



**Intendencia de Montevideo**  
Desarrollo Ambiental  
SERVICIO LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL

# **Estudio de la calidad de agua, sedimento y biota del Río de la Plata**

## **Evaluación de línea de base**

**Informe Anual - 2011**



**Servicio Laboratorio de Calidad Ambiental  
Departamento de Desarrollo Ambiental  
Intendencia de Montevideo**



**Intendencia de Montevideo**  
Desarrollo Ambiental  
SERVICIO LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL

## **AUTORIDADES GOBIERNO DEPARTAMENTAL**

Sra. Intendente  
Ana Olivera

Sr. Secretario General  
Ricardo Prato

Sr. Director General del Departamento de Desarrollo Ambiental  
Juan Canessa

Sr. Director de la División Saneamiento  
Néstor Campal

Sr. Coordinador Técnico del Departamento de Desarrollo Ambiental  
Jorge Alsina

Sra. Directora del Servicio Laboratorio de Calidad Ambiental  
Gabriella Feola

### **Autores del Informe / Colaboradores:**

Gabriella Feola

Beatriz Brena

Cristina Cacho

Adriana Rodríguez

Daniel Sienna

Gustavo Saona

Julio Espínola

Bruno D'Alessandro

Noé Espinosa

Cabe destacar la valiosa colaboración de los pasantes, estudiantes de las Facultades de Química, Ingeniería y Ciencias, en la realización de los muestreos de agua y los análisis correspondientes.

Laboratorio de Calidad Ambiental  
Camino al Faro s/n, Punta Carretas  
CP 11300 - Montevideo Uruguay  
Telefax: 598 2 7112406 al 08  
[www.montevideo.gub.uy](http://www.montevideo.gub.uy)



<b>1. INDICE</b>	
1. INDICE .....	2
2. RESUMEN EJECUTIVO.....	4
Calidad de aguas .....	5
Sedimentos .....	8
3. INTRODUCCION.....	10
3.1 Saneamiento en Montevideo - Plan Director de Saneamiento.....	10
3.2 Características del Río de la Plata .....	15
4. OBJETIVOS Y ALCANCE.....	16
5. METODOLOGÍA.....	17
5.1 Frecuencia.....	17
5.2 Definición de zonas de monitoreo .....	18
5.3 Definición de la tipología de estaciones (localización general) .....	18
5.4 Número y localización de estaciones de muestreo .....	18
5.5 Muestreos de Agua y Sedimentos .....	21
5.5.1 <i>Determinaciones y análisis</i> .....	21
5.5.2 <i>Metodología de muestreo de columna de agua</i> .....	23
5.5.3 <i>Metodología de muestreo de sedimento</i> .....	23
5.6 Metodología Analítica .....	24
5.6.1 <i>Columna de agua</i> .....	24
5.6.2 <i>Sedimentos</i> .....	25
5.7 Análisis Estadístico .....	25
6. RESULTADOS .....	27
6.1 Parámetros fisicoquímicos en las diferentes zonas de estudio.....	27
6.1.1 <i>Salinidad</i> .....	27
6.1.2 <i>Turbiedad</i> .....	29
6.1.3 <i>Oxígeno disuelto y pH</i> .....	32
6.1.4 <i>Temperatura</i> .....	35
6.2 Determinaciones microbiológicas.....	37
6.2.1 <i>Coliformes fecales</i> .....	37
6.2.2 <i>Enterococos</i> .....	42
6.3 Estudio de Nutrientes y Clorofila a.....	43
6.3.1 <i>Nitrógeno total y Fósforo total</i> .....	46



6.3.2	<i>Estudio comparativo de nutrientes en las estaciones del Emisario Punta Carretas, proyectado Punta Yeguas y Bahía de Montevideo.....</i>	<i>53</i>
6.3.3	<i>Resultados de clorofila a para las diversas estaciones.....</i>	<i>54</i>
6.3.4	<i>Comparación de Nutrientes y Clorofila entre líneas .....</i>	<i>57</i>
6.3.5	<i>Floraciones de cianobacterias.....</i>	<i>60</i>
6.4	<b>Metales Plomo (Pb) y Cromo (Cr) en sedimentos.....</b>	<b>65</b>
6.4.1	<i>Estaciones en la Bahía de Montevideo .....</i>	<i>66</i>
6.4.2	<i>Estaciones Cercanas (Z).....</i>	<i>70</i>
6.4.3	<i>Estaciones de influencia de descarga de emisarios.....</i>	<i>72</i>
6.4.4	<i>Estaciones lejanas (L).....</i>	<i>74</i>
6.5	<b>Bioensayos en agua y sedimentos.....</b>	<b>77</b>
6.5.1	<i>Resultados de bioensayos en muestras de agua.....</i>	<i>78</i>
6.5.2	<i>Resultados de bioensayos en muestras de sedimentos .....</i>	<i>78</i>
7.	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>79</b>
	Calidad de Agua (en superficie y profundidad).....	79
	Sedimentos .....	81
8.	<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>83</b>
9.	<b>ANEXOS .....</b>	<b>86</b>
	ANEXO I - COORDENADAS Y UBICACIÓN DE PUNTOS DE MONITOREO .....	87
	ANEXO II - PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS – CORRELACIONES CON MICROCISTINAS.....	92
	ANEXO III - PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS .....	107
	ANEXO IV – NUTRIENTES, CLOROFILA-a, MICROCISTINAS.....	118
	ANEXO V – BIOENSAYOS EN AGUA Y SEDIMENTO .....	125



## 2. RESUMEN EJECUTIVO

El “Programa de monitoreo de calidad de agua y biota del Río de la Plata” se incluye dentro del Plan de Gestión Ambiental y Social de las obras previstas en el Plan de Saneamiento, Etapa IV, de la Intendencia de Montevideo. Comprende entre otras actividades, la construcción de un emisario subacuático, con el objeto de dar disposición final a los efluentes líquidos de la zona oeste de Montevideo. El monitoreo de línea de base del Río de la Plata se realiza previo a las obras y se prevé un seguimiento de los parámetros clave durante la etapa de construcción y operación del emisario, a efectos de verificar que no afecte los usos ecosistémicos del cuerpo receptor.

En esta primer etapa, se monitorean datos biológicos y fisicoquímicos en sedimento y columna de agua, que permitan evaluar la situación inicial de las variables que afectan la calidad de las aguas y de la biota acuática del Río de la Plata a lo largo de toda la costa de Montevideo y, en particular, en la zona de influencia de la futura descarga del emisario proyectado.

El estudio de línea de base se inició en julio del año 2007 por el Servicio Laboratorio de Calidad Ambiental; posteriormente a través de un convenio firmado en el año 2008, con la Facultad de Ciencias (Sección Oceanografía y Ecología Marina), Universidad de la República se amplió el espectro de parámetros a monitorear y los puntos de muestreo. Se cuenta con la colaboración de la Armada Nacional (Prefecturas del Puerto de Montevideo y de Trouville) a través de sus embarcaciones de búsqueda y rescate y de embarcaciones privadas para la realización de los muestreos.

En el mes de julio de 2007 se realizó un primer monitoreo piloto y desde el segundo muestreo realizado en noviembre del mismo año hasta diciembre de 2011, se han realizado en total 22 campañas de muestreo de aguas y 9 campañas de sedimentos.

En este informe se presentan los resultados del análisis de las primeras 20 campañas de muestreo de agua y 9 campañas de sedimentos realizados por el Servicio Laboratorio de Calidad Ambiental.

La zona de estudio comprende desde la desembocadura del Río Santa Lucía frente al balneario Playa Pascual en el Departamento de San José hasta el Arroyo Carrasco en lo que respecta al muestreo de agua, y hasta el Arroyo Pando en el relevamiento de sedimentos.

Complementan este informe, los siguientes documentos del Servicio Laboratorio de Calidad Ambiental publicados en el sitio web de la Intendencia de Montevideo en las siguientes direcciones:

“Playas: Evaluación de la calidad de agua en la costa (2010-2011)”.

<http://www.montevideo.gub.uy/ciudadania/desarrollo-ambiental/playas>

“Cursos de agua: Programa de Monitoreo (2010)”.

<http://www.montevideo.gub.uy/ciudadania/desarrollo-ambiental/cursos-de-agua>

“Gestión Ambiental de los Cursos de Agua de Montevideo – Julio 2009”:

<http://www.montevideo.gub.uy/ciudadania/desarrollo-ambiental/cursos-de-agua>



## Calidad de aguas

El Río de la Plata, segunda cuenca más grande de Sudamérica, puede ser definido como un río mareal de planicie costera con una plataforma semi-cerrada en la boca. El caudal anual medio de entrada es de  $25.000 \text{ m}^3 \text{ segundo}^{-1}$ , con un máximo en junio y un mínimo en enero.

Los resultados de este trabajo muestran que es posible distinguir sub-zonas dentro de la zona de estudio (desde el Río Santa Lucía al Arroyo Carrasco) que presentan diferencias estadísticamente significativas para varios de los parámetros estudiados.

La sub-zona Oeste contempla los puntos de muestreo al Oeste de Punta Yeguas y la sub-zona Este, los puntos de muestreo al Este de Punta Carretas. Las estaciones en la Bahía de Montevideo así como la zona del emisario subacuático en Punta Carretas y del proyectado emisario en Punta Yeguas se evaluaron separadamente.

### *Parámetros fisicoquímicos y biológicos*

La salinidad en todas las líneas (playas, Z y L) presenta una tendencia creciente en la dirección Oeste-Este tanto en superficie como en profundidad.

En los resultados de turbiedad aparece una marcada diferencia entre sub-zonas, entre superficie y profundidad y en verano respecto al resto de las estaciones de muestreo. Estas diferencias siguen un patrón espacial diferente al de la salinidad. En las playas del Oeste se observaron valores menores de turbiedad que en la zona Este, en tanto, en la zona a 2000 m de la costa (línea L), se invierte esta relación.

En la zona Oeste se encontraron aguas con mayor turbiedad (en la línea a 2000 m), menor salinidad y menores niveles de clorofila que en la zona Este. Por otra parte, las concentraciones medias de fósforo total presentan valores superiores a la normativa vigente, siendo mayores en el Oeste, existiendo una fuerte correlación entre los nutrientes y la turbiedad.

Con relación al gradiente de clorofila creciente en dirección Oeste - Este, no se encontró correlación significativa con ningún parámetro fisicoquímico ni microbiológico. A pesar de esto, se observa que la mayor concentración de clorofila en las estaciones a 2000 m en la zona Este se corresponde con la tendencia a menor turbiedad. Es de destacar que la menor turbiedad en el Este determina una mayor disponibilidad de luz para el desarrollo de fitoplancton y por lo tanto podría ser el factor determinante del incremento en el indicador clorofila *a*, en un sistema donde los nutrientes no son limitantes.

En todas las estaciones de monitoreo de la zona de estudio con excepción de la estación B1 en la Bahía (desembocadura del Arroyo Miguelete), se encontraron valores promedio de oxígeno disuelto que cumplen con la normativa (Decreto 253/79 para cursos Clase 3 (mínimo 5 mg/L)).

En la zona del emisario proyectado de Punta Yeguas se encontró menor salinidad, mayor turbiedad, mayor concentración de fósforo total y nitrógeno total, así como menor nivel de clorofila en comparación con la zona del emisario de Punta Carretas. Estas comparaciones presentaron un alto nivel de significación estadística. La menor salinidad y mayor turbiedad constituyen condiciones para una menor tasa de decaimiento bacteriano, lo que debe tomarse en cuenta para el diseño del nuevo emisario: ([http://www.montevideo.gub.uy/sites/default/files/articulo/2010-2011\\_evaluacion\\_de\\_la\\_calidad\\_de\\_agua\\_en\\_la\\_costa-1.pdf](http://www.montevideo.gub.uy/sites/default/files/articulo/2010-2011_evaluacion_de_la_calidad_de_agua_en_la_costa-1.pdf)).





En cuanto a las floraciones de cianobacterias, se ha reportado anteriormente que su frecuencia está vinculada con las condiciones hidrológicas e hidrodinámicas en la cuenca, en particular con el flujo a través del Río Uruguay. Este fenómeno tiene gran relevancia en la zona de estudio, habiendo sido muy importante su incidencia durante la temporada estival 2009-2010, con espumas cianobacterianas de alta toxicidad. En tanto, durante la temporada estival 2010-2011 hubo una baja incidencia de este fenómeno, no registrándose acumulaciones de cianobacterias.

#### *Indicadores de contaminación fecal*

La Bahía de Montevideo es la zona ambientalmente más impactada de toda la costa. Los valores de coliformes fecales superan la normativa en todos los puntos y su media geométrica en los puntos B1 y B2 (frente a la Central Batlle), es hasta dos órdenes de magnitud superior al límite de Clase 3, del Decreto 253/79 y modificativos posteriores, correspondiente a Aguas destinadas a la preservación de los peces en general y de otros integrantes de la flora y fauna hídrica. La estación B1 es el punto de mayor contaminación, presentando a su vez, valores promedio de oxígeno disuelto por debajo del límite de la normativa así como valores puntuales de plomo y cromo en agua, superiores a la normativa nacional vigente.

En cuanto a los coliformes fecales en agua de playas, a 200 m y a 2000 m, se observa que las características de cada punto estarían influenciadas en gran medida por el comportamiento de la costa y los aportes que recibe, dentro de los que se destacan la Bahía, el emisario de Punta Carretas y arroyos urbanos. Las medias geométricas (MG) de coliformes fecales registradas en las muestras en playas, en general, cumplen con la normativa vigente (que establece un límite de 1000 ufc/100mL), con algunas excedencias en los valores puntuales. En los puntos de muestreo a 200 m (línea Z), así como a 2000 m (línea L), no se supera el valor límite de la normativa para MG de coliformes fecales. En las estaciones próximas a la Bahía de Montevideo se observan excedencias importantes en los valores puntuales (estaciones Z8, Z9, Z10 y L3). Los menores valores de MG de coliformes fecales de toda la zona de estudio, tanto a 200 como a 2000 m de la costa, se encuentran en Punta Yeguas y al oeste de la misma, así como al este de playa Verde.

En todos los puntos de la zona del emisario en Punta Carretas se encontraron valores de MG por debajo de 1000 ufc/100mL, con excepción del punto de muestreo correspondiente a la pérdida a 1500 m. Los valores puntuales de todas las estaciones del emisario presentaron grandes variaciones y en algunos casos alcanzaron valores puntuales del orden de  $10^4$  ufc/100mL. El valor máximo fue de 590.000 ufc/100 mL, encontrándose en el punto de muestreo asociado a la referida pérdida.

En todos los puntos se observa una tendencia de las muestras extraídas en profundidad a presentar valores mayores de coliformes fecales que las muestras de superficie, lo que puede interpretarse en función de procesos de sedimentación y al efecto bactericida de la radiación solar.

Los resultados observados de enterococos siguen las mismas tendencias de los coliformes fecales. Debido al bajo número de muestras disponible hasta el momento y a la alta dispersión de los resultados, no se puede establecer aún con precisión el valor de percentil 95, indicador propuesto por la Organización Mundial de la Salud para aguas recreacionales, por su buena asociación con enfermedades gastrointestinales por uso recreativo.

#### *Nutrientes y clorofila*



En todas las estaciones estudiadas se encontraron valores de fósforo total elevados, en concordancia con los antecedentes del Río de la Plata para este parámetro. Respecto a las playas, para nitrógeno total se observa un gradiente de concentraciones decreciente de Oeste a Este, sin embargo, para fósforo total hay una variabilidad muy alta, posiblemente debido a descargas puntuales de saneamiento urbano en la zona costera. Para ambos nutrientes se verifica un comportamiento estacional, con mayores concentraciones en la época estival. En cuanto a la correlación de nitrógeno total y fósforo total con otros parámetros fisicoquímicos, solamente se registró una correlación positiva con la turbidez, siendo mayor en el caso del fósforo. Esta alta correlación  $r_{\text{Spearman}} = 0.72$  indicaría que existe un aporte relevante al valor de fósforo total por las formas particuladas del mismo. Los valores de concentración de fósforo total exceden en todos los casos la normativa nacional vigente (máx. 0.025 mg/L) para Cursos de agua Clase 3.

En la línea costera a 200 m, se puede observar también para ambos nutrientes un gradiente de concentración decreciente desde Z13 (Punta Espinillo) a Z10 (Punta Lobos). Sin embargo, a partir de Z6 (frente a playa del Gas) hacia el Este hasta Zmalv (frente a playa Malvín), la tendencia para ambos nutrientes se vuelve creciente. Por lo cual no se puede establecer un patrón espacial único en esta línea. En cambio, se pudo confirmar la estacionalidad, siendo mayores las concentraciones de verano que las de invierno.

Con respecto a las líneas lejanas a 2000 metros (L), para ambos nutrientes se observa la tendencia de concentración decreciente de Oeste a Este desde el punto L8, frente a la Playa Pascual en la desembocadura del Río Santa Lucía, hasta el punto L2b (frente a la calle Paraguay), luego no se observa una tendencia clara. Este aumento de concentración de nutrientes en la zona Oeste podría atribuirse a varios factores tales como los aportes del propio Santa Lucía en su cuenca baja, los nutrientes adsorbidos en las partículas floculadas del frente de turbidez, a fuentes difusas tanto urbanas como agrícolas y aportes de la carga interna por resuspensión del sedimento.

Para clorofila *a* se registra un patrón de concentraciones inverso al observado en nutrientes, siendo creciente de Oeste a Este (en las estaciones Z y L), atribuyendo este comportamiento posiblemente al alejamiento del frente de turbidez y una mayor disponibilidad de luz solar que favorece la producción primaria.

Comparando los puntos centrales de los emisarios Punta Carretas y el proyectado en Punta Yeguas, se observa la tendencia de mayores concentraciones de nutrientes en el Oeste que en el Este, tal como se ha mencionado para las diferentes transectas.

El comportamiento de la Bahía de Montevideo, con referencia a nutrientes y clorofila, puede afirmarse que presenta las concentraciones mayores de toda el área de estudio, registrándose los valores máximos en el punto B1 en la desembocadura del Arroyo Miguelete. Las menores concentraciones se registraron en los puntos de muestreo B3 y B4 más externos y con mayor influencia estuarina. Esta elevada concentración de nutrientes responde a varios efectos sinérgicos que ocurren en este microsistema, desde su patrón de circulación, los aportes con altas cargas de materia orgánica y nutrientes así como los resultados de la intensa actividad industrial y portuaria que allí se registran.

Los valores promedio de clorofila en todas las estaciones se encuentran dentro de la categoría de "Aceptable" según la USEPA (2008) para la evaluación de estado trófico de aguas costeras. Sin embargo, se observaron numerosos valores puntuales por encima de 20  $\mu\text{g/L}$ , límite para la categoría "Pobre" según la mencionada clasificación. En particular, los





máximos valores puntuales de clorofila se encontraron en la temporada estival 2009 -2010, período en que las floraciones de cianobacterias se presentaron con muy alta frecuencia. En los períodos estivales de todo el período evaluado (2007-2011) se aprecia claramente una mayor tendencia a presentar valores de clorofila por encima de 20 µg/L, encontrándose un 8.3% de excedencia en las muestras analizadas, en comparación con el 1.8% en el período no estival.

En las playas del oeste se pudo determinar una relación negativa entre microcistinas y salinidad con un ( $r_{\text{Spearman}} = -0,6429$ ;  $p = 0,0329$ ). Si bien por el momento se dispone de un bajo número de muestras, este resultado estaría indicando que la presencia de microcistinas en la costa de Montevideo se asocia a la presencia de agua dulce, la cual está directamente relacionada con la descarga del Río Uruguay.

No se encontró correlación entre la concentración de microcistinas y la clorofila probablemente debido a que las muestras han sido siempre tomadas en situaciones que no coincidieron con la presencia de muy altas concentraciones de cianobacterias (espuma cianobacteriana). En algunos casos los muestreos han coincidido con la presencia de colonias de cianobacterias dispersas (en bajas concentraciones). Los valores elevados de clorofila pueden deberse a la presencia de diferentes organismos del fitoplancton que poseen clorofila *a* como pigmento fotosintético.

#### *Bioensayos*

A partir del año 2010 se intensificaron los análisis de toxicidad con *Vibrio fisheri*, analizándose todos los puntos de muestreo en las campañas hasta octubre de 2011.

Se detectaron valores de toxicidad significativos en el punto B1 de la Bahía, en algunos puntos cercanos (de la línea Z), y en ciertos puntos del anillo concéntrico del Emisario Punta Carretas y del de Punta Yeguas, así como los puntos lejanos L2 y L3.

#### **Sedimentos**

Los sedimentos constituyen una matriz de acumulación de contaminantes, por lo que es fundamental su estudio complementando la evaluación de la calidad del agua. En este informe se reportan los estudios de metales (Plomo y Cromo) y de toxicidad realizados en el Servicio Laboratorio de Calidad Ambiental. En Convenio con la Facultad de Ciencias (Sección Oceanografía y Ecología Marina) se realizan, además, estudios de biota en sedimentos (Monitoreo de Biota y Sedimento de la Zona Costera de Montevideo, 2011), cuyos resultados serán incluidos en el próximo informe.

En coincidencia con los resultados de calidad de agua, los sedimentos de la Bahía de Montevideo presentan los mayores niveles de contaminación de metales, comparados con las restantes zonas estudiadas. Los sedimentos de las estaciones de la bahía B1 (desembocadura del arroyo Miguelete), B2 y B5 (frente al Arroyo Pantanoso) son las más afectadas presentando valores de concentración de cromo y plomo superiores a los niveles de efecto probable sobre la biota.

En todas las estaciones a 200 m con excepción de Z5 (frente a playa Ramírez), se encontraron valores de cromo y plomo por debajo de los valores guía. En el caso de Z5 y en el punto de muestreo correspondiente a los difusores (Emis PC), los valores de plomo son superiores al valor guía aunque por debajo del valor de efecto probable sobre la biota. En todas las estaciones lejanas se presentaron valores de cromo y plomo menores a los valores



guía de referencia.

En este trabajo se realizaron dos ensayos biológicos de toxicidad: ensayo de elutriado de sedimentos con *Vibrio fischeri* y el ensayo de sedimento entero con *Hyalella curvispina*. A los efectos de este informe, el sedimento de una estación se considera tóxico si en el total de muestras procesadas de esa estación se obtuvieron resultados de toxicidad en forma conjunta para los ensayos, de *Hyalella curvispina* y *Vibrio fischeri*.

Los resultados confirman una fuerte toxicidad para ambos ensayos en todas las estaciones de la Bahía y en la mayoría de las estaciones en la zona del emisor de Punta Carretas. No se confirma toxicidad con ambos ensayos para la zona del futuro emisor de Punta Yeguas

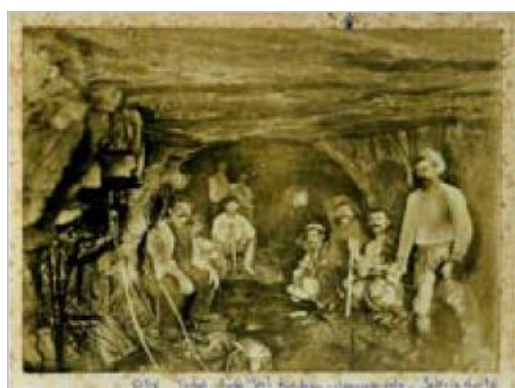
Las estaciones de la línea Z no confirman toxicidad con ambos ensayos con la excepción de la estación Zzoppa. Las estaciones lejanas L2; L4; L6; L7; L8; L9; L12 presentan toxicidad para ambos ensayos.



### 3. INTRODUCCION

#### 3.1 Saneamiento en Montevideo - Plan Director de Saneamiento

Montevideo fue la primera ciudad de Sudamérica dotada de red de saneamiento (cloacas). El origen de este servicio público fue el contrato suscrito el 31 de octubre de 1854 entre el Gobierno Nacional y la "Empresa de Caños Maestros" -propiedad del Sr. Juan J. de Arteaga-, y la "Ley sobre Construcción de Caños Subterráneos" de 25 de junio de 1856. En las Figuras 1.1 y 1.2 se muestran imágenes del comienzo de las construcciones.



**Figura 3.1.** Galería Norte del túnel de la Avda. Gral. Rondeau. [1906-1907].



**Figura 3.2.** Desembocadura del Colector. [1903-1906].

En el año 1913 el estudio, construcción y conservación del saneamiento de Montevideo, pasó a la Intendencia Municipal (entonces Junta Económico Administrativa), quien adquirió todos los derechos sobre la red de colectores y sus conexiones por Ley Nacional de 16 de mayo de 1916. En el año 1920 el Ing. Carlos María Maggiolo formuló el Plan General de Obras para Montevideo, cuyo objetivo principal consistía en asegurar el saneamiento de la ciudad hasta el año 1950. En ese entonces la disposición final de las aguas cloacales se hacía directamente en la costa del Río de la Plata y en la Bahía de Montevideo, sin ningún tipo de tratamiento y la red de colectores funcionaba exclusivamente por gravedad sin elementos mecanizados.

El Plan no fue cumplido en su totalidad y las previsiones de crecimiento poblacional se vieron ampliamente superadas. Ambas razones motivaron la existencia de gran número de vertimientos en los cursos de agua, y con ello, su contaminación. Ya en las décadas de 1930 y 1940 se comenzó a detectar síntomas de contaminación en la costa sur.

En 1972 se realizó el "Estudio de Disposición Final de las Aguas Residuales de la Ciudad de Montevideo", que constituyó un plan de carácter parcial pues su objetivo estuvo relacionado específicamente con la resolución de los problemas de contaminación de la faja costera. Su principal importancia radicó en que estableció la conveniencia de uso de emisarios subacuáticos para nuestra ciudad y fundamentalmente, en que permitió iniciar un amplio programa de obras con financiación parcial del Banco Interamericano de Desarrollo, el Plan



de Saneamiento Urbano (PSU) en sus distintas etapas: PSU I, PSU II y PSU III. En aquella época la población de Montevideo era de aproximadamente 1.300.000 habitantes, el área saneada 8576 hectáreas y la longitud total de colectores unos 1563 kilómetros.

La disposición final de las aguas cloacales se realizaba directamente en la costa del Río de la Plata, en la Bahía de Montevideo e inclusive en algunos cursos de agua urbanos, con los consiguientes problemas de contaminación, que afectaron notoriamente la calidad de las playas del departamento.

El sistema contaba con tres plantas de tratamiento y tres plantas de bombeo, en general de pequeña importancia. Las exigencias de operación del sistema continuaban siendo reducidas, a pesar de la incipiente mecanización. Desde 1992 a 1995 se elaboró el "Plan Director de Saneamiento", con el objetivo general de asegurar una mejora en la calidad de vida de la población del departamento a través de acciones específicas que permitieran:

Mejorar el servicio de saneamiento de las áreas que ya tienen el beneficio y extenderlo a aquellas que carecen del mismo, estableciendo una adecuada previsión de etapas para asegurar la sustentabilidad técnica, social, financiera y económica de las obras. Así como también, recuperar y proteger los cuerpos de agua del departamento, en función de una definición de su uso actual o futuro.

El Plan Director de Saneamiento es además de un instrumento de planificación a largo plazo (su horizonte final es el año 2035), un documento de programación detallada de las acciones a emprender en el corto y mediano plazo.

#### *Plan de Saneamiento Urbano (PSU) I: Período: 1983-1991*

Se construyen redes en zonas que inciden directamente sobre la costa del Río de la Plata, un interceptor costero, varias estaciones de bombeo, una planta de pre tratamiento y un emisario subacuático de 2320 metros en Punta Carretas (Figura 3.3).

Como resultado de la implementación de las obras, mejoró la calidad de las aguas y de las playas de la costa Este, entre el Arroyo Carrasco y Punta Carretas.

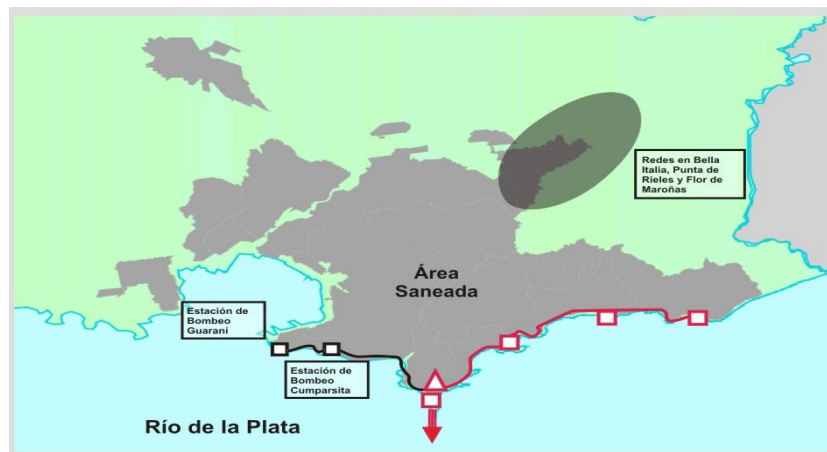


**Figura 3.3.** Plan de Saneamiento Urbano I.  
(Fuente: <http://agenda.montevideo.gub.uy/proyecto/1681>)

#### *Plan de Saneamiento Urbano (PSU) II: Período: 1992-1996*



Los objetivos del PSU II dieron continuidad al programa de descontaminación de la costa de Montevideo, extendiendo este beneficio hacia la costa oeste, entre la Bahía y la península de Punta Carretas donde se encuentra la playa Ramírez. Se complementaron los beneficios del PSU I con la eliminación de la contaminación no puntual que afectaba la balneabilidad de la playa Carrasco. Comprendió, entre otras obras fundamentales, un interceptor para la costa oeste con dos estaciones de bombeo y diversas redes de colectores en Bella Unión, Punta de Rieles y Flor de Maroñas (Figura 3.4).



**Figura 3.4.** Plan de Saneamiento Urbano II.  
(Fuente: <http://agenda.montevideo.gub.uy/proyecto/1681>)

#### *Plan de Saneamiento Urbano (PSU) III: Período: 1996 – 2006*

El PSU III da énfasis a la recuperación de los cursos de agua interiores. Se construye una importante extensión de la red de saneamiento que incluye áreas del Departamento de Canelones, obras de rehabilitación de viejas redes en la Ciudad Vieja y Centro de la ciudad y en una zona industrial del Oeste, refuerzo del sistema costero del Este con mejora de los elementos electromecánicos y del sistema informático de control y operación (Figura 3.5).

Esta etapa finalizó en noviembre de 2006 y cumplió los siguientes objetivos:

- Ampliación de las redes del sistema de saneamiento aumentando la cobertura de la población (atendiendo a 140.000 vecinos adicionales).
- Ampliación del sistema de drenaje de aguas pluviales aumentando el área drenada en 600 ha.
- Construcción y ampliación de colectores troncales, interceptores y estaciones de bombeo, y mejora de la planta de pretratamiento.
- Desarrollo de programas de control de la contaminación de origen industrial y de la calidad de las aguas de los cuerpos receptores.
- Rehabilitación de redes y colectores del sistema de saneamiento en mal estado de funcionamiento.
- Mejoramiento institucional de las unidades responsables de la calidad ambiental y del control de los efluentes industriales.



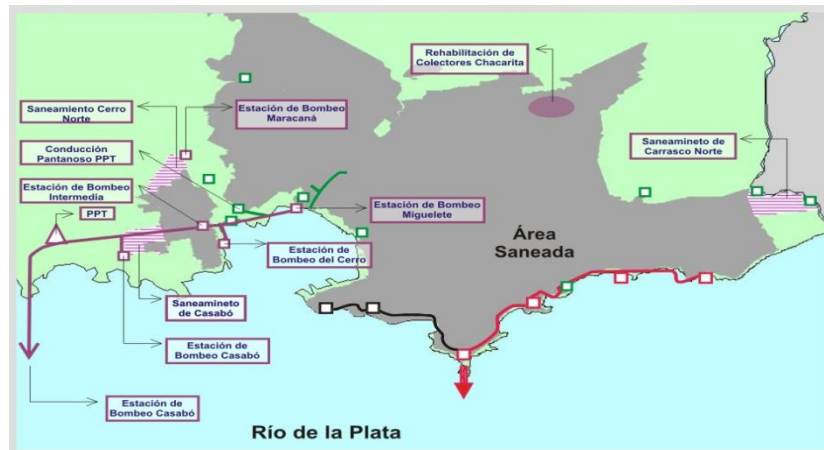




Intendencia de Montevideo

Desarrollo Ambiental

SERVICIO LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL



**Figura 3.6.** Plan de Saneamiento Urbano IV.

(Fuente: <http://agenda.montevideo.gub.uy/proyecto/1681>)

Los componentes del PSU IV son:

- construcción de redes de alcantarillado, drenaje y rehabilitación de colectores (primer paquete de obras).
- Construcción del sistema de disposición final oeste (segundo paquete de obras).
- Reasentamiento de familias para liberar áreas necesarias para las obras de saneamiento y drenaje.
- Mejora de la gestión.

(Fuente: <http://agenda.montevideo.gub.uy/proyecto/1681>).

Las obras de disposición final en el oeste abarcan la construcción de un colector principal, estaciones de bombeo intermedias, una planta de pretratamiento y un emisario subfluvial en Punta Yeguas, que determinarán una mejora sustantiva en la calidad ambiental de la Bahía de Montevideo. La detección de impactos por acción de las obras de construcción o de la operación del emisario en la zona oeste, se realizará evaluando los cambios en las propiedades físicas, químicas y biológicas de la zona del Río de la Plata en el área de influencia del mismo.

#### *Premio del Agua y Saneamiento del Banco Interamericano del Desarrollo*

En el año 2009 la División de Saneamiento de la Intendencia de Montevideo obtuvo el premio a la Gestión de Saneamiento por el Plan de Saneamiento Urbano de Montevideo. Los Premios del Agua y Saneamiento tienen por objeto reconocer a autoridades públicas y operadores de servicios de agua y saneamiento en América Latina y el Caribe que hayan implementado soluciones innovadoras y efectivas a los problemas del sector. Está orientado a reconocer buenas experiencias en tres categorías: Agua, Saneamiento y Residuos Sólidos.

<http://www.iadb.org/es/temas/agua-y-saneamiento/premio-del-agua-y-saneamiento,2377.html>



### 3.2 Características del Río de la Plata

El Río de la Plata es la segunda cuenca más grande de Sudamérica drenando un área de 3.170.00 km<sup>2</sup>, está formada por los ríos Uruguay, Paraná y Paraguay. La subcuenca del Río Uruguay tiene 1600 km de largo y un área de 370.000 km<sup>2</sup>. La dinámica del Río de la Plata es gobernada por tres forzantes externas: 1) la marea a escala horaria, 2) el viento a escala sinóptica (1-10 días), 3) el caudal fluvial a escala mensual e interanual (Nagy y Martínez 1996; Nagy *et al.* 1997). Según Nagy *et al.* (1997), el Río de la Plata puede ser definido como un río mareal de planicie costera con una plataforma semi-cerrada en la boca. El caudal anual medio de entrada es de 25.000 m<sup>3</sup>/segundo, con un máximo en Junio y un mínimo en Enero.

La estructura salina ha sido clasificada como del tipo parcialmente mezclada, condiciones de estratificación marcada durante calma meteorológica y alta descarga. La ubicación media del frente de turbidez de las aguas superficiales está ubicada en la barra del Indio (frente a Montevideo), inmediatamente río abajo del frente de salinidad, en el rango entre 1-5. Las corrientes de marea controlan, durante el tiempo no ventoso, el desarrollo y el desplazamiento horizontal y vertical de los sedimentos del fondo.

Más del 97% de la descarga del Río de la Plata es aportada por las cuencas de los ríos Paraná y Uruguay. Estos dos tributarios tienen sus ciclos ampliamente estudiados en la bibliografía ya existente, en la que se menciona que las inundaciones del Paraná ocurren generalmente hacia finales de verano y otoño, presentando un mínimo en invierno y primavera. Por otra parte, los eventos de El Niño se correlacionan muy bien con las inundaciones del Río Uruguay, mientras que los eventos de La Niña son asociados con sequías.

Estudios morfológicos de la zona del Río de la Plata identifican áreas caracterizadas como "unidades morfológicas". Una de estas unidades frente a la costa de Montevideo es el llamado "Canal Oriental", la cual se caracteriza por ser una gran depresión que se extiende en dirección Este - Oeste (López Laborde, 1997).

La relación salinidad-turbiedad es no conservativa, esto implica que a bajas salinidades, con valores de turbiedad cercanos a 5 NTU se produce el fenómeno de floculación, lo que implica un aumento de transparencia a medida que aumenta la salinidad. Nagy *et al.* (1997) describe la turbiedad del agua e identifica tres zonas relacionadas con la salinidad: turbia (valores inferiores a 5 psu), semi turbia (5 a 12 psu) y semi clara (valores superiores a 18 psu).

Basados en datos de distribución de salinidad superficiales, las aguas del Río de la Plata se extienden hacia el norte por encima de los 36° S en otoño – invierno y se retraen a los 33° S en primavera-verano (Campos *et al.*, 1999; Piola *et al.*, 2005).



#### **4. OBJETIVOS Y ALCANCE**

El programa de monitoreo del Río de la Plata se ha diseñado para dar seguimiento al comportamiento de variables físicas, químicas y bióticas, en las distintas etapas del Plan de Saneamiento IV, siendo sus objetivos:

- Aportar información técnica sobre la calidad del agua, sedimentos y biota de la región de estudio que permita definir una “línea de base”.
- Detectar variaciones en dichos parámetros, generadas por la construcción y operación del emisario Punta Yeguas.

El alcance de este informe es conocer la evolución de la calidad de las aguas del Río de la Plata en la zona costera, desde la desembocadura del Río Santa Lucía hasta la desembocadura del Aº Pando, así como de la Bahía de Montevideo, desde la zona de playas hasta una distancia de 2000 metros de la costa.



## 5. METODOLOGÍA

La coordinación y ejecución de este estudio está a cargo del Servicio Laboratorio de Calidad Ambiental (LCA) e incluye muestreos y determinaciones analíticas (en campo y en laboratorio) de diversos parámetros en columna de agua y en sedimentos. Las estaciones se ubican en playas, zona costera (a 200 y 2000 metros de la línea de costa), Bahía de Montevideo y en la zona de influencia de la descarga del actual emisario de Punta Carretas y del emisario proyectado en Punta Yeguas.

Luego de 3 años de monitoreo en la zona de estudio y en base a análisis estadísticos, en diciembre de 2010 se realizaron ajustes tendientes a su optimización, evitando la redundancia y agregando puntos de muestreo donde se consideró necesario para mejorar las comparaciones entre las diferentes zonas de monitoreo.

En base a la evaluación estadística realizada, se eliminaron 3 puntos a 200 metros (Z7, frente a calle Guaraní, Z23 frente a playa Honda y Z34 frente a playa Buceo), 4 puntos a 1500 m de la zona central de descarga del futuro emisario Punta Yeguas (E, W, N y S) y se agregó un punto a 2000 metros en la transecta de la calle Paraguay (L2B), frente al punto Z6.

A su vez, debido a la logística del muestreo y a las limitaciones de tiempo y disponibilidad de embarcaciones, se optó por no incluir los puntos L10, L11 y L12, ubicados entre el Arroyo Carrasco y el Arroyo Pando en el monitoreo de agua, manteniéndolos únicamente como puntos de muestreo de sedimentos.

En el mes de diciembre de 2008 se firmó un convenio con Facultad de Ciencias (UDELAR), a través del cual la Sección de Oceanografía y Ecología Marina, bajo la coordinación y en colaboración con el Servicio Laboratorio de Calidad Ambiental, realiza los muestreos, análisis y evaluación de resultados para las variables bióticas en columna de agua y sedimentos y de algunas variables fisicoquímicas en sedimentos.

### 5.1 Frecuencia

Desde el inicio del convenio con Facultad de Ciencias y hasta fin del año 2010 se realizaron 7 muestreos de columna de agua por año. Esta frecuencia fue cambiada a seis muestreos por año por razones de funcionamiento y logística, cuatro de ellos en alta temporada (noviembre – marzo) y dos en el resto del año (invierno – primavera).

El muestreo de sedimentos se realiza 4 veces al año (estacional). En las estaciones de muestreo costeras (Z), se extraen muestras 2 veces por año, en verano e invierno. Las muestras para metales en sedimento se extraen con una frecuencia bianual, en invierno y verano en todos los puntos de muestreo.

El análisis de *Vibrio fischeri* (Microtox®) en muestras de sedimentos se realiza en todos los puntos de muestreo en las campañas desde febrero de 2010, fecha a partir de la cual se contó con los reactivos y la infraestructura necesaria para realizar este bioensayo.

Para el bioensayo con *Hyalella curvispina*, debido a la complejidad de la técnica se realiza un análisis de toxicidad por año en cada uno de los puntos de muestreo. Solo en aquéllos puntos que se puedan considerar problemáticos en función de los resultados, se realiza más de un ensayo de toxicidad por año.



## 5.2 Definición de zonas de monitoreo

Para seleccionar las zonas de monitoreo se tuvieron en cuenta las características del Río de la Plata en la zona de futura descarga del emisario proyectado en Punta Yeguas, la descarga existente a través del emisario de Punta Carretas, el comportamiento de dicha descarga, así como los aportes de la Bahía de Montevideo y los principales cursos de agua que desembocan en la zona de estudio, siendo las cuatro zonas definidas las siguientes:

### *Zona de control*

Es la zona donde la calidad del agua del Río de la Plata y por ende, la biota acuática, no serían afectados por la pluma de ambos emisarios bajo cualquier situación hidrodinámica<sup>1</sup>. Estos puntos están situados al Oeste de la salida del emisario proyectado de Punta Yeguas y al Este de la salida del emisario de Punta Carretas.

### *Zona de posible influencia de la pluma del emisario proyectado Punta Yeguas (PY)*

Se trata de la zona más cercana a la descarga del emisario Punta Yeguas y por lo tanto donde se podría notar con más intensidad los efectos de su pluma. Está ubicada desde una transecta a la altura de Pajas Blancas hasta el borde Oeste de la Bahía de Montevideo.

### *Bahía de Montevideo*

Se trata de la zona que recibirá directamente el beneficio de la remoción de tres descargas crudas de efluentes (AS Cerro, UF Pantanoso, UF Miguelete y Centro Noreste). Estos puntos están localizados dentro de la Bahía de Montevideo.

### *Zona de influencia de la pluma del emisario de Punta Carretas (PC)*

Es la zona más cercana a la descarga del emisario Punta Carretas y por lo tanto donde se podrían notar con más intensidad los efectos de su pluma. Estos puntos se sitúan desde el borde Este de la Bahía de Montevideo hasta la transecta a la altura del arroyo Carrasco.

## 5.3 Definición de la tipología de estaciones (localización general)

Se han definido cinco tipologías de estaciones:

Estaciones en playa (EP): el monitoreo se realiza directamente desde la playa.

Estaciones costeras (EC): se localizan a 200 m de la costa.

Estaciones en zona de influencia de descarga de emisarios (EE): se localizan en el entorno de las descargas de los emisarios Punta Yeguas y Punta Carretas.

Estaciones lejanas (EL): se localizan a 2000 m de la costa.

Estaciones en la Bahía de Montevideo (EB).

## 5.4 Número y localización de estaciones de muestreo

A continuación se detalla el número de estaciones de monitoreo por tipología y sus localizaciones, las cuales se aprecian en la Figura 5.1.

<sup>1</sup>De acuerdo a lo definido en el Estudio de Impacto Ambiental realizado a solicitud de BID en el año 2006.



Estaciones en playa (EP), 9 puntos:

Punta Espinillo, Pajas Blancas, Santa Catalina, Cerro, Ramírez, Pocitos, Malvín, Ingleses, Carrasco.

Estaciones costeras (EC), 13 puntos identificados como Z:

Carrasco (Z1), Verde (Z2), Malvín (Zmal), Pocitos (Z4), Ramírez (Z5), Calle Paraguay (Z6), canal de acceso al puerto (Z8), Cerro (Z9), Punta Lobos (Z10), Dellazoppa (Z Zoppa), Santa Catalina (Z11), Pajas Blancas (Z12) y Punta Espinillo (Z13).

Estaciones en Emisarios (EE), 19 puntos:

En Punta Yeguas (PY) se dispone una sobre el eje y centro de la zona de difusores y cuatro a 1.500 m de ese punto (en cada punto cardinal PYN, PYS, PYE, PYW).

Para Punta Carretas (PC) se mantienen las estaciones en círculos concéntricos de radio 500, 1000 y 1500 metros a la zona de descarga de los difusores, así como en la pérdida (14 puntos).

Estaciones lejanas (L), 13 puntos:

Carrasco (L1), Malvín (L2), Paraguay (L2B), Cerro (L3), Dellazoppa (L4), Pajas Blancas (L5), Punta Espinillo (L6), Santa Lucía (L7), Playa Pascual (L8), A° Carrasco (L9), Shangrilá (L10), Solymar (L11), A° Pando (L12).

Estaciones en la Bahía de Montevideo (B), 5 puntos:

Desembocadura del arroyo Miguelete (B1), Central Batlle (B2), canal puerto (B3), oeste de la Isla Libertad (B4), desembocadura del arroyo Pantanoso (B5).

#### MUESTREO de AGUA y SEDIMENTO PSU IV

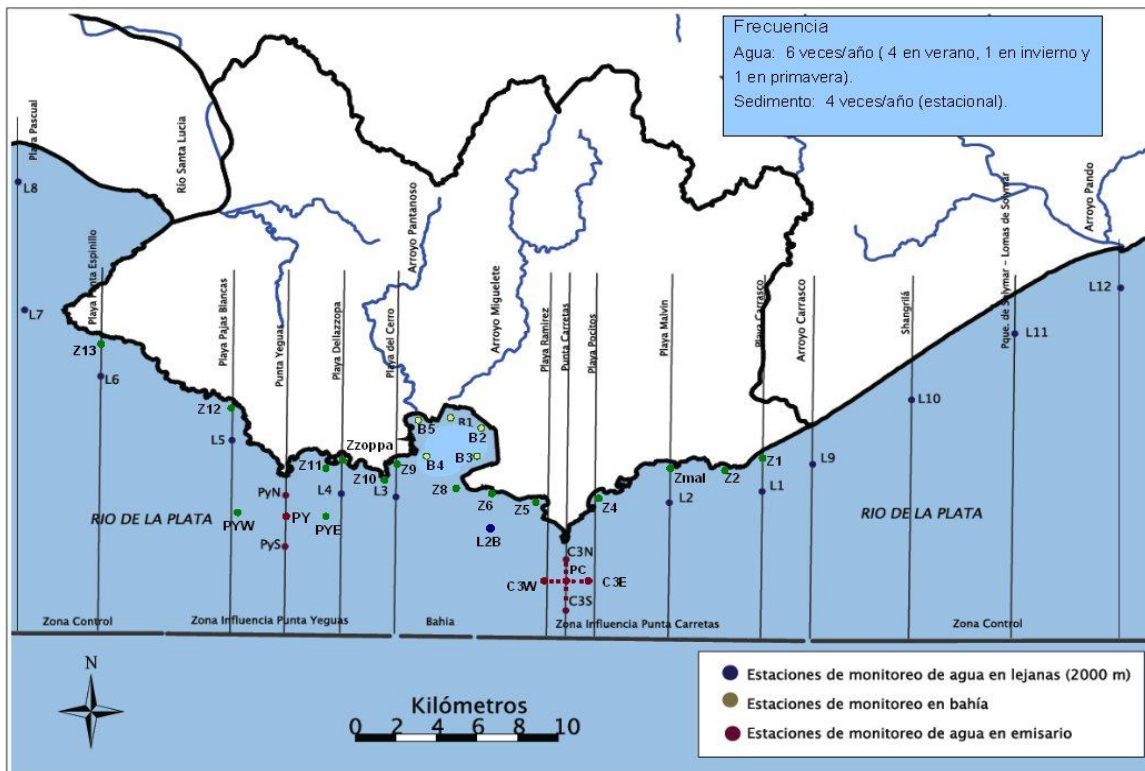


Figura 5.1. Ubicación de los puntos de muestreo en la zona de estudio.





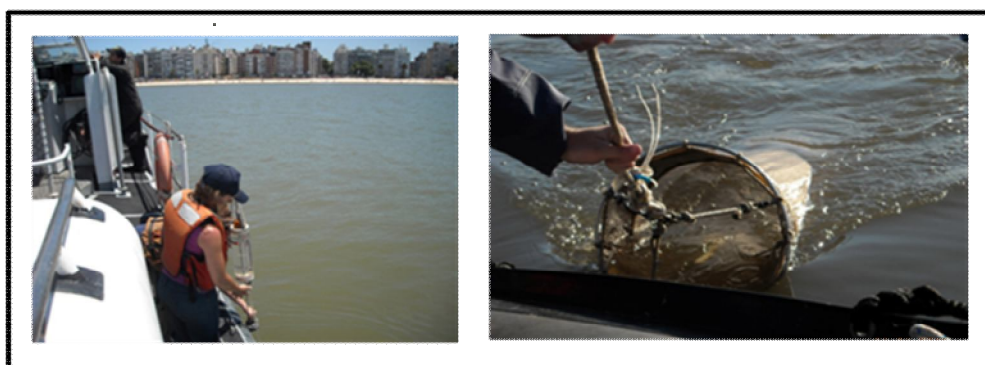
**Intendencia de Montevideo**  
Desarrollo Ambiental  
SERVICIO LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL

La lista de las estaciones de muestreo por cada zona y sus coordenadas geográficas se presenta en el **Anexo I**.



## **5.5 Muestras de Agua y Sedimentos**

Los muestreos son realizados por técnicos del Servicio Laboratorio de Calidad Ambiental de la Intendencia de Montevideo, junto con técnicos de la Sección Oceanografía y Ecología Marina de Facultad de Ciencias. Se cuenta además con la colaboración de la Armada Nacional (Prefectura del Puerto de Montevideo y Prefectura de Trouville) y/o embarcaciones particulares. Se utilizan en forma simultánea dos embarcaciones desde Puerto de Montevideo y Puerto del Buceo para cubrir toda la costa; dicha tarea insume siete horas aproximadamente.



**Figura 5.2.** Toma de muestras de agua (izquierda) y de zooplancton (derecha).

### **5.5.1 Determinaciones y análisis**

En la Tabla 5.1 se resumen los parámetros que se registran en campo así como las determinaciones realizadas en el Laboratorio de Calidad Ambiental.



**Tabla 5.1.** Estudios realizados en campo y laboratorio, se incluyen los parámetros medidos tanto en agua como en sedimento.

<b>Estudios realizados en campo y en laboratorio</b>		
	<b>Determinaciones en Agua</b>	<b>Determinaciones en Sedimento</b>
<b>Parámetros Físicoquímicos</b>	pH Oxígeno Disuelto Salinidad <sup>(4)</sup> Conductividad Turbiedad Disco Secchi Sólidos Suspendidos Totales Sólidos Suspendidos Volátiles Sulfuros <sup>(2)</sup>	Temperatura Oxígeno Disuelto Salinidad Conductividad
<b>Parámetros Microbiológicos</b>	Coliformes Fecales Enterococos	
<b>Parámetros Orgánicos</b>	DBO <sub>5</sub> (Demanda Biológica de Oxígeno) Grasas y Aceites (solo en presencia)	
<b>Nutrientes <sup>(3)</sup></b>	Nitrógeno Total Fósforo Total Amonio	
<b>Metales</b>	Plomo, Cromo	Plomo, Cromo
<b>Otros</b>	Clorofila <i>a</i> Feofitina Microcistina	
<b>Bioensayos</b>	<i>Vibrio fischeri</i> (Microtox®)	<i>Hyalella curvispina</i> <i>Vibrio fischeri</i> (Microtox®)
<b>Datos Meteorológicos</b>	Dirección e intensidad de viento	

(2) El parámetro Sulfuros se analiza solamente en Bahía en el caso que el oxígeno disuelto no supere los 5 mg/L.

(3) A partir del año 2011 se incorporaron las determinaciones de ortofosfato y nitrato en columna de agua.

(4) La salinidad se expresa en Unidades Prácticas de Salinidad.



### **5.5.2 Metodología de muestreo de columna de agua**

Se extraen muestras de agua en superficie y profundidad en todas las estaciones mencionadas en el punto 5.4 con las siguientes excepciones: en el emisario proyectado en Punta Yeguas actualmente se muestrea solamente el punto central, en función de un estudio estadístico realizado por el Servicio Laboratorio de Calidad Ambiental en el año 2010. A partir de diciembre de 2010, en las estaciones lejanas (L) no se muestrean las estaciones al este del Arroyo Carrasco (L10, L11 y L12).

Para la extracción de las muestras destinadas al análisis microbiológico se utilizan frascos previamente esterilizados en el laboratorio. El técnico realiza directamente la toma de las muestras superficiales, mientras que las de profundidad son extraídas con el equipo de muestreo de profundidad marca *Wildco*.

En el caso de las muestras para análisis fisicoquímicos se realiza la extracción con frascos de 1000 mL y las muestras de profundidad son extraídas con botella *Kemmerer*. Para realizar las determinaciones de nutrientes y metales la toma de muestra se realiza en frascos previamente tratados de acuerdo a las exigencias de las técnicas respectivas. Con el objetivo de prevenir cambios debidos a la incidencia de la luz solar, las muestras destinadas al análisis de clorofila *a* son extraídas en frascos de color negro. Los datos fisicoquímicos de campo (temperatura, conductividad, salinidad, oxígeno disuelto) son tomados con los multiparámetros marca YSI modelo 85 y HANNA modelo 9828. La dirección e intensidad de viento son medidas con anemómetro y brújula manual.

Desde el inicio del monitoreo de línea de base del Río de la Plata hasta la fecha se han realizado 20 campañas de muestreo de agua y una campaña piloto en julio de 2007.

### **5.5.3 Metodología de muestreo de sedimento**

Se extraen muestras de sedimentos en las siguientes estaciones de muestreo:

Estaciones costeras (EC): 12 puntos, todas las estaciones mencionadas en el punto 5.4 a excepción de Z8.

Estaciones en Emisarios (EE): 10 puntos, cinco en cada emisario (punto central y a 1500 m (en dirección E, O, N y S),

Estaciones lejanas (L): en todos los puntos mencionados en el punto 5.4 (13 puntos)

Estaciones de Bahía (B): en todos los puntos mencionados en el punto 5.4 (5 puntos).

Las muestras destinadas a la determinación de metales son extraídas con muestreador *Corer* en tubo de PVC de 5 cm de diámetro, y las destinadas a bioensayos con draga tipo *van Veen* y colocadas en bolsas de nylon de color oscuro.

La frecuencia de los análisis de metales en sedimentos es de dos veces por año en todos los puntos, mientras que los estudios de biota béntica se realizan cuatro veces por año para todas las estaciones a excepción de la línea Z (donde se muestrea en forma bianual). Los estudios de biota béntica se realizan en la Sección Oceanografía y Ecología Marina de la Facultad de Ciencias a través del Convenio antes mencionado.

El monitoreo de sedimentos comenzó en marzo de 2009 y hasta el presente se han realizado 9 campañas, pero es importante destacar que se realizan estudios de sedimentos de la Bahía en el Servicio Laboratorio de Calidad Ambiental desde el año 2002.



## 5.6 Metodología Analítica

### 5.6.1 Columna de agua

Clorofila a: Procedimiento espectrofotométrico de "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater" (APHA-AWWA- EF, 21<sup>st</sup> ed., 10200H).

Coliformes fecales: Procedimiento de filtración por membrana. "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater" (APHA-AWWA-WPCF, 21<sup>st</sup> ed., 9222 D).

Demanda Bioquímica de Oxígeno: "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater" (APHA-AWWA-WPCF, 21<sup>st</sup> ed., 5210 B).

Enterococos: método EPA 1600, procedimiento de filtración por membrana utilizando medio mEI.

Grasas y Aceites: Método de extracción Soxhlet. "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater" (APHA-AWWA-WPCF, 21<sup>st</sup> Ed., 5520 D).

Metales Pesados: Método espectrofotométrico de absorción atómica, electrotérmico "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater" (APHA-AWWA-WPCF, 21<sup>st</sup> ed., 3113 B)

Microcistinas: Inmunoensayo ELISA de inhibición utilizando un anticuerpo policlonal, a través de un convenio de la IMM con la Facultad de Química, Universidad de la República. (Brena B.M. *et al.*, 2006)

Nitrógeno amoniacal: "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater" (APHA-AWWA-WPCF, 21<sup>st</sup> ed., 4500-NH<sub>3</sub>-F)

Nutrientes: Nitrógeno total y fósforo total se realiza según Monteiro *et al.*, (2003) y APHA-AWWA-WPCF, 21<sup>st</sup> ed., 4500-PE, con digestión previa según Valderrama (1981).

pH: pH-metro Orion, modelo 420 A. "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater" (APHA-AWWA-WPCF, 21<sup>st</sup> ed., 4500 H<sup>+</sup> B)

Salinidad: Método 2520B Electrical Conductivity Method (APHA-AWWA- EF, 21<sup>st</sup> Ed), utilizando la escala práctica de salinidad (EPS).

Sólidos sedimentables: Método volumétrico. "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater" (APHA-AWWA-WPCF, 21<sup>st</sup> ed., 2540 F)

Sólidos Suspendidos Totales y Sólidos Suspendidos Volátiles: Método gravimétrico. "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater" (APHA-AWWA-WPCF, 21<sup>st</sup> ed., 2540).



Turbiedad: Método 2510 Conductivity (APHA-AWWA- EF, 21<sup>st</sup> ed).

*Vibrio fisheri*: ensayo de agua según la norma Environmental Canada, 1RM24.

## 5.6.2 Sedimentos

### Metales Pesados:

Preparación y extracción: las muestras de sedimentos frescos y refrigerados, que llegan al laboratorio se secan a 105 °C, se procesan en mortero y se tamizan (63 micras), previamente a su extracción y análisis. La extracción se realiza con ácido nítrico asistida con microondas según Método EPA, Procedimiento 3051 (Extracción de metales mediante microondas). Los análisis de metales se realizan según el método espectrofotométrico de absorción atómica electrotérmico "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater" (APHA-AWWA-WPCF, 21<sup>st</sup> ed., 3113 B).

### Bioensayos:

Ensayo de agua y elutriado de sedimentos con *Vibrio fisheri* según la norma Environmental Canada, 1RM24.

Ensayo de sedimento entero con *Hyaella curvispina* según las siguientes normas:

United States Environmental Protection Agency (2000). Methods for measuring the toxicity and bioaccumulation of sediment-associated contaminants with freshwater invertebrates, 2<sup>nd</sup> edition EPA/600/R-99/064, 192 pp.

Environment Canada (1997). Biological Test Method: Test for Survival and Growth in Sediment Using the Freshwater Amphipod *Hyaella azteca*. Report EPS 1/RM/33, 123pp.

ITR.PQAR: Instrucción de trabajo para el cultivo y alimentación de anfípodos.

ITR.PQAR: Instrucción de trabajo para el procesamiento estadístico de los resultados de ensayos de toxicidad de sedimentos con anfípodos del género *Hyaella*.

PEC.PQAR:14/05/2008. Procedimiento de ensayo con tóxico de referencia con anfípodos del género *Hyaella* spp.

## 5.7 Análisis Estadístico

Para la descripción de las variables cuantitativas (físicas, químicas, microbiológicas y medidas de efecto en bioensayos) se aplicó la media aritmética (MA) o geométrica (MG), la mediana (MD), el desvío estándar (DE), el mínimo (Min) y el máximo (Max).

El gráfico de cajas y líneas fue utilizado para representar la distribución, con los siguientes elementos: la mediana se destaca con una línea central engrosada, los percentiles 25 y 75 son los límites de la caja y las líneas exteriores indican el mínimo y el máximo estimado. En dichos gráficos se han suprimido los valores extremos para mejorar la observación de la distribución de los datos predominantes.

En el análisis de correlación se aplicó el coeficiente no paramétrico de Spearman (Zar, 1996).

Para la comparación de medias se utilizó el análisis de varianza (ANOVA) y fueron evaluados sus supuestos de Normalidad (test de Shapiro-Wilk) y homogeneidad de varianza (test de Levene). Se aplicó la transformación logaritmo neperiano en los casos de violación de los supuestos.

Se consideraron significativos los valores-p menores o iguales a 0,05 cuando se cumplieron





los supuestos estadísticos y 0,01 en los casos de violación de los mismos.

Con el motivo de facilitar la interpretación de los análisis que comparan las tres áreas de muestreo (playas, línea Z y línea L) se generó un agrupamiento de sitios de muestreo en tres zonas de Este a Oeste. Dicha zonación se efectuó bajo el criterio de vecindad con el área de mayor influencia de la Bahía de Montevideo y considerando como límites la ubicación de los puntos de muestreo de Punta Carretas y Punta Yeguas, quedando así definida la zona media. En forma complementaria la zona Oeste contempla los puntos de muestreo al Oeste de Punta Yeguas y la zona Este los puntos de muestreo al Este de Punta Carretas. La agrupación en zonas que se ha elaborado tiene carácter exploratorio y no pretende ser la definitiva para futuros análisis en los que con mayor información puedan generarse otras.

En la Tabla 5.2 se indica la ubicación de cada punto de muestreo dentro de las zonas generadas (playas del Oeste, playas del Medio, playas del Este, Z del Oeste, Z del Medio, Z del Este, L del Oeste, L del Medio y L del Este).

**Tabla 5.2.** Distribución de los puntos de muestreo para cada área (playas, Z y L) y según ubicación de Oeste a Este.

	<b>Oeste</b>	<b>Medio</b>	<b>Este</b>
<b>Playas</b>	Punta Espinillo, Pajas Blancas	Santa Catalina, Cerro, Ramírez	Pocitos, Buceo, Malvin, Ingleses, Carrasco
<b>Línea Z</b>	Z12 y Z13	Z5, Z6, Z7, Z8, Z9, Z10, Z ZOPPA y Z11	Z1, Z2, Z23, Z MALV, Z34 y Z4
<b>Línea L</b>	L5, L6 y L7	L3 y L4	L1, L2 y L9



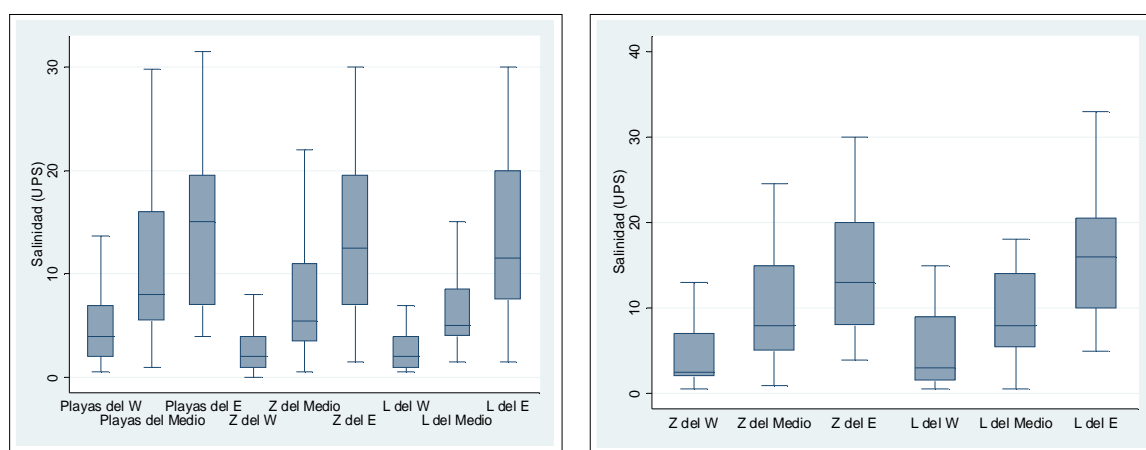
## 6. RESULTADOS

En el **Anexo II** se presentan las planillas conteniendo los resultados analíticos obtenidos hasta el momento para 20 campañas de muestreos de agua y 9 de sedimento.

### 6.1 Parámetros fisicoquímicos en las diferentes zonas de estudio

#### 6.1.1 Salinidad

Los resultados de los valores de salinidad en las diferentes zonas de muestreo se presentan en el **Anexo II**. Como se muestra en las Figuras 6.1a y 6.1b, la salinidad en superficie y en profundidad en las diferentes zonas de muestreo tanto en playas como en la línea Z (a 200 m) y línea L (a 2000 m), presenta una tendencia creciente en el eje Oeste-Este. El análisis de varianza (ANOVA) en superficie aplicado para los factores zonas de muestreo y estaciones del año (verano vs. otras estaciones) presentó diferencia significativa para ambos factores: zonas,  $p < 0,0001$  y verano vs. otras estaciones ( $p = 0,0205$ ), esta última con significación débil (Tabla 6.1). En tanto, el análisis de varianza en profundidad aplicado para los factores zonas de muestreo, superficie-profundidad y estaciones del año (verano vs. otras estaciones) en las diferentes zonas de estudio, playas, líneas Z y L, presentó significancia estadística para los tres factores: zonas de muestreo ( $p < 0,0001$ ), superficie-profundidad ( $p < 0,0001$ ) y verano-otras estaciones ( $p = 0,0271$ ), esta última con significación débil (Tabla 6.2).



**Figuras 6.1 a y 6.1 b.** Valores de salinidad (mediana y desvíos, UPS) en superficie (izquierda) y profundidad (derecha) en playas, Z (200 m) y L (2000 m) respectivamente.



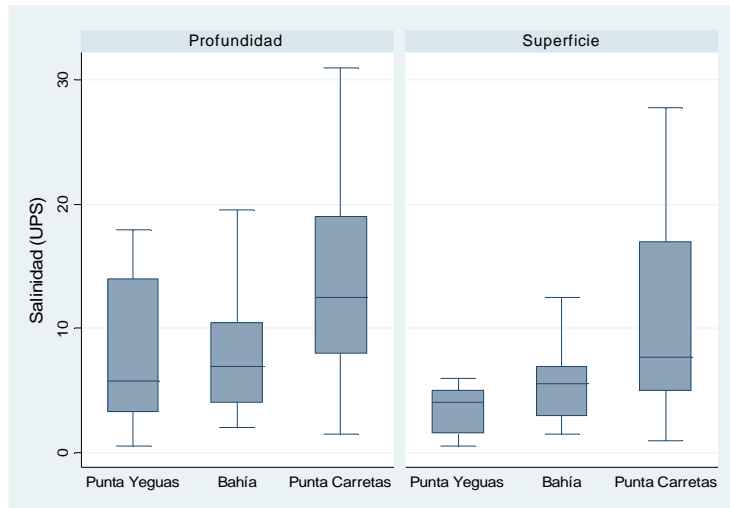
**Tabla 6.1.** Análisis de varianza (ANOVA) aplicado en las estaciones de muestreo en superficie en las distintas zonas de estudio. Se presentan los valores de p donde se encontraron diferencias significativas de salinidad en superficie.

	Playas del O	Playas del Medio	Playas del E	Z del O	Z del Medio	Z del E	L del O	L del Medio	L del E
<b>Playas del O</b>	-----	p<0,01	p<0,01	ns	ns	p<0,01	ns	ns	p<0,01
<b>Playas del Medio</b>		-----	ns	p<0,01	ns	ns	p<0,01	ns	ns
<b>Playas del E</b>			-----	p<0,01	p<0,01	ns	p<0,01	p<0,01	ns
<b>Z del O</b>				-----	p<0,01	p<0,01	ns	p<0,01	p<0,01
<b>Z del Medio</b>					-----	p<0,01	p<0,01	ns	p<0,01
<b>Z del E</b>						-----	p<0,01	p<0,01	ns
<b>L del O</b>							-----	p<0,01	p<0,01
<b>L del Medio</b>								-----	p<0,01

**Tabla 6.2.** Análisis de varianza (ANOVA) aplicado para salinidad en las estaciones de muestreo en profundidad en las distintas zonas de estudio. Se presentan los valores de p donde se encontraron diferencias significativas.

	Z del O	Z del Medio	Z del E	L del O	L del Medio	L del E
<b>Z del O</b>	-----	p<0,01	p<0,01	ns	p<0,01	p<0,01
<b>Z del Medio</b>		-----	p<0,01	p<0,01	ns	p<0,01
<b>Z del E</b>			-----	p<0,01	p<0,01	ns
<b>L del O</b>				-----	p<0,01	p<0,01
<b>L del Medio</b>					-----	p<0,01

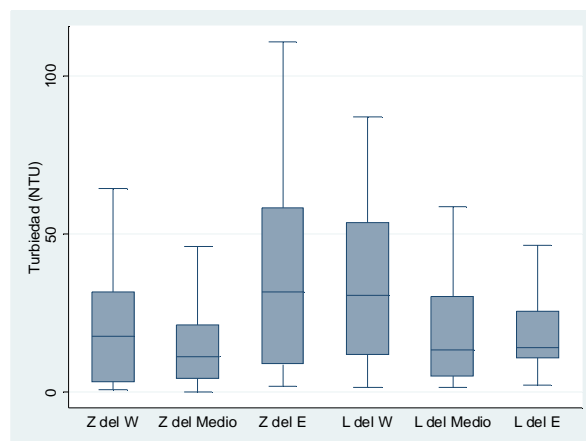
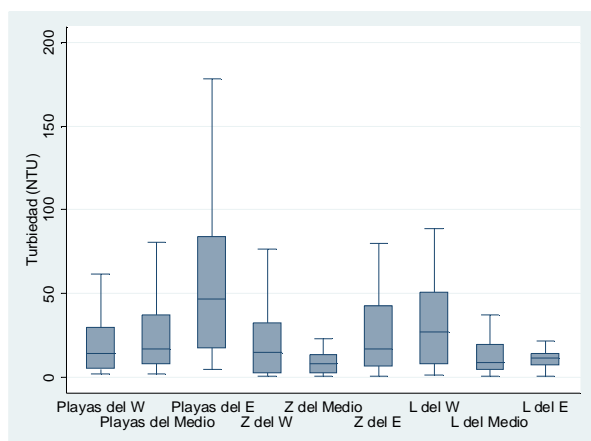
En la Figura 6.2 se muestra el gráfico de cajas para la salinidad en las estaciones de la zona del emisario de Punta Carretas, del proyectado en Punta Yeguas y de la Bahía de Montevideo en superficie y profundidad. El resultado del análisis de varianza aplicado para analizar las distintas zonas fue altamente significativo ( $p < 0,0001$ ), así como el análisis de superficie vs profundidad ( $p=0.0001$ ), mientras que el estudio verano vs otras estaciones resultó de significación débil ( $p=0.0231$ ).



**Figura 6.2.** Valores de salinidad (mediana y desvíos, UPS) en profundidad (izquierda) y superficie (derecha) en Punta Yeguas, Bahía y Punta Carretas respectivamente.

### 6.1.2 Turbiedad

Los resultados de los valores de turbiedad en las diferentes zonas de muestreo se presentan en el **Anexo II**. En las Figuras 6.3 a y 6.3 b se grafican la turbiedad en superficie y en profundidad en las diferentes zonas de muestreo, playas, líneas Z (a 200 m) y L (a 2000 m). Aparece una marcada diferencia entre zonas, entre superficie y profundidad y entre verano vs el resto de las estaciones de muestreo. Como se muestra en las Figuras 6.3 a y 6.3 b, estas diferencias siguen un patrón espacial diferente del de salinidad. En las playas la turbiedad presentó valores similares en el Oeste y en la zona del medio (valores entre 21 y 25 NTU), mientras que las playas de la zona Este presentaron valores mayores (con media de 55 NTU) (Tabla 6.3). En la línea Z (a 200 m de la costa) el menor valor de turbiedad se observó en el medio (media de 11 NTU), mientras que las zonas Oeste y Este presentaron valores medios de aproximadamente 20 NTU. En tanto, en la zona a 2000m de la costa (línea L), los valores de turbiedad son mayores en el Oeste (35.6 NTU) que en el Este (23.9 NTU), mientras que en la zona del medio los valores de turbiedad son los menores (22.1 NTU). El análisis de varianza (ANOVA) para turbiedad en superficie aplicado para los factores zonas de muestreo y estaciones del año (verano vs. otras estaciones) presentó diferencia significativa  $p < 0,0001$  y  $p = 0,0036$  respectivamente (Tabla 6.4). En tanto, el análisis de varianza (ANOVA) en muestras de profundidad aplicado para los factores zonas de muestreo, superficie-profundidad y estaciones del año (verano vs. otras estaciones) en los diferentes zonas de estudio, playas, Z a 200 metros y L a 2000 metros presentó significación estadística para los tres factores: zonas ( $p < 0.0001$ ), superficie-profundidad ( $p = 0.0004$ ) y verano-otras estaciones ( $p = 0.0009$ ).



**Figuras 6.3 a y 6.3 b.** Valores de turbiedad (mediana y desvíos, NTU) en superficie (izquierda) y profundidad (derecha) en playas, Z 200m y L 2000m respectivamente.

**Tabla 6.3.** Análisis de varianza (ANOVA) para turbiedad aplicado en las estaciones de muestreo en superficie en las distintas zonas de estudio. Se presentan los valores de p donde se encontraron diferencias significativas.

	Playas del O	Playas del Medio	Playas del E	Z del O	Z del Medio	Z del E	L del O	L del Medio	L del E
Playas del O	-----	ns	p<0,01	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Playas del Medio		-----	ns	ns	p<0,01	ns	ns	ns	ns
Playas del E			-----	p<0,01	p<0,01	p<0,01	ns	p<0,01	p<0,01
Z del O				-----	ns	ns	ns	ns	ns
Z del Medio					-----	ns	p<0,01	ns	ns
Z del E						-----	ns	ns	ns
L del O							-----	ns	ns
L del Medio								-----	ns

El ANOVA para turbiedad para los factores zonas, superficie-profundidad y verano-otras estaciones en línea 200m y 2000m, presentó significación estadística para los tres factores:



**Intendencia de Montevideo**  
Desarrollo Ambiental  
SERVICIO LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL

zonas  $p < 0.0001$ , superficie-profundidad  $p = 0.0004$  y verano-otras  $p = 0.0009$ .

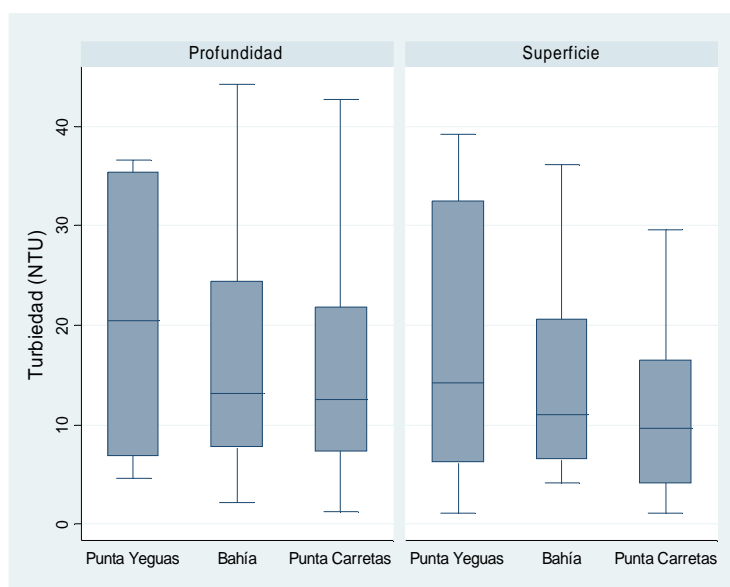




**Tabla 6.4.** Análisis de varianza (ANOVA) aplicado para turbiedad en las estaciones de muestreo en profundidad en las distintas zonas de estudio. Se presentan los valores de p donde se encontraron diferencias significativas.

	Z del O	Z del Medio	Z del E	L del O	L del Medio	L del E
Z del O	-----	ns	ns	ns	ns	ns
Z del Medio		-----	p<0,01	p<0,01	ns	ns
Z del E			-----	ns	ns	ns
L del O				-----	p<0,01	ns
L del Medio					-----	ns

En la Figura 6.4 se muestra el gráfico de cajas para la turbiedad en las estaciones de la zona del emisario de Punta Carretas, del proyectado en Punta Yeguas y de la Bahía de Montevideo en superficie y profundidad. Si bien la mediana y el percentil 75 de la turbiedad en Punta Yeguas en profundidad resultaron notoriamente mayores que los de Punta Carretas, el análisis de varianza aplicado para analizar estas zonas no demostró diferencias significativas entre las mismas, probablemente debido a la alta dispersión de los valores.



**Figura 6.4.** Valores de turbiedad (mediana y desvíos, NTU) en profundidad (izquierda) y superficie (derecha) en Punta Yeguas, Bahía y Punta Carretas respectivamente.

### 6.1.3 Oxígeno disuelto y pH

En todas las estaciones de monitoreo de la Bahía, con excepción de la estación B1 (ubicada en la desembocadura del Arroyo Miguelete) se encontraron valores promedio de oxígeno disuelto que cumplen con la normativa para cursos de agua Clase 3 (mínimo 5 mg/L). En las Tablas 6.5 a y b se presentan los valores promedio, mínimos y máximos de oxígeno disuelto en superficie y profundidad obtenidos en la Bahía y emisarios. En el caso del punto



Intendencia de Montevideo

Desarrollo Ambiental

SERVICIO LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL

de muestreo B1 el promedio de oxígeno en superficie es de 4.7 mg/L presentando un valor mínimo de 1 mg/L. Si bien los promedios en las demás estaciones de la Bahía fueron superiores a 5 mg /L, en B2, B3 y B5 presentaron valores puntuales que no cumplen con la normativa, con mínimos de 3,2, 4.5 y 4,2 mg/L respectivamente. En el emisario de Punta Carretas se encontraron valores puntuales por debajo del límite, en la estación central (Emisario PC) y en algunas estaciones a 1500 m de la zona central de la descarga. El mínimo valor (1.6 mg/L) se encontró en las muestras de profundidad en el punto central, mientras que en las estaciones a 1500 m el mínimo fue 4,6 mg/L (en la estación C3 S, al Sur de la descarga).

En el resto de la zona de estudio sólo se encontraron valores mínimos por debajo de la normativa en el punto a 200 m de playa Malvín (Z Malv) y a 2000 m de la playa del Cerro, a la salida de la Bahía (punto L3) con valores de 4.5 y 4.8 mg/L respectivamente.

Los valores de pH en toda la zona de estudio cumplen mayoritariamente con la normativa de Clase 3, encontrándose entre 6,5-8,5 (Tabla en **Anexo II**). Sin embargo, en los muestreos del 22 de diciembre de 2010 y el 28 de febrero de 2011 (Tabla 6.6), en coincidencia con la detección de floraciones de cianobacterias, se observaron valores de pH elevados con máximo de 9 en la zona entre L3 y L5 (entre la salida de la Bahía y Pajas Blancas). Este fenómeno se observó a la vez que se detectaron valores de oxígeno disuelto por encima de 100% de saturación.



**Tabla 6.5.** Valores promedio, mínimos y máximos de oxígeno disuelto en superficie (a) y en profundidad (b) (mg/L) obtenidos en las diferentes zonas de muestreo.

**a) Superficie**

Estación	N	MA	MD	DE	Mín	Máx
B1	9	4,7	3,8	3,1	1	10,9
B2	9	7	7,5	1,9	3,2	8,9
B3	9	7,3	6,7	2,1	4,5	11,7
B4	9	7,7	7,7	1,7	5,5	11,1
B5	9	7,1	7,3	1,9	4,2	10,7
C3N	10	7,9	7,8	1,5	4,8	10,6
C3E	12	7,8	7,3	1,1	6,2	9,6
C3S	12	8,5	8,1	1,5	6,9	11,7
C3W	12	8	7,8	1	7	10,2
Emis P. Carretas	13	8,2	7,9	1,1	6,8	10,6
Emis P. Yeguas	13	8,4	8,3	0,8	7,4	10

**b) Profundidad**

Estación	N	MA	MD	DE	Mín	Máx
B1	9	5,8	5,6	3	1	11,9
B2	9	7	7	2,4	3,2	11,1
B3	9	6,4	6,5	2,5	3,5	12,1
B4	9	8,1	8,2	1,8	6,1	11,9
B5	9	5,9	5,8	3	1,5	11,6
C3N	10	7,9	7,8	1,3	6,3	9,9
C3E	11	7,7	7,5	1,3	4,8	9,5
C3S	12	7,8	8,1	1,7	4,6	10,9
C3W	11	8	7,6	1,1	6,7	9,9
Emis. PC	13	7	7,6	1,3	1,6	4,2
Emis. PY	13	7,9	7,4	1,1	6,1	10,1

**N:** tamaño de la muestra

**MA:** media aritmética

**MD:** mediana

**DE:** desviación estándar

**Mín:** mínimo

**Máx:** máximo

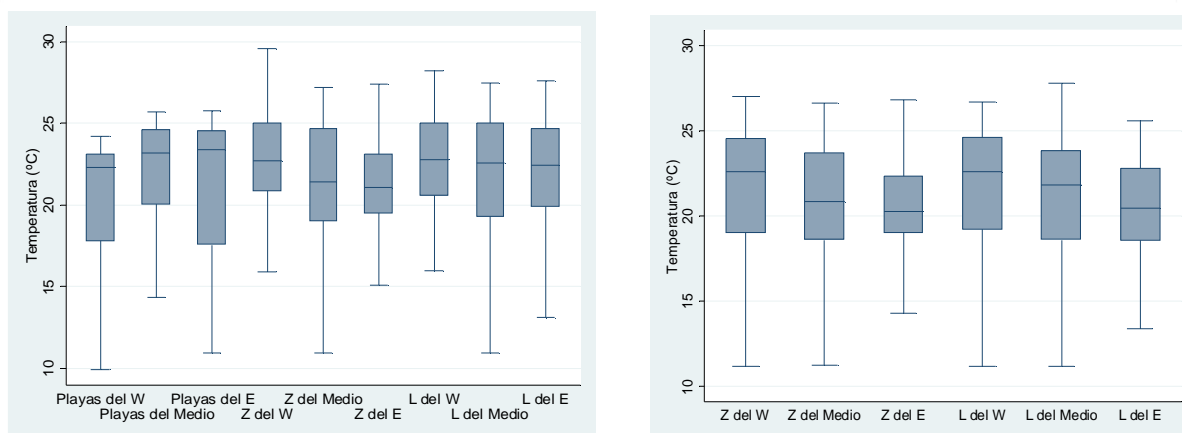


**Tabla 6.6.** Fechas y estaciones de muestreo con pH en superficie y profundidad superiores a 8.5.

Estación	pH sup	pH prof	Fecha
B1	8,7		22/12/10
Z5	8,7		22/12/10
Z6	8,7		22/12/10
Z9	8,9		22/12/10
Z10	8,8		22/12/10
Z Zoppa	8,8		22/12/10
L9	8,7	8,6	22/12/10
L2	8,7	8,6	22/12/10
L2b	8,5	8,7	28/02/11
L3	9		22/12/10
L4	9		22/12/10
L5	9		22/12/10
Z9		8,9	22/12/10

#### 6.1.4 Temperatura

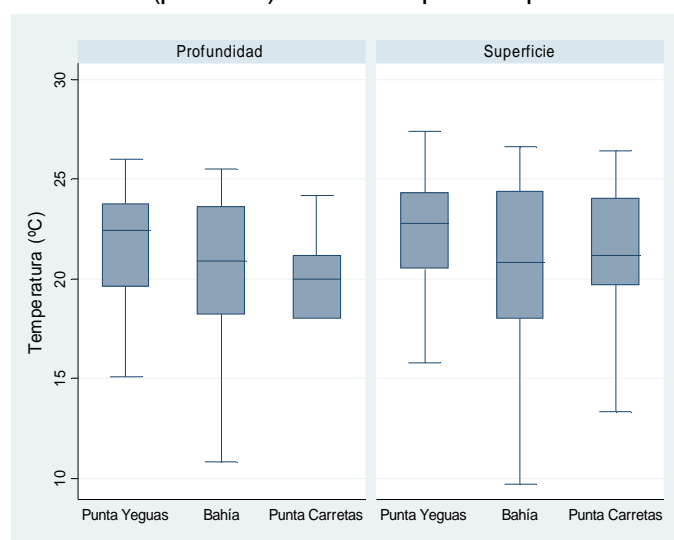
Los resultados de los valores de temperatura en las diferentes zonas de muestreo se presentan en el **Anexo II**. El análisis de varianza (ANOVA) aplicado para el factor estaciones del año (verano vs. otras estaciones) presentó diferencias altamente significativas para muestras de superficie ( $p < 0.0001$ ) y también de profundidad ( $p < 0.0001$ ), por lo que se comprobó que la temperatura está directamente relacionada con la época del año en que se realizó el muestreo. En las Figuras 6.5 a y b se representa la temperatura en superficie y en profundidad en las diferentes zonas de monitoreo, playas, Z a 200 metros y L a 2000 metros respectivamente en todos los muestreos.



**Figuras 6.5 a y b.** Valores de temperatura (°C) (mediana y desvíos) en superficie (izquierda) y profundidad (derecha) en playas, Z 200m y L 2000m respectivamente. La línea central engrosada indica la mediana y los límites de la caja corresponden a los percentiles 25 y 75. Las líneas exteriores indican el valor mínimo y máximo en cada caso.

No se encontraron diferencias significativas de temperatura entre zonas en superficie ( $p=0.039$ ), y entre zonas en profundidad ( $p=0.0103$ ). Tampoco hubo diferencias significativas entre los valores de superficie y profundidad ( $p=0.045$ ) de todas las estaciones de monitoreo, lo cual indica ausencia de estratificación térmica.

En la Figura 6.6 se muestra el gráfico de cajas para la temperatura en las estaciones de la zona del emisario de Punta Carretas, del proyectado en Punta Yeguas y de la Bahía de Montevideo en superficie y profundidad. Si bien los valores de las medianas varían espacialmente tanto en superficie como en profundidad para las tres zonas comparadas, el análisis de varianza aplicado para analizar estas zonas no demostró diferencias significativas entre las mismas ( $p=0.098$ ) ni entre superficie-profundidad ( $p=0.017$ ).



**Figura 6.6.** Valores de temperatura (mediana, desvíos, máximos y mínimos) en profundidad (izquierda) y superficie (derecha) en Punta Yeguas, Bahía y Punta Carretas respectivamente.



## 6.2 Determinaciones microbiológicas



Figura 6.7. Recuento de colonias de coliformes fecales en el Laboratorio de Microbiología.

### 6.2.1 Coliformes fecales

En el **Anexo III** se muestran los resultados estadísticos de los valores de coliformes fecales en todos los puntos estudiados: Bahía, playas, línea Z (a 200 m), línea L (a 2000 m) y emisarios (Punta Yeguas y Punta Carretas), su media geométrica, mediana percentil 75 y desvío típico para todos los muestreos realizados, en superficie y profundidad. Para facilitar la visualización de todos los resultados se presenta en las Figuras 6.8 y 6.9, la media geométrica de los valores obtenidos en las diferentes estaciones, en todos los casos, se observa una muy alta dispersión de valores entre las distintas campañas de muestreo, coincidiendo con el comportamiento variable en cuanto a parámetros fisicoquímicos e hidrodinámicos del Río de la Plata.

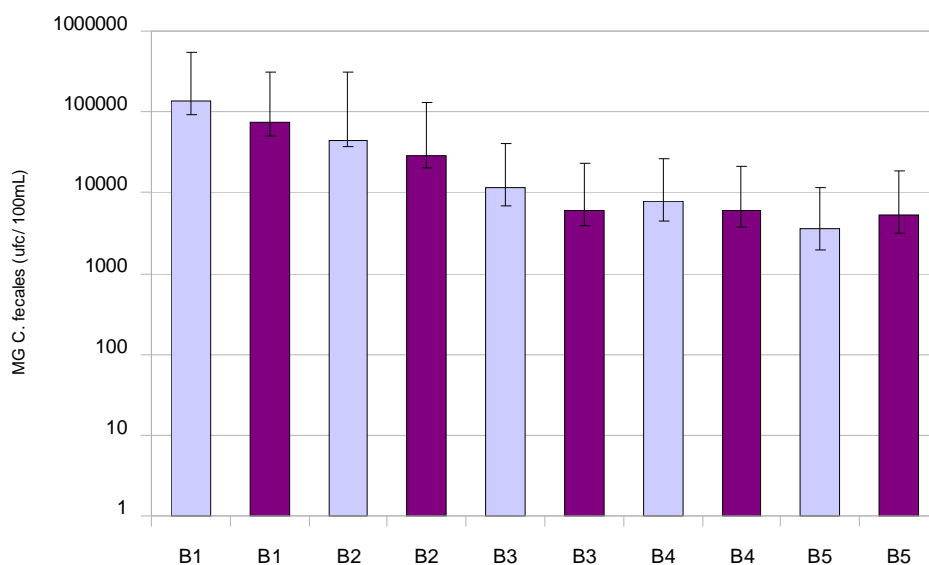
Los resultados obtenidos de coliformes fecales se comparan con el Decreto N°253/79 y modificativos posteriores, con relación a la Clase 3 en base a la Resolución del MVOTMA del 25 de febrero de 2005, correspondiente a Aguas destinadas a la preservación de los peces en general y de otros integrantes de la flora y fauna hídrica. Por lo tanto y de acuerdo a lo definido por la DINAMA, el estándar que debe cumplirse es el siguiente: *"No se deberá exceder el límite de 2000 CF/100mL en ninguna de al menos 5 muestras, debiendo la media geométrica de las mismas estar por debajo de 1000 ufc/100mL"*.

Las medias geométricas (MG) registradas en los puntos de playas cumplen con la normativa vigente que establece un límite de 1000 ufc/100mL, presentando algunas excepciones en los valores puntuales. Mayor información sobre calidad de aguas de playas se puede obtener en los informes anuales y de temporada, donde se reportan los resultados de los muestreos sistemáticos realizados en días alternados, en el marco del Programa de Monitoreo de Playas y costa de Montevideo, que se encuentra disponible en la página web de la Intendencia de Montevideo (<http://www.montevideo.gub.uy/ciudadania/desarrollo-ambiental/documentos>).





Los mayores valores de coliformes fecales se encuentran, como era de esperar, en la Bahía de Montevideo, donde se visualiza una tendencia decreciente de los resultados entre los puntos B1 y B5 (Figura 6.8). En esta zona se destacan los elevados valores de medias geométricas mayores a  $10^4$  ufc/100mL en los puntos B1 y B2 (frente al Arroyo Miguelete y a la descarga del Arroyo Seco) tanto en superficie como en profundidad. A su vez, se observan elevados valores de coliformes fecales en la zona de influencia de la descarga del emisario de Punta Carretas, con un máximo en la pérdida, que presenta una MG de 1071 en



superficie y 8437 ufc/100mL en profundidad (Figura 6.9).

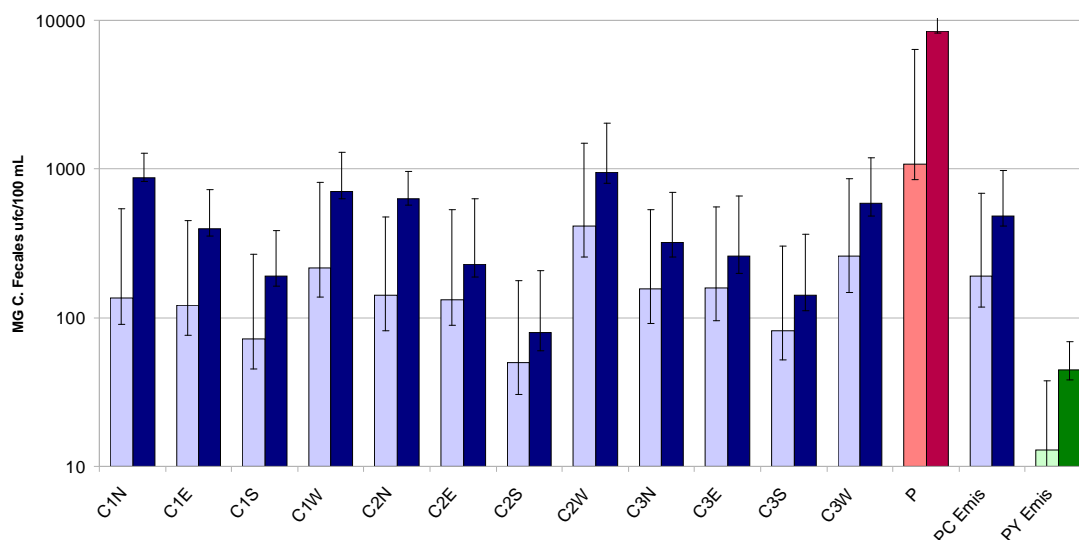
**Figura 6.8.** Media Geométrica de Coliformes Fecales. Bahía de Montevideo. (Color lila, Superficie; color violeta, Profundidad).



Es de destacar que, en concordancia con estos resultados, en el punto B1 de la Bahía se presentan frecuentemente valores de oxígeno disuelto por debajo de 5 mg/L, que no cumplen con la normativa para la conservación de los peces en general y otros integrantes de la flora y fauna hídrica (Clase 3 Decreto 253/79). En el informe del año 2010 del Programa de Monitoreo de Cursos de Agua del año 2010 se presenta una evaluación detallada de la calidad de agua de la Bahía

(<http://www.montevideo.gub.uy/ciudadania/desarrollo-ambiental/cursos-de-agua>).

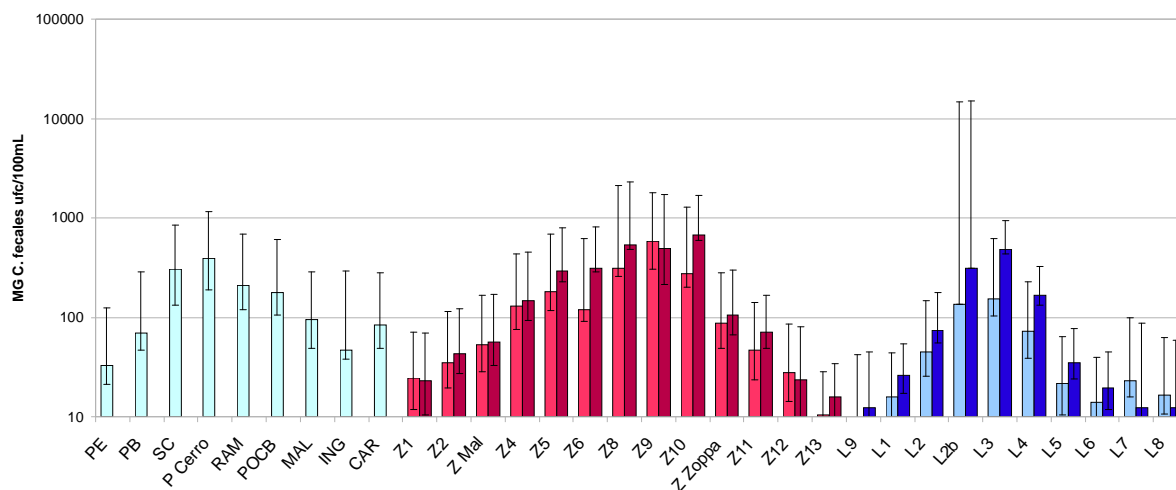
En los puntos en la línea a 200 m (línea Z), no se supera la MG de coliformes fecales de 1000 ufc/100mL, límite de la normativa antes mencionada, encontrándose los mayores valores en la zona comprendida entre la escollera Sarandí y Punta Lobos (Z8, Z9 y Z10), a la salida de la Bahía. Los máximos valores puntuales observados fueron 50.000 ufc/100mL en el punto Z8 (muestra superficial) y 55.000 ufc/100mL en Z10 (muestra en profundidad) (Figura 6.10).



**Figura 6.9.** Media Geométrica de Coliformes Fecales en los puntos correspondientes al Emisario de Punta Carretas (azul) incluyendo la zona de pérdida (rojo) y en la zona de descarga del futuro emisario de Punta Yeguas (verde). En color claro muestras de superficie y color oscuro muestras de profundidad.

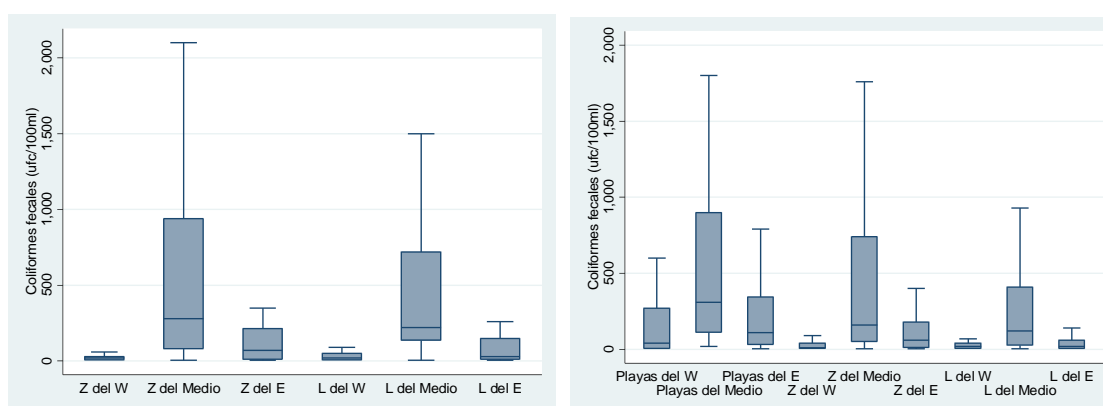
En las estaciones correspondientes a la línea a 2000 m (línea L) no se supera la MG de 1000 ufc/100mL de coliformes fecales en ningún punto, observándose los mayores valores en el punto L3 (frente a la Bahía de Montevideo) que presenta una MG 483 ufc/100mL y un máximo valor puntual de 36.000 ufc/100mL (Figura 6.10).

Los menores valores de MG de coliformes fecales de toda la zona de estudio tanto a 200 como a 2000 m de la costa, se encuentran en Punta Yeguas y al oeste de la misma, así como al este de playa Verde (Figuras 6.9 y 6.10). En todos los puntos de la zona del emisario en Punta Carretas se encontraron MG por debajo de 1000 ufc/100mL, con excepción del punto de muestreo correspondiente a la pérdida a 1500 m (Figura 6.9). Los valores puntuales de todas las estaciones del emisario presentaron grandes variaciones y en algunos casos alcanzaron valores puntuales del orden de  $10^4$  ufc/100mL, con un valor máximo de 590.000 ufc/100mL en el punto de muestreo asociado a la referida pérdida.



**Figura 6.10.** Media Geométrica de C. fecales en las estaciones de: playas, cercanas (a 200 m de la costa) y lejanas (a 2000 m de la costa) En color claro muestras de superficie y en color oscuro muestras de profundidad.

En estos resultados se observa que las características de cada punto estarían influenciadas en gran medida por el comportamiento de la costa y los aportes respectivos (Bahía de Montevideo, descarga del emisario P. Carretas). Como se mencionó anteriormente, se han incorporado modificaciones en el muestreo para minimizar la redundancia y facilitar la comparación entre las muestras de playa, línea Z y línea L. Para el caso de las diferentes subzonas establecidas y comparadas, se observó que existen diferencias significativas entre la subzona oeste y la subzona del medio, probablemente debido a la influencia de la Bahía (Figura 6.11).



**Figura 6.11.** Valores de coliformes fecales (mediana, desvío estándar, máximos y mínimos) en superficie (izquierda) y profundidad (derecha).



### 6.2.2 *Enterococos*<sup>2</sup>

Los enterococos intestinales se excretan en las heces humanas y de otros animales de sangre caliente, encontrándose en concentraciones altas en las aguas residuales y en los medios acuáticos contaminados por aguas residuales o por residuos humanos o animales. Estas bacterias son relativamente tolerantes al cloruro de sodio así como al pH alcalino. A su vez, la mayoría de las especies no proliferan en medios acuáticos. Por estas razones los enterococos pueden ser utilizados para indicar la presencia de contaminación fecal. Sin embargo, los mismos presentan algunas desventajas para su uso como indicadores: la concentración de enterococos intestinales en las heces humanas es alrededor de un orden de magnitud menor que la de *E. coli* y algunas especies de este grupo también se han detectado en suelos, en ausencia de contaminación fecal. A pesar de esto, los enterococos son muy utilizados como indicadores, especialmente en aguas marinas debido a que presentan importantes ventajas: tienden a sobrevivir durante más tiempo que *E. coli* (o que los coliformes fecales) en medios acuáticos y son más resistentes a la desecación y a la cloración.

Los enterococos intestinales se utilizan también en el análisis del agua bruta y de consumo como indicadores de la presencia de agentes patógenos fecales, para complementar los análisis de *E. coli*. También se utilizan para analizar la calidad del agua después de la realización de reparaciones en sistemas de distribución o de la instalación de cañerías nuevas.

El percentil 95 de los enterococos es el indicador propuesto por la Organización Mundial de la Salud para aguas recreacionales, por su buena asociación con enfermedades gastrointestinales por uso recreativo (WHO, 2003). Dado que no existe normativa nacional para enterococos se puede tomar como referencia los valores guía de la World Health Organization (2003) que establecen categorías de riesgo y un límite de 200 ufc/100mL para el percentil 95, por encima del cual puede existir más del 5% de riesgo de transmisión de enfermedades gastrointestinales. Debido al bajo número de muestras disponible y a la alta dispersión de los resultados, no se puede establecer con precisión el valor de percentil 95 por lo que para fines comparativos entre las diferentes zonas de este estudio se tomó la media geométrica.

Los resultados observados siguen las mismas tendencias de los coliformes fecales (**Anexo III**). Los mayores valores se encuentran en la Bahía de Montevideo en especial en la estaciones B1 y B2 (frente al arroyo Miguelete y a la descarga del arroyo Seco) que presentan medias geométricas de 30000 y 8000 ufc/100 mL, respectivamente, en superficie. En las demás estaciones de la Bahía, las medias geométricas se encuentran entre 380 ufc/100mL (B5) y 740 ufc/100mL (B4). Los valores encontrados en las muestra de profundidad son del mismo orden.

En las estaciones en la zona de dispersión del emisario de Punta Carretas los mayores valores de media geométrica en superficie se encuentran en la estación correspondiente a la pérdida (228 ufc/100mL) y en C1N 380 ufc/100mL, en profundidad. En las demás estaciones las medias geométricas presentan un máximo de 250 en C3W (superficie) y 870 ufc/100mL

---

<sup>2</sup>[http://www.bvsde.paho.org/CDGDWQ/docs\\_microbiologicos/Indicadores%20PDF/Enterococos%20intestinales.pdf](http://www.bvsde.paho.org/CDGDWQ/docs_microbiologicos/Indicadores%20PDF/Enterococos%20intestinales.pdf)



en C1N (profundidad).

En la zona prevista para el emisario (Punta Yeguas) se encontraron muy bajos valores de enterococos, con una media geométrica de 9 en superficie y 16 ufc/100mL en profundidad. En tanto, en las playas el máximo valor de MG fue 202 ufc/100mL en la playa Santa Catalina. En la línea Z las medias geométricas fueron menores a 90 ufc/100mL, encontrándose el máximo valor en Z9, frente a la playa del Cerro (tanto en superficie como en profundidad). En la línea a 2000 m el máximo se encontró en el punto L3 (frente a la playa del Cerro) tanto en superficie (152 ufc/100mL), como en profundidad (483 ufc/100mL).

### 6.3 Estudio de Nutrientes y Clorofila a



**Figura 6.12.** Imagen satelital de la desembocadura del Río de la Plata mostrando el frente de turbiedad.

#### *Análisis del estado trófico del sistema*

Los estuarios son cuerpos de agua transicionales entre las aguas continentales y las oceánicas, esta interacción genera ecosistemas únicos que sostienen la vida marina y actividades económicas asociadas a la costa (USEPA, 2008). Dada la relevancia de estos sistemas, es de primordial interés conocer su estado trófico actual para gestionar su manejo y sus usos ecosistémicos actuales y futuros.

El proceso de eutrofización de cuerpos de agua, originado por el enriquecimiento en nutrientes, ocurre naturalmente en una escala de tiempo de miles de años (OECD, 1986). Sin embargo, estos procesos se han acelerado exponencialmente a nivel global en las últimas décadas debido al aumento poblacional, cambios en el uso del suelo, aportes crecientes de fertilizantes, detergentes fosfatados, y deposición atmosférica de nitrógeno (Carpenter, 2005) entre otros factores. Las consecuencias de la eutrofización incluyen producción excesiva de fitoplancton y plantas acuáticas, floración de algas tóxicas, aumento de la frecuencia de eventos anóxicos, mortandad de peces y disminución del control





descendente del zooplancton sobre el fitoplancton (Søndergaard *et al.*, 2001). Las pérdidas económicas atribuidas a la eutrofización pueden apreciarse en costos elevados de purificación de agua para consumo humano, disminución de la abundancia y biodiversidad de especies naturales y eliminación de actividades recreativas (Wilson & Carpenter, 1999). Las variaciones del estado trófico de un cuerpo de agua se estudian a través de la determinación de nutrientes (principalmente nitrógeno y fósforo), oxígeno disuelto y clorofila *a*. La clorofila *a* es el pigmento común a todos los organismos que realizan fotosíntesis con liberación de oxígeno. Su concentración se utiliza como indicador de la biomasa del fitoplancton (Lorenzen, 1967; Rai, 1980) y depende del estado fisiológico de la comunidad así como de su composición específica (Lee, 1995). En el reporte de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (USEPA, 2008) sobre el estado trófico de todas sus zonas costeras, se utilizan los parámetros clorofila *a*, nutrientes (nitrógeno y fósforo), oxígeno disuelto y turbidez (expresada como indicador de claridad) para clasificar la calidad de dichos sistemas, tal como se muestra en la Tabla 6.7. Dado que Montevideo se encuentra en el frente de salinidad y turbiedad del Río de la Plata (Figura 6.12), se observan valores muy variables de turbiedad dependientes fundamentalmente de factores hidrodinámicos, por lo que este parámetro no se utilizará en este sistema estuarino como indicador de calidad.

En relación a parámetros indicativos del estado trófico, la normativa nacional aplicable (Decreto 253/79, Clase 3) establece límites para oxígeno disuelto (mínimo 5 mg/L), fósforo total (0.025 mg/L en P) y nitratos (10 mg/L en N) sin establecer valores para la clorofila que constituye un parámetro clave en este sentido. Por esta razón y dadas las características del sistema acuático en estudio, la evaluación de resultados de este informe se realizó considerando también, las diferentes categorías de calidad de agua definidas por la USEPA (2008) para regiones costeras y los antecedentes de valores de clorofila en el Río de la Plata (Tabla 6.12).

Tabla 6.7. Categorías de calidad de aguas costeras en relación al estado trófico (USEPA, 2008) (\*)

Calidad del agua costera (USEPA, 2008)*			
	Buena	Aceptable	Pobre
Fósforo Inorgánico Disuelto (mg/L)	< 0.01	0.01 – 0.05	> 0.05
Nitrógeno Inorgánico Disuelto (mg/L)	< 0,1	0.1 – 0.5	> 0.5
Clorofila <i>a</i> (µg/L)	< 5	5 - 20	> 20
Oxígeno Disuelto (mg/L)	> 5	2 - 5	< 2

(\*) Categorías de evaluación del estado trófico en zonas costeras de Estados Unidos de América de acuerdo a la Agencia de Protección Ambiental (USEPA, 2008). Valores utilizados en la zona costera este, oeste y Golfo de México.

Para adoptar esta clasificación, teniendo en cuenta las condiciones hidrodinámicas del Río



de la Plata, es necesario tener un número considerable de valores de Fósforo Inorgánico Disuelto y de Nitrógeno Inorgánico Disuelto. Con este objetivo, a fines del año 2010 se comenzaron a medir estos parámetros, en principio para playas, línea "L" y Emisarios, y actualmente para todos los puntos comprendidos en el Plan de Monitoreo. En subsiguientes informes se tendrán todos los parámetros requeridos para completar esta clasificación. En la Tabla 6.8 se presentan valores históricos de clorofila *a* para el Río de la Plata obtenidos de bibliografía.

**Tabla 6.8.** Antecedentes de valores de clorofila *a* en estudios del Río de la Plata (Vizziano *et al.*, 2001).

SISTEMA	CLOROFILA <i>a</i> (µg/L)	REFERENCIAS
<b>Río mareal</b> (zona interior) 1992-95	< 2,0 – 12,3	AGOSBA-SIHN, 1997
<b>Estuario</b> (zona intermedia)		
Invierno 1981-87	< 0,2 - 1,4 0,4 - 7,0	Basigaluz, 1981 CARP, 1989
Primavera 1997-98	2 – 13 0,6 – 143	Gómez <i>et al.</i> , 1996 Gómez <i>et al.</i> , 1998
<b>Marino</b> (zona exterior)		
Verano	0,2 – 3,0	Texeira <i>et al.</i> , 1973
Otoño	25,0	Texeira <i>et al.</i> , 1973
Otoño	1,3	Hubold, 1980 (a,b)
Primavera	0,38	Hubold, 1980 (a,b)
Primavera	0,2 – 12,5	Carreto <i>et al.</i> , 1981
Verano	4,1 – 9,5	Vasconcellos, 1982
Otoño	2,9 – 7,8	Vasconcellos, 1982
Primavera	3,0 – 7,7	Carreto <i>et al.</i> , 1986
Verano	0,4 – 7,9	Parietti, 1986
Verano	4,9 – 69	Milstein, 1986
Invierno	1,0 – 33,0	Bayseé <i>et al.</i> 1986
Verano	0,1 – 4,1	Mesones, 1991
Otoño	3,4 – 98,1	González, 1994

#### *Carga externa de nutrientes*

Los sistemas lóticos (ríos y arroyos) son las mayores rutas de transferencia de nitrógeno y fósforo a lagos, embalses y estuarios. Tanto las fuentes puntuales como no-puntuales de nutrientes contribuyen al proceso de eutrofización, pero las fuentes no-puntuales son generalmente las dominantes y más difíciles de controlar (Kauppi, 1990; OECD, 1986). Sobre una base anual, los ríos y arroyos usualmente sólo retienen una pequeña fracción de los nutrientes disueltos y particulados que entran desde la cuenca. Esta retención está controlada por factores como la descarga, velocidad de la corriente, temperatura, concentración de solutos, incidencia de luz, litología de los sedimentos y vegetación riparia. Otra fuente externa de aporte de nutrientes es la deposición atmosférica seca o húmeda.



Las mayores fuentes de nitrógeno desde la atmósfera son originadas por actividades antropogénicas como la quema de combustibles fósiles, deforestaciones con quemas a cielo abierto o combustión de motores. El depósito de fósforo también se ha incrementado debido al transporte atmosférico de partículas desde suelos muy fertilizados (Melack, 1995).

#### *Aporte interno de nutrientes*

El reciclado interno de nitrógeno y fósforo desde el sedimento puede mantener las condiciones de eutrofia por largos períodos luego de haber reducido el aporte externo de estos nutrientes (Marsden, 1989). La duración y magnitud de la carga interna de fósforo va a depender de la tasa de renovación, la historia trófica del cuerpo de agua y las características químicas del sedimento.

#### **6.3.1 Nitrógeno total y Fósforo total**

A continuación se reportan los resultados obtenidos en las determinaciones de nitrógeno total (NT) y fósforo total (PT) como indicadores de la carga total de nutrientes del sistema. En el caso del fósforo total los valores serán comparados con el límite del Decreto 253/79, para cursos de agua Clase 3 (0.025 mg/L). Los datos recabados corresponden a valores determinados en Playas, estaciones cercanas (200 m de la costa) y lejanas (2000 m de la costa), Bahía, Emisarios, desde la desembocadura del Río Santa Lucía hasta la del Arroyo Carrasco. Estos resultados corresponden a 11 campañas de muestreo de columna de agua tanto en superficie como en profundidad, realizados entre noviembre del 2009 y junio del 2011.

Las determinaciones de nitrógeno y fósforo total se implementaron en el Servicio Laboratorio de Calidad Ambiental, a partir del muestreo de noviembre del 2009. A partir del año 2011 se realizan determinaciones de nitrato y ortofosfato para complementar el set de parámetros que aportan información sobre el estado trófico del sistema.

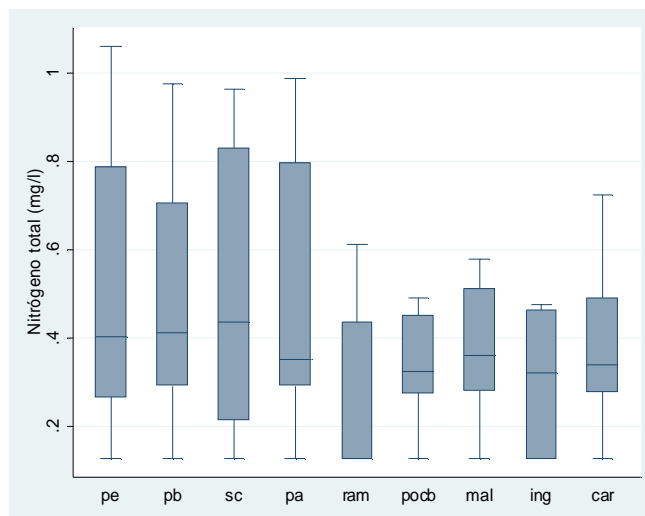
#### *Playas*

Los resultados de las concentraciones máximas, mínimas, mediana y desviación estándar, de nitrógeno total (NT) y fósforo total (PT) se informan en el **Anexo IV**.

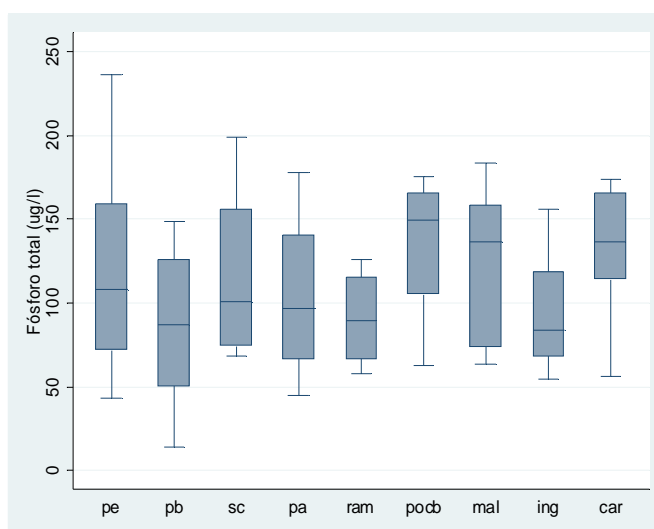
El valor mínimo de NT en playas para todas las campañas de monitoreo se encuentra por debajo del límite de cuantificación del método analítico, mientras que el valor máximo de concentración se registró en la playa Punta Espinillo (1.06 mg/L) en noviembre del 2009.

Para el fósforo total, se registró una concentración máxima de 0.236 mg/L en la playa Punta Espinillo en el muestreo de febrero de 2010, mientras que el valor mínimo detectable se obtuvo en la playa Punta Espinillo (0.043 mg/L) en enero de 2011, el mínimo valor no detectable por el método analítico se registró en la playa Pajas Blancas en Enero de 2011. En todas las playas y campañas de muestreo se superó el límite establecido por el Decreto 253/79 y modificativos en cuanto a fósforo total en cursos de agua Clase 3 (0.025 mg/L), salvo en el caso de Pajas Blancas en enero de 2011.

En las Figuras 6.13 y 6.14 se muestran las tendencias de concentración de NT y PT en playas ubicadas desde Oeste (izquierda) a Este (derecha), donde se indica la mediana, máximos, mínimos y los percentiles 25% y 75% (se han eliminado valores extremos que aparecen en las Tablas del **Anexo IV** para facilitar la visualización de los gráficos).



**Figura 6.13.** Concentración de NT (mg/L) en playas para el período 2009-2011. Referencias: pe: Punta Espinillo; pb: Pajas Blancas; sc: Santa Catalina; pa: Cerro; ram: Ramírez; pocb: Pocitos; mal: Malvín; ing: Ingleses; car: Carrasco.



**Figura 6.14.** Concentración de PT ( $\mu\text{g/L}$ ) en playas para el período 2009-2011. Referencias: pe: Punta Espinillo; pb: Pajas Blancas; sc: Santa Catalina; pa: Cerro; ram: Ramírez; pocb: Pocitos; mal: Malvín; ing: Ingleses; car: Carrasco.

De los gráficos anteriores, se destaca una tendencia decreciente para el NT desde Oeste a Este, mientras que para el fósforo total hay una alta variabilidad, no permitiendo establecer tendencias espaciales.

#### *Estaciones costeras (Z)*

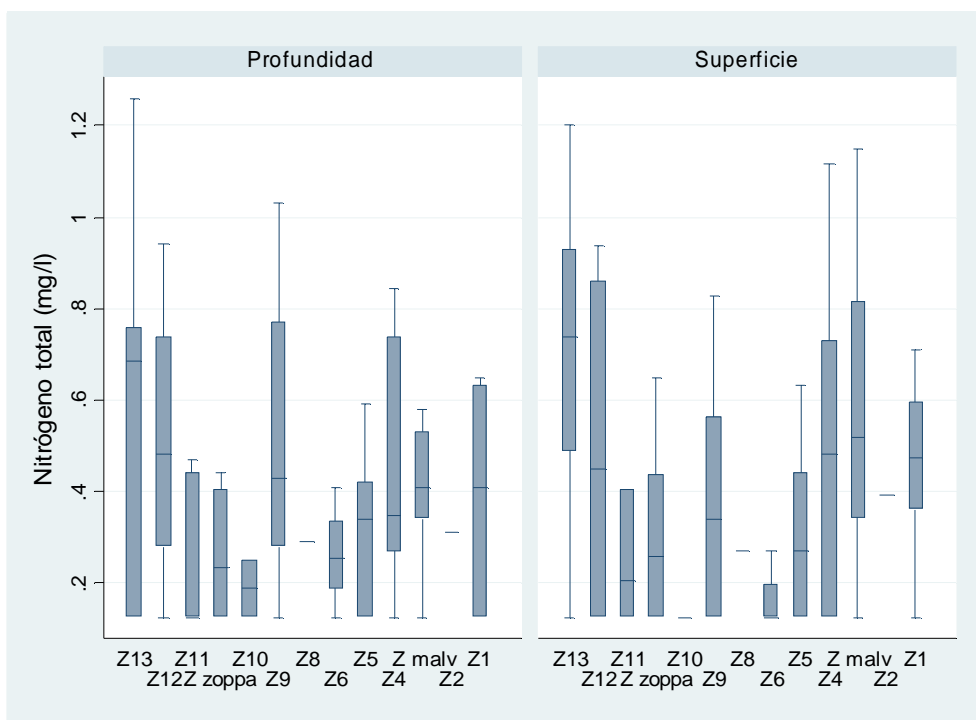
Los resultados de las concentraciones máximas, mínimas, mediana y desviación estándar, de nitrógeno total (NT) y fósforo total (PT) se muestran en el **Anexo IV**.

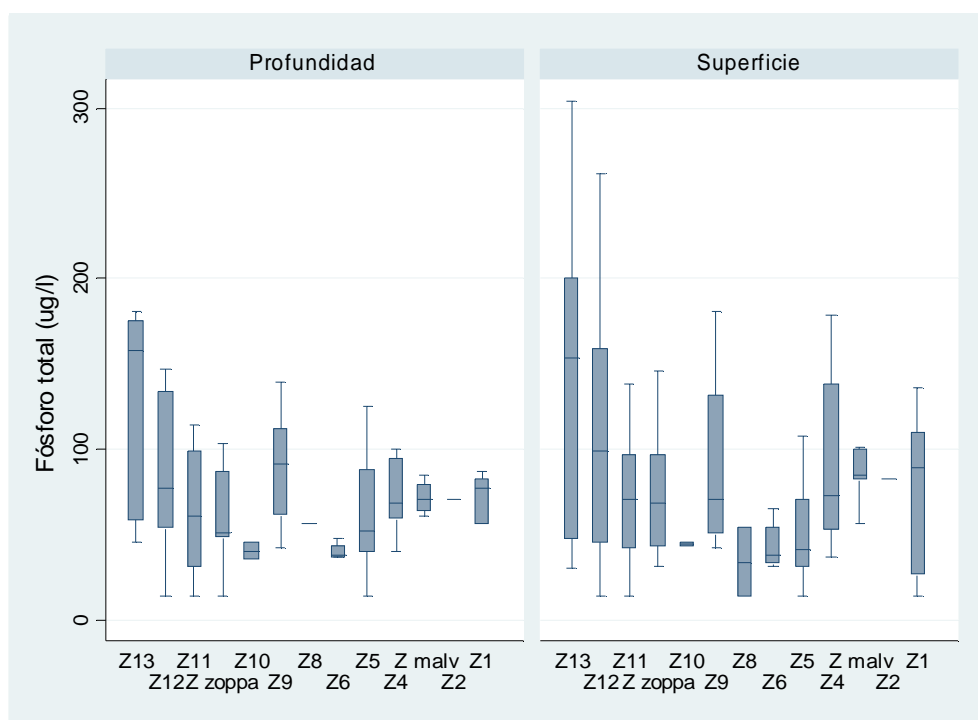
El valor máximo de NT en las estaciones costeras se registró en el punto Z13 (ubicado en la transecta a 200 m de la playa Punta Espinillo) con valores de 1.26 y 1.20 mg/L para



superficie y profundidad respectivamente, en la campaña de setiembre de 2010. Se destaca que los valores mínimos registrados estuvieron por debajo del límite de cuantificación en el 79% de los puntos de muestreo de la línea Z, los menores valores de concentración detectados se observaron en el punto Z8 (a 200 m de la zona portuaria) con concentraciones de 0.27 y 0.29 mg/L en superficie y profundidad respectivamente, en febrero de 2011. Los valores máximos de PT en superficie y profundidad del período de estudio fueron registrados en el punto Z13, coincidiendo con los máximos para NT, con valores de concentración de 0.304 y 0.181 mg/L respectivamente, en febrero de 2010 y noviembre de 2009. Las concentraciones mínimas detectables de PT (64% del total de las medidas) se observaron distribuidas en forma heterogénea tanto espacial como temporalmente, en superficie y profundidad, no existiendo una tendencia clara. En las Figuras 6.15 y 6.16 se muestran las tendencias de concentración de NT y PT en estaciones costeras (Z) ubicadas desde Oeste (izquierda) a Este (derecha) para superficie y profundidad, donde se indica la mediana, máximos, mínimos y los percentiles 25% y 75% (se han eliminado valores extremos que aparecen en las Tablas del **Anexo IV**).

**Figura 6.15.** Concentración de NT (mg/L) en Línea Z para el período 2009-2011





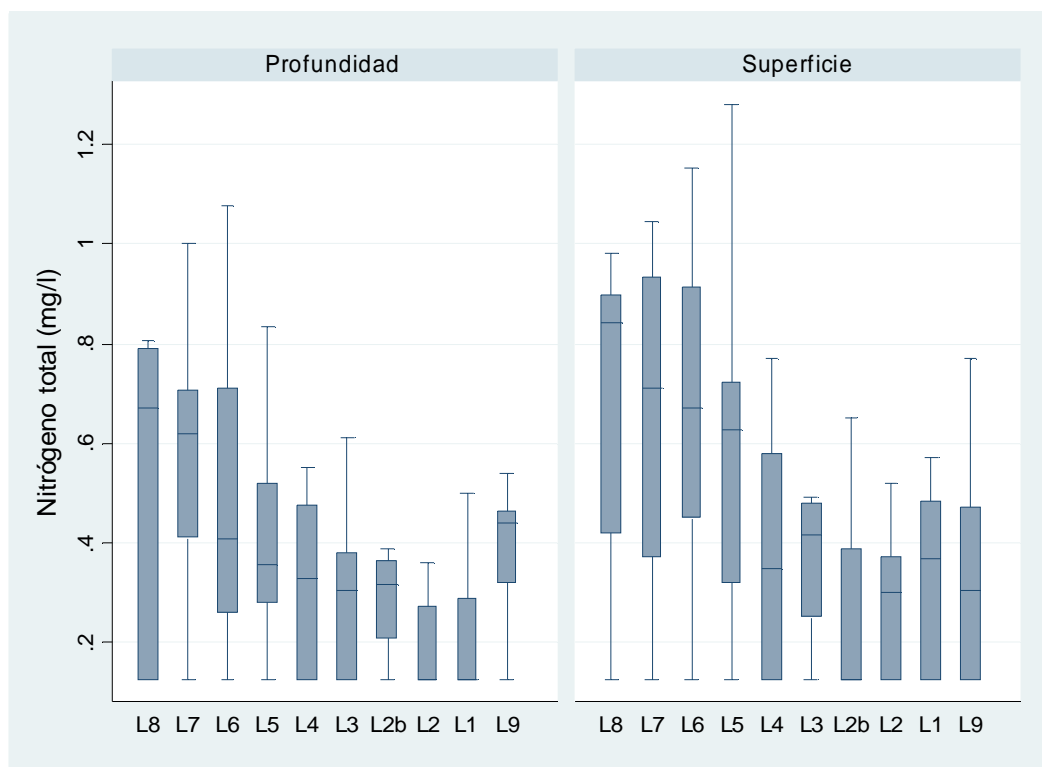
**Figura 6.16.** Concentración de PT ( $\mu\text{g/L}$ ) en Línea Z para el período 2009-2011.

De la observación de los gráficos se aprecia un gradiente espacial de concentraciones, con valores mayores de PT y NT en la zona Oeste, descendiendo hacia el Este hasta Punta Lobos (Z10). Para el NT, si bien los máximos registrados se ubicaron también en la zona Oeste de la ciudad con una leve disminución hasta Z10, se aprecia una tendencia al aumento hacia el Este.

#### *Estaciones lejanas (L)*

Los resultados de las concentraciones máximas, mínimas, mediana y desviación estándar, de nitrógeno total (NT) y fósforo total (PT) se informan en el **Anexo IV**.

La concentración máxima de NT en superficie se registró en el punto L5 (transecta a 2000 m de la playa Pajas Blancas) con un valor de 1.28 mg/L en febrero de 2010, mientras que el valor máximo en profundidad se observó en el punto L6 (transecta a 2000 m de playa Punta Espinillo) con un valor de concentración de 1.08 mg/L. Los mínimos valores de NT en superficie y profundidad estuvieron por debajo del límite de cuantificación en todo el período 2009-2011 evaluado. En la Figura 6.17 se muestran las tendencias de la variación espacial Oeste-Este para NT en superficie y profundidad.



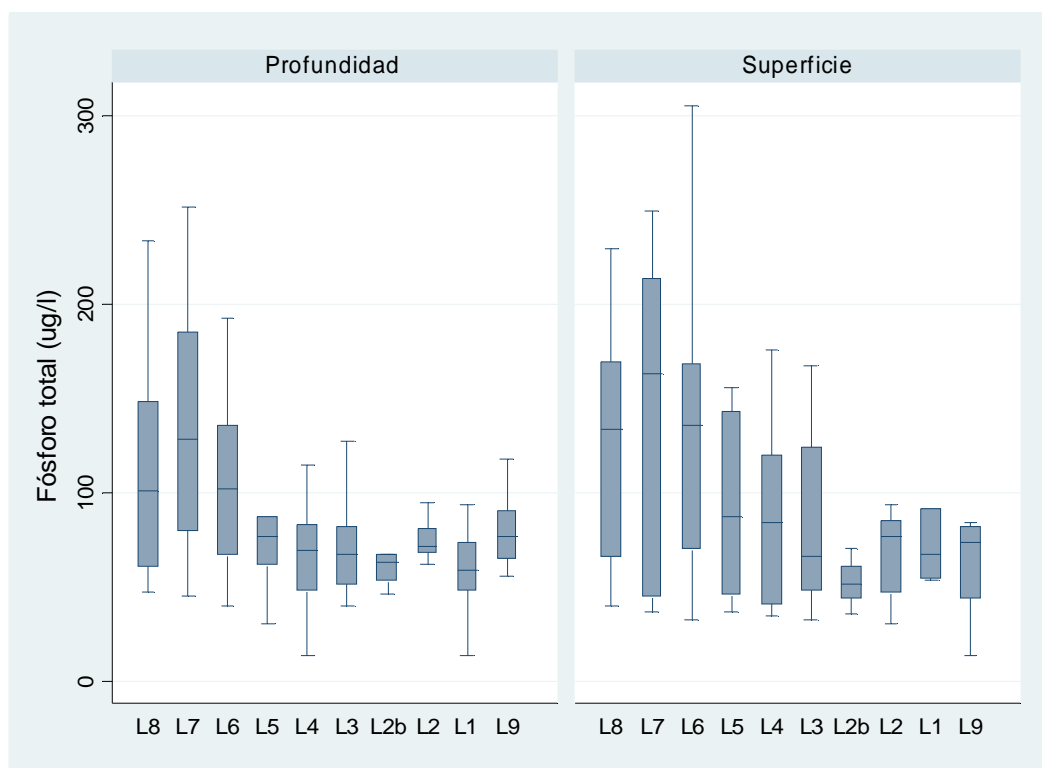
**Figura 6.17.** Concentración de NT (mg/L) en Línea L para el período 2009-2011.

Para el período total evaluado las concentraciones de NT en superficie fueron mayores que en profundidad.

Las concentraciones máximas de PT en superficie se registraron en L6 (a 2000 m de playa punta Espinillo) con 0.306 mg/L en Febrero de 2010, y en profundidad en el punto L7 (ubicado al Sur de la desembocadura del Río Santa Lucía) con un valor de 0.252 mg/L detectado en diciembre de 2009.

Las concentraciones mínimas de PT en el período evaluado se registraron mayormente en las estaciones de la zona Oeste con valores comprendidos en un rango de 0.032 a 0.040 mg/L (desde L8 a L3) en superficie, manteniéndose esta tendencia pero menos evidente para las concentraciones de agua en profundidad. Estas tendencias espaciales se muestran en la Figura 6.18.





**Figura 6.18.** Concentración de PT ( $\mu\text{g/L}$ ) en Línea L para el período 2009-2011.

En las estaciones lejanas se observa más claramente la tendencia decreciente de concentraciones tanto de NT como PT desde Oeste a Este con fluctuaciones a partir del punto L2b, frente a la calle Paraguay.

Al igual que con el NT, también se ve una concentración de PT en superficie mayor que en profundidad para todo el período evaluado (2009 -2011) en las estaciones lejanas (2000 m). Este comportamiento aún no puede ser explicado con certeza, requiriéndose una serie temporal de datos mayor para correlacionarlos con otros parámetros tales como la turbiedad y clorofila *a*, así como el estudio de las formas disueltas del nitrógeno y fósforo que se comenzaron a determinar recientemente.

#### *Bahía*

Los resultados de las concentraciones máximas, mínimas, mediana y desviación estándar, de nitrógeno total (NT) y fósforo total (PT) se informan en el **Anexo IV**.

Los valores de NT y PT detectados tanto en superficie como en profundidad fueron muy elevados, comparados con el resto de las sub áreas evaluadas.

Los valores máximos de NT se registraron en el punto de muestreo B1 (ubicado en la desembocadura del Arroyo Miguelete), con valores de 14.90 mg/L en superficie (Setiembre de 2010) y 4.77 mg/L en profundidad (abril 2010). Las concentraciones mínimas cuantificables de NT en superficie se detectaron en la época no estival. Las concentraciones mínimas de NT en profundidad no dieron valores cuantificables en el período de estudio.



Las concentraciones máximas de PT tanto en superficie como en profundidad se registraron en el punto B1 (1.197 mg/L en setiembre de 2019 y 0.830 mg/L en febrero de 2011 respectivamente). Los valores mínimos de PT fluctuaron entre los puntos B3 y B4 tanto para superficie como para profundidad.

Se aprecia una alta variabilidad en las concentraciones de PT, asociada tanto a las descargas de los Arroyos Miguelete y Pantanoso, como a otras fuentes puntuales que vierten a la Bahía.

### *Emisarios*

Los resultados de las concentraciones máximas, mínimas, mediana y desviación estándar, de nitrógeno total (NT) y fósforo total (PT) se muestran en el **Anexo IV**.

Para el Emisario Punta Carretas el valor máximo de NT en superficie fue de 1.07 mg/L en febrero de 2010, y el máximo de NT en profundidad (0.97 mg/L) se detectó en marzo de 2010. Las concentraciones mínimas de NT tanto en superficie como en profundidad no fueron cuantificables. El máximo de PT en superficie fue de 0.193 mg/L detectado en noviembre de 2009, mientras que para profundidad el máximo de concentración se registró en marzo de 2010 con un valor de 0.214 mg/L. Los valores mínimos de concentración de PT en superficie oscilaron entre 0.030 y 0.047 mg/L para el punto central y el anillo concéntrico C3 (a 1500 m del punto central), en profundidad los valores mínimos fueron no detectables.

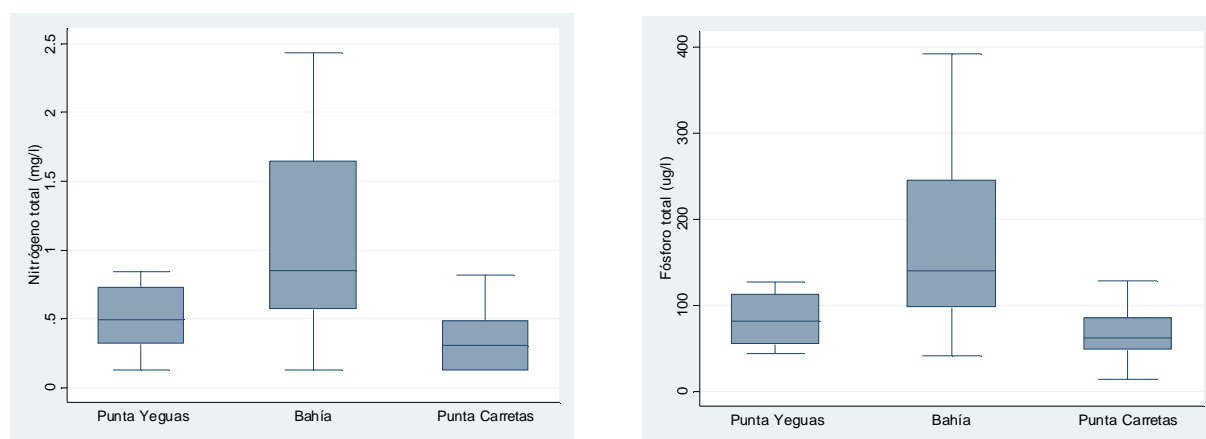
Para el Emisario proyectado en Punta Yeguas, en el punto central, los valores máximos de NT en superficie y profundidad fueron 0.84 mg/L (febrero 2010) y 1.24 mg/L (marzo de 2010) respectivamente. Los valores mínimos de NT en el punto central fueron no detectables tanto en superficie como en profundidad. Para PT la concentración máxima en el punto central en superficie fue de 0.325 mg/L en febrero de 2010 y en profundidad 0.147 mg/L en marzo de 2010. Las concentraciones mínimas de PT en el punto central oscilaron entre valores no detectables a 0.044 mg/L para profundidad y superficie sin tener un patrón temporal apreciable. Es importante aclarar que este valor máximo de concentración de PT no se aprecia en la Figura 6.18, pues fue eliminado del gráfico considerándolo como un valor extremo, sí aparece dicho valor en las Tablas del **Anexo IV**.

Se confirma la estacionalidad en las líneas lejanas y costeras, así como en playas de mayores concentraciones de NT y PT en la temporada estival.



### 6.3.2 Estudio comparativo de nutrientes en las estaciones del Emisario Punta Carretas, proyectado Punta Yeguas y Bahía de Montevideo.

En la Figura 6.19 se muestran comparativamente las tendencias de concentración de NT y PT en superficie, en tres zonas bien diferenciadas del estudio: Bahía, Emisario Punta Carretas y Punta Yeguas.



**Figura 6.19.** Concentraciones en superficie de NT y PT de Bahía, Punta Carretas y Punta Yeguas.

Se aprecia un comportamiento espacial para NT y PT con valores menores en el Emisario Punta Carretas y los máximos en la Bahía de Montevideo. También se destaca que las concentraciones de ambos nutrientes en Punta Yeguas son mayores que para el Emisario de Punta Carretas.

Para NT las diferencias son significativas entre Bahía y Emisario Punta Carretas y el mismo resultado entre Bahía y Punta Yeguas con un valor de  $p < 0.01$ . Para PT las diferencias también son significativas: entre Emisario Punta Carretas y Bahía ( $p < 0.01$ ) y entre Punta Yeguas y Bahía ( $p < 0.001$ ).

En la Tabla 6.9 se presentan a manera de resumen los valores máximos de NT y PT para superficie y profundidad en las diferentes zonas del área de estudio.

**Tabla 6.9.** Valores de Nitrógeno total y Fósforo total máximos en superficie y profundidad, obtenidos en las diferentes zonas de estudio.

ZONA	NT Máximo en superficie (mg/L)	NT Máximo en profundidad (mg/L)	PT Máximo en superficie (mg/L)	PT Máximo en profundidad (mg/L)
Playas	1.06	-----	0.236	----
Z (200 m)	1.26	1.2	0.304	0.181
L (2000 m)	1.28	1.08	0.306	0.252
Bahía	14.9	4.77	1.197	0.830
Emisario PC	1.07	0.97	0.193	0.214
Emisario PY	0.84	1.24	0.325	0.147



### 6.3.3 Resultados de clorofila a para las diversas estaciones

En el **Anexo IV** se presentan los resultados promedio, máximos, mínimos, mediana y desviación estándar de clorofila a en el área de estudio para el período 2007- Junio 2011.

Para analizar el comportamiento espacial y temporal de la concentración de Clorofila a se toma como base a la categorización de la USEPA (2008), la cual considera como valor límite para evaluar el estado trófico del agua costera una concentración mayor o menor a 20 ( $\mu\text{g/L}$ ).

Los valores promedio de clorofila se encuentran dentro de la categoría de “Aceptable” según la USEPA (2008) para la evaluación de estado trófico de aguas costeras. Sin embargo, se observaron numerosos valores puntuales superiores a 20  $\mu\text{g/L}$ , límite para la categoría “Pobre” según la mencionada clasificación. En particular, los máximos valores puntuales de clorofila se encontraron en la temporada estival 2009-2010, período en que las floraciones de cianobacterias se presentaron con muy alta frecuencia. El máximo valor en las muestras de playas se registró el 21 de abril de 2010 en la Playa de los Ingleses (114  $\mu\text{g/L}$ ), coincidiendo con un muestreo en el que detectó la presencia de floraciones de cianobacterias en diversos puntos. En la línea a 200 m de la costa el máximo valor se registró en Z9 (frente a la playa del Cerro) el 22 de diciembre de 2010 (97  $\mu\text{g/L}$ ). En tanto, el máximo valor puntual de todos los valores de clorofila analizados en el período completo se detectó en la línea L (estación L12, frente al Arroyo Pando) con un valor de 392  $\mu\text{g/L}$ , el día 11 de noviembre de 2009.

En la Tabla 6.10 se muestra el número de determinaciones de Clorofila a registradas en el período evaluado discriminando estacionalmente (verano y resto del año) y clasificando por valores menores o igual a 20  $\mu\text{g/L}$  (calidad “Aceptable” o “Buena”) y mayores a 20  $\mu\text{g/L}$  (calidad “Pobre”) según USEPA (2008).

**Tabla 6.10.** Total de muestras clasificadas según rango de concentraciones de Clorofila a para verano y resto del año (período 2007 – Junio 2011).

	Rango de concentración de Clorofila a ( $\mu\text{g/L}$ )		
	$\leq 20$	$>20$	Total muestras
Verano	385	35	420
Otra estación	114	2	116

En las temporadas estivales de todo el período evaluado 2007-2011, se aprecia claramente una mayor tendencia a presentar valores de clorofila por encima de 20  $\mu\text{g/L}$  encontrándose un 8.3% de excedencia en las muestras analizadas (35 muestras de 420), en comparación con el 1.8% (2 muestras de 114) en el período no estival.



En la Tabla 6.11 se muestran las tendencias anuales discriminando entre verano y resto del año.

**Tabla 6.11.** Total de muestras clasificadas según rango de concentraciones de Clorofila *a* para verano y resto del año detallado por períodos.

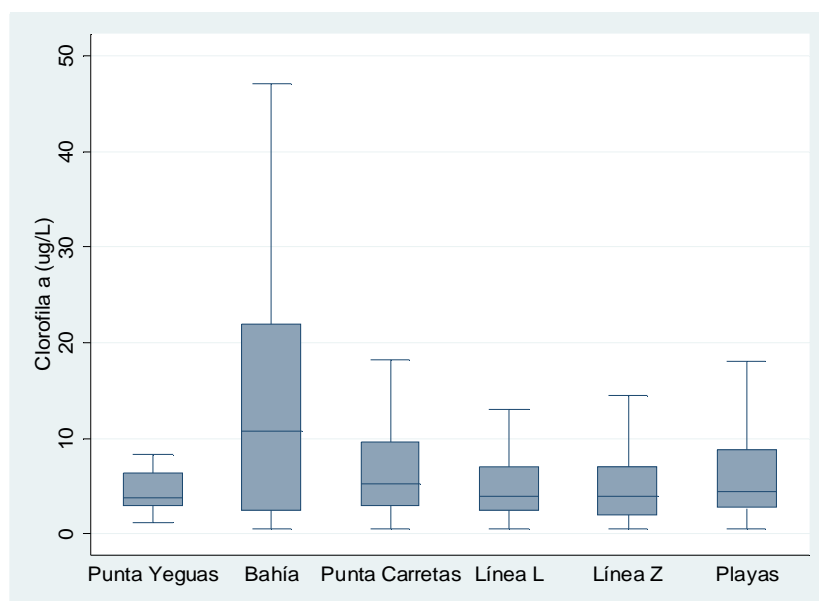
Período	Rango de concentración de Clorofila <i>a</i> ( $\mu\text{g/L}$ )		Total muestras
	$\leq 20$	$>20$	
Verano 2007-2008	115	2	117
Otras 2008	20	0	20
Verano 2008-2009	69	0	69
Verano 2009-2010	106	21	127
Otras 2010	62	2	64
Verano 2010-2011	95	12	107
Otras 2011	32	0	32
Total muestras	499	37	536

En el análisis detallado por año, se destaca el verano 2009 – 2010 con un 16.5% (21 muestras de 127) de excedencia al límite de 20  $\mu\text{g/L}$  y el verano 2010 – 2011 con un 11.2% (12 en 107 muestras).

Realizando la misma categorización para Playas, Línea Z, Línea L y Emisario Punta Carretas se observa que el número de casos en que se supera el valor de 20  $\mu\text{g/L}$  se encuentra en un rango comprendido entre 4.5 a 6.1 %, en relación al total de cada tipo de muestra en todo el período (536).

En el caso de la Bahía se destaca un aumento del número de muestras que exceden el valor límite, siendo para todo el período un 25.5% del total de las muestras analizadas y por el contrario, en el emisario proyectado de Punta Yeguas no se registraron casos que superen el límite de Calidad “Pobre” en el total del período 2007 – junio 2011 con respecto al parámetro Clorofila *a*.

En la Figura 6.20, se muestra la concentración de clorofila *a* en las diferentes zonas de muestro: Bahía, emisarios (P. Yeguas y P. Carretas), playas, línea Z a 200 m y línea L a 2000 m de la costa. Se observa que los mayores valores promedio se encuentran en la Bahía de Montevideo (13.7  $\mu\text{g/L}$ ) y el mínimo en Punta Yeguas con (4.4  $\mu\text{g/L}$ ). En la Bahía el valor del percentil 75% se encuentra por encima de 20  $\mu\text{g/L}$ , valor límite de la clasificación de la USEPA para la categoría de “Aceptable”.



**Figura 6.20.** Concentraciones de clorofila en las diferentes zonas de muestreo.

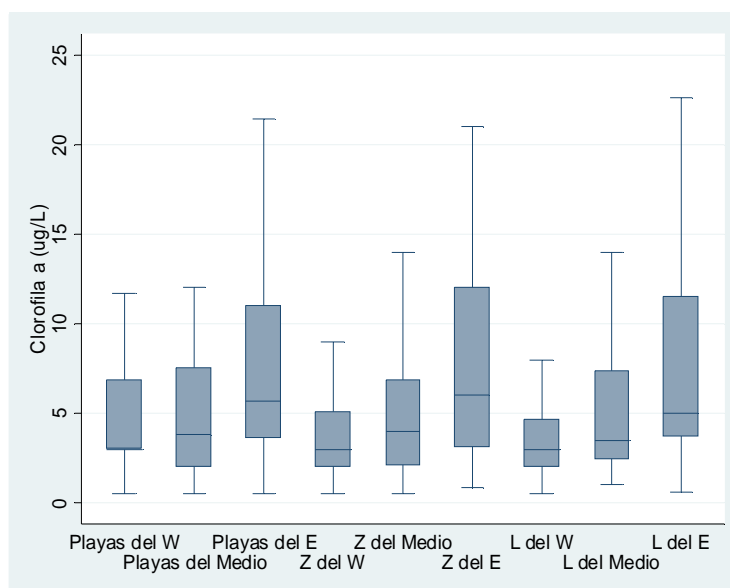
#### *Resultados de clorofila a para las diversas sub-zonas (Este, Medio y Oeste)*

Como se mencionó anteriormente, en forma exploratoria, para facilitar el estudio de los diversos parámetros realizados, se planteó la evaluación en zonas o ambientes que *a priori* podrían considerarse diferentes. Por un lado se destaca la Bahía de Montevideo y por otro lado la zona exterior que incluye la costa (playas y muestras a 200m) y las muestras en la línea a 2000 m. En la zona exterior se generó un agrupamiento de sitios de muestreo en tres zonas de Este a Oeste. Dicha zonación se efectuó bajo el criterio de vecindad con el área de mayor influencia de la Bahía de Montevideo y considerando como límites la ubicación de los puntos de muestreo de Punta Carretas y Punta Yeguas, quedando así definida la zona media. En forma complementaria la zona Oeste contempla los puntos de muestreo al Oeste de Punta Yeguas y la zona Este los puntos de muestreo al Este de Punta Carretas.

Las estaciones en la zona del emisario actual en Punta Carretas y del futuro emisario en Punta Yeguas se evaluaron separadamente. Mediante este análisis se puede observar que existen diferencias significativas para la clorofila *a* entre las estaciones de muestreo de las Z medio vs Z este ( $p= 0.0223$  y entre Z Oeste vs. Z Este ( $p= 0.0017$ ).

La distribución de la clorofila *a* en el eje Oeste-Este en las diferentes líneas (playas, Z 200 m y L 2000 m) en las tres zonas (Oeste, Este e Intermedia) así como la Bahía, la zona de difusión del emisario de Punta Carretas y la correspondiente zona donde se ubicará el emisario en Punta Yeguas se observa más claramente en las Figuras 6.20.

Observando las medianas, en la Figura 6.21 se aprecia un marcado gradiente de la clorofila *a*, creciente en dirección Oeste – Este en las estaciones de muestreo Z y L, si bien en algunas de ellas no se observó diferencia significativa.



**Figura 6.21.** Gráfico de cajas y líneas para los valores clorofila a en las estaciones de muestreo de Playas, Z (200m) y L (2000m). La línea central engrosada indica la mediana y los límites de la caja corresponden a los percentiles 25 y 75. Las líneas exteriores indican el valor mínimo y máximo en cada caso.

En relación a las otras zonas que se estudiaron separadamente, la Bahía, los cinco puntos de la zona de difusión del emisario en Punta Carretas y los correspondientes puntos en la zona del proyectado emisario en Punta Yeguas, se puede observar que la Bahía de Montevideo presenta los valores más altos de clorofila a, seguido de P. Carretas y por último P. Yeguas.

#### **6.3.4 Comparación de Nutrientes y Clorofila entre líneas**

En las Figuras 6.22, 6.23, 6.24, se muestran las concentraciones de nitrógeno total, fósforo total y clorofila en superficie, para la transecta que contiene los puntos: Playa Carrasco, Z1 y L1. Se realizó un Análisis de Varianza para verificar si existen diferencias significativas entre las distintas líneas ( $\alpha = 0.05$  y confirmado con test no paramétricos para  $\alpha = 0.01$ ).

Para NT no hay diferencias significativas ( $p = 0.78$ ) y tampoco para PT ( $p = 0.075$ ) ni clorofila ( $p = 0.45$ ).

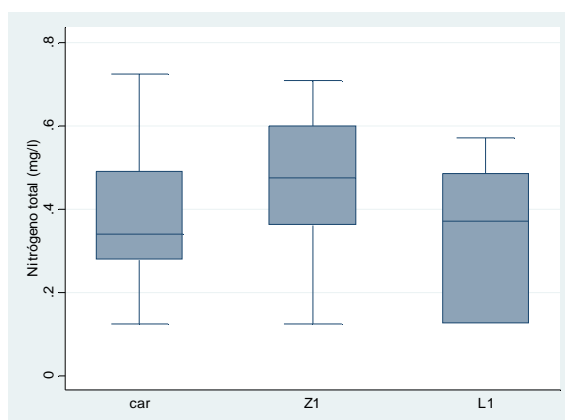




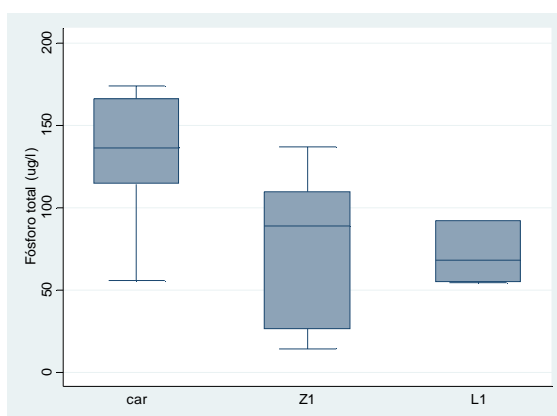
**Intendencia de Montevideo**

Desarrollo Ambiental

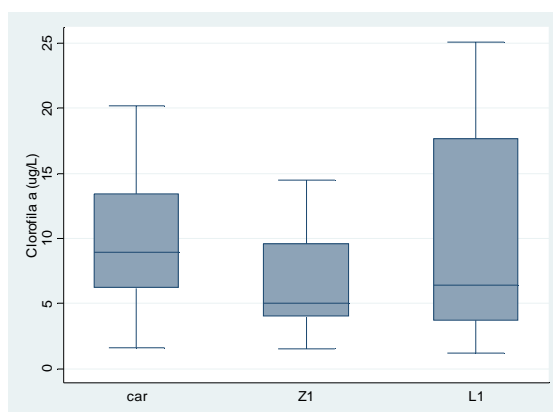
SERVICIO LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL



**Figura 6.22.** Concentración de NT en playa Carrasco-Z1-L1.



**Figura 6.23.** Concentración de PT en playa Carrasco-Z1-L1.

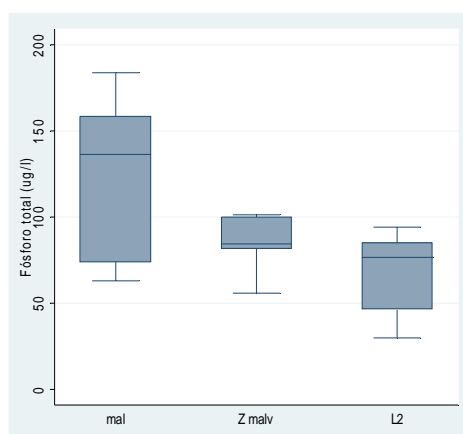


**Figura 6.24.** Concentración de Clorofila en playa Carrasco -Z1-L1.

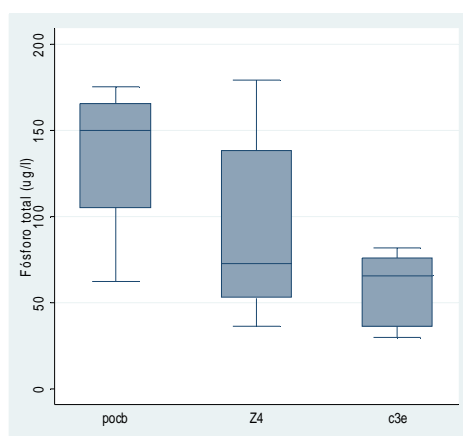


Esta tendencia se registró en la transecta Carrasco-Z1-L1 para estos tres parámetros. Es importante remarcar que para los cálculos hay pocos datos (N=11) y no se cumplen supuestos estadísticos como homogeneidad de varianza ni normalidad.

De la Figura 6.23 se aprecia un gradiente de concentración de fósforo total con mayores concentraciones en las playas y menores en las líneas “L”, con mayor o menor relevancia según la transecta.



**Figura 6.25.** Concentración de Fósforo total en playa Malvín-Z Malv- L2.



**Figura 6.26.** Concentración de Fósforo total en playa Pocitos- Z4- C3E.

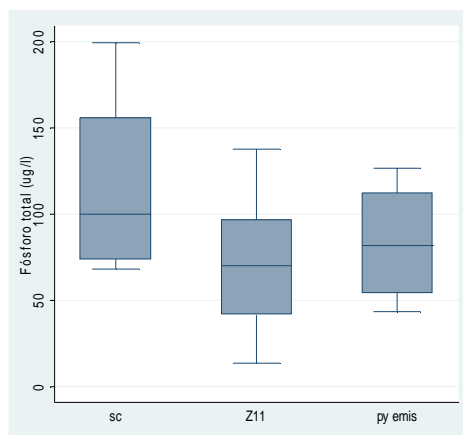


Figura 6.27. Concentración de Fósforo total en playa Santa Catalina- Z11- PY Emis.

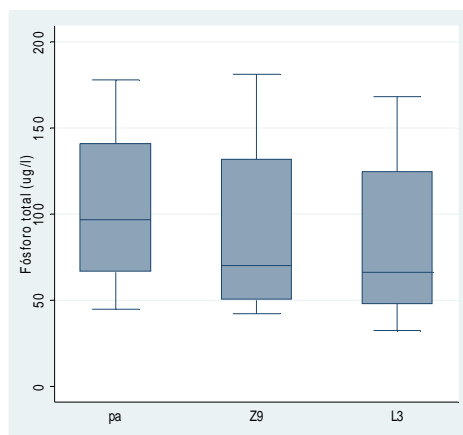


Figura 6.28. Concentración de Fósforo total en playa del Cerro-Z9- L3.

### 6.3.5 Floraciones de cianobacterias

Las floraciones son eventos de multiplicación de organismos del fitoplancton (algas o cianobacterias) en el ambiente natural que se producen en poco tiempo (horas o días) generando cambios importantes en el aspecto y la coloración del agua, siendo reconocidas mundialmente por el deterioro ambiental que las mismas ocasionan (Figura 6.29). Estas floraciones pueden ser producidas tanto por organismos inocuos como por otros que generan toxinas. Las toxinas son liberadas al medio ambiente produciendo gran riesgo a la salud humana y al ecosistema. Las floraciones de cianobacterias tóxicas son una de las principales problemáticas que afectan las costas del departamento de Montevideo y en general en todas las costas del Río de la Plata, especialmente en el período estival. Las mismas están asociadas a la descarga de los ríos Uruguay y Paraná y a fenómenos físicos como son las mareas, los vientos y las corrientes.

En particular en el Río de la Plata, la especie asociada a estos fenómenos ha sido generalmente *Microcystis aeruginosa*, existiendo registros desde el año 1982 (CARP, SHIN, SOHMA, 1990). Las cianobacterias del género *Microcystis* producen potentes hepatotoxinas (microcistinas) que pueden causar efectos letales a altas concentraciones o subletales en



dosis bajas y prolongadas (Komarek *et al.*, 2001; Hoeger *et al.*, 2005; Sivonen *et al.*, 1990). Las microcistinas son un tipo de cianotoxinas que producen diferentes efectos según su concentración, según el organismo receptor o el tiempo de exposición. Las afecciones varían desde reacciones alérgicas hasta la carcinogénesis o necrosis hepática. Existen diferentes métodos para determinar el contenido de microcistinas y uno de los más utilizados para realizar un monitoreo con alto número de muestras es el inmunoensayo (ELISA), metodología que se realiza en el Servicio Laboratorio de Calidad Ambiental.



**Figura 6.29.** Floraciones de cianobacterias en la costa de Montevideo. Izquierda: Playa Pocitos, julio 2008; derecha: Club de pesca “La Estacada”, febrero 2010.

De acuerdo a los registros de observaciones de los muestreos, desde el inicio de este estudio en el año 2008 y hasta el 11 de noviembre de 2009 inclusive, no se detectó presencia de floraciones de cianobacterias. A partir de diciembre del 2009 se observó la presencia de cianobacterias en las fechas y zonas que se detallan en la Tabla 6.12. Debe destacarse que en la temporada estival 2009-2010 se registró el fenómeno del Niño, con alta frecuencia de floraciones de cianobacterias asociado a las abundantes precipitaciones en la cuenca del Río de la Plata. En tanto, en la siguiente temporada 2010-2011 se presentó la Niña, con déficit de precipitaciones y baja frecuencia de floraciones.



Tabla 6.12. Detección de presencia de floraciones de cianobacterias en los muestreos.

Fecha	Ubicación de la floración	Tipo muestreo
09/12/2009	C3S, C3N, Z10, Z13, L5, L6, L7, L8	PSUIV agua
22/01/2009	Desde el Puerto de Montevideo hasta Playa Pascual	PSUIV sedimento
28/01/2010	C1W, C2W, C3W, L8, SC	PSUIV agua
18/02/2010	PYW, PYN, PY EMIS	PSUIV agua
17/03/2010	L7, B5	PSUIV agua
21/04/2010	Concéntrico P.Carretas, PYN, Z34, RAM, ING, CAR	PSUIV agua
21/09/2010	L6	PSUIV agua
22/12/2010	L7, L8, L2B, B1, B2, B3, B4, B5	PSUIV agua
24/01/2011	L5, L6	PSUIV agua
28/02/2011	B1, B2, B4, B5, L3, L4, L5, L6	PSUIV agua

El Servicio Laboratorio de Calidad Ambiental realiza el monitoreo de estas cianobacterias en las playas de Montevideo desde el año 2000, con el fin de prevenir efectos que pueden ser perjudiciales a la salud de los bañistas.

Como se mencionó anteriormente, los resultados de clorofila *a* se utilizan para evaluar el estado trófico del sistema y, en conjunto con la toxicidad por microcistinas, sirven para interpretar y evaluar, en las zonas de uso recreativo, los niveles de riesgo para los bañistas, en base a las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud (Chorus & Bartram, 1999). Allí se definen valores guía asociados a los posibles efectos adversos sobre la salud humana en función de la concentración de células y clorofila *a*, lo que permite establecer rangos para la concentración de microcistinas asociadas (Tabla 6.13).



**Tabla 6.13.** Valores guía de cianobacterias y cianotoxinas para el manejo seguro de aguas de recreación (OMS).

	Probabilidad de efectos adversos en la salud de los bañistas		
	Leve y/o baja	Moderada	Alta
<b>Cianobacterias (células/mL)</b>	15.000-20.000	100.000	$>10^5$ (espuma)
<b>Clorofila a (<math>\mu\text{g/L}</math>)</b>	$<10$	10-50	$> 50$
<b>Toxicidad (<math>\mu\text{g microcistina/L}</math>)<sup>1</sup></b>	2 – 4 (Excepcionalmente 10)	10 – 20 (Excepcionalmente 50)	$> 50$
<b>Riesgos</b>	Con baja frecuencia: Irritación de piel y enfermedades gastrointestinales.	Potencial riesgo de enfermedades a largo plazo. Irritación dérmica y enfermedades gastrointestinales.	Potencial para intoxicaciones agudas y enfermedades a largo plazo. Irritación dérmica. Enfermedades digestivas, pulmonares.
<b>Medidas recomendadas</b> <sup>2</sup>	Colocar señales de advertencia. Informar a autoridades.	Vigilar la formación de espuma. Restringir los baños e investigar el riesgo. Colocar señales de advertencia. Informar a autoridades.	Prevenir contacto con la espuma, prohibir baños y actividades acuáticas de contacto con el agua. Informar al público y autoridades.

<sup>1</sup> Valores referidos en la Guía de la OMS en base a concentraciones de toxina promedio.

<sup>2</sup> La medida real adoptada se debe determinar de acuerdo al grado de uso y evaluación del peligro para la salud pública, teniendo en cuenta que el límite para agua potable es de  $1 \mu\text{g/L}$  de microcistina.

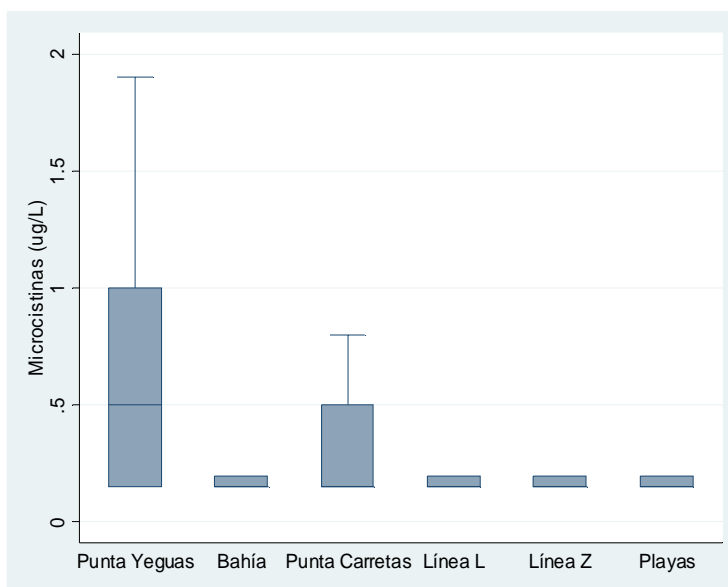
### Microcistinas

En los 20 muestreos realizados desde noviembre del 2007 hasta junio del 2011 se analizaron un total de 329 muestras de microcistinas, en agua superficial. Estos análisis se incorporaron al monitoreo en diciembre del 2009. Se destaca que en los muestreos anteriores a esa fecha no se detectó la presencia de floraciones de cianobacterias. Los valores de microcistinas se encontraron en general en la categoría de baja probabilidad de efectos para la salud de los bañistas excepto en una muestra de playa del Cerro el día 21 de marzo de 2010 en donde se determinó un valor de  $21 \mu\text{g/L}$ . Las tablas con los resultados de estos análisis se reportan en el **Anexo IV**.

En la figura 6.29 se muestra el gráfico de cajas para los valores de microcistinas ( $\mu\text{g/L}$ ) superficiales en las estaciones de muestreo del emisario de Punta Carretas, del proyectado en Punta Yeguas, de la Bahía de Montevideo, líneas L 2000 metros, líneas Z 200 m y playas respectivamente. Se reitera que para el gráfico se eliminaron los valores extremos, los



cuales figuran en el **Anexo IV**.



**Figura 6.30.** Valores de microcistina ( $\mu\text{g/L}$ ) en superficie en Punta Yeguas, Bahía, Punta Carretas, línea L (2000 m), línea Z (200m) y playas respectivamente.

El gráfico muestra la tendencia a mayores valores de microcistinas en la zona del futuro emisario de Punta Yeguas. En el análisis de correlación de Spearman entre microcistinas y salinidad en playas del oeste se pudo determinar una relación negativa entre estas variables con un  $r = -0.6429$  y un  $p = 0.0329$  (Tabla 6.14). Si bien por el momento se dispone de un bajo número de muestras este resultado estaría indicando que la presencia de microcistinas en la costa de Montevideo se asocia a la presencia de agua dulce, la cual está directamente relacionada con las variaciones de caudales aportados por el Río Uruguay.

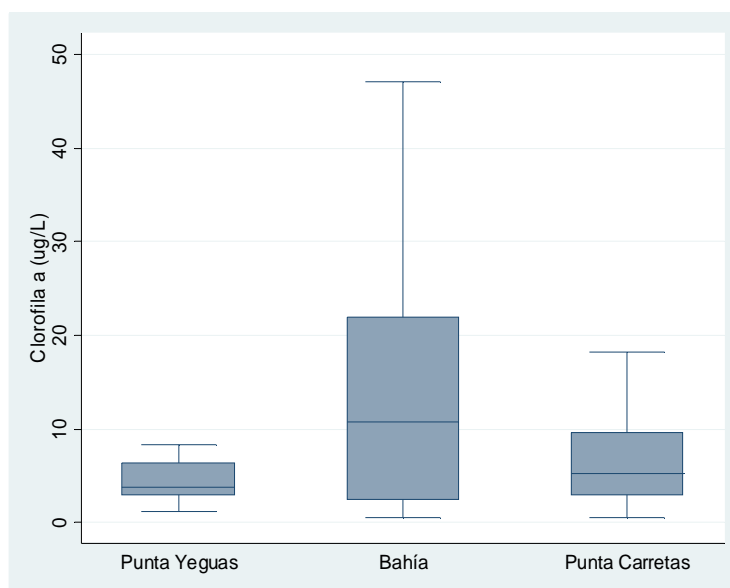
No se encontró correlación entre microcistinas y clorofila *a* en ninguna de las zonas de muestreo (playas, Z, L); ningún valor de clorofila superó los  $50 \mu\text{g/L}$ .





**Tabla 6.15.** Análisis de correlación entre la clorofila ( $\mu\text{g/L}$ ), microcistina ( $\mu\text{g/L}$ ) y salinidad (PSU) en las playas del Oeste. Referencias: r: coeficiente de correlación de Spearman; N: número total de muestras analizadas; p: significancia de la correlación.

Playas del Oeste			
	Microcistina	Clorofila	Salinidad
Microcistina	r=1 N=14		
Clorofila	r= 0.06 N=13 p= 0.84	r=1 N=22	
Salinidad	r= -0.64 N= 11 p= 0.33	r= -0.23 N=19 p= 0.34	r=1 N= 33



**Figura 6.31.** Gráfico de cajas y líneas para los valores clorofila en las estaciones de muestreo de Punta Yeguas, Bahía y Punta Carretas. La línea central engrosada indica la mediana y los límites de la caja corresponden a los percentiles 25 y 75. Las líneas exteriores indican el valor mínimo y máximo en cada caso.

#### 6.4 Metales Plomo (Pb) y Cromo (Cr) en sedimentos

Los metales pesados pueden tener origen natural o antropogénico. El plomo es un elemento no esencial que resulta tóxico para la biota en concentraciones elevadas. El cromo, si bien es un elemento esencial, también puede ser tóxico para los organismos vivos a partir de determinadas concentraciones. En general los metales se integran a los sistemas acuáticos por deposición atmosférica, o por escorrentía. Mediante procesos variados (adsorción,



precipitación) alcanzan el fondo del mar y se incorporan a los sedimentos marinos, asociándose mayormente a los materiales de menor granulometría. De esa forma constituyen una vía de exposición para los organismos acuáticos, por lo que es importante conocer sus concentraciones así como la afectación de sus flujos naturales por las actividades humanas. Por otra parte debe tenerse en cuenta que los mismos no necesariamente permanecen retenidos en los sedimentos, pudiendo ser liberados a la columna de agua por cambios en las condiciones ambientales y, en especial, el dragado es una actividad que moviliza los contaminantes de los sedimentos.

Dado que no existe normativa nacional para sedimentos, se utilizan guías internacionales que establecen diferentes niveles riesgo en relación a la concentración de metales. Las mismas son herramientas útiles para identificar las concentraciones a partir de las cuales es probable observar efectos adversos en la biota (aumento de mortandad, descenso de diversidad y abundancia, desarrollo de anomalías, etc). A los efectos de este informe se han tomado como referencia los niveles guía establecidos por Canadá para la protección de la vida acuática: “*Canadian Sediment Quality Guidelines for the protection of Aquatic Life*” (Tabla 6.16), en donde se establecen dos niveles de concentración, ISQG (*Interim Sediment Quality Guidelines*) y PEL (*Probable Effect Levels*), quedando definidos los siguientes tres niveles:

- concentraciones menores de ISQG, raramente asociadas a efectos biológicos adversos;
- concentraciones entre ISQG y PEL, ocasionalmente asociadas a efectos biológicos adversos;
- concentraciones superiores a PEL, frecuentemente asociadas a efectos biológicos adversos.

**Tabla 6.16.** Valores guía de cromo y plomo para sedimentos marinos\*

	<b>Cromo (mg/Kg)</b>	<b>Plomo (mg/Kg)</b>
<b>ISQG (Interim Sediment Quality Guidelines)</b>	52,3	30,2
<b>PEL (Probable Effect Levels)</b>	160	112

\* “*Canadian Sediment Quality Guidelines for the protection of Aquatic Life*”

Debe destacarse que si bien el estudio de la línea de base de metales en sedimentos, en el marco de este Programa comenzó en marzo del año 2009, el estudio de sedimentos de la Bahía se viene realizando desde el año 2002 como parte del Programa de Monitoreo de Cursos de Agua. En ambos programas se utilizan las mismas metodologías de análisis, por lo que el procesamiento de datos de la Bahía incluye los resultados desde el año 2002.

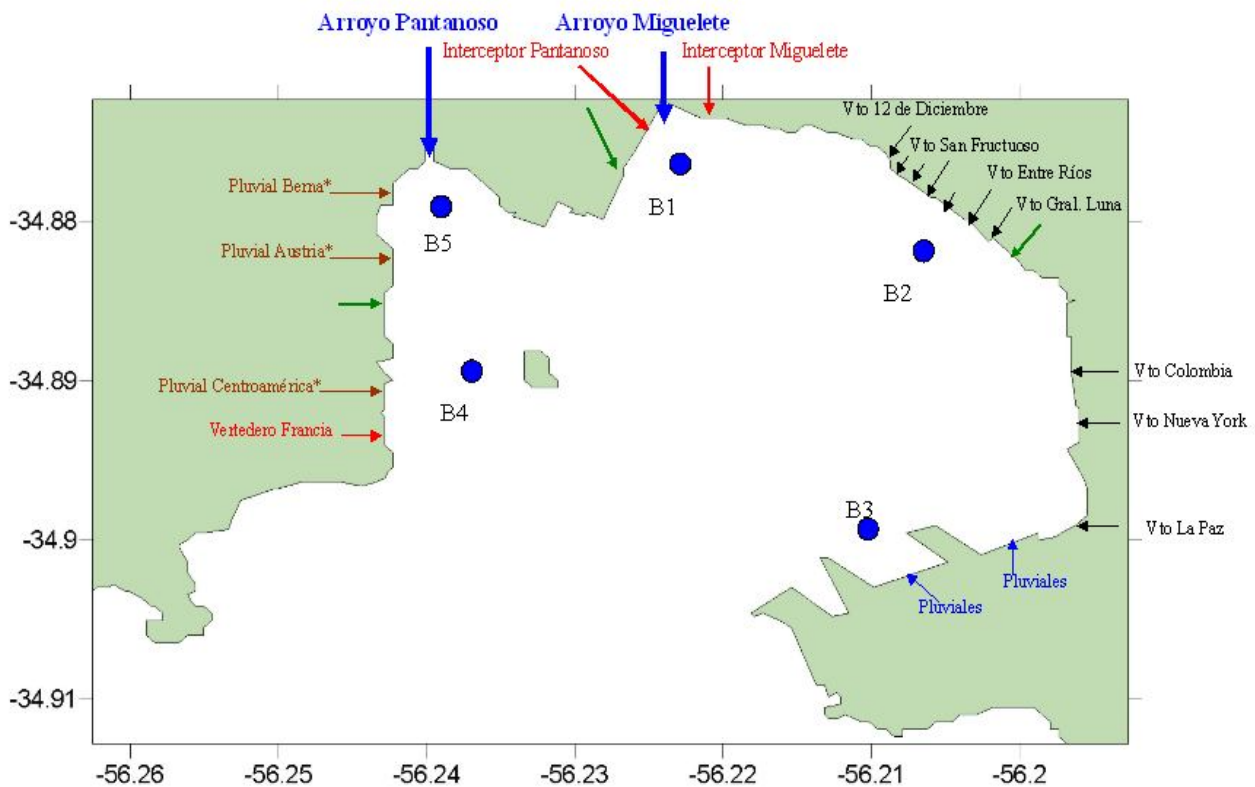
#### **6.4.1 Estaciones en la Bahía de Montevideo**

La Bahía de Montevideo es un espejo de agua de 1200 hectáreas, cuya profundidad varía entre 0,5 a 3,5 metros, que alcanza más de 10 metros en zonas de dragado continuo. En la Bahía se localizan tres instalaciones fundamentales para el país: el Puerto de Montevideo, la Central Termoeléctrica y la Refinería de la Teja. La Bahía es receptora natural de los arroyos



Pantanosos y Miguelete, y además recibe aportes de algunos pluviales y descargas transitorias de la red de saneamiento. En la Bahía de Montevideo se estudian cinco estaciones de monitoreo de sedimentos, que se identifican con la siguiente notación:

- B1: Desembocadura del arroyo Miguelete
- B2: Descarga del arroyo Seco
- B3: Recinto Portuario
- B4: Oeste de la Isla Libertad
- B5: Desembocadura del arroyo Pantanosos



\* Pluviales con carga de aguas domésticas

**Figura 6.32.** Mapa de la Bahía de Montevideo donde se encuentran marcadas las estaciones de muestreo y los tributarios que descargan en la misma.

De la evaluación de las 21 campañas de muestreo realizadas en el período 2002- 2011 (Tabla 6.16), surge que los mayores valores promedio de cromo en sedimentos se encuentran en la estación B5, frente a la desembocadura del arroyo Pantanosos y en la estación B1, frente al arroyo Miguelete (482 y 249 mg/Kg respectivamente). En el caso del plomo, la estación B2 (frente a la zona de descarga del arroyo Seco) y B1 son las estaciones donde se encontraron mayores concentraciones del metal, con valores promedio de 196 y 148 mg/Kg, respectivamente. Por otra parte, como se muestra en la (Tabla 6.16), los



**Intendencia de Montevideo**

Desarrollo Ambiental

SERVICIO LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL

máximos valores puntuales de cromo se registraron en las estaciones B4 y B5, mientras que para el plomo los máximos se registraron en B2 y B5.



**Tabla 6.16.** Valores de cromo y plomo en estaciones de la Bahía de Montevideo.

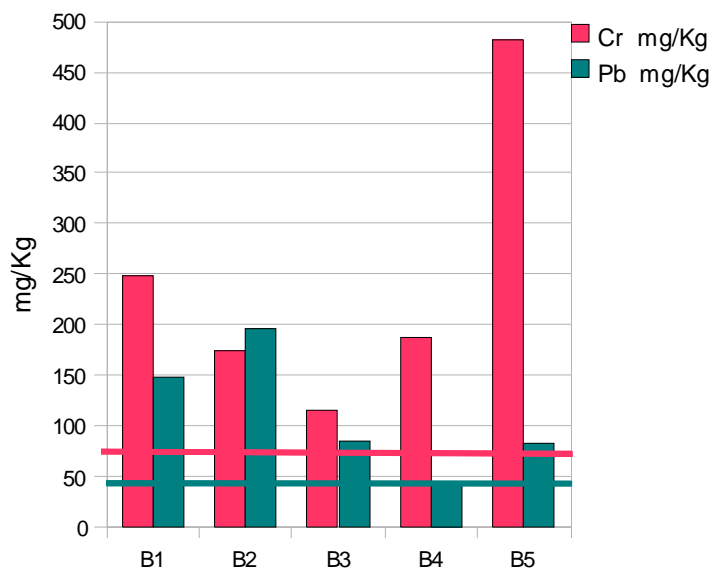
	Estación	Nº muestras	Mín	Máx	Promedio	Nº Muestras <30,2	Nº Muestras >30,2 y >112	Nº Muestras >112
Pb (mg/Kg)	B1	15	65	306	148	0	4	11
	B2	21	78	513	196	0	3	18
	B3	19	35	170	85	0	16	3
	B4	16	18	93	43	4	12	0
	B5	13	37	337	83	0	12	1

	Estación	Nº muestras	Mín	Máx	Promedio	Nº Muestras <52,3	Nº Muestras >52,3 y >160	Nº Muestras >160
Cr (mg/Kg)	B1	15	79	616	249	0	7	8
	B2	19	83	373	175	0	9	10
	B3	17	21	179	115	2	12	3
	B4	15	17	1454	187	11	2	2
	B5	13	42	1353	482	1	1	11

Para las estaciones B1 y B2, las concentraciones de plomo de la mayoría (más del 70%) de las muestras analizadas superan el valor PEL, y el porcentaje restante está entre el ISQG y el PEL. Sin embargo para las estaciones B3, B4 y B5, la mayoría de las muestras analizadas (más del 75%) se encuentran entre el ISQG y el PEL.

En el caso del metal cromo, en las estaciones B1 y B2, las concentraciones del 53% de las muestras analizadas superan el valor de PEL y el 47% restante están entre el ISQG y el PEL. Para el resto de las estaciones la situación es diferente y los valores se distribuyen según la Tabla 6.16.

En la Figura 6.33 se muestra la gráfica de los valores promedio de cada metal para todas las estaciones de la Bahía en el período de tiempo estudiado.



**Figura 6.33.** Valores promedio de metales en las estaciones de la Bahía de Montevideo en el período 2002-2011.

Las líneas horizontales corresponden a los valores guía de ISQG para Cr (52.3 mg/kg) y Pb (30.2 mg/kg), según la *Canadian Sediment Quality Guidelines for the protection of Aquatic Life*.

#### 6.4.2 Estaciones Cercanas (Z)

En la Tabla 6.17 se muestran los resultados promedio, valores máximos y mínimos de los metales estudiados en los sedimentos de las estaciones cercanas, ubicadas a 200 metros de la costa.



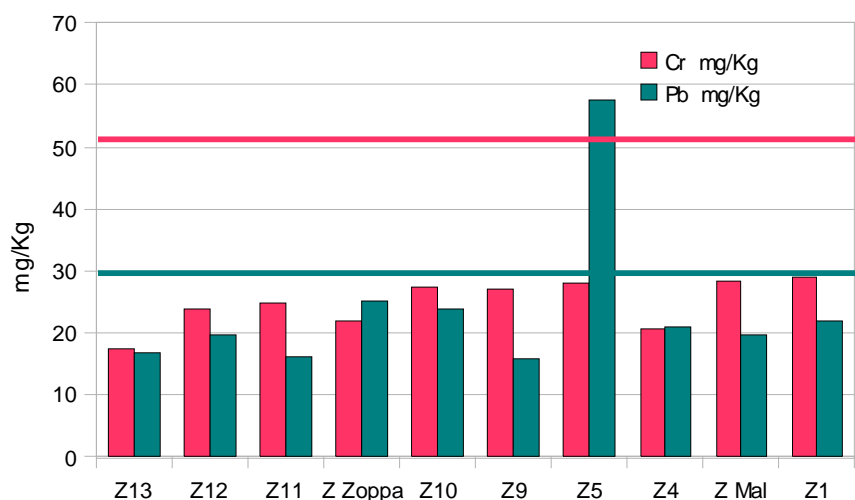
**Tabla 6.17.** Valores de Pb y Cr en sedimentos de estaciones cercanas.

	Muestra	Nº muestras	Mín	Máx	Promedio	Nº Muestras <30,2	Nº Muestras >30,2 y >112	Nº Muestras >112
PLOMO (mg/ kg de sólido seco)	Z1	3	20	25	22	3	0	0
	Z4	3	17	23	21	3	0	0
	Z5	4	29	105	62	1	3	0
	Z9	3	8	20	16	3	0	0
	Z10	2	22	26	24	2	0	0
	Z11	3	11	19	16	3	0	0
	Z12	3	9	27	20	3	0	0
	Z13	2	11	23	17	2	0	0
	Z Mal	2	18	21	20	2	0	0
Z Zoppa	3	14	33	25	2	1	0	

	Muestra	Nº muestras	Mín	Máx	Promedio	Nº Muestras <52,3	Nº Muestras >52,3 y >160	Nº Muestras >160
CROMO (mg/ kg de sólido seco)	Z1	3	25	33	29	3	0	0
	Z4	3	17	27	21	3	0	0
	Z5	4	24	32	28	4	0	0
	Z9	3	22	34	27	3	0	0
	Z10	2	26	29	28	2	0	0
	Z11	3	17	32	25	3	0	0
	Z12	3	18	28	24	3	0	0
	Z13	2	16	19	17	2	0	0
	Z Mal	2	22	35	28	2	0	0
Z Zoppa	3	11	28	22	3	0	0	

Como se muestra en la Tabla 6.17 y en la Figura 6.33, en la mayoría de las estaciones cercanas se registraron valores promedio de plomo menores al valor guía (30 mg/kg) de sedimento, salvo el caso de Z5 (frente a playa Ramírez) donde el valor promedio de concentración es de 58 mg/kg. Para el caso de cromo, ninguna de las estaciones supera los 30 mg/kg de sedimento, es decir que los valores de las concentraciones de cromo promedio están muy por debajo del ISQG (52.3 mg/kg) que establecen las guías de Canadá.





**Figura 6.34.** Valores promedio de Cr y Pb en sedimentos de estaciones cercanas en el período 2002-2011.

Las líneas horizontales corresponden a los valores guía de ISQG para Cr (52.3 mg/kg) y Pb (30.2 mg/kg), según la *Canadian Sediment Quality Guidelines for the protection of Aquatic Life*.

### 6.4.3 Estaciones de influencia de descarga de emisarios

En la Tabla 6.18 y la Figura 6.35 se muestran los resultados de los metales analizados en los sedimentos de las estaciones en la zona de los emisarios.



**Tabla 6.18.** Valores de Pb y Cr en sedimentos de estaciones de influencia del Emisario de Punta Carretas y Punta Yeguas.

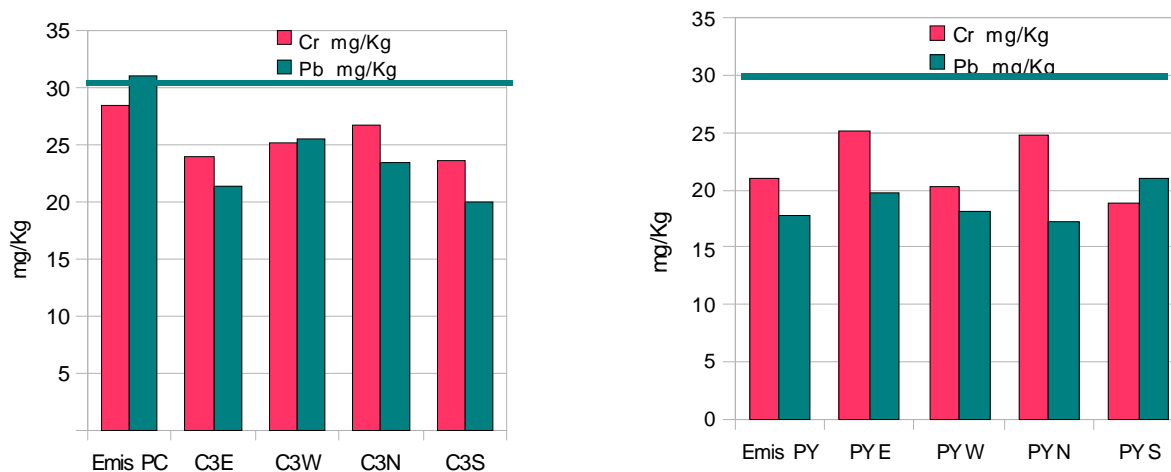
	Muestra	Nº muestras	Mín	Máx	Promedio	Nº Muestras <30,2	Nº Muestras >30,2 y >112	Nº Muestras >112
PLOMO (mg/Kg de sólido seco)	Emis PC	4	18	50	31	3	1	0
	C3W	5	16	45	26	4	1	0
	C3E	5	13	24	21	5	0	0
	C3S	5	15	26	20	5	0	0
	C3N	5	16	28	23	5	0	0

	Muestra	Nº muestras	Mín	Máx	Promedio	Nº Muestras <52,3	Nº Muestras >52,3 y >160	Nº Muestras >160
CROMO (mg/Kg de sólido seco)	Emis PC	4	18	34	28	4	0	0
	C3W	5	11	32	25	5	0	0
	C3E	5	7	34	24	5	0	0
	C3S	5	11	30	24	5	0	0
	C3N	5	13	35	27	5	0	0

	Muestra	Nº muestras	Mín	Máx	Promedio	Nº Muestras <30,2	Nº Muestras >30,2 y >112	Nº Muestras >112
PLOMO (mg/Kg de sólido seco)	Emis PY	5	10	25	18	5	0	0
	PYW	5	9	27	18	5	0	0
	PYE	4	15	28	20	4	0	0
	PYS	4	15	27	21	4	0	0
	PYN	3	15	18	17	3	0	0

	Muestra	Nº muestras	Mín	Máx	Promedio	Nº Muestras <52,3	Nº Muestras >52,3 y >160	Nº Muestras >160
CROMO (mg/Kg de sólido seco)	Emis PY	5	6	29	21	5	0	0
	PYW	5	11	26	20	5	0	0
	PYE	4	20	30	25	4	0	0
	PYS	4	10	29	19	4	0	0
	PYN	3	20	29	25	3	0	0

Para la zona de influencia del Emisario de Punta Carretas se observa que, salvo el punto central (Emis PC), el resto de las estaciones presenta concentraciones promedio de metales pesados inferiores a los valores guía. La concentración promedio de Plomo en el punto de descarga del emisario de Punta Carretas es apenas superior al límite de 30 mg/kg de sedimento. A su vez, en el punto C3W, se encontró un valor puntual de Pb en sedimentos entre ISQG y el PEL. Para la zona de influencia del futuro Emisario de Punta Yeguas, todas las estaciones presentan concentraciones promedio y valores puntuales de metales pesados inferiores a los valores guía.

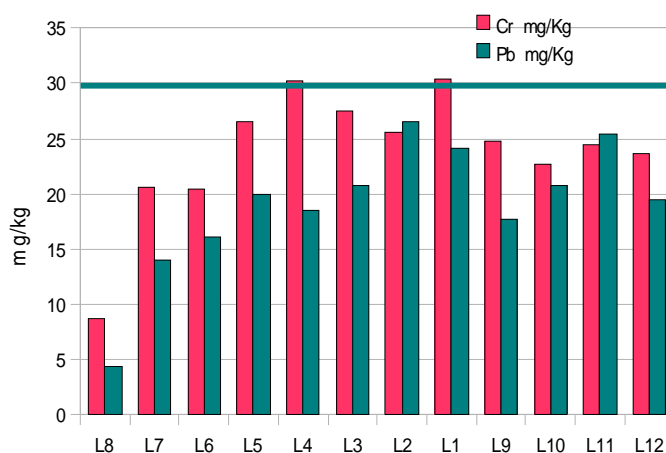


**Figura 6.35.** Valores promedio de Cr y Pb en sedimentos de estaciones de la zona de influencia de emisarios.

La línea horizontal corresponde al valor guía de ISQG para Pb (30.2 mg/kg), según la *Canadian Sediment Quality Guidelines for the protection of Aquatic Life*.

#### 6.4.4 Estaciones lejanas (L)

En la Tabla 6.19 y Figura 6.36 se muestran los resultados de los metales estudiados en los sedimentos de las estaciones en la línea a 2000 metros de la costa y abarcan la zona comprendida desde Playa Pascual hasta el Arroyo Pando. Todas las estaciones lejanas presentan valores de concentración promedio de plomo y cromo inferiores a los valores guía de Canadá. Sin embargo, se destaca que algunos valores puntuales de Pb exceden los valores guía (Tabla 6.35). Del total de 5 muestras analizadas, en las estaciones L1 (frente al arroyo Carrasco), L3 (frente a la Bahía) y L11 (al Este del arroyo Carrasco) se encontró un valor puntual de concentración de Pb en sedimentos entre ISQG y el PEL. En tanto, para la estación L2 (frente al arroyo Malvín) de un total de 5 muestras analizadas, se encontraron dos valores puntuales entre ISQG y el PEL.





**Figura 6.36.** Valores promedio de Cr y Pb en sedimentos de estaciones lejanas (a 2000 m de la costa).

La línea horizontal corresponde al valor guía de ISQG para Pb (30.2 mg/kg), según la *Canadian Sediment Quality Guidelines for the protection of Aquatic Life*.

**Tabla 6.19.** Plomo y Cromo en sedimentos de estaciones lejanas.

	Muestra	Nº muestras	Mín	Máx	Promedio	Nº Muestras <30,2	Nº Muestras >30,2 y >112	Nº Muestras >112
PLOMO (mg/Kg de sólido seco)	L1	5	18	33	24	4	1	0
	L2	5	15	34	27	3	2	0
	L3	5	0	31	21	4	1	0
	L4	5	0	25	19	5	0	0
	L5	4	7	28	20	4	0	0
	L6	4	2	22	16	4	0	0
	L7	4	4	21	14	4	0	0
	L8	4	0	10	4	4	0	0
	L9	5	10	23	18	5	0	0
	L10	5	15	28	21	5	0	0
	L11	5	19	36	25	4	1	0
	L12	5	17	21	20	5	0	0

	Muestra	Nº muestras	Mín	Máx	Promedio	Nº Muestras <52,3	Nº Muestras >52,3 y >160	Nº Muestras >160
CROMO (mg/Kg de sólido seco)	L1	5	22	40	30	5	0	0
	L2	5	17	32	26	5	0	0
	L3	5	22	37	27	5	0	0
	L4	5	23	34	30	5	0	0
	L5	4	18	33	26	4	0	0
	L6	4	14	26	21	4	0	0
	L7	4	18	25	21	4	0	0
	L8	4	1	20	9	4	0	0
	L9	5	14	30	25	5	0	0
	L10	5	6	31	23	5	0	0
	L11	5	7	36	24	5	0	0
	L12	5	11	29	24	5	0	0

En la Tabla 6.20 se resumen los resultados de Pb y Cr de los sedimentos, señalando con códigos de colores, los distintos niveles en relación a los valores guía de Canadá para la protección de la vida acuática. Se destaca que en las únicas estaciones donde los valores promedio de ambos metales están por encima de los correspondientes niveles PEL son las estaciones B1 y B2 de la Bahía de Montevideo, con valores notoriamente superiores a dicho límite. En las estaciones B4 y B5 se presentan valores promedio de Pb comprendidos entre el ISQG Y PEL, y valores de Cr superiores a los PEL. Todas las estaciones cercanas y lejanas a excepción de Z5 presentan valores promedio de plomo y cromo en sedimentos por debajo de los ISQG. En tanto en el emisario Punta Carretas, sólo la estación central (Emis PC) presenta valores de plomo promedio entre el ISQG y el PEL mientras que en el futuro emisario Punta Yeguas, todas las estaciones presentan valores de plomo y cromo menores a los ISQG respectivos.



**Tabla 6.20.** Resumen de resultados de Plomo y Cromo en sedimentos en relación a los valores guía de Canadá.

### A) Estaciones en la Bahía de Montevideo

Muestra	B1	B2	B3	B4	B5
Cr mg/Kg	249	175	115	187	482
Pb mg/Kg	148	196	85	43	83

### B) Estaciones cercanas

Estación	Z13	Z12	Z11	Z Zoppa	Z10	Z9	Z5	Z4	Z Mal	Z1
Cr mg/Kg	17	24	25	22	28	27	28	21	28	29
Pb mg/Kg	< 20	20	< 20	25	24	< 20	58	21	20	22

### C) Estaciones de influencia de descarga de los emisarios

Estación	Emis PC	C3E	C3W	C3N	C3S
Cr mg/Kg	28	24	25	27	24
Pb mg/Kg	31	21	26	23	20

Estación	Emis PY	PYE	PYW	PYN	PYS
Cr mg/Kg	21	25	20	25	19
Pb mg/Kg	< 20	20	< 20	< 20	21

### D) Estaciones lejanas

Estación	L8	L7	L6	L5	L4	L3	L2	L1	L9	L10	L11	L12
Cr mg/Kg	< 10	21	21	26	30	27	26	30	25	23	24	24
Pb mg/Kg	< 20	< 20	< 20	20	< 20	21	27	24	< 20	21	25	20



## Códigos de colores

Pb (mg/kg)			Cr (mg/kg)		
< 30,2	>30,2 <112	> 112	< 52,3	>52,3 <160	> 160
Conc. raramente asociadas a efectos adversos	Conc. ocasionalmente asociados a efectos adversos	Conc. frecuentemente asociados a efectos adversos	Conc. raramente asociadas a efectos adversos	Conc. ocasionalmente asociados a efectos adversos	Conc. frecuentemente asociados a efectos adversos

- Concentraciones menores de ISQG, (raramente asociadas a efectos biológicos adversos): color verde
- Concentraciones entre ISQG y PEL, (ocasionalmente asociadas a efectos biológicos adversos): color amarillo
- Concentraciones superiores a PEL, (frecuentemente asociadas a efectos biológicos adversos): color rojo

### 6.5 Bioensayos en agua y sedimentos

Un bioensayo es un estudio sistemático que permite detectar la presencia de gran diversidad de agentes tóxicos en un solo análisis a través del o los efectos producidos en una población de seres vivos expuestos a dicho agente.

Los contaminantes que ingresan a los ecosistemas acuáticos pueden sufrir modificaciones fisicoquímicas y/o biológicas, transformándose en otros compuestos que pueden incorporarse a los ciclos biogeoquímicos o ingresar en las cadenas tróficas, bioacumulándose y biomagnificándose.

El ensayo biológico determina los efectos que los compuestos tóxicos ejercen sobre los seres vivos utilizados, identificándolos y cuantificándolos con metodologías estandarizadas. Se realiza una categorización basada en los resultados de cierto número de ensayos de laboratorio con especies sensibles a los contaminantes que son indicativas de varios niveles tróficos (por ejemplo, bacterias, algas, invertebrados, vertebrados). Los resultados pueden ser cuantificados de diversas maneras; usualmente se expresa la concentración del producto frente a la cual una parte de la población testada (usualmente el 50%) muestra efectos tóxicos. Finalmente, se llega a un índice de biotoxicidad que permite calificar la muestra.

En este informe se presentan los resultados realizados sobre dos especies sensibles a los potenciales contaminantes del ecosistema investigado, *Hyaella curvispina* (Crustacea, Anfiboda) y *Vibrio fisheri* (Bacteria). El ensayo de *Hyaella curvispina* es un ensayo de toxicidad aguda, cuyo punto final sobre el cual se mide el efecto es la sobrevivencia o muerte de los individuos expuestos. Esto indica que los tóxicos presentes deben estar biodisponibles y en altas concentraciones para provocar en corto tiempo un efecto letal sobre los individuos expuestos. Cuando este ensayo presenta mortalidad con significación estadística debe entenderse que el ecosistema del cual proviene la muestra debe estar fuertemente impactado y degradado. Por otro lado, en lo referente al tipo de muestra se debe tener en cuenta que en este ensayo se analiza sedimento entero y que los individuos entran en contacto directo con el sedimento y por tanto con los tóxicos que están adsorbidos a la materia orgánica y/o a la fracción limo-arcillosa del mismo.

El ensayo con *Vibrio fisheri* es un ensayo de toxicidad aguda (15 minutos de tiempo de exposición) cuyo punto final, sobre el cual se mide el efecto, es la disminución de la emisión de luminiscencia. Para perturbar esta emisión alcanza con afectar la actividad del complejo luciferina-luciferasa, dependiente del ATP, por lo que es sensible a cualquier alteración en la



fosforilación oxidativa, vía metabólica clave para la viabilidad de la bacteria. La sensibilidad de este ensayo está limitada por tratarse de un ensayo con células procariotas (bacterias), que no necesariamente refleja su posible toxicidad hacia organismos más complejos.

### 6.5.1 **Resultados de bioensayos en muestras de agua**

En agua, se realizó el bioensayo con *Vibrio fischeri*, Sistema Microtox®, en seis campañas de monitoreo, a partir de abril de 2011 hasta octubre de 2011. Del total de 414 ensayos, solo el 5.6% presentaron toxicidad aguda (Figuras 1 y 2, **Anexo V**). Se detectó toxicidad en muestras de las aguas de la Bahía (estación B1) así como en algunas estaciones en la línea Z a 200 m de la costa: Z1 (frente a playa Carrasco), Z Mal (frente a playa Malvín), Z4 (frente a playa Pocitos), Z5 (frente a playa Ramírez), Z6 (frente a la calle Paraguay), Z Zoppa (frente a playa de la ZZoppa), Z13 (frente a P. Espinillo). En las estaciones lejanas (línea L) se observaron efectos tóxicos en: L2

(frente a playa Malvín), L3 (frente a P. Lobos), L5 (frente a Pajas Blancas). En las estaciones del emisario de Punta Carretas se detectó toxicidad en el punto central (EMIS PC), al este (C3 E), al Oeste (C3 W) y en Punta Yeguas (EMIS PY).

Se observa, por consiguiente, una baja frecuencia de efecto tóxico atribuible a efectos puntuales de contaminantes.

### 6.5.2 **Resultados de bioensayos en muestras de sedimentos**

Los resultados de los ensayos de toxicidad en el sedimento corresponden al procesamiento de 148 muestras en 38 estaciones de monitoreo, en seis campañas de muestreo desde febrero de 2010 hasta agosto de 2011.

Los ensayos se realizaron sobre el elutriado de sedimentos para el ensayo de *Vibrio fisheri* y sobre el sedimento entero para el ensayo de *Hyalella curvispina*. Se considera, a los efectos de este informe, que el sedimento de una estación califica como tóxico si en esa estación se encuentran efectos tóxicos en ambos ensayos: *Hyalella curvispina* y *Vibrio fischeri*. Siguiendo este criterio, los resultados confirman toxicidad en todas las estaciones de la Bahía y en todas las estaciones en la zona del emisario de Punta Carretas; no se confirma toxicidad con ambos ensayos para la zona del proyectado emisario de Punta Yeguas (**Anexo V**). Como se muestra en dicho Anexo, las demás estaciones que presentaron toxicidad según el criterio definido son: Z Zoppa y L4 (a 200 m y 2000 de playa Dellazzopa) así como las estaciones lejanas L 9 (frente al Arroyo Carrasco), L2 (frente a playa Malvín) y las estaciones L7 y L8, frente al área de influencia de la desembocadura del Río Santa Lucía y L6, a 2000 m de la costa desde Punta Espinillo. Los resultados de las categorizaciones de toxicidad se muestran en el mapa del **Anexo V**.





## 7. CONCLUSIONES

### Calidad de Agua (en superficie y profundidad)

Los resultados de este informe confirman los antecedentes de la zona de estudio (desde el Río Santa Lucía al Arroyo Carrasco) en referencia al frente de salinidad y turbiedad, estableciéndose una zonificación con características significativamente diferentes para diversos parámetros fisicoquímicos y biológicos, en dirección Este-Oeste. Se distingue la zona Oeste que comprende los puntos de muestreo al oeste de Punta Yeguas hasta la desembocadura del Río Santa Lucía, la zona Este conteniendo los puntos de muestreo al este de Punta Carretas hasta la desembocadura del Arroyo Carrasco, y la zona Intermedia entre ambas. Se realizó una evaluación individualizada para las estaciones de monitoreo en Bahía, emisario de Punta Carretas y proyectado de Punta Yeguas. A continuación, se resumen las principales conclusiones para cada parámetro fisicoquímico y biológico por zonas.

#### ***Oxígeno disuelto***

Los valores promedio de oxígeno disuelto encontrados en todas las estaciones de muestreo (excepto en B1) cumplen con la normativa para cursos de agua Clase 3 (mínimo 5 mg/L). Si bien se registraron algunos valores puntuales que no cumplen con la normativa, el valor promedio supera la concentración mínima establecida en el Decreto reglamentario. Estos resultados indican condiciones aeróbicas tanto en superficie como en profundidad para toda la zona de estudio en el período monitoreado, salvo en el punto de la Bahía en la desembocadura del Arroyo Miguelete.

#### ***pH***

Los valores de pH del área de estudio están comprendidos dentro del rango establecido por la normativa (6.5 -8.5), salvo en dos muestreos de verano (Diciembre 2010 y Febrero de 2011) en donde se detectaron floraciones de cianobacterias. En estas dos fechas se registraron valores de pH de 9 entre la salida de la Bahía y Pajas Blancas (L3 a L5) y porcentajes de saturación de oxígeno mayores al 100 %, por elevada actividad fotosintética.

#### ***Temperatura***

Del análisis de resultados a nivel espacial, no se registraron diferencias significativas entre zonas, así como tampoco hay diferencias entre superficie y profundidad (no hay estratificación térmica). Se registra estacionalidad entre las temperaturas de verano comparadas con las del resto del año.

#### ***Salinidad***

En términos generales se detectó un marcado gradiente de salinidad tanto en superficie como en profundidad, que aumenta de Oeste a Este. Existe una débil estacionalidad entre la temporada estival y el resto del año, verificada estadísticamente.

Se confirmó la estratificación salina, existiendo diferencias significativas entre superficie y profundidad para toda el área de estudio (siendo mayor en profundidad).

Es de interés señalar las diferencias altamente significativas de las salinidades de los Emisarios y la Bahía, siendo la relación: Emisario P. Carretas > Bahía > P. Yeguas, lo cual concuerda con el gradiente espacial Oeste - Este.



### ***Turbiedad***

El comportamiento de la turbiedad a nivel espacial varía según la distancia a la costa y también entre superficie y profundidad.

A nivel de playas, existe un gradiente de concentración que aumenta de Oeste a Este, mientras que en las estaciones lejanas (2000 m) el gradiente es inverso. A nivel de playas, existe mucha perturbación en los valores de turbiedad que dependen de la dinámica y morfología de la costa. A 2000 metros ya puede establecerse un patrón regido por la hidrodinámica del Río de la Plata y sus tributarios, en el caso de la zona oeste se reciben los aportes del Río Santa Lucía, Río Uruguay y está presente el frente de turbiedad.

También se registró significancia estadística relacionada con la temporada estival comparada con el resto del año.

### ***Nitrógeno Total (NT) y Fósforo Total (PT)***

Los resultados obtenidos durante esta fase del Programa de Monitoreo, muestran que es posible distinguir sub - áreas dentro de la zona de estudio con características significativamente diferentes tanto en playas, como en las líneas costeras (Z) y lejanas (L). La zona de la Bahía de Montevideo, tiene un comportamiento atípico causado por sus características geográficas y las fuertes intervenciones antropogénicas que ha sufrido desde el siglo pasado, siendo además el desagüe natural de dos de los arroyos más afectados de Montevideo.

En la línea de playas, se destaca una tendencia decreciente para el NT desde Oeste a Este, mientras que para el fósforo total hay una alta variabilidad, no permitiendo establecer tendencias espaciales. Se confirmó estadísticamente la existencia de estacionalidad verano - resto del año, siendo las concentraciones de nutrientes en columna de agua mayor en la temporada estival.

En las estaciones costeras cercanas (Z) se aprecia un gradiente espacial de concentraciones, con valores mayores de PT y NT en la zona Oeste, descendiendo hacia el Este hasta Punta Lobos (Z10). Para el NT, si bien los máximos registrados se ubicaron también en la zona Oeste de la ciudad, con una leve disminución hasta Z10, luego se registró una tendencia creciente hacia el Este.

En las estaciones lejanas (L) se observa más claramente la tendencia decreciente de concentraciones tanto de NT como PT desde Oeste a Este con fluctuaciones a partir del punto L2b, frente a la calle Paraguay.

Al igual que con el NT, también se observa una mayor concentración de PT en superficie que en profundidad para todo el período evaluado (2009 - 2011) en las estaciones lejanas (2000 m). Este comportamiento aún no puede ser explicado con certeza, siendo necesaria una serie temporal con mayor número de datos para su correlación con otros parámetros tales como la turbiedad y clorofila a, así como el estudio de las formas disueltas del nitrógeno y fósforo que se comenzaron a determinar recientemente.

Para estaciones costeras cercanas y lejanas se confirmó estadísticamente la existencia de estacionalidad verano - resto del año, siendo las concentraciones de nutrientes en columna de agua mayor en la temporada estival.

Para la zona de la Bahía los valores de NT y PT detectados tanto en superficie como en



profundidad fueron los más elevados, comparados con el resto de las sub áreas evaluadas, registrándose el valor máximo de concentraciones en el punto de muestreo B1. Esta elevada concentración de nutrientes responde a varios efectos sinérgicos que ocurren en este microsistema, desde su patrón de circulación, los aportes con altas cargas de materia orgánica y nutrientes hasta los vertidos de la intensa actividad industrial y portuaria.

Comparando los puntos centrales de los emisarios Punta Carretas y el proyectado en Punta Yeguas, se ve la tendencia de mayores concentraciones de nutrientes en el Oeste que en el Este, tal como se ha mencionado para las diferentes transectas.

Se destaca una alta correlación positiva entre el fósforo total y la turbiedad.

### **Clorofila a**

Los mayores valores obtenidos de clorofila a se encuentran en la Bahía de Montevideo, con alta incidencia de valores correspondientes a calidad de agua Pobre según la USEPA (2008). Por otra parte, se observa un patrón de clorofila creciente en dirección Oeste-Este. Sin embargo, no se encontró correlación significativa de la clorofila con ningún parámetro fisicoquímico ni microbiológico. A pesar de que no se encontró correlación significativa, se observa que la mayor concentración de clorofila se registra en las estaciones a 2000 m en la zona Este, lo cual se corresponden con la tendencia de la menor turbiedad. La menor turbiedad en la zona Este del área de estudio, determina una mayor disponibilidad de luz para el desarrollo de fitoplancton y por lo tanto un incremento en el indicador clorofila a, en un sistema donde los nutrientes no son limitantes. Esta tendencia no se observa en las playas, donde la turbiedad es similar en el oeste y en el medio y levemente superior en el este. Para una mejor interpretación de las variables determinantes de la distribución de clorofila a, a partir del año 2012 se incorpora a este estudio el análisis de fitoplancton (identificación de grupos funcionales) para evaluar su comportamiento en función de las especies identificadas.

### **Floraciones de cianobacterias**

En el análisis de correlación de Spearman entre microcistinas y salinidad en playas del oeste se pudo determinar una relación negativa entre estas variables con un  $r = -0,6429$  y un  $p = 0,0329$ . Si bien por el momento se dispone de un bajo número de muestras, este resultado estaría indicando que la presencia de microcistinas en la costa de Montevideo se asocia a la presencia de agua dulce, la cual está directamente relacionada con el gradiente de salinidad creciente en dirección oeste - este.

No se encontró correlación entre la concentración de microcistinas y la clorofila a. Esta situación puede ocurrir debido a que la mayoría de las muestras han sido tomadas sin presencia de cianobacterias (espuma cianobacteriana). En algunos casos los muestreos han coincidido con la presencia de colonias de cianobacterias dispersas (en bajas concentraciones). Los valores elevados de clorofila a también pueden deberse a la presencia de cualquier otro tipo de alga, diferentes a las cianobacterias, pero que poseen clorofila a como pigmento fotosintético.

### **Sedimentos**

Los estudios de calidad de aguas se complementaron con la caracterización de sedimentos ya que los mismos constituyen una matriz de acumulación de contaminantes. En este informe se reportan los estudios de metales (Plomo y Cromo) y de ecotoxicidad realizados



**Intendencia de Montevideo**

Desarrollo Ambiental

SERVICIO LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL

en el Servicio Laboratorio de Calidad Ambiental. En Convenio con la Facultad de Ciencias (Sección Oceanografía y Ecología Marina) se ejecutan, además, estudios de biota en sedimentos, cuyos resultados serán incluidos en el próximo informe.

### **Metales**

En coincidencia con los resultados de calidad de agua, los sedimentos de la Bahía de Montevideo presenta los mayores niveles de contaminación de metales comparados con las demás zonas estudiadas. Los sedimentos de las estaciones de la bahía B1 y B2 son las más afectadas presentando valores de concentración de cromo y plomo superiores a los niveles de efecto probable sobre la biota. En la estación B3 (recinto portuario), los valores son menores pero se encuentran entre el valor guía provisional y el nivel de efecto probable sobre la biota; mientras que las estaciones B4 (frente a la playa del Cerro) y B5 (frente al Arroyo Pantanoso) presentan valores promedio de plomo comprendidos entre ambos límites y valores promedio de cromo superiores a los de nivel de efecto probable.

En todas las estaciones a 200 m con excepción de Z5 (frente a playa Ramírez), se encontraron valores de cromo y plomo por debajo de los valores guía. En el caso de Z5, los valores de plomo están comprendidos entre ambos límites antes mencionados. En las estaciones de influencia de descarga de los emisarios, sólo se encontraron valores superiores al valor guía en el punto de muestreo correspondiente al difusor (Emis PC), que presenta valores de plomo entre ambos límites. En todas las estaciones lejanas se presentaron valores de cromo y plomo menores a los valores guía.

### **Bioensayos**

La Bahía y los puntos de influencia directa del emisario de Punta Carretas, son las zonas definidas que confirman un fuerte impacto tóxico. El resto de los puntos donde se confirma toxicidad con ambos ensayos pautan diferentes zonas geográficas restringidas como la zona de las estaciones lejanas L7 y L8 frente a la desembocadura del río Santa Lucía, L6 frente a Punta Espinillo, L2 frente al arroyo Malvín, L9 frente al Arroyo Carrasco y L12 frente al Arroyo Pando. En las estaciones cercanas se detectó toxicidad en la estación Zzopa por posible arrastre de sedimentos provenientes de la Cañada Dellazzopa.



## 8. REFERENCIAS

APHA 2005. American Public Health Association. Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water 21st. Ed.

Biological Test Method: Test for Survival and Growth in Sediment Using the Freshwater Amphipod *Hyalella azteca*. Report EPS 1/RM/33, 123pp.

Brena B.M., Díaz, L., Sienra, D., Ferrari, G., Ferraz, N., Hellman, U., Gonzalez-Sapienza, G., Last JA., (2006); ITREOH Building of Regional Capacity to Monitor Recreational Water: Development of a Non-commercial Microcystin ELISA and Its Impact on Public Health Policy” Int J Occup Environ Health 12, 377–385.

Campos, E. J.; Busalacchi, A.; Garzoli, S.; Lutjeharms, J.; Matano, R.; Nobre, P.; Olson, D.; Piola, A.; Tanajura, C.; Wainer, I. 1999. The South Atlantic and the climate. The Ocean Observing System for Climate, 1999, St. Raphael, France. OCEANOBS99.

Piola, A. R., R. P. Matano, E. D. Palma, O. O. Moller, & E. J. D. Campos (2005), The influence of the Plata River discharge on the western South Atlantic Shelf, Geophys. Res. Lett., 32, L01603, doi:10.1029/2004GL021638.

CCME (Canadian Council of Ministers of the Environment), 2002, Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life, Environmental Quality Guidelines.

CARP- SHIN- SOHMA, 1990. Estudio para la evaluación de la contaminación en el Río de la Plata. Informe de avance 1989. 422 p. 2 vols, 422 p.

Carpenter S. R. (2005). Eutrophication of aquatic ecosystems: Bistability and soil phosphorus. Environmental Sciences, vol.102, 29:10002-10005.

Chorus, I & Bartram, J. 1999. Toxic cyanobacteria in water. A guide to public health consequences, monitoring and management. E & FN Spon (eds.) and WHO. 416p

Decreto N° 253/79 del Poder Ejecutivo y sus modificativos.

Environment Canada, November 1992. Biological Test Method, Toxicity Test Using Luminiscent Bacteria. Report EPS 1/RM/24

Hoeger S, Hitzfeld B & Dietrich D. 2005. Occurrence and elimination of cyanobacterial toxins in drinking water treatment plants. Toxicology and Applied Pharmacology 203 231-242.

Kauppi, L. (1990). Hydrology: Water quality changes. En Solomon, A.M. and Kauppi, L. (Eds.). Toward ecological sustainability in Europe. International Institute for Applied System Analysis, 43-66 pp, Laxemburg, Austria.

Komarek J, Azevedo S, Domingos P, Komarkova J & Tichý M. 2001. Background of the Caruaru tragedy; a case taxonomic study of toxic cyanobacteria. Algological Studies 103 (Cyanobacterial Research 2) 9-29.



Lee R.E. (1995) Phycology. Cambridge Univ. Press. Cambridge, 645p.

López Laborde, J. (1997). Marco geomorfológico y geológico del Río de la Plata. En Wells, P., y Daborn, G. (Eds.). El Río de la Plata. Una Revisión sobre su ambiente. Un informe de antecedentes del proyecto EcoPlata. Dalhousie University, Halifax, Nova Scotia, Canadá.

Lorenzen CJ (1967) Determination of chlorophyll and pheopigments. Spectrophotometric equations. Limnol. Oceanogr. 12:343-346.

Marsden M. W. (1989). Lake restoration by reducing external phosphorus loading: the influence of sediment phosphorus release. Freshwater Biol. 21: 139-162.

Melack J. M. (1995). Transport and transformation of P, fluvial and lacustrine ecosystems. En Tiessen H. (Ed.). Phosphorus in the Global Environment, Cycles and Management. SCOPE. J.Wiley & Sons Ltd.

Nagy G. y Martínez C., 1996. Series Temporales Geofísicas en la Costa Uruguaya. Country Study Uruguay Project Report. Comisión Nacional de Cambio Global, Montevideo, Uruguay. 15 p.

Nagy G.J., Martínez C.M., Caffera M.R., Pedrosa G., Forbes E.A., Perdomo A.C., López laborde J. (1997). The Hydrological and Climatic setting of the Río de la Plata. En: Wells P.G., Daborn G.R (eds). Chapter 2, 17-68. The Río de la Plata. An Environmental Overview. An ECOPLATA Project background Report. Dalhousie Univ, Halifax, Nova Scotia.

Nagy G.J., Pshennikov-Severova V., Robatto P. (2001). Variabilidad mensual de la salinidad en Montevideo, zona frontal del Río de la Plata, en respuesta a las fluctuaciones ENOS consecutivas y del caudal del Río Uruguay (1998-2000).

Organization for Economic Cooperation and Development (OECD) (1986). Water pollution for fertilizers and pesticides. OECD, Paris, France, 144 pp.

Rai H. (1980) Some problems in determination of photodynamic planktonic pigments and their decomposition products. Arch. Hydrobiol. Beih. Ergebn. Limnol. 14:3313

Sivonen K, Niemela S, Niemi R, Lepisto L, Luoma T & Rasanen L. 1990. Toxic cyanobacteria (blue-green algae) in Finnish fresh and coastal waters. Hydrobiologia 190: 267-275.

Søndergaard M., Jensen J. P. & Jeppesen E. (2001). Retention and internal loading of phosphorus in shallow, eutrophic lakes. The Scientific World 1: 427-442.  
Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater" (APHA-AWWA-WPCF, 21st Ed., 4500 H B.

United States Environmental Protection Agency (2000). Methods for measuring the toxicity and bioaccumulation of sediment-associated contaminants with freshwater invertebrates, 2<sup>nd</sup> edition EPA/600/R-99/064, 192 pp.

United States Environmental Protection Agency (2008). Office of Research and Development/Office of Water. National Coastal Condition Report III. EPA/842-R-08-002.



Valderrama J.C. (1981). The simultaneous analysis of total nitrogen and total phosphorus in natural waters. *Mar. Chem.* 10: 109-122.

WHO. (2003). Guidelines for safe recreational water environments – Volume 1: coastal and fresh waters. [[http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/bathing/srwg1.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/bathing/srwg1.pdf)].

Wilson M. A., Carpenter S. R. (1999). Economic valuation of freshwater ecosystem services in the United States, 1977-1997. *Ecological Applications* 9: 772-783.

Zar, J. H. (1996.) *Biostatistical Análisis*. 3<sup>rd</sup> edition, Prentice Hall, New Jersey. 918 pp.



**Intendencia de Montevideo**  
Desarrollo Ambiental  
SERVICIO LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL

## 9. ANEXOS





## ANEXO I - COORDENADAS Y UBICACIÓN DE PUNTOS DE MONITOREO

LINEA Z		
Código	Coordenadas	Ubicación
Z1	34°53'38.28"S 56° 03'12.55"O	Frente Playa Carrasco Hotel Casino Carrasco
Z2	34°54'0.38"S 56° 04'32.05"O	Frente Playa Verde
Z4	34°54'47.85"S 56° 08'33.95"O	Frente Playa Pocitos Plaza Gabriela Mistral
Z5	34°55'1.59"S 56°10'29.51"O	Frente Playa Ramirez Frente W Lounge
Z6	34°54'56.11"S 56°11'33.51"O	Frente a Calle Paraguay
Z7	34°54'55.82"S 56°12'35.70"O	Frente a Calle Guaraní Chimenea de Rambla y Maciel
Z8	34°54'48.53"S 56°13'29.01"O	Entrada al Puerto (Entre los 2 Muelles)
Z9	34°53'54.48"S 56°15'8.44"O	Frente Playa Cerro Calle Vizcalla
Z10	34°54'29.62"S 56°15'32.03"O	Frente Punta Lobos
Z11	34°53'42.06"S 56°17'47.99"O	Frente Playa Santa Catalina Al medio de la playa
Z12	34°52'19.29"S 56°20'30.37"O	Frente Pajas Blancas Al medio de la playa
Z13	34°50'38.78"S 56°24'7.29"O	Frente Punta Espinillo Al medio de la playa
Z34	34°54'6.07"S 56° 07'8.69"O	Frente Playa Buceo Frente Br. Battle y Ordoñez
Z23	34°53'51.18"S 56° 05'27.52"O	Frente Playa Honda Calle Gallinal
Z Zoppa	34°54'0.87"S 56°16'54.24"O	Frente Playa Dellazoppa Entrada de la Playa
Z Malv	34°53'57.83"S 56° 06'20.30"O	Frente Playa Malvín Parador, calle 18 de Diciembre



**Intendencia de Montevideo**

Desarrollo Ambiental

SERVICIO LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL

<b>LINEA L</b>		
<b>Código</b>	<b>Coordenadas</b>	<b>Ubicación</b>
L1	34°54'33,3"S 56°03'17,8"O	Frente Playa Carrasco 2000m de la costa Hotel Casino Carrasco
L2	34°54'52,5"S 56°06'15,2"O	Frente Playa Malvin 2000m de la costa Parador, calle 18 de Diciembre
L2b	34° 55'53,8"S 56° 11'33,5"O	Frente a la calle Paraguay 2000m de la costa
L3	34°54'55,0"S 56°15'09,0"O	Frente a Punta Lobos 2000m de la costa
L4	34°54'46,0"S 56°16'56,0"O	Frente Playa Dellazzopa 2000m de la costa
L5	34°53'19,12"S 56°21'25,0"O	Frente Pajas Blancas 2000m de la costa Al medio de la playa
L6	34°51'35,0"S 56°24'43,0"O	Frente Punta Espinillo 2000m de la costa Al medio de la playa
L7	34°49'46,10"S 34°49'46,10"O	Frente a Rio Santa Lucía 2000m de la costa Bahía de Santa Lucía
L8	34°46'11,80"S 56°27'23,80"O	Frente a Playa Pascual 2000m de la costa Al medio de la playa
L9	34°53'33,2"S 56°0'57"O	Frente Arroyo Carrasco 2000m de la costa
L10	34°52'5,3"S 55°58'27,0"O	Shangrila 2000m de la costa
L11	34°50'13,0"S 55°55'8,1"O	Solymar 2000m de la costa
L12	34°48'54,2"S 55°51'43,5"O	Frente Arroyo Pando 2000m de la costa



<b>Emisario P.CARRETAS</b>	
<b>Código</b>	<b>Coordenadas</b>
EMIS PC	34°57'20"S 56°09'37,5"O
C1N	34°57'05,6"S 56°09'36"O
C1E	34°57'22"S 56°09'16,4"O
C1S	34°57'38,4"S 56°09'38,4"O
C1W	34°57'22"S 56°09'55,6"O
C2N	34°56'49,2"S 56°09'36"O
C2E	34°57'22"S 56°08'56,8"O
C2S	34°57'54,8"S 56°09'36"O
C2W	34°57'22"S 56°10'15,2"O
C3N	34°56'32,8"S 56°09'36"O
C3E	34°57'22"S 56°08'37,2"O
C3S	34°58'11,2"S 56°09'36"O
C3W	34°57'22"S 56°10'34,8"O
P	34°56'53,2"S 56°09'37,6"O
P1E	34°56'53,2"S 56°09'18,4"O
P1W	34°56'53,2"S 56°09'57,6"O



<b>Emisario P. YEGUAS</b>	
<b>Código</b>	<b>Coordenadas</b>
EMIS PY	34° 55' 00,0" S 56° 19' 00,0" O
PYE	34° 55' 00" S 56° 18' 00" O
PYS	34° 55' 50,0" S 56° 19' 00,0" O
PYW	34° 55' 00,0" S 56° 20' 00,0" O
PYN	34° 54' 10" S 56° 19' 00" O

<b>BAHIA</b>		
<b>Código</b>	<b>Coordenadas</b>	<b>Ubicación</b>
B1	34°52'44,7"S 56°13'42,9"O	Frente ANCAP
B2	34°53'07,1"S 56°12'06,7"O	Frente A° Seco
B3	34°53'46,1"S 56°12'21,8"O	Frente dique Tsakos
B4	34°53'29,6"S 56°14'20,2"O	Frente Isla Libertad
B5	34°52'52,3"S 56°14'28,20"O	Frente A° Pantanoso



<b>PLAYAS</b>	
<b>Código</b>	<b>Coordenadas</b>
Playa Punta Espinillo	34°50'22.83"S 56°24'45.70"O
Playa Pajas Blancas	34°52'13.20"S 56°20'25.92"O
Playa Santa Catalina	34°53'35.19"S 56°17'45.55"O
Playa del Cerro	34°53'47.29"S 56°15'9.58"O
Playa Ramírez	34°54'57.89"S 56°10'12.28"O
Playa Pocitos	34°54'42.30"S 56° 08'38.98"O
Playa Malvín	34°53'48.13"S 56°06'16.17"O
Playa Ingleses	34°53'45.12"S 56°05'6.67"O



## ANEXO II - PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS – CORRELACIONES CON MICROCISTINAS

N = tamaño de la muestra

MA = media aritmética

MG = media geométrica

MD = mediana

DE= desvío estándar

Min = mínimo

Max = máximo

**Tabla 1.** Salinidad de superficie por zonas de Este a Oeste (PSU).

	N	MA	MD	DE	Min	Max
Playas del W	33	5,2	4,0	3,9	0,5	13,6
Playas del Medio	53	11,2	8,0	7,7	1,0	29,8
Playas del E	61	14,6	15,0	7,5	4,0	31,5
Z del W	34	3,2	2,0	3,2	0,0	13,0
Z del Medio	103	7,9	5,5	5,7	0,5	22,5
Z del E	67	13,7	12,5	7,2	1,5	30,0
L del W	42	3,3	2,0	3,6	0,5	17,0
L del Medio	41	6,7	5,0	4,2	1,5	17,0
L del E	38	13,5	11,5	7,2	1,5	30,0
<b>Total</b>	<b>472</b>	<b>9,4</b>	<b>7,0</b>	<b>7,3</b>	<b>0,0</b>	<b>31,5</b>

**Tabla 2.** Salinidad de profundidad por zonas de Este a Oeste (PSU).

	N	MA	MD	DE	Min	Max
Z del W	35	4,8	2,5	4,9	0,5	20,0
Z del Medio	102	9,7	8,0	6,2	1,0	24,5
Z del E	67	14,0	13,0	7,2	4,0	30,0
L del W	41	5,2	3,0	4,5	0,5	15,0
L del Medio	41	9,4	8,0	5,1	0,5	18,0
L del E	38	15,5	16,0	6,8	5,0	33,0
<b>Total</b>	<b>324</b>	<b>10,1</b>	<b>8,0</b>	<b>7,0</b>	<b>0,5</b>	<b>33,0</b>



**Tabla 3.** Salinidad de superficie por zonas Punta Carretas, Bahía y Punta Yeguas (PSU)

	N	MA	MD	DE	Min	Max
Punta Carretas	110	10,9	7,8	7,6	1,0	27,8
Bahía	54	7,3	5,5	6,3	1,5	26,0
Punta Yeguas	17	3,9	4,0	3,2	0,5	11,0
<b>Total</b>	<b>181</b>	<b>9,2</b>	<b>6,5</b>	<b>7,3</b>	<b>0,5</b>	<b>27,8</b>

**Tabla 4.** Salinidad de profundidad por zonas Punta Carretas, Bahía y Punta Yeguas (PSU)

	N	MA	MD	DE	Min	Max
Punta Carretas	107	14,0	12,5	7,3	1,5	31,0
Bahía	55	8,8	7,0	7,0	2,0	28,4
Punta Yeguas	16	8,0	5,8	6,1	0,5	18,0
<b>Total</b>	<b>178</b>	<b>11,8</b>	<b>10,0</b>	<b>7,6</b>	<b>0,5</b>	<b>31,0</b>

**Tabla 5.** Turbiedad de superficie por zonas de Este a Oeste (NTU).

	N	MA	MD	DE	Min	Max
Playas del W	27	21,4	14,1	20,0	2,0	77,7
Playas del Medio	43	25,8	16,8	25,6	2,3	108,0
Playas del E	51	55,2	46,9	43,9	4,7	178,0
Z del W	24	25,0	14,6	27,7	1,0	101,0
Z del Medio	74	11,9	8,3	13,8	1,1	78,6
Z del E	43	24,3	17,4	22,0	1,1	80,1
L del W	38	31,3	27,0	25,1	1,3	88,7
L del Medio	38	14,8	8,8	16,2	0,4	71,6
L del E	33	14,1	11,3	11,4	1,0	59,4
<b>Total</b>	<b>371</b>	<b>24,9</b>	<b>13,2</b>	<b>28,1</b>	<b>0,4</b>	<b>178,0</b>



**Tabla 6.** Turbiedad de profundidad por zonas de Este a Oeste (NTU).

	N	MA	MD	DE	Min	Max
Z del W	24	23,6	17,7	25,1	0,9	85,8
Z del Medio	74	26,0	11,5	92,9	0,2	801,0
Z del E	43	42,0	31,9	42,4	1,9	229,0
L del W	38	35,6	30,8	28,8	1,6	146,1
L del Medio	38	22,1	13,5	27,8	1,5	149,0
L del E	34	23,9	14,3	26,2	2,4	136,0
Total	251	29,1	15,4	57,1	0,2	801,0

**Tabla 7.** Turbiedad de superficie por zonas Punta Carretas, Bahía y Punta Yeguas (NTU).

	N	MA	MD	DE	Min	Max
Punta Carretas	95	17,8	9,6	26,5	1,0	146,0
Bahía	54	16,8	11,0	16,7	4,1	89,6
Punta Yeguas	16	20,9	14,3	21,1	1,0	83,2
Total	165	17,8	10,3	23,1	1,0	146,0

**Tabla 8.** Turbiedad de profundidad por zonas Punta Carretas, Bahía y Punta Yegua (NTU).

	N	MA	MD	DE	Min	Max
Punta Carretas	96	18,5	12,6	22,2	1,2	144,0
Bahía	55	21,3	13,1	22,3	2,2	101,0
Punta Yeguas	15	25,7	20,4	27,8	4,5	118,0
Total	166	20,1	13,1	22,7	1,2	144,0





**Tabla 9.** Temperatura de superficie por zonas de Este a Oeste (°C).

	N	MA	MD	DE	Min	Max
Playas del W	13	19,5	22,3	5,1	9,9	24,2
Playas del Medio	24	21,1	23,2	4,9	10,8	25,7
Playas del E	28	20,8	23,4	5,1	10,9	25,8
Z del W	33	22,2	22,7	4,3	11,1	29,6
Z del Medio	81	20,7	21,4	4,5	10,9	27,2
Z del E	57	20,5	21,1	4,4	11,6	27,4
L del W	42	22,0	22,8	4,4	10,1	28,2
L del Medio	38	21,2	22,6	4,7	10,7	27,5
L del E	34	21,2	22,4	4,8	11,7	27,6
<b>Total</b>	<b>350</b>	<b>21,1</b>	<b>22,4</b>	<b>4,6</b>	<b>9,9</b>	<b>29,6</b>

**Tabla 10.** Temperatura de profundidad por zonas de Este a Oeste (°C).

	N	MA	MD	DE	Min	Max
Z del W	24	21,6	22,6	3,9	11,2	27,0
Z del Medio	54	20,5	20,9	4,3	11,3	26,6
Z del E	38	19,8	20,3	4,4	11,6	26,8
L del W	32	21,7	22,6	3,7	11,2	26,7
L del Medio	29	20,8	21,8	4,7	11,2	27,8
L del E	24	19,8	20,4	4,3	11,7	25,6
<b>Total</b>	<b>201</b>	<b>20,6</b>	<b>21,0</b>	<b>4,3</b>	<b>11,2</b>	<b>27,8</b>

**Tabla 11.** Temperatura de superficie por áreas PC Bahía y PY (°C).

	N	MA	MD	DE	Min	Max
Punta Carretas	80	20,7	21,2	4,3	10,9	26,4
Bahía	45	20,2	20,8	4,6	9,7	26,6
Punta Yeguas	16	22,2	22,8	3,5	14,4	27,4
<b>Total</b>	<b>141</b>	<b>20,7</b>	<b>21,2</b>	<b>4,3</b>	<b>9,7</b>	<b>27,4</b>



Tabla 12. Temperatura de profundidad por áreas PC Bahía y PY (°C).

	N	MA	MD	DE	Min	Max
Punta Carretas	52	19,0	20,0	3,9	11,6	24,2
Bahía	45	20,0	20,9	4,3	10,8	25,5
Punta Yeguas	12	21,5	22,4	3,0	15,1	26,0
Total	109	19,7	20,4	4,0	10,8	26,0

Tabla 13. Microcistinas en las diferentes épocas del año (µg/L)

Epoca del año	Menor a 20µg/L	Mayor a 20µg/L	Total
Verano	228	1	229
Resto del año	100	0	100
Total	328	1	329

Fecha	Menor a 20µg/L	Mayor a 20µg/L	Total
Verano 2009-2010	118	1	119
Resto 2010	68	0	68
Verano 2010-2011	110	0	110
Resto 2011	32	0	32
Total	328	1	329



**Tabla 14.** Microcistinas en superficie por zonas de Este a Oeste ( $\mu\text{g/L}$ ).

	N	MA	MD	DE	Min	Max
Playas	69,0	0,6	0,2	2,6	0,2	21,0
Línea Z	81,0	0,5	0,2	1,0	0,2	7,0
Línea L	70,0	0,5	0,2	1,1	0,2	8,0
Punta Carretas	49,0	0,6	0,2	1,0	0,2	4,6
Bahía	49,0	0,4	0,2	1,2	0,2	8,5
Punta Yeguas	9,0	0,7	0,5	0,7	0,2	1,9
<b>Total</b>	<b>327,0</b>	<b>0,5</b>	<b>0,2</b>	<b>1,5</b>	<b>0,2</b>	<b>21,0</b>

**Tabla 15.** Oxígeno disuelto en superficie (mg/L).

Estación	N	MA	MD	DE	Mín	Máx
B1	9	4,7	3,8	3,1	1	10,9
B2	9	7	7,5	1,9	3,2	8,9
B3	9	7,3	6,7	2,1	4,5	11,7
B4	9	7,7	7,7	1,7	5,5	11,1
B5	9	7,1	7,3	1,9	4,2	10,7
Z1	9	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8
Z2	7	7,6	7,2	1,8	5,3	9,9
Z Malv	11	7,7	8,1	1,7	4,5	10,1
Z4	12	7	6,8	1,4	5,2	9,8
Z5	10	7,9	7,5	1,3	6,4	10,1
Z6	6	8,6	8,2	2,1	6,2	11,7
Z8	6	8,9	9,7	1,4	7,1	10
Z9	9	9,4	9,1	2	7,3	12,6
Z10	9	9,1	8,8	1,6	6,8	12,3
Z Zoppa	10	8,5	8,4	1,7	6,1	11,1
Z11	11	8,6	8,8	1,2	6,9	10,9
Z12	13	8,5	8,4	1,2	6,6	11,1
Z13	13	8,1	8,2	0,9	6,2	9,7



<b>L9</b>	5	9,9	9,3	3	7,3	14,7
<b>L1</b>	8	8,6	8,5	1,8	6,5	12
<b>L2</b>	11	8,5	8,6	1,5	6,7	10,8
<b>L2B</b>	4	9	9,1	1,3	7,3	10,4
<b>L3</b>	14	8,6	8,1	1,9	5,9	12,6
<b>L4</b>	13	8,7	8,4	1,5	6,1	11,2
<b>L5</b>	14	8,8	8,5	1	6,9	11,1
<b>L6</b>	13	8,5	8,3	0,9	6,8	10
<b>L7</b>	7	8,8	8,8	0,8	7,7	9,8
<b>L8</b>	7	8,7	8,9	0,9	7,8	9,8
<b>C3N</b>	10	7,9	7,8	1,5	4,8	10,6
<b>C3E</b>	12	7,8	7,3	1,1	6,2	9,6
<b>C3S</b>	12	8,5	8,1	1,5	6,9	11,7
<b>C3W</b>	12	8	7,8	1	7	10,2
<b>Emis PC</b>	13	8,2	7,9	1,1	6,8	10,6
<b>Emis PY</b>	13	8,4	8,3	0,8	7,4	10

Tabla 16. Oxígeno disuelto en profundidad (mg/L).

Estación	N	MA	MD	DE	Mín	Máx
<b>B1</b>	9	5,8	5,6	3	1	11,9
<b>B2</b>	9	7	7	2,4	3,2	11,1
<b>B3</b>	9	6,4	6,5	2,5	3,5	12,1
<b>B4</b>	9	8,1	8,2	1,8	6,1	11,9
<b>B5</b>	9	5,9	5,8	3	1,5	11,6
<b>Z1</b>	9	7,7	7,2	1,1	6,6	9,8
<b>Z2</b>	7	7,7	7,5	1,5	6	9,8
<b>Z Malv</b>	11	7,8	7,1	1,5	6	10,8
<b>Z4</b>	12	6,9	6,9	1,5	6	10,8
<b>Z5</b>	10	7,5	7,6	1	5,4	9,3
<b>Z6</b>	6	7,2	6,9	1,4	5,5	9,5
<b>Z8</b>	5	8,1	7,3	1,6	6,3	10
<b>Z9</b>	8	9,1	8,7	2	6,7	12,2



<b>Z10</b>	8	8,9	9,2	1,9	5,8	11,6
<b>Z Zoppa</b>	10	8,2	8,1	1,8	5,6	10,7
<b>Z11</b>	10	8,4	8,3	1,3	6,7	10,8
<b>Z12</b>	12	8,5	8,1	1,3	6,8	11,2
<b>Z13</b>	12	7,9	7,9	1	5,8	9,8
<b>L9</b>	5	8,3	7,4	1,5	7,1	10
<b>L1</b>	8	7,8	7	1,9	5,7	11,3
<b>L2</b>	11	8,4	8,3	1,7	6	12,1
<b>L2B</b>	4	7,7	7,2	1,5	6,6	10
<b>L3</b>	14	8	7,8	2,2	4,8	12,4
<b>L4</b>	13	8,2	8	1,6	5,7	11
<b>L5</b>	14	8,6	8,3	1,2	6,7	11,5
<b>L6</b>	13	8,3	8,4	1,2	6,3	10,1
<b>L7</b>	7	8,5	9	1,5	5,7	9,8
<b>L8</b>	7	8,9	8,7	0,9	7,8	10,2
<b>C3N</b>	10	7,9	7,8	1,3	6,3	9,9
<b>C3E</b>	11	7,7	7,5	1,3	4,8	9,5
<b>C3S</b>	12	7,8	8,1	1,7	4,6	10,9
<b>C3W</b>	11	8	7,6	1,1	6,7	9,9
<b>Emis PC</b>	13	7	7,6	1,3	1,6	4,2
<b>Emis PY</b>	13	7,9	7,4	1,1	6,1	10,1

Tabla 17. pH en superficie en las estaciones de muestreo.

<b>Estacion</b>	<b>MA</b>	<b>Mín</b>	<b>Máx</b>
<b>Punta Espinillo</b>	7,4	7,1	7,9
<b>Pajas Blancas</b>	7,5	7,1	7,8
<b>Santa Catalina</b>	6,8	6,7	7
<b>Cerro</b>	7,2	6,7	7,7
<b>Ramírez</b>	7,3	6,9	7,6
<b>Pocitos</b>	7,1	6,3	7,7



**Intendencia de Montevideo**

Desarrollo Ambiental

SERVICIO LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL

<b>Malvín</b>	7,2	7	7,4
<b>Carrasco</b>	7,5	7,1	7,8
<b>B1</b>	7,3	6,8	7,9
<b>B2</b>	7,5	7,1	8,7
<b>B3</b>	7,5	7,3	8,1
<b>B4</b>	7,6	7,2	8,1
<b>B5</b>	7,5	7,2	8
<b>Z1</b>	7,8	7,3	8,4
<b>Z2</b>	7,7	7,4	8,4
<b>Z Malv</b>	7,7	7,3	8,3
<b>Z4</b>	7,7	7,2	8,1
<b>Z5</b>	7,8	7,2	8,7
<b>Z6</b>	7,7	7,2	8,7
<b>Z8</b>	7,7	7,4	8,2
<b>Z9</b>	7,7	7,3	8,9
<b>Z10</b>	7,8	7,2	8,8
<b>Z Zoppa</b>	7,7	7,2	8,8
<b>Z11</b>	7,8	7,1	8,4
<b>Z12</b>	7,7	6,2	8,4
<b>Z13</b>	7,7	6,6	8,2
<b>L9</b>	8,2	7,7	8,7
<b>L1</b>	7,8	7,4	8,5
<b>L2</b>	7,9	7,4	8,7
<b>L2B</b>	8,2	7,8	8,5
<b>L3</b>	7,7	6,6	9
<b>L4</b>	7,8	7,2	9
<b>L5</b>	7,8	7,2	9



<b>L6</b>	7,7	7,3	8,2
<b>L7</b>	7,9	7,4	8,3
<b>L8</b>	7,8	7,4	8,3
<b>C3N</b>	7,7	7,1	8,3
<b>C3E</b>	7,8	6,5	8,4
<b>C3S</b>	7,6	6,8	8,1
<b>C3W</b>	7,8	6,1	8,3
<b>Emis PC</b>	7,8	7,4	8,2
<b>Emis PY</b>	7,7	7,3	8,3

**Tabla 18.** pH en profundidad en las estaciones de muestreo.

<b>Estacion</b>	<b>MA</b>	<b>Mín</b>	<b>Máx</b>
<b>B1</b>	7,4	6,8	7,9
<b>B2</b>	7,4	6,9	8,2
<b>B3</b>	7,5	7,3	7,9
<b>B4</b>	7,6	7,3	8
<b>B5</b>	7,5	7,4	7,9
<b>Z1</b>	7,7	7,2	8,1
<b>Z2</b>	7,7	7,3	8,1
<b>Z Malv</b>	7,6	6,6	8,1
<b>Z4</b>	7,7	7,3	8
<b>Z5</b>	7,7	7,4	8,1
<b>Z6</b>	7,5	6,7	8
<b>Z8</b>	7,7	7	8,2
<b>Z9</b>	7,7	7,3	8,9
<b>Z10</b>	7,7	7,3	8,1
<b>Z Zoppa</b>	7,7	7,3	8,1
<b>Z11</b>	7,7	7,2	8,3
<b>Z12</b>	7,6	7,3	8
<b>Z13</b>	7,6	7,2	7,9
<b>L9</b>	8	7,8	8,6



L1	7,7	6,6	8,4
L2	7,7	6,9	8,6
L2B	8,1	7,8	8,7
L3	7,7	6,8	8,2
L4	7,7	6,9	8,1
L5	7,7	7,2	8,1
L6	7,6	7,1	8,1
L7	7,8	7,3	8,2
L8	7,5	7	8,1
C3N	7,7	7,3	8,1
C3E	7,7	7,1	8,2
C3S	7,7	7	8,2
C3W	7,7	6,6	8,2
Emis PC	7,6	6,1	8
Emis PY	7,6	6,2	8,2

**Tabla 19.** Correlaciones entre parámetros fisicoquímicos y microcistinas (para todas las campañas y estaciones de monitoreo).

	microcis	clorof	salinidad
microcis	1.0000 N= 329		
clorofila	r= 0.0129 N= 305 p= 0.8225	1.0000 536	
salinidad	-0.0305 N= 289 0.6060	0.1376 493 0.0022	1.0000 1470





**Tabla 20.** Correlaciones entre parámetros por zonas.

Playas del Oeste			
	microcís	clorof	salinidad
microcís	1.0000 N=14		
clorof	0.0638 N= 13 0.8360	1.0000 22	
salinidad	-0.6429 N= 11 0.0329	-0.2298 19 0.3440	1.0000 33

Playas del Medio			
	microcís	clorof	salinidad
microcís	1.0000 N=24		
clorof	-0.1218 N= 21 0.5989	1.0000 32	
salinidad	-0.4147 N= 20 0.0690	-0.0601 29 0.7570	1.0000 53

Playas del Este			
	microcís	clorof	salinidad
microcís	1.0000 N= 31		
clorof	-0.0040 N= 29 0.9837	1.0000 44	
salinidad	0.1286 N= 28 0.5143	-0.0042 40 0.9795	1.0000 61

Z del Oeste			
	microcís	clorof	salinidad
microcís	1.0000 N= 20		



clorof	0.1577 N= 19 0.5190	1.0000 36		
salinidad	-0.2723 N= 16 0.3075	0.0974 31 0.6023	1.0000 69	
-----				
Z del Medio	microcicis	clorof	salinidad	
microcicis	1.0000 N= 36			
clorof	0.1589 N= 35 0.3621	1.0000 71		
salinidad	0.0543 N= 31 0.7718	0.0647 65 0.6087	1.0000 205	
-----				
Z del Este	microcicis	clorof	salinidad	
microcicis	1.0000 N= 25			
clorof	0.0498 N= 21 0.8303	1.0000 48		
salinidad	0.2103 N= 21 0.3602	0.1065 45 0.4864	1.0000 134	
-----				
L del Oeste	microcicis	clorof	salinidad	
microcicis	1.0000 N= 25			
clorof	0.1587 N= 25 0.4487	1.0000 44		
salinidad	-0.1536	-0.0864	1.0000	



	N= 21	40	83
	0.5063	0.5962	
-----			
L del Medio			
	microcis	clorof	salinidad
-----			
microcis	1.0000 N= 20		
clorof	0.3770 N= 17 0.1358	1.0000 36	
salinidad	-0.1424 N= 18 0.5731	0.0601 33 0.7397	1.0000 82
-----			
L del Este			
	microcis	clorof	salinidad
-----			
microcis	1.0000 N= 20		
clorof	0.2640 N= 20 0.2607	1.0000 40	
salinidad	0.4420 N= 16 0.0865	0.0018 36 0.9917	1.0000 76



**Tabla 21.** Percentiles 50 y 90 para pH, oxígeno disuelto y % de saturación de O<sub>2</sub>

Fecha	pH – P50	pH – P90	OD – P50	OD – P90	%Sat O <sub>2</sub> – P50	O%Sat O <sub>2</sub> – P90
<b>09/12/2009</b>	7,6	7,9	7,9	8,7	88,4	104,9
<b>28/01/2010</b>	7,8	8,1	7,8	8,3	98,0	107,0
<b>18/02/2010</b>	7,5	7,7	6,8	8,6	77,9	103,0
<b>17/03/2010</b>	7,5	7,6	7,9	8,5	91,8	101,5
<b>21/04/2010</b>	7,6	7,9	7,4	9,2	84,5	102,8
<b>21/09/2010</b>	7,7	8,0	8,9	10,0	94,7	102,7
<b>22/12/2010</b>	8,0	8,7	8,6	11,0	110,0	139,0
<b>24/01/2011</b>	8,1	8,2	7,4	9,8	103,8	130,0
<b>28/02/2011</b>	7,8	8,2	8,1	9,0	90,3	102,5
<b>Total Muestreo</b>	7,7	8,1	8,0	9,9	95,0	116,0

P50: percentil 50

P90: percentil 90



### ANEXO III - PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS

N = tamaño de la muestra  
 MA = media aritmética  
 MG = media geométrica  
 MD = mediana  
 P95 = percentil 95  
 Min = mínimo  
 Max = máximo

El ANOVA de la variable coliformes fecales (CF) fue analizada para los datos de superficie comparando entre zonas (playas, Z, y L en Oeste, Medio y Este) así como entre verano-resto del año. El ANOVA presentó significación estadística entre zonas ( $p < 0,0001$ ) y entre verano con otras estaciones ( $p < 0,0001$ ). En la Tabla 1 se muestran los resultados.

**Tabla 1.** Resultados del ANOVA para CF (superficie) de todas las zonas.

	Playas del O	Playas del Medio	Playas del E	Z del O	Z del Medio	Z del E	L del O	L del Medio	L del E
<b>Playas del O</b>	-----	$p < 0,01$	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<b>Playas del Medio</b>		-----	ns	$p < 0,01$	ns	$p < 0,01$	$p < 0,01$	ns	$p < 0,01$
<b>Playas del E</b>			-----	$p < 0,01$	ns	ns	$p < 0,01$	ns	ns
<b>Z del O</b>				-----	$p < 0,01$	ns	ns	$p < 0,01$	ns
<b>Z del Medio</b>					-----	ns	$p < 0,01$	ns	$p < 0,01$
<b>Z del E</b>						-----	ns	ns	ns
<b>L del O</b>							-----	ns	$p < 0,01$
<b>L del Medio</b>								-----	ns

El ANOVA para CF considerando los factores zonas (Z y L), verano-otras y superficie-profundidad. Presento significación et todos los factores: zonas ( $p < 0,0001$ ), verano-otras ( $p < 0,0001$ ) y superficie -profundidad ( $p = 0,0051$ ), los resultados se muestran en la Tabla 2.



Tabla 2. ANOVA de CF entre zona Z y L.

	Z del W	Z del Medio	Z del E	L del W	L del Medio	L del E
Z del W	-----	p<0,01	p<0,01	ns	p<0,01	ns
Z del Medio		-----	p<0,01	ns	p<0,01	p<0,01
Z del E			-----	p<0,01	p<0,01	ns
L del W				-----	p<0,01	ns
L del Medio					-----	p<0,01

El ANOVA para CF entre áreas (PY, Bahía y PC), presentó diferencias significativas a un nivel alfa 0,01 sólo para las áreas (p<0,0001), verano-otras (p=0,72) y superficie-profundidad (p=0,0129).

Las comparaciones post-hoc presentaron diferencias entre las tres áreas (Figura 1).

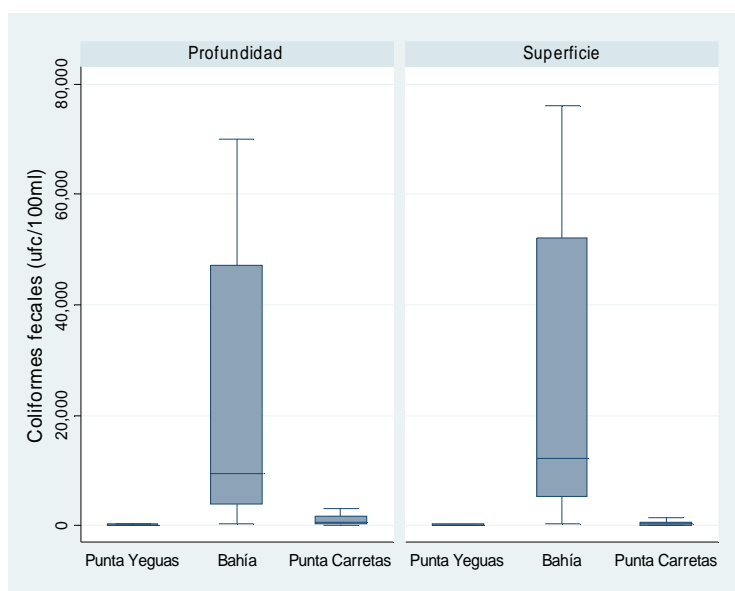


Figura 1. Comparación de valores de CF entre Emisario P. Carretas, proyectado P. Yeguas y Bahía (superficie y profundidad).

**Tabla 3.** Coliformes fecales (CF) en playas.

Playas	N	MG	MD	P95	Min	Max
pe	16	32,6	15	1000	5	1000
pb	17	69,9	100	3840	5	3840
sc	18	303,2	300	3600	20	3600
pa	18	392,2	355	2600	50	2600
ram	17	210,6	120	4900	25	4900
poc	18	176,2	205	2500	10	2500
mal	18	94,1	125	670	5	670
ing	8	47,1	45	980	5	980
car	18	84,3	95	1600	5	1600

**Tabla 4.** Enterococos en playas.

Playas	N	MG	MD	P95	Min	Max
pe	0	.	.	.	.	.
pb	1	200	200	200	200	200
sc	11	201,8	130	2440	10	2440
pa	12	108,8	102,5	760	20	760
ram	11	53,3	40	630	5	630
poc	12	79,3	52,5	468	25	468
mal	12	44,4	60	215	5	215
ing	6	28	30	135	10	135
car	1	50	50	50	50	50

**Tabla 5.** CF en línea Z (superficie).

Línea Z	N	MG	MD	P95	Min	Max
z1	17	24,3	20	400	5	400
z2	17	35,2	60	330	5	330
z malv	19	52,8	50	720	5	720
z4	20	128,5	125	1875	5	2360
z5	19	182,3	280	3000	5	3000
z6	12	120,6	150	4200	5	4200
z8	12	309,9	230	50000	5	50000
z9	20	579,4	530	8400	10	11600
z10	13	273,6	100	24500	20	24500



z zoppa	17	86,8	90	3000	5	3000
z11	18	46,6	60	590	5	590
z12	20	28,0	30	1175	5	2000
z13	19	10,4	5	320	5	320

Tabla 6. CF en línea Z (profundidad)

Línea Z	N	MG	MD	P95	Min	Max
z1	17	23,0	10	670	5	670
z2	17	42,7	60	590	5	590
z malv	19	56,9	70	1610	5	1610
z4	19	146,4	180	5000	5	5000
z5	19	291,8	400	5300	5	5300
z6	12	314,3	340	14000	5	14000
z8	12	533,6	370	3300	50	3300
z9	19	491,1	460	19200	40	19200
z10	13	671,4	580	55000	10	55000
z zoppa	17	104,9	110	2900	5	2900
z11	18	71,4	110	1740	5	1740
z12	20	23,4	20	1275	5	2080
z13	19	15,7	20	310	5	310

Tabla 7. Enterococos en línea Z (superficie).

Línea Z	N	MG	MD	P95	Min	Max
z1	4	9,2	11,3	40	3	40
z2	11	10,7	5	140	3	140
z malv	14	14,4	12,5	80	3	80
z4	15	49,7	80	180	3	180
z5	10	15,3	6	240	5	240
z6	8	33,0	40	330	5	330
z8	8	42,3	40	640	5	640
z9	13	69,7	60	1630	5	1630
z10	7	23,7	20	310	5	310
z zoppa	10	29,7	15	300	5	300
z11	5	13,2	10	80	5	80
z12	6	8,2	5	160	3	160
z13	5	10,7	5	110	5	110





Tabla 8. Enterococos en línea Z (profundidad).

Línea Z	N	MG	MD	P95	Min	Max
z1	4	8,0	6,5	45	3	45
z2	10	17,7	15	140	3	140
z malv	14	36,7	42,5	460	5	460
z4	14	69,8	67,5	300	5	300
z5	8	44,0	60	1500	5	1500
z6	7	39,2	40	600	5	600
z8	8	80,3	100	1220	5	1220
z9	12	85,5	200	1780	5	1780
z10	7	36,7	20	750	5	750
z zoppa	10	33,2	15	300	5	300
z11	5	16,6	10	250	5	250
z12	5	15,2	10	160	5	160
z13	5	29,8	60	130	5	130

Tabla 9. CF en línea L (superficie).

Línea L	N	MG	MD	P95	Min	Max
19	6	9,2	5	100	5	100
11	17	15,9	16	140	5	140
12	19	44,5	50	2500	5	2500
12b	4	136,2	172,5	5100	5	5100
13	20	152,4	135	14350	5	25000
14	20	72,5	95	930	5	1120
15	19	21,6	20	370	5	370
16	19	14	10	600	5	600
17	7	22,8	20	200	5	200
18	6	16,5	20	50	5	50



**Tabla 10.** CF en línea L (profundidad).

Línea L	N	MG	MD	P95	Min	Max
19	6	12,3	7,5	70	5	70
11	17	26,2	30	620	5	620
12	19	74,6	130	1400	5	1400
12b	4	313,6	190	3200	90	3200
13	20	482,8	450	19000	60	36000
14	20	166,1	180	2000	5	2200
15	20	35,2	25	485	5	510
16	18	19,5	15	750	5	750
17	7	12,2	10	40	5	40
18	7	12,4	10	30	5	30

**Tabla 11.** Enterococos en línea L (superficie)

Línea L	N	MG	MD	P95	Min	Max
19	6	9,2	7,5	40	3	40
11	13	9,9	10	40	3	40
12	14	20	20	230	3	230
12b	4	21,7	67,5	340	1	340
13	15	90,1	140	10000	3	10000
14	16	21,5	17,5	780	2	780
15	15	9	5	115	2	115
16	16	9,3	5	275	2	275
17	7	9,1	10	50	2	50
18	6	6,3	5	20	2	20

**Tabla 12.** Enterococos en línea L (profundidad).

Línea L	N	MG	MD	P95	Min	Max
19	6	8,6	6,5	20	5	20
11	13	11	5	255	3	255
12	13	38,7	40	420	5	420
12b	4	28	65	330	3	330



13	15	177,9	300	6500	5	6500
14	16	48,4	40	2740	3	2740
15	16	16	10	1910	2	1910
16	15	12,8	10	555	3	555
17	7	7,8	10	40	2	40
18	7	4,1	5	5	2	5

**Tabla 13.** CF en Bahía (superficie)

Bahía	N	MG	MD	P95	Min	Max
B1	10	137319	112500	830000	15000	830000
B2	11	43972	50000	1390000	200	1390000
B3	11	11520	10300	130000	1300	130000
B4	11	7883	8700	52000	700	52000
B5	11	3578	5700	14000	200	14000

**Tabla 14.** CF en Bahía (profundidad).

Bahía	N	MG	MD	P95	Min	Max
B1	11	74785	63000	1040000	3800	1040000
B2	11	28970	32000	280000	600	280000
B3	11	6058	5000	38000	200	38000
B4	11	5935	4400	70000	900	70000
B5	11	5358	4800	115000	700	115000

**Tabla 15.** Enterococos en Bahía (superficie)

Bahía	N	MG	MD	P95	Min	Max
B1	10	30409	73500	235000	2100	235000
B2	11	7705	14000	370000	50	370000
B3	11	603	670	15100	40	15100
B4	11	739	800	16600	50	16600
B5	10	381	505	1270	50	1270



**Tabla 16.** Enterococos en Bahía (profundidad).

Bahía	N	MG	MD	P95	Min	Max
B1	11	11200	7800	260000	400	260000
B2	11	6053	12700	240000	50	240000
B3	11	688	1000	8300	90	8300
B4	11	829	610	30000	100	30000
B5	11	751	970	19200	80	19200

**Tabla 17.** CF en concéntrico Punta Carretas (superficie).

	N	MG	MD	P95	Min	Max
c1n	17	136,5	110	9900	5	9900
c1e	20	121,3	115	8700	5	15200
c1s	19	71,7	60	2900	5	2900
c1w	19	216,2	240	8100	5	8100
c2n	20	141,0	190	5270	5	9000
c2e	20	131,7	160	12450	5	22000
c2s	18	49,7	40	1400	5	1400
c2w	19	411,9	470	11600	10	11600
c3n	18	156,0	240	3400	5	3400
c3e	20	157,6	215	2950	5	3900
c3s	20	81,8	95	3435	5	6000
c3w	20	260,1	355	8850	10	14700
p	14	1071,1	900	590000	20	590000
emis pc	21	191,1	380	5400	5	8400

**Tabla 18.** CF en concéntrico Punta Carretas (profundidad).

	N	MG	MD	P95	Min	Max
c1n	17	868,8	1200	11400	5	11400
c1e	20	397,6	555	8200	5	11000



c1s	19	190,5	290	2000	5	2000
c1w	19	709,6	1300	16900	5	16900
c2n	19	631,8	1100	89000	5	89000
c2e	20	230,1	330	7200	5	8500
c2s	18	79,5	125	1640	5	1640
c2w	19	954,2	1130	12200	5	12200
c3n	19	320,2	410	5100	5	5100
c3e	20	260,9	585	2600	5	3100
c3s	20	141,1	245	1550	5	1900
c3w	19	591,8	560	17100	5	17100
p	13	8437,1	21400	172000	490	172000
emis pc	21	484,5	610	3600	5	6800

**Tabla 19.** Enterococos en concéntrico Punta Carretas (superficie)

	N	MG	MD	P95	Min	Max
c1n	7	58,2	140	1760	5	1760
c1e	16	27,9	37,5	400	3	400
c1s	10	39,7	25	1100	10	1100
c1w	10	49,0	25	5120	3	5120
c2n	0	.	.	.	.	.
c2e	1	5	5	5	5	5
c2s	0	.	.	.	.	.
c2w	0	.	.	.	.	.
c3n	10	68,1	55	700	10	700
c3e	11	52,1	80	1120	5	1120
c3s	6	16,4	8,8	170	3	170
c3w	6	28,0	20	380	5	380
p	6	228,4	295	4740	3	4740
emis pc	15	42,6	30	610	5	610



Tabla 20. Enterococos en concéntrico Punta Carretas (profundidad).

	N	MG	MD	P95	Min	Max
c1n	6	375,6	395	628	200	628
c1e	15	192,7	200	2640	15	2640
c1s	10	58,7	125	580	3	580
c1w	10	246,6	275	10000	3	10000
c2n	0	.	.	.	.	.
c2e	1	5	5	5	5	5
c2s	0	.	.	.	.	.
c2w	0	.	.	.	.	.
c3n	11	134,6	130	620	10	620
c3e	11	232,8	310	1060	20	1060
c3s	6	43,2	75	290	8	290
c3w	6	63,5	85	400	6.5	400
p	6	70,0	125	670	2	670
emis pc	15	178,1	260	3960	3	3960

Tabla 21. CF en concéntrico Punta Yeguas (superficie).

	N	MG	MD	P95	Min	Max
py emis	19	12,9	10	950	5	950

Tabla 22. CF en concéntrico Punta Yeguas (profundidad).

	N	MG	MD	P95	Min	Max
py emis	18	44,6	40	470	5	470



**Tabla 23.** Enterococos en concéntrico Punta Yeguas (superficie).

	N	MG	MD	P95	Min	Max
py emis	14	8,7	5	740	2	740

**Tabla 24.** Enterococos en concéntrico Punta Yeguas (profundidad)

	N	MG	MD	P95	Min	Max
py emis	13	16,3	5	500	3	500



## ANEXO IV – NUTRIENTES, CLOROFILA-a, MICROCISTINAS

N = tamaño de la muestra  
MA = media aritmética  
MG = media geométrica  
DE = desviación estándar  
MD = mediana  
P95 = percentil 95  
Min = mínimo  
Max = máximo

Tabla 1. Clorofila a en playas ( $\mu\text{g/L}$ ).

	N	MA	MD	DE	Min	Max
pe	10	4,6	3,0	3,5	0,9	11,7
pb	12	5,3	3,1	4,5	0,5	15,5
sc	7	4,8	2,7	4,1	1,0	12,0
pa	13	6,7	6,0	6,1	1,0	20,3
ram	12	5,0	3,6	5,3	0,5	20,3
pocb	13	10,2	4,8	13,0	0,5	50,1
buc	0	.	.	.	.	.
mal	13	6,9	5,3	6,6	0,5	21,4
ing	6	21,3	2,8	45,4	1,3	113,9
car	12	9,9	9,0	5,2	1,6	20,2

Tabla 2. Microcistinas en playas ( $\mu\text{g/L}$ ).

	N	MA	MD	DE	Min	Max
pe	6	.17	.15	.03	.15	.2
pb	8	.27	.15	.30	.15	1
sc	6	.21	.18	.10	.15	.4
pa	9	2.49	.15	6.94	.15	21
ram	9	.93	.20	1.92	.15	6
pocb	9	.41	.15	.75	.15	2.4
buc	0	.	.	.	.	.
mal	9	.22	.15	.12	.15	.5
ing	5	.17	.15	.03	.15	.2
car	8	.30	.18	.25	.15	.7





**Intendencia de Montevideo**  
Desarrollo Ambiental

SERVICIO LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL



Tabla 3. Clorofila a en línea Z superficie ( $\mu\text{g/L}$ ).

	N	MA	MD	DE	Min	Max
Z1	17	7.3	5	5.1	1.5	20
Z2	0	.	.	.	.	.
Z malv	13	8.8	6	9.5	1.6	35.6
Z34	2	2.9	2.9	2.7	1	4.8
Z4	18	8.9	6.6	7.6	.9	26.0
Z5	14	5.6	4.5	3.6	1.1	13.9
Z6	4	9.1	6.7	9.9	.5	22.4
Z8	3	3	4	1.7	1	4
Z9	19	9.6	5	21.4	.5	96.7
Z10	14	7.6	4.7	14.1	1.1	56.1
Z zoppa	0	.	.	.	.	.
Z11	17	4.7	4	4.1	.5	14.4
Z12	18	4.7	3.9	3.9	.5	15
Z13	18	3.4	2.5	2.5	.7	10.7

Tabla 4. Microcistinas en línea Z superficie ( $\mu\text{g/L}$ ).

	N	MA	MD	DE	Min	Max
Z1	7	.74	.2	1.21	.15	3.4
Z2	0	.	.	.	.	.
Z malv	9	.34	.15	.37	.15	1.2
Z4	9	1.34	.2	2.45	.15	7
Z5	8	.31	.18	.30	.15	1
Z6	4	.16	.15	.03	.15	.2
Z8	0	.	.	.	.	.
Z9	9	.20	.15	.11	.15	.5
Z10	7	.26	.15	.24	.15	.8
Z zoppa	0	.	.	.	.	.
Z11	8	.21	.15	.12	.15	.5
Z12	10	.48	.18	.68	.15	2.3
Z13	10	.37	.15	.41	.15	1.4



**Tabla 5.** Clorofila a en línea L superficie ( $\mu\text{g/L}$ ).

	N	MA	MD	DE	Min	Max
L9	5	9.6	7.5	7.8	1	19.8
L1	16	9.9	6.5	8.5	1.2	25.1
L2	19	6.3	5	5.5	.6	20
L2b	3	7.3	8	4.3	2.7	11.2
L3	15	6.3	5	5.1	1.1	18
L4	18	8.6	3	20.8	1	91.6
L5	20	4.1	3	3.5	.9	15.1
L6	18	7.2	3	15.8	.5	69.4
L7	6	8.1	5.7	9.3	1	26.5
L8	5	4.8	3	4.2	1.2	9.6

**Tabla 6.** Microcistinas en línea L superficie ( $\mu\text{g/L}$ ).

	N	MA	MD	DE	Min	Max
L9	4	.16	.15	.03	.15	.2
L1	7	.3	.15	.35	.15	1.1
L2	9	.32	.15	.31	.15	1
L2b	1	.2	.2	.	.2	.2
L3	9	.36	.15	.58	.15	1.9
L4	10	.27	.18	.17	.15	.6
L5	9	1.18	.15	2.59	.15	8
L6	10	.35	.15	.44	.15	1.5
L7	6	.51	.18	.83	.15	2.2
L8	5	1.21	.35	1.38	.15	3

**Tabla 7.** Clorofila a en la Bahía superficie ( $\mu\text{g/L}$ ).

	N	MA	MD	DE	Min	Max
B1	10	11.9	4.1	17.1	1.1	57.7
B2	11	20.2	15.5	19.2	.5	54.7
B3	10	10.1	5.9	10.8	.5	33.6
B4	11	10.7	10.1	9.8	.5	26.7
B5	9	15.4	13	11.0	.5	33.11



**Tabla 8.** Microcistinas en la Bahía superficie ( $\mu\text{g/L}$ ).

	N	MA	MD	DE	Min	Max
B1	10	.25	.15	.27	.15	1
B2	10	.18	.15	.05	.15	.3
B3	10	.16	.15	.02	.15	.2
B4	10	1.0	.15	2.64	.15	8.5
B5	9	.23	.15	.22	.15	.8

**Tabla 9.** Clorofila a en Punta Carretas superficie ( $\mu\text{g/L}$ ).

	N	MA	MD	DE	Min	Max
c3n	17	6.6	5	5.6	1.1	20.3
c3e	17	6.5	6	4.9	1.1	20.3
c3s	15	5.7	5	3.5	1	12.8
c3w	18	7.1	5.7	5.2	.5	17.6
emis pc	20	9.3	5.7	9.3	1	35.4

**Tabla 10.** Microcistinas en Punta Carretas superficie ( $\mu\text{g/L}$ ).

	N	MA	MD	DE	Min	Max
c3n	9	.89	.15	1.52	.15	4.6
c3e	10	.77	.15	1.25	.15	4
c3s	9	.72	.15	1.25	.15	3.9
c3w	10	.42	.15	.50	.15	1.5
emis pc	11	.4	.15	.53	.15	1.9

**Tabla 11.** Clorofila a en Punta Yeguas superficie ( $\mu\text{g/L}$ ).

	N	MA	MD	DE	Min	Max
py emis	18	4.4	3.8	2.2	1.2	8.4



**Tabla 12.** Microcistinas en Punta Yeguas superficie ( $\mu\text{g/L}$ ).

	N	MA	MD	DE	Min	Max
py emis	9	.73	.5	.67	.15	1.9

**Tabla 13.** Clorofila a por áreas ( $\mu\text{g/L}$ ).

	N	MA	MD	DE	Min	Max
Playas	98,0	7,7	4,4	12,8	0,5	113,9
Línea Z	155,0	6,7	4,0	9,9	0,5	96,7
Línea L	125,0	7,1	4,0	11,0	0,5	91,6
Punta Carretas	87,0	7,1	5,3	6,2	0,5	35,4
Bahía	51,0	13,7	10,7	14,2	0,5	57,7
Punta Yeguas	18,0	4,4	3,8	2,1	1,2	8,4
Total	534,0	7,6	4,3	10,8	0,5	113,9

**Tabla 14.** Microcistinas por áreas ( $\mu\text{g/L}$ ).

	N	MA	MD	DE	Min	Max
Playas	69,0	0,6	0,2	2,6	0,2	21,0
Línea Z	81,0	0,5	0,2	1,0	0,2	7,0
Línea L	70,0	0,5	0,2	1,1	0,2	8,0
Punta Carretas	49,0	0,6	0,2	1,0	0,2	4,6
Bahía	49,0	0,4	0,2	1,2	0,2	8,5
Punta Yeguas	9,0	0,7	0,5	0,7	0,2	1,9
Total	327,0	0,5	0,2	1,5	0,2	21,0

**Tabla 15.** Nitrógeno total en superficie ( $\text{mg/L}$ ).

	N	MA	MD	DE	Min	Max
Punta Carretas	60	.35	.31	.23	.13	1.07
Bahía	55	1.71	.85	2.32	.13	14.9
Punta Yeguas	10	.50	.50	.27	.13	.84
Total	125	.96	.51	1.68	.13	14.9



**Tabla 16.** Nitrógeno total en profundidad (mg/L)

	N	MA	MD	DE	Min	Max
Punta Carretas	60	.33	.32	.21	.13	.97
Bahía	47	1.19	.66	1.28	.13	4.77
Punta Yeguas	9	.41	.46	.36	.13	1.24
Total	116	.68	.40	.93	.13	4.77

**Tabla 17.** Fósforo total en superficie (µg/L).

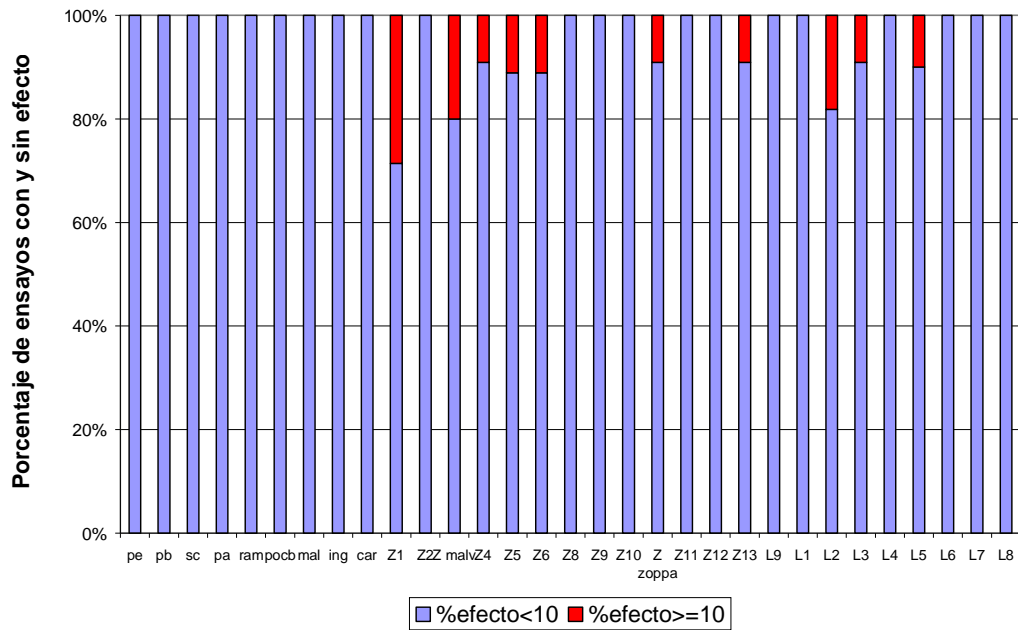
	N	MA	MD	DE	Min	Max
Punta Carretas	64	72	62	38	14	195
Bahía	55	208	140	200	41	1197
Punta Yeguas	10	104	82	83	44	325
Total	129	133	83	150	14	1197

**Tabla 18.** Fósforo total en profundidad (µg/L).

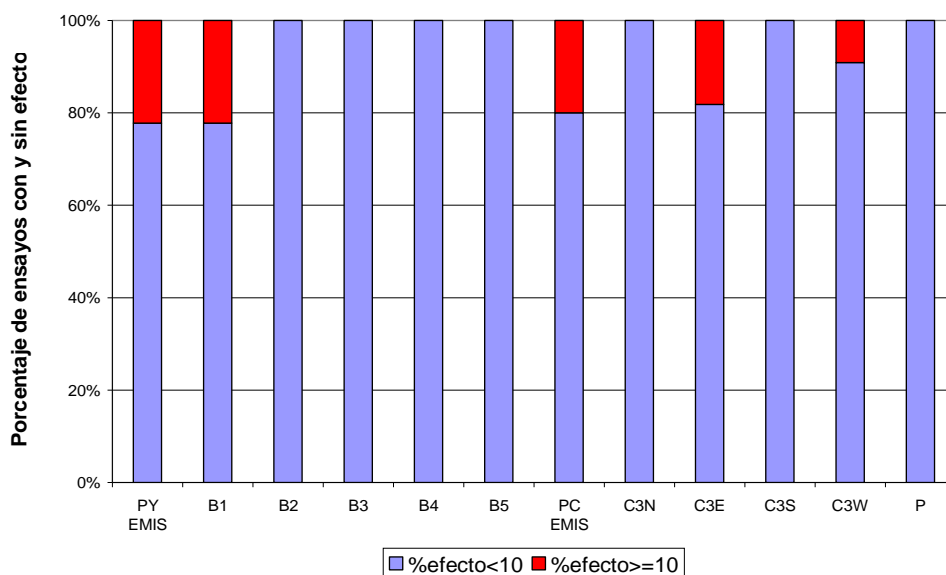
	N	MA	MD	DE	Min	Max
Punta Carretas	60	66	60	37	14	214
Bahía	49	184	110	183	14	830
Punta Yeguas	9	71	69	38	14	147
Total	118	115	73	134	14	830



## ANEXO V – BIOENSAYOS EN AGUA Y SEDIMENTO

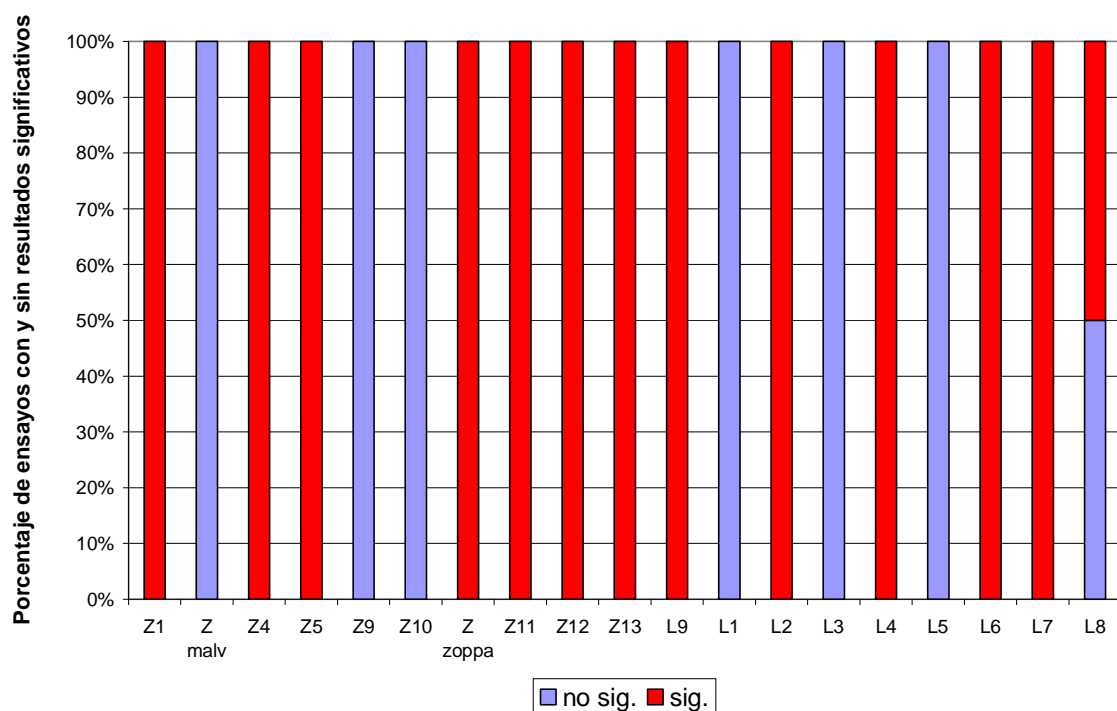


**Figura 1.** Gráfico del porcentaje de ensayos Microtox® (porcentaje de efecto > 10%) con y sin efecto en agua para los sitios de muestreo en playas, línea Z (200m) y línea L (2000m).



**Figura 2.** Gráfico del porcentaje de ensayos Microtox® (porcentaje de efecto > 10%) con y sin efecto en agua para los sitios de muestreo en Punta Yeguas (PY Emis), Bahía (B1 a B5) y Punta Carretas (PC Emis, C3N, C3E, C3S, C3W, P).





**Figura 3.** Gráfico del porcentaje de ensayos de *Hyalella* significativos respecto del ensayo control ( $p < 0,05$ ) con y sin efecto en sedimento para los sitios de muestreo en playas, línea Z (200m) y línea L (2000m).



Intendencia de Montevideo

Desarrollo Ambiental

SERVICIO LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL

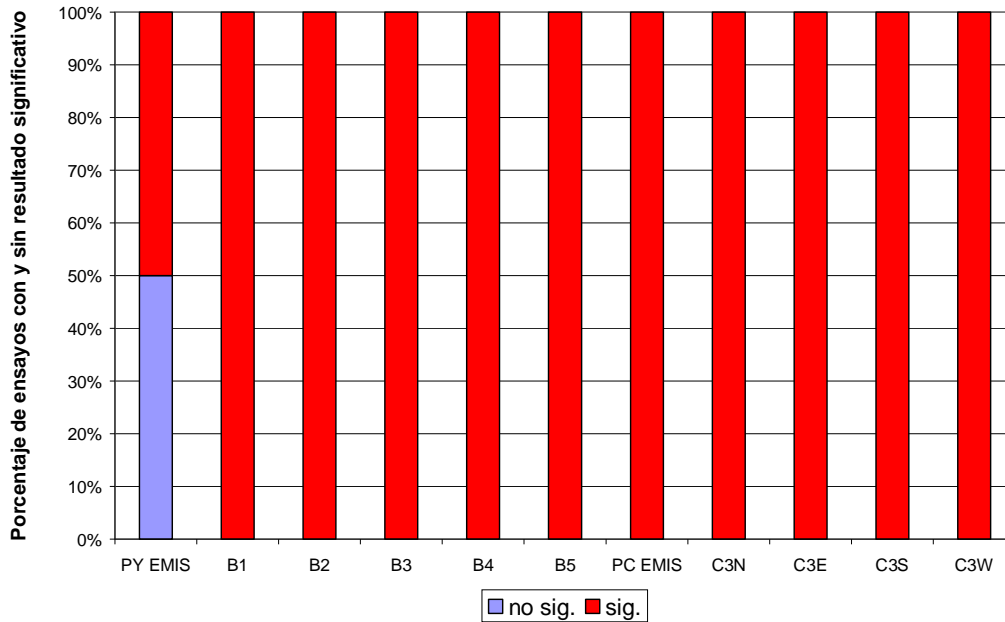


Figura 4. Gráfico del porcentaje de ensayos de *Hyalella* significativos respecto del ensayo control ( $p < 0,05$ ) con y sin efecto en sedimento para los sitios de muestreo en Punta Yeguas (PY Emis), Bahía (B1 a B5) y Punta Carretas (PC Emis, C3N, C3E, C3S, C3W, P).

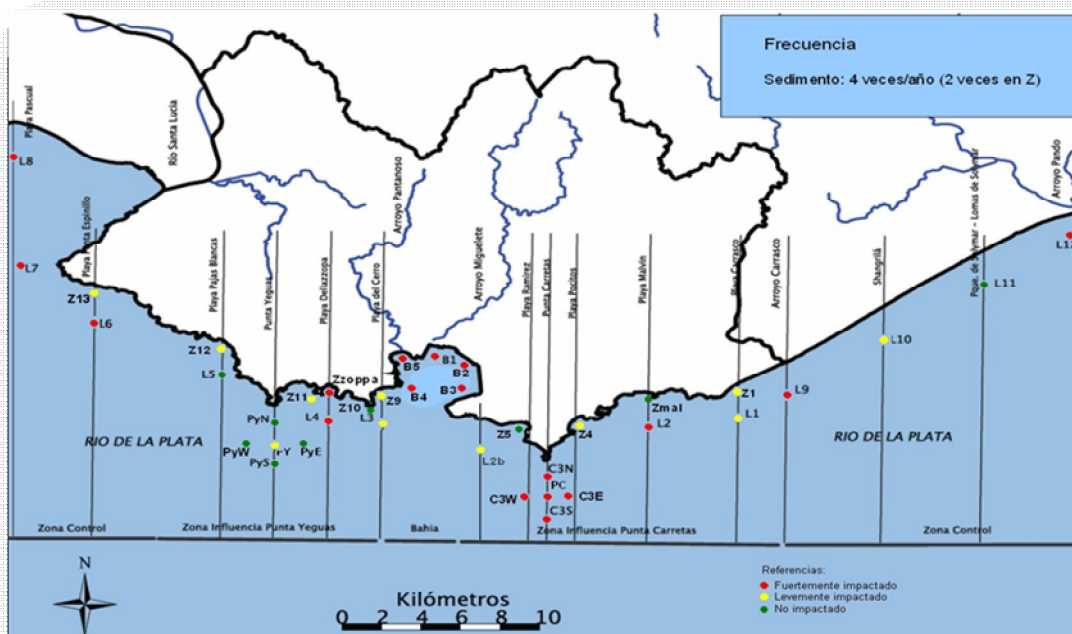


Figura 5. Mapa en el que se muestran los resultados de los bioensayos en las diferentes estaciones de muestreo.