eberlein & Kattner, y trabajando con un auto analizador Technicon II de cuatro canales y calibrando contra patrones internacionales (COI/UNESCO).
10. **Nutrientes de Si (Silicatos):** Se tomarán las muestras en las campañas y se determinarán en el Laboratorio, siguiendo el métodos de Technicon® y

trabajando con un auto analizador Technicon II de cuatro canales y calibrando contra patrones internacionales (COI/UNESCO)

11. **Materia Orgánica Particulada:** Se tomarán las muestras en las campañas y se determinarán en el Laboratorio, siguiendo la técnica de Strickland & Parsons, calibradas contra soluciones estandarizadas de glucosa.
12. **Metales Pesados Disueltos en el Agua de Mar:** Para su determinación, se aplicará el método de Koityohann & Wen, modificado por Vázquez – Botello. Se medirán las concentraciones correspondientes por espectrofotometría de absorción atómica, con llama aire-acetileno, y corrección de ruido de fondo con lámpara de deuterio (D<sub>2</sub>BGC). Se calibrará contra soluciones patrones internacionalmente recomendadas, y la calidad de la determinación analítica (AQ), se controlará contra material de referencia del National Institute for Environmental Studies (NIES) de Tsukuba (Japón). De esta manera se cuantificarán los niveles de Pb, Cu, Cd, Cr y Zn disueltos en el agua del estuario.
13. **Mercurio Disuelto en el Agua de Mar:** Para su determinación, se aplicará la técnica de APHA, trabajando por espectrofotometría de absorción atómica, con vapor frío (CV-AAS), y utilizando un espectrofotómetro Perkin Elmer 2700. Para la calibración correspondiente se emplearán soluciones patrón, internacionalmente estandarizadas.
14. **Hidrocarburos Clorados y Totales Disueltos o Dispersos en el Agua de Mar:** Para lo que se tomarán las muestras en la campaña y se determinarán en el Laboratorio, siguiendo el método APHA, trabajando por espectrofotometría en infrarrojo (IR-IP), y calibrando contra soluciones patrones internacionalmente recomendadas.

**Nota:** Los metales pesados contemplados en el programa, serán sometidos en algunos casos a determinaciones de especiación y partición geoquímica.

#### \* **Muestras de Sedimentos Superficiales**

Estas muestras se tomarán bimestralmente, en virtud a la menor variabilidad que presenta esta matriz. Se tomarán en el estrato superficial del sedimento del estuario, utilizando una rastra con marco de acero inoxidable y reservorio de lona plástica. A partir de estas muestras se tomarán las submuestras para las determinaciones de metales pesados particulados y de Hidrocarburos Clorados y Totales. Para la realización de estos análisis, se aplicarán las siguientes técnicas:

1. **Metales Pesados Particulados en Sedimento:** Se seguirá la técnica descrita por Marcovecchio et al. Realizándose las mediciones por espectrofotometría de absorción atómica (AAS) con llama aire-acetileno, y corrección de ruido de fondo con lámpara de deuterio (D<sub>2</sub>BGC). Se calibrará contra soluciones patrones internacionalmente recomendadas, y la calidad de la determinación analítica (AQ), se controlará contra material de referencia del National Institute for Environmental Studies (NIES) de Tsukuba (Japón). De esta manera se cuantificarán los niveles de Pb, Cu, Cd, Cr y Zn en los sedimentos del área evaluada del estuario.
2. **Mercurio Total en Sedimento:** Se aplicará una modificación propia del método de Uthe et al. Midiéndose las concentraciones correspondientes por espectrofotometría de absorción atómica, con vapor frío (CV-AAS), y utilizando un espectrofotómetro Perkin Elmer 2700. Para la calibración correspondiente se emplearán soluciones patrón, internacionalmente estandarizadas, y la calidad de la determinación analítica (AQ), se controlará contra material de referencia del National Institute for Environmental Studies (NIES) de Tsukuba (Japón).

3. **Hidrocarburos Totales en Sedimento:** Se determinarán siguiendo el método APHA, trabajando por espectrofotometría en infrarrojo (IR-IP), y calibrando contra soluciones patrones internacionalmente recomendadas.
4. **Hidrocarburos Clorados:** Se realizarán análisis de algunos hidrocarburos clorados (ver Anexo II), siguiendo las técnicas de extracción de Tanabe et al. Y Kannan et al. Y midiendo las concentraciones correspondientes por cromatografía de gases y espectrofotometría de masas (GC-MS). Se calibrará contra soluciones patrones internacionalmente recomendadas.

#### \* **Muestras de Peces**

Se realizarán mensualmente en las áreas en que están ubicadas las estaciones de muestreo. Se procurará capturar especies representativas de los diferentes subsistemas del estuario (ligadas al fondo, a la columna de agua, permanentes en el sistema u ocasionales).

En los ejemplares capturados se registrarán los datos morfométricos más característicos (largo total, peso, sexo) y se removerán muestras de músculos y de hígado sobre las que se determinarán posteriormente los contenidos de metales pesados y órgano clorados aplicando métodos oportunamente mencionados (Marcovecchio et al.); de la misma manera se determinará sobre estas muestras el contenido de mercurio total, siguiendo la técnica de Uthe et al. mencionada en párrafos previos.

#### \* **Análisis Particulares**

En tres de las campañas alternadas de muestreos de sedimento del Programa, se añadirán los análisis particulares que a continuación se describen:

Se determinará, el contenido de aluminio en los sedimentos, trabajando para ello por espectrofotometría de absorción atómica con llama aire-óxido nitroso y calibrando contra soluciones patrón estandarizadas.

Se analizará la distribución vertical de metales pesados y órgano clorados en tres cortes de un testigo vertical de aproximadamente 25 cm de profundidad, para verificar la posible existencia de algún tipo de estratificación de la distribución correspondiente.

Las técnicas de medición cuantitativa, deberán asegurar niveles de detección inferiores en un orden de magnitud de los estándares internacionales (OMS, EPA, EEA, etc.). Esta condición será de aplicación para todos los contaminantes especificados en el Programa y para cada situación de yacencia (agua, sedimento, peces) y deberán especificarse en cada caso.

Para cada campaña se registrarán y dejarán constancia en los informes de las principales situaciones hidrometeorológicas como ser:

- a) Situación mareológica para cada estación <sup>(1)</sup>.
- b) Velocidad y dirección del viento.
- c) Profundidad del lugar de medición.
- d) Amplitud de la marea tabulada para la fecha <sup>(1)</sup>.

<sup>(1)</sup> Todo dato mareológico estará referido al mareógrafo de Ing. White.

El municipio tendrá la facultad de designar observadores de las tareas de campo y de laboratorio que el IADO, realice concerniente a la ejecución del presente Programa.

El IADO, se compromete a proveer al municipio, cada vez que este los solicite, fracciones de las muestras obtenidas de aguas, sedimentos y peces comprendidas en el Programa en condiciones de ser analizadas, como contramuestras por terceros.

El primer informe (informe de avance), se entregará durante los 60 días posteriores a la realización de la 6ª (sexta) campaña de investigación. Por su parte, el informe final se entregará dentro de los 90 días posteriores a la última (12ª) campaña de investigación.

Los trabajos serán llevados adelante por el personal del Laboratorio de Química Marina del IADO; y el responsable científico de la obtención de la información, su procesamiento, generación de informes y eventuales explicaciones, entorno a la misma; será el Dr. Jorge Marcovecchio, responsable del mencionado Laboratorio. El personal científico y técnico que (en principio) participará en el desarrollo de este proyecto, será:

- Dr. Jorge Marcovecchio (IADO/CONICET)
- Lic. Raúl Asteasuain (IADO/CONICET)
- Lic. Sandra Botte (IADO/CONICET)
- Prof. Elena Contardi (IADO/CONICET)
- Lic. Nedda Chiarello (IADO/CONICET)
- Dr. Ruben Hugo Freije (UNS)

Cualquier alteración a la nomina del personal interviniente, deberá de ser aprobada por el municipio a propuesta del IADO.

## **INTRODUCCION**

El estuario de Bahía Blanca es un ambiente transicional, localizado en el extremo sudoriental de la Provincia de Buenos Aires. Tiene algunas características ambientales que la hacen sumamente particular, entre las que vale la pena destacar las siguientes:

- Es un sistema con una dinámica natural muy compleja, incluyendo aspectos geológicos, físico-químicos y biológicos.
- En Bahía Blanca coexisten procesos naturales propios de ambientes de este tipo con procesos antrópicos muy intensos (actividades portuarias, industriales, agropecuarias, urbanas, etc).
- El equilibrio entre estos procesos, así como sus posibles desplazamientos en cualquier sentido, no han sido hasta el momento convenientemente evaluados, por lo que resulta necesario llevar adelante estudios de base que permitan estimarlos.

Por los motivos anteriormente mencionados, y en virtud a los antecedentes pre-existentes, la Municipalidad de Bahía Blanca solicitó al Instituto Argentino de Oceanografía (IADO) la realización de un Programa de Monitoreo del Estuario de Bahía Blanca, de un año de duración, dirigido a evaluar la calidad ambiental del sistema. Este Programa se diseñó para ser desarrollado entre los meses de abril de 2002 y marzo de 2003. En este período se llevaron adelante análisis físico-químicos que permiten caracterizar la situación ambiental de este sistema desde el punto de vista de los parámetros analizados. Este es el Informe Final, en el que se analiza la información obtenida en las doce (12) campañas de investigación realizadas (abril de 2002 a marzo de 2003).

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **2.1. Descripción del área de trabajo**

El estuario de Bahía Blanca está localizado entre los 38°45' y los 35°10' de latitud sur, y entre los 61°45' y los 62°30' de longitud oeste, con un recorrido cercano a los 80 km en el S.E de la Provincia de Buenos Aires y un trazo que va en la dirección N.O - S.E. (**Figura 1**).

Esta región está surcada por un gran número de canales marinos que desaguan en el Canal Principal de Navegación, el cual se destaca claramente en bajamar, con unos 400 km<sup>2</sup> de superficie cubiertos. En cambio, en condiciones de pleamar las aguas cubren una superficie de 1300 km<sup>2</sup> (Pucci *et al.*, 1979)

En el veril norte del Canal Principal de Navegación desaguan los canales de la Ballena, arroyo Maldonado, arroyo Galván, río Sauce Chico y el arroyo Napostá Grande. En el veril sur se vierten los canales Bermejo, Tres Brazas, de la Lista y del Embudo, y los arroyos Laborde, de las Vizcachas y Cabeza de Buey (Perillo y Piccolo, 1999).

Sobre la costa norte de la bahía se encuentran los asentamientos urbanos de General Cerri, Ingeniero White, Punta Alta y Bahía Blanca, sumando una población de más de 300.000 habitantes, y los puertos Cuatreros, Galván, Ingeniero White, Rosales y el puerto militar de la Base Naval de Puerto Belgrano. El canal principal es diariamente navegado por embarcaciones pesqueras, buques de carga y de transportes generales y de combustible.

La costa sur de Bahía Blanca no tiene límites definidos ya que varía totalmente con el estado de marea ; está caracterizada además

por la presencia de numerosas islas e islotes (Gómez y Perillo, 1992 ; Gómez *et al.*, 1997).

La zona interior de la bahía se continúa con el Salitral de la Vidriera, que penetra en el continente en la dirección N.O., incluyendo lagunas y salinas. La cuenca interna de la Bahía Blanca presenta características estuariales, sobre todo en períodos de precipitaciones intensas (Freije *et al.*, 1981).

El ambiente está sujeto a un régimen de mareas semi-diurno, con una amplitud entre 3 y 3,5 metros (Perillo *et al.*, 1996 ; Ginsberg y Perillo, 2000). La marea es la principal fuente de energía para el estuario, y es una onda condicionada por la geometría de los canales, fricción e intensidad de los vientos dominantes. Bahía Blanca es un estuario de tipo hiper-sincrónico: la amplitud de la marea aumenta desde la boca hacia la cabecera, lo que implica que el efecto de convergencia sobre la onda de marea es mayor que el de fricción (Perillo y Piccolo, 1991).

Las principales vías potenciales de ingreso de sustancias exógenas a este sistema son efluentes descargados desde los núcleos urbanos, efluentes de origen industrial y producidos por curtiembres, operaciones de faenado de ganado e industrias relacionadas. Todos ellos lo hacen a través de los cursos de agua dulce que desaguan en la bahía. A partir de las actividades de refinerías e industria petroquímicas, así como del almacenamiento y transporte de combustibles, ingresan al sistema compuestos orgánicos derivados del petróleo. El dragado del Canal Principal de Navegación es otra de las actividades importantes en el área que inciden en el transporte de contaminantes. Existe además un aporte atmosférico continuo de sustancias provenientes de la utilización de combustibles fósiles,

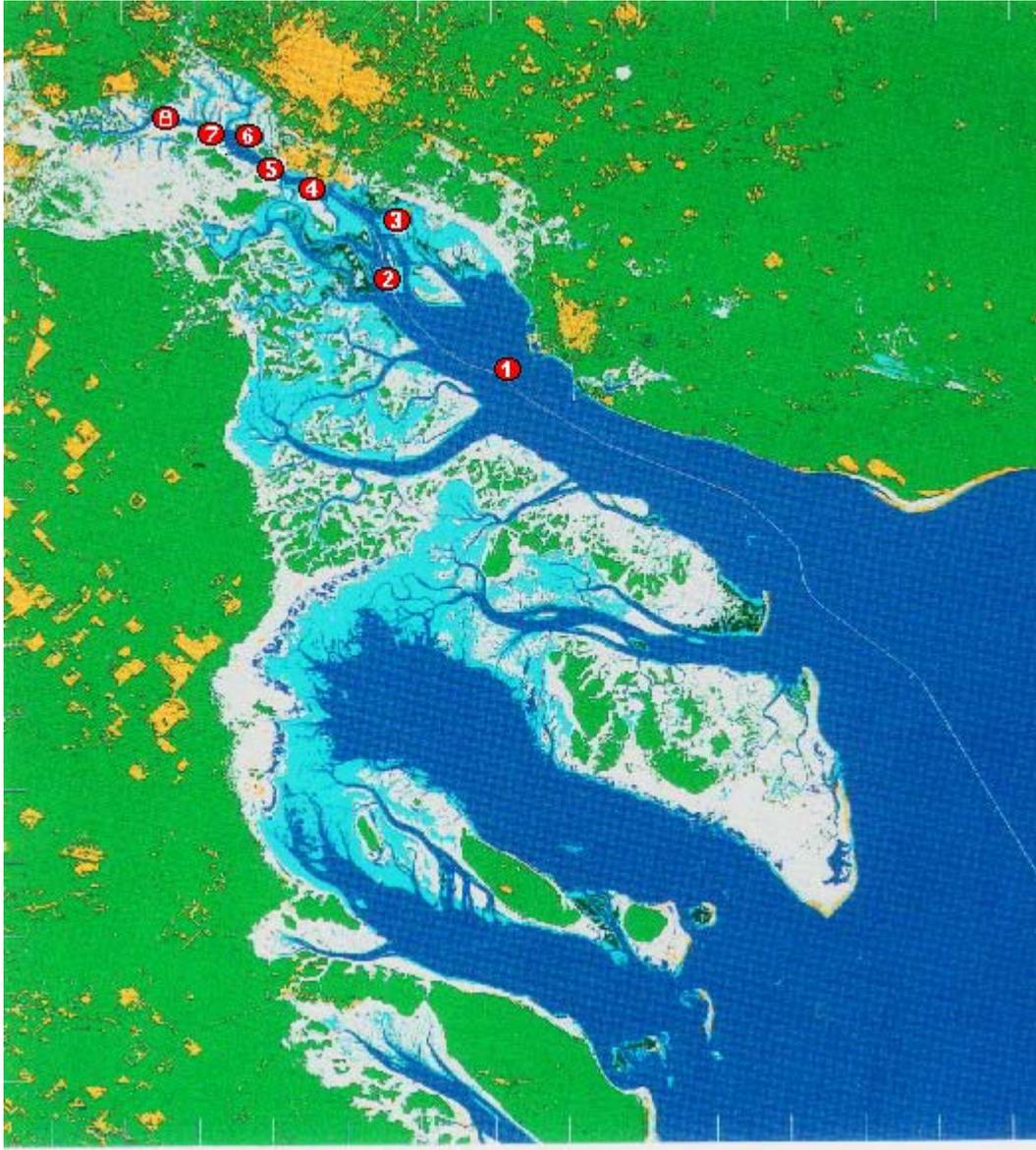
humos, partículas en suspensión y productos de actividades industriales y urbanas (Pucci *et al.*, 1980).

Por los motivos descritos en los párrafos previos, y teniendo presentes los resultados obtenidos en programas previos de monitoreo realizados en este ambiente (por ej., IADO, 1997 ; 2000), se planteó la realización del presente Programa de Monitoreo tendiente a evaluar la Calidad Ambiental del Estuario de Bahía Blanca y complementar la información existente. Para ello se estableció el siguiente protocolo de trabajo:

- Se diseñó un programa de muestreo que incluye ocho (8) estaciones de muestreo para la determinación de parámetros físico-químicos y sustancias potencialmente contaminantes. Estas estaciones se distribuyeron así: siete (7) a lo largo del Canal Principal, y una (1) en la zona de descarga del polo industrial (**Figura 1**). La ubicación de estas estaciones fue fijada mediante un posicionador satelital GPS-Garmin S-12, lo que permitió tomar las muestras y/o mediciones en el mismo lugar en todas las campañas. La ubicación de las estaciones de muestreo es la siguiente:
  - Estación N°1 : 38° 52' 44.1" S. – 62° 10' 42.2" O.
  - Estación N°2 : 38° 51' 32.3" S. – 62° 12' 05.2" O.
  - Estación N°3 : 38° 49' 05.0" S. – 62° 12' 52.0" O.
  - Estación N°4 : 38° 47' 54.1" S. – 62° 15' 39.0" O.
  - Estación N°5 : 38° 47' 05.2" S. – 62° 18' 28.2" O.
  - Estación N°6 : 38° 45' 55.1" S. – 62° 20' 29.1" O.
  - Estación N°7 : 38° 45' 29.3" S. – 62° 21' 35.0" O.
  - Estación N°8 : 38° 45' 09.7" S. – 62° 22' 41.3" O.

- El Laboratorio de Química Marina del IADO llevó adelante durante este período un muestreo mensual (12 muestreos) en los sitios previamente fijados, en los que se realizó la cuantificación de los siguientes parámetros:
  - Temperatura del agua
  - Salinidad del agua
  - pH del agua
  - Turbidez del agua
  - Nutrientes inorgánicos ( $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}_3$ ,  $\text{NH}_4$ ,  $\text{PO}_4$ ,  $\text{SiO}_3$ ) disueltos en agua de mar
  - Clorofila a y feopigmentos en material particulado en suspensión
  - Materia orgánica particulada
  - Oxígeno disuelto en agua de mar
  - Metales pesados disueltos en agua de mar
  - Metales pesados en sedimentos
  - Hidrocarburos totales disueltos en agua de mar
  - Hidrocarburos totales en sedimentos

También se tomaron muestras de sedimentos para analizar el contenido de aluminio (Al) y de compuestos organoclorados, así como muestras de peces (músculo comestible e hígado) para determinar sus contenidos de metales pesados.



***Figura 1*** : ubicación de las estaciones de muestreo en la zona interior del estuario de Bahía Blanca

## **2.2. Metodologías utilizadas**

Todas las determinaciones enumeradas en los párrafos precedentes se llevaron adelante utilizando metodologías internacionalmente convalidadas, y sugeridas para este tipo de evaluación integral. Los métodos que se emplearon para las determinaciones de los parámetros físico-químicos son:

- Temperatura : medición *in situ*.
- Salinidad : medición *in situ*.
- pH : medición *in situ*.
- Turbidez : medición *in situ*.
- Oxígeno disuelto : medición *in situ*.
- Nitrato : Treguer & Le Corre (1975)
- Nitrito : Grasshoff *et al.* (1983)
- Amonio : Treguer & Le Corre (1975)
- Fosfato : Eberlein & Kattner (1987)
- Silicato : Technicon® (1973)
- Clorofila *a* y feopigmentos : Lorenzen (1967))
- Materia orgánica particulada: Strickland & Parsons (1968)
- Metales disueltos : Koirttyohann & Wen (1973)
- Metales particulados : Marcovecchio *et al.* (1988)
- Mercurio disuelto : A.P.H.A. (1992)
- Mercurio particulado : Uthe *et al.* (1970), Marcovecchio *et al.* (1988).
- Hidrocarburos totales disueltos: U.S. EPA (2002)
- Hidrocarburos totales en sedimentos: U.S. EPA (2002)

### **2.3. Límites de detección de las técnicas analíticas empleadas**

A continuación se listan los valores de los límites de detección correspondientes a las técnicas analíticas usadas para la determinación de compuestos realizadas en esta etapa:

- ✓ Cadmio : 0.01 µg/L, y 0.05 µg/g.
- ✓ Plomo : 0.1 µg/L, y 0.07 µg/g.
- ✓ Cobre : 0.02 µg/L, y 0.02 µg/g.
- ✓ Zinc : 0.01 µg/L, y 0.05 µg/g.
- ✓ Cromo : 0.03 µg/L, y 0.03 µg/g.
- ✓ Mercurio : 0.02 µg/L, y 0.02 µg/g.
- ✓ Hidrocarburos totales : 1.4 mg/L, y 0.07 mg/g.

Cabe aclarar que para este trabajo, y a partir de resoluciones tomadas por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de Norteamérica (U.S.EPA) durante el 2001 (U.S. EPA, 2002), se comenzó a aplicar un nuevo método analítico de determinación de hidrocarburos totales (tanto disueltos / dispersos en agua del estuario como concentrados en los sedimentos); el método gravimétrico que actualmente se emplea ha reemplazado oficialmente a la extracción con freón y determinación por espectrometría IR que hasta el año anterior recomendaba la misma U.S.EPA. Las ventajas más importantes del nuevo método son: *(i)* el uso de un solvente de extracción significativamente menos tóxico (incluyendo efectos ambientales deletéreos), tanto para los operadores como para el ambiente; *(ii)* una mayor capacidad de extracción de HC totales; *(iii)* mayor practicidad de aplicación en el laboratorio; *(iv)* el desaliento a la comercialización de freones (y los consecuentes aumentos de costos) en todo el mundo, a partir de la aplicación del Protocolo de Kyoto. De esta manera no es recomendable comparar **directamente** los datos de

HC totales incluidos en Programas de Monitoreo anteriores (por ej., IADO, 1997; 2000) con los del presente trabajo, sino tomar en consideración lo comentado en los párrafos previos.

En esta etapa del trabajo se obtuvieron -además de las previamente mencionadas- muestras de sedimentos para la determinación de aluminio (Al) y de compuestos organoclorados, así como muestras de varias especies de peces para la determinación de su contenido de metales pesados.

Los trabajos de campo, de laboratorio, de procesamiento de datos, e interpretación de la información obtenida fueron realizados por personal científico y técnico del Laboratorio de Química Marina del Instituto Argentino de Oceanografía (IADO), con la colaboración del Lab. de Química Ambiental (Depto.de Química, UNS). Los profesionales que han intervenido en esta etapa fueron:

*Dr Jorge Marcovecchio* (IADO - CONICET)

*Lic Raúl Asteasuain* (IADO - CONICET)

*Lic Sandra Botté* (IADO - CONICET)

*Lic María Nedda Chiarello* (IADO - CONICET)

*Prof Elena Contardi* (IADO - CONICET)

*Dr Rubén Hugo Freije* (UNS)

*Bioq Federico Delucchi* (pasante IADO)

*Srta Alejandra Moratto* (pasante UNS)

## **RESULTADOS OBTENIDOS**

En cada una de las campañas realizadas se tomaron muestras y realizaron mediciones *in situ* para caracterizar el ambiente bajo estudio y comprender su funcionamiento. En ese sentido se realizaron varios tipos de trabajos, que a continuación se describen.

### **1. OCEANOGRAFÍA QUÍMICA:**

Los valores medidos y/o determinados de los parámetros físico-químicos del estuario de Bahía Blanca permiten entender su condición actual, así como el escenario que este ambiente brinda para el desarrollo de procesos biológicos. Para lograr este objetivo se llevaron adelante dos tipos de mediciones diferentes:

- Medición de parámetros en la capa sub-superficial a lo largo del diseño muestral (cuasi-continuo)
- Medición de parámetros en perfiles de la columna de agua en cada una de las estaciones fijadas.

El análisis integrado de estos parámetros permite identificar y caracterizar el escenario que ha presentado el estuario durante el período informado.

#### **Análisis semi-continuo**

Para la medición de los parámetros físico-químicos en continuo se implementó un sistema de captación de agua a bordo de la lancha oceanográfica *Buen Día Señor* del IADO conectada a una sonda multisensor Horiba U-10 y a un posicionador satelital GPS-Garmin S-12; con este dispositivo y navegando a baja velocidad se realizó una

medición de los parámetros estudiados cada tres (3) minutos. A consecuencia de la aplicación de este sistema se obtuvo un dato superficial de aproximadamente cada 400 m, grilla que resulta muy densa y que por lo tanto brinda una excelente información. Los principales resultados obtenidos por esta vía son:

### **1.1. Temperatura del agua**

En cada una de las campañas de investigación realizadas se hicieron cincuenta y dos (52) mediciones de temperatura del agua en la capa subsuperficial ; con esos 624 valores de temperatura del agua subsuperficial se construyó la **Figura 2**.

Allí se puede observar que este parámetro mostró un comportamiento homogéneo a lo largo de la región estudiada en cada uno de los meses correspondientes. En ningún caso hubo diferencias significativas ( $p < 0.01$ ) entre las temperaturas correspondientes a cada estación de muestreo.

Se observó una variación entre el rango de valores de temperatura correspondiente a cada uno de los meses estudiados ; así, las máximas T se registraron en *enero de 2003* (20.9°C a 22.2°C), mientras que las más bajas fueron las registradas en el mes de *junio de 2002* (4.1°C a 7.1°C) (**Figura 2**).

Estos valores de temperatura del agua son producto de la radiación solar incidente y de la profundidad de la columna, y la homogeneidad registrada es indicadora de un ambiente sometido a procesos oceanográficos y climáticos similares a lo largo de toda su extensión. El ingreso de aguas continentales (por ejemplo, arroyos, canales, etc) pueden influenciar localmente la distribución de este parámetro, pero en un radio limitado.



La homogeneidad observada en la distribución de la temperatura del agua de la zona interior del estuario de Bahía Blanca es un dato muy importante que resulta fundamental para la caracterización de la condición actual del ambiente.

## **1.2. Salinidad**

La **Figura 3** muestra la distribución de salinidad en la capa sub-superficial de la zona interior del estuario de Bahía Blanca, medida en continuo ( $n_i = 52$  para cada campaña ;  $n_{total} = 624$ ).

Los valores registrados para este parámetro indican que está mucho más condicionado a factores externos, como es fundamentalmente el aporte de agua dulce a través de vías directas (por ej., precipitaciones) o indirectas (por ej., descarga de cuerpos naturales o artificiales). Para la mayor parte de las campañas realizadas la distribución de salinidad fue homogénea a lo largo del área evaluada, con valores que oscilaron entre 31.84 ups y 34.71 ups (**Figura 3**) ; sin embargo, en todas ellas se observó una tendencia decreciente en los valores de las estaciones interiores del sistema (por ej., Est.7 y Est.8).

Por otro lado, en la campaña de junio se observó un significativo descenso de la salinidad entre la zona próxima a la desembocadura del arroyo Napostá e Ing.White (**Figura 3**).

Por su parte, en la campaña de setiembre se registró un significativo descenso generalizado de los valores de salinidad a lo largo del área estudiada, ligado a las altas precipitaciones producidas en las semanas previas (**Figura 3**), y que también mostró los valores más bajos en las estaciones interiores del diseño muestral. La posterior recuperación de estos valores fue muy lenta, y los bajos valores de

salinidad (aunque mayores que los del mes señalado) perduraron durante octubre, noviembre y diciembre de 2002 (**Figura 3**).

### **1.3. pH**

Los valores de pH registrados en las campañas del período informado presentaron una distribución homogénea, con un rango de variación entre las 7.5 y 8.9 u.pH (**Figura 4**).

Los mayores valores se observaron en las campañas de julio y diciembre de 2002, y marzo de 2003, y están probablemente relacionados con el metabolismo celular de las especies componentes del fitoplancton, que estaban en ese momento en pleno florecimiento o en fases de muy alta producción..

Por su parte, los menores valores se registraron en el mes de abril en la zona interna del estuario, pero en ninguno de los casos hubo diferencias significativas ( $p < 0.01$ ) entre los valores de pH medidos en las campañas.

### **1.4. Turbidez**

Tal y como muestra la **Figura 5**, los valores de turbidez medidos en las campañas realizadas fueron muy variables, y se presentaron en un amplio rango de valores: 19 u.n.t. (julio de 2002) – 285 u.n.t. (enero de 2003). Para muchas de las campañas realizadas (por ejemplo, abril, mayo, julio, agosto, diciembre de 2002) se registraron valores homogéneos de turbidez a lo largo de la grilla de trabajo, con niveles que en general no superaron las 120 u.n.t. (**Figura 5**).

Por otro lado, en otras campañas (por ejemplo, junio, setiembre y noviembre de 2002, o enero de 2003) se registraron rangos de variación mucho más amplios. Esto es un claro indicador de la influencia de factores externos sobre el sistema, como pueden ser descargas extraordinarias de cuerpos de aguas continentales, producción biológica muy alta, etc.

### **1.5. Oxígeno disuelto**

Los valores de oxígeno disuelto que se registraron durante este período en la zona interior del estuario de Bahía Blanca mostraron una distribución homogénea, y en general sus concentraciones variaron dentro de un rango bastante acotado: 4.4 mg/L (diciembre de 2002 y marzo de 2003) – 10.8 mg/L (julio de 2002) (**Figura 6**) ; este patrón de distribución fue claramente observado en las casi todas las campañas, con las excepciones de las de junio y julio de 2002, en las que se registran los valores más altos.

En cambio la observada para el mes de junio presentó concentraciones mayores de O.D., con un rango de variación entre los 8.0 y los 10.0 mg/L, con la sola excepción de la zona entre el Canal de la Ballena (descarga cloacal de Bahía Blanca) e Ing.White, donde varió entre 6.3 y 6.4 mg/L (**Figura 6**).

Finalmente en el mes de julio, cuando el florecimiento del fitoplancton presentó en su pico máximo, la concentraciones de O.D. variaron entre 8.5 y 10.8 mg/L, distribución ligada a la producción biológica del sistema (**Figura 6**).

Para comprender mejor el funcionamiento del sistema se puede considerar la distribución del porcentaje de saturación de oxígeno en el

agua de la zona interior del estuario (**Figura 7**). En este caso se puede observar un nivel fisiológico normal del mencionado porcentaje en todas las campañas (72 – 85%), con valores ligeramente superiores en la de junio pero que simultáneamente presenta una región con una severa disminución del %Sat.OD (63 – 64%).

Finalmente en la campaña de julio se registró un %Sat.OD que varió entre el 85% y el 110%, valores típicos de un sistema en plena producción biológica (**Figura 7**).

## **Análisis discreto.**

La segunda fase del estudio oceanográfico realizado durante este período correspondió al análisis de los parámetros físico-químicos y eco-fisiológicos estudiados en cada una de las estaciones de muestreo prefijadas en el sistema, habiéndose evaluado tanto su distribución en la capa sub-superficial como en los perfiles verticales de la correspondiente columna de agua. Los principales comentarios sobre estos temas son:

### **a. Nutrientes**

La distribución de compuestos nutritivos inorgánicos en la zona interior del estuario de Bahía Blanca durante el período informado presentaron tendencias muy claras, ligadas al funcionamiento del ambiente bajo estudio.

En el caso de los *nutrientes inorgánicos de nitrógeno* se observaron las siguientes tendencias: tanto el nitrato como el nitrito (**Figura 8**) presentaron sus concentraciones máximas en la campaña de abril (20.42  $\mu\text{mol NO}_3/\text{L}$  y 2.67  $\mu\text{mol NO}_2/\text{L}$ ), con un significativo decrecimiento permanente durante el otoño-invierno que culmina prácticamente con su agotamiento (0 – 0.93  $\mu\text{mol NO}_3/\text{L}$  y 0.05 – 0.14  $\mu\text{mol NO}_2/\text{L}$ ) en el mes de julio. La coincidencia entre este fenómeno y la ocurrencia del florecimiento del fitoplancton en julio demuestra claramente que esta asociación biológica es el principal consumidor de estos compuestos nutritivos en el sistema. *A posteriori* del florecimiento, comienzan a funcionar los procesos de regeneración llegando en un par de meses a niveles normales de ambos compuestos: 18.7  $\mu\text{mol NO}_3/\text{L}$  en setiembre y 3.01  $\mu\text{mol NO}_2/\text{L}$  en noviembre (**Figura 8**). Hacia el fin de la primavera – principios del verano hay un nuevo decaimiento de las concentraciones de nitrato y

nitrito (sobre todo en las estaciones interiores), que finalmente se recuperan y se mantienen sostenidas hasta el invierno siguiente.

Diferente es la tendencia mostrada por el amonio, que mantuvo sus concentraciones (o aún las aumentó) durante otoño-invierno, para ser significativamente consumido durante el florecimiento del fitoplancton (desde 50 – 114  $\mu\text{mol NH}_4/\text{L}$  a 15 - 25  $\mu\text{mol NH}_4/\text{L}$ ) ; como dato importante de este proceso se puede destacar que este nutriente no llega al agotamiento en ningún momento (durante este período), lo que significa tanto que el sistema se presenta plenamente productivo como que el proceso de amonificación es dominante en esta región (**Figura 8**).

En el caso de los compuestos nutritivos de fósforo se analizó la distribución de fosfato, que presentó una tendencia plenamente coincidente con la previamente descrita para nitrato y nitrito, aunque también en este caso hay que destacar que aún en el momento de máximo consumo (julio) no llega a ser agotado (**Figura 9**). Los valores registrados oscilaron entre los 1.5 y 2.8  $\mu\text{mol PO}_4/\text{L}$ , llegando durante el florecimiento a los 0.28 – 0.85  $\mu\text{mol PO}_4/\text{L}$  ; posteriormente al desarrollo de este proceso biológico comienza a regenerarse el fosfato, que llega a alcanzar niveles de 2.93 – 3.94  $\mu\text{mol PO}_4/\text{L}$  durante el verano (enero de 2003, **Figura 9**).

En cambio, los compuestos nutritivos de silicio mostraron una tendencia mucho más estable, que también presentó su pico de consumo en el mes de julio (desde los 35 – 150  $\mu\text{mol SiO}_3/\text{L}$  hasta los 40 – 80  $\mu\text{mol SiO}_3/\text{L}$ ) (**Figura 9**). Este consumo de silicato es muy razonable, teniendo en cuenta que el florecimiento fitoplanctónico que ocurre en Bahía Blanca está dominado por diatomeas, que son muy fuertes consumidores de este compuesto para la construcción de sus frústulos. Por otro lado, es interesante destacar que, una vez finalizado

el florecimiento los niveles de silicato vuelven a aumentar, hasta llegar a concentraciones de hasta 180  $\mu\text{mol SiO}_3/\text{L}$  hacia fines de la primavera (noviembre de 2002, **Figura 9**).

## **b. Materia orgánica**

El análisis de materia orgánica particulada (MOP) mostró un patrón regular con un amplio rango de concentraciones, que oscilaron entre los 125 mg C/L (octubre de 2002) y 2900 mg C/L (abril de 2002), con algunos picos de más de 4000 mg C/L (mayo de 2002) (**Figura 10**). El tipo de patrón observado a lo largo del diseño muestral permite sostener que se produce un fenómeno de resuspensión a partir de los puntos donde la MOP ingresa al sistema (por ej., arroyos, desagües, etc) o donde se genera (por ej., degradación de organismos, etc).

Es importante destacar que el estuario muestra un nivel básico o piso de MOP suficientemente alto como para sustentar a los procesos biológicos que pueden requerir dichos compuestos, y que –a través de procesos biogeoquímicos de mineralización- también puede aportar un suplemento extra de nutrientes inorgánicos al sistema. Por otro lado, estas concentraciones de MOP deben ser monitoreadas ya que son potenciales consumidoras de oxígeno disuelto del sistema.

## **c. Pigmentos fotosintetizadores**

La clorofila *a* es un indicador típico de la biomasa de fitoplancton presente en el sistema, así como de su evolución temporal y distribución espacial. En el período que aquí se informa se ha podido establecer que el estuario tiene un nivel medio de fitoplancton que varía entre los 3 y 15  $\mu\text{g Cl } a/\text{L}$ , valores que resultan mayores que los

que usualmente se determinan en ambientes marinos costeros. Sin embargo, durante el invierno alcanza niveles próximos a los 40  $\mu\text{g Cl } a /\text{L}$ , fenómeno que -si bien decrece hasta los 15 - 20  $\mu\text{g Cl } a /\text{L}$ - se sostiene durante la primavera temprana (**Figura 11**) ; hacia finales de la primavera - comienzos del verano se produce un segundo florecimiento de menor magnitud, pero que alcanza los 24  $\mu\text{g Cl } a /\text{L}$ . Estos valores son de los más altos que se han registrado en sistemas similares de todo el mundo, y se mantienen así -con oscilaciones naturales ocasionales- desde hace varias décadas, habiéndose determinado que este proceso corresponde a un gran florecimiento invernal del fitoplancton dominado por diatomeas (fundamentalmente *Thalassiosira curviseriata*) (Freije *et al.*, 1981 ; Gayoso, 1989 ; Popovich & Gayoso, 1999). Los contenidos de clorofila *a* registrados en este período, así como el momento en que esto ocurrió, son claros indicadores de un normal funcionamiento eco-fisiológico del estuario.

Por su parte los feopigmentos son productos de degradación de la clorofila, y su presencia es indicadora tanto del grado de senescencia de la asociación fitoplanctónica como del pastoreo que el zooplancton ejerce sobre el fito. La distribución de feopigmentos observada en este primer semestre (**Figura 11**) permite sostener que ambos procesos ocurrieron a lo largo de todo el período en el estuario.

### **Perfiles verticales en las estaciones**

La evaluación de los valores de los parámetros estudiados en perfiles de profundidad en cada una de las estaciones de muestreo tiene significativa importancia, teniendo en cuenta que con sus resultados se identifica el tipo de ambiente en el que estamos

trabajando. En el caso particular de este trabajo se lograron resultados que -para el período que se informa- son concluyentes.

La *temperatura* presentó una distribución homogénea a lo largo de la columna de agua en todas las estaciones de muestreo, sin haberse registrado diferencias significativas entre ellas (**Figuras 12, 13, 14 y 15**). Los rangos de variación de la temperatura oscilaron entre los 3.8 – 7.0°C en junio de 2002 hasta los 20.6 – 21.9°C en enero de 2003, con valores decrecientes desde febrero hasta junio y crecientes desde julio hasta diciembre (**Figuras 12, 13, 14 y 15**). Además las estaciones interiores de la grilla de muestreo (por ej., Est.#7 y Est.#8) mostraron ser las más rápidamente afectables por las condiciones climáticas del ambiente, ya que fueron las que presentaron -en las diferentes campañas- los valores mayores de temperatura (por ej., julio, agosto y setiembre) y también los menores (por ej., abril, mayo, junio). Este hecho, probablemente debido a la menor profundidad de la zona interior, demuestra que esta región tiene una menor inercia térmica que la exterior, y por lo tanto las temperaturas de sus aguas varían mucho más significativamente ante cambios en la temperatura ambiente del sistema.

La distribución de *salinidad* en el área evaluada del estuario de Bahía Blanca también presentó una distribución homogénea a lo largo de la columna de agua en todas las estaciones de muestreo, sin haberse registrado diferencias significativas entre ellas (**Figuras 16, 17, 18 y 19**). A pesar de esta homogeneidad identificada para el sistema, se observaron dos subáreas que funcionaban con tendencias ligeramente diferentes: las estaciones exteriores del sistema (por ej., Est.#1 a Est.#5) mostraron un comportamiento muy estable, con rangos de variaciones similares entre estaciones ; mientras que las interiores (por ej., Est.#7 y Est.#8) presentaron siempre salinidades menores para el mismo período, en algunos casos con diferencias

significativas respecto al primer grupo (**Figuras 16, 17, 18 y 19**). En el caso particular de la campaña #6 (setiembre de 2002) se registró una disminución generalizada de la salinidad en el sistema, que varió entre las 18.31 ups (Est.#8) y las 30.18 ups (Est.#1) (**Figura 17**) ; este decremento generalizado de la salinidad estuvo ligado al enorme ingreso de agua dulce, originado en lluvias torrenciales que afectaron a la región SE de la Pcia.de Buenos Aires en la semana previa a la campaña. Por último, los valores máximos de salinidad registrados para este período correspondieron a la campaña #12 (marzo de 2003), cuando los niveles oscilaron entre 33.88 y 35.60 ups (**Figura 19**).

Al estudiar la distribución vertical del *pH* en la columna de agua de la zona interior del estuario de Bahía Blanca se observó una distribución homogénea a lo largo de la misma, y que a pesar de haberse observado pequeños cambios en los valores registrados nunca llegaron a ser significativos (**Figuras 20, 21, 22 y 23**). Las distribuciones de valores de *pH* observadas también presentaron variaciones temporales, agrupándose tanto en zonas con mayor influencia ácida (por ej., 7.8 – 8.0 u.*pH* en abril,) como en algunas con predominio de valores básicos (por ej., 8.5 – 8.8 u.*pH* en julio, 8.6 – 8.9 u.*pH* en marzo, 8.5 – 8.9 u.*pH* en enero)(**Figuras 20, 21, 22 y 23**). En ningún caso los valores registrados sufrieron modificaciones tan grandes como para sospechar una afección masiva de sustancias de origen terrestre. Es importante tener presente que los valores de este parámetro pueden ser modificados a consecuencia de cambios significativos en la intensidad de los procesos biológicos que ocurren en el sistema estudiado (por ej., florecimientos fitoplanctónicos, pastoreo del zooplancton, etc).

Otro parámetro importante para evaluar la condición del sistema es el *oxígeno disuelto* en el agua del estuario, y su distribución vertical presentó un comportamiento homogéneo a lo largo de la

columna en toda la zona de estudio (**Figuras 24, 25, 26 y 27**). En este sentido se puede comentar que a lo largo del año evaluado la concentración de OD estuvo siempre por encima de valores considerados adecuados desde el punto de vista fisiológico para el desarrollo de procesos biológicos ; en este marco, vale la pena destacar que los niveles de OD fueron aumentando desde los 6.1 – 6.9 mg/L medidos en la campaña #1 (abril) hasta alcanzar los 8.8 – 10.5 mg/L en la campaña #4 (julio) ; este pico de OD coincidió con el pico de producción del fitoplancton en el sistema. Posteriormente (agosto) comenzó a disminuir, hasta llegar en setiembre a niveles de 6.4 – 8.0 mg/L (**Figuras 24 y 25**). Por último, desde octubre hasta marzo los niveles de OD se estabilizaron en un rango de valores entre los 4.7 y 5.8 mg/L (**Figuras 26 y 27**).

El mismo tipo de distribución descrito para el OD fue observado para el *porcentaje de saturación de oxígeno* en el agua del estuario (**Figuras 28, 29, 30 y 31**), lo que es un claro indicador de que el balance generación – consumo de oxígeno fue siempre positivo, concordando con los valores absolutos de OD registrados. El rango de valores del %sat.O varió entre 60% y 88%, manteniendo su homogeneidad a lo largo de la columna. En el mes de julio se produce una sobresaturación de oxígeno en el agua del sistema, que llega a valores de 106% en la Est.#7 y de 103% en la Est.#8, mientras que los valores más bajos se registraron en las Est.#2 y #3 ( $\cong$  90 mg/L) (**Figuras 28, 29, 30 y 31**). Es muy importante destacar que los mayores valores de %sat.O se registraron siempre en las estaciones interiores de la grilla de trabajo (por ej., Est.#7 y Est.#8).

Por último, se analizó la distribución vertical de la *turbidez* en la zona estudiada. Este parámetro mostró distribuciones homogéneas a lo largo de la columna, con algunas variaciones significativas que pueden haberse producido a partir de situaciones puntuales (**Figuras 32, 33,**

**34** y **35**). Los valores registrados indicaron que las campañas se llevaron adelante desde situaciones de calma plena, con muy bajos valores de turbidez (por ej., 16 – 40 u.n.t. en julio, o 21 – 51 u.n.t. en agosto) hasta condiciones de turbulencia, con valores de turbidez de 56 – 257 u.n.t., y con picos ocasionales de hasta 690 u.n.t. (**Figuras 32, 33, 34 y 35**).

## **2. ESTUDIO DE SUSTANCIAS POTENCIALMENTE TOXICAS :**

En esta segundo aspecto del estudio se evaluaron los contenidos de algunos *metales pesados* potencialmente tóxicos (Cd, Pb, Cu, Zn, Cr, Hg) tanto disueltos en el agua del estuario como retenidos en los sedimentos superficiales del mismo ; asimismo, se determinaron los contenidos de los mismos metales en tejidos (músculo comestible e hígado) de dos especies de peces muy características del estuario: el gatuza (*Mustelus schmitti*) y la pescadilla (*Cynoscion striatus*).

También se determinaron los contenidos de *hidrocarburos totales* disueltos/dispersos en el agua del estuario así como concentrados en los sedimentos superficiales.

Por último, en algunas campañas se determinaron los contenidos de compuestos organoclorados en los sedimentos del estuario.

### **2.1. METALES PESADOS**

#### **2.1.1. Cadmio**

En la mayoría de las campañas llevadas a cabo durante el período que se informa las concentraciones de *cadmio disuelto* en el agua del estuario estuvieron por debajo del límite de detección ; en tal sentido, vale comentar que solamente se midieron niveles detectables en tres de las campañas: agosto de 2002 (hasta 0.54 µg Cd/L), febrero de 2003 (hasta 0.31 µg Cd/L) y marzo de 2003 (hasta 0.85 µg Cd/L)(**Figura 36**). Este es un hecho importante, teniendo en cuenta

que la presencia de metales disueltos es indicadora de "ingreso reciente al sistema", ya que esta fase de los compuestos metálicos es sumamente efímera y es desplazada rápidamente hacia los otros compartimientos del sistema (por ej., material particulado en suspensión, sedimentos, organismos).

Por su parte, al analizar la presencia de cadmio en los sedimentos superficiales se observó una tendencia sostenida en las seis campañas evaluadas, con valores bajos en todas las estaciones pero con una clara situación de incremento en las estaciones interiores del estuario (**Figura 36**). El rango de valores de cadmio determinados en los sedimentos fue de 0.01 – 1.63 µg/g, en peso seco.

Los valores de Cd determinados en sedimentos durante este período fueron similares a los que se reportaron previamente para la misma zona: por ej., valores de hasta 3.0 µg/g -en peso seco- (IADO, 1997) y de 1.5 µg/g -en peso seco- (IADO, 2000). Por otro lado, en esos monitoreos se pudo observar ingresos irregulares pero mucho más frecuentes de cadmio disuelto al sistema evaluado, con valores que llegaron hasta los 1.2 µg/L (IADO, 1997) y los 1.8 µg/L (IADO, 2000). También vale aclarar que estos valores son de igual magnitud que los informados por otros autores en la década de los '80, como por ejemplo Pucci (1988) y Villa (1988).

### **2.1.2. Plomo**

En el caso de la evaluación de plomo durante el período abril de 2002 – marzo de 2003, mostró resultados similares a los comentados para el cadmio. En este caso, se registró *plomo disuelto* en las campañas realizadas en enero (hasta 4.51 µg Pb/L), febrero (hasta 3.22 µg Pb/L) y marzo de 2003 (hasta 3.80 µg Pb/L), mientras que en

el resto de los meses estudiados los valores de Pb disuelto fueron significativamente menores (**Figura 37**). La distribución observada parece indicar que los niveles de plomo disuelto registrados se encuentran a lo largo de toda el área de estudio en el estuario, lo que permite pensar que en esta región hay fuentes de este metal que lo están aportando actualmente al sistema en forma generalizada o difusa.

En los sedimentos superficiales estudiados en este período se determinaron valores de plomo que oscilaron entre los 4.17 y 18.56  $\mu\text{g Pb/g}$ , en peso seco (**Figura 37**). También este metal mostró en los sedimentos una tendencia igual a la descrita para el cadmio, con las menores concentraciones en las estaciones de la zona exterior y las máximas en la zona interior del estuario (**Figura 37**).

Al comparar estos valores con datos históricos de la región se pudo observar que se mantiene el ingreso de plomo disuelto al sistema, tal y como lo reportado previamente, pero los valores parecen ser ligeramente inferiores ; por ejemplo, en monitoreos previos se registraron valores de 5  $\mu\text{g/L}$  (con picos de hasta 8  $\mu\text{g/L}$ ) (IADO, 1997), así como de 6.55  $\mu\text{g/L}$  (IADO, 2000).

En cambio los valores de Pb en sedimentos fueron similares -en promedio- a los históricos, que llegaron hasta los 27  $\mu\text{g/g}$  -peso seco- (IADO, 1997) y a los 21  $\mu\text{g/g}$  (IADO, 2000). Estos valores determinados en el período abril de 2002 – marzo de 2003 fueron ligeramente superiores a los informados por Pucci (1988) para la misma zona.

### **2.1.3. Cobre**

En el caso del cobre también fue registrado tanto en forma disuelta como en los sedimentos superficiales del sistema evaluado. Las concentraciones de *cobre disuelto* que se midieron en este período oscilaron entre los 1.03 y 2.84  $\mu\text{g/L}$ , con una tendencia sostenida a lo largo de los doce meses estudiados (**Figura 38**). En este caso la distribución de cobre disuelto fue homogénea, sin mostrar puntos críticos a lo largo de la grilla muestreada, a pesar que la concentración más alta fue registrada en la Est.#6. Este tipo de distribución permite pensar en dos tipos básicos de situaciones: (i) Ingreso multipuntual de cobre al sistema, que determina la distribución homogénea que se registró ; o, (ii) Ingreso de Cu a partir de la atmósfera, con difusión posterior al agua del estuario. Ambas posibilidades generan una distribución global homogénea de cobre disuelto en el sistema (**Figura 38**). En la mayoría de las campañas se observó una tendencia ligeramente creciente desde la zona externa hacia la interna del estuario.

Por otro lado, en los sedimentos del estuario se registraron concentraciones de cobre que variaron entre los 2.65 y 19.10  $\mu\text{g Cu/g}$ , en peso seco (**Figura 38**). También en este caso se observa una tendencia de concentraciones crecientes de Cu desde las estaciones exteriores hacia las interiores, a pesar que en las Est.#7 y Est.#8 se observó un decremento significativo de las mismas, fundamentalmente en los meses de noviembre de 2002 y marzo de 2003 (**Figura 38**).

En los anteriores programas de monitoreo desarrollados entre 1995 y 2000 no se estudió la distribución de cobre, pero tanto los valores de Cu disuelto como los de Cu en sedimentos fueron ligeramente superiores, aunque del mismo orden de magnitud, que los informados por Villa (1988) y Pucci (1988) respectivamente.

#### **2.1.4. Zinc**

La distribución de *zinc disuelto* en el agua del estuario presentó una distribución particular, con concentraciones importantes en las estaciones de la zona exterior (hasta 18.76 µg/L en la Est.#1 en julio) y la mayoría de sus concentraciones con valores de hasta 4.0 µg Zn/L en las estaciones interiores (**Figura 39**). Este tipo de distribución indica la existencia de fuentes puntuales de zinc en esa zona externa/central, que están aportando este metal en la actualidad, lo que podría estar combinado con procesos de redistribución.

Por su parte, los sedimentos del sistema han presentado concentraciones que variaron entre 14.17 y 67.07 µg Zn/g, en peso seco, con una tendencia similar a la descrita para los metales analizados en párrafos previos (**Figura 39**).

Los valores de zinc disuelto resultaron inferiores a los informados previamente, y que alcanzaban los 40 µg/L (IADO, 1997) y los 80 µg/L (IADO, 2000), y que coincidían con los de Villa & Pucci (1987).

Por otro lado, los valores de este informe también son inferiores que los de monitoreos previos, aunque mantienen niveles significativos ; los previos informaron niveles de alrededor de 100 µg/g -peso seco- (IADO, 1997) y sobre todo a los 700 µg/g medidos posteriormente (IADO, 2000), valores que fueron superiores a los de Pucci (1988) para la misma zona.

### **2.1.5. Cromo**

En el caso del cromo, también se lo registró en ambas fases analizadas: agua del estuario y sedimentos superficiales. El cromo disuelto fue medido en todas las campañas, y sus valores variaron entre los 0.05 y los 8 µg/L (por ejemplo, en enero y marzo de 2003), con una distribución general que oscila entre los 1.0 y 2.0 µg Cr/L a lo largo de toda la grilla de muestreo, pero con varios picos que pueden llegar a valores entre los 4.0 y 8.0 µg Cr/L en todas las estaciones del sistema (**Figura 40**). También en este caso, este tipo de distribución indica la existencia de fuentes multipuntuales de cromo en esa zona, que están aportando este metal en la actualidad. Esta tendencia es diferente a las observadas previamente, donde no se registró -en general- la presencia de Cr disuelto (IADO, 1997 ; 2000), y los valores son similares a los informados por Villa (1988) para la misma zona.

Por otro lado, al analizar la presencia de Cr en los sedimentos superficiales del estuario se determinaron concentraciones que variaron entre los 1.27 y 13.90 µg Cr/g, en peso seco. También en este caso se observa una tendencia a que aumenten los niveles de Cr en sedimentos desde las estaciones externas hacia las internas, aunque las Est.#7 y Est.#8 mostraron un ligero decremento en las suyas, que fue muy marcado en marzo de 2003 (**Figura 40**). Sin embargo, los valores de Cr en sedimentos fueron ligeramente inferiores a los registrados en los monitoreos previos (IADO, 1997 ; 2000), y similares a los de Pucci (1988) para la misma región.

### **2.1.6. Mercurio**

En este caso se registraron bajas concentraciones de *mercurio disuelto* a lo largo de toda la grilla de muestreo utilizada. Los valores que se han determinado durante las campañas que aquí se informan oscilaron entre los 0.05 y 0.78  $\mu\text{g/L}$ , con un pico mayor de 1.49  $\mu\text{g/L}$  en la Est.#7 en julio (**Figura 41**). También en este caso, y a pesar de los bajos valores determinados, la tendencia distributiva observada fue homogénea a lo largo de toda el área de estudio ; este hecho permite sostener la posible existencia de ingreso multipuntual de mercurio al sistema o, ingreso de Hg a partir de la atmósfera, con difusión posterior al agua del estuario ; ambas posibilidades generan una distribución global homogénea de mercurio disuelto en el sistema (**Figura 41**).

Por su parte, la distribución de mercurio en los sedimentos superficiales del estuario han variado entre los 0.01 y 0.14  $\mu\text{g/g}$ , en peso seco (**Figura 41**). Estos valores son muy bajos, y pueden ser considerados como propios de un ambiente no impactado por mercurio.

Los valores de Hg disuelto que aquí se informan fueron similares a los registrados en trabajos previos (IADO, 1997 ; 2000), mientras que los determinados en sedimentos fueron ligeramente inferiores a los de esos programas de monitoreo, manteniendo la tendencia decreciente oportunamente informada (IADO, 1997 ; 2000).

### **2.1.7. Aluminio**

Por primera vez se midió el contenido de aluminio en los sedimentos superficiales de la zona interior del estuario de Bahía Blanca. Los valores determinados oscilaron entre los 8.46 y 28.91 mg Al/g (**Figura 42**). Estos valores son de gran utilidad, y se podrán utilizar para normalizar los contenidos de otros metales tóxicos contra este elemento mayoritario.

No existen antecedentes sobre este metal para el estuario de Bahía Blanca, pero vale aclarar que los niveles determinados en este trabajo son similares a los informados por otros autores para otros estuarios (por ejemplo, Loring, 1982 ; 1991 ; Rule, 1986 ; Lacerda *et al.*, 1999).

## **2.2. HIDROCARBUROS TOTALES**

La distribución de hidrocarburos totales presentó dos tendencias diferentes en las matrices estudiadas. Los hidrocarburos totales disueltos/dispersos en el agua del estuario presentaron en general concentraciones intermedias, que oscilaron entre los 0.07 mg HC<sub>tot</sub>/L y los 4.40 mg HC<sub>tot</sub>/L (**Figura 43**). La distribución que se observa en la figura mencionada indica que la mayoría de los datos registrados están entre los 2 y 3.5 mg HC<sub>tot</sub>/L, con picos ocasionales por arriba de estos valores.

Estos valores han sido mayores que los informados en los programas de monitoreo anteriores (IADO, 1997 ; 2000).

En cambio al estudiar la distribución de hidrocarburos totales en los sedimentos superficiales de la zona interior del estuario de Bahía Blanca se observó una distribución heterogénea, con las mayores concentraciones registradas en las Est.#7 en enero (1.08 mg/g, en peso seco), en la Est.#4 en marzo (0.91 mg/g, en peso seco), en la Est.#3 en noviembre (0.90 mg/g, en peso seco) y en la Est.#5 en setiembre (0.70 mg/g, en peso seco) (**Figura 43**). Estos valores registrados en el sedimento indican que -a pesar de los bajos niveles medidos en la fase disuelta para este período- hay un ingreso de hidrocarburos que se está concentrando en el sedimento del estuario, aunque el grado de acumulación es por el momento pequeño. También en este caso los valores registrados han sido similares a los presentados en los informes previos (IADO, 1997 ; 2000).

### **2.3. COMPUESTOS ORGANOCLORADOS**

Se estudió la distribución de compuestos organoclorados en sedimentos de tres campañas durante este período (mayo y setiembre de 2002 y marzo de 2003). Los valores obtenidos no superaron los 2 ng/g, con una distribución homogénea en la mayoría de las estaciones estudiadas (**Figura 44**) ; Sin embargo, en la campaña de setiembre se registró una concentración de 24.54 ng/g, valor que resulta importante y único para el período evaluado. Para tener una información más precisa respecto a esta alta concentración de organoclorados en los sedimentos se realizó un análisis con mayor detalle, obteniéndose la siguiente información. El 69% se identifica con pesticidas (en formas degradadas), con el siguiente detalle: Oxo-Heptacloro (1%) , DDE (5%), DDD´s (29%), Endrin (11%) y Endosulfán (23%). El resto (31%) se corresponde con hidrocarburos clorados, presumiblemente polímeros.

## **2.4. METALES EN PECES**

Para desarrollar esta parte del trabajo se obtuvieron en la zona de estudio muestras de dos especies típicas del estuario de Bahía Blanca: el gatuzo *Mustelus schmitti* y la pescadilla común *Cynoscion striatus*. En los ejemplares capturados se determinó el contenido de los metales estudiados en el músculo comestible y en el hígado. Los resultados obtenidos son los siguientes:

### **2.4.1. Cadmio en peces**

Todos los ejemplares de gatuzo (*Mustelus schmitti*) analizados mostraron contenidos de cadmio en sus tejidos, con niveles bajos pero detectables (**Figura 45**). Los valores de Cd detectados en el músculo comestible del gatuzo variaron entre los 0.01 y 0.63  $\mu\text{g Cd/g}$ , en peso húmedo, con un valor medio de  $0.21 \pm 0.06 \mu\text{g Cd/g}$ , en peso húmedo ; mientras que los correspondientes al hígado oscilaron entre los 0.01 y 2.44  $\mu\text{g Cd/g}$ , en peso húmedo, con una media de  $0.74 \pm 0.23 \mu\text{g Cd/g}$ , en peso húmedo (**Figura 45**). En el músculo se observó una tendencia decreciente en ejemplares de mayor talla, por lo que se puede sostener que este metal no se bioacumula en ese tejido, mientras que en el hígado se observa la tendencia inversa (**Figura 45**). Los valores de Cd determinados en tejidos de gatuzo en el presente trabajo son del mismo orden que los informados previamente para la misma especie en Bahía Blanca (Marcovecchio, 1988 ; Marcovecchio *et al.*, 1988.a ; 1988.b ; 1991 ; IADO, 2000).

Al analizar los datos de cadmio en los tejidos de la pescadilla común (*Cynoscion striatus*) de Bahía Blanca se observaron los siguientes detalles: en músculo comestible las concentraciones variaron entre los 0.01 y 0.34  $\mu\text{g Cd/g}$ , en peso húmedo, con un valor

medio de  $0.15 \pm 0.04 \mu\text{g Cd/g}$ , en peso húmedo ; mientras que en el hígado fueron de 0.74 a  $9.64 \mu\text{g Cd/g}$ , en peso húmedo, con una media de  $3.89 \pm 0.79 \mu\text{g Cd/g}$ , en peso húmedo (**Figura 46**). En ninguno de los tejidos analizados se verificó la existencia de bioacumulación de cadmio. Los valores determinados en este estudio son del mismo orden que los antecedentes históricos que existen para esta especie en el estuario de Bahía Blanca (Marcovecchio, 1988 ; Marcovecchio *et al.*, 1988.a ; 1988.b ; IADO, 2000).

Los valores de cadmio determinados en el músculo comestible de ambas especies no superan en promedio los estándares internacionalmente aceptados como de aptitud para el consumo humano (Nauen, 1983), aunque algún valor individual puede quedar por encima de esos niveles.

#### **2.4.2. Plomo en peces.**

La mayor parte de los ejemplares de gatuzo analizados presentaron contenidos de plomo ; en tal sentido debemos señalar que los valores de plomo en músculo variaron entre los 0.01 y  $2.99 \mu\text{g Pb/g}$ , en peso húmedo, con un valor medio de  $0.85 \pm 0.19 \mu\text{g Pb/g}$ , en peso húmedo ; mientras que los correspondientes al hígado de los mismos ejemplares estuvieron entre los 0.01 y  $3.18 \mu\text{g Pb/g}$ , en peso húmedo, con una media de  $0.93 \pm 0.24 \mu\text{g Pb/g}$ , en peso húmedo (**Figura 47**). En ninguno de los tejidos analizados se verificó la existencia de bioacumulación de plomo. Estos valores son más altos que los informados en el único antecedente bibliográfico que hay para este metal en gatuza de Bahía Blanca (IADO, 2000).

Por su parte, al analizar los datos de plomo en tejidos de la pescadilla de Bahía Blanca se observaron los siguientes resultados: las

concentraciones en músculo estuvieron en el orden del límite de detección del método analítico empleado (0.01 µg Pb/g, en peso húmedo), mientras que las correspondientes a hígado también estuvieron en el mismo nivel, pero con un solo valor diferente (0.18 µg Pb/g, en peso húmedo), lo que determinó una media de  $0.03 \pm 0.07$  µg Pb/g, en peso húmedo (**Figura 48**). Los datos obtenidos no permiten sostener la existencia de procesos de bioacumulación de plomo en los tejidos de la pescadilla de Bahía Blanca. En este caso los niveles de plomo determinados en esta especie fueron del mismo orden que los informados previamente (IADO, 2000).

Los niveles de plomo determinados en los tejidos de la pescadilla de Bahía Blanca son inferiores a los valores internacionalmente recomendados como aptos para el consumo humano (Nauen, 1983).

### **2.4.3. Cobre en peces.**

Todos los ejemplares de gatuzo (*Mustelus schmitti*) analizados mostraron contenidos de cobre en sus tejidos (**Figura 49**). Los valores de Cu detectados en el músculo comestible del gatuzo variaron entre los 0.01 y 0.65 µg Cu/g, en peso húmedo, con un valor medio de  $0.25 \pm 0.12$  µg Cu/g, en peso húmedo ; mientras que los correspondientes al hígado oscilaron entre los 1.05 y 2.75 µg Cu/g, en peso húmedo, con una media de  $1.74 \pm 0.63$  µg Cu/g, en peso húmedo (**Figura 49**). La distribución de los valores de Cu determinados en los tejidos del gatuzo de Bahía Blanca permiten sostener que se está produciendo una bioacumulación de ese metal en el músculo y en el hígado de la mencionada especie (**Figura 49**). Este constituye el primer antecedente de estudio de cobre en tejidos de peces del estuario de Bahía Blanca, pero los valores obtenidos son similares a los

determinados por otros autores en otros estuarios (Lacerda et al., 1999).

Al analizar los datos de cobre en tejidos de la pescadilla de Bahía Blanca se observaron los siguientes resultados: las concentraciones en músculo estuvieron entre los 0.01 y 0.62  $\mu\text{g Cu/g}$ , en peso húmedo, con un valor medio de  $0.22 \pm 0.10 \mu\text{g Cu/g}$ , en peso húmedo ; mientras que las correspondientes a hígado también estuvieron entre los 3.87 y los 11.2  $\mu\text{g Cu/g}$ , en peso húmedo), con una media de  $7.72 \pm 1.37 \mu\text{g Cu/g}$ , en peso húmedo (**Figura 50**). Los datos obtenidos no permiten sostener la existencia de procesos de bioacumulación de Cu en los tejidos de la pescadilla de Bahía Blanca. Los niveles de Cu determinados en este trabajo son del mismo orden que los informados previamente (IADO, 2000).

Los valores de cobre determinados en el músculo comestible de estas dos especies son adecuados para el consumo humano, de acuerdo a los valores internacionalmente recomendados como aptos para tal fin (Nauen, 1983).

#### **2.4.4. Zinc en peces.**

Todos los ejemplares de gatuzo (*Mustelus schmitti*) analizados mostraron contenidos de zinc en sus tejidos (**Figura 51**). Los valores de Zn detectados en el músculo comestible del gatuzo variaron entre los 1.17 y 5.14  $\mu\text{g Zn/g}$ , en peso húmedo, con un valor medio de  $2.92 \pm 0.94 \mu\text{g Zn/g}$ , en peso húmedo ; mientras que los correspondientes al hígado oscilaron entre los 5.99 y 16.62  $\mu\text{g Zn/g}$ , en peso húmedo, con una media de  $11.94 \pm 1.63 \mu\text{g Cu/g}$ , en peso húmedo (**Figura 51**). Los datos obtenidos no permiten sostener la existencia de bioacumulación de zinc en los tejidos del gatuzo de Bahía Blanca. Los

valores de Zn en tejidos de esta especie son similares a los informados por el IADO (2000), y resultan inferiores a los publicados por Marcovecchio, 1988 ; Marcovecchio *et al.*, 1988.a ; 1988.b.

Por su parte, al analizar los datos de Zn en tejidos de la pescadilla se observaron los siguientes resultados: las concentraciones en músculo estuvieron entre los 3.70 y 8.09  $\mu\text{g Zn/g}$ , en peso húmedo, con un valor medio de  $4.75 \pm 1.77 \mu\text{g Zn/g}$ , en peso húmedo ; mientras que las correspondientes a hígado también estuvieron entre los 22.61 y los 46.91  $\mu\text{g Zn/g}$ , en peso húmedo, con una media de  $32.09 \pm 7.37 \mu\text{g Zn/g}$ , en peso húmedo (**Figura 52**). Tampoco en este caso se verificó la existencia de bioacumulación de zinc en los tejidos de la pescadilla de Bahía Blanca. Los niveles de Zn determinados en este trabajo son similares a los informados previamente (IADO, 2000), e inferiores a datos obtenidos en la década de los '80 (Marcovecchio, 1988 ; Marcovecchio *et al.*, 1988.a ; 1988.b.)

Los niveles de Zinc en las especies estudiadas los muestran como aptos para el consumo humano, en el marco de los estándares internacionalmente recomendados como aptos para el consumo humano (Nauen, 1983).

#### **2.4.5. Cromo en peces.**

La mayor parte de los valores de Cr en el músculo comestible del gatuzo estuvieron en los mismos niveles del límite de detección del método analítico empleado, a pesar que hubo varios que llegaron hasta los 0.62  $\mu\text{g Cr/g}$ , en peso húmedo ; la misma situación se dio en hígado, con la diferencia que los valores detectables llegaron hasta los 1.17  $\mu\text{g Cr/g}$ , en peso húmedo (**Figura 53**). Estos datos no permiten sostener la existencia de bioacumulación de cromo en los tejidos de las

especies estudiadas. Los valores determinados en este estudio son similares a los informados previamente para la región (IADO, 2000).

Por su parte, al analizar los datos de Zn en tejidos de la pescadilla se observó que en todos los casos (con una sola excepción) los niveles de Cr estuvieron por debajo del límite de detección del método analítico empleado (**Figura 54**). Estos resultados concuerdan con los informes previos (IADO, 2000).

#### **2.4.6. Mercurio en peces.**

Todos los ejemplares de gatuzo (*Mustelus schmitti*) analizados mostraron contenidos de mercurio total en sus tejidos, aunque en niveles muy bajos (**Figura 55**). Los valores de Hg detectados en el músculo comestible del gatuzo variaron entre los 0.05 y 0.16 µg Hg/g, en peso húmedo, con un valor medio de  $0.09 \pm 0.01$  µg Hg/g, en peso húmedo ; mientras que los correspondientes al hígado oscilaron entre los 0.02 y 0.14 µg Hg/g, en peso húmedo, con una media de  $0.07 \pm 0.01$  µg Hg/g, en peso húmedo (**Figura 55**). En este caso los resultados sostienen la existencia de bioacumulación de mercurio en los tejidos del gatuzo de Bahía Blanca. Los valores determinados en este estudio son similares a los últimos informes sobre la región (IADO, 2000), y significativamente menores que los de la década de los '80 (Marcovecchio, 1988 ; Marcovecchio *et al.*, 1988.a ; 1988.b ; 1991).

En el caso de los tejidos de la pescadilla, los valores de mercurio total en músculo variaron entre 0.11 y 0.14 µg Hg/g, en peso húmedo, con un valor medio de  $0.12 \pm 0.01$  µg Hg/g ; mientras que los de hígado oscilaron entre los 0.02 y 0.19 µg Hg/g, en peso húmedo, con una media de  $0.07 \pm 0.05$  µg Hg/g, en peso húmedo (**Figura 56**).

También en este caso se observa una bioacumulación de mercurio total en los tejidos de la pescadilla de Bahía Blanca. Los valores determinados en este estudio son similares a los últimos informes sobre la región (IADO, 2000), y significativamente menores que los de la década de los '80 (Marcovecchio, 1988 ; Marcovecchio *et al.*, 1988.a ; 1988.b).

Los niveles de mercurio total en las especies estudiadas los muestran como aptos para el consumo humano, en el marco de los estándares internacionalmente recomendados como aptos para el consumo humano (Nauen, 1983).

## **CONCLUSIONES PARA EL PERIODO ESTUDIADO**

La zona interior del estuario de Bahía Blanca, estudiada durante abril-2002 / marzo-2003, presentó condiciones que permiten caracterizarlo de la siguiente manera:

- i. Tanto los *parámetros físico-químicos estructurales* del sistema (temperatura, salinidad, pH) como los *ecofisiológicos* (nutrientes, pigmentos fotosintetizadores, oxígeno disuelto) mostraron un comportamiento normal para la época del año y plenamente concordante (tanto en tendencias como en magnitud) con los datos históricos pre-existentes para este ambiente .
- ii. La *distribución horizontal* de los parámetros físico-químicos presentó una tendencia homogénea, sin variaciones significativas a lo largo de la grilla de muestreo, lo que permite sostener que desde el punto de vista oceanográfico esta zona funciona como una unidad.
- iii. La *distribución vertical* de los mismos parámetros en cada estación de muestreo también mostró una distribución sin diferencias significativas a lo largo de la columna de agua, por lo que podemos sostener que el sistema oceanográfico es homogéneo (sin estratificación).
- iv. La mayoría de los *metales pesados disueltos* estudiados (Pb, Cu, Zn, Cr y Hg) presentaron concentraciones variadas. Algunos predominaron en la zona exterior (Zn), mientras que otros mostraron distribuciones globales (Cu, Pb, Cr). Hg presentó niveles muy bajos, y Cd se detectó en pocas campañas.
- v. Con excepción del Hg, todos los *metales pesados* estudiados (Cd, Pb, Cu, Zn, Cr) mostraron que se están

acumulando en los *sedimentos* del sistema, presentando además una tendencia a acumularse más en la zona interior que en la exterior de la grilla de muestreo empleada.

- vi. Se determinaron los contenidos de Al en sedimentos, encontrándose niveles que pueden ser considerados como de base (*background level*).
- vii. En general no se registró la presencia de *hidrocarburos totales dispersos/disueltos* en el agua del estuario, salvo unas pocas excepciones (4 ó 5 campañas).
- viii. Sí se ha observado una acumulación global de hidrocarburos totales en los sedimentos del sistema, que no llegó a indicar una tendencia espacial definida.
- ix. En las tres campañas en que se midió organoclorados se registraron valores detectables, pero relativamente bajos, con una excepción que merece ser considerada.
- x. De los peces estudiados, el gatuzo mostró residuos de Cd, Pb, Cu, Zn y Hg en sus tejidos (músculo e hígado), mientras que la pescadilla presentó contenidos de Zn y Hg en ambos tejidos y de Cd, Pb, Cu, Zn y Hg en hígado.
- xi. Con la excepción del mercurio, todos los otros metales tuvieron mayores niveles en el hígado que en el músculo de ambas especies.
- xii. Los niveles de Pb, Cu y Cr en los sedimentos del sistema parecen estar estabilizados con respecto a los valores de los últimos años. Los de Hg parecen seguir decreciendo, tal y como lo vienen mostrando en los últimos 5 años. Finalmente, los de Zn y en menor medida los de Cd muestran un incremento (de baja pendiente pero constante) en sus niveles en el estuario.

## **BIBLIOGRAFIA**

- APHA, 1992.** Standard methods for the examination of water and wastewater. L.Clesceri, A.Greenberg & A.Eaton (eds), APHA-AWWA.WEF, Washington,USA, 680 pp.
- Eberlein, K. & G. Kattner. 1987.** Fresenius Z.Anal.Chem., 326: 354-357.
- E.P.A. 2002.** Gravimetric determination of total hydrocarbons. US.EPA Method 1664A.
- Freije R.H., R. Asteasuain, A. Schmidt & J. Zavatti, 1981.** Relación de la salinidad y temperatura del agua con las condiciones hidrometeorológicas en la porción interna del estuario de Bahía Blanca. *Instituto Argentino de Oceanografía*, Bahía Blanca, Contrib.Científ.IADO N° 57: 38 pp.
- Gayoso, A.A., 1989.** Species of the Diatom Genus *Thalassiosira* from a Coastal Zone of the South Atlantic (Argentina). *Botanica Marina* 32: 331-337.
- Ginsberg, S.S. y G.M.E. Perillo, 2000.** Deep scour holes at the confluence of tidal channels in the Bahía Blanca estuary, Argentina. *Marine Geology* 160: 171-182.
- Gómez, E.A. y G.M.E. Perillo, 1992.** Largo Bank: a shoreface-connected linear shoal at the Bahía Blanca entrance, Argentina. *Marine Geology* 104: 193-204.
- Gómez, E.A., S.S. Ginsberg y G.M.E. Perillo, 1997.** Geomorfología y sedimentología de la zona interior del Canal Principal del Estuario de Bahía Blanca. *Revista de la Asociación Argentina de Sedimentología* 3: 55-61.
- Grasshoff, K. 1983.** In : Methods in seawater analysis , K. Grasshoff, M. Erhardt & K. Kremling (eds), 2nd.Edition, Verlag-Chemie, Ch.9, pp.134-137.
- IADO, 1997.** Estudio de la calidad del agua en la ría de Bahía Blanca. Informe Final, Instituto Argentino de Oceanografía: 60 pp.
- IADO, 2000.** Estudio de la calidad del agua en la ría de Bahía Blanca, 2da.Etapa. Informe Final, Instituto Argentino de Oceanografía: 55pp.

- Koirtyohann & Wen. 1973.** Critical study of the APDC-MIBK straction system for atomic absorption. *Anal. Chem.*, 45 (12): 1986-1989.
- Lacerda L. D., J. J. Abrão, M. Bernat & F. Fernex, 1999.** Biogeochemistry of heavy metals in the lagoons of eastern Rio de Janeiro State, Brazil. In: *Environmental Geochemistry of Coastal Lagoon Systems of Rio de Janeiro, Brasil*. B. Knoppers, E. Bidone & J. J. Abrão (eds.), UFF/FINEP, pp. 179-195.
- Lorenzen, C. 1967.** *Limnol. & Oceanogr.*, 12(2): 343-346
- Loring D.H., 1982.** Geochemical factors controlling the accumulation and dispersal of heavy metals in the Bay of Fundy sediments. *Can.J.Earth Sci.*, 19 (5): 930-944.
- Loring D.H., 1991.** Normalization of heavy metal data from estuarine and coastal sediments. *ICES, J. Mar. Sci.*, 48: 101-115.
- Marcovecchio, J.E. 1988.** *Tesis Doctoral, Univ. Nac. Mar del Plata: 212 pp.*
- Marcovecchio, J., V. Moreno & A. Pérez. 1988.a.** Determination of some heavy metal baselines in the biota of Bahía Blanca, Argentina. *Sci. Tot. Environ.*, 75: 181-190
- Marcovecchio, J., V. Moreno & A. Pérez. 1988.b.** In : *Metals in coastal environments of Latin America*, U. Seeliger, L.D. Lacerda & S. Patchineelam (eds), Springer-Verlag, pp. 122-129.
- Marcovecchio, J., V. Moreno & A. Pérez. 1991.** Heavy metals accumulation in tissues of sharks from the Bahía Blanca estuary, Argentina. *Mar. Environ. Res.* 31 (4): 263-274.
- Nauen, C.E. 1983.** Compilation of legal limits for hazardous substances in fish and fishery products. *FAO Fish. Circ. N°764*: 102 pp.
- Perillo, G.M.E., M.B. García Martínez y M.C. Piccolo, 1996.** Geomorfología de canales de marea: análisis de fractales y espectral. *Actas de VI Reunión Argentina de Sedimentología*: 155-160.
- Perillo, G.M.E. y M.C. Piccolo, 1991.** Tidal response in the Bahía Blanca estuary. *Journal of Coastal Research* 7: 437-446.

- Perillo, G.M.E. y M.C. Piccolo, 1999.** Bahía Blanca estuary: a review of its geomorphologic and physical characteristics. In: Perillo, G.M.E., M.C.Piccolo & M. Pino Quivira (eds), *Estuaries of South America: their geomorphology and dynamics*, Springer-Verlag, Berlin-Hiedleberg-New York.
- Popovich C.A. & A.M. Gayoso, 1999.** Effect of irradiance and temperature on the growth rate of *Thalassiosira curviseriata* Takano (Bacillariophyceae), a bloom diatom in Bahía Blanca estuary (Argentina). *Journal of Plankton Research* 21 (6):1101-1110.
- Pucci,A., R.Freije, R.Asteasuain, J.Zavatti & J.Sericano. 1979.** Contrib. Científ. IADO N°52 : 90 pp.
- Pucci, A., R.Freije, R.Asteasuain, J.Zavatti & J.Sericano. 1980.** Contrib. Científ. IADO N°56 : 69 pp.
- Pucci, A.E. 1988.** In: *Metals in Coastal Environments of Latin America*, U.Seeliger, L.D.Lacerda & S.R.Patchineelam (eds), Springer-Verlag: pp. 9-15.
- Rule J. H., 1986.** Assessment of trace element geochemistry of Hampton Roads harbor and lower Chesapeake Bay area sediments. *Environ.Geol.Water Sci.*, 8: 209-219.
- Strickland, J & Parsons, T. 1968.** *A Practical Handbook of Seawater. Analysis*, pp 207-211
- Technicon®, 1973.** Industrial Method N° 186 - 72 W/B.
- Treguer, P., & P. Le Corre. 1975.** Manuel D'Analyse des Sels Nutritifs dans l'Eau de Mer, Univ.Bretagne Occidentale : 109 pp.
- Uthe,J., Armstrong,F., Stainton,M. 1970.** Mercury determination in fish samples by digestion and flameless atomic absorption spectrophotometry. *J.Fish. Res. Bd. Canada*, 27 : 805-811
- Villa, N. 1988.** In: *Metals in Coastal Environments of Latin America*, U.Seeliger, L.D.Lacerda & S.R.Patchineelam (eds), Springer-Verlag: pp.30-44.
- Villa, N. & Pucci, A.E. 1987.** *Est.Coast & Shelf Sci.*, 25: 67-80.



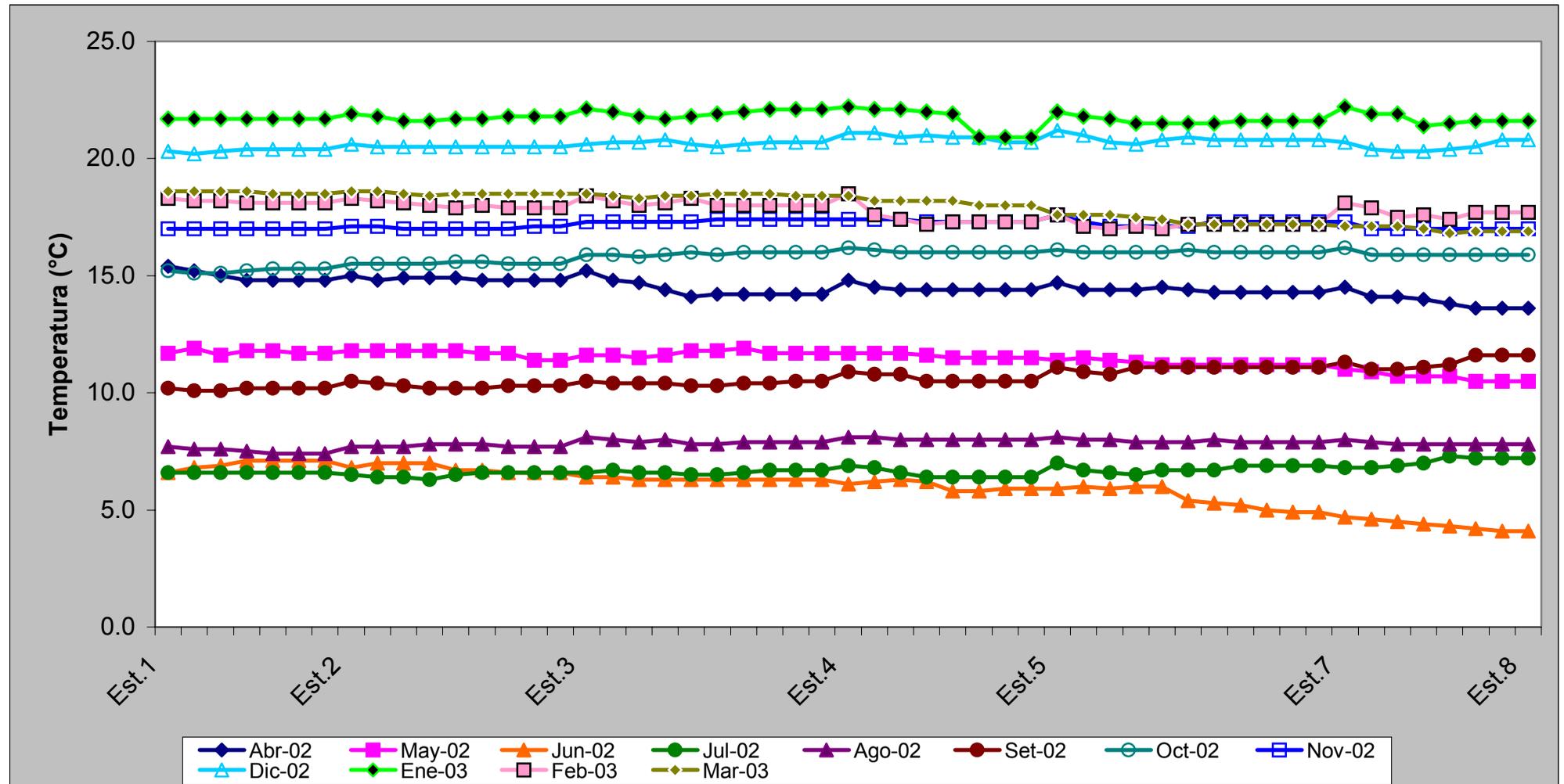


Figura 2 : Distribución de temperatura del agua en la zona interior del estuario de Bahía Blanca.

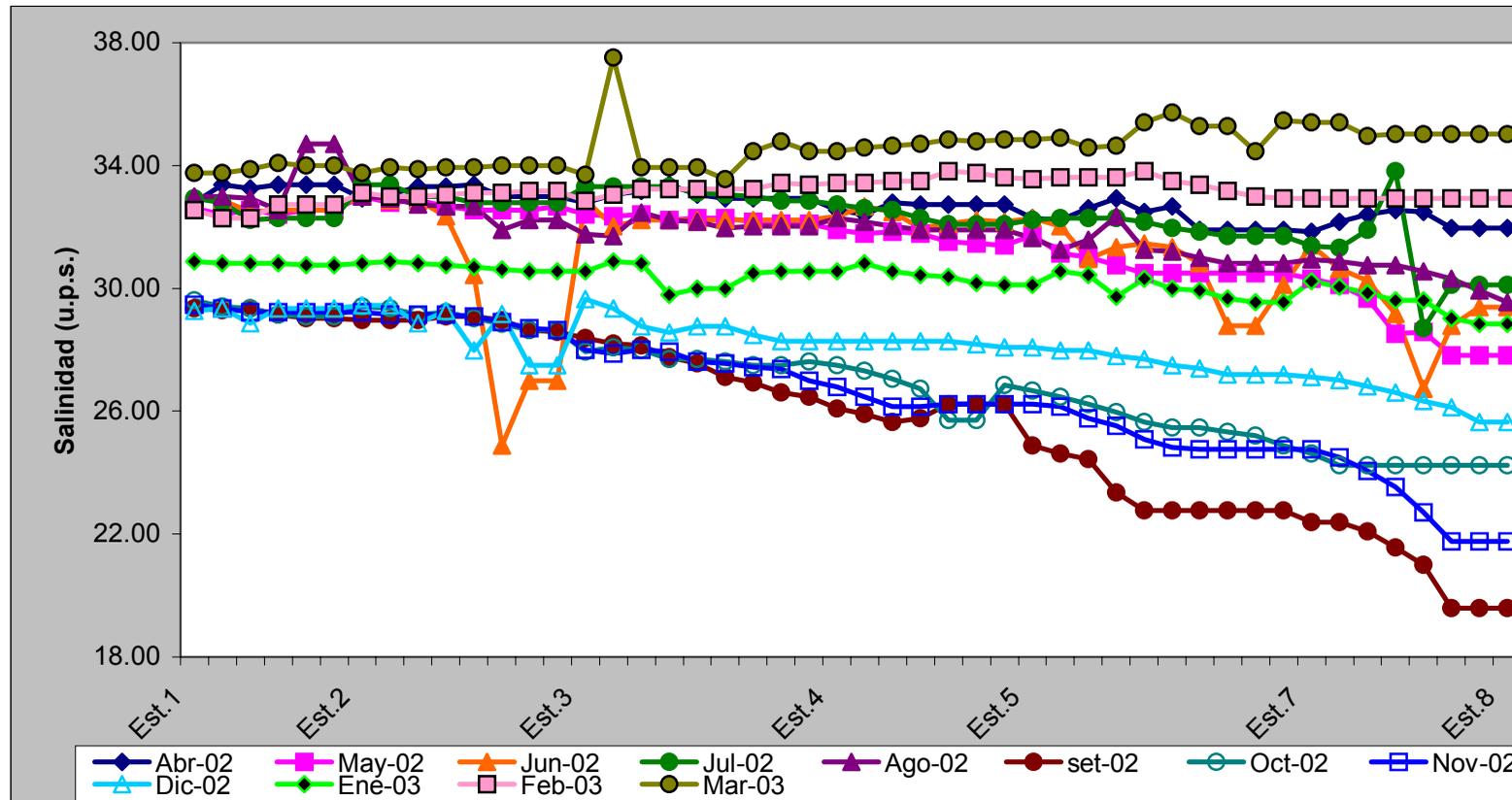


Figura 3 : Distribución de salinidad en la zona interior del estuario de Bahía Blanca

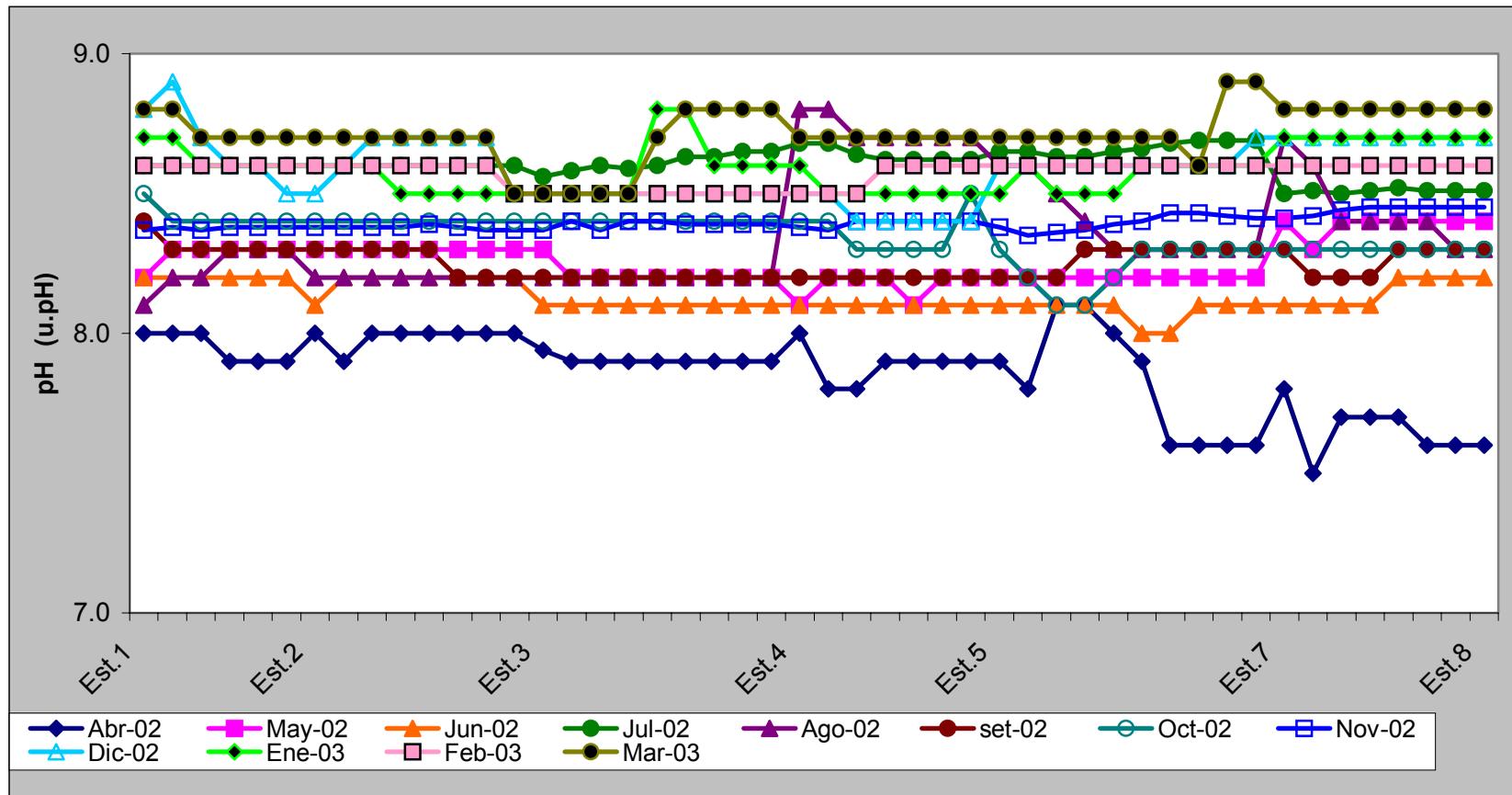


Figura 4 : Distribución de pH en la zona interior del estuario de Bahía Blanca.

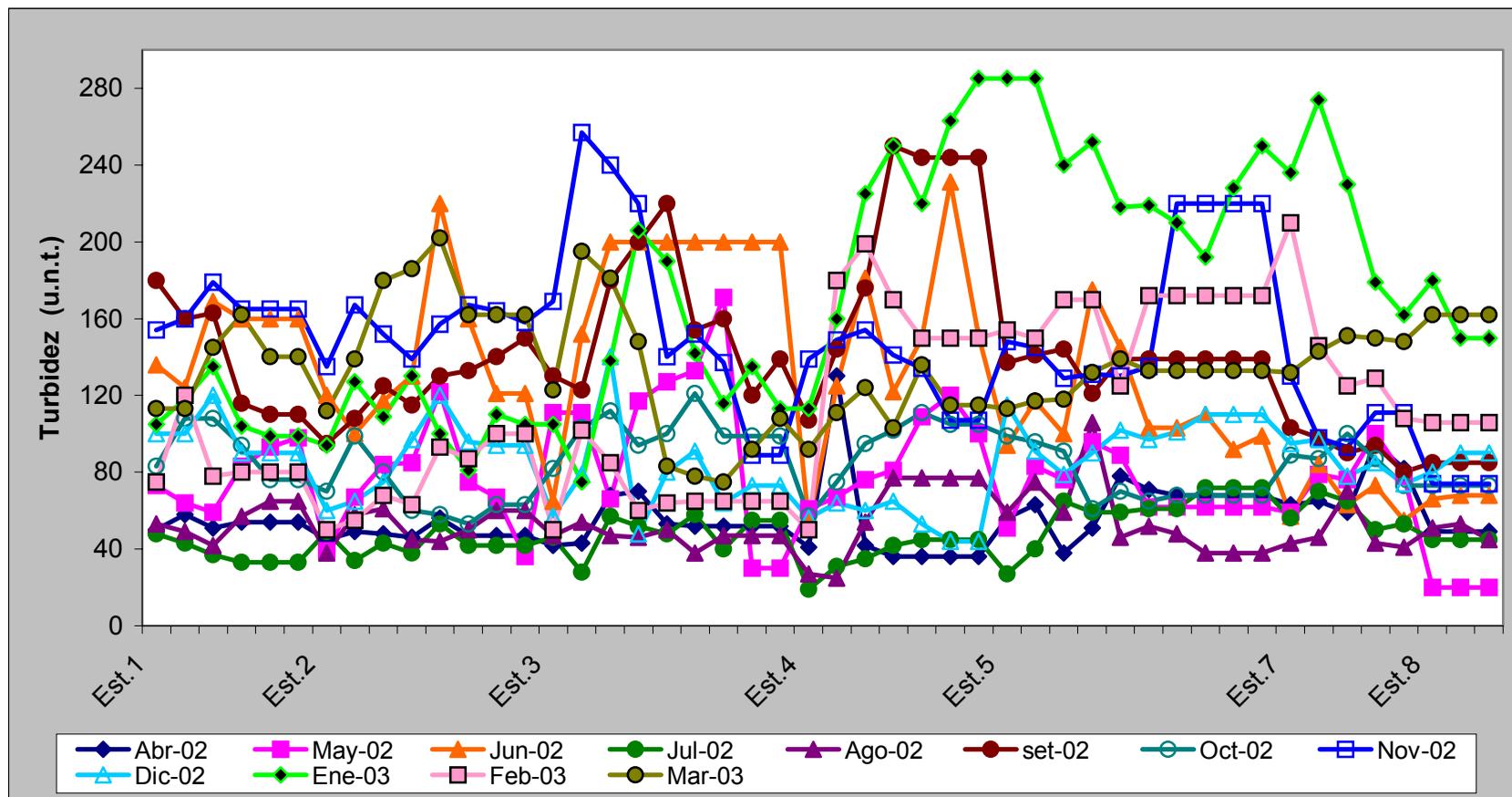


Figura 5 : Distribución de turbidez en la zona interior del estuario de Bahía Blanca.

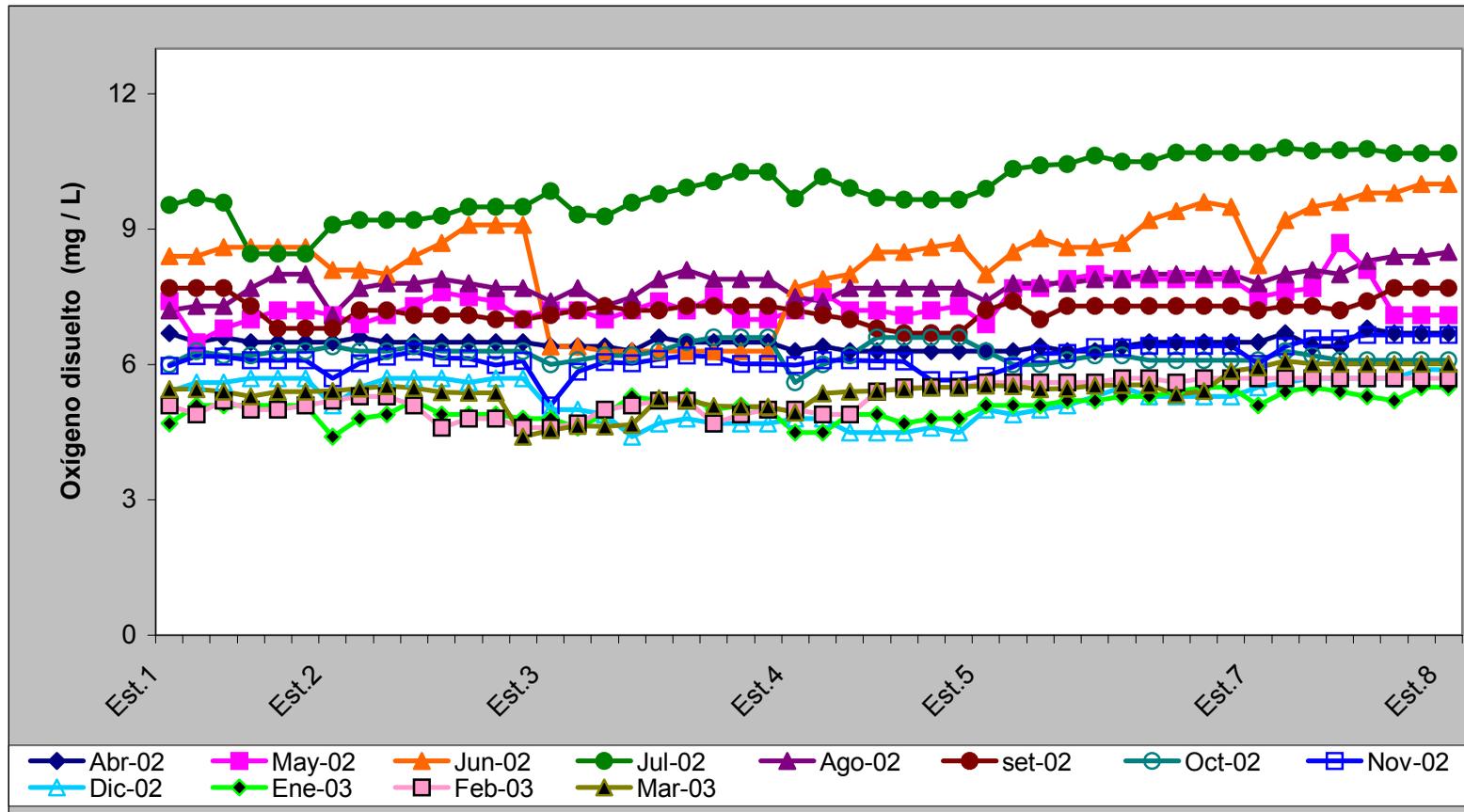


Figura 6 : Distribución de oxígeno disuelto en la zona interior del estuario de Bahía Blanca.

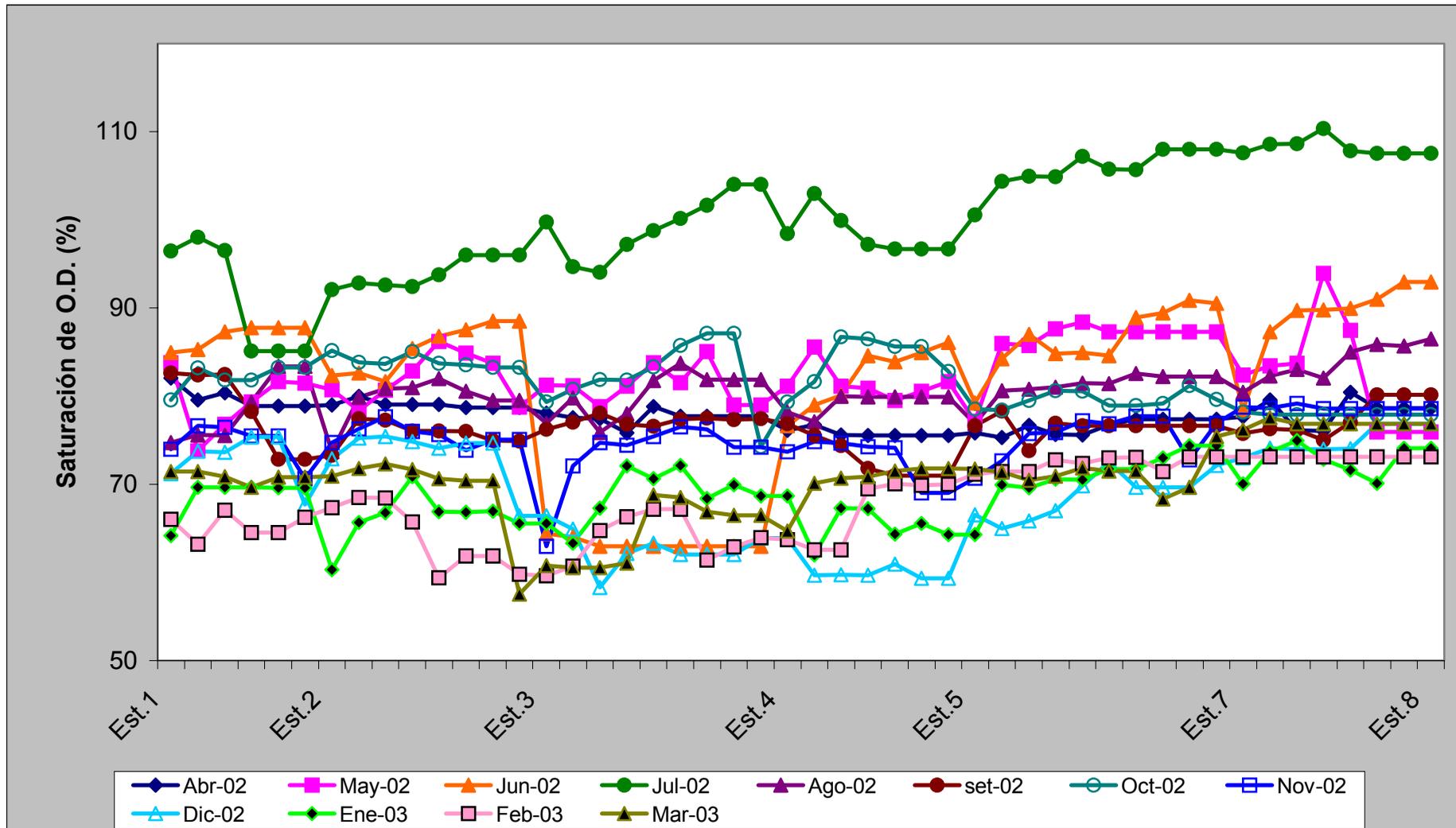
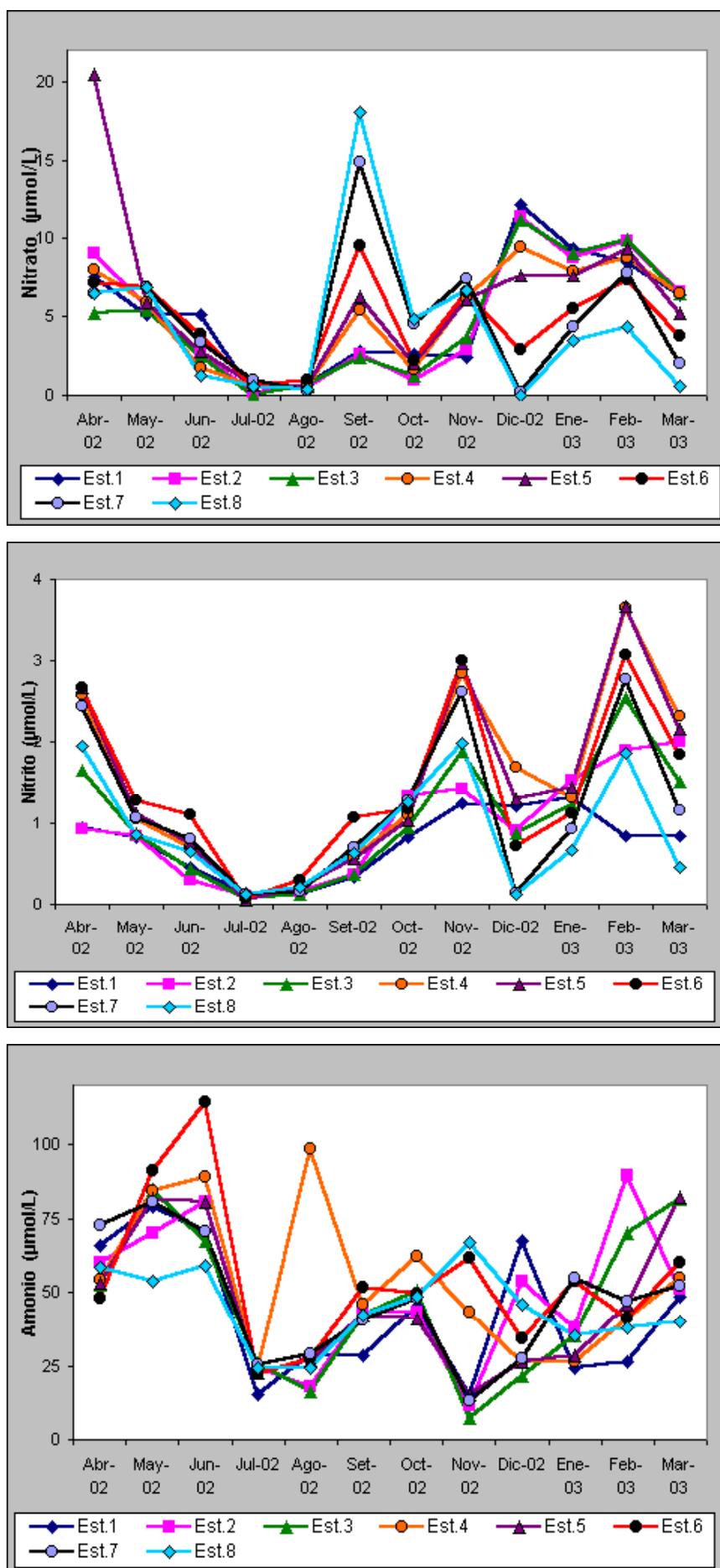
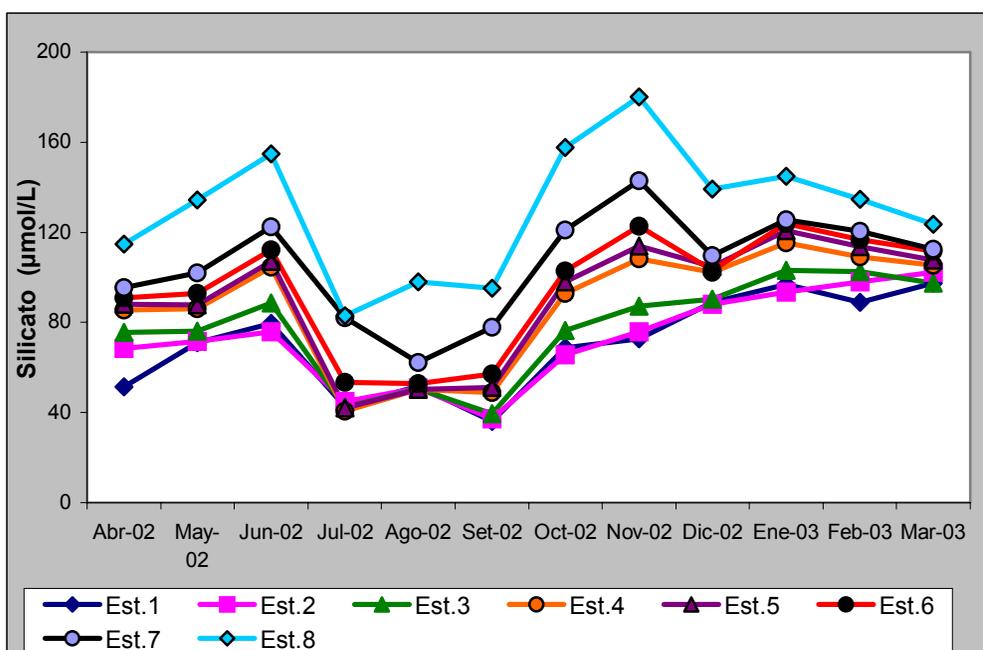
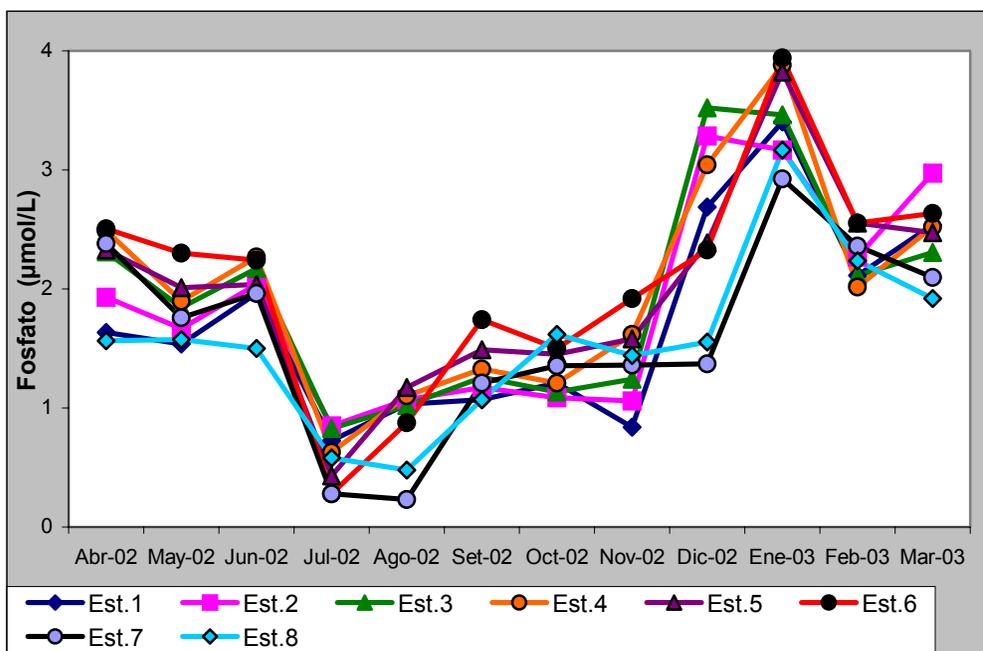


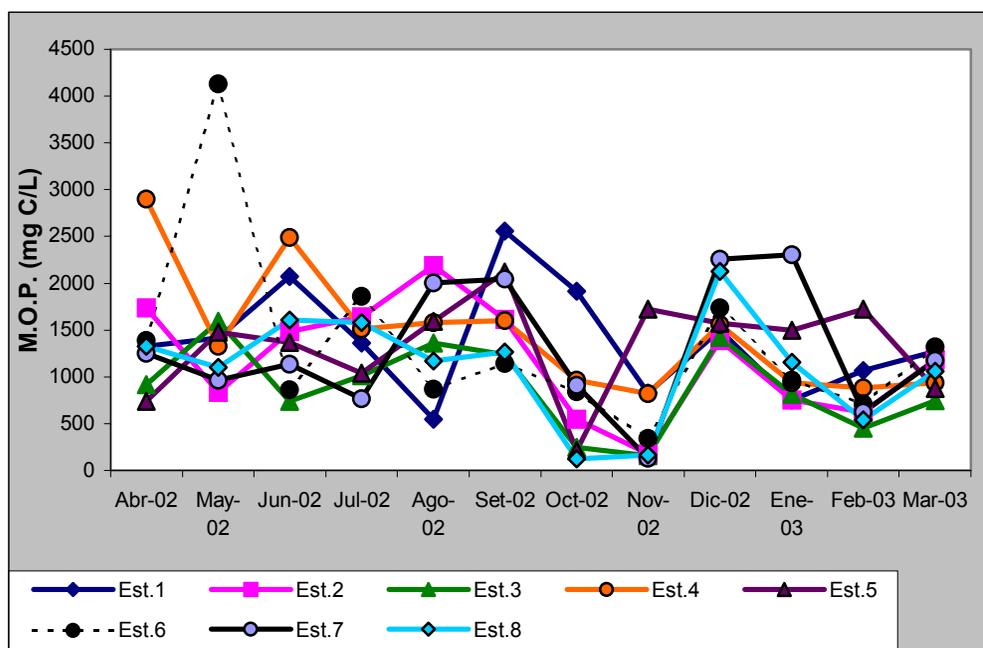
Figura 7 : Distribución del porcentaje de saturación de oxígeno en la zona interior del estuario de Bahía



**Figura 8 : Distribución de nutrientes de N en la zona interior del estuario de Bahía Blanca.**



**Figura 9 : Distribución de nutrientes de P y de Si en la zona interior del estuario de Bahía Blanca.**



**Figura 10 : Distribución de materia orgánica particulada (MOP) en la zona interior del estuario de Bahía Blanca.**

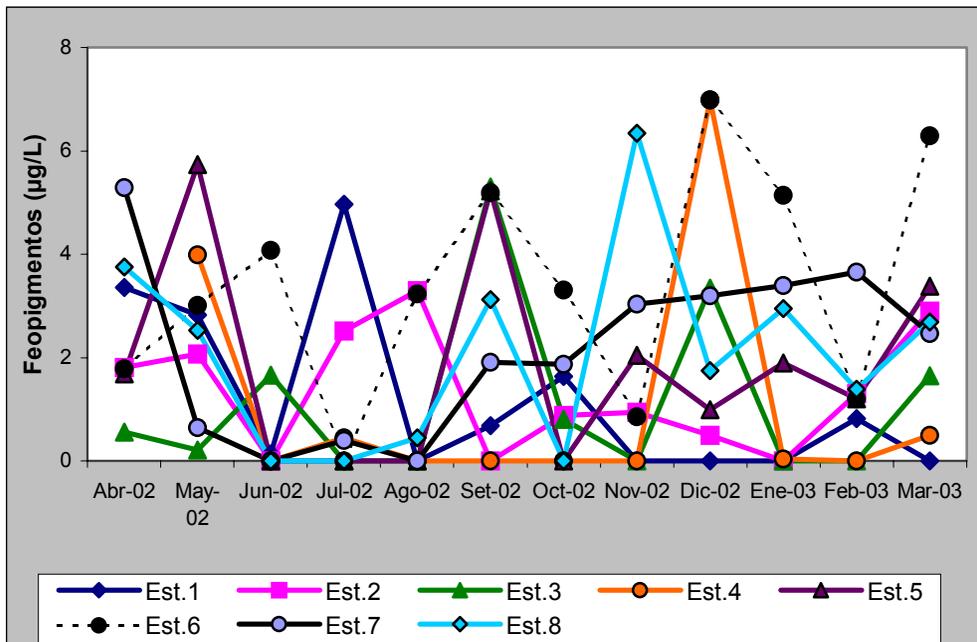
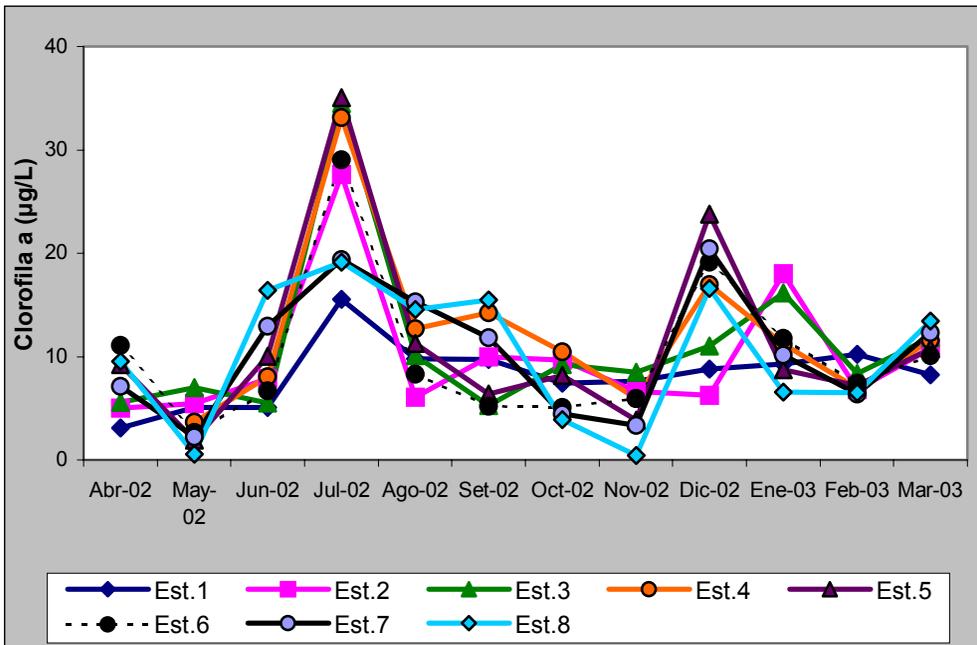


Figura 11 : Distribución de clorofila *a* y feopigmentos en la zona interior del estuario de Bahía Blanca.

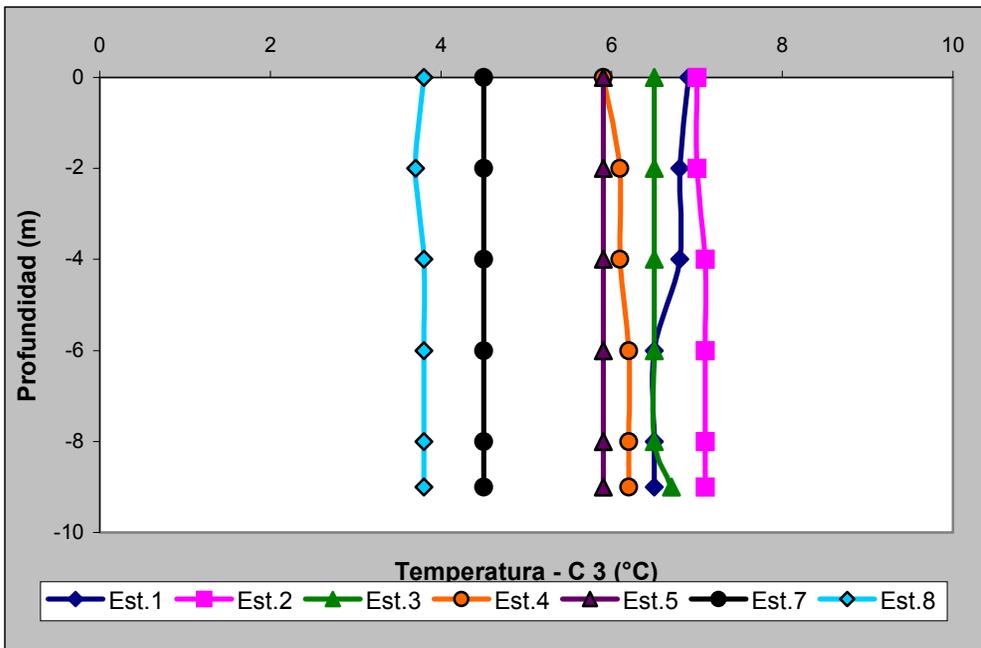
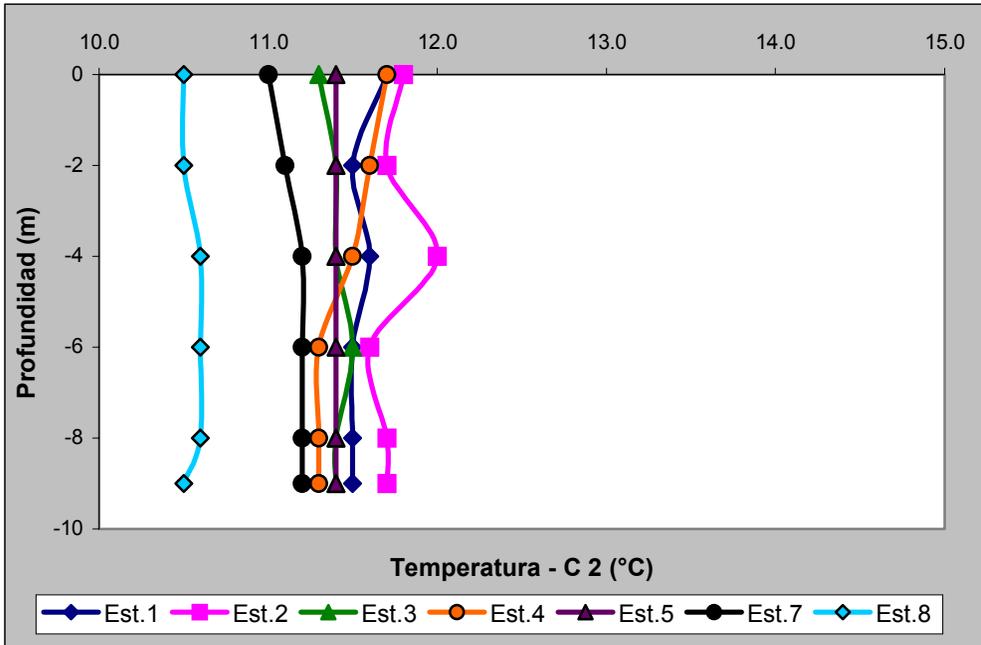
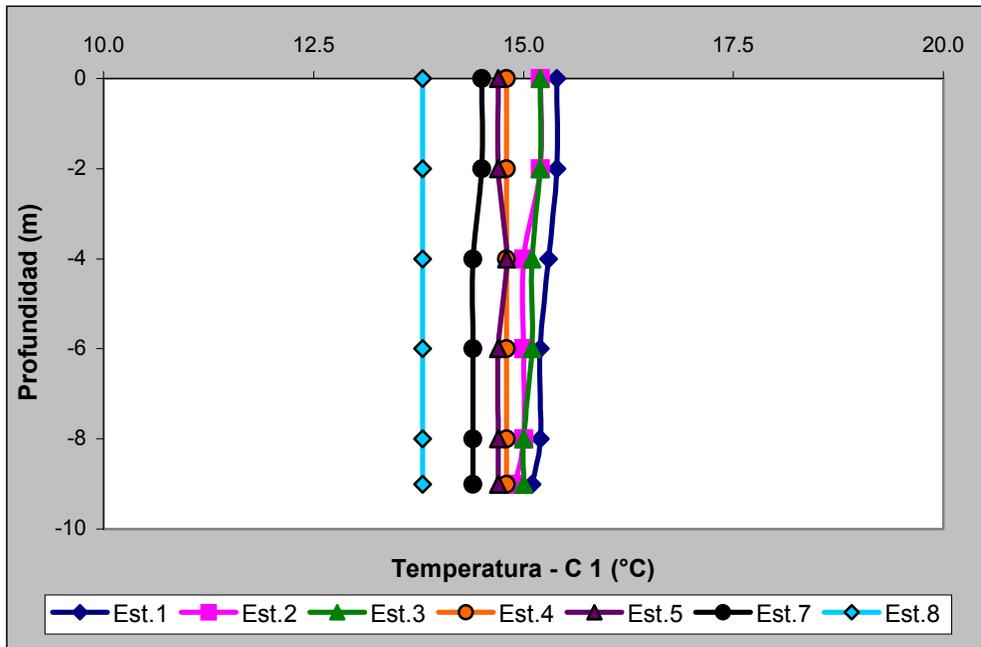


Figura 12 : Perfiles de temperatura en el agua de la zona interior del estuario de Bahía Blanca.

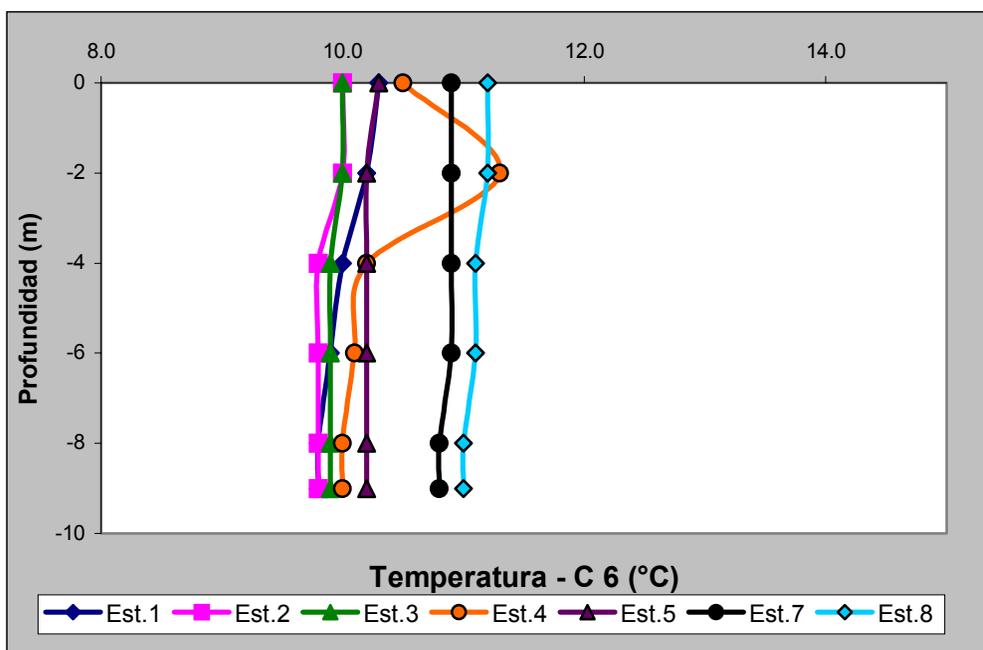
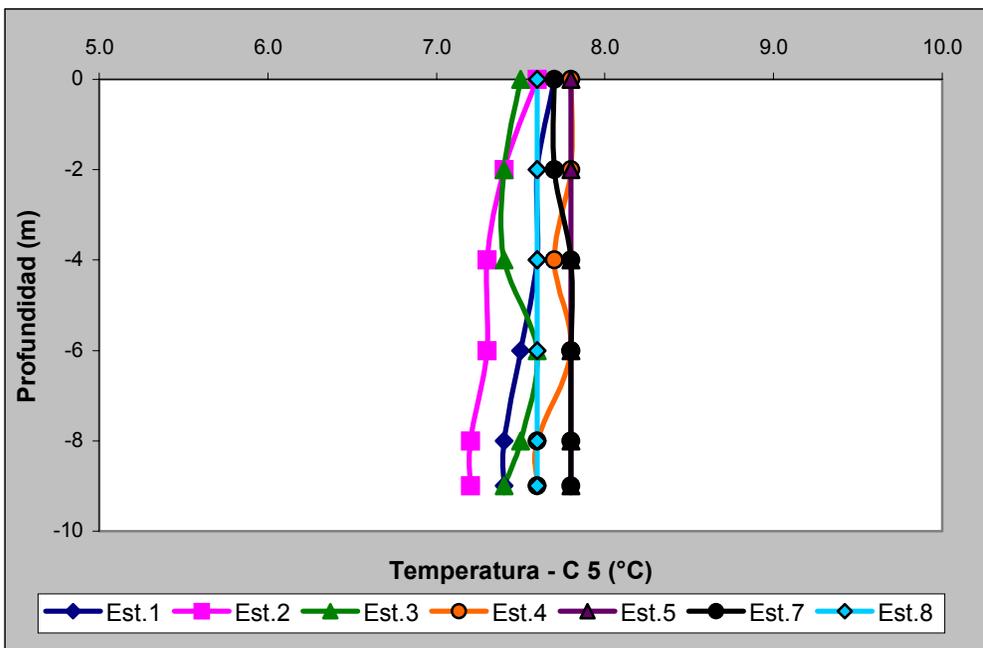
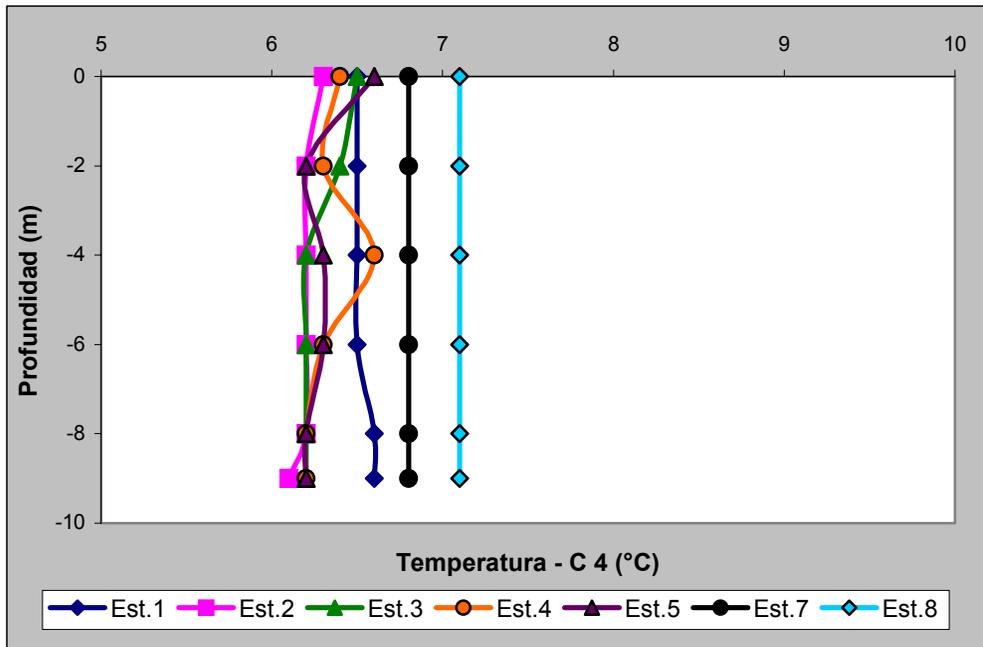


Figura 13 : Perfiles de temperatura en el agua de la zona interior del estuario de Bahía Blanca.

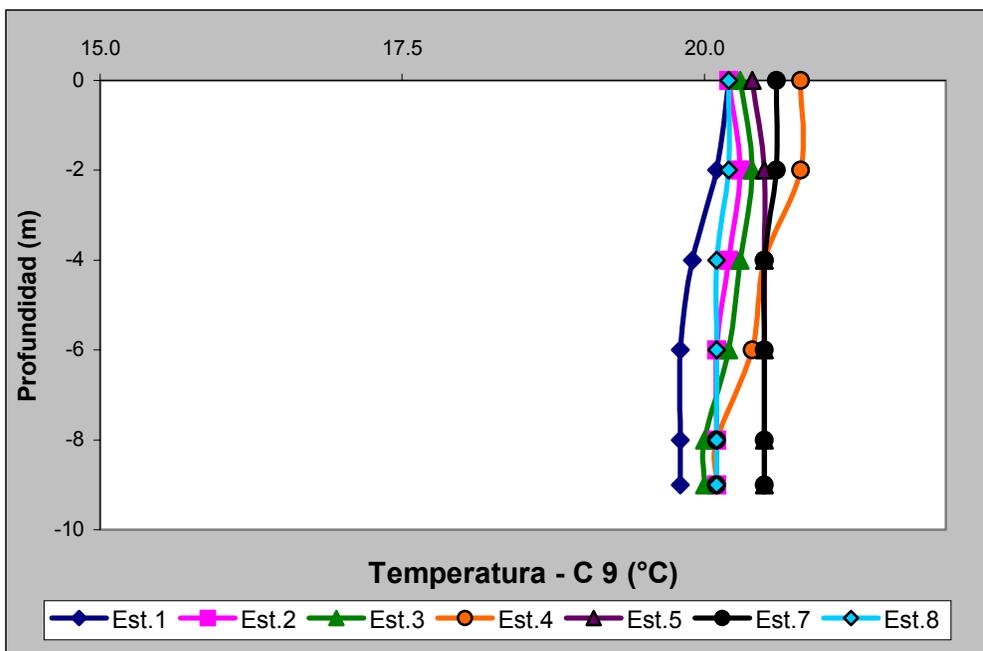
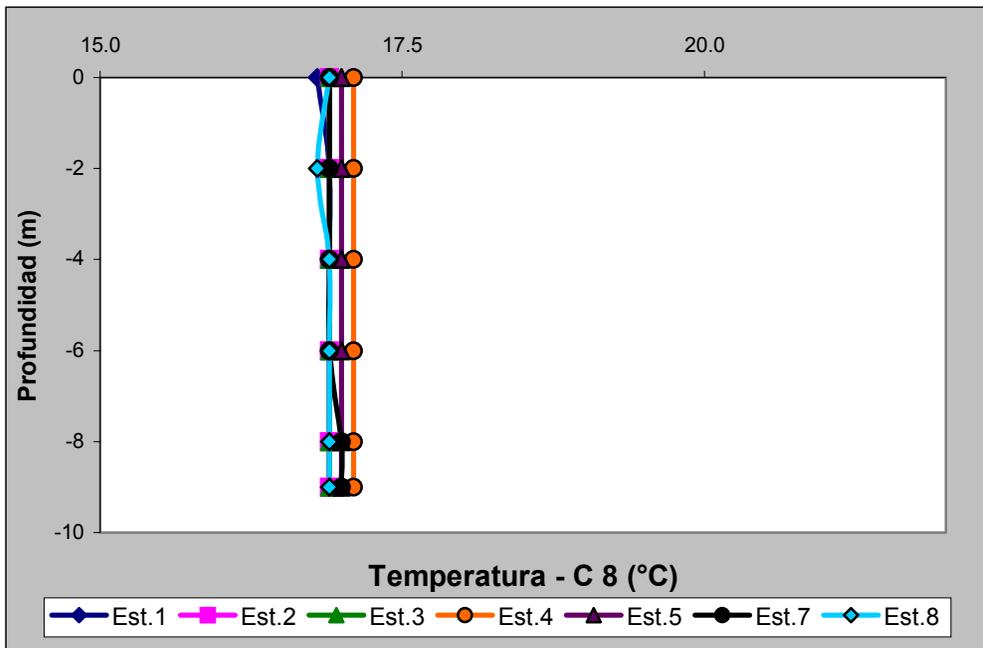
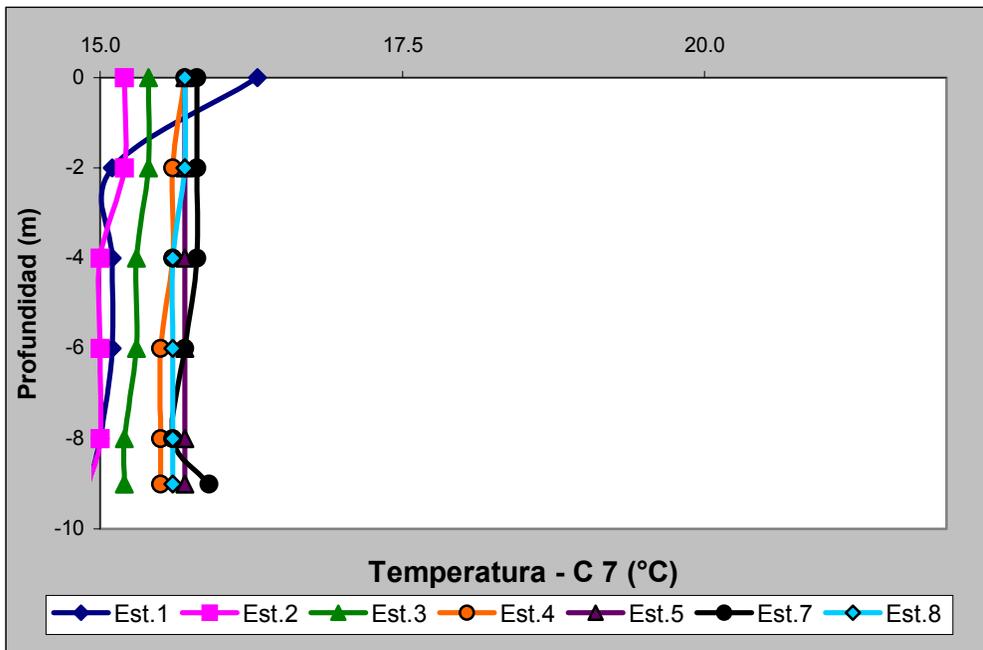
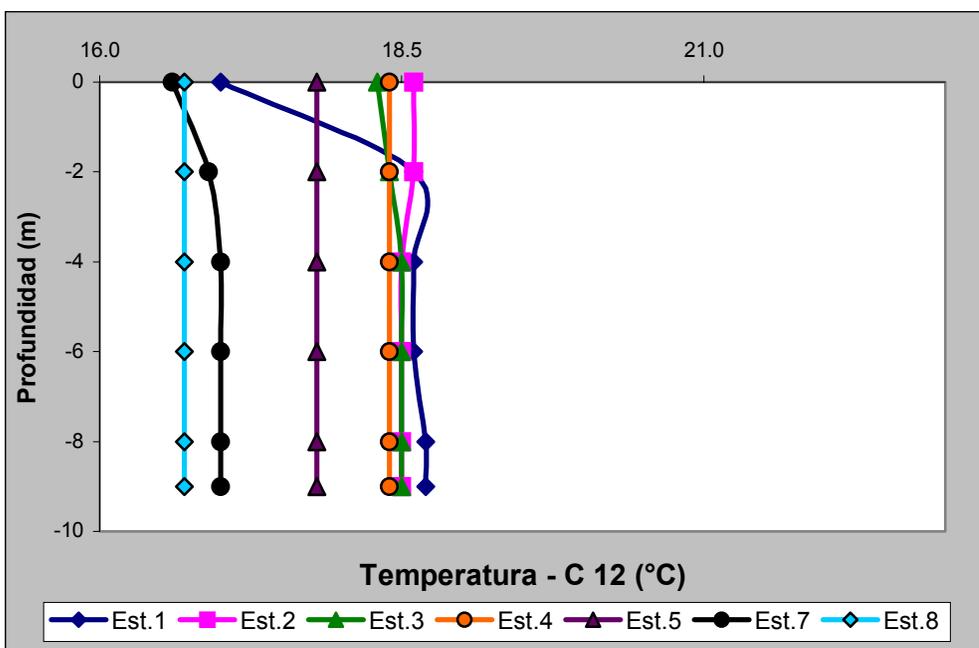
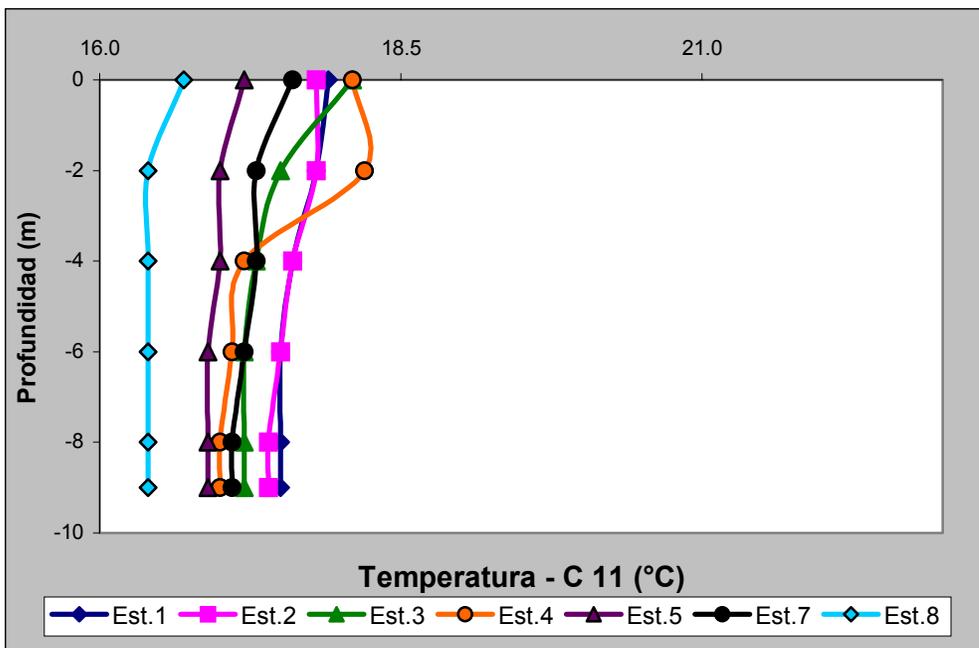
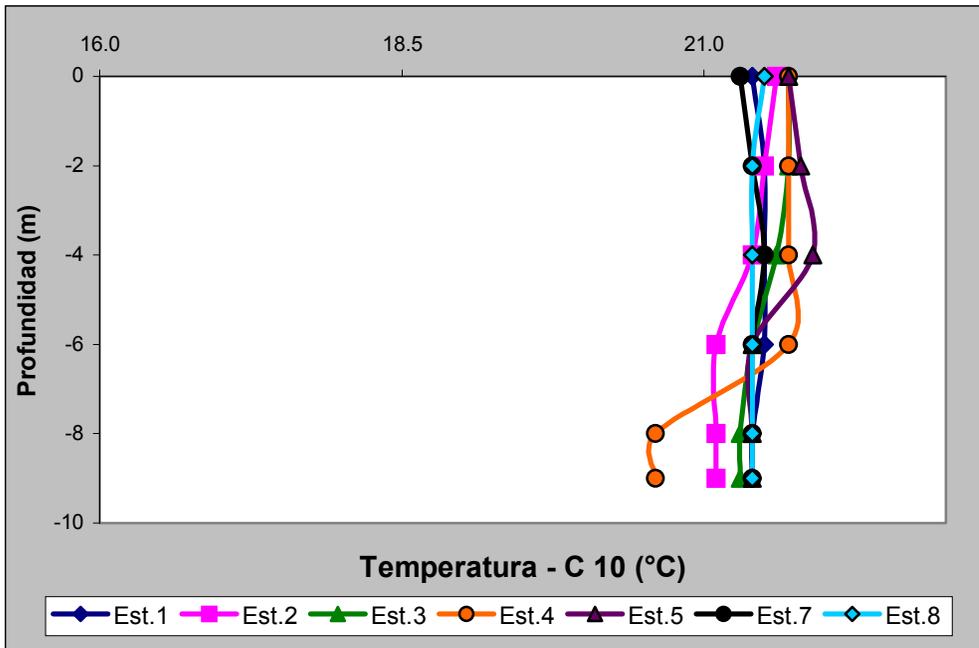


Figura 14 : Perfiles de temperatura en el agua de la zona interior del estuario de Bahía Blanca.



**Figura 15 : Perfiles de temperatura en el agua de la zona interior del estuario de Bahía Blanca.**

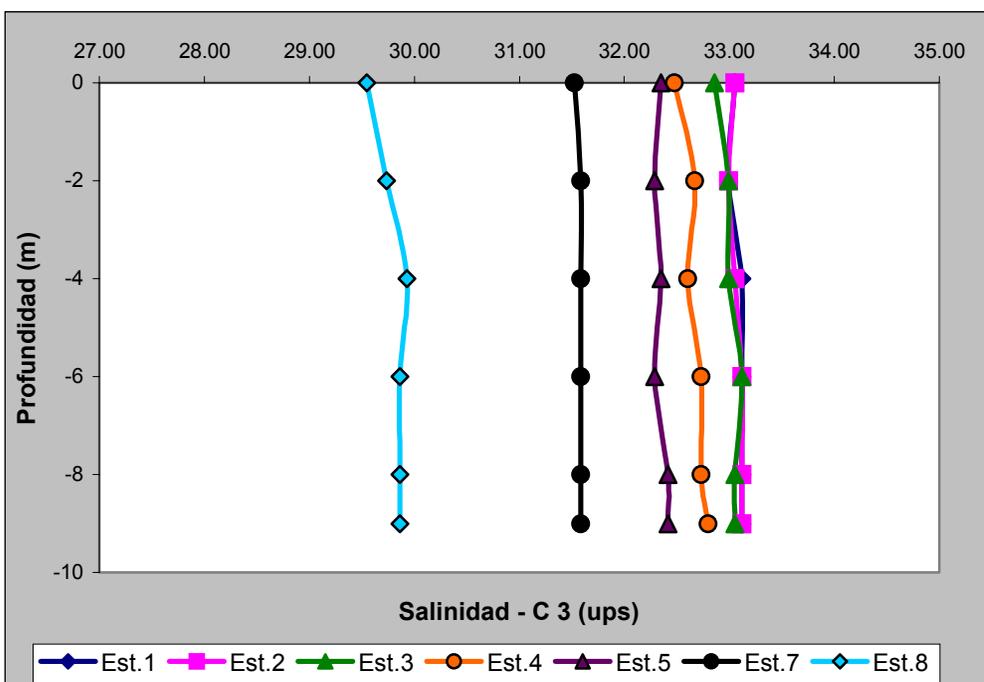
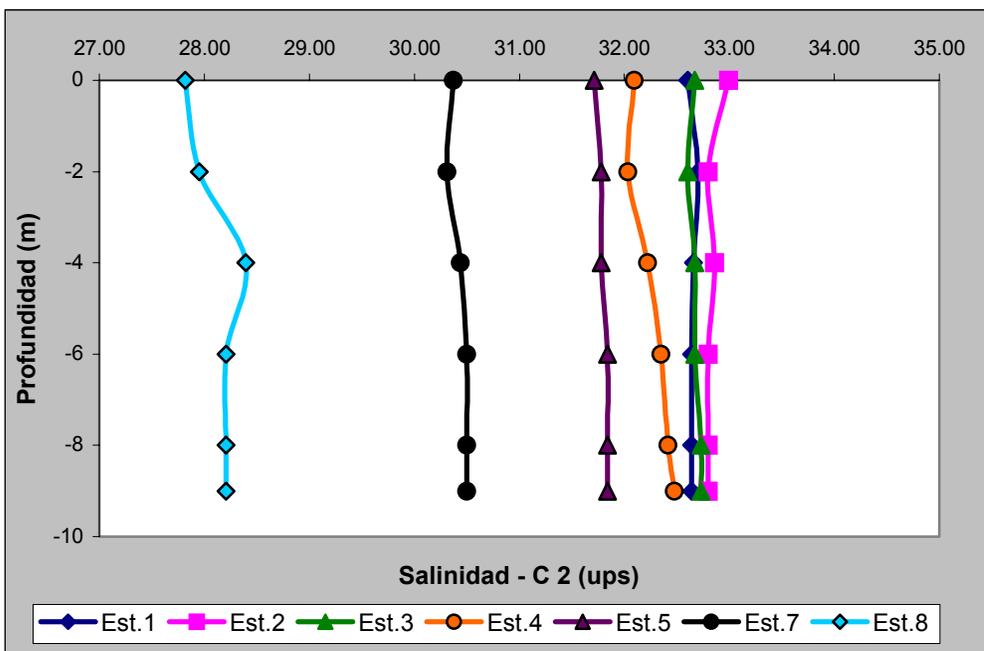
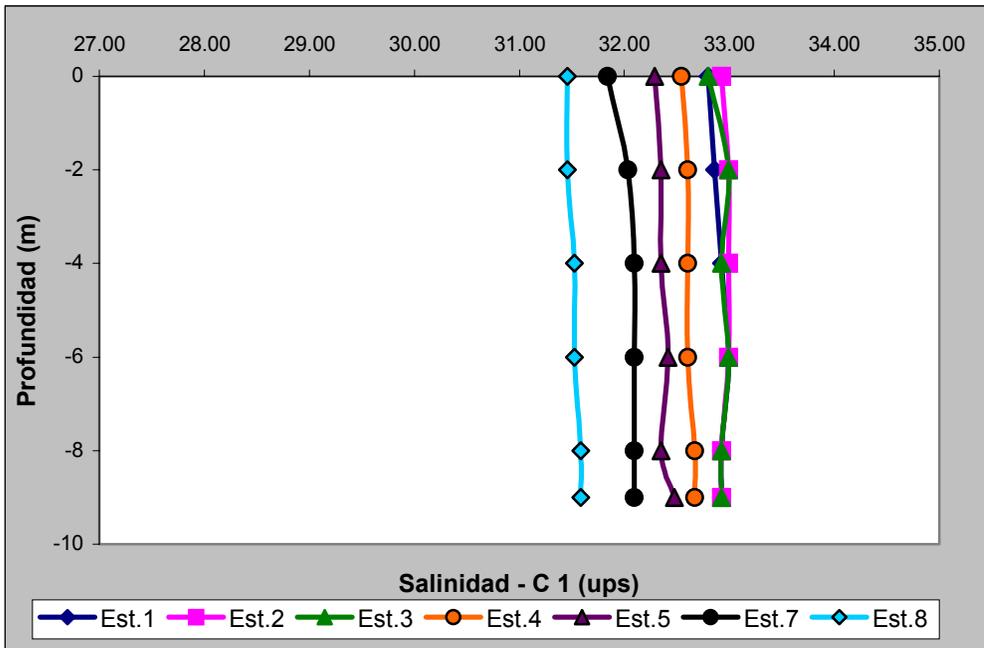
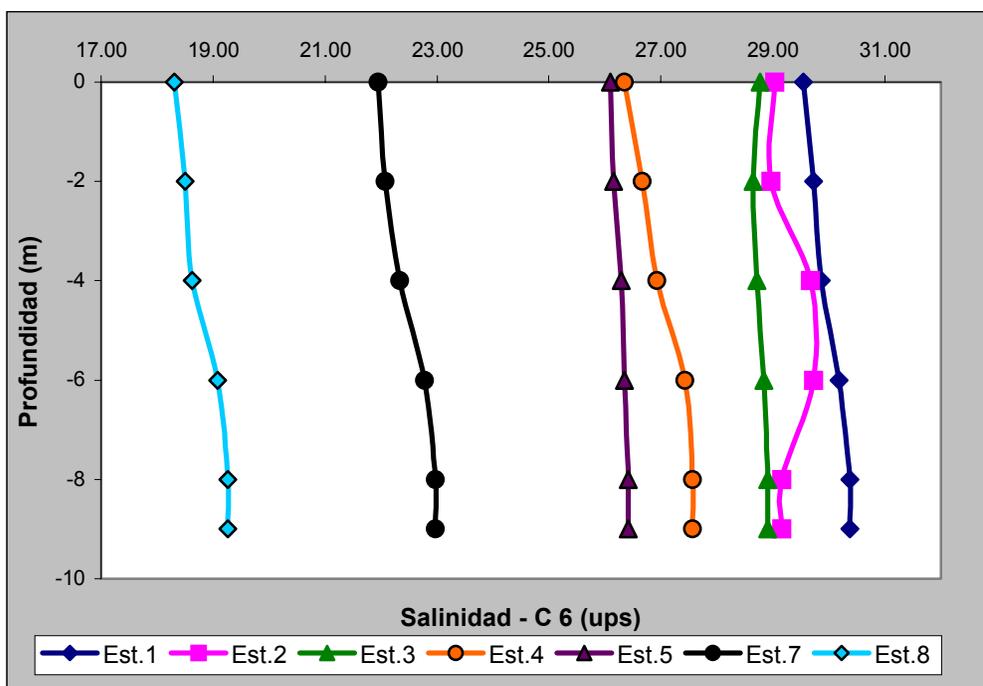
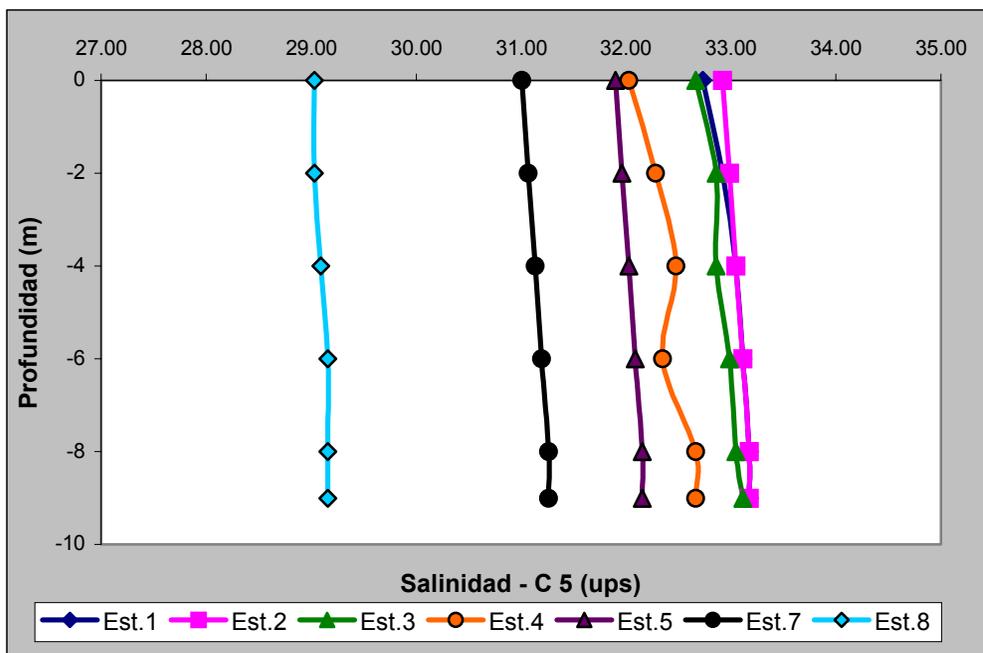
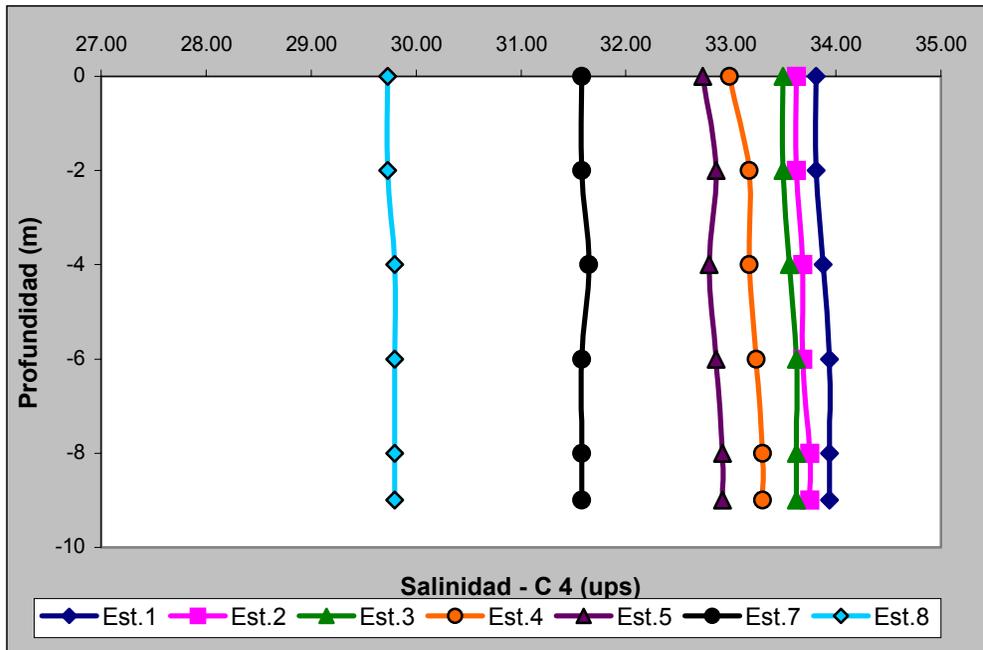


Figura 16 : Perfiles de salinidad en el agua de la zona interior del estuario de Bahía Blanca.



**Figura 17 : Perfiles de salinidad en el agua de la zona interior del estuario de Bahía Blanca.**

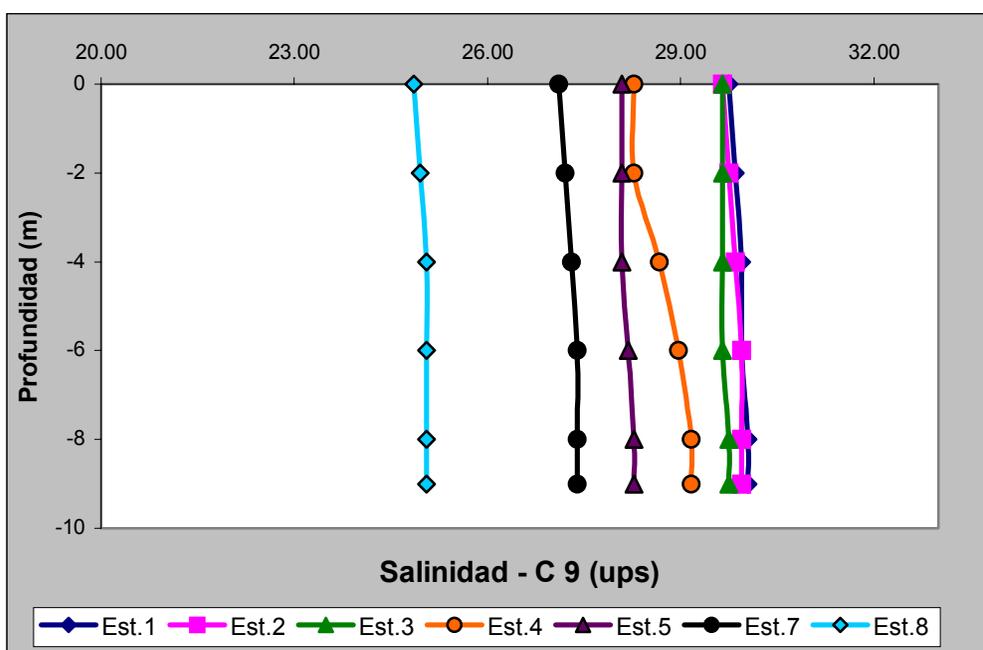
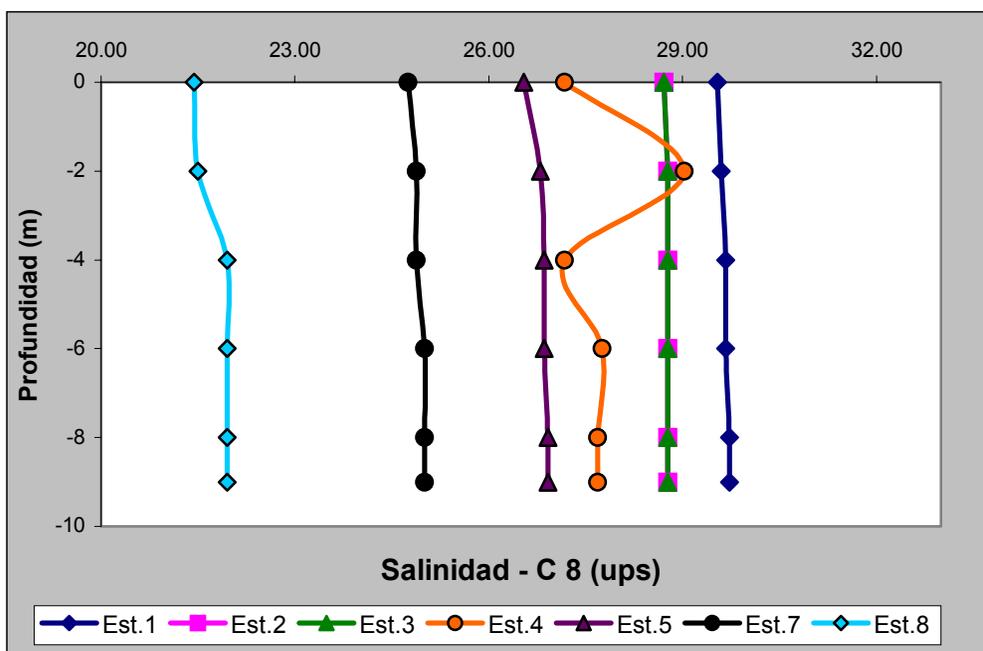
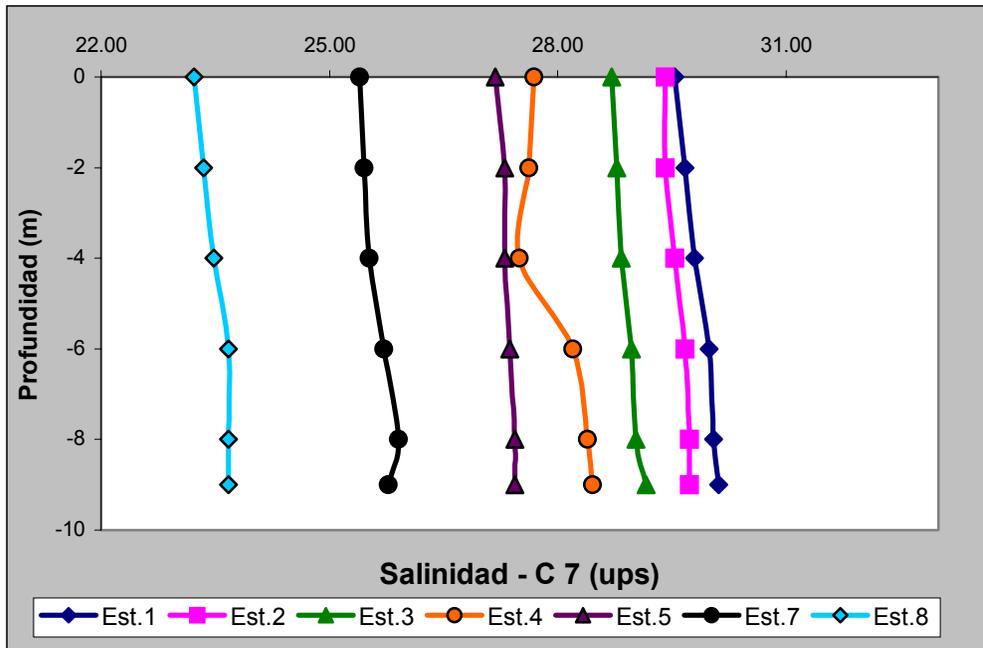


Figura 18 : Perfiles de salinidad en el agua de la zona interior del estuario de Bahía Blanca.

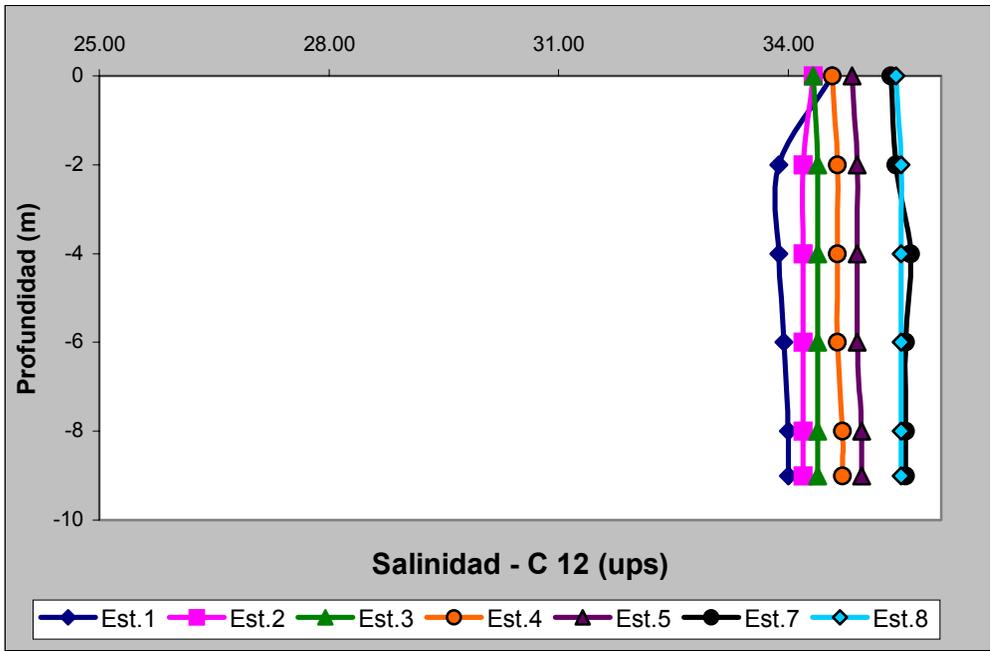
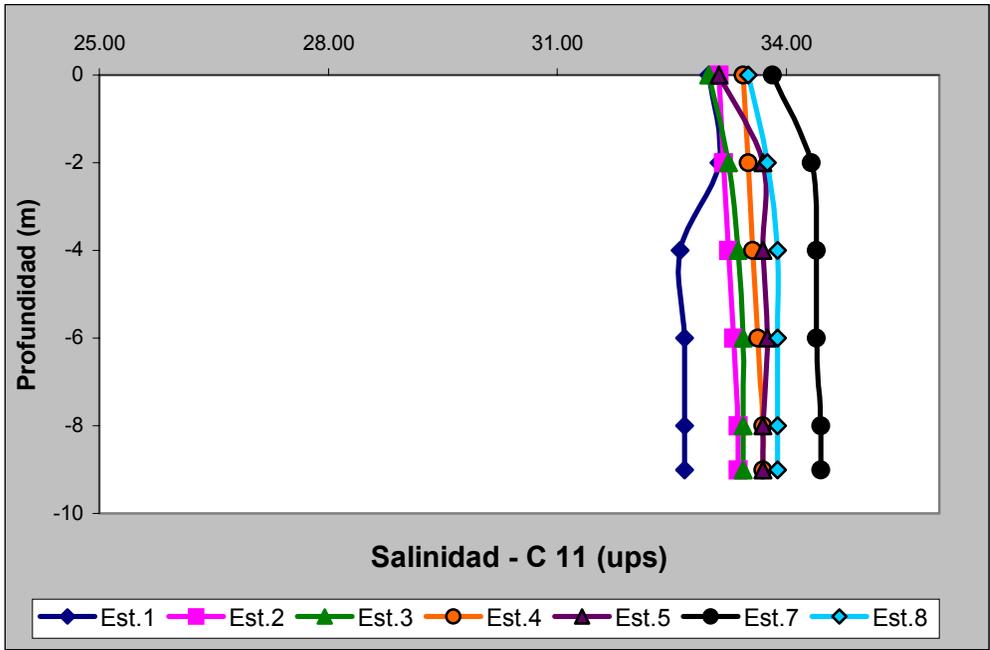
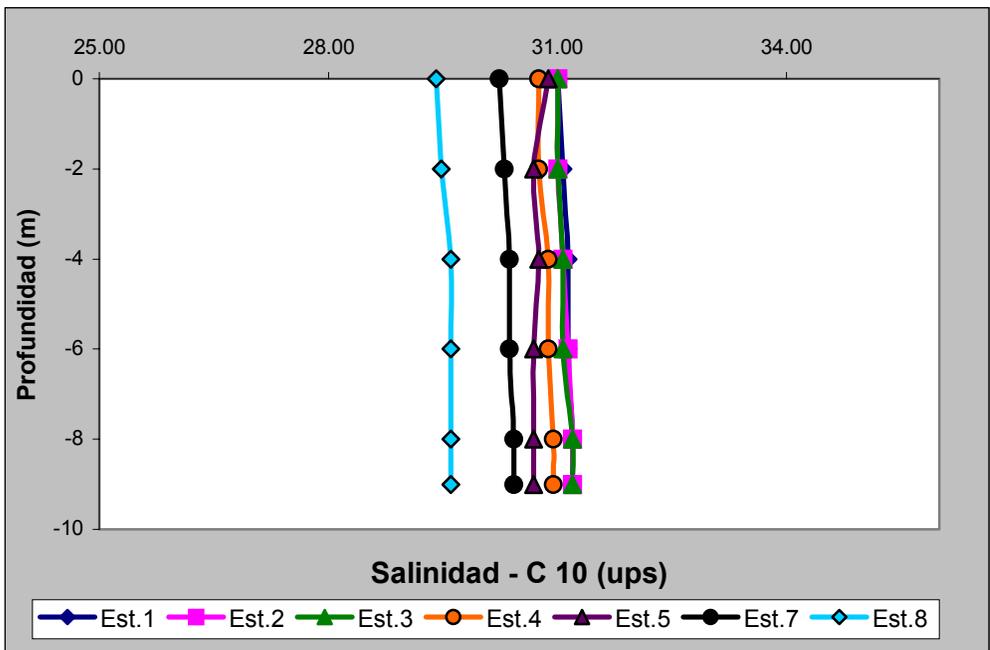


Figura 19 : Perfiles de salinidad en el agua de la zona interior del estuario de Bahía Blanca.

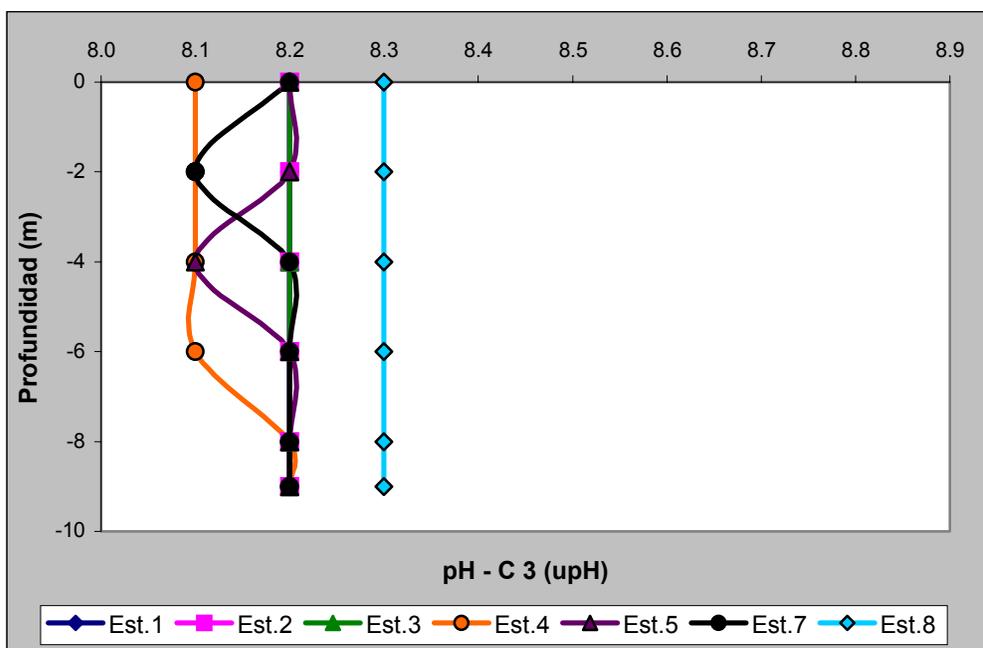
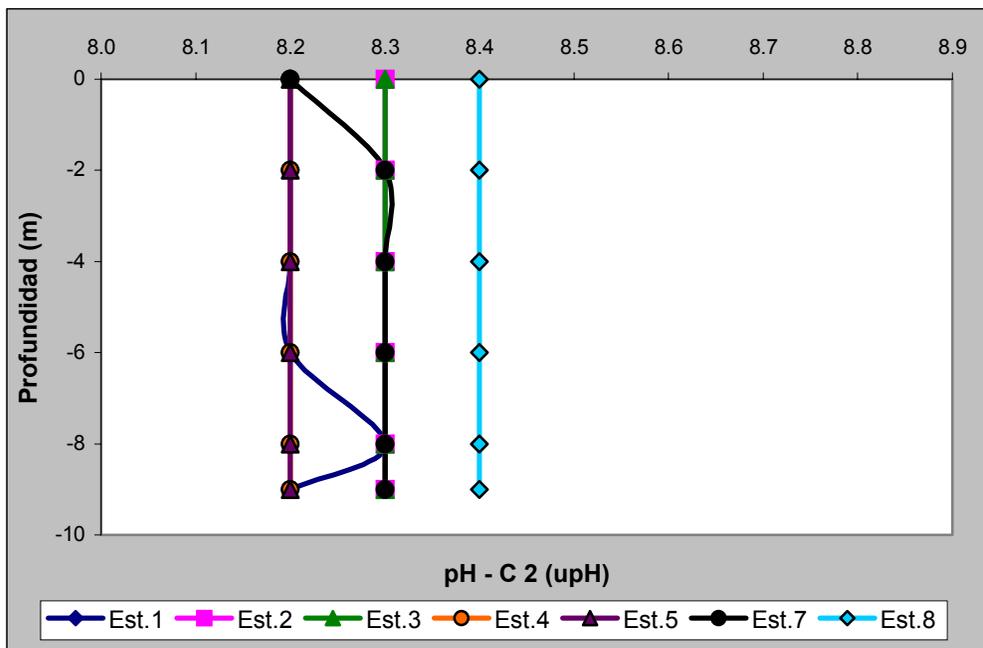
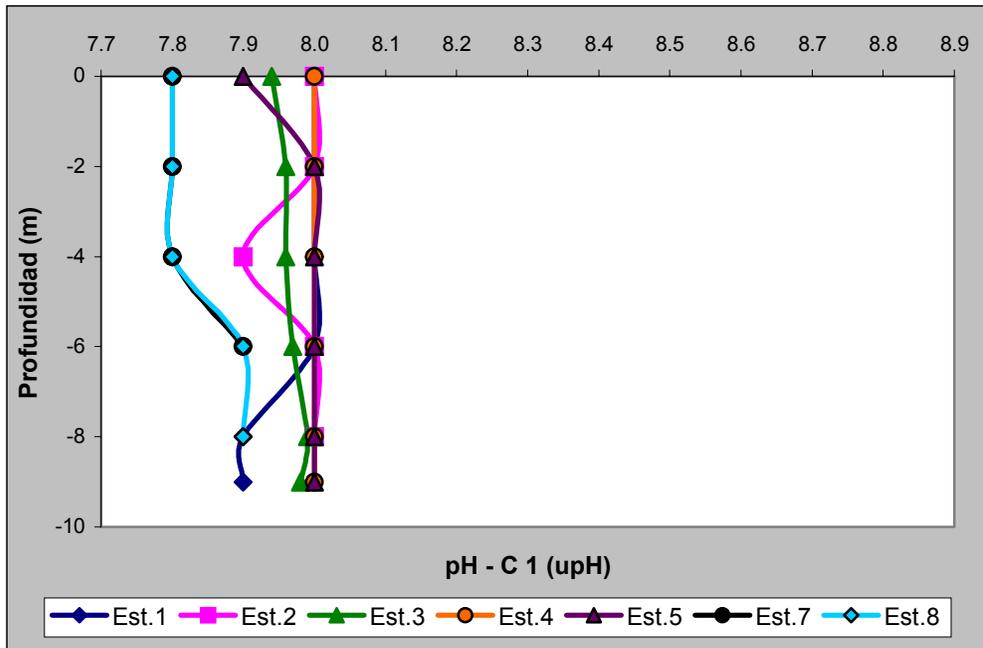
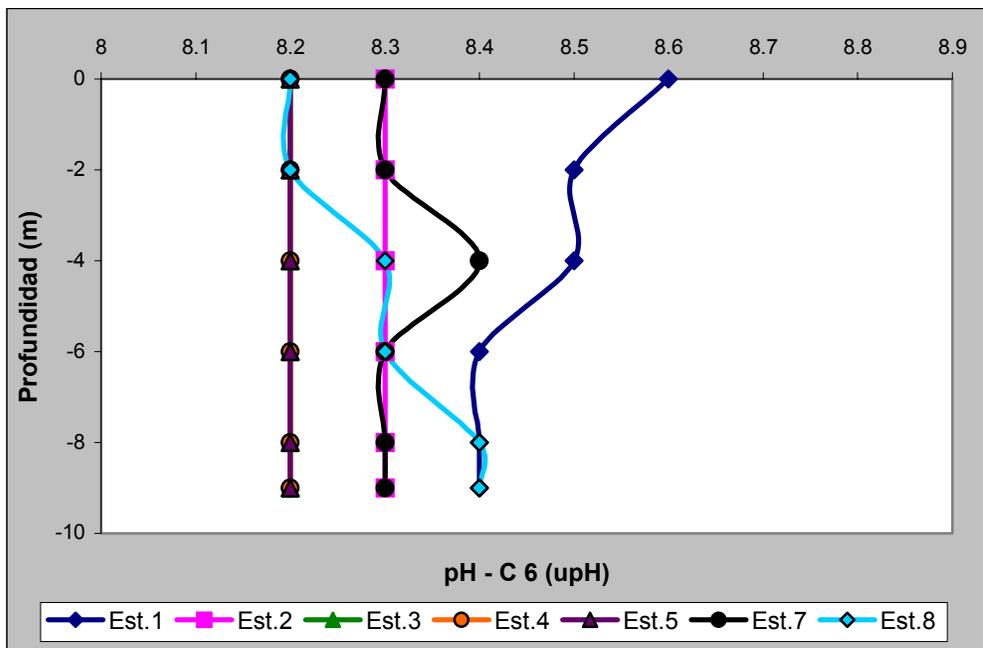
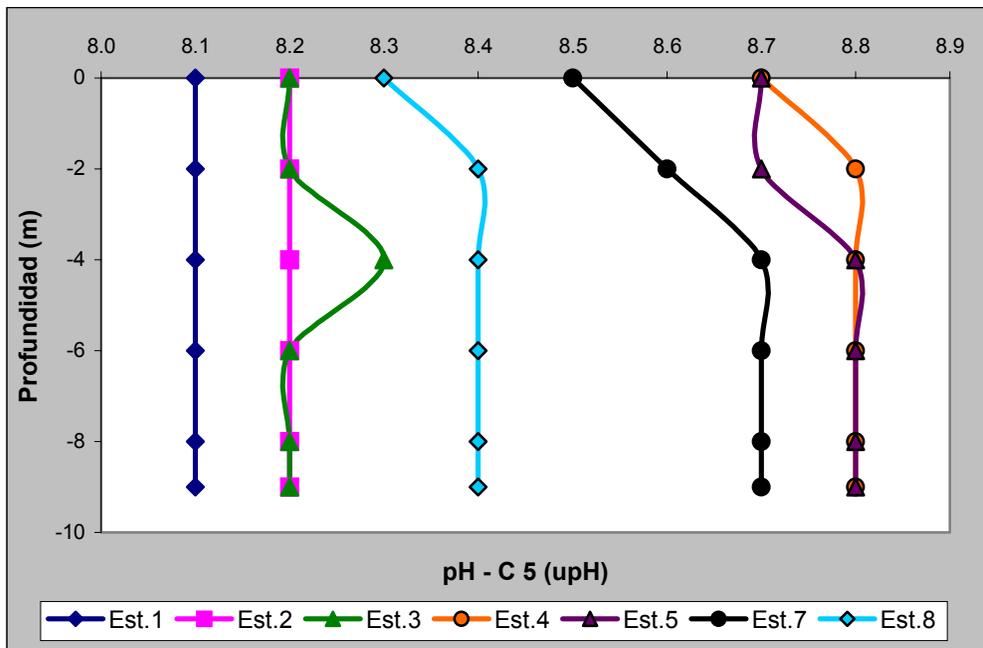
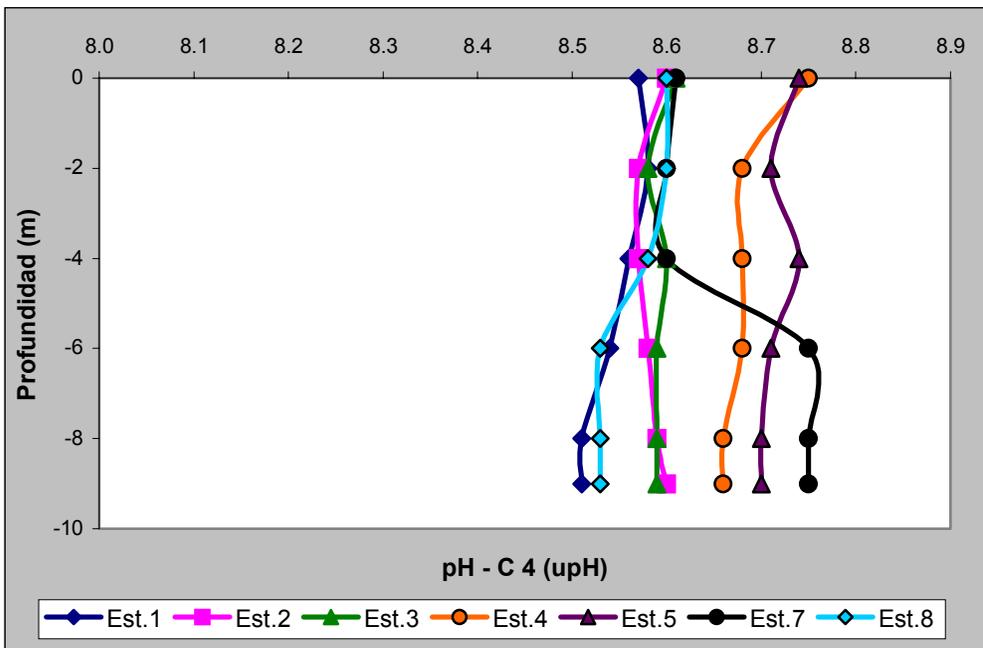


Figura 20 : Perfiles de pH en el agua de la zona interior del estuario de Bahía Blanca.



**Figura 21 : Perfiles de pH en el agua de la zona interior del estuario de Bahía Blanca.**

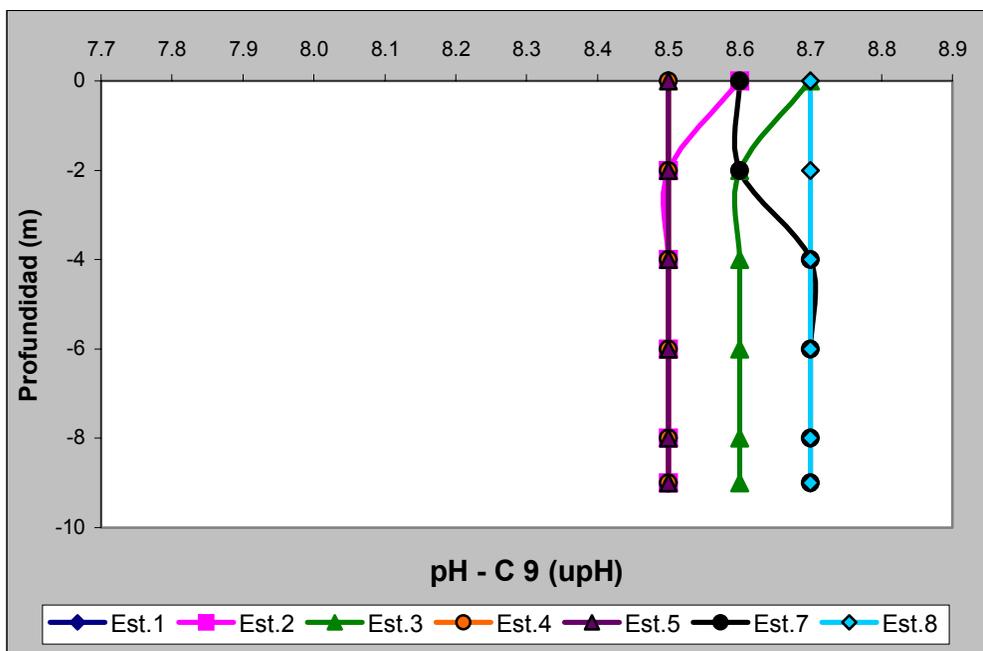
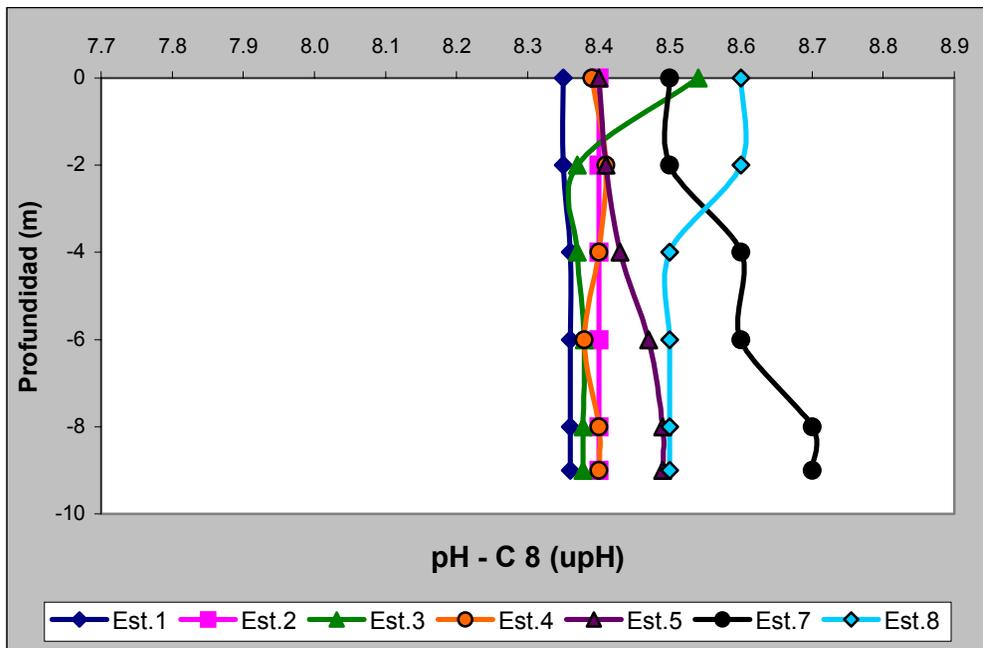
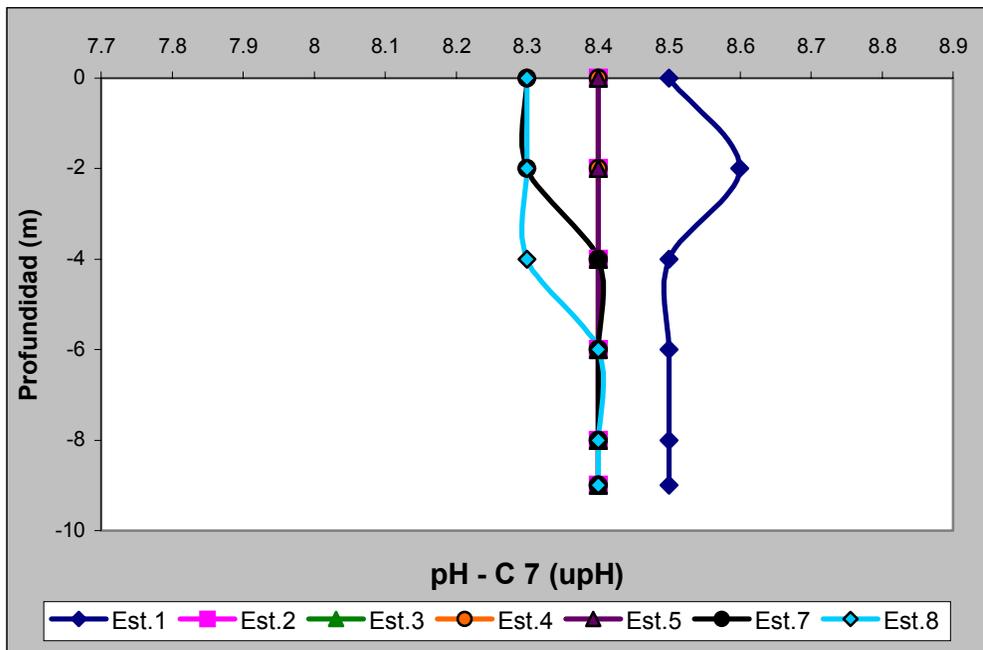


Figura 22 : Perfiles de pH en el agua de la zona interior del estuario de Bahía Blanca.

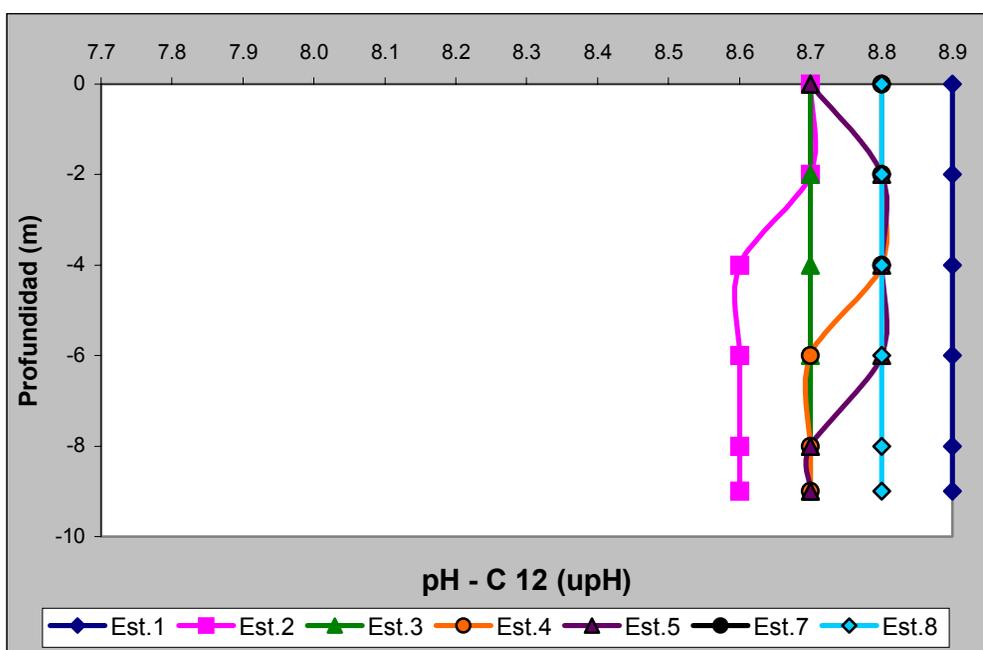
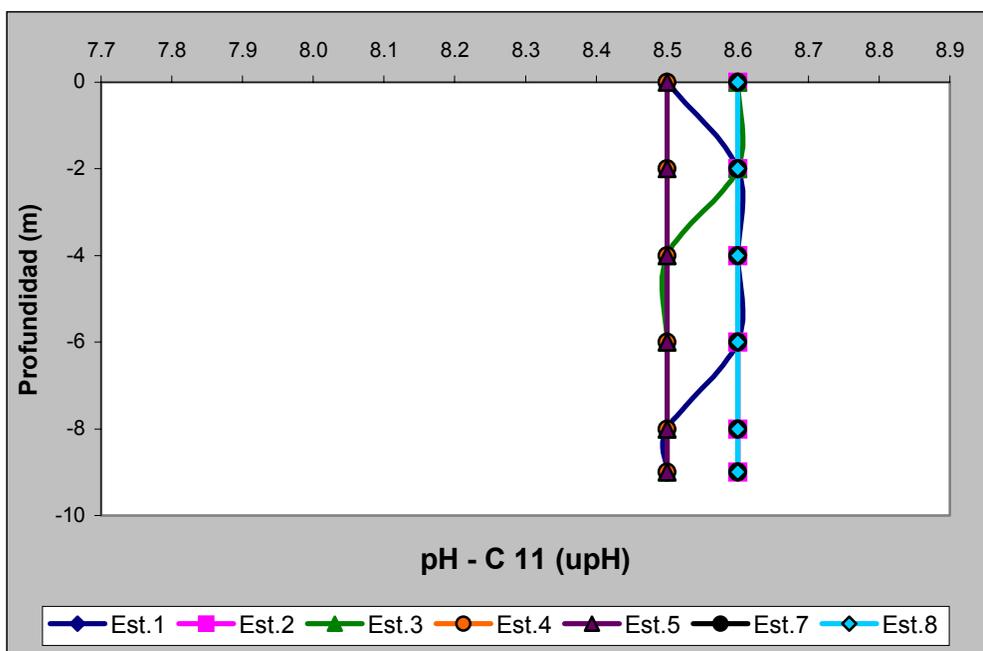
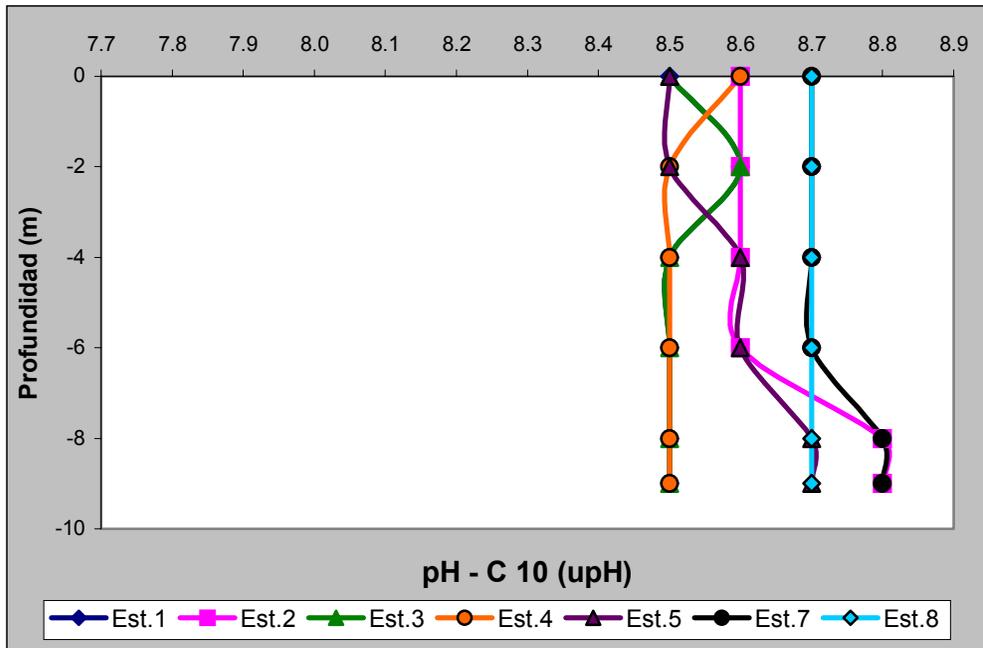


Figura 23 : Perfiles de pH en el agua de la zona interior del estuario de Bahía Blanca.

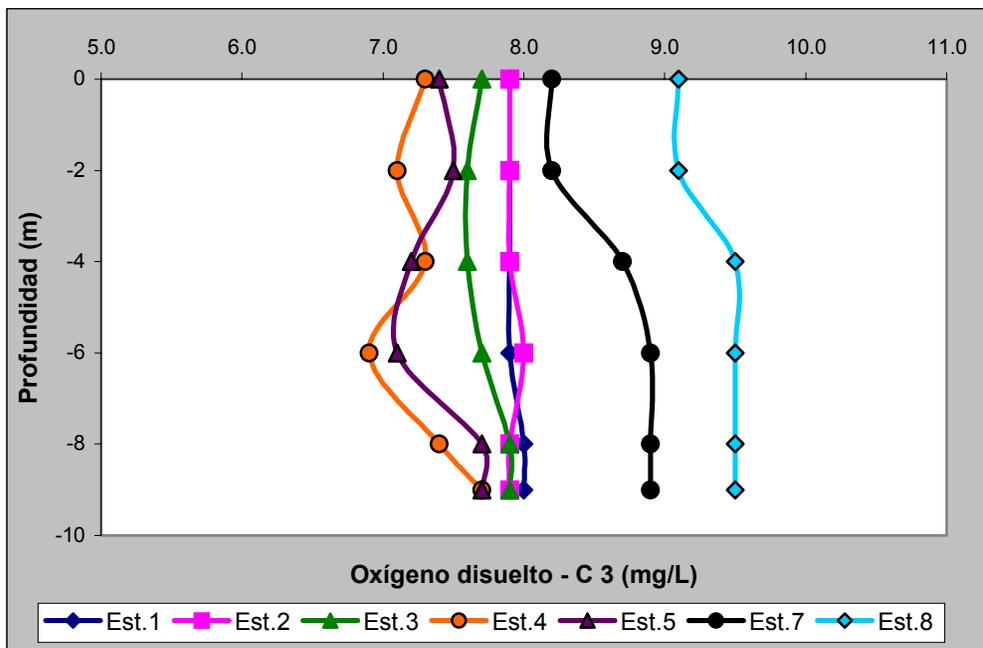
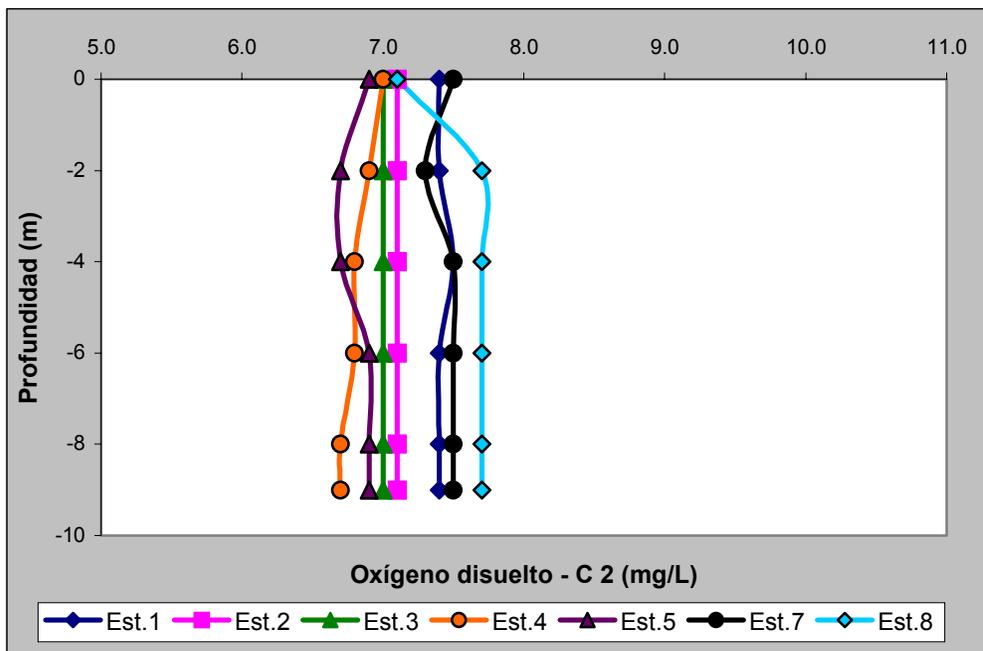
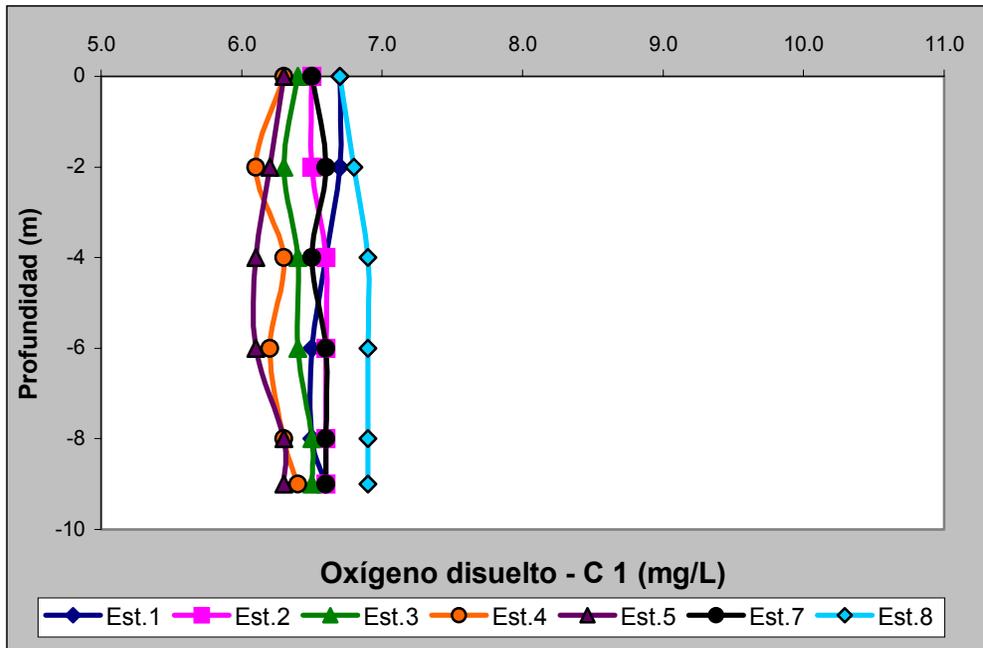


Figura 24 : Perfiles de oxígeno disuelto en el agua de la zona interior del estuario de Bahía Blanca.

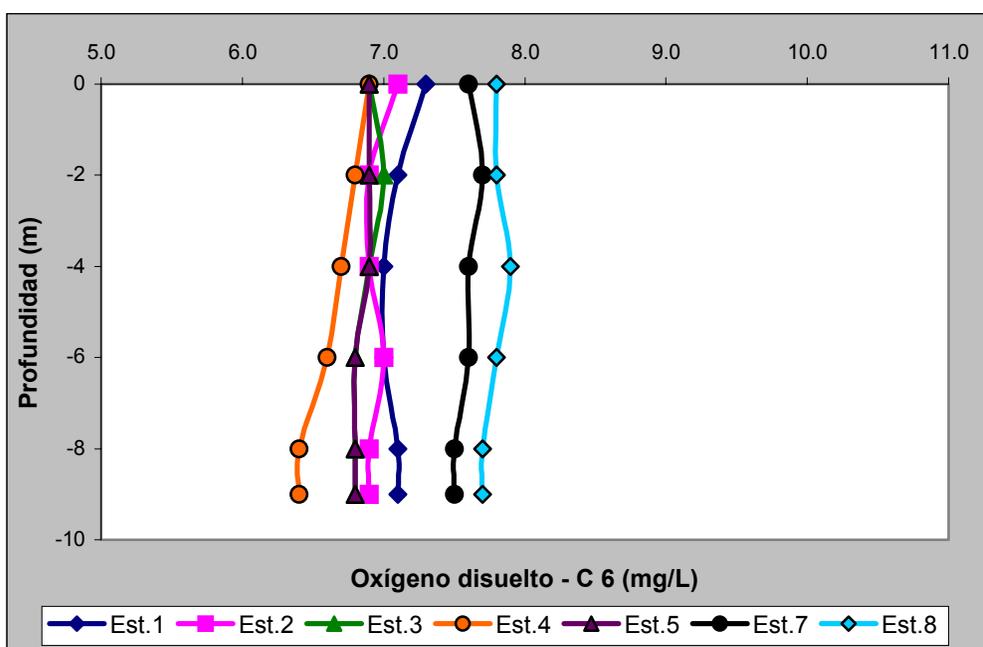
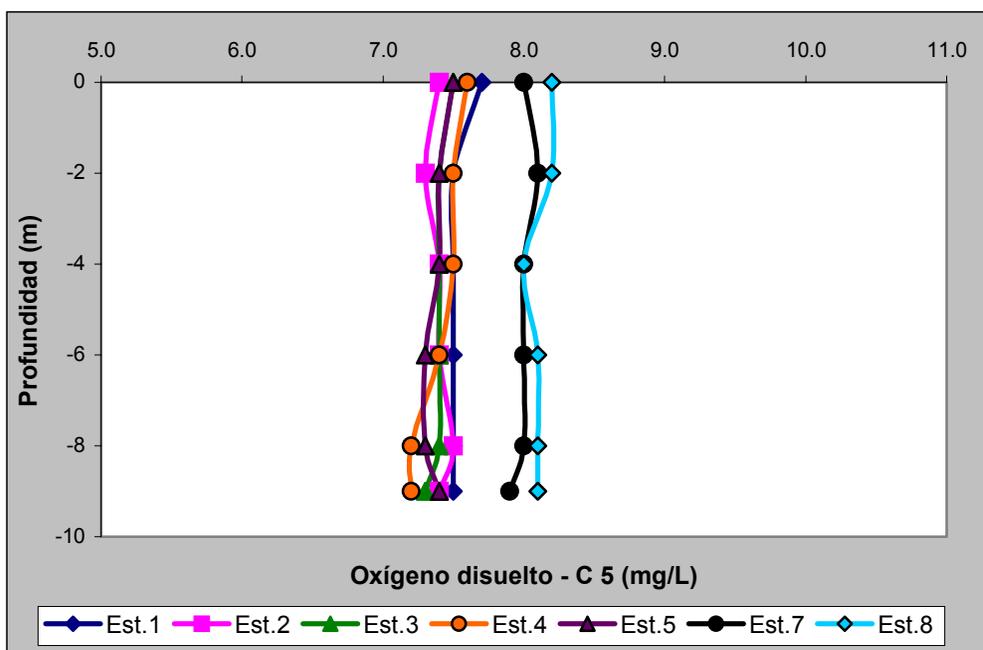
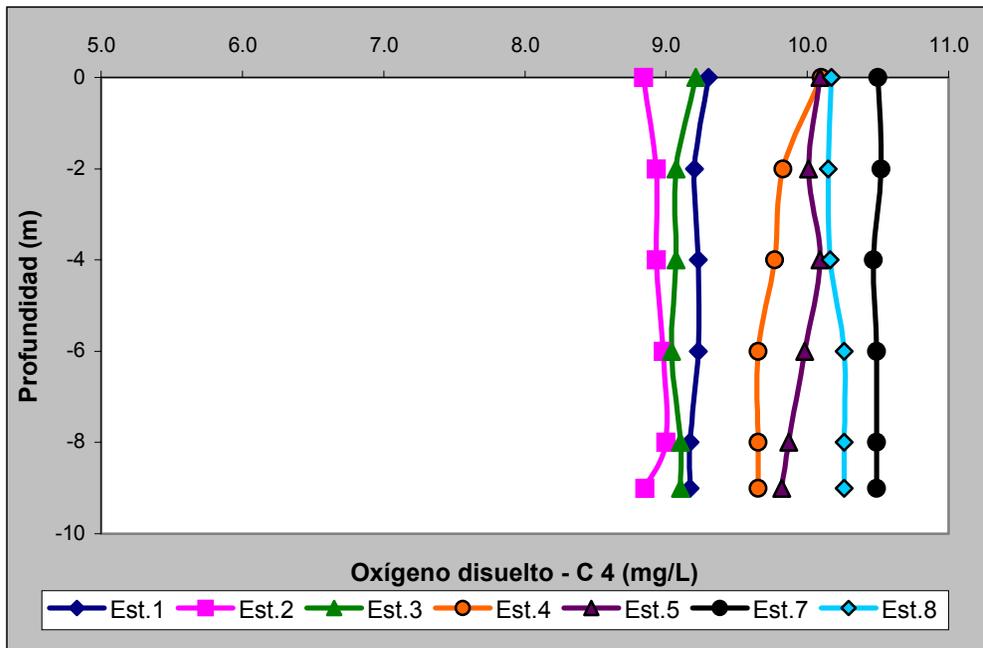


Figura 25 : Perfiles de oxígeno disuelto en el agua de la zona interior del estuario de Bahía Blanca.

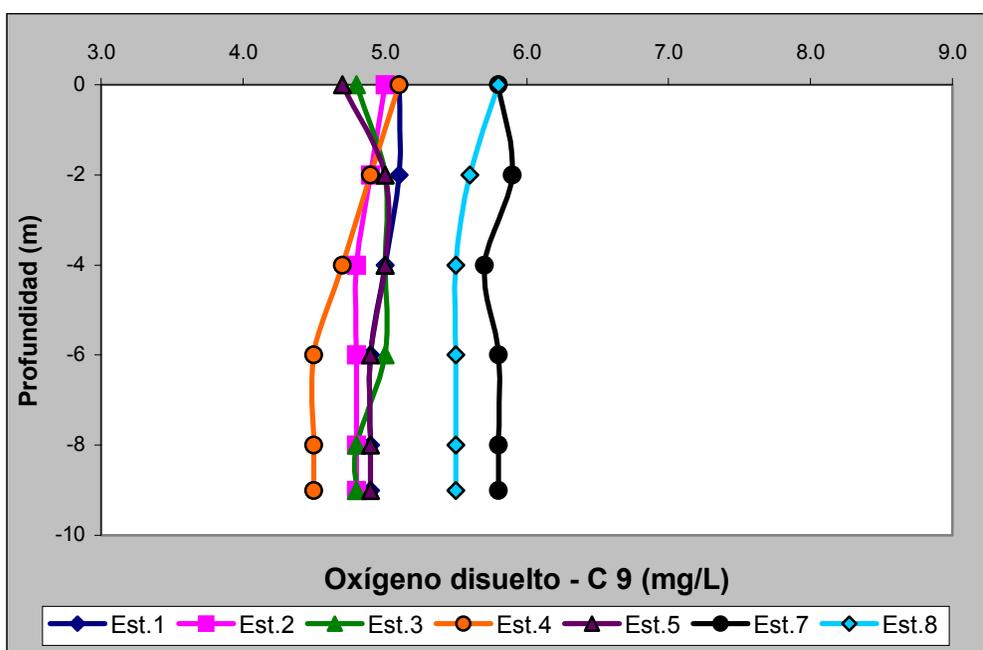
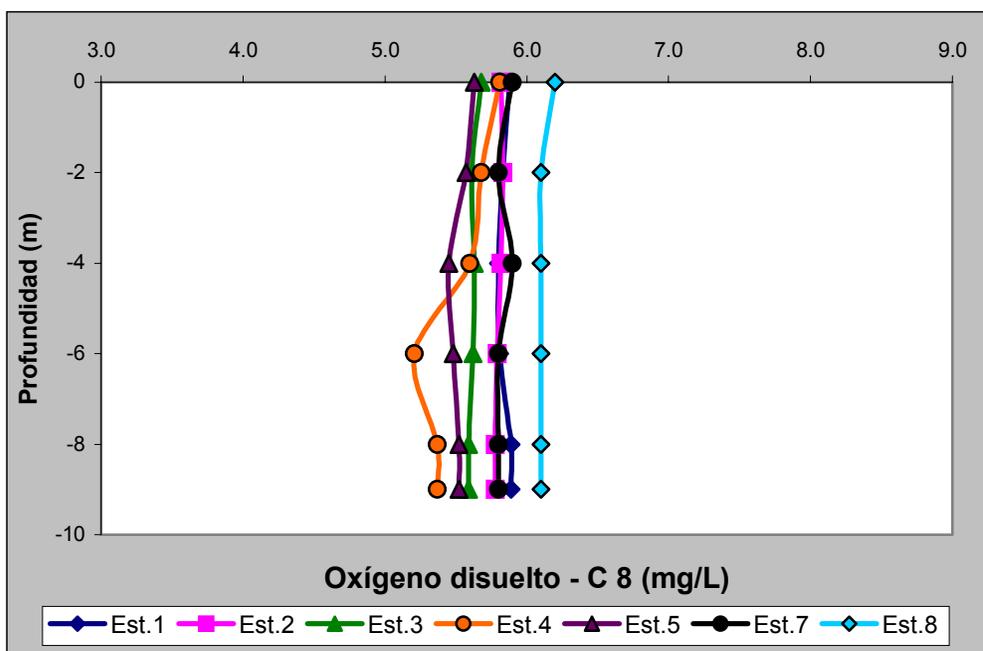
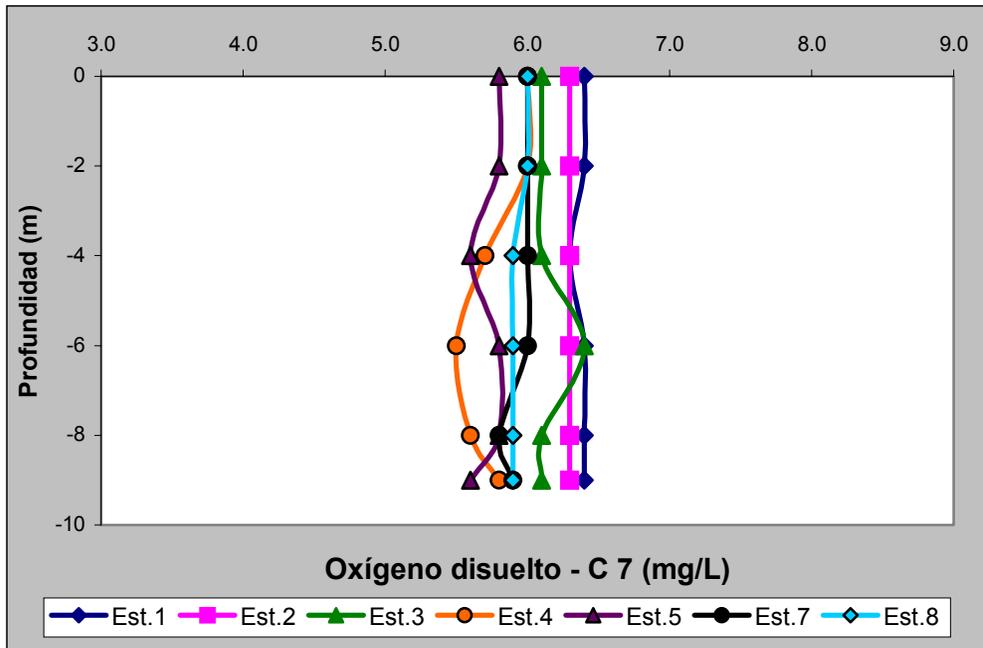


Figura 26 : Perfiles de oxígeno disuelto en el agua de la zona interior del estuario de Bahía Blanca.

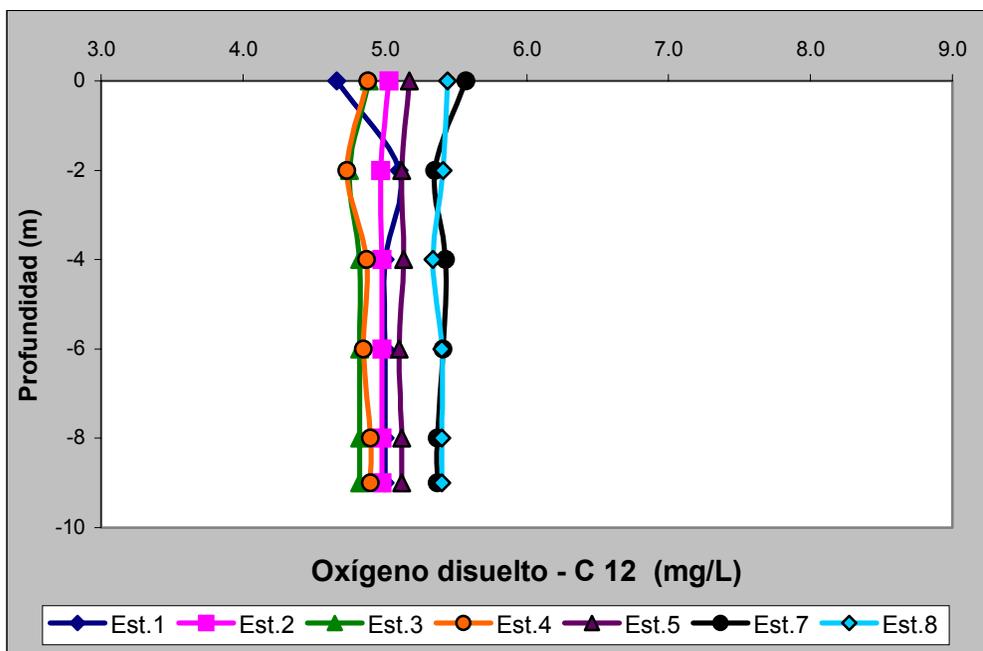
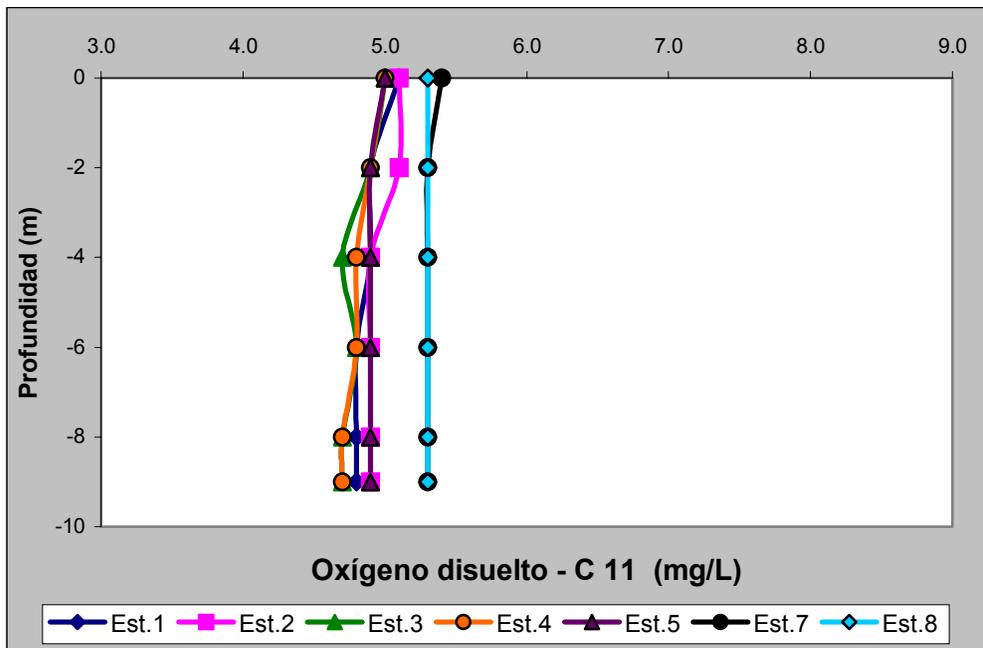
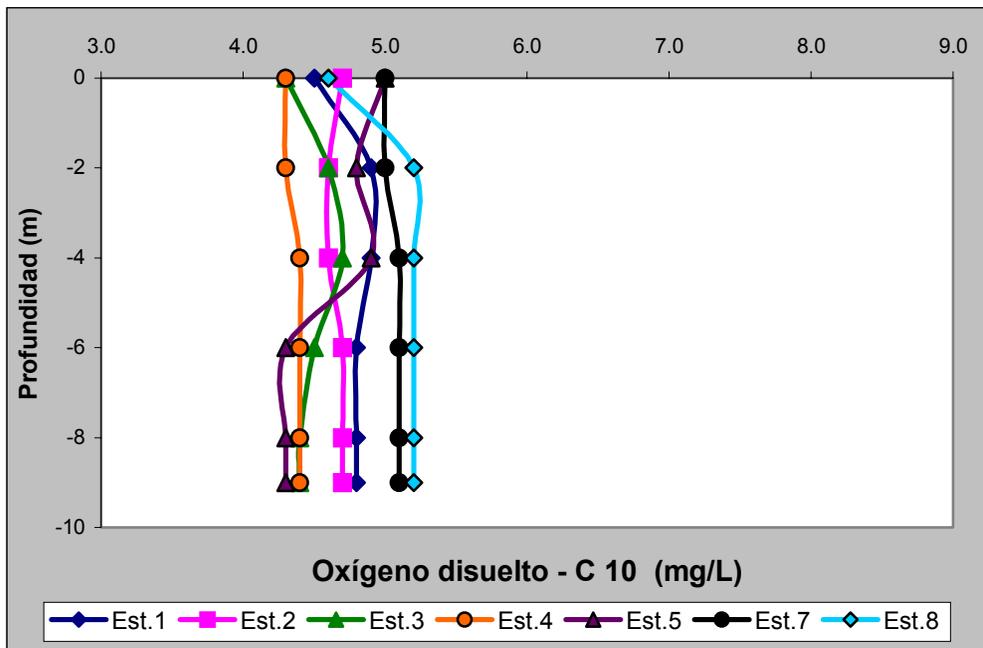


Figura 27 : Perfiles de oxígeno disuelto en el agua de la zona interior del estuario de Bahía Blanca.

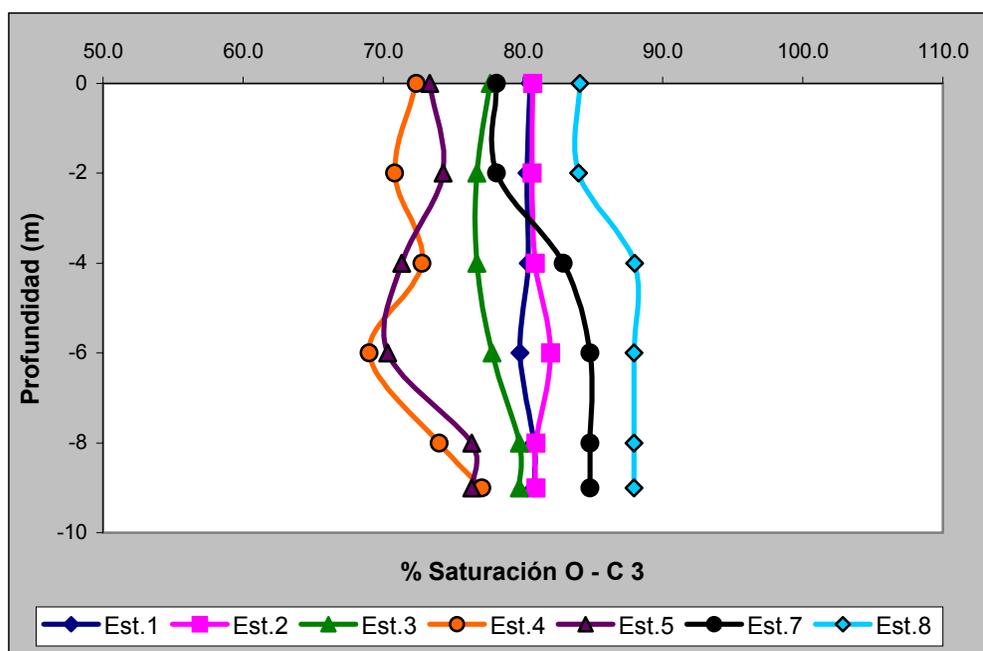
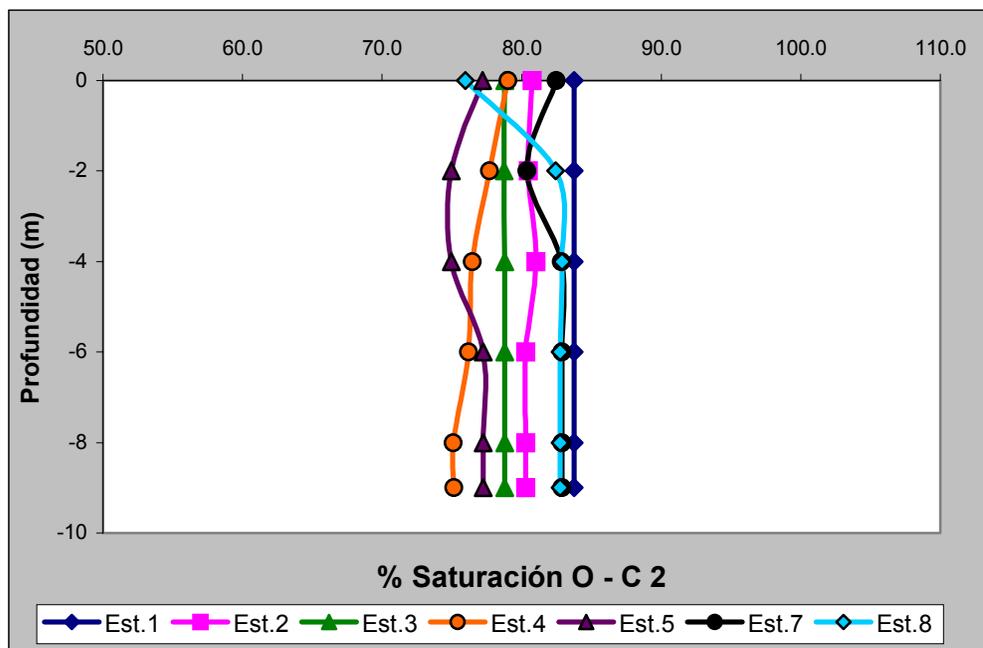
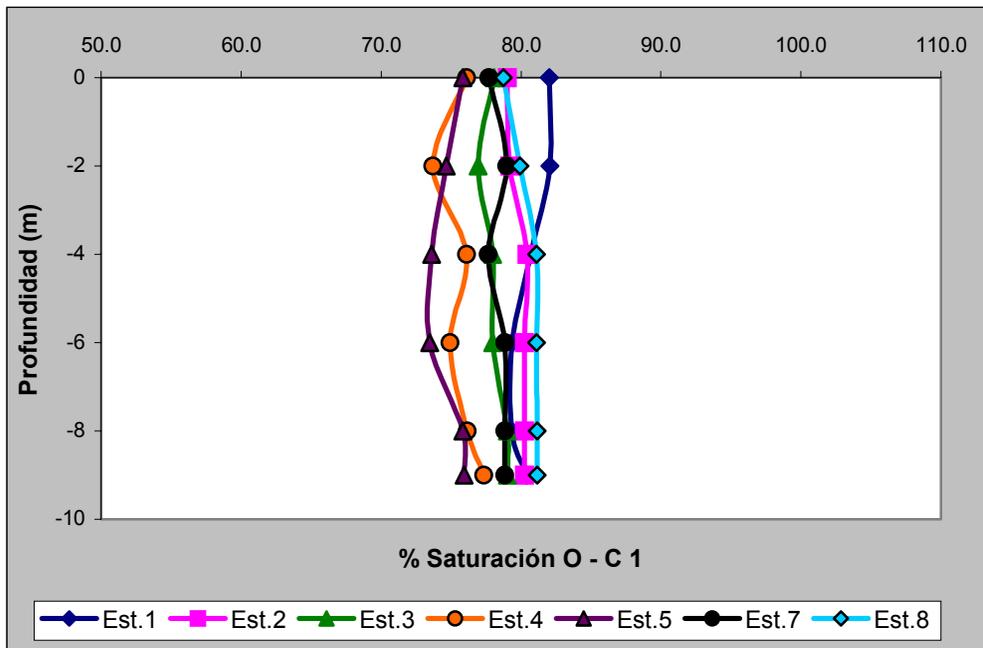
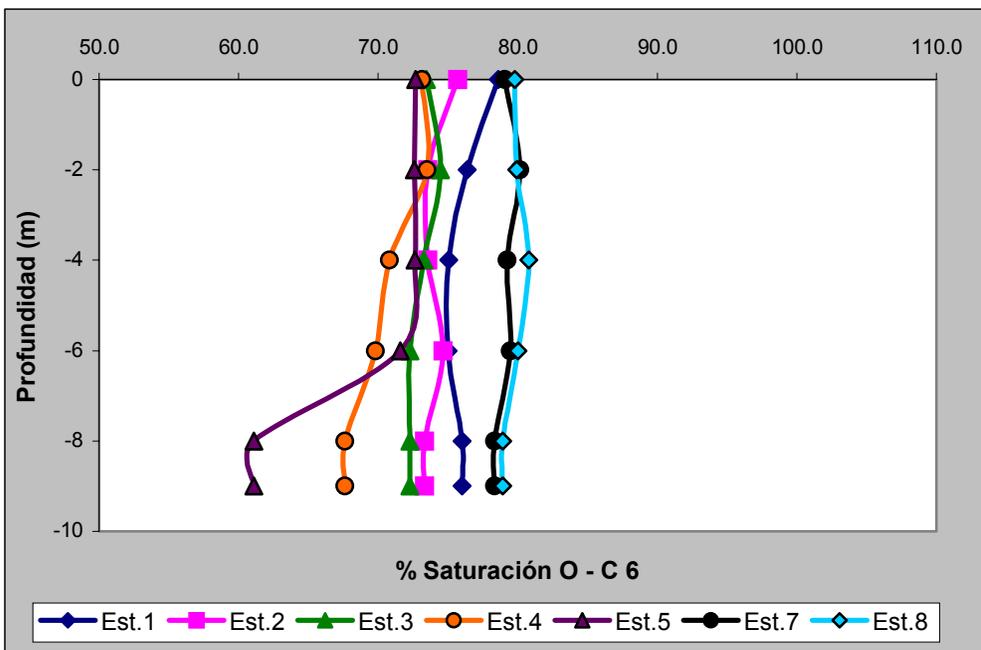
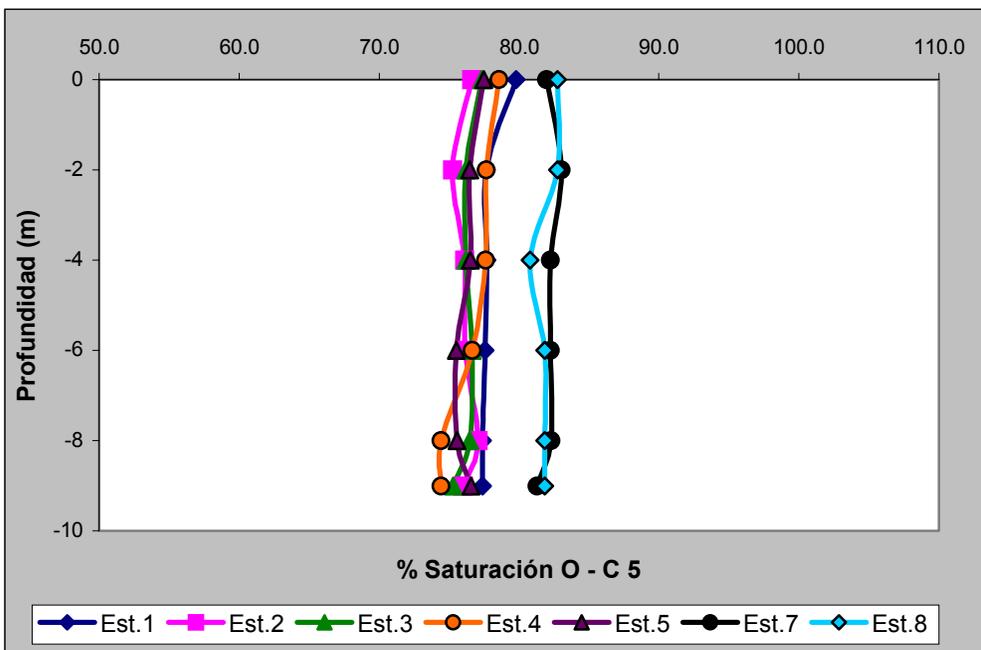
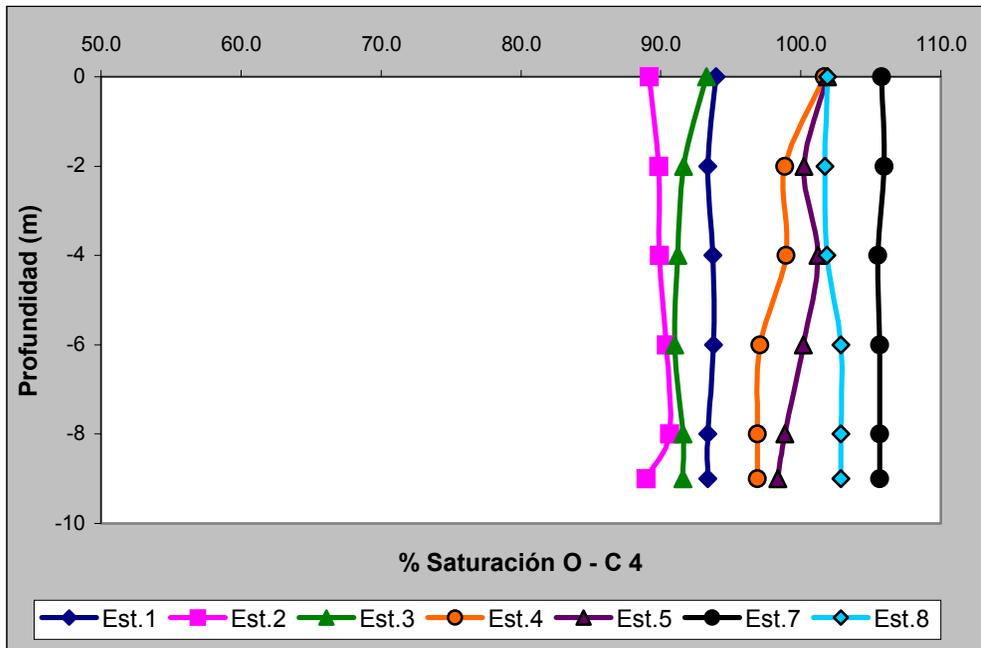


Figura 28 : Perfiles de porcentaje de saturación de oxígeno en el agua de la zona interior del estuario de Bahía Blanca.



**Figura 29 : Perfiles de porcentaje de saturación de oxígeno en el agua de la zona interior del estuario de Bahía Blanca.**

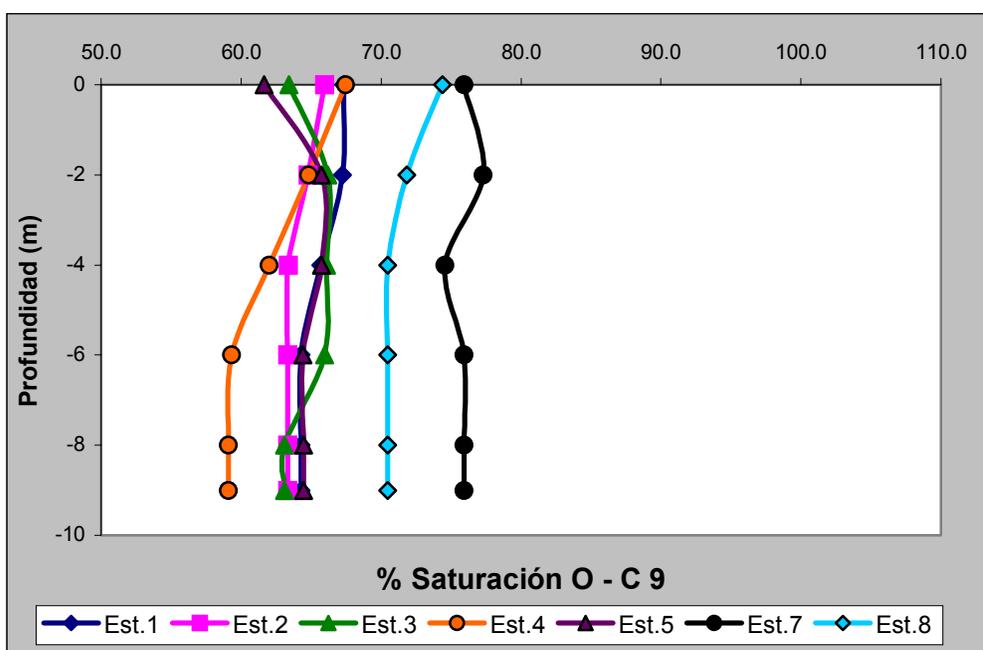
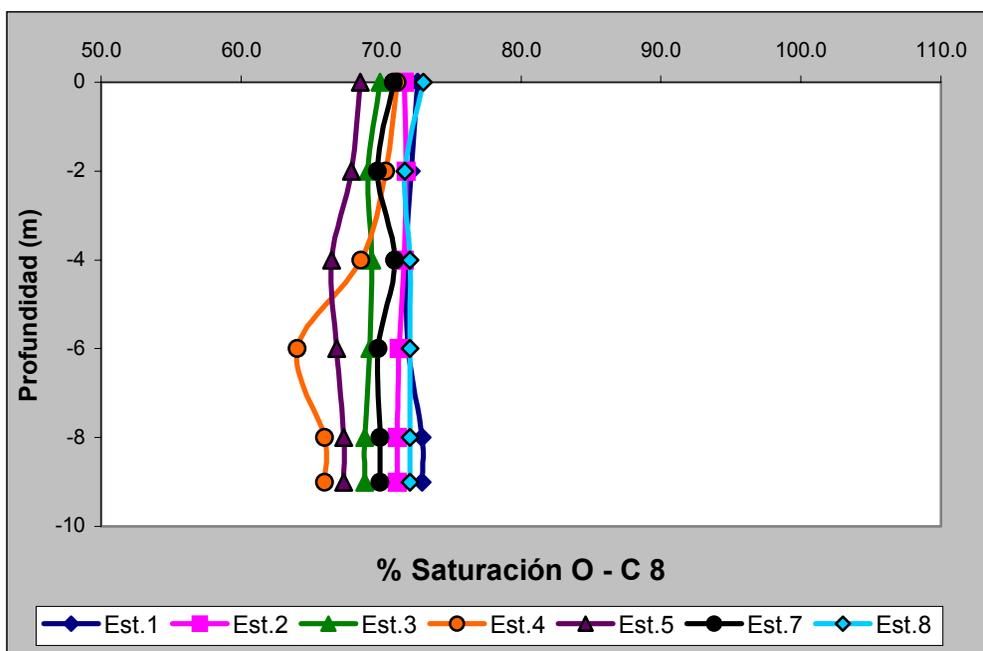
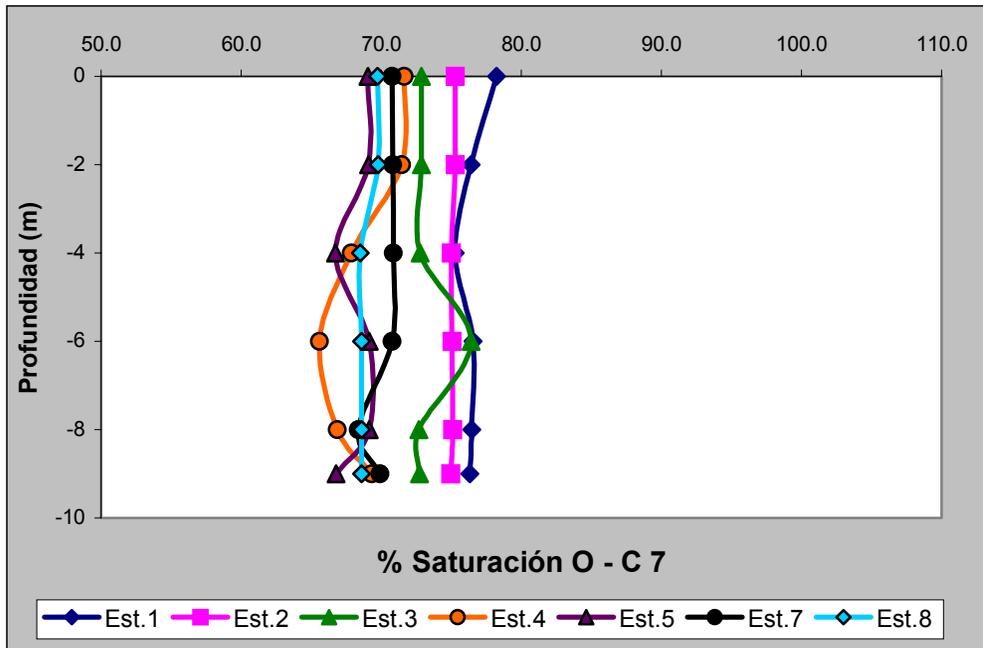


Figura 30 : Perfiles de porcentaje de saturación de oxígeno en el agua de la zona interior del estuario de Bahía Blanca.

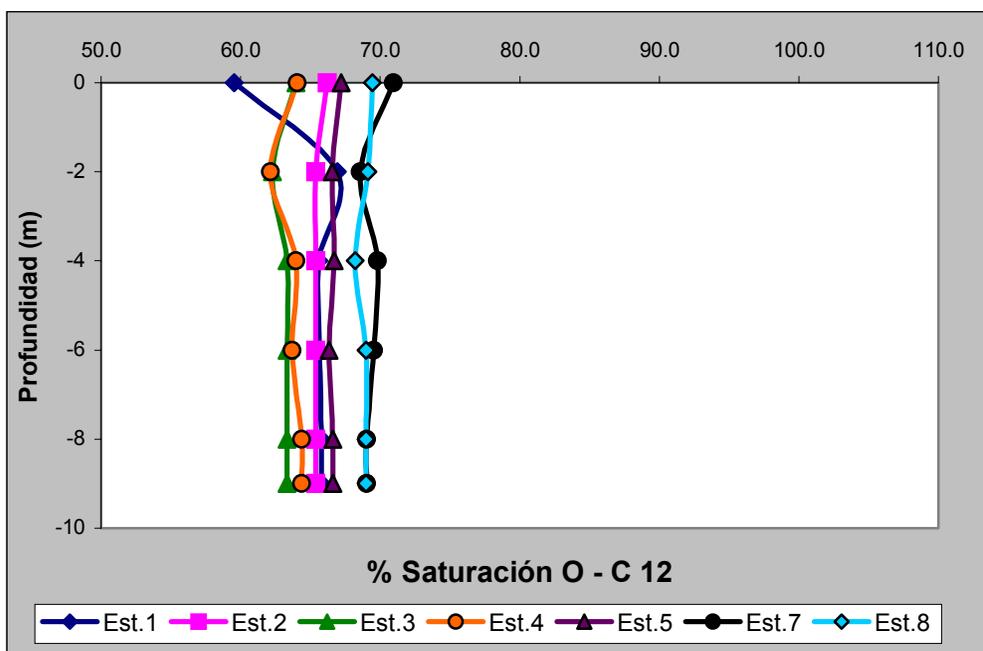
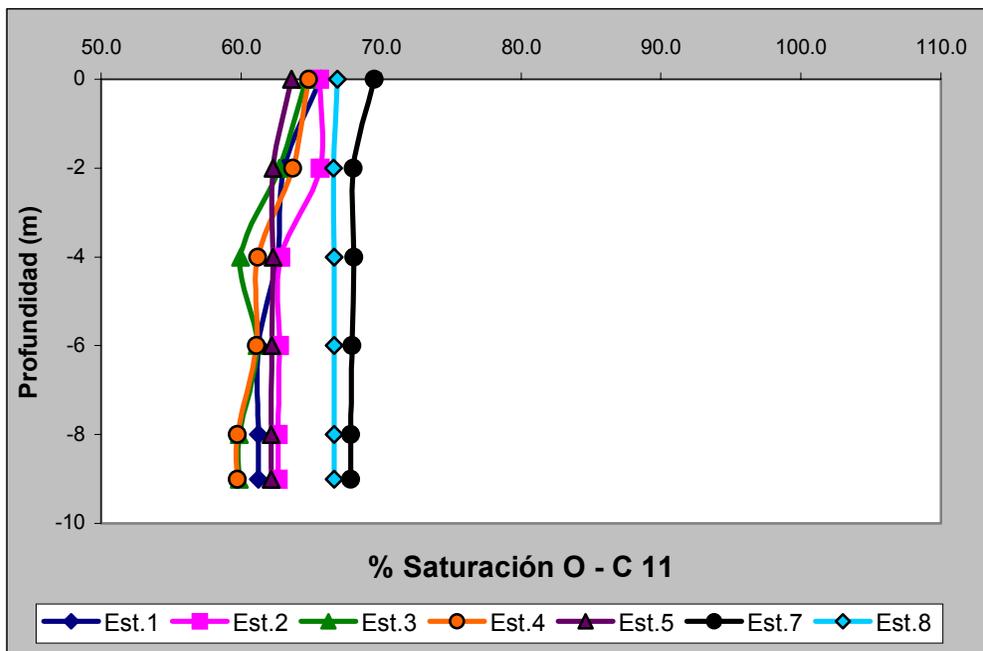
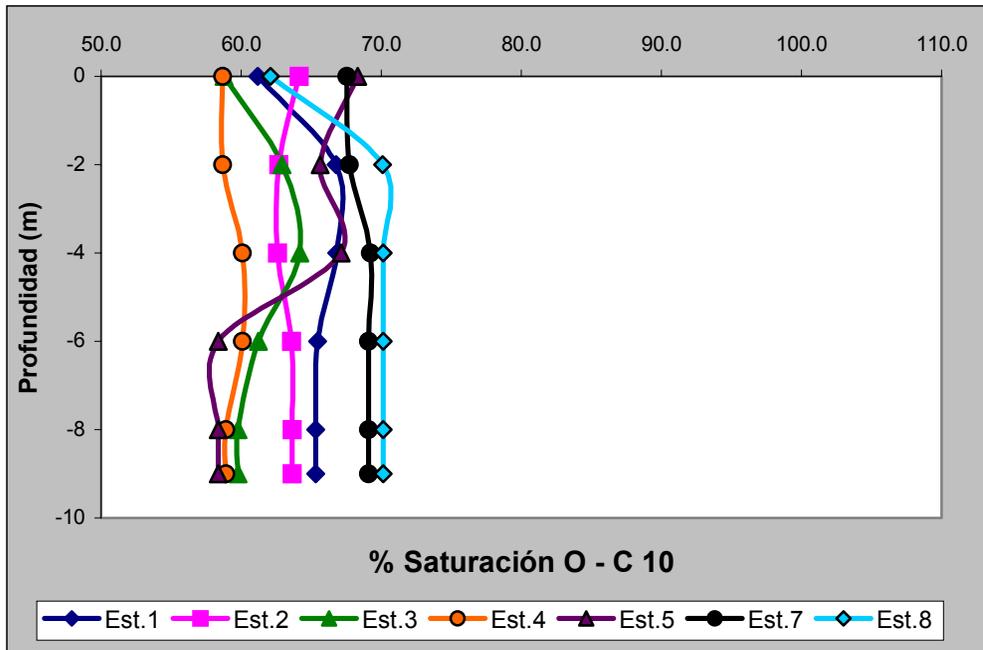


Figura 31 : Perfiles de porcentaje de saturación de oxígeno en el agua de la zona interior del estuario de Bahía Blanca.

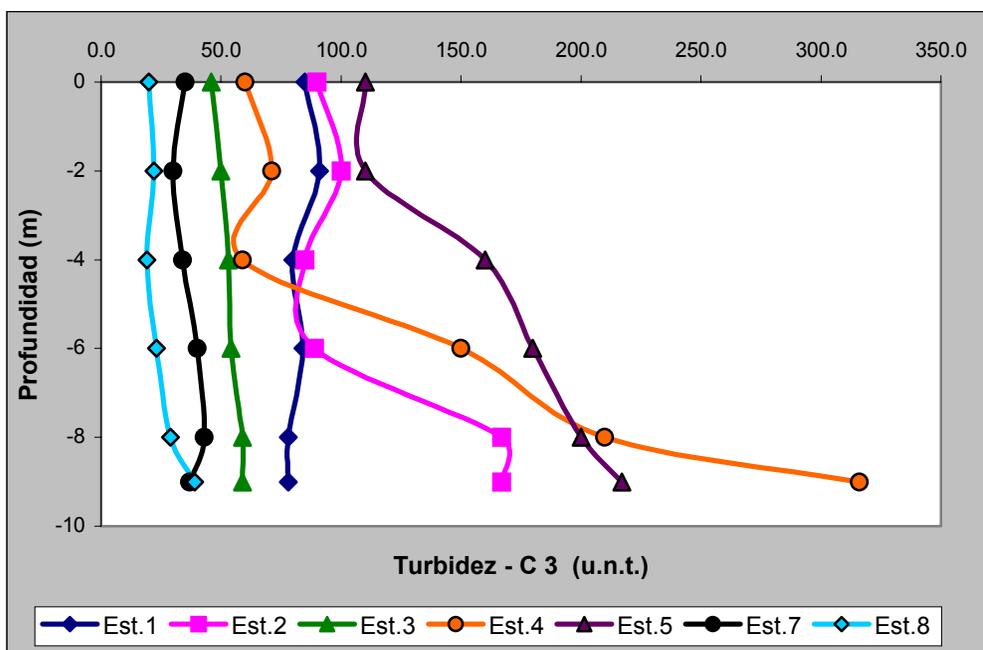
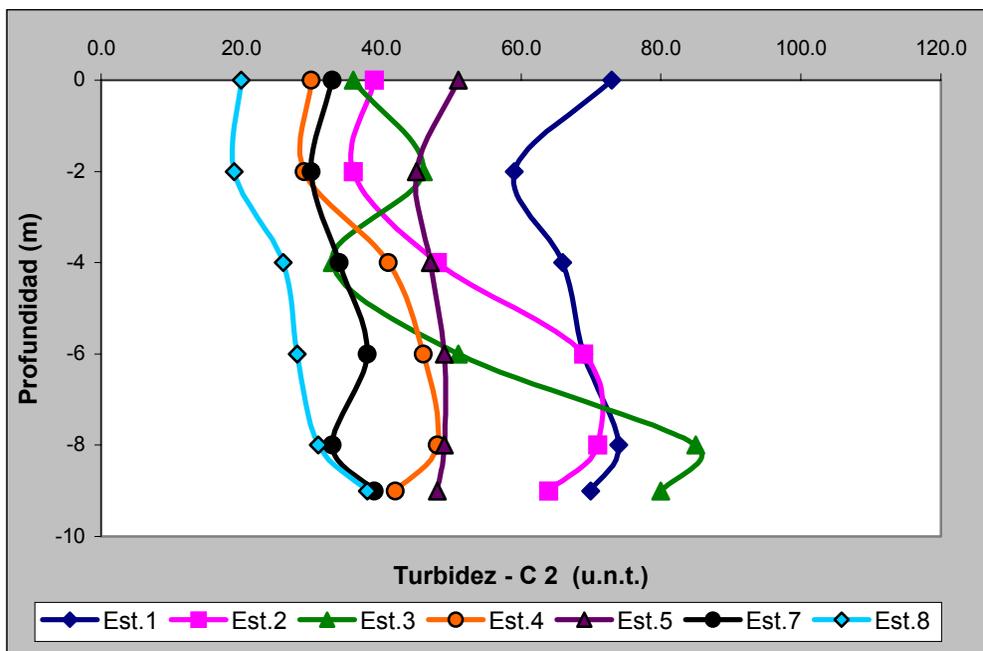
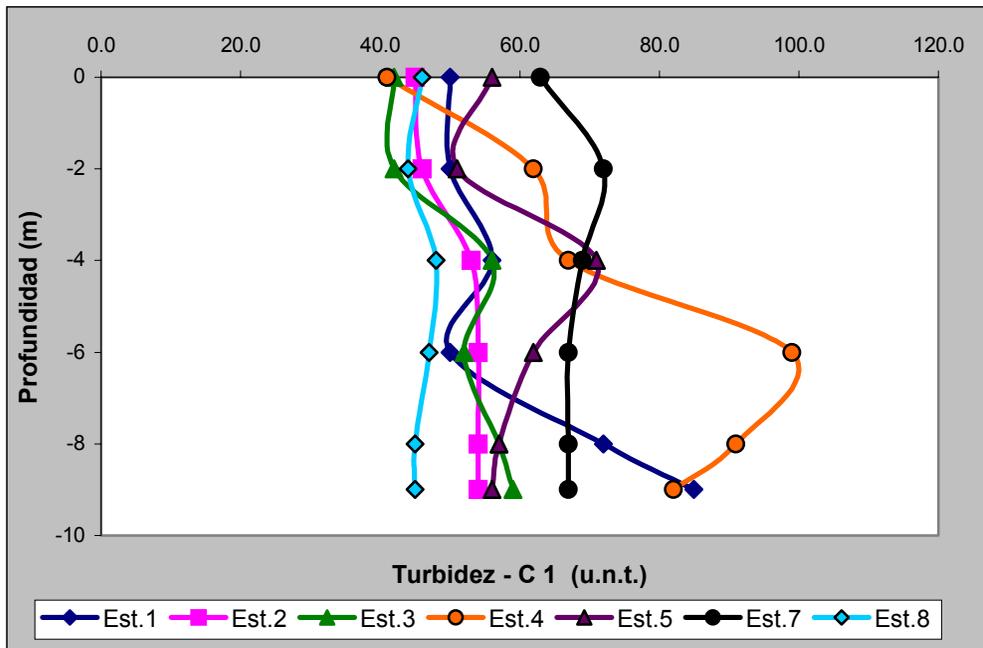
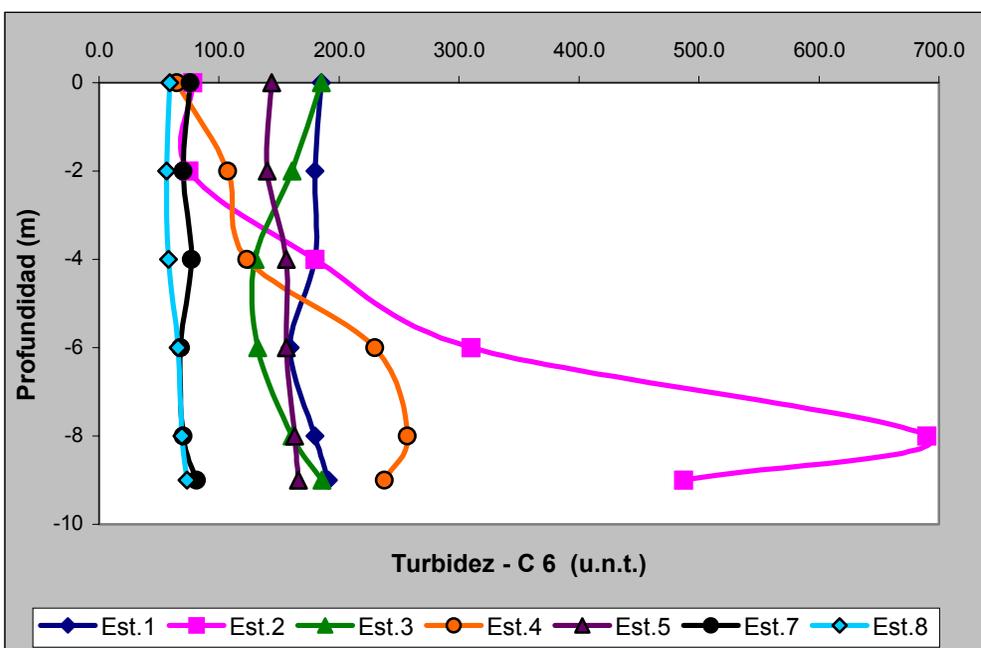
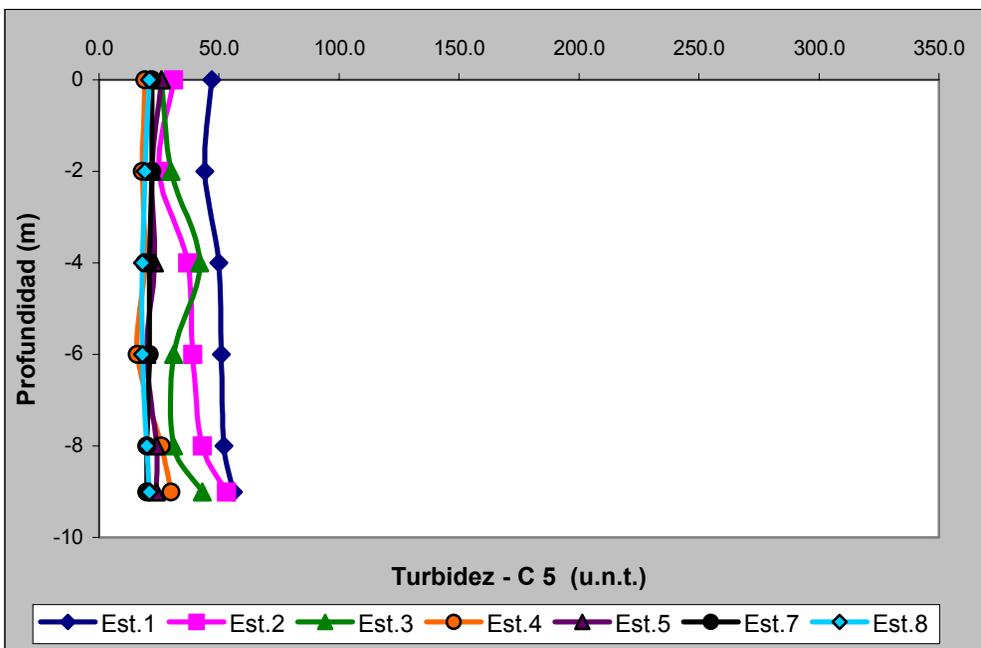
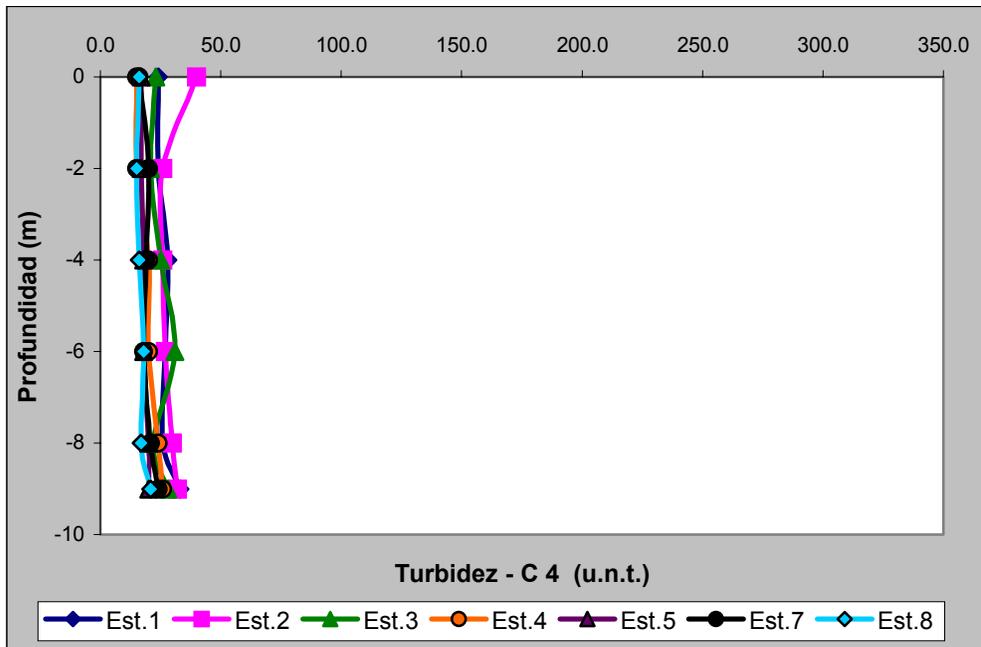
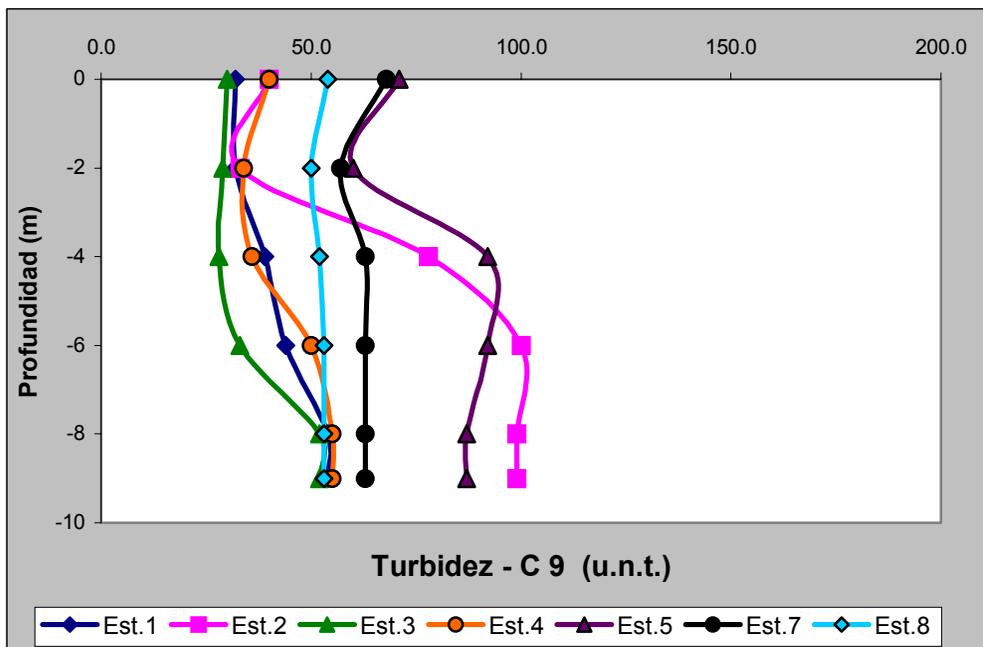
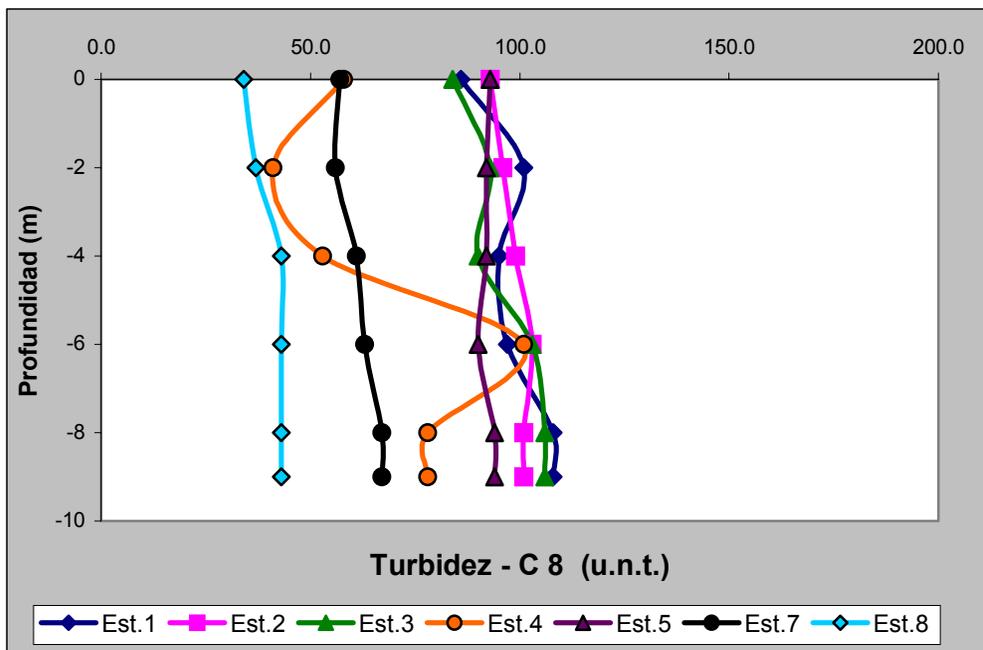
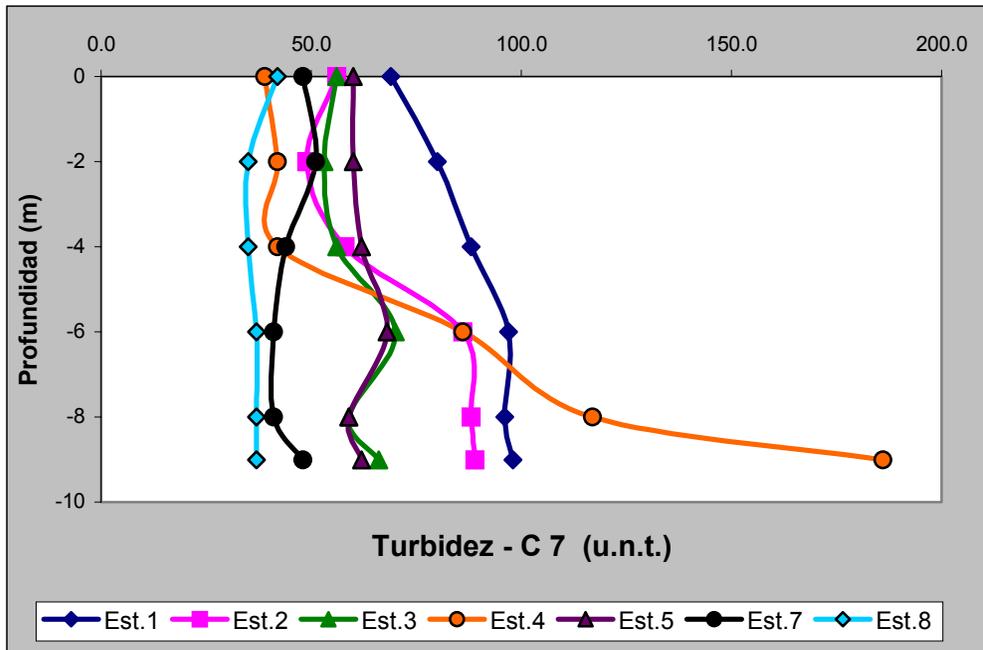


Figura 32 : Perfiles de turbidez en el agua de la zona interior del estuario de Bahía Blanca.



**Figura 33 : Perfiles de turbidez en el agua de la zona interior del estuario de Bahía Blanca.**



*Figura 34 : Perfiles de turbidez en el agua de la zona interior del estuario de Bahía Blanca.*

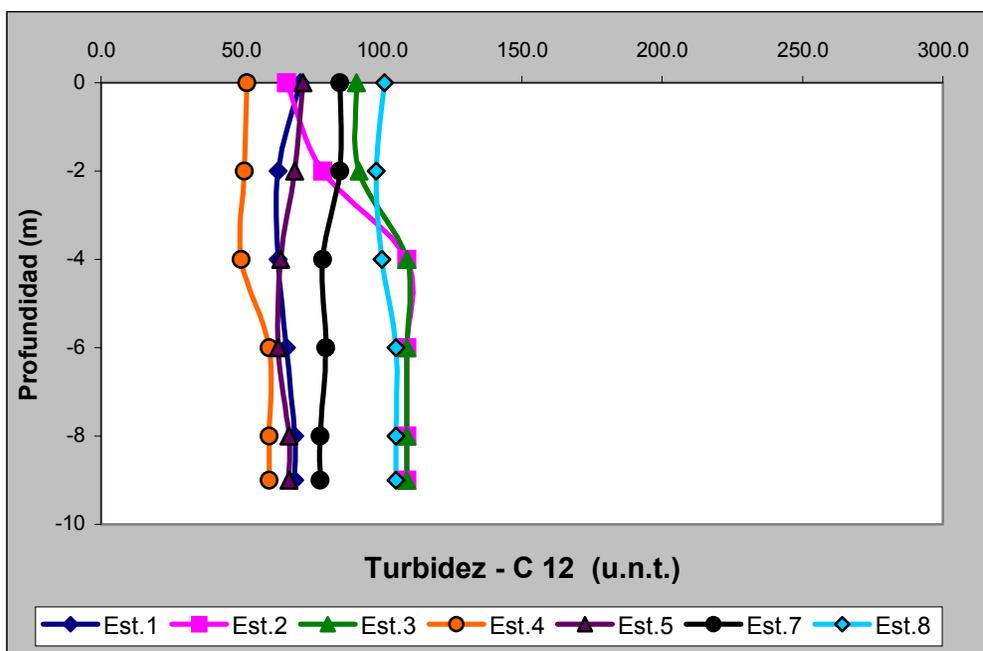
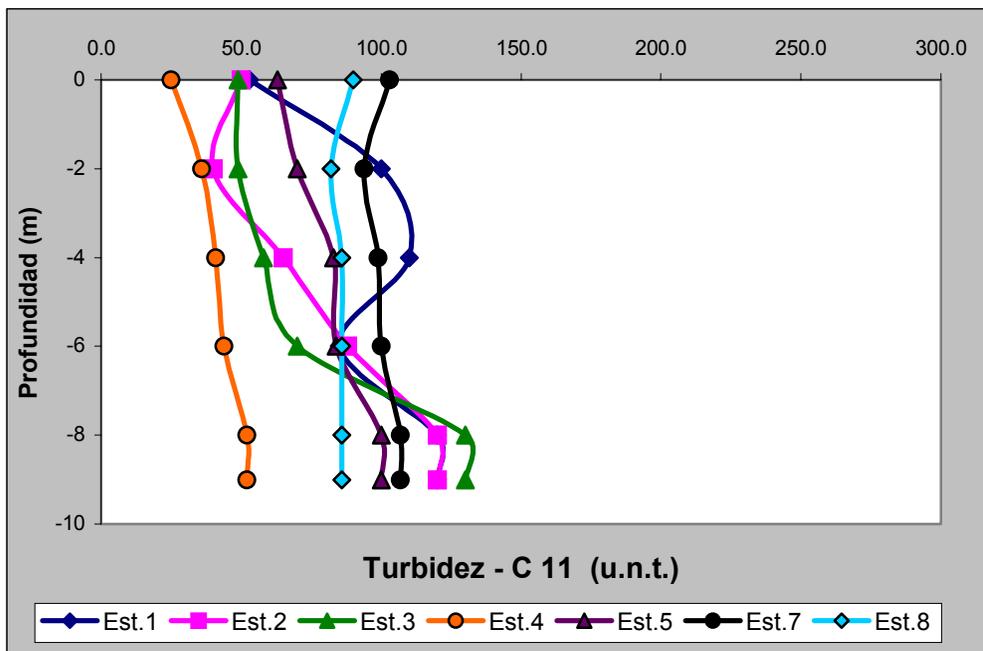
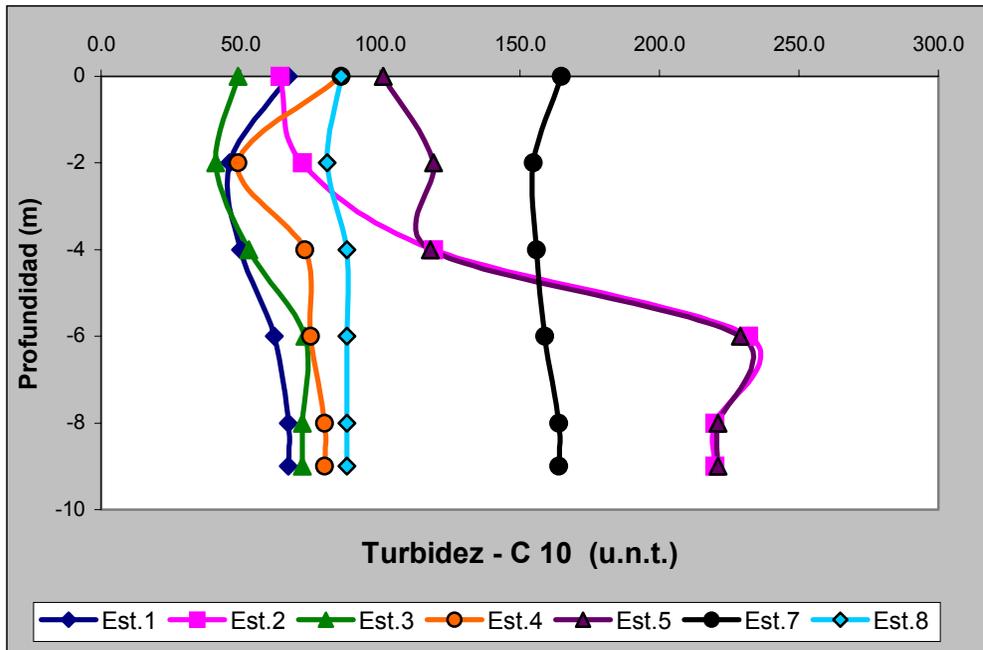


Figura 35 : Perfiles de turbidez en el agua de la zona interior del estuario de Bahía Blanca.

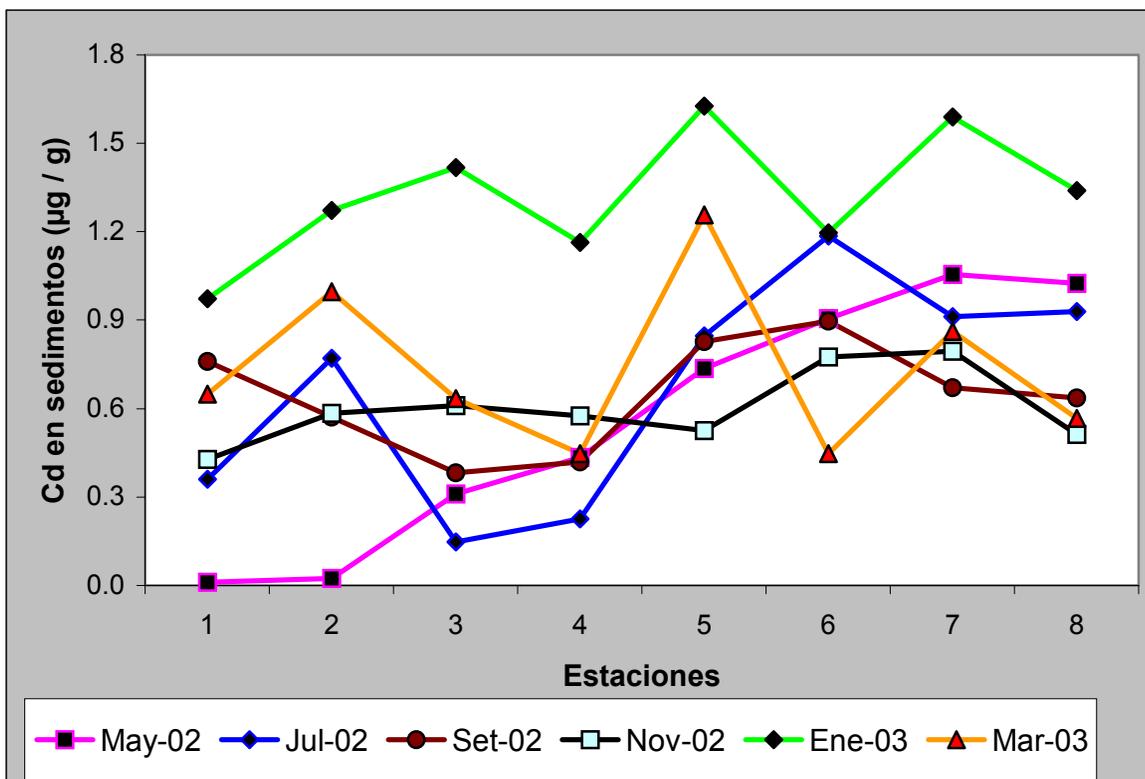
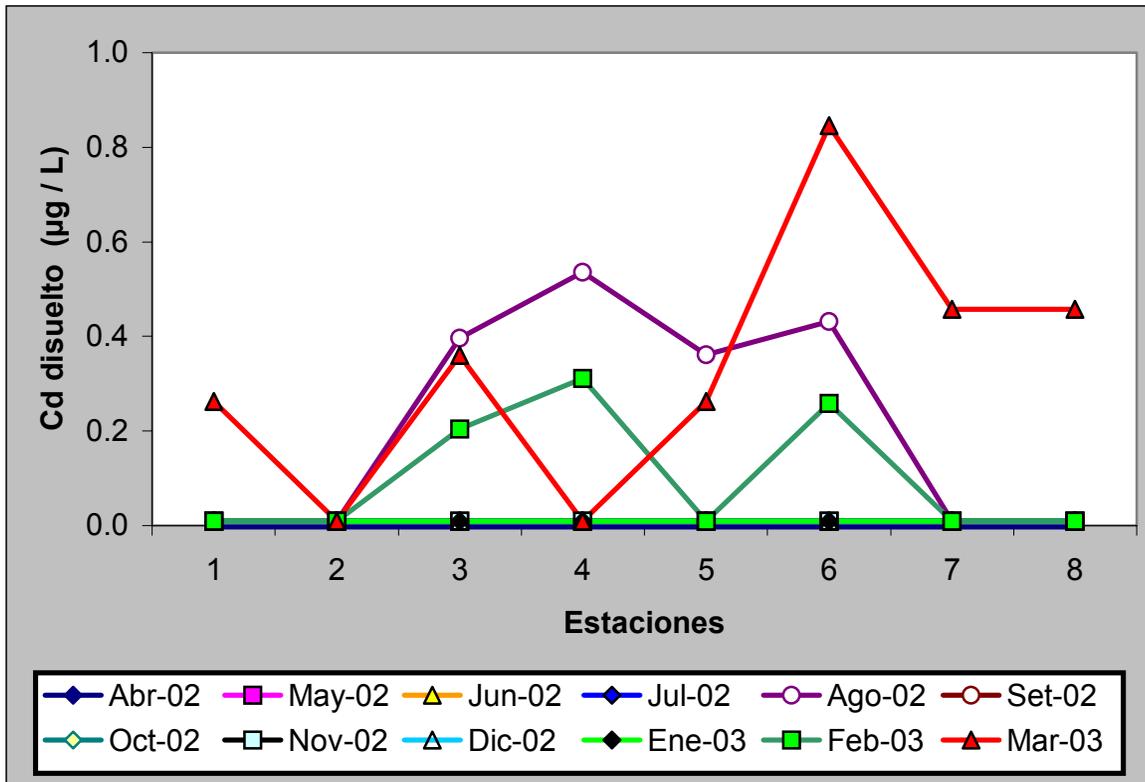


Figura 36 : distribución de cadmio disuelto ( $\mu\text{g}/\text{L}$ ) y en sedimentos ( $\mu\text{g}/\text{g}$ ) de la zona interior del estuario de Bahía Blanca.

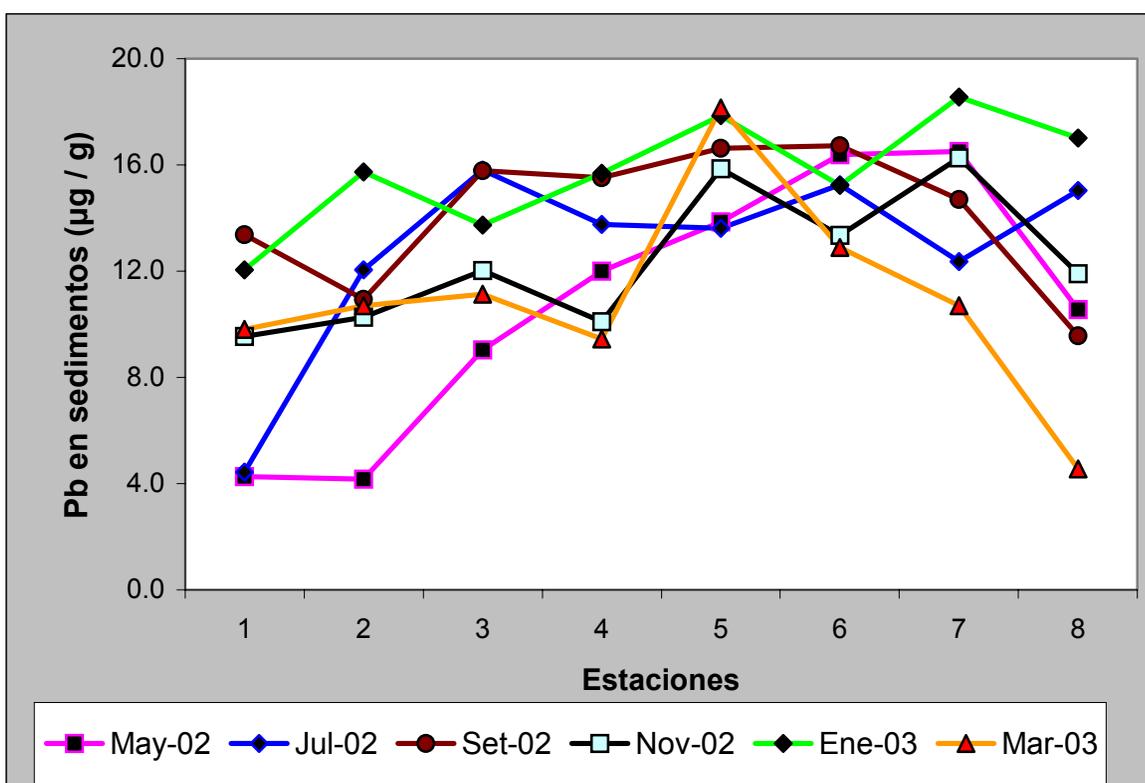
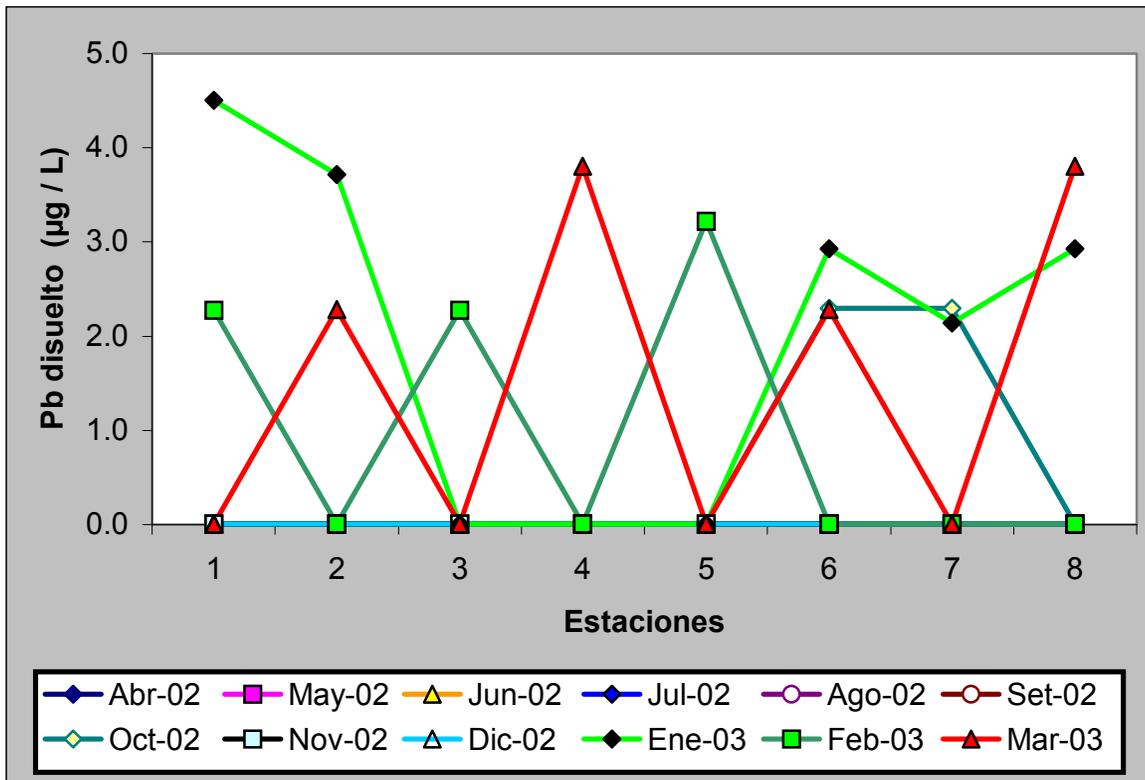


Figura 37 : distribución de plomo disuelto ( $\mu\text{g/L}$ ) y en sedimentos ( $\mu\text{g/g}$ ) de la zona interior del estuario de Bahía Blanca.

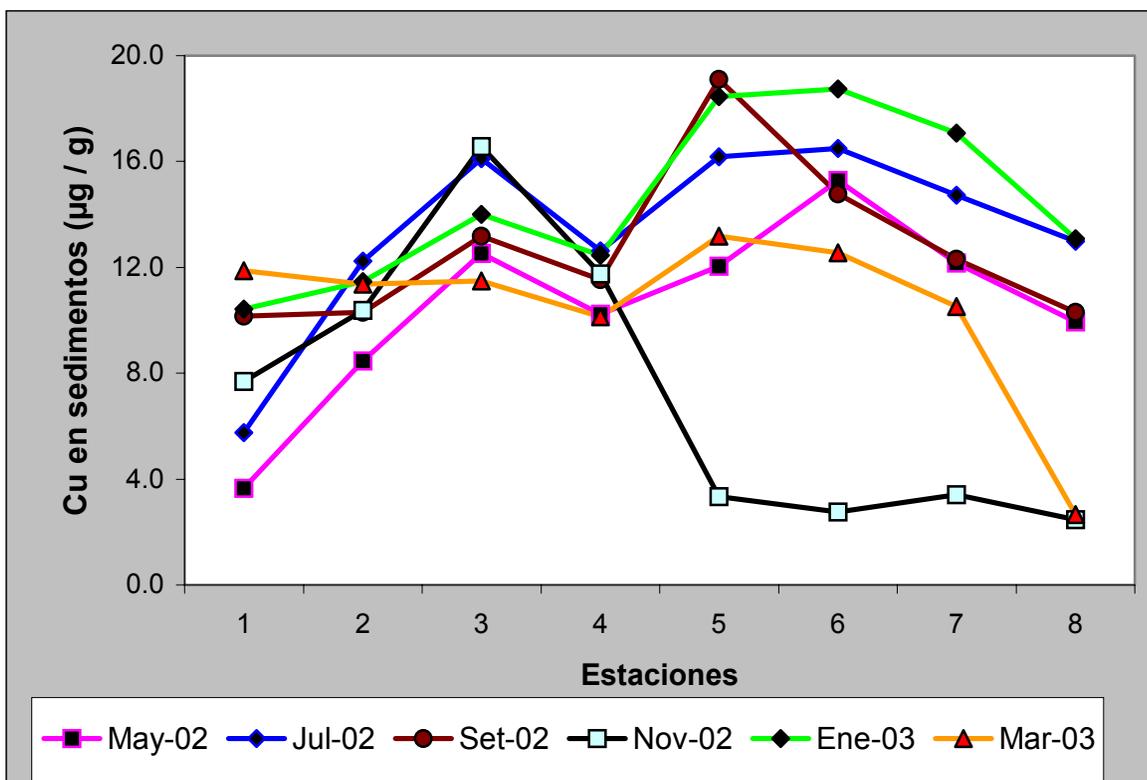
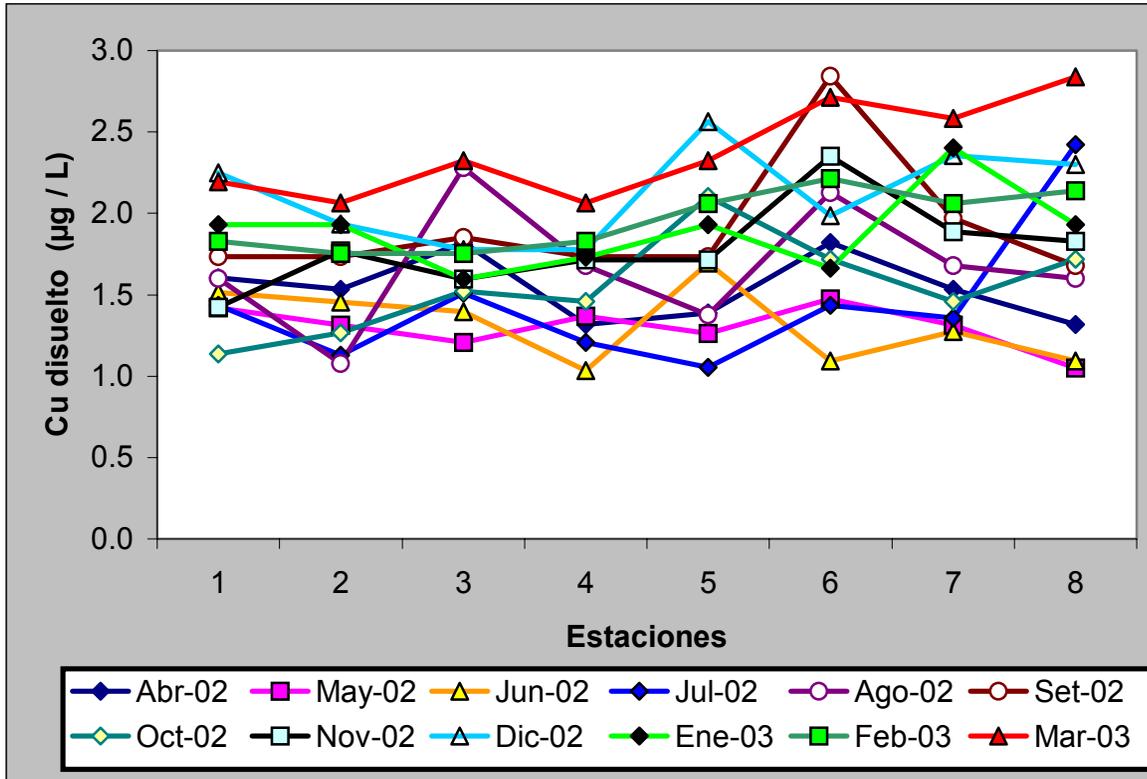


Figura 38 : distribución de cobre disuelto ( $\mu\text{g/L}$ ) y en sedimentos ( $\mu\text{g/g}$ ) de la zona interior del estuario

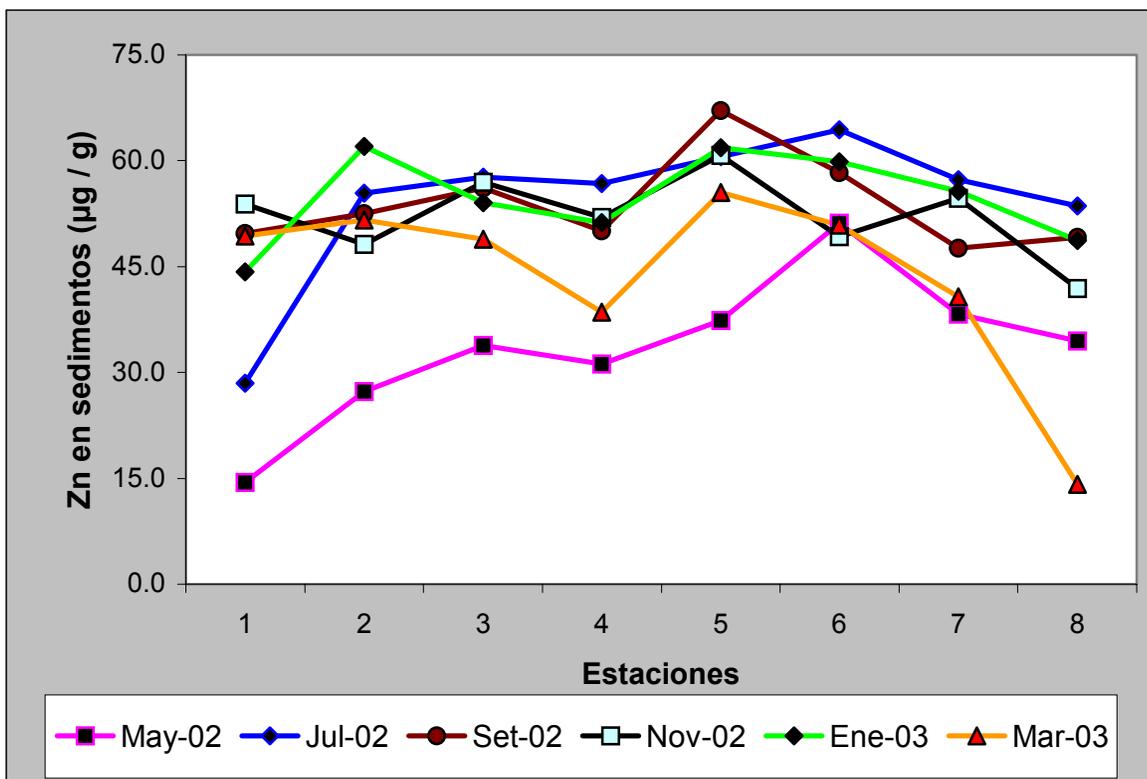
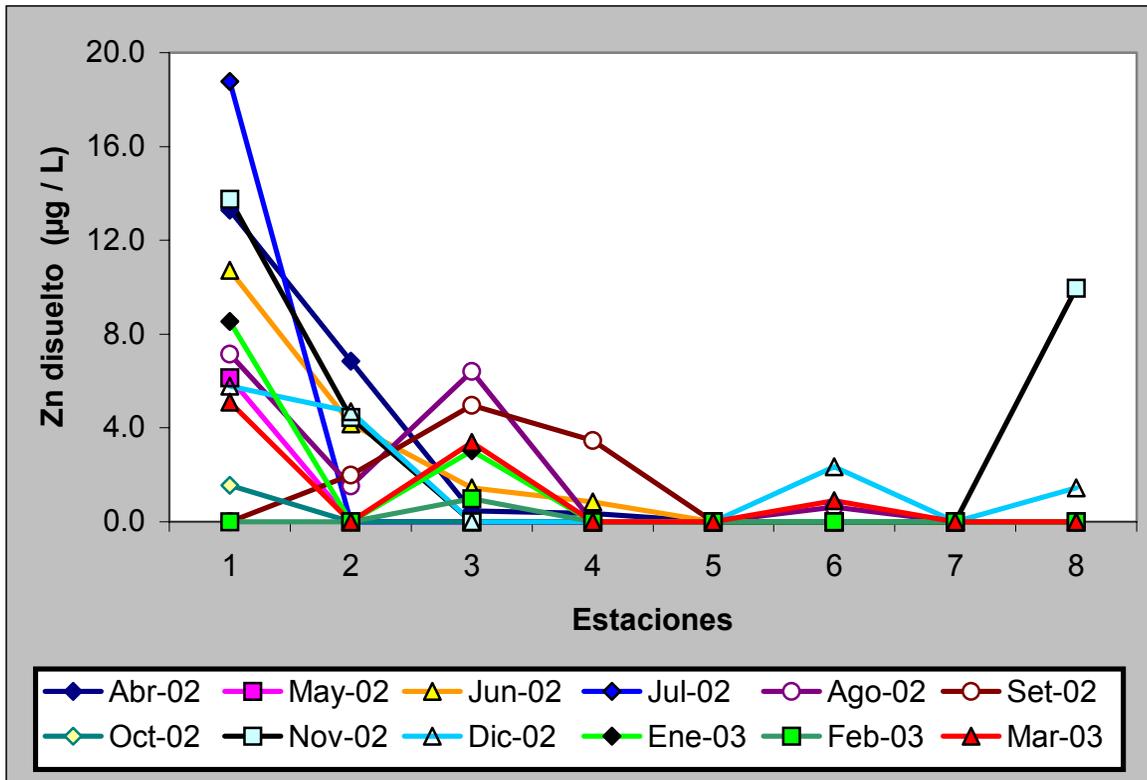


Figura 39 : distribución de zinc disuelto ( $\mu\text{g}/\text{L}$ ) y en sedimentos ( $\mu\text{g}/\text{g}$ ) de la zona interior del estuario de Bahía Blanca

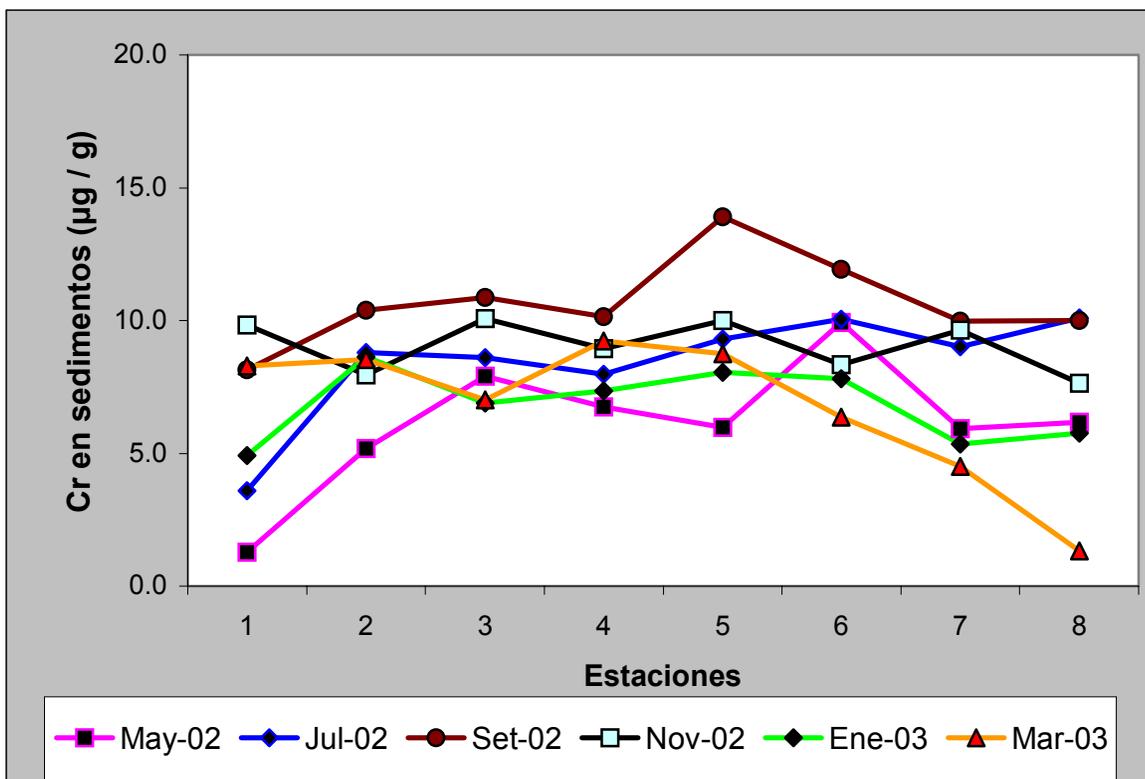
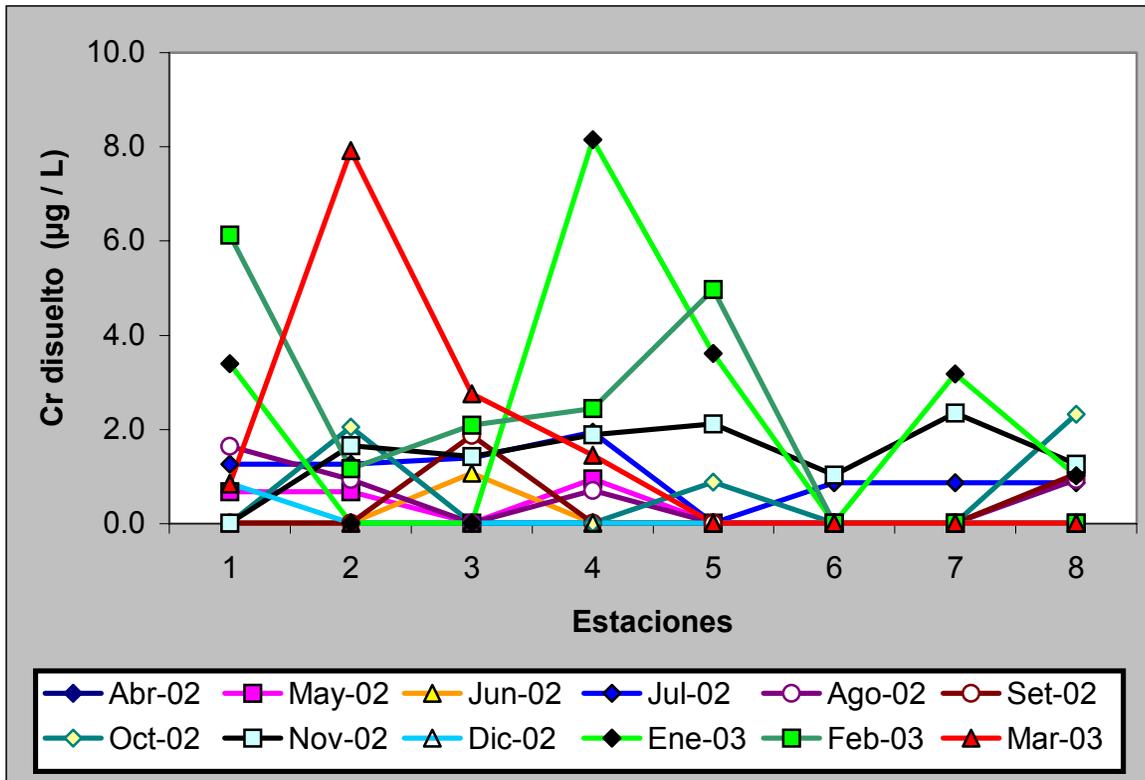
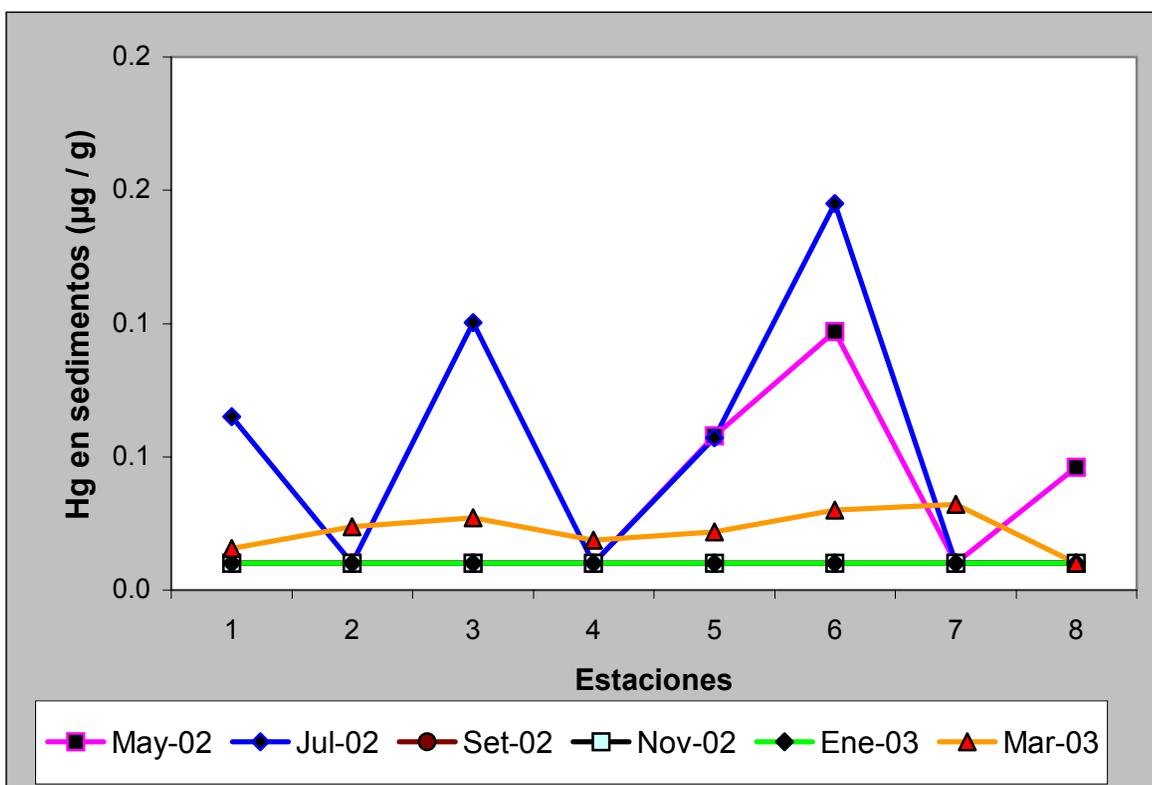
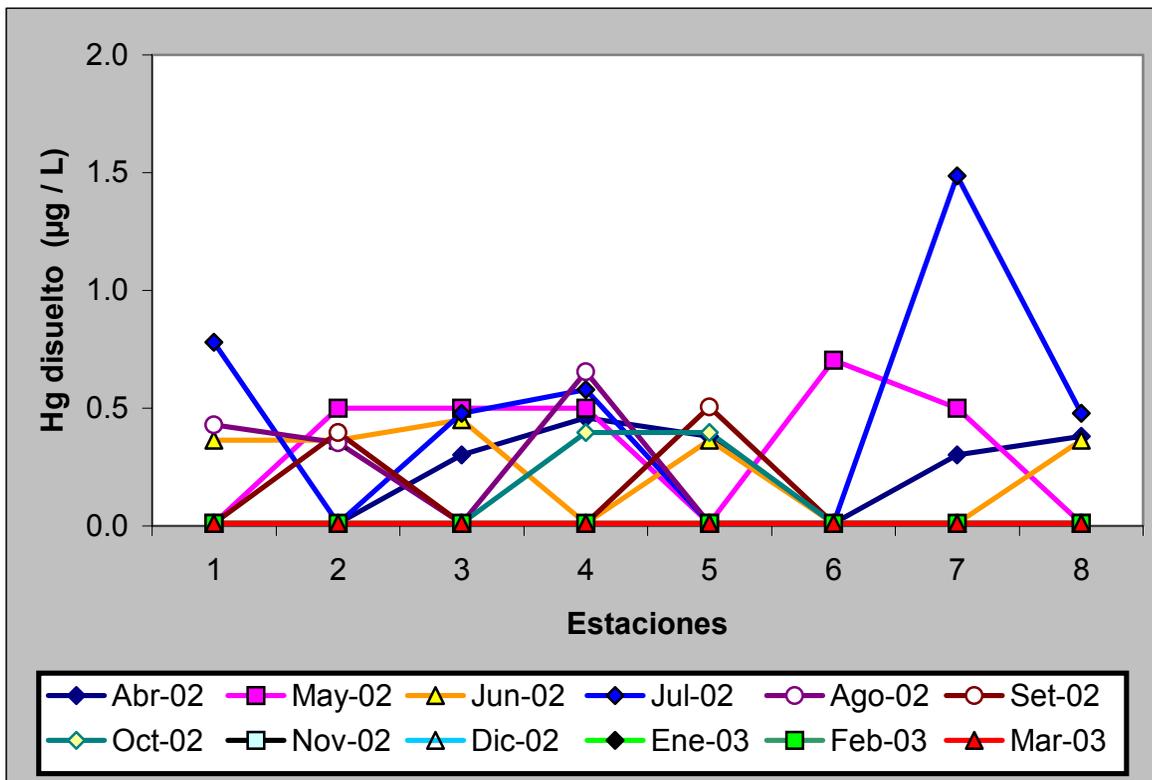
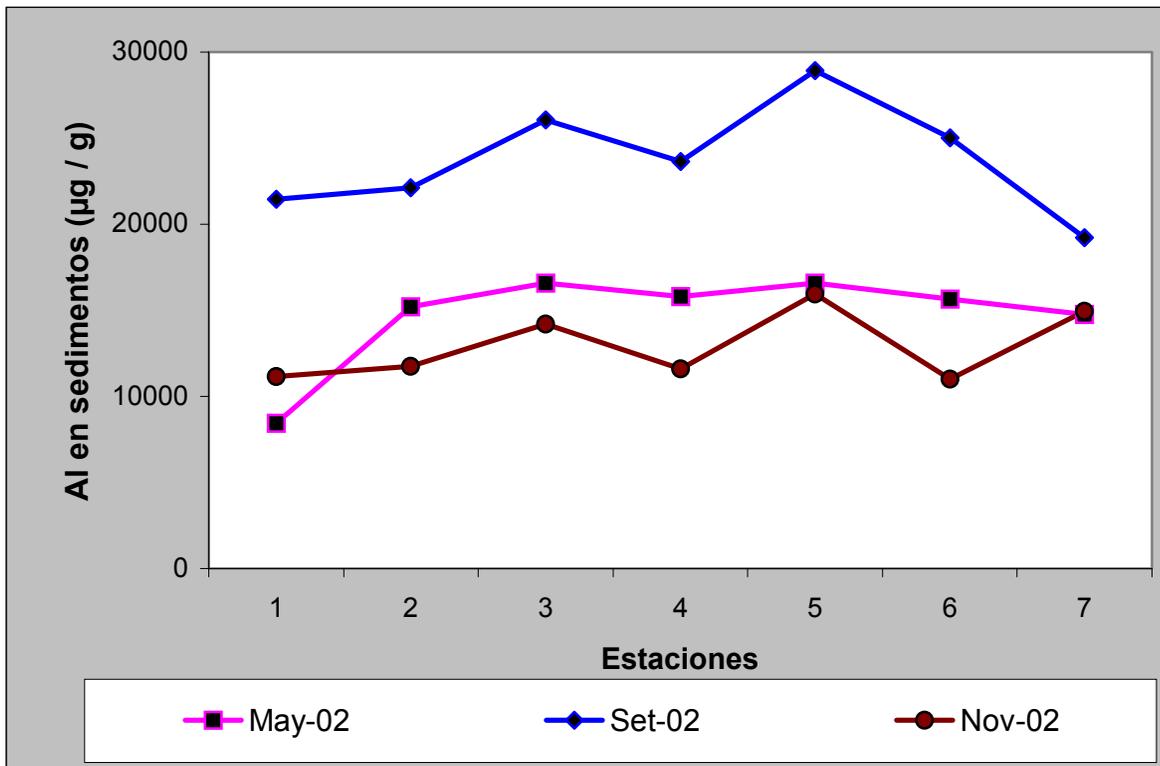


Figura 40 : distribución de cromo disuelto ( $\mu\text{g}/\text{L}$ ) y en sedimentos ( $\mu\text{g}/\text{g}$ ) de la zona interior del estuario de Bahía



**Figura 41 : distribución de mercurio disuelto (µg/L) y en sedimentos (µg/g) de la zona interior del estuario**



**Figura 42 : distribución de aluminio ( $\mu\text{g/g}$ ) en sedimentos de la zona interior del estuario de Bahía Blanca.**

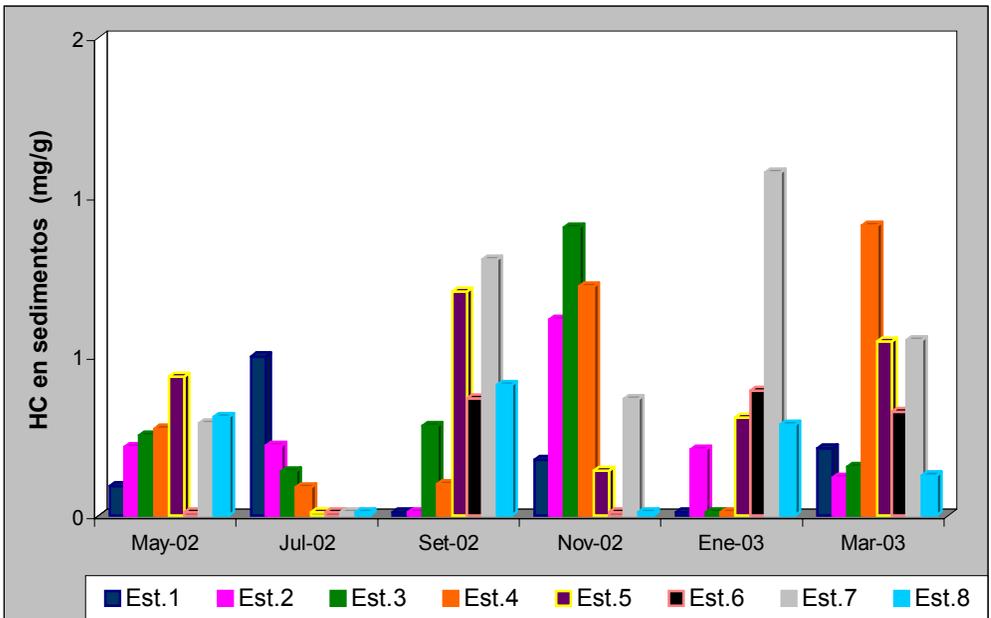
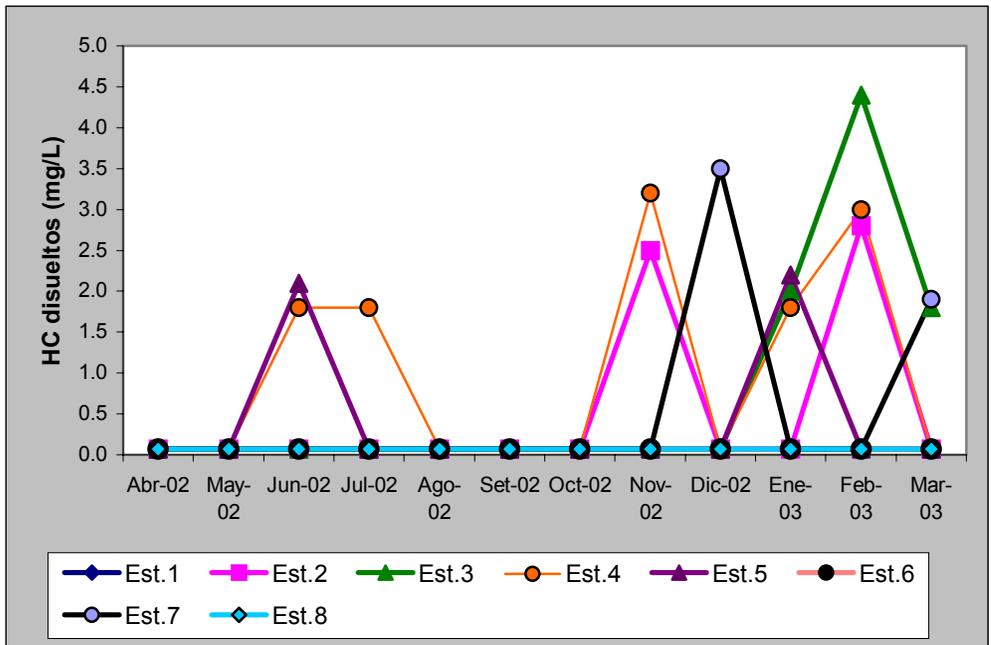


Figura 43 : distribución de hidrocarburos totales disueltos / dispersos (mg/L) y en sedimentos (mg/g) de la zona interior del estuario de Bahía Blanca.

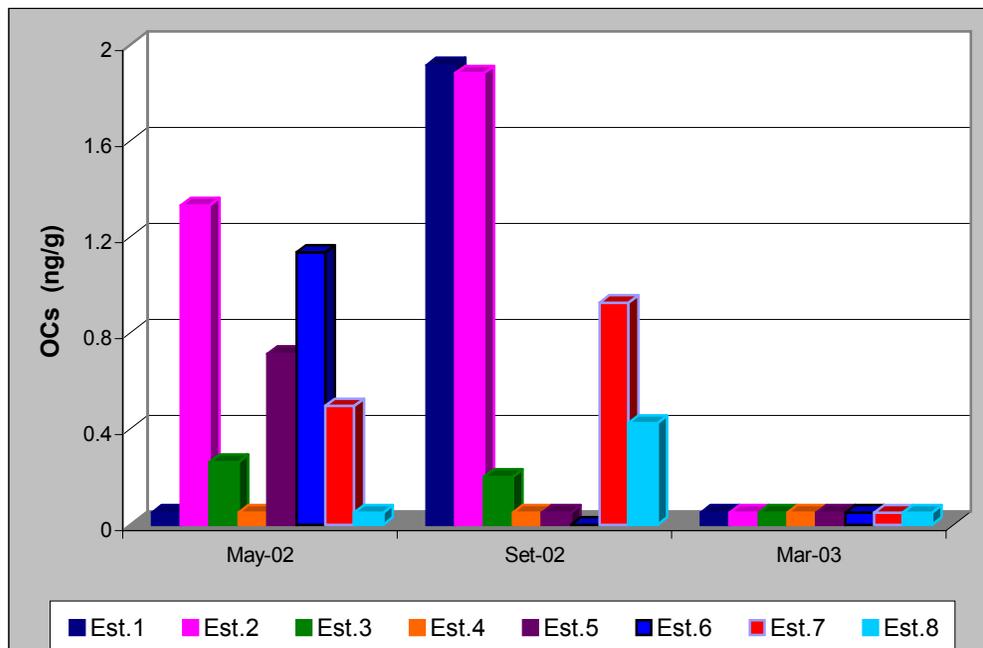
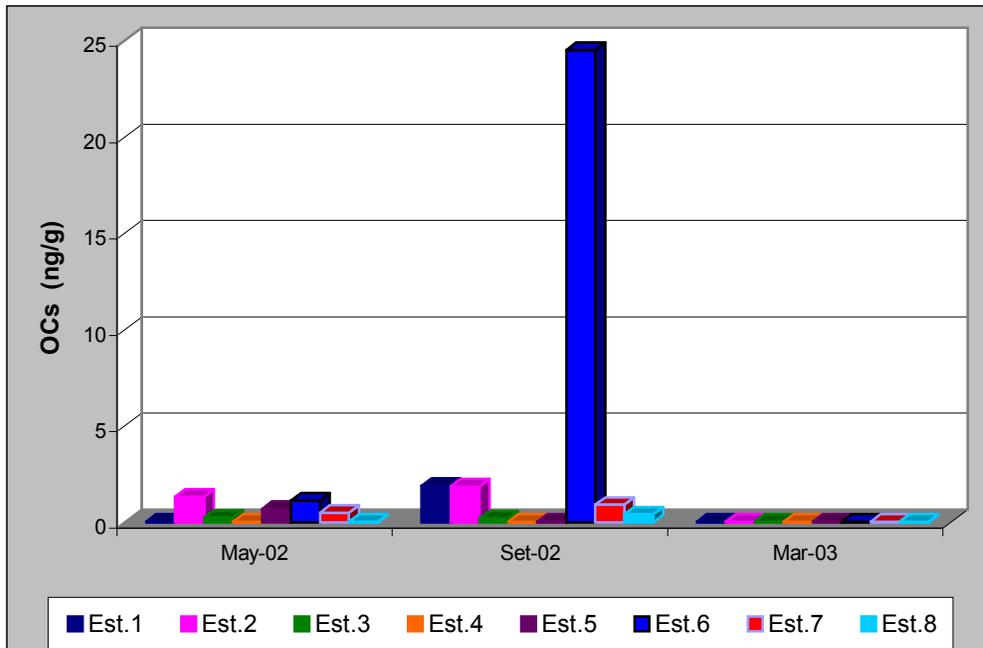


Figura 44 : distribución de compuestos organoclorados (ng/g) en sedimentos superficiales de la zona interior del estuario de Bahía Blanca. (el 2<sup>do</sup> gráfico excluye el valor de la Est-6, Set/02)

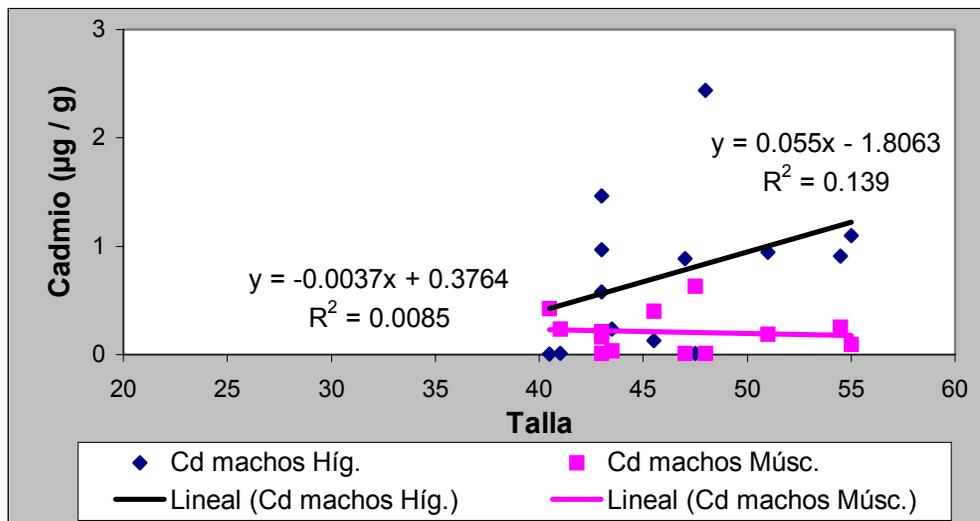


Figura 45 : distribución de cadmio en músculo e hígado del gatuzo

*Mustelus schmitti* del estuario de Bahía Blanca.

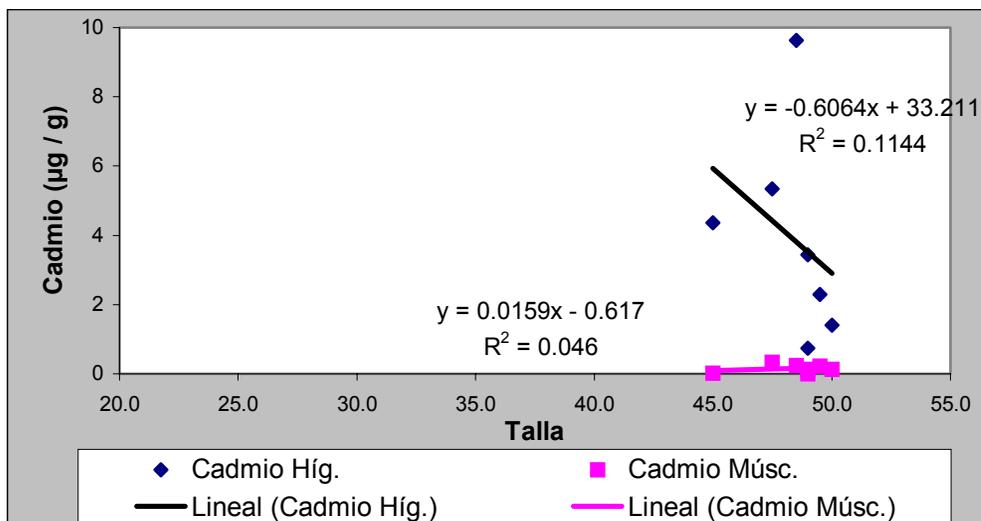


Figura 46 : distribución de cadmio en músculo e hígado de la pescadilla *Cynoscion striatus* del estuario de Bahía Blanca.

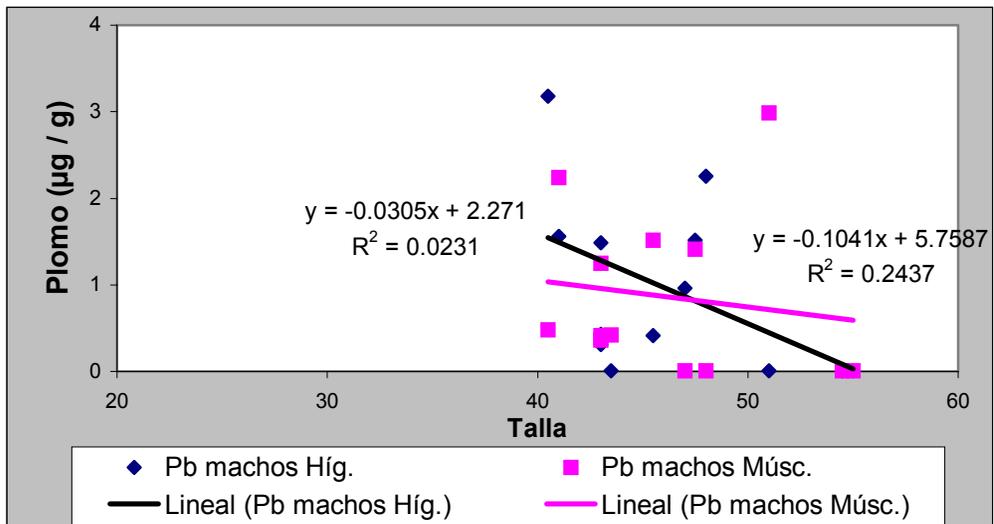


Figura 47 : distribución de plomo en músculo e hígado del gatuazo *Mustelus schmitti* del estuario de Bahía Blanca.

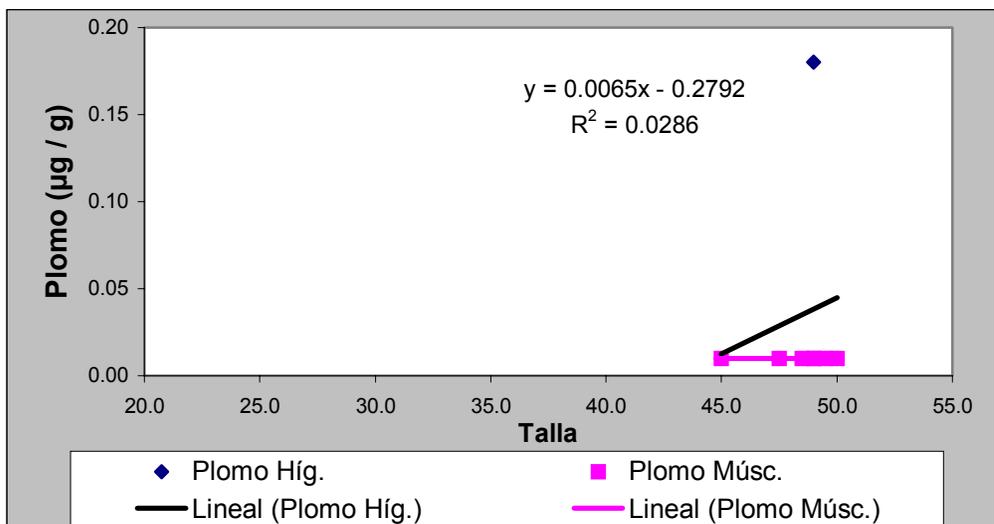


Figura 48 : distribución de plomo en músculo e hígado de la pescadilla *Cynoscion striatus* del estuario de Bahía Blanca.

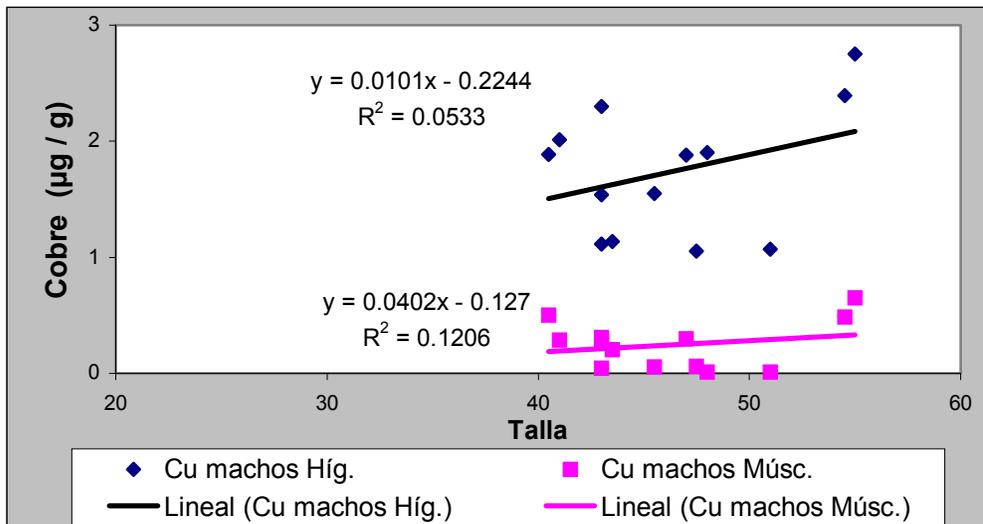


Figura 49 : distribución de cobre en músculo e hígado del gatuza *Mustelus schmitti* del estuario de Bahía Blanca.

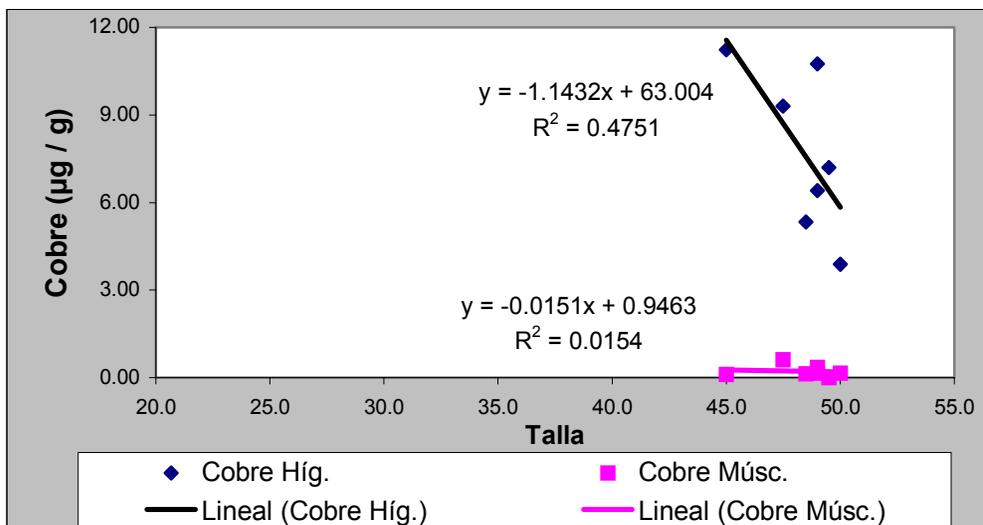


Figura 50 : distribución de cobre en músculo e hígado de la pescadilla *Cynoscion striatus* del estuario de Bahía Blanca.

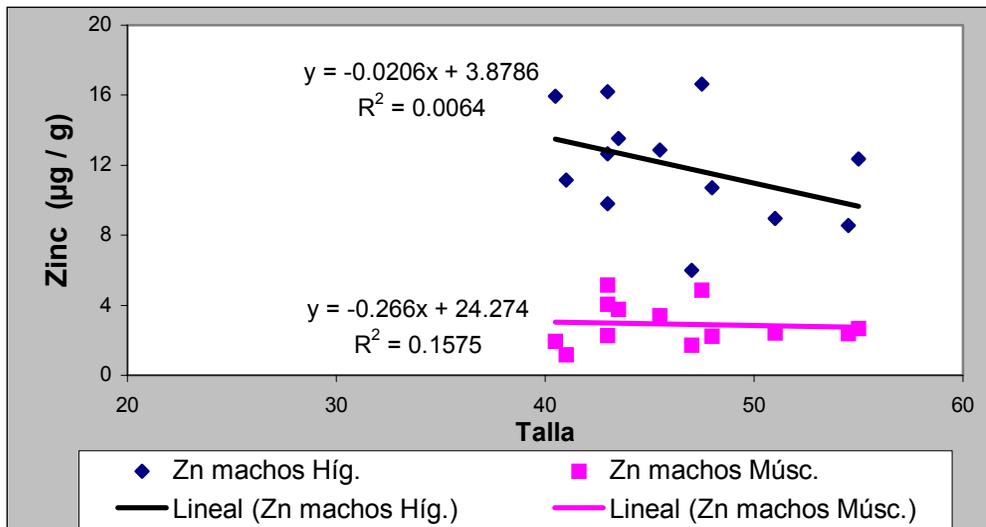


Figura 51 : distribución de zinc en músculo e hígado del gatuzo *Mustelus schmitti* del estuario de Bahía Blanca.

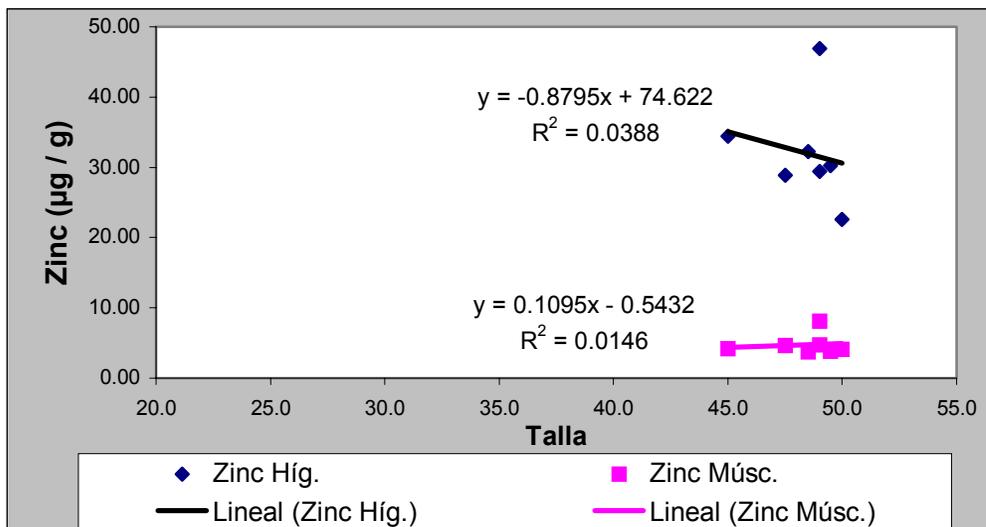


Figura 52 : distribución de zinc en músculo e hígado de la pescadilla *Cynoscion striatus* del estuario de Bahía Blanca.

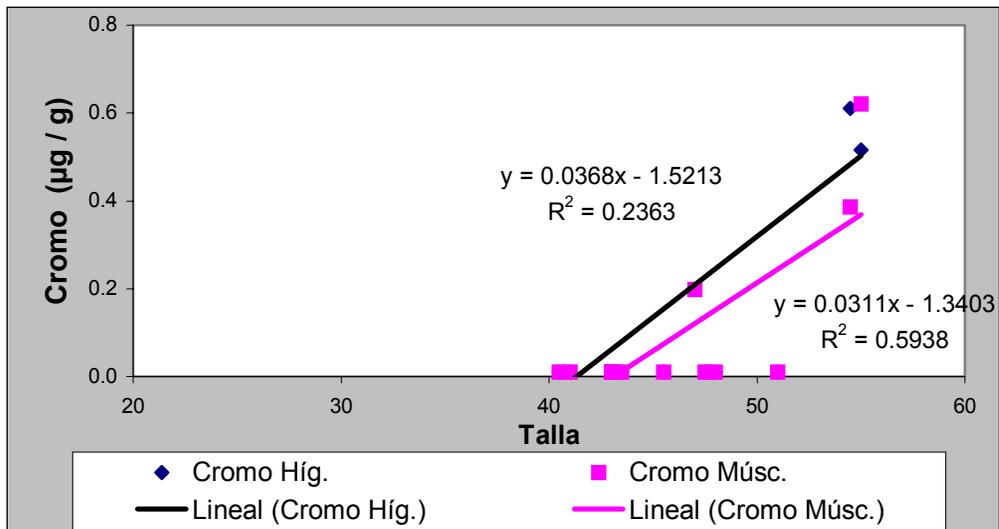


Figura 53 : distribución de cromo en músculo e hígado del gatuzo *Mustelus schmitti* del estuario de Bahía Blanca.

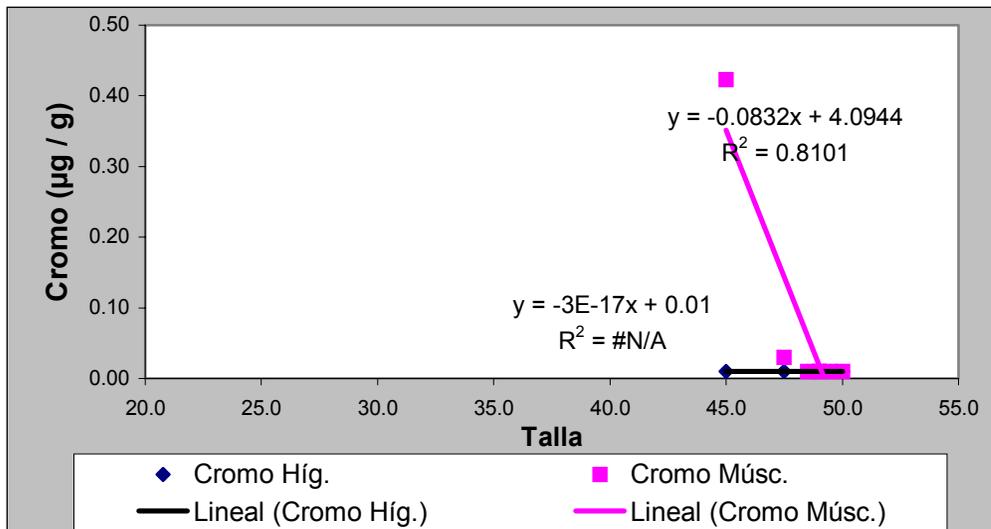


Figura 54 : distribución de cromo en músculo e hígado de la pescadilla *Cynoscion striatus* del estuario de Bahía Blanca.

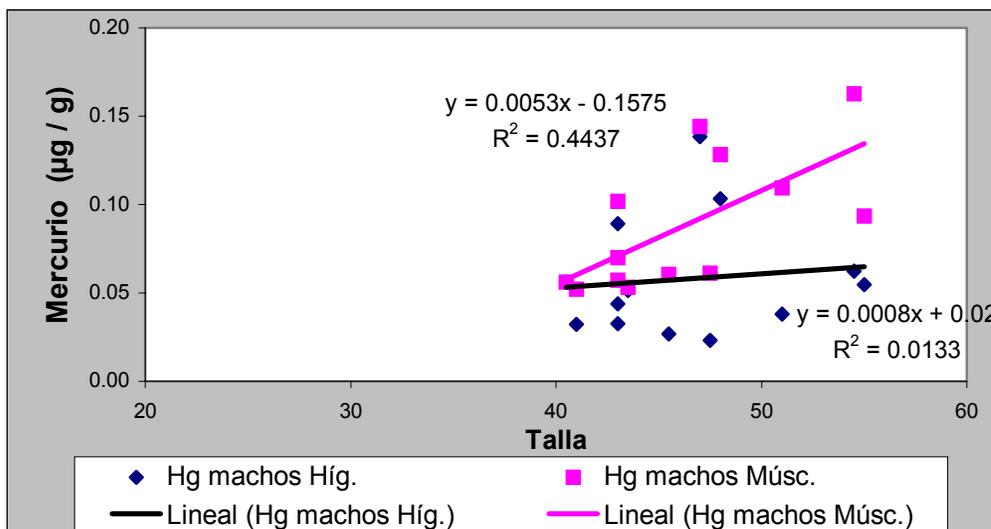
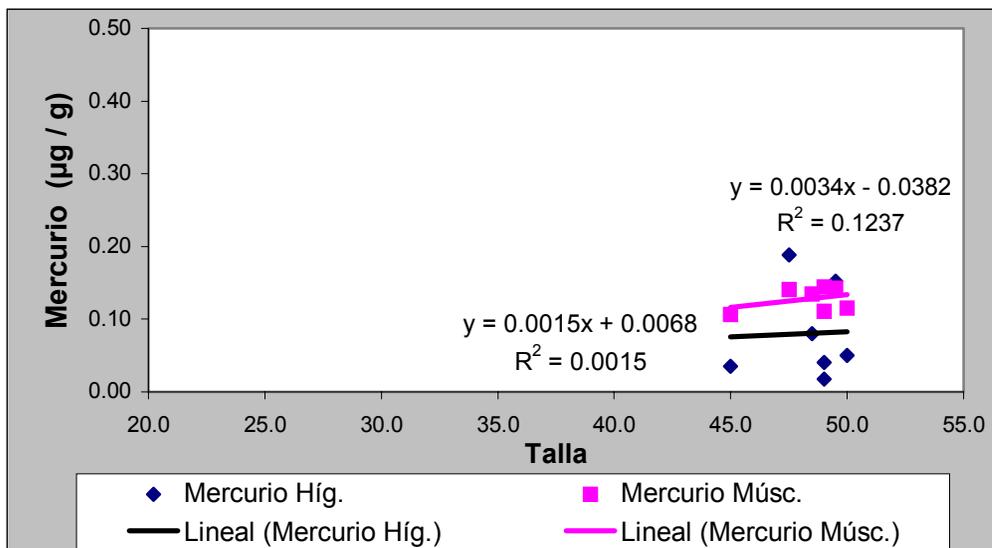


Figura 55 : distribución de mercurio total en músculo e hígado del gatuzo *Mustelus schmitti* del estuario de Bahía Blanca.



**Figura 56 : distribución de mercurio total en músculo e hígado de la pescadilla *Cynoscion striatus* del estuario de Bahía Blanca.**