3. ESTUDIO DE CARACTERIZACIÓN DEL CUERPO RECEPTOR

La ejecución de este estudio está a cargo del Servicio Laboratorio de Calidad Ambiental e incluye muestreos y determinaciones analíticas (en campo y en laboratorio) de diversos parámetros en columna de agua y en sedimentos, en estaciones ubicadas en playas, en la zona costera (a 200 m de la línea de costa), en la zona de influencia de la descarga del actual emisario de Punta Carretas y del emisario proyectado en Punta Yeguas, en la Bahía de Montevideo, en una franja a 2 Km de la línea de costa y en algunos puntos de control más lejanos.

En el mes de diciembre de 2008 se firmó un convenio con Facultad de Ciencias (UDELAR), a través del cual la Sección de Oceanología realiza los muestreos, análisis y evaluación de resultados para las variables bióticas en columna de agua y sedimentos y de algunas variables físico – químicas en sedimentos.

3.1. Definición de zonas de monitoreo

Se definieron cuatro zonas de monitoreo. Para realizar dicha selección se tuvieron en cuenta las características del Río de la Plata en la zona de descarga del emisario Punta Yeguas, el comportamiento de la descarga propiamente dicha, así como la descarga existente a través del emisario de Punta Carretas.

a. Zona de control

Es la zona donde la calidad del agua del Río de la Plata y por ende la biota hídrica no serían afectados por la pluma de ambos emisarios bajo cualquier situación hidrodinámica, de acuerdo a los resultados de las simulaciones realizadas. Estos puntos están situados al Oeste de la salida del emisario de Punta Yeguas y al Este de la salida del emisario de Punta Carretas.

b. Zona de posible influencia de la pluma del emisario 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.

c. 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.

d. Zona de posible 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.

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 2.000 m de la costa.
- Estaciones en la Bahía de Montevideo (EB).

Número y localización de estaciones

A continuación se detalla el número de estaciones de monitoreo por tipología y sus localizaciones.

- Estaciones en playa (incluye explanadas) (26 puntos): Punta Espinillo, La Colorada, Pajas Blancas, Zabala, P. Yeguas, Santa Catalina, del Nacional, Dellazoppa, del Cerro, Esc. Sarandi, del Gas, explanada Ejido, explanada calle Minas, Ramírez, la Estacada, Pocitos, Puerto del Buceo, Buceo, Malvín, Brava, Honda, Ingleses, Verde, Mulata, Carrasco, Miramar.

- Estaciones costeras, a 200 m de la costa frente a los siguientes puntos (16 puntos identificados como puntos Z): Punta Espinillo, Pajas Blancas, Santa Catalina, Punta Lobos , Cerro, Dellazoppa, canal de acceso a la Bahía, Guaraní, Paraguay, Ramírez, Pocitos, Buceo, Malvín, Honda, Verde, y Carrasco.

- Estaciones en zona de influencia de descarga de emisarios (18 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). Para Punta Carretas (PC) se mantienen las estaciones en círculos concéntricos de radio 500 y 1000 metros a la zona de descarga de los difusores.

- Estaciones lejanas (L), 6 puntos. Se localizan en las siguientes transectas: Punta Espinillo, Pajas Blancas, Dellazoppa, Cerro, Malvín, Carrasco.

- Estaciones lejanas Oeste y Este en la zona control (L), son 6 puntos. En esta zona que se evalúa con menor frecuencia, las estaciones se localizan en las siguientes transectas: antes del río Sta. Lucía, en el Sta. Lucía y después del mismo. También se extraen muestras a la altura de la desembocadura del arroyo Pando y en las zonas anterior y posterior a ésta.

- Estaciones en la Bahía de Montevideo (B), 5 puntos: Oeste de la Isla Libertad, desembocadura del arroyo Pantanoso, desembocadura del arroyo Miguelete, desembocadura del arroyo Seco, recinto portuario (entre escollera oeste y Cerro).

En la Figura 3.1 se presenta la distribución de las estaciones en el Río de la Plata y a lo largo de la costa de Montevideo.

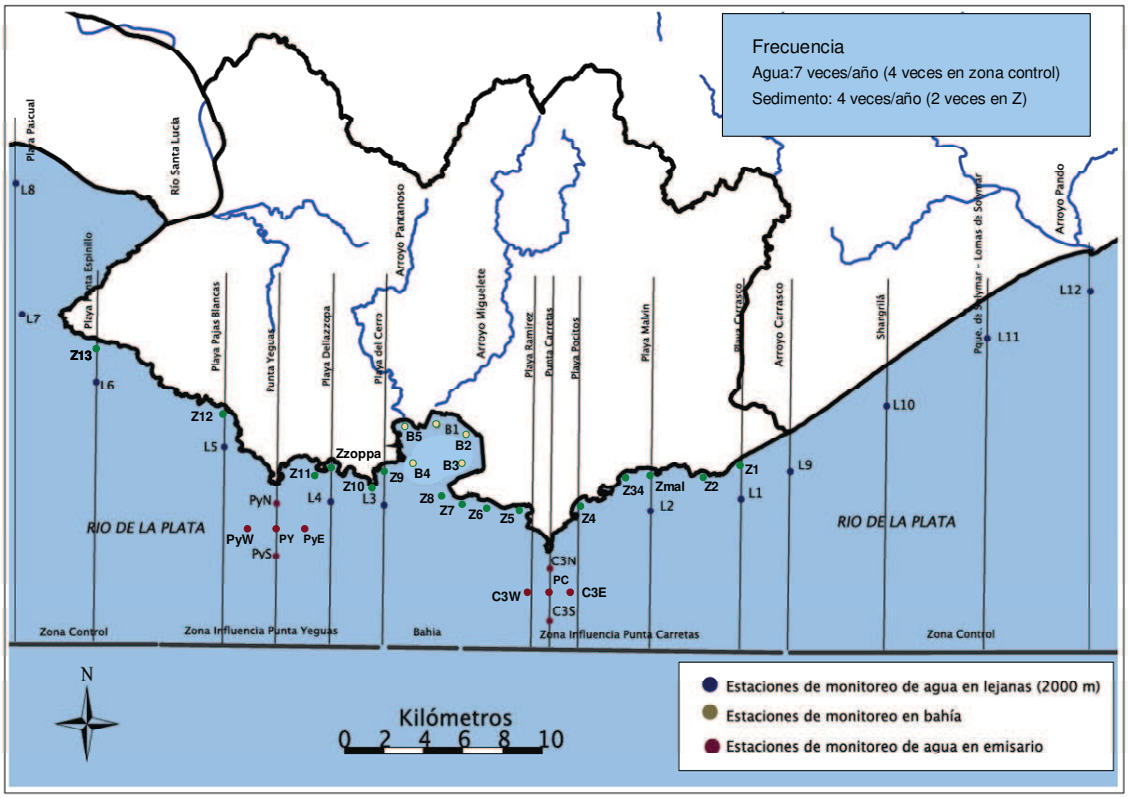


Figura 3.1. Localización de la Estaciones de Monitoreo (línea de base)

3.2. 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, se construyó 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.

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 Kolmogorov-Smirnov) y homogeneidad de varianza (test de Levene). Se aplicó la transformación logaritmo neperiano en los casos de violación de los supuestos. En los casos de no cumplimiento de los supuestos del ANOVA los resultados fueron también contrastados mediante Bootstrap (B=1000 muestras; Efron & Tibshirani, 1993).

Se consideraron significativos los valores-p menores o iguales a 0,05.

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 3.1 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).

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

Tabla 3.1 Distribución de los puntos de muestreo para cada área (playas, Z y L) y según ubicación de Este a Oeste

3.3. Muestreos de Agua y Sedimentos

Los muestreos son llevados a cabo por técnicos del Servicio Laboratorio de Calidad Ambiental de la Intendencia de Montevideo, y en el caso de extracción de muestras de sedimentos también participa personal de Facultad de Ciencias. En ambos tipos de salida se cuenta con la colaboración de la Armada Nacional (Prefectura del Puerto de Montevideo y Prefectura de Trouville) ya que se realizan en dos embarcaciones de búsqueda y rescate, con salida simultánea desde Puerto de Montevideo y Puerto del Buceo, tarea que insume siete horas aproximadamente.

3.3.1. Agua

Se extraen muestras de aguas de playas, a 200 y 2.000 metros de la costa, desde el arroyo Carrasco hasta Punta Espinillo y en la zona de influencia de los emisarios (Punta Carretas y el proyectado en Punta Yeguas). En este estudio está prevista la realización de cinco campañas de muestreo de agua entre los meses de setiembre y abril, y dos veces en el período comprendido de mayo a agosto.

Para la extracción de las muestras destinadas al análisis microbiológico se utilizan frascos previamente esterilizados en el laboratorio. El técnico hace directamente la toma de las muestras superficiales, mientras que las de profundidad son extraídas con el equipo de muestreo *Wildco*. En el caso de las muestras para análisis físico-químico se realiza la extracción con frascos de 1000mL 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 son extraídas en frascos de color negro.

Los datos fisico-químicos de campo son tomados con multiparámetro marca YSI modelo 85 o con HANNA modelo 9828. La dirección e intensidad de viento son medidas con anemómetro y brújula manual

En estas campañas está establecido que se realicen las siguientes determinaciones:

Parámetros de control[1]	
Datos meteorológicos	Dirección e intensidad de la corriente Dirección e intensidad del viento
Parámetros Fisicoquímicos	pH Temperatura Oxígeno Disuelto Conductividad Observación de Disco Secchi Salinidad Conductividad Sólidos suspendidos totales
Parámetros microbiológicos	Coliformes fecales Enterococos
Parámetros orgánicos	DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno) Aceites y Grasas
Nutrientes	Nitratos y Nitritos Amonio Fósforo Total
Metales	Plomo Cromo Cobre Zinc
Otros	Clorofila a Feofitina Hidrocarburos[2]
Bioensayos	*Vibrio fischerii* (Microtox)

[1] Determinaciones a cargo del Laboratorio de Calidad Ambiental.
2 Si se detecta presencia de capa oleosa visible.

Tabla 3.2

Resultados

Las planillas conteniendo los resultados analíticos de los parámetros estudiados en los quince muestreos realizados hasta el momento en agua y sedimento, se reportan en el **Anexo I.**

3.3.1.1. Determinaciones Microbiológicas

Coliformes fecales

Desde la Tabla 3.3 hasta la Tabla 3.8 se muestran los resultados estadísticos de los valores de coliformes fecales en todos los puntos estudiados: playas, línea Z (a 200 m) y línea L (a 2000 M), su media geométrica, mediana y desvío típico para todos los muestreos realizados, en superficie. Los gráficos de cajas correspondientes y los resultados de las muestras en profundidad se muestran en el **Anexo II.**

Resultados de Coliformes Fecales (ufc/100mL) en los puntos estudiados

Estación	N	Media geométrica	Mediana	Desv. típ.	Mínimo	Máximo
PE	11	33,00	10,00	334,869	5	1000
PB	12	104,34	135,00	1074,317	5	3840
SC	13	275,69	230,00	418,537	110	1600
PCerro	13	366,17	340,00	908,002	50	2600
RAM	12	218,26	160,00	1372,989	25	4900
POCB	13	214,13	280,00	749,811	20	2500
MAL	13	107,61	130,00	216,742	5	670
ING	3	18,17	5,00	135,677	5	240
CAR	13	98,58	100,00	449,364	5	1600
Total	103	138,15	190,00	772,480	5	4900

Tabla 3.3 Estaciones en playas (muestras superficiales)

Estación	N	Media geométrica	Mediana	Desv. típ.	Mínimo	Máximo
Z1	13	25,62	20,00	106,681	5	400
Z2	13	43,25	60,00	114,521	5	330
Z23	14	47,28	65,00	116,580	5	450
Z MALV	15	67,85	90,00	206,354	5	720
Z34	15	108,70	110,00	305,159	5	1070
Z4	15	166,56	190,00	667,616	5	2360
Z5	14	232,98	385,00	842,390	5	3000
Z6	8	225,15	300,00	1430,462	5	4200
Z7	9	192,42	840,00	1072,797	10	3200
Z8	8	571,68	250,00	17287,813	5	50000
Z9	15	584,58	480,00	3098,644	10	11600
Z10	8	367,31	310,00	8455,616	20	24500
Z ZOPPA	12	109,87	106,00	837,152	5	3000
Z11	13	49,31	60,00	83,280	5	280
Z12	15	31,06	30,00	508,295	5	2000
Z13	14	10,00	5,00	83,284	5	320
Total	201	91,09	90,00	4049,838	5	50000

Tabla 3.4 Estaciones costeras, Línea Z a 200 m (muestras superficiales)

Estación	N	Media geométrica	Mediana	Desv. típ.	Mínimo	Máximo
L12	1	10,00	10,00	.	10	10
L11	2	5,00	5,00	,000	5	5
L10	2	5,00	5,00	,000	5	5
L9	2	7,07	7,50	3,536	5	10
L1	13	16,89	16,00	40,183	5	140
L2	15	62,40	60,00	627,563	5	2500
L3	15	210,12	260,00	6364,909	5	25000
L4	15	68,46	110,00	212,699	5	740
L5	14	17,02	15,00	25,925	5	70
L6	14	10,99	7,50	14,830	5	50
L7	4	16,82	20,00	14,361	5	40
L8	3	25,20	20,00	11,547	20	40
Total	100	32,86	20,00	2543,339	5	25000

Tabla 3.5 Estaciones lejanas, Línea L a 2000 m (muestras superficiales)

Estación	N	Media geométrica	Mediana	Desv. típ.	Mínimo	Máximo
BAHIA1	6	112807,90	138500,00	194553,506	15000	540000
BAHIA2	6	69070,07	53000,00	105245,269	23000	280000
BAHIA3	6	8348,53	10000,00	14334,806	1500	38000
BAHIA4	6	13651,45	16950,00	27443,937	2400	70000
BAHIA5	6	8340,27	8750,00	44485,267	1100	115000
Total	30	23654,82	25500,00	117758,546	1100	540000

Tabla 3.6 Bahía

Estación	N	Media geométrica	Mediana	Desv. típ.	Mínimo	Máximo
C1N	13	134,30	110,00	2691,745	5	9900
C1E	15	118,52	80,00	3870,936	5	15200
C1S	15	69,39	130,00	531,526	5	2100
C1W	15	227,17	320,00	2063,639	5	8100
C2N	15	100,73	150,00	2286,471	5	9000
C2E	15	149,18	220,00	5616,699	5	22000
C2S	14	43,11	50,00	210,804	5	670
C2W	15	553,12	700,00	3801,422	10	11600
C3N	13	117,81	240,00	910,239	5	3400
C3E	15	183,37	230,00	664,222	5	2000
C3S	15	81,62	100,00	1515,922	5	6000
C3W	15	332,65	370,00	3732,081	20	14700
P	10	1794,50	1200,00	184954,031	30	590000
P1N	1	40,00	40,00	.	40	40
P1E	6	560,06	685,00	5986,366	40	15200
P1W	6	501,81	655,00	509,604	80	1300
EMIS PC	15	171,15	190,00	2110,472	5	8400
Total	213	171,94	230,00	40662,857	5	590000

Tabla 3.7 Emisario Punta Carretas (superficiales)

Estación	N	Media geométrica	Mediana	Desv. típ.	Mínimo	Máximo
PY EMIS	15	13,55	10,00	242,166	5	950
PYN	14	20,64	25,00	46,626	5	170
PYE	14	21,38	15,00	153,032	5	580
PYS	14	18,54	15,00	90,503	5	350
PYW	15	12,07	5,00	91,999	5	360
Total	72	16,67	10,00	140,354	5	950

Tabla 3.8 Emisario previsto en Punta Yeguas (muestras superficiales)

En todos los casos, se observa una muy alta dispersión de resultados entre los diferentes muestreos, como es esperable dada la alta variabilidad de condiciones del Río de la Plata. Para facilitar la visualización de todos los resultados se muestran la Figura 3.2 y la Figura 3.3, donde se representa la media geométrica de todos los valores en las diferentes zonas del estudio. De estos resultados se observa que las características de cada uno de ellos estarían influenciadas en gran medida por el comportamiento de la costa y los aportes respectivos. La información recabada hasta el momento permite concluir que serán necesarias modificaciones en el diseño de muestreo para permitir comparaciones precisas entre la región de playas, la líneas Z (a 200 m) y L (a 2000 m).

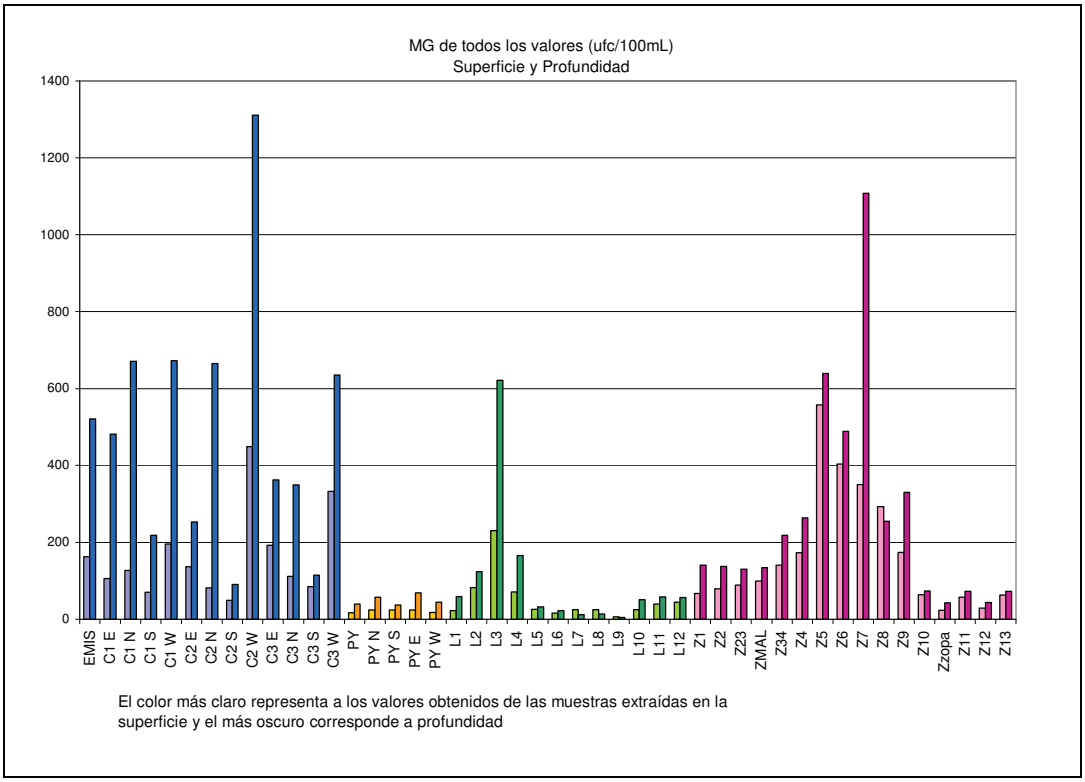


Figura 3.2. Media Geométrica de Coliformes Fecales en los Puntos del Río de la Plata

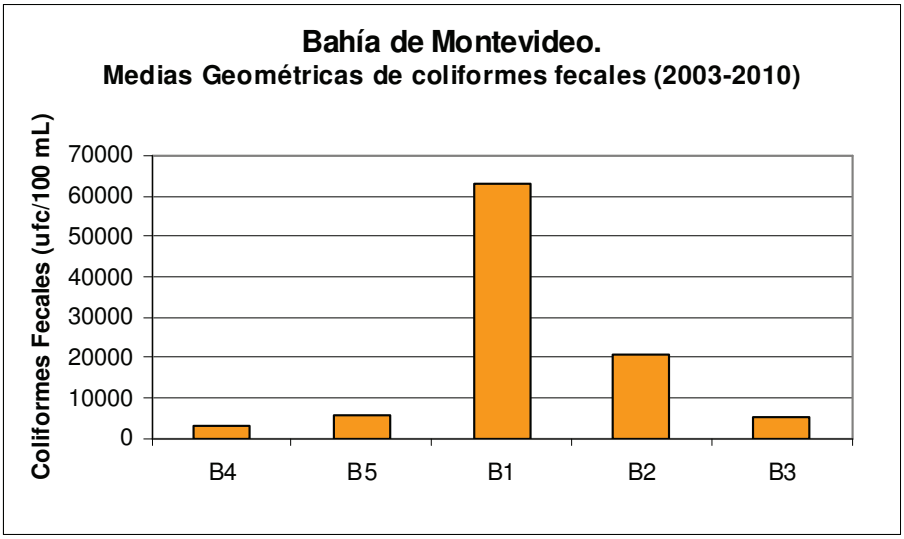


Figura 3.3. Media Geométrica de Coliformes Fecales. Bahía de Montevideo (Superficie)

Los resultados obtenidos de coliformes fecales se deben 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/100 mL en ninguna de al menos 5 muestras, debiendo la media geométrica de las mismas estar por debajo de 1000 CF/100 mL*".

Las medias geométricas registradas en estos muestreos en los puntos de playas cumplen con la normativa vigente que establece un límite de 1000 ufc/100mL, con algunas excepciones en los valores puntuales según se muestra en la Tabla 3.3. Mayor información se puede obtener en los informes anuales y de temporada, donde se reportan 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/playas>.

Los mayores valores de medias geométricas (MG) de coliformes fecales se encuentran, como era de esperar, en la Bahía de Montevideo, con resultados mayores a 10^4 ufc/100mL en el punto B1 (cercano a la desembocadura de los arroyos Miguelete y Pantanoso) y en la zona de influencia de la descarga del emisario de P. Carretas con un máximo del orden de 10^3 (en el punto C2W en profundidad). Se destaca que en B1 se presentan bajos valores de oxígeno disuelto cuyos valores medios (menos de 4 mg/L) 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 2009 del Programa de Monitoreo de cursos de agua del año 2009 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 cuanto a los puntos en la línea a 200 m (línea Z), en la zona enfrentada a la Escollera Sarandí, no se supera la MG de coliformes fecales de 1000 ufc/100mL, límite de la

normativa antes mencionada. Los resultados correspondientes a la línea a 2000 m (línea L) presentan en general valores menores, con un máximo levemente superior a 600 ufc/100mL en la zona cercana a la Bahía de Montevideo. Los menores valores de MG de coliformes fecales se encuentran en la zona de Punta Yeguas y al oeste de la misma, tanto a 200 como a 2000 m de la costa y en los puntos de la zona del emisario proyectado.

En todos los puntos se observa la tendencia a que las muestras de profundidad presenten 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.

Enterococos intestinales [1]

Valor como indicador

El grupo de los enterococos intestinales puede utilizarse como índice de contaminación fecal, ya que la mayoría de las especies no proliferan en medios acuáticos. Además estas bacterias son relativamente tolerantes al cloruro de sodio y al pH alcalino. La concentración de enterococos intestinales en las heces humanas es, generalmente, alrededor de un orden de magnitud menor que la de *E. coli*. Este grupo presenta 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 en el análisis del agua bruta como índice de la presencia de agentes patógenos fecales que sobreviven durante más tiempo que *E. coli* y en agua de consumo 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.

Los enterococos intestinales se excretan habitualmente en las heces humanas y de otros animales de sangre caliente. Algunas especies de este grupo también se han detectado en suelos, en ausencia de contaminación fecal. Hay concentraciones altas de enterococos intestinales en las aguas residuales y en los medios acuáticos contaminados por aguas residuales o por residuos humanos o animales.

Estación	N	Media geométrica	Mediana	Desv. típ.	Mínimo	Máximo
PB	1	200,00	200,00	.	200	200
SC	8	136,68	90,00	826,153	10	2440
PΔ	8	105,47	102,50	246,648	20	760
RAM	7	36,41	40,00	97,742	5	285
POCB	8	97,65	112,50	147,732	25	468
MAL	8	55,24	60,00	61,756	20	215
ING	2	34,64	35,00	7,071	30	40
CAR	1	50,00	50,00	.	50	50
Total	43	77,06	60,00	389,625	5	2440

Tabla 3.9

[1] http://www.bvsde.paho.org/CD-GDWQ/docs_microbiologicos/Indicadores%20PDF/Enterococos%20intestinales.pdf

En el Anexo I se presenta el gráfico correspondiente a esta Tabla 3.9. Si bien existen diferencias importantes en las medias geométricas, la alta variabilidad de resultados observados para los diferentes muestreos en cada punto y el bajo número de muestras en cada punto dificulta la comparación estadísticas entre ellos. Dado que no existe normativa nacional para enterococos se toma como referencia para la comparación, los valores guía de la OMS, 2003 que establecen categorías de riesgo y un límite máximo de 500 ufc/100mL para el percentil 95, por encima del cual puede existir un nivel significativo o alto de trasmisión de enfermedades hídricas. Dado el bajo número de muestras disponible hasta el momento en este estudio no se puede establecer el valor de percentil 95.

3.3.1.2. Estudio de Nutrientes y Clorofila a

Análisis del estado trófico del sistema

Introducción

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.

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

El proceso de eutrofización, originado entre otros factores por el enriquecimiento en nutrientes, que ocurre naturalmente en una escala de tiempo de miles de años (OECD, 1986), se ha acelerado exponencialmente a nivel global debido al aumento poblacional, cambios en el uso del suelo, uso indiscriminado de fertilizantes, detergentes, y deposición atmosférica de nitrógeno (Carpenter, 2005). 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, pérdidas de peces 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. 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).

Considerando las características transicionales de los ecosistemas acuáticos estuarinos (Ley 18610 - Política Nacional de Aguas), para el análisis de su estado trófico actual se han tomado en cuenta diversas categorizaciones. Por un lado según el reporte de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (USEPA, 2008) basado en el estudio detallado de todas sus zonas costeras, se jerarquizan los parámetros clorofila-a, nutrientes (nitrógeno y fósforo), oxígeno disuelto y turbidez (expresada como indicador de claridad) tal como se muestra en la Tabla 3.10. Dado que en Montevideo se encuentra en el frente de salinidad y turbiedad del Río de la Plata, se observan valores muy variables de turbiedad dependientes fundamentalmente de factores hidrodinámicos, por lo que este parámetro no se utilizó para evaluar el estado trófico. Por otra parte, también debe tomarse en cuenta para esta evaluación, las categorías utilizadas para ecosistemas acuáticos continentales como por ejemplo las utilizadas por la Universidad de Florida (http://lakewatch.ifas.ufl.edu) como se presenta en la Tabla 3.11

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 criterios de la Universidad de Florida, como se mencionó anteriormente así como los antecedentes de valores de clorofila en el Río de la Plata. (Tabla 3.12).

	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 *a* (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.

Tabla 3.10 Categorías de calidad de aguas costeras en relación al estado trófico

	Oligotrófico	Mesotrófico	Eutrófico	Hiper-eutrófico
Fósforo total (mg/L)	< 0.015	0.015 - 0025	0.025- 0.10	> 0.10
Nitrógeno total (mg/L)	< 0,4	0.4 - 0,6	0.6 – 1.50	> 0,5
Clorofila *a* (µg/L)	< 3	3 - 7	7 - 40	> 40

Tabla 3.11 Criterios para definir estado trófico en aguas continentales (Forsberg y Ryding, 1980)

Los factores dentro del propio cuerpo de agua que modulan el impacto del enriquecimiento de nutrientes incluyen la estructura de la cadena trófica, intercambios entre sedimento y columna de agua, morfometría e hidrodinámica (Ryding & Rast, 1989).

SISTEMA	CLOROFILA *a* µ/L	REFERENCIAS
RIO mareal (zona interior)		
1992-95	<2,0-12,3	AGOSBA-SIHN 1997
ESTUARIO (zona intermedia)		
Invierno	<0,2-1,4	Basigaluz 1981
1981-1987	0,4-7,0	CARP 1989
Primavera	2-13	Gómez et *al.* 1996
1997-98	0,6-143	Gómez et *al.* 1998
MARINO (zona exterior)		
Verano	0,2-3,0	Texeira et *al.* 1973
Otoño	25,0	Texeira et *al.* 1973
Otoño	1,3	Hubold 1980 a,b
Primavera	0,38	Hubold 1980 a,b
Primavera	0,2-12,5	Carreto et *al.* 1981
Verano	4,1-9,5	Vasconcellos 1982
Otoño	2,9-7,8	Vasconcellos 1982
Primavera	3,0-7,7	Carreto et *al.* 1986
Verano	0,4-7,9	Parietti 1986
Verano	4,9-6,9	Milstein 1986
Invierno	1,0-33,0	Bayssé et *al.* 1986
Verano	0,1-4,1	Mesones 1991
Otoño	3,4-98,1	Gonzalez 1994

Tabla 3.12 Antecedentes de valores de clorofila en estudios del Río de la Plata (Gómez-Erache et al, 2001)

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 contribuyen al proceso de eutrofización, pero las fuentes no-puntuales son generalmente las dominantes y las 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.

Metodología analítica

La determinación de clorofila a se realiza según el procedimiento espectrofotométrico del "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater" (APHA-AWWA- EF, 21th Ed., 10200H) y los resultados se expresan en µg/L.

Las microcistinas se analizan por 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, BM et al 2006)

La determinación de salinidad se realizó por conductividad, método 2520B Electrical Conductivity Method (APHA-AWWA- EF, 21st Ed), utilizando la escala práctica de salinidad (EPS).

La determinación de turbiedad se realiza por método 2510 Conductivity (APHA-AWWA- EF, 21st Ed).

La determinación de nitrógeno total y fósforo total se realizó como se descrie en Monteiro et al., (2003) y APHA 4500-PE, con digestión previa según Valderrama (1981).

Resultados de nitrógeno y fósforo total para las diversas estaciones

Se reportan los resultados de nitrógeno total y fósforo total en muestras de agua de playas, bahía, emisarios, costeras (200 metros de la costa) y lejanas (2000 m de la costa) desde la desembocadura del Río Santa Lucía hasta la del Arroyo Pando, tanto en superficie como en profundidad. Se prevé que a la brevedad se incorpore también la determinación de nitrógeno y fósforo inorgánico disuelto. Las determinaciones de nitrógeno y fósforo total se implementaron en el Servicio Laboratorio de Calidad Ambiental, a partir del muestreo de Noviembre del 2009, por lo que hasta el momento se han analizado seis campañas de muestreo. Debe destacarse que este período correspondió a una temporada estival con alta frecuencia de floraciones de cianobacterias asociado a las abundantes precipitaciones en la cuenca derivadas del fenómeno de El Niño.

De acuerdo a los registros de observaciones de los muestreos, durante 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 hubo presencia de cianobacterias en las zonas que se detallan a continuación:

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

Tabla 3.13

Estaciones costeras (Z)

Desde la Tabla 3.14 a la Tabla 3.16 se presentan los valores máximos, mínimos, medias, medianas y desviación estándar para fósforo total, nitrógeno total, y clorofila-a, para seis muestreos en la época verano 2009- otoño 2010 en las estaciones costeras en su conjunto. En la Tabla 3.14 se muestran las medias, medianas y desviación estándar, siendo el rango de variación de concentraciones de Nitrógeno total de 0.15 a 1.20 mg/L, en columna de agua.

Estación	N	Media	Mediana	Desv. típ.	Mínimo	Máximo
Z1	4	,5782	,5850	,12884	,43	,71
Z MALV	6	,6855	,6500	,30288	,34	1,15
Z34	1	,5900	,5900	.	,59	,59
Z4	6	,6545	,7000	,32246	,15	1,12
Z5	5	,5068	,4000	,43667	,15	1,20
Z9	6	,5390	,5370	,26400	,15	,83
Z ZOPPA	5	,4156	,3090	,36417	,15	1,03
Z11	5	,5532	,4060	,44763	,15	1,03
Z12	6	,6095	,6595	,29633	,15	,94
Z13	6	,8225	,7950	,19308	,57	1,07
Total	50	,6029	,6095	,30986	,15	1,20

Tabla 3.14 Nitrógeno Total (mg/L expresado en N) estaciones costeras

En el análisis por estaciones, se destaca el punto Z13 (ubicado en Punta Espinillo) por sus concentraciones de nitrógeno total que son superiores a los demás puntos de muestreo en prácticamente todos los muestreos citados, con valores en el rango 0.57 a 1.07 mg/L. En el **Anexo I-a** se presentan los gráficos por puntos para todas las estaciones costeras y su división al Este y Oeste del Emisario Punta Carretas; en dichos gráficos es fácilmente visible este comportamiento para las estaciones mencionadas.

La USEPA (2008) define como valor límite para la categoría de calidad de agua costera "Aceptable", el valor de 0,5 mg/L de Nitrógeno Inorgánico Disuelto (DIN). Valores superiores indican una calidad de agua "Pobre" en cuanto a su estado trófico (eutrofia). Sin embargo, es importante puntualizar que la determinación de nitrógeno total que se realiza por el momento en el Laboratorio de Calidad Ambiental, se detecta el nitrógeno en todas sus formas (orgánico, inorgánico, disuelto y particulado) por lo que estos valores no pueden compararse con dichos límites. Los niveles de nitrógeno total encontrados se corresponden con sistemas continentales mesotróficos o eutróficos pero estos valores no son necesariamente válidos para sistemas estuarinos. Se destaca que los límites del Decreto

253/79 para nitratos (10 mg/L) no están actualizados con los valores utilizados internacionalmente para la evaluación del estado trófico.

Para el parámetro fósforo total se observa un rango de variación comprendido entre 25 a 300 µg/L (Tabla 3.15).

Estación	N	Media	Mediana	Desv. típ.	Mínimo	Máximo
Z1	4	95,4185	109,8371	48,69269	25,00	137,00
Z MALV	6	85,3788	84,5450	14,97471	60,00	101,00
Z34	1	56,0000	56,0000	.	56,00	56,00
Z4	6	117,6033	130,3100	61,58474	25,00	179,00
Z5	5	62,9821	25,0000	52,70876	25,00	132,06
Z9	6	79,3636	74,5000	37,48535	25,00	132,02
Z ZOPPA	5	73,4724	85,3000	48,54582	25,00	138,00
Z11	5	87,4714	94,0000	19,68549	54,57	106,00
Z12	6	154,2369	148,1207	61,78675	94,04	261,84
Z13	6	182,3846	151,2588	69,37732	122,00	304,00
Total	50	105,4221	99,0914	59,80280	25,00	304,00

Tabla 3.15 Fósforo Total (µg/L expresado en P) estaciones costeras

Se destacan los valores elevados de fósforo total en todas las estaciones y en particular en Z13 (ubicada en Punta Espinillo) y ZMALV (a 200 m de la Playa Malvín), siendo 25 µg/L el máximo recomendado por el Decreto 253/79 para cursos de agua Clase 3.

Los resultados correspondientes a los análisis de Clorofila-*a* que se determinaron para estas muestras se reportan en la Tabla 3.16

Estación	N	Media	Mediana	Desv. típ.	Mínimo	Máximo
Z1	13	8,099	6,000	5,3178	1,8	20,0
Z MALV	11	9,036	6,000	10,0566	2,0	35,6
Z34	2	2,900	2,900	2,6870	1,0	4,8
Z4	13	10,015	7,000	8,0537	2,0	26,0
Z5	10	4,754	4,000	3,0392	1,1	12,0
Z7	1	6,000	6,000	.	6,0	6,0
Z8	3	3,000	4,000	1,7321	1,0	4,0
Z9	14	4,881	4,500	3,4864	1,0	14,0
Z10	8	4,400	5,000	2,0570	1,3	7,0
Z11	11	4,000	3,700	3,2487	1,0	12,7
Z12	13	4,100	4,000	2,4641	1,0	9,0
Z13	13	2,825	2,000	1,3843	1,0	6,0
Total	112	5,721	4,000	5,4490	1,0	35,6

Tabla 3.16 Clorofila estaciones costeras (µg//L)

De acuerdo a la referencia de la USEPA (2008) valores menores a 5 µg/L de clorofila promueven condiciones de buena calidad del agua, entre 5 y 20 µg/L condiciones de calidad intermedia y para valores mayores de 20 µg/L las características son malas. En las estaciones costeras se observa que los valores medios no exceden el máximo correspondiente al límite de la categoría de buena calidad de agua, sin embargo se han

detectado valores puntuales que lo exceden (ZMALV y Z4). En las gráficas del **Anexo I-a**, se pueden apreciar estas variaciones puntuales.

En la Tabla 3.17 se presentan las correlaciones entre distintos parámetros seleccionados para estudiar su interacción en las estaciones costeras en superficie, utilizándose el coeficiente de Spearman por tratarse de un análisis no paramétrico.

			Nitrógeno total (mg/L)	Fósforo total (µg/L)	Clorofila a (µg/L)	Turbiedad (NTU)	Salinidad (UPS)	Oxígeno Disuelto (mg/L)
Rho de Spearman	Nitrogeno total (mg/L)	Coeficiente de correlación	1,000	,514	,096	,714	-,208	-,132
		N	50	50	34	6	48	38
	Fósforo total (µg/L)	Coeficiente de correlación	,514	1,000	-,182	,319	-,376	-,339
		N	50	50	34	6	48	38
	Clorofila a (µg/L)	Coeficiente de correlación	,096	-,182	1,000	-,038	,334	-,234
		N	34	34	112	65	110	47
	Turbiedad (NTU)	Coeficiente de correlación	,714	,319	-,038	1,000	-,193	-,535
		N	6	6	65	112	112	20
	Salinidad (UPS)	Coeficiente de correlación	-,208	-,376	,334	-,193	1,000	-,204
		N	48	48	110	112	199	79
	Oxígeno Disuelto (mg/L)	Coeficiente de correlación	-,132	-,339	-,234	-,535	-,204	1,000
		N	38	38	47	20	79	81

Tabla 3.17 Correlaciones estaciones costeras (a 200m)

De los datos primarios obtenidos puede verse una tendencia de correlaciones positivas entre la turbidez y nitrógeno total. A su vez, la correlación nitrógeno – fósforo total tiende a ser significativa y de carácter positivo, tal como se espera de acuerdo a los antecedentes bibliográficos. Debe mencionarse que si bien pueden apreciarse ciertas tendencias en cuanto a la correlación de variables, se trata de datos preliminares ya que no se dispone de suficientes datos ni réplicas como para establecer con certeza el comportamiento de estas variables entre sí.

Estaciones lejanas (L)

De la Tabla 3.18 a la Tabla 3.20 se muestran los valores máximos mínimos, medias, medianas y desviación estándar de la concentración de nitrógeno total, fósforo total y clorofila-*a*, para los seis muestreos en período verano 2009-otoño 2010 en las estaciones lejanas.

Estación	N	Media	Mediana	Desv. típ.	Mínimo	Máximo
L12	1	3,7980	3,7980	.	3,80	3,80
L11	1	,8250	,8250	.	,83	,83
L10	2	,9235	,9235	,76863	,38	1,47
L9	2	,1500	,1500	,00000	,15	,15
L1	4	,5400	,3800	,48587	,15	1,25
L2	5	,2600	,1500	,16492	,15	,52
L3	6	,4657	,4500	,22129	,15	,84
L4	6	,4262	,4185	,25921	,15	,79
L5	5	,7352	,7090	,33914	,35	1,28
L6	6	,8287	,8320	,24021	,49	1,16
L7	4	,8373	,8290	,18808	,64	1,05
L8	4	,7833	,8515	,23038	,45	,98
Total	46	,6676	,5685	,58368	,15	3,80

Tabla 3.18 Nitrógeno total (mg/L) estaciones lejanas

Considerando las estaciones L1 a L8 (para L9 a L12 sólo se tiene valores para uno o dos muestreos) se aprecia una variación de concentraciones entre 0.15 y 1.28 mg/L similar al rango obtenido para las estaciones costeras. Es interesante observar el incremento puntual de la concentración de fósforo y nitrógeno total en prácticamente todas las estaciones en el muestreo de fecha 18 de febrero del 2010. Este incremento de las concentraciones se aprecia también en las estaciones costeras (**Anexo I-a**).

Estación	N	Media	Mediana	Desv. típ.	Mínimo	Máximo
L12	1	984,0000	984,0000	.	984,00	984,00
L11	2	111,4205	111,4205	45,02783	79,58	143,26
L10	2	391,0603	391,0603	468,01935	60,12	722,00
L9	2	66,6300	66,6300	58,87371	25,00	108,26
L1	4	124,3842	80,0534	106,82765	54,50	282,93
L2	6	74,7000	82,1000	25,43273	25,00	94,00
L3	5	110,6651	118,3900	52,25822	25,00	167,94
L4	6	106,0715	117,7144	50,21621	25,00	176,00
L5	5	157,6900	139,0000	110,50331	53,00	342,00
L6	6	182,0550	160,6150	62,77586	136,00	306,00
L7	4	199,2181	191,7200	40,31910	163,94	249,49
L8	4	163,9442	156,9884	50,42131	111,34	230,46
Total	47	161,5137	120,0000	165,62803	25,00	984,00

Tabla 3.19 Fósforo total (micro g/L) estaciones lejanas

Las concentraciones de fósforo en las estaciones L1 a L8 están entre 25 a 342 µg/L, excediendo la normativa nacional vigente (Tabla 3.19). El rango de variación de clorofila-*a* para las estaciones L1 a L8, se encuentra entre 1.0 y 69 µg/L (Tabla 3.20) siendo la frecuencia de valores que exceden 20 µg/L mayor que para las estaciones costeras. Se destacan los elevados valores de clorofila observados en las estaciones L6 y L7 (cercanos a la zona de Punta Espinillo).

Estación	N	Media	Mediana	Desv. típ.	Mínimo	Máximo
L12	1	392,490	392,490	.	392,5	392,5
L11	2	33,370	33,370	35,8786	8,0	58,7
L10	2	208,510	208,510	256,4111	27,2	389,8
L9	2	17,630	17,630	3,0123	15,5	19,8
L1	12	12,047	7,500	8,7764	3,0	25,1
L2	14	7,453	5,000	5,8437	1,0	20,0
L3	9	6,420	5,000	4,5270	1,4	14,0
L4	13	3,608	3,000	1,6013	2,0	6,4
L5	14	3,562	3,000	1,7044	1,0	7,0
L6	13	8,369	3,000	18,4201	1,0	69,4
L7	3	12,757	7,500	12,0111	4,3	26,5
L8	3	4,433	3,000	4,1405	1,2	9,1
Total	88	16,765	4,135	58,4052	1,0	392,5

Tabla 3.20 Clorofila (micro g/L) estaciones lejanas

Como conclusión preliminar para las estaciones costeras y lejanas, se observa un comportamiento similar en cuanto a concentraciones de nutrientes y su distribución en el espacio y el tiempo. Se observa que el sistema presenta elevados valores de fósforo total, nitrógeno total y las concentraciones de clorofila en general no superan el límite de Categoría Aceptable de la USEPA (2008).

En la Tabla 3.21 se indican las correlaciones entre turbidez, salinidad, clorofila y nutrientes en todas las estaciones lejanas en superficie, utilizándose el coeficiente de Spearman por tratarse de un análisis no paramétrico. Se destaca la correlación positiva entre fósforo total y nitrógeno total; así como la existencia de una correlación positiva entre ambos nutrientes y turbidez.

			Nitrogeno total (mg/L)	Fósforo total (µg/L)	Clorofila a (µg/L)	Turbiedad (NTU)	Salinidad (UPS)	Oxígeno Disuelto (mg/L)
Rho de Spearman	Nitrogeno total (mg/L)	Coeficiente de correlación	1,000	,840	-,102	,728	-,465	-,289
		N	46	45	36	44	45	38
	Fósforo total (µg/L)	Coeficiente de correlación	,840	1,000	-,126	,756	-,517	-,488
		N	45	47	37	45	46	37
	Clorofila a (µg/L)	Coeficiente de correlación	-,102	-,126	1,000	-,138	,353	,255
		N	36	37	88	74	86	44
	Turbiedad (NTU)	Coeficiente de correlación	,728	,756	-,138	1,000	-,534	-,302
		N	44	45	74	87	87	50
	Salinidad (UPS)	Coeficiente de correlación	-,465	-,517	,353	-,534	1,000	,047
		N	45	46	86	87	100	55
	Oxígeno Disuelto (mg/L)	Coeficiente de correlación	-,289	-,488	,255	-,302	,047	1,000
		N	38	37	44	50	55	57

Tabla 3.21 Correlaciones estaciones lejanas

En el **Anexo I-a** se pueden apreciar los gráficos de puntos para cada estación de muestreo y para cada campaña en el período noviembre 2009- abril 2010.

Playas

Para el caso de playas se dispone de datos correspondientes a cuatro campañas de muestreo con análisis de nutrientes. En el **Anexo I-a** se pueden apreciar los gráficos para estas variables en cada muestreo. En la Tabla 3.22 y en la Tabla 3.23 se muestran los valores mínimos, máximos, media, medianas y desviaciones estándar de Nitrógeno y Fósforo total para estas campañas de muestreo.

Estación	N	Media	Mediana	Desv. típ.	Mínimo	Máximo
PE	4	,6663	,7270	,43118	,15	1,06
PB	4	,6390	,7155	,34830	,15	,98
SC	4	,6425	,5950	,25655	,42	,96
PA	4	,7665	,8190	,23164	,44	,99
RAM	4	,8460	,5255	,70747	,43	1,90
POCB	3	,4897	,4090	,38637	,15	,91
MAL	4	,5330	,5460	,30367	,15	,89
ING	2	,4690	,4690	,00707	,46	,47
CAR	4	,3480	,2590	,27091	,15	,72
Total	33	,6113	,5130	,36655	,15	1,90

Tabla 3.22. Nitrógeno total (mg/L) playas

Estación	N	Media	Mediana	Desv. típ.	Mínimo	Máximo
PE	4	153,4029	138,7800	62,27708	100,05	236,00
PB	4	117,0245	99,5490	100,14153	25,00	244,00
SC	4	125,8382	112,2314	56,72171	79,89	199,00
PA	3	112,6635	135,9905	78,63913	25,00	177,00
RAM	4	98,6184	98,7717	15,35407	82,00	114,93
POCB	4	179,8025	167,9700	106,62688	62,37	320,90
MAL	4	158,8599	158,0447	19,35758	136,35	183,00
ING	2	105,0700	105,0700	71,38950	54,59	155,55
CAR	4	169,9811	143,9200	117,34230	60,43	331,65
Total	33	138,2497	136,3500	73,42133	25,00	331,65

Tabla 3.23 Fósforo total (micro g/L) playas

Observando las figuras que se adjuntan en el **Anexo I-a** se aprecia una tendencia creciente en las concentraciones de fósforo y nitrógeno para la mayoría de las estaciones de las playas durante el período Noviembre 2009-Febrero 2010.

Bahía

Esta zona presenta características particulares, por estar altamente impactada por actividades antrópicas y por recibir las descargas naturales de arroyos urbanos seriamente comprometidos desde el punto de vista de su calidad de aguas. En el **Anexo I-a** se presentan en gráficos los resultados obtenidos de los muestreos de Noviembre 2009 a Abril 2010 por puntos y por fecha de muestreo para nitrógeno y fósforo total. En el caso de nitrógeno total se registra una alta variabilidad espacial y temporal, lo cual no permite analizar tendencias con los datos obtenidos hasta el momento. Se destacan los altos valores registrados en estaciones como B1, B2 y B4 de casi 5 mg/L de nitrógeno total. En relación al fósforo total se repite la alta variabilidad espacial y temporal que se observó para nitrógeno total, siendo las estaciones con mayores concentraciones B1 y B5. En la Tabla 3.24 y en la Tabla 3.25 se muestran las concentraciones mínimas, máximas, medianas, medias y desviaciones estándar de nutrientes. Se destaca que en los puntos B1, B2 y B3 se registraron condiciones de hipoxia en los muestreos de Noviembre del 2009 y B1 también tuvo valores menores a 5 mg/L en Diciembre del 2009, no cumpliendo con el Decreto 253/79 y Modificaciones para Cursos Clase 3.

Estación	N	Media	Mediana	Desv. típ.	Mínimo	Máximo
BAHIA1	6	2,3598	1,8655	1,58629	,85	4,92
BAHIA2	6	1,6160	1,1900	1,58189	,15	4,57
BAHIA3	6	1,0605	1,0385	,55002	,46	2,01
BAHIA4	6	2,1197	1,2930	1,79265	,62	4,90
BAHIA5	6	1,3608	1,2730	,62753	,70	2,43
Total	30	1,7034	1,1900	1,33259	,15	4,92

Tabla 3.24 Nitrógeno total (mg/L) Bahía

Estación	N	Media	Mediana	Desv. típ.	Mínimo	Máximo
BAHIA1	6	384,6603	362,5000	203,76862	139,55	641,00
BAHIA2	6	214,8420	207,0000	106,16907	68,91	368,00
BAHIA3	6	126,3183	121,0000	85,95075	25,00	278,00
BAHIA4	6	155,3535	124,4610	105,00537	68,00	345,00
BAHIA5	6	185,4899	162,9698	140,43108	25,00	391,00
Total	30	213,3328	162,5000	155,47732	25,00	641,00

Tabla 3.25 Fósforo total (micro g/L) Bahía

Emisarios

Emisario Punta Carretas

En los gráficos que se adjuntan en el **Anexo I-a** se presentan las concentraciones de nitrógeno y fósforo total para la salida del Emisario, la pérdida (P) y los puntos concéntricos, para los muestreos de Noviembre 2009 a Abril 2010. Se registraron variaciones de concentración de nitrógeno Total entre 0.15 y 1,07 mg/L, y de fósforo total entre 25 y 203 µg/L, destacándose las altas concentraciones registradas en el muestreo del 18 de febrero lo cual también se detectó en las estaciones costeras y lejanas en superficie, ya comentado anteriormente.

Zona del futuro emisario en Punta Yeguas

En la zona donde está proyectado el Emisario de Punta Yeguas se detectan valores de fósforo total mayores al límite establecido en la normativa nacional (25 µg/L), con un valor máximo de 325 µg/L en el punto central, en superficie (gráficos por puntos de muestreo y por fecha en **Anexo I-a**). En el caso de nitrógeno total el rango de variación se encuentra comprendido entre 0.15 y 1.31 mg/L (para superficie). Los valores de clorofila-*a* en general no superan el límite de Buena calidad de agua de la USEPA (2008).

Estación	N	Media	Mediana	Desv. típ.	Mínimo	Máximo
PY EMIS	5	,5400	,4330	,22786	,32	,84
PYN	5	,6422	,6500	,37405	,15	1,17
PYE	5	,6424	,7300	,18800	,38	,84
PYS	6	,6368	,5290	,35163	,38	1,31
PYW	6	,5013	,5140	,24634	,15	,75
Total	27	,5908	,6250	,27249	,15	1,31

Tabla 3.26 Nitrógeno Total (mg/L) Punta Yeguas

Estación	N	Media	Mediana	Desv. típ.	Mínimo	Máximo
PY EMIS	6	129,5990	99,4871	99,00208	55,00	325,00
PYN	5	100,9082	112,0310	27,98320	69,00	128,00
PYE	5	123,8201	94,0800	77,45934	58,00	257,00
PYS	6	107,5196	108,0039	35,85543	62,37	157,74
PYW	6	120,7199	117,3100	44,10641	78,00	201,00
Total	28	116,8097	109,6250	59,44030	55,00	325,00

Tabla 3.27 Fósforo Total (micro g/L) Punta Yeguas

Estación	N	Media	Mediana	Desv. típ.	Mínimo	Máximo
PY EMIS	15	4,224	4,000	2,0477	1,2	7,1
PYN	14	5,407	3,850	5,3847	1,1	23,0
PYE	12	3,533	3,100	2,7809	1,0	10,1
PYS	14	4,600	3,850	2,5711	1,0	9,0
PYW	11	4,973	4,800	3,0874	2,0	12,8
Total	66	4,554	3,850	3,3472	1,0	23,0

Tabla 3.28 Clorofila (micro g/L) Punta Yeguas

Estudio comparativo de las estaciones del emisario de Punta Carretas, Punta Yeguas y Bahía de Montevideo

En la Figura 3.4 se muestran los gráficos de cajas y líneas para los nutrientes en superficie, en las estaciones de la zona del emisario de Punta Carretas, del proyectado en Punta Yeguas y de la Bahía. El análisis de varianza correspondiente presentó diferencias significativas para el nitrógeno total de la Bahía respecto de las zonas de Punta Carretas y Punta Yeguas ($p < 0,001$ en cada caso). También fueron significativas las diferencias para el fósforo total entre las zonas de Punta Carretas, Bahía y Punta Yeguas ($p < 0,05$ en todos casos) por lo que se destaca que el nivel de fósforo total en la zona del futuro emisario en Punta Yeguas es mayor al encontrado en P. Carretas.

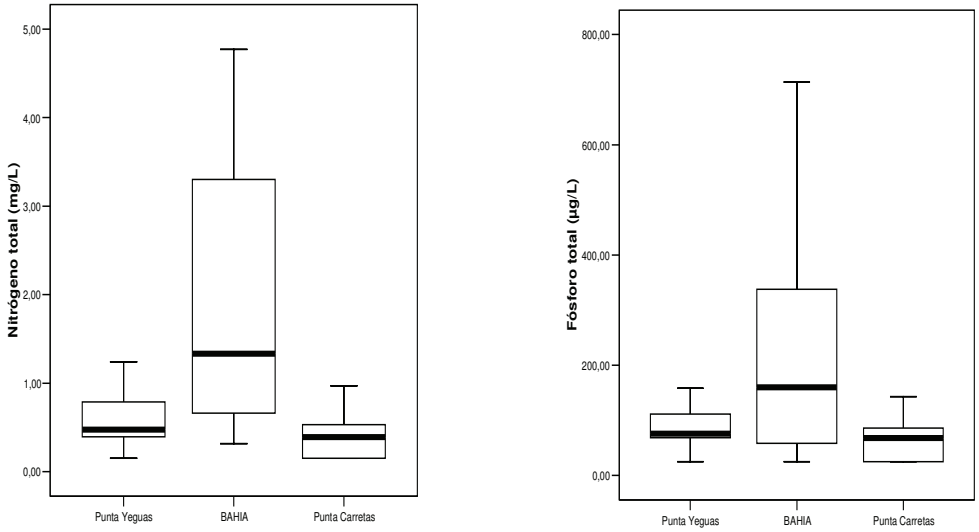


Figura 3.4 Gráfico de cajas y líneas para los valores de N y P total en superficie. La línea central engrosada indica la mediana y los límites de la caja corresponden a los percentiles 25 y 75. Las líneas exteriores indican el valor mínimo y máximo en cada caso.

grupos E y W	N	Media	Mediana	Media geométrica	Desv. típ.	Mínimo	Máximo
Punta Yeguas	27	,5908	,6250	,5269	,27249	,15	1,31
BAHIA	30	1,7034	1,1900	1,2989	1,33259	,15	4,92
Punta Carretas	30	,4772	,4700	,4052	,24760	,15	1,07
Total	87	,9353	,6600	,6570	,97886	,15	4,92

Tabla 3.29 Nitrógeno total (mg/L) Superficie

grupos E y W	N	Media	Mediana	Media geométrica	Desv. típ.	Mínimo	Máximo
Punta Yeguas	24	,5581	,4760	,4852	,27531	,15	1,24
BAHIA	22	1,7310	1,3320	1,2241	1,40149	,32	4,77
Punta Carretas	29	,4081	,3900	,3472	,22901	,15	,97
Total	75	,8441	,5310	,5592	,96731	,15	4,77

Tabla 3.30 Nitrógeno total (mg/L) Profundidad

grupos E y W	N	Media	Mediana	Media geométrica	Desv. típ.	Mínimo	Máximo
Punta Yeguas	28	116,8097	109,6250	106,4116	59,44030	55,00	325,00
BAHIA	30	213,3328	162,5000	161,3593	155,47732	25,00	641,00
Punta Carretas	33	82,0645	72,0000	67,7395	50,74681	25,00	203,00
Total	91	136,0306	107,2500	103,6251	113,75149	25,00	641,00

Tabla 3.31 Fósforo total (µg/L) Superficie

grupos E y W	N	Media	Mediana	Media geométrica	Desv. típ.	Mínimo	Máximo
Punta Yeguas	23	88,5556	76,0000	81,7970	35,96564	25,00	179,69
BAHIA	25	218,1363	160,0000	138,2647	190,99899	25,00	714,00
Punta Carretas	29	67,1351	68,0000	55,1387	43,90259	25,00	214,00
Total	77	122,5598	76,0000	83,6077	130,88825	25,00	714,00

Tabla 3.32 Fósforo total (µg/L) Profundidad

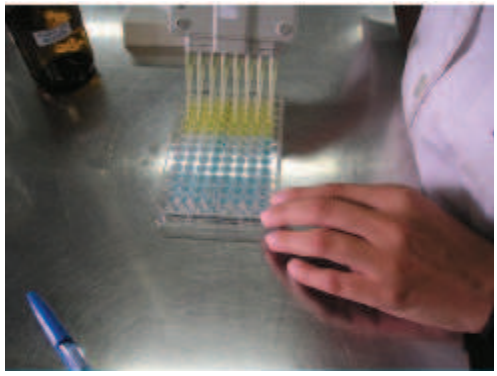
Floraciones de cianobacterias

Las floraciones (o blooms) son grandes incrementos de la biomasa fitoplanctónica en poco tiempo (horas o días) los cuales producen cambios importantes en el aspecto y la coloración del agua, siendo reconocidas mundialmente por el deterioro ambiental que generan. Adicionalmente estos organismos pueden producir toxinas que ponen en riesgo la salud humana y del ecosistema.

Una de las principales problemáticas que ocurre en las costas del departamento de Montevideo y en general en todas las costas del Río de la Plata, es la presencia de floraciones de cianobacterias tóxicas principalmente durante el verano. Estas están

asociadas a la descarga del de los ríos Uruguay y Paraná y a fenómenos físicos como son las mareas, los vientos y las corrientes.

En Uruguay y 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 formación de tumores o necrosis hepática. Existen diferentes métodos para determinar la toxicidad 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 Laboratorio de Calidad Ambiental.



Evaluación de resultados

Como se mencionó anteriormente, los resultados de clorofila 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 3.33).

Probabilidad de efectos adversos en la salud de los bañistas

	Leve y/o baja	**Moderada**	**Alta**
Cianobacterias (células/mL)	15.000-20.000	100.000	>10^5 (espuma)
Clorofila *a* (µg/L)	<10	10-50	> 50
Toxicidad (µg microcistina/L)[1]	2 – 4 (Excepcionalmente 10)	10 – 20 (Excepcionalmente 50)	> 50
Riesgos	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.
Medidas recomendadas [2]	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.

1 Valores referidos en la Guía de la OMS en base a concentraciones de toxina promedio.
2 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 µg/L de microcistina.
Tabla 3.33. **Valores guía de cianobacterias y cianotoxinas para el manejo seguro de aguas de recreación (OMS).**

Clorofila-microcistinas

En los 15 muestreos realizados desde noviembre del 2007 hasta abril del 2010 se analizaron un total de 411 muestras de clorofila *a* y 168 de microcistinas, en agua superficial. (Tabla 3.34 y Tabla 3.35). Los análisis de microcistinas 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 no superando en ningún caso el límite de riesgo moderado.

Clorofila a (µg/L) Estación	N	Media	Mediana	Desv. típ.	Mínimo	Máximo
BAHIA	26	16,55	12,9	16,21	1	57,7
PLAYAS	56	9,24	5,15	16,15	1	113,9
Z (200 mts)	112	5,72	4	5,45	1	35,6
L (2000 mts)	88	16,77	4,14	58,41	1	392,5
Emisario P C	63	7,16	5,3	6,18	1	35,4
Emisario PY	66	4,55	3,85	3,35	1	23

Tabla 3.34 Descripción del análisis estadístico de la clorofila *a* en superficie en las diferentes zonas de monitoreo realizado en las 15 campañas de muestreo desde noviembre 2007 a abril 2010.

Microcistina (µg/L) Estación	N	Media	Mediana	Desv. típ.	Mínimo	Máximo
BAHIA	25	0,55	0,15	1,67	0,15	8,5
PLAYAS	24	0,73	0,23	1,27	0,15	6
Z (200 mts)	37	0,78	0,15	1,36	0,15	7
L (2000 mts)	35	0,75	0,15	1,44	0,15	8
Emisario P C	24	0,97	0,15	1,39	0,15	4,6
Emisario PY	23	0,92	0,7	0,98	0,15	4

Tabla 3.35 Descripción del análisis estadístico de la microcistinas en superficie en las diferentes zonas de monitoreo realizado en las 15 campañas de muestreo desde diciembre 2009 a abril 2010.

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 como cuerpo de agua interior 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 comprendidas en cada zona se muestran en la Tabla 3.1. 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 determinada en la zona oeste y este (Tabla 3.36), también entre la Bahía y las estaciones del emisario de Punta Carretas y entre Punta Carretas y Punta Yeguas (Tabla 3.37).

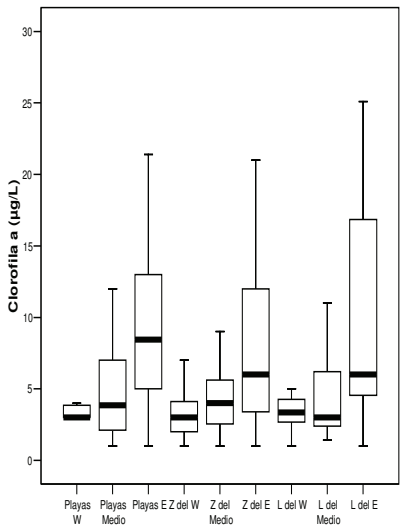
	Playas E	Playas O	Z 200m E	Z 200m O	L 2000m E	L 2000m O
Playas E	X	0,01	-	0,001	-	0,008
Playas O	0,01	X	-	-	0,002	-
Z 200m E	-	-	X	0,003	-	-
Z 200m O	0,001	-	0,003	X	<0,001	-
L 2000m E	-	0,002		<0,001	X	0,001
L 2000m O	0,008	-	-	-	0,001	X

Tabla 3.36 Valores de p donde se encontraron diferencias significativas de clorofila *a* entre las diferentes zonas. Las letras E y O indica los puntos de muestreo al Este y Oeste de Punta Carretas, respectivamente.

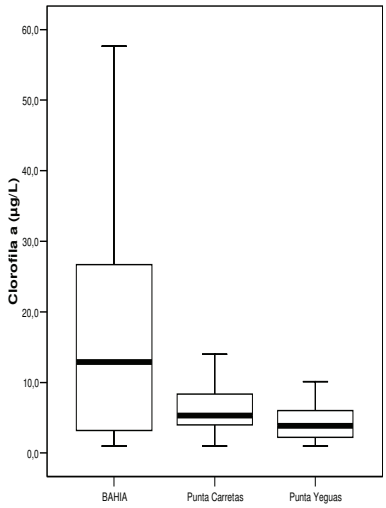
	Bahía	P. Carretas	P. Yeguas
Bahía	X	-	0.003
P. Carretas	-	X	0.002
P. Yeguas	0.003	0.002	X

Tabla 3.37 Valores de p en donde se encontraron significativas de clorofila *a* entre Bahía, Punta Carretas y Punta Yeguas.

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 P. Carretas y la correspondiente zona donde se ubicará el emisario en Punta Yeguas se observa más claramente en Figura 3.5 a y b. Observando las medianas, en la figura 3.5 a se aprecia un marcado gradiente de la clorofila *a,* creciente en dirección Oeste –Este. Las cajas con mayor amplitud implican una mayor variabilidad de datos.



a. Valores de clorofila *a* (mediana y desvíos) en playas, Z200m y L2000m.



b. Valores de clorofila *a* (mediana y desvíos) en Bahía, P. Carretas y P. Yeguas.

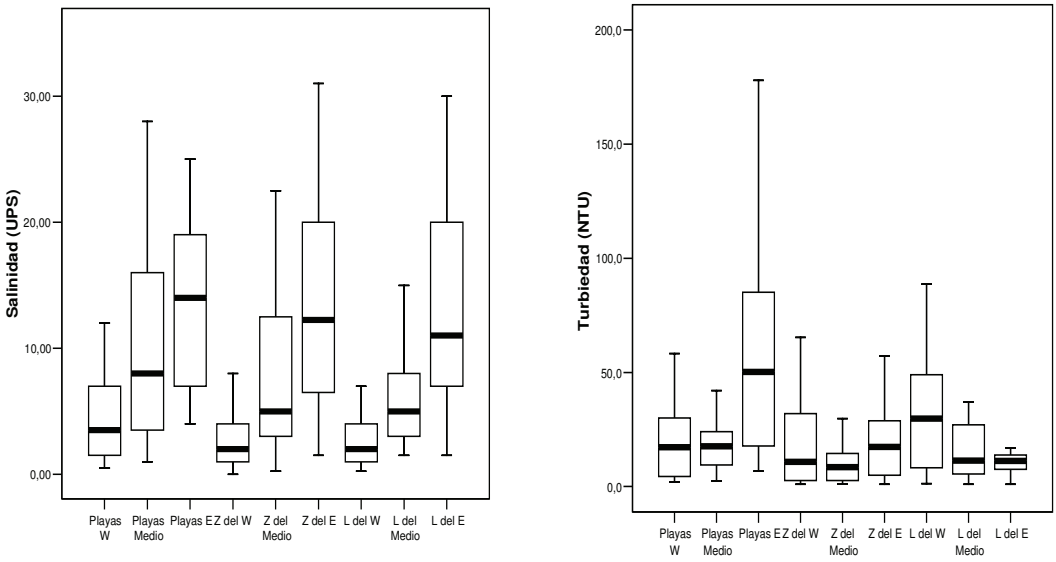
Figura 3.5 Gráfico de cajas y líneas para los valores clorofila. La línea central engrosada indica la mediana y los límites de la caja corresponden a los percentiles 25 y 75. Las líneas exteriores indican el valor mínimo y máximo en cada caso.

En relación a las otras zonas que se estudiaron separadamente, la Bahía, los cinco puntos de la zona de difusión del emisario en P Carretas y los correspondientes puntos en la zona del futuro 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 (Figura 3.5 b).

Los mayores resultados de clorofila se encuentran en la zona ambientalmente más comprometida, la Bahía de Montevideo, con alta incidencia de valores correspondientes a Pobre calidad de agua 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 en las estaciones a 2000 en la zona Este se corresponde con la tendencia de la menor turbiedad. En los puntos a 2000 m se presentan valores medios de 32 NTU en el oeste, 18 en el medio y 12 en este. La menor turbiedad en el Este 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 el medio (con valores de aprox. 20 NTU) y levemente superior en el este (con media de 56 NTU). En la línea Z (a 200 m) el valor menor se da en el medio (media de 11 NTU) y valores de aproximadamente 20 en el este y oeste. Para una mejor interpretación de las variables determinantes de la distribución de clorofila sería conveniente incorporar a este estudio el análisis de fitoplancton (identificación y recuento), y a su vez es importante conocer las especies presentes para inferir sobre la posible presencia de otras toxinas.

Salinidad y turbiedad en las diferentes zonas de estudio

Como se muestra en la Figura 3.6 a la salinidad en playas, línea Z a 200 metros y línea L a 2000 m presenta una tendencia creciente en el eje Oeste- Este en todas las líneas Por otra parte, la turbiedad presenta una tendencia variable según las líneas, creciente en playas y línea Z y decreciente en la Linea L (Figura 3.6 b).



a. **b.**

Figura 3.6. Valores de salinidad (a) y turbiedad (b) en playas, Z200m y L2000m. en superficie

Salinidad (UPS)

Tres Grupos Estaciones	N	Media	Mediana	Desv. típ.	Mínimo	Máximo
Playas W	23	4,5000	3,5000	3,56434	,50	12,00
Playas Medio	38	10,5658	8,0000	7,41635	1,00	28,00
Playas E	41	13,5610	14,0000	6,60511	4,00	25,00
Z del W	28	3,2589	2,0000	3,41665	,00	13,00
Z del Medio	87	8,1270	5,0000	6,33732	,25	22,50
Z del E	84	13,4881	12,2500	7,76150	1,50	31,00
L del W	32	3,3516	2,0000	3,96805	,25	17,00
L del Medio	30	6,3167	5,0000	4,54002	1,50	17,00
L del E	30	13,1500	11,0000	7,78167	1,50	30,00
Total	393	9,3729	7,0000	7,39944	,00	31,00

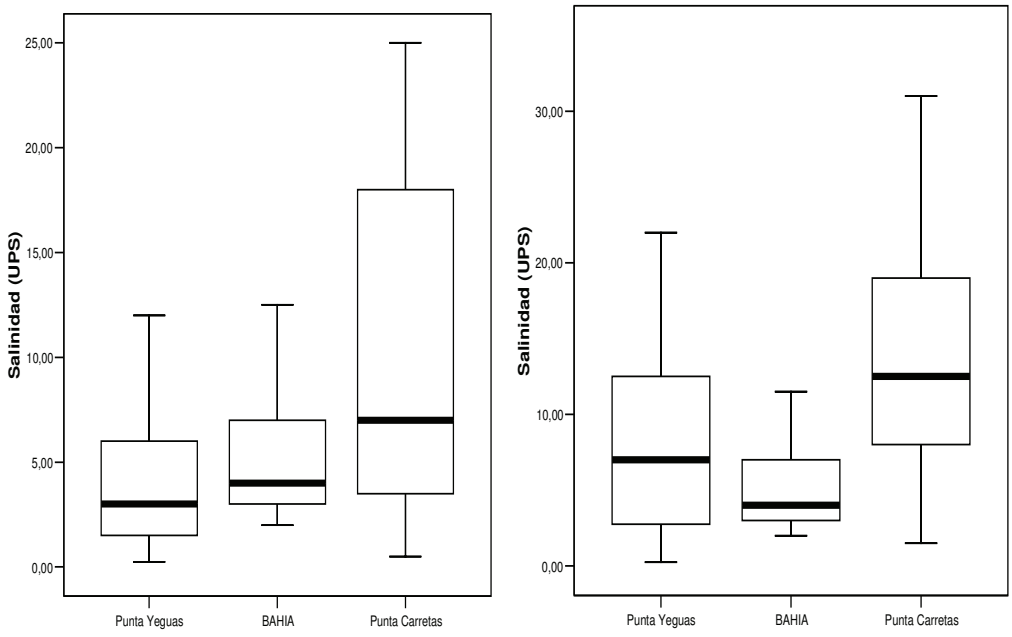
Tabla 3.38

Turbiedad (NTU)

Tres Grupos Estaciones	N	Media	Mediana	Desv. típ.	Mínimo	Máximo
Playas W	17	20,098	17,200	16,4566	2,0	58,3
Playas Medio	28	22,356	17,650	19,4780	2,3	80,4
Playas E	31	56,306	50,200	45,2680	6,8	178,0
Z del W	16	20,431	10,750	23,0578	1,0	76,8
Z del Medio	53	11,096	8,500	12,8073	1,1	78,6
Z del E	43	20,628	17,400	19,3781	1,0	80,1
L del W	28	32,569	29,750	25,7887	1,3	88,7
L del Medio	26	18,151	11,350	18,4370	1,0	71,6
L del E	25	12,526	11,300	8,3885	1,0	33,5
Total	267	23,267	13,300	26,3558	1,0	178,0

Tabla 3.39

En la figura Figura 3.7 se muestran los gráficos 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 en superficie y profundidad. El análisis de varianza de un factor presentó diferencias significativas en la salinidad en la comparación de la zona de Punta Carretas respecto de Bahía y Punta Yeguas, donde el valor $p < 0,001$ en ambos casos, por lo que la salinidad en Punta Yeguas es menor a la observada en la zona de Punta Carretas.



a. Superficie **b.Profundidad**

Figura 3.7

grupos E y W	N	Media	Mediana	Media geométrica	Desv. típ.	Mínimo	Máximo
Punta Yeguas	71	4,2711	3,0000	2,7313	3,79420	,25	16,00
BAHIA	30	5,5667	4,0000	4,4838	4,27852	2,00	17,50
Punta Carretas	214	11,0234	7,0000	7,8224	7,98116	,50	25,00
Total	315	8,9817	6,0000	5,8523	7,55528	,25	25,00

Tabla 3.40 Salinidad (UPS). Resultados Superficie

grupos E y W	N	Media	Mediana	Media geométrica	Desv. típ.	Mínimo	Máximo
Punta Yeguas	71	7,6514	7,0000	5,0568	5,78213	,25	22,00
BAHIA	30	5,6167	4,0000	4,5845	4,04646	2,00	17,50
Punta Carretas	208	13,7452	12,5000	11,6201	7,13771	1,50	31,00
Total	309	11,5558	10,0000	8,7694	7,31897	,25	31,00

Tabla 3.41 Salinidad (UPS). Resultados Superficie

Para analizar la existencia de estratificación se evaluaron los resultados de la salinidad y turbiedad en muestras en superficie y profundidad en forma comparativa en las zonas de ambos emisarios (Figura 3.8) Se observaron diferencias significativas entre superficie y profundidad para ambas zonas ($p < 0.001$). De acuerdo a lo esperado, la salinidad en profundidad fue mayor a la de superficie. La diferencia de salinidad promedio entre superficie y profundidad en Punta Yeguas fue de 3,4 ups y 2,7 ups en Punta Carretas.

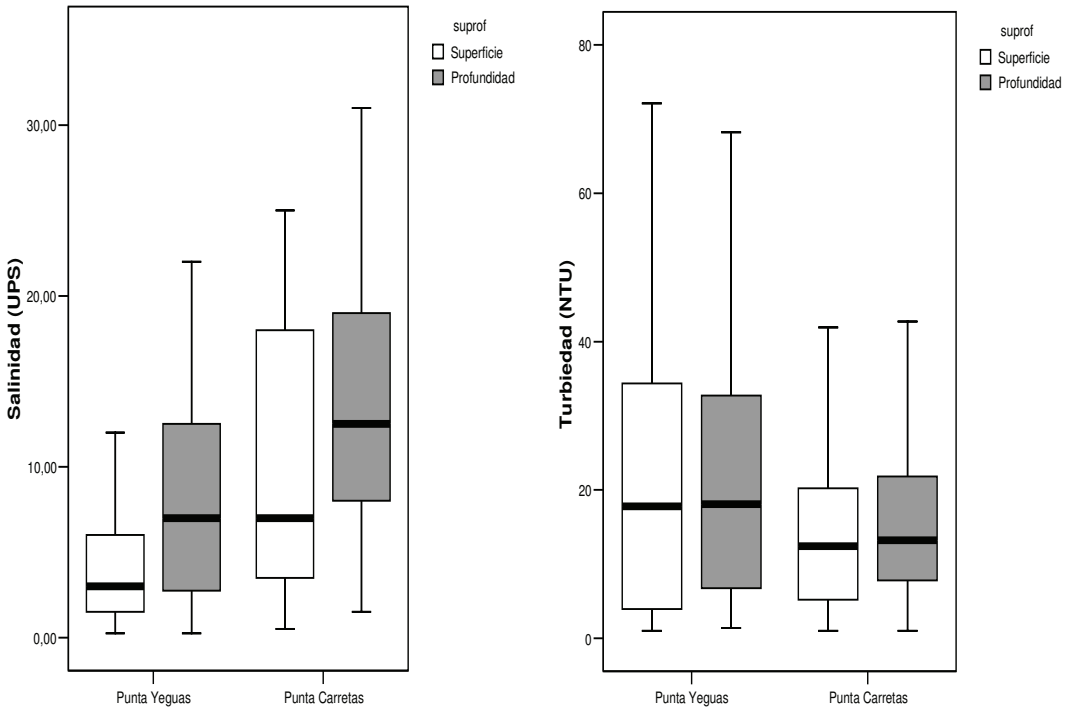


Figura 3.8 Salinidad y turbiedad en superficie y profundidad para ambos emisarios

Salinidad (UPS)

suprof	grupos E y W	N	Media	Desv. típ.	Mediana	Mínimo	Máximo
Superficie	Punta Yeguas	71	4,2711	3,79420	3,0000	,25	16,00
	Punta Carretas	214	11,0234	7,98116	7,0000	,50	25,00
	Total	285	9,3412	7,73829	7,0000	,25	25,00
Profundidad	Punta Yeguas	71	7,6514	5,78213	7,0000	,25	22,00
	Punta Carretas	208	13,7452	7,13771	12,5000	1,50	31,00
	Total	279	12,1944	7,30918	11,0000	,25	31,00
Total	Punta Yeguas	142	5,9613	5,15962	4,2500	,25	22,00
	Punta Carretas	422	12,3649	7,68985	11,0000	,50	31,00
	Total	564	10,7527	7,65670	9,0000	,25	31,00

Tabla 3.42 Salinidad (UPS)

grupos E y W	suprof	N	Media	Mediana	Desv. típ.	Mínimo	Máximo
Punta Yeguas	Superficie	63	26,437	17,800	29,5959	1,0	118,0
	Profundidad	63	28,600	18,100	32,2453	1,4	150,0
	Total	126	27,519	18,050	30,8440	1,0	150,0
Punta Carretas	Superficie	166	20,580	12,400	25,6654	1,0	146,0
	Profundidad	161	19,828	13,200	23,4799	1,0	144,0
	Total	327	20,210	13,100	24,5788	1,0	146,0
Total	Superficie	229	22,192	13,500	26,8655	1,0	146,0
	Profundidad	224	22,295	14,900	26,4625	1,0	150,0
	Total	453	22,243	13,700	26,6375	1,0	150,0

Tabla 3.43 Turbiedad (NTU)

Las diferencias observadas en salinidad y turbiedad entre Punta Yeguas y P Carretas son altamente significativas con valores p de 0.001 y 0.009 respectivamente. La diferencia entre superficie y profundidad fue significativa para la salinidad en ambos puntos ($p < 0.001$) y no significativa para la turbiedad ($p=0.98$).

3.3.2. Sedimentos

Antecedentes

La presencia de sedimentos contaminados en ambientes acuáticos, es un hecho constatado en el mundo, sobre todo a partir de la segunda mitad del siglo XX. La existencia de estos contaminantes es debida tanto a los vertidos incontrolados desde industrias como a la utilización de productos químicos tales como los pesticidas que llegan a los sedimentos una vez que son transportados desde zonas agrícolas por las aguas. En otros casos, se pueden deber a los vertidos "controlados" tales como emisores submarinos que vierten aguas residuales, aumentando la carga contaminante y el nivel de toxicidad (Jiménez, 2001).[2] Las sustancias que entran a las aguas marinas de fuentes cloacales, agrícolas e industriales pueden permanecer suspendidos en la columna de agua, ser incorporados a la biota acuática o depositados sobre el fondo e incorporarse en los sedimentos marinos.

Para determinar el estado actual de los sedimentos del Río de la Plata se estableció en el convenio con la UdelaR, Facultad de Ciencias, como se encuentra detallado en el documento Anexo “Monitoreo de biota y sedimentos en la Zona Costera de Montevideo y Río de la Plata adyacente” la realización del monitoreo de sedimentos en las siguientes estaciones:

- 10 estaciones cercanas (EC) a 200 m de la costa.
- 10 estaciones en zona de influencia de descarga de emisarios (EE) Punta Yeguas y Punta Carretas.
- 12 estaciones lejanas (EL) a 2.000 m de la costa.
- 5 estaciones en la Bahía de Montevideo (EB).

Materiales y métodos

Para realizar la determinación de las variables fisicoquímicas y bioensayos de toxicidad en los sedimentos se planificó la realización de muestreos bianuales, mientras que para la extracción de muestras destinadas a la evaluación de la biota béntica se planificaron muestreos cuatro veces al año.

Las muestras destinadas a la determinación de metales y de bioensayos con *Microtox* son extraídas con muestreador C*orer* en tubo de PVC de 5cm de diámetro, mientras que para aquellas destinadas a bioensayos con Hyalella se utiliza draga tipo *van Veen* y son colocadas en bolsas de nylon de color oscuro.

[2] Evaluación de la contaminación en sedimentos del área portuaria y zona costera de Salina Cruz, Oaxaca, México
María Cristina González-Lozano, Lía C. Méndez-Rodríguez, Diego G. López-Veneroni y Alfonso Vázquez-Botello

En el Laboratorio de Calidad Ambiental se estudian los siguientes parámetros:

- Metales pesados: Plomo y Cromo (*Standard Methods for the examination of water and wastewater, 21st Ed.*, Método 3111 B).
- Bioensayos: *Hyalella curvispina, Vibrio fischerii* (Microtox) y *Misidopsis americana*.

3.3.2.1. Metales Plomo (Pb) y Cromo (Cr) en sedimentos

Antecedentes

Los metales pesados tienen un origen natural o antrópico. Están naturalmente en ambientes acuáticos y por tanto es importante conocer sus concentraciones y como se ven afectados sus flujos naturales por las actividades humanas.

El plomo es un elemento no esencial que resulta tóxico para la biota a concentraciones elevadas. El cromo si bien es un elemento esencial, también puede ser tóxico para la biota 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 (se asocian normalmente con los materiales de grano fino). De esa forma constituyen una vía de exposición importante para los organismos acuáticos.

Sin embargo, no quedan permanentemente retenidos en los sedimentos y pueden ser liberados a la columna de agua por cambios en las condiciones ambientales. Particularmente, el dragado es una actividad que moviliza los contaminantes de los sedimentos.

Existen numerosas guías que establecen niveles de concentración de metales, desarrolladas para monitorear sedimentos. 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 anormalidades, etc). A los efectos de este informe se han tomado como niveles guía las concentraciones que se establecen en las *Canadian Sediment Quality Guideines for the protection of Aquatic Life.* En las mismas se establecen dos niveles de concentración, ISQG (*interim sediment quality guidelines*) y PEL (*probable effect levels*), particularmente para el caso de sedimentos marinos los valores son:

	Cromo (mg/kg)	Plomo (mg/kg)
ISQG (*interim sediment quality guidelines)*	52.3	30.2
PEL (*probable effect levels*)	160	112

Quedan definidos de esa forma 3 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

Una vez recolectadas las muestras, en el laboratorio se procesan de la siguiente manera:

1) Se secan a 105ºC

2) Se realiza la molienda en mortero

3) Se tamizan y se separa la fracción de tamaño de partícula menor a 63 micras.

4) Se realiza una extracción asistida con microondas y ácido nítrico de la fracción anterior

5) Se miden las concentraciones de metales por espectrometría de absorción atómica con atomización por llama.

El estudio de la línea de base de metales en sedimentos, en el marco Plan de Saneamiento Urbano IV, comenzó en marzo del año 2009, sin embargo, los sedimentos de la bahía se vienen analizando desde el año 2002 con la metodología anteriormente mencionada.

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

Resultados

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, alcanzando valores de 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. Es receptora natural de los arroyos Pantanoso y Miguelete, y además recibe aportes de algunos pluviales y descargas transitorias de la red de saneamiento.

Para la Bahía de Montevideo se estudian cinco estaciones de monitoreo de sedimentos,

representadas en la Figura 3.9, 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 Pantanoso

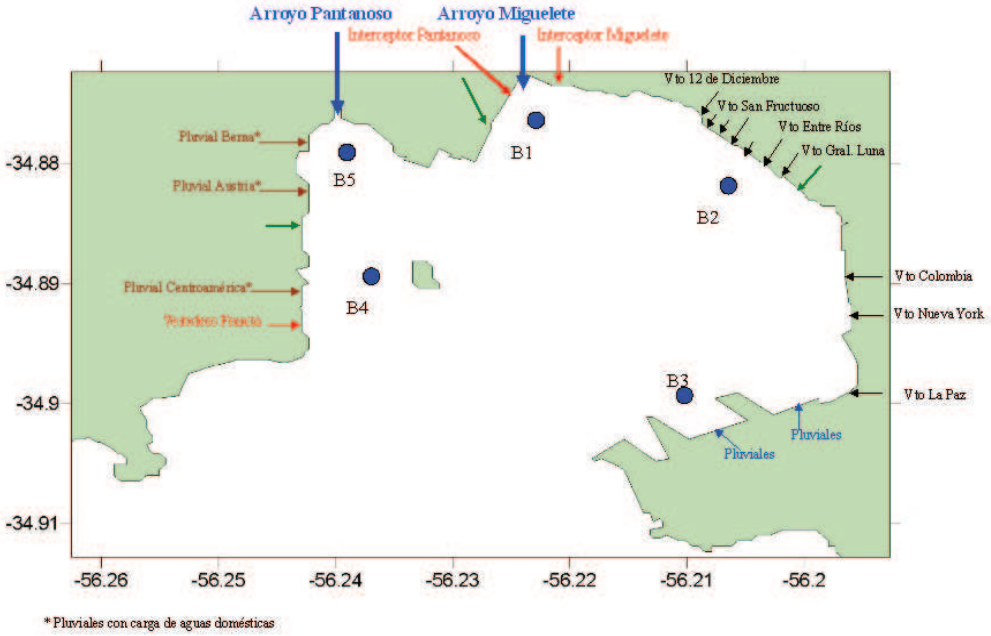


Figura 3.9 Estaciones de monitoreo de la Bahía de Montevideo

Si se toman en cuenta todos los valores obtenidos desde el año 2002 hasta el 2010 (18 campañas de muestreo), las mayores concentraciones promedio de cromo en sedimentos se encuentran en la estación B5, con valores que superan los 450 mg/kg, y en la estación B1 con valores del orden de 250 mg/kg. En el caso del plomo, la situación es diferente, B2 y B1 son las estaciones donde se encontraron mayores concentraciones del metal, con valores promedio de 200 y 150 mg/Kg, respectivamente. (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

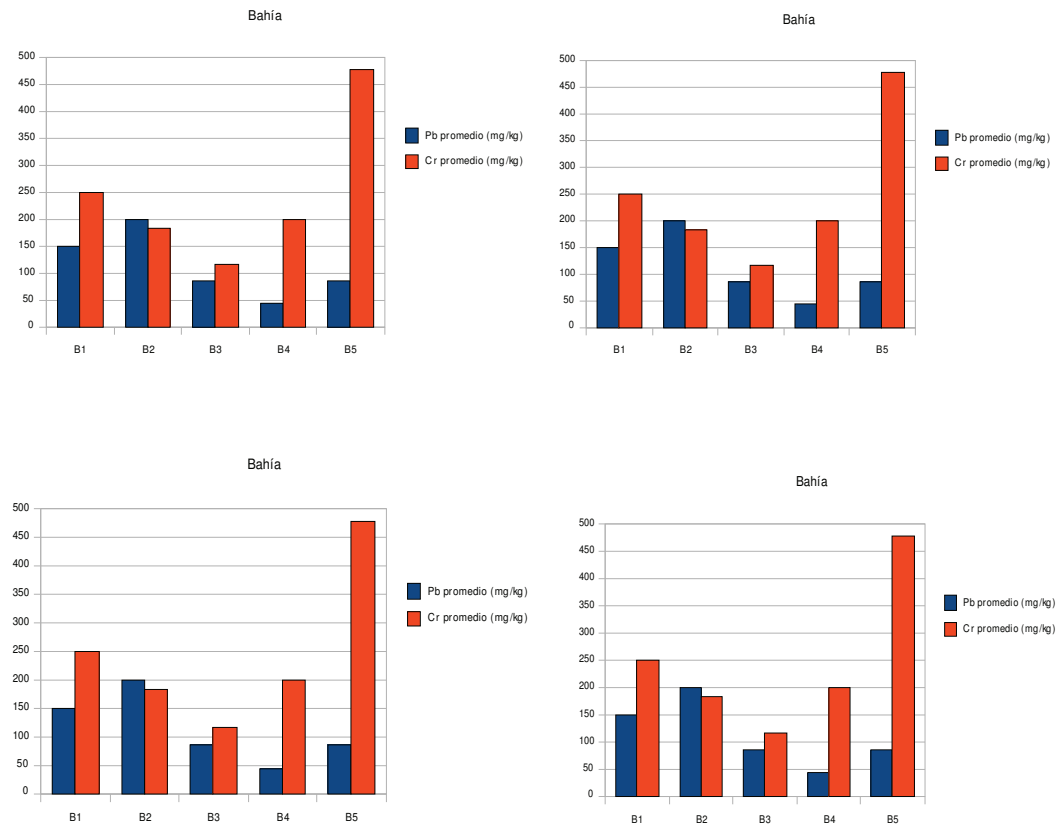
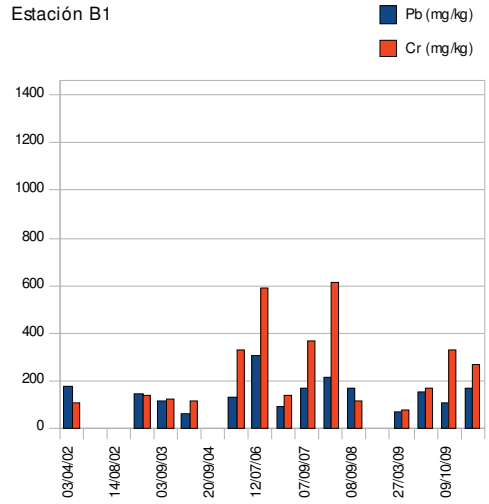
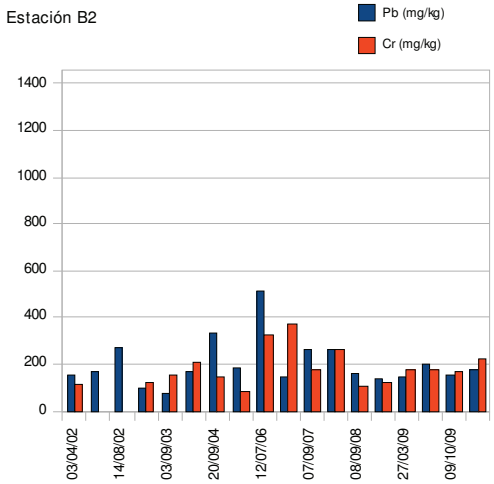


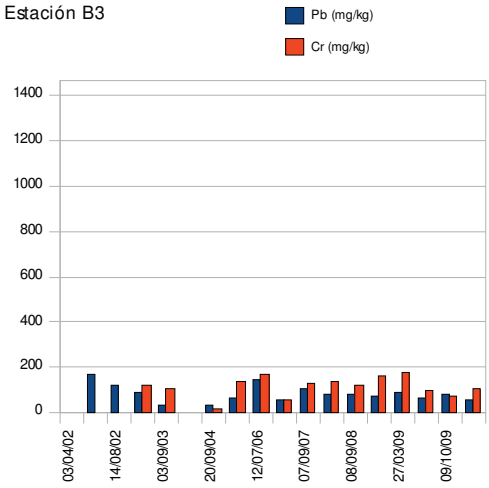
Figura 3.10

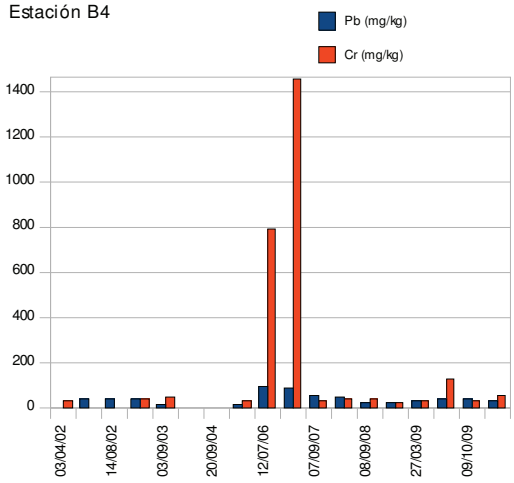
Es interesante observar la evolución que han tenido los referidos metales en el período comprendido desde el año 2002 hasta el 2010 en cada estación.

En la Figura 3.11 se puede observar que en el período 2006 - 2008, se hallaron picos de concentraciones de metales en sedimentos para varias de las estaciones, y si bien algunas se vieron menos afectadas que otras, se registraron algunos valores muy superiores a los que habitualmente se encontraban. Este hecho es notorio para el caso del cromo, para el cual se registraron valores superiores a 1200 mg/kg para las estaciones B5 y B4. En el caso del plomo también se registraron algunos valores pico como es el caso de las estaciones B1, B2 y B5 con concentraciones de 300, 500 y 330 mg/kg respectivamente.


Estación B1
Pb (mg/kg)
Cr (mg/kg)
1400
1200
1000
800
600
400
200
0
03/04/02
14/08/02
03/09/03
20/09/04
12/07/06
07/09/07
08/09/08
27/03/09
09/10/09


Estación B2
Pb (mg/kg)
Cr (mg/kg)
1400
1200
1000
800
600
400
200
0
03/04/02
14/08/02
03/09/03
20/09/04
12/07/06
07/09/07
08/09/08
27/03/09
09/10/09


Estación B3
Pb (mg/kg)
Cr (mg/kg)
1400
1200
1000
800
600
400
200
0
03/04/02
14/08/02
03/09/03
20/09/04
12/07/06
07/09/07
08/09/08
27/03/09
09/10/09


Estación B4
Pb (mg/kg)
Cr (mg/kg)
1400
1200
1000
800
600
400
200
0
03/04/02
14/08/02
03/09/03
20/09/04
12/07/06
07/09/07
08/09/08
27/03/09
09/10/09

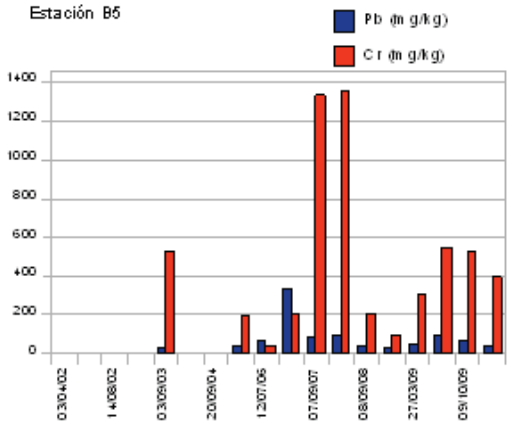

Estación B5
Pb (mg/kg)
Cr (mg/kg)
1400
1200
1000
800
600
400
200
0
03/04/02
14/08/02
03/09/03
20/09/04
12/07/06
07/09/07
08/09/08
27/03/09
09/10/09

Figura 3.11

Cabe destacar que en el período de tiempo mencionado también se registraron valores pico de concentración de cromo en agua en las estaciones B1, B2 y B5.

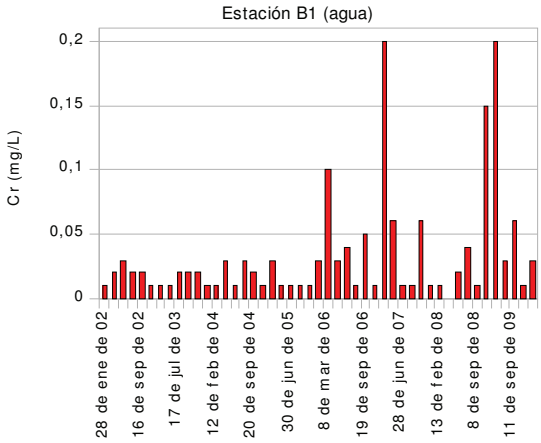


Figura 3.12 *mg/L Cr en agua en la estación B1*

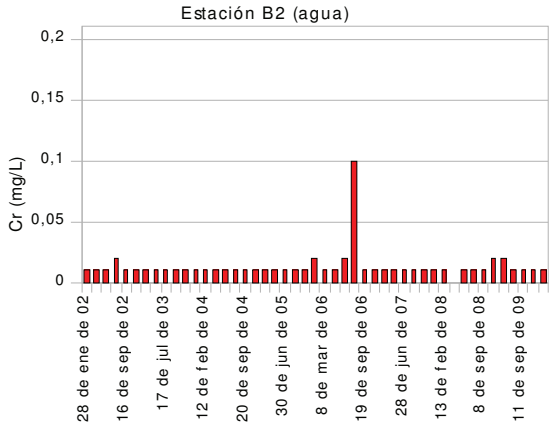


Figura 3.13 *mg/L Cr en agua en la estación B2*

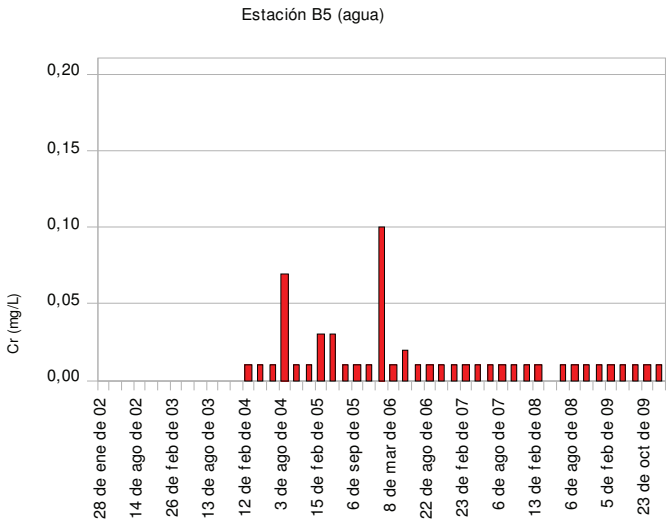


Figura 3.14 *mg/L Cr en agua en la estación B5*

Durante el año 2006 en la estación B1 se registraron valores de cromo detectables, en prácticamente todas las campañas de muestreo llevadas a cabo, si bien sólo los valores obtenidos para la campaña de marzo, superaron los límites de la reglamentación vigente (0,05 mg/L de Cr para aguas Clase 3, según el Decreto 253/79 del Poder Ejecutivo). Valores de similar magnitud también se obtuvieron en agosto de 2006 para B2 y en enero de 2006

para B5. Durante el año 2007 en la estación B1 se obtuvieron valores de cromo en agua superiores al límite de la reglamentación, en 3 de las 6 campañas que se llevaron a cabo, alcanzándose valores de 0,2 mg/L en febrero del año 2007. También en la campaña de febrero del año 2009 la concentración de cromo en agua en B1 alcanza valores de 0,2 mg/L.

Respecto a las concentraciones de plomo en agua, sólo en la estación B1 se han encontrado valores superiores a 0,03 mg/L (límite de concentración de plomo según el Decreto 253/79, para aguas clase 3), y los mismos se registraron en el período anteriormente mencionado 2006 - 2008.

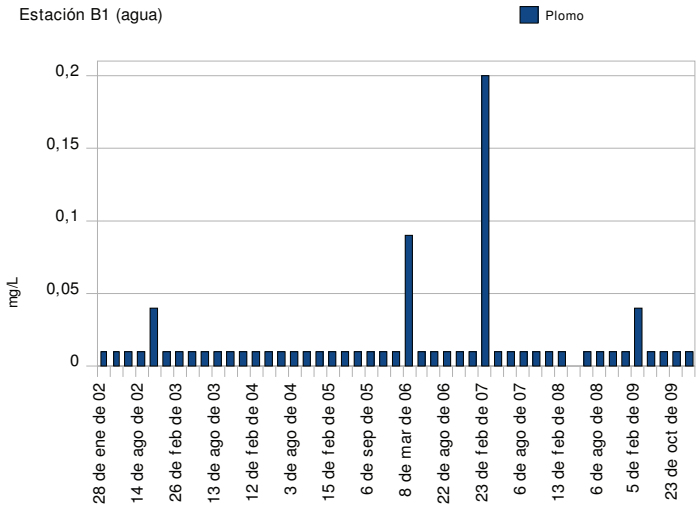


Figura 3.15 mg/L de Pb en agua en la estación B1

Estaciones Cercanas

Las estaciones cercanas son estaciones ubicadas a 200 metros de la costa y abarcan la zona comprendida desde Punta Espinillo hasta Carrasco.

En todas las estaciones se han detectado valores promedio de plomo menores al valor guía (30 mg/kg) de sedimento, salvo el caso de Z5 donde el valor promedio de concentración es de 33 mg/kg (Figura 3.16).

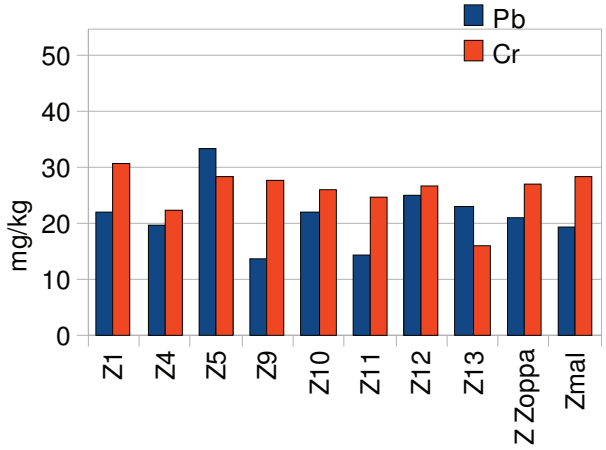


Figura 3.16 Concentraciones promedio de Cr y Pb en sedimentos en estaciones cercanas

Para el caso de cromo, ninguna de las estaciones supera los 35 mg/kg de sedimento, es decir que los valores de las concentraciones de cromo promedio están muy por debajo de los 52,3 mg/kg que establecen las guías de Canadá.

Nota: Corresponden a promedios obtenidos de 2 campañas de muestreo.

Estaciones de influencia de descarga de emisarios

En este caso se tienen por un lado las estaciones del emisario de Punta Carretas (Emis PC) y los cuatro puntos cardinales de un círculo concéntrico a 1500 metros de PC, y por otro la estación Emis PY localizada en donde estará ubicado el emisario a construir, y los cuatro puntos cardinales de un círculo concéntrico a 1500 metros de PY. En la gráfica S12 se puede observar que, salvo la estación Emis PC, ninguna de las estaciones presenta concentraciones de metales pesados superiores a los valores guía. Las concentraciones promedio de Pb en Emis PC resultan ser de 31 mg/kg de sedimento.

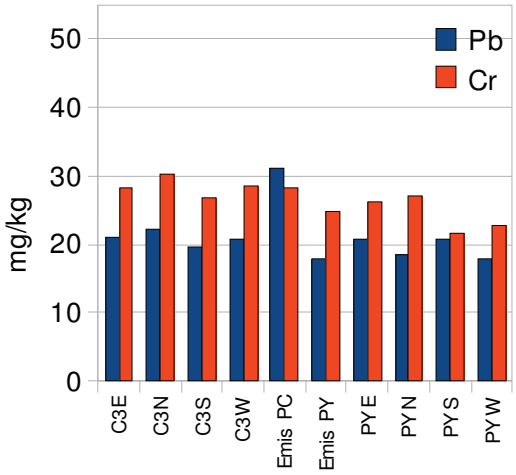


Figura 3.17 Concentraciones promedio de Cr y Pb en estaciones de influencia de emisarios

Nota: Corresponden a promedios obtenidos de 3-4 campañas de muestreo.

Estaciones lejanas

Las mismas se ubican 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 concentraciones de plomo y cromo inferiores a los valores guía de Canadá.

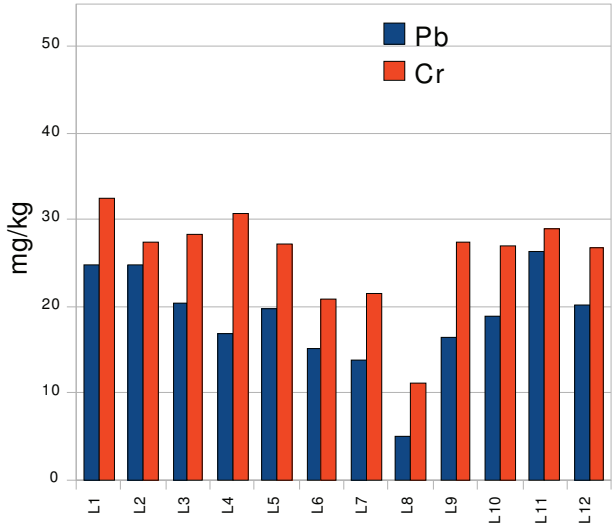


Figura 3.18 Concentraciones promedio de Cr y Pb en estaciones lejanas

Nota: Corresponden a promedios obtenidos de 3 campañas de muestreo.

A modo de resumen, se presentan las siguientes tablas con las concentraciones de los metales Pb y Cr de los sedimentos, y con códigos de colores se señalan los distintos niveles con relación a los valores guía de las *Canadian Sediment Quality Guideines for the protection of Aquatic Life*:

-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

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

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

Nota: < significa menor a; > significa mayor a.

Estaciones de la Bahía: Los sedimentos de las estaciones de la bahía B1 y B2 presentan valores promedio de Pb y Cr superiores a los PEL; la estación B3 presenta valores promedio de Cr y Pb comprendidos entre el ISQG y PEL, y las estaciones B4 y B5 presentan valores de Pb comprendidos entre el ISQG y PEL, y valores de Cr superiores a los PEL.

	Estaciones en la bahía				
	B1	B2	B3	B4	B5
Pb (mg/kg)	150	200	86	43	85
Cr (mg/kg)	250	183	117	200	478

Estaciones cercanas: Todas las estaciones cercanas, salvo Z5, presentan valores de Cr y Pb en sedimentos por debajo de los ISQG. En el caso de Z5, los valores de Pb están entre el ISQG y el PEL..

	Estaciones cercanas									
	Z1	Z4	Z5	Z9	Z10	Z11	Z12	Z13	Z Zoppa	Zmal
Pb (mg/kg)	22	20	33	14	22	15	25	23	21	20
Cr (mg/kg)	31	22	28	28	26	25	27	16	27	28

Estaciones de influencia de descarga de los emisarios: sólo la estación Emis PC presenta valores de Pb entre el ISQG y el PEL; el resto de las estaciones presenta valores de Pb y Cr menores a los ISQG respectivos.

	Estaciones de influencia de descarga de los emisarios									
	C3E	C3N	C3S	C3W	Emis PC	Emis PY	PYE	PYN	PYS	PYW
Pb (mg/kg)	21	22	20	21	31	18	21	18	21	18
Cr (mg/kg)	28	30	27	29	28	25	26	27	22	23

Estaciones lejanas: Todas las estaciones lejanas presentan valores de Cr y Pb en sedimentos menores a los ISQG respectivos.

	Estaciones lejanas											
	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9	L10	L11	L12
Pb (mg/kg)	25	25	20	17	20	15	14	5	16	19	26	20
Cr (mg/kg)	32	27	28	31	27	21	21	11	27	27	29	27

3.3.2.2. Bioensayos

Antecedentes

La revolución tecnológica de finales de este siglo ha permitido a la humanidad alcanzar niveles de confort alimentación y salud inéditos en la historia de la civilización. Pero también está pagando por ellos un insospechado costo ambiental, debido a la expoliación y movilización de enormes cantidades de recursos naturales, que han producido cambios en los ecosistemas en muchos casos irreversibles.

Por otra parte, la industrialización con una alta diversificación de productos terminados ingresa diariamente a los ecosistemas miles de sustancias y elementos químicos que se distribuyen por circulación en la tropósfera en todo el orbe. Estas sustancias y elementos se intercambian entre las distintas fases de los ecosistemas (agua, aire, suelo, sedimentos y biota) a través de procesos de volatilización, deposición, precipitación, adsorción y desorción, bioacumulación y excreción. En estas diferentes fases muchos van degradándose por procesos físicos, químicos y biológicos, transformándose en sustancias y elementos inertes e inocuos y capaces de reintegrarse a los ciclos naturales. Otros sufren modificaciones que los hacen más tóxicos y dañinos que el producto original y finalmente muchos ingresan en las cadenas tróficas, bioacumulándose y biomagnificándose.

Frente a la imposibilidad de identificar cada uno de estas sustancias, elementos y sus metabolitos en forma rutinaria a través de análisis fisico-químicos debido al alto costo así como a la necesidad de equipo instrumental y personal especializado, se están desarrollando indicadores generales capaces de detectar la presencia de los mismos. Dentro de estos indicadores surgen los bioensayos como una alternativa validada científicamente que presenta un bajo costo operativo.

Vale aclarar también que la detección de un elemento o sustancia tóxica a través de un análisis fisico-químico nada dice sobre su biodisponibilidad, o sea que se puede detectar, mediante este tipo de análisis, la presencia de un contaminante en altas concentraciones, pero no estar disponible para su ingreso en los seres vivos. En tanto que la utilización de un bioensayo permite conocer la biodisponibilidad del tóxico, completando la información necesaria para extraer conclusiones.

Un bioensayo es una forma de análisis sistemático que utilizando el método científico, permite detectar la presencia de una gran diversidad de agentes tóxicos en un solo análisis a través de la o las modificaciones producidas en una población de seres vivos expuestos a dicho agente.

En general, consiste en un sistema de puntuación basado en los resultados de cierto número de ensayos de laboratorio estandarizados en que se utilizan especies sensibles a los contaminantes y que son indicativas de varios niveles tróficos (por ejemplo, bacterias, algas, invertebrados, vertebrados). El ensayo biológico suele concentrarse en los efectos relacionados con la toxicidad (Keddy et al., 1994). Los resultados que pueden ser cuantificados de diversas maneras, usualmente se expresan como dosis-respuesta referido a la concentración del producto frente al 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.

Metodología

Para el proyecto de línea de base del Río de la Plata estuario se propusieron dos ensayos biológicos, que están al alcance operativo de este servicio.

- Ensayo de agua y elutriado de sedimentos con *Vibrio fisheri* según la norma de *Environmental Canada*,1RM24.
- Ensayo de sedimento entero con *Hyalella 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*, 2nd 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 Hyalella 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 Hyalella.

PEC.PQAR ----- 14/05/2008. Procedimiento de ensayo con tóxico de referencia con anfípodos del género Hyalella.

Corresponde realizar una serie de consideraciones técnicas sobre estos ensayos para poder interpretar correctamente los resultados obtenidos:

- El ensayo de ***Hyalella curvispina*** es un ensayo de toxicidad aguda, en un ser eucariota, 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. Finalmente 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 al momento de la interpretación del resultado que en este ensayo se analiza sedimento entero y que los individuos entran en contacto directo con el sedimento y por tanto con muchos tóxicos que están adsorbidos a la materia orgánica y/o a la fracción limo-arcilla del mismo.

- El ensayo con ***Vibrio fischerii*** 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 vía metabólica del complejo luciferina-luciferasa, que es una vía de fosforilación oxidativa mediada por el ATP. La sensibilidad de este ensayo está limitada por ser los individuos procariotas, con una complejidad estructural y metabólica muy simple.

Por otra parte hasta el momento se analizan elutriados de la muestra, lo que descarta a aquellos tóxicos de baja o nula solubilidad.

Con estas consideraciones, se presentan y discuten los resultados obtenidos.

Resultados

Se analizan los datos obtenidos en cuatro (4) campañas de muestreo que corresponden a: marzo de 2009; agosto de 2009; enero de 2010; mayo de 2010.

De este análisis se puede concluir:

La zona de influencia directa del emisario de Punta Carretas, puntos C3N; PC; C3E y C3S, presenta un marcado efecto confirmado para ambos ensayos, y por tanto se puede concluir que es una zona fuertemente impactada y degradada.

Dentro de la zona de la Bahía el punto B5 presenta igual situación, en tanto que los restantes puntos de la Bahía pautan muy alta toxicidad sólo para el ensayo con *Hyalella*. Esto puede explicarse de acuerdo a lo aclarado anteriormente en que los tóxicos presentes en el sedimento están principalmente asociados a materia orgánica y/o la fracción limo-arcilla no integrando la fracción soluble que se analiza con el ensayo *Microtox*, con excepción de B5.

Fuera de estas zonas bien definidas se pueden identificar algunos puntos aislados donde se presume una afectación importante del ecosistema, estos puntos son ZZopa y Z11 con altos porcentajes de mortalidad en ensayos con *Hyalella.*

Para ambos puntos surgen elementos de la anamnesis ambiental, tal como el arrastre de materiales producidos por la cañada Casabó.

Los puntos Z1; Z4; Z12 y L7 presentan valores de entre 20 y 30% en el ensayo de *Hyalella*, que podrian estar indicando una alteración del ecosistema de menor magnitud que en los puntos anteriores, aunque debe de confirmarse esta tendencia con nuevos ensayos en el tiempo.

Los puntos L1; L2 y L9 presentan porcentajes de inhibición de la emisión, significativos para el ensayo con *Vibrio*, pudiendo ser indicativos de un ecosistema ligeramente alterado, aunque deberá ser ratificada esta tendencia en el tiempo.

El resto de las estaciones evaluadas no presentan efectos de toxicidad y por tanto se puede presumir que no está impactadas.

No se realizaron análisis de correlación estadística con otros parámetros fisicoquímicos y/o biológicos, a la espera de mayor tamaño de muestra.

En Anexo III se incluye tabla que resume los resultados encontrados