

PROGRAMA INTEGRAL DE CALIDAD DE AGUAS DEL RÍO COLORADO

SUBPROGRAMA CALIDAD DEL MEDIO ACUÁTICO

INFORME FINAL

AÑO 2017

(Rev01_Dic2019)

**Comité Interjurisdiccional del río Colorado
Secretaría de Energía de la Nación
Grupo Interempresario**



PROGRAMA INTEGRAL DE CALIDAD DE
AGUAS DEL RÍO COLORADO

AÑO 2017

SUBPROGRAMA CALIDAD DEL MEDIO ACUÁTICO

AUTOR

Bioq. Ricardo Alcalde



GRUPO INTEREMPRESARIO

YPF SA; Pampa Energía SA; Petrolera Pampa; SA; Pluspetrol SA; Chevron Argentina SRL;
Petrolera Entre Lomas SA; Oldelval SA; Petroquímica Comodoro Rivadavia SA; Madalena
Energy; Medanito SA; Petróleos Sudamericanos; Ysur Petrolera Argentina; San Jorge
Petroleum SA y Compañía General de Combustibles SA

Índice

Capítulo 1 - Calidad de aguas	7
1.1 Introducción	9
1.2 Metodología de muestreo y mediciones <i>in situ</i>	10
1.3 Metodologías analíticas	10
1.3.1 Análisis de metales y metaloides	10
1.3.2 Análisis de hidrocarburos aromáticos polinucleares (HAPs)	11
1.3.3 Ensayos ecotoxicológicos con agua	12
1.4 Resultados	14
1.4.1 Parámetros medidos in situ, metales/metaloides e hidrocarburos aromáticos polinucleares (HAPs)	14
1.4.2 Valores guía	41
1.4.3 Diagnóstico de la calidad del agua para los diferentes usos	42
1.4.4 Discusión	44
1.5 Ensayos ecotoxicológicos	45
1.5.1 Ensayos con <i>Daphnia magna</i>	46
1.5.1.1 Resultados	46
1.5.1.2 Discusión	48
1.5.2 Ensayos con <i>Pseudokirchneriella subcapitata</i>	48
1.5.2.1 Resultados	48
1.6 Conclusiones	53
Referencias	54
Capítulo 2 - Calidad de los sedimentos de fondo	55
2.1 Introducción	57
2.2 Estaciones de monitoreo	57
2.3 Metodología de muestreo	58
2.4 Metodologías analíticas	59
2.4.1 Análisis de metales y metaloides	59
2.4.2 Análisis de hidrocarburos aromáticos polinucleares	59
2.5 Ensayos ecotoxicológicos crónicos con sedimentos de fondo y evaluación de biomarcadores	60
2.6 Resultados	62
2.6.1 Análisis químico	62
2.6.1.1 Metales y metaloides	62
2.6.1.2 Hidrocarburos aromáticos polinucleares (HAPs)	64
2.7 Valores guía	66
2.8 Diagnóstico de la calidad de los sedimentos de fondo para protección de la vida acuática	67
2.9 Discusión	67
2.10 Ensayos ecotoxicológicos crónicos con sedimentos de fondo	67
2.10.1 Ensayos con <i>Hyalella curvispina</i>	68
2.10.1.1 Resultados	68
2.10.1.2 Discusión	68
2.10.2 Ensayos con <i>Vallisneria spiralis</i>	69
2.10.2.1 Resultados	69

2.10.2.2	Discusión	69
2.10.3	Evaluación de las actividades enzimáticas de guaiacol peroxidasa y catalasas sobre <i>Vallisneria spiralis</i> expuesta al sedimento entero	70
2.10.3.1	Resultados	70
2.10.3.1.1	Evaluación de la actividad de guaiacol peroxidasa	70
2.10.3.1.2	Evaluación de la actividad de catalasas	71
	Conclusiones de los ensayos ecotoxicológicos	72
	Calidad de los sedimentos de fondo – Conclusiones generales	73
Capítulo 3 - Evaluación de sustancias tóxicas en músculo de peces		75
3.1	Introducción	77
3.2	Estaciones de monitoreo	77
3.3	Métodos de captura y obtención de las muestras	77
3.4	Metodologías analíticas	79
3.4.1	Análisis de metales y metaloides	79
3.4.2	Análisis de hidrocarburos aromáticos polinucleares	80
3.5	Resultados	81
3.5.1	Metales/metaloides	81
3.5.2	HAPs	83
3.6	Límites para el consumo humano	85
3.7	Conclusiones generales	86
	Referencias	86
Conclusiones y Recomendaciones		87
	Conclusiones	89
	Recomendaciones	90
Glosario		91
	Bibliografía	94

Fe de Erratas

Se ajusta texto Tabla 1.32 página 41 por valor guía Cadmio para protección de la vida acuática y texto del 6to párrafo página 43 (Rev01_Dic2019).

Capítulo 1

CALIDAD DEL AGUA

1.1 Introducción

En el presente capítulo se informan los resultados de las mediciones *in situ* y de los análisis de metales/metaloideos, hidrocarburos aromáticos polinucleares (HAPs) y ensayos ecotoxicológicos con columna de agua, realizados con muestras extraídas en las estaciones de la red de monitoreo del Subprograma Calidad del Medio Acuático (Tabla 1.1) durante el ciclo 2017 a fin de verificar la aptitud del agua para los diferentes usos a que es sometida en la cuenca.

Se describen las metodologías de muestreo y mediciones *in situ* así como las técnicas y métodos analíticos y de ensayo empleados por los laboratorios actuantes.

Tabla 1.1. Estaciones de monitoreo del Programa de Calidad de Aguas del río Colorado – Subprograma Calidad el Medio Acuático.

Estación	Río	Ubicación	Coordenadas geográficas
CL 0	Barrancas	Área Puente Ruta Nacional Nº 40	S 36°49'02,3" – O 69°52'16,4"
CL 1	Grande	Área Bardas Blancas	S 35°52'15,4" – O 60° 50'14"
CL 2	Colorado	Área Buta Ranquil	S 37°07'48,7" – O 69°38'40,2"
CL 3		Área Desfiladero Bayo	S 37°21'57,7" – O 69° 0,1"00,1"
CL 4a		Área Punto Unido	S 37°43'11,24" – O 67°45'47,65"
CL 5		Área Pasarela Medanito	S 38°0,1'34,9" – 67°52'53,9"
CL 6		Área descarga embalse Casa de Piedra	S 38°13'14,8" – O 67°11'18,8"
CL 10a		Área balneario Río Colorado	S 38° 58' 35,1" – O 64° 06` 33,6"
CL 10		Área El Gualicho	S 39°03'41,77" - O 63°56' 03,22"

1.2. Metodología de muestreo y mediciones *in situ*

Las muestras de agua fueron extraídas con frecuencia mensual en las estaciones de monitoreo establecidas al efecto. Los muestreos y mediciones *in situ*, al igual que en los ciclos anteriores, fueron realizados por la empresa Monitoreos Ambientales.

Las mediciones de parámetros ambientales *in situ* (pH, temperatura y conductividad) se llevaron a cabo mediante una sonda multiparámetro *Hydrolab Minisonde*[®].

En las correspondientes estaciones de monitoreo se extrajeron muestras para el análisis de metales/metaloideos y HAPs.

Los muestreos se efectuaron de acuerdo a los lineamientos generales dados en *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, AWWA, WEF, 1998). Los recipientes utilizados para contener las muestras para el análisis de metales/metaloideos y HAPs fueron sometidos previamente a un procedimiento de limpieza consistente en: lavado con detergente y agua corriente, enjuague prolongado con agua corriente, enjuague con agua destilada (Tipo IV ASTM), secado a temperatura ambiente, inmersión durante 12 horas en solución de ácido nítrico 1+1, enjuague con agua destilada, enjuague con agua ultrapura (Tipo I ASTM) y secado a temperatura ambiente (Procedimiento Operativo Estándar PO A001, Sección 4.4.1).

Las muestras de agua para análisis de metales y metaloideos fueron envasadas en bidones de polietileno de 500 mL de capacidad y preservadas mediante la adición de ácido nítrico (HNO₃) hasta pH <2 y refrigeradas a temperatura <4 °C.

Para el análisis de hidrocarburos se extrajeron muestras de agua de 2 L, siendo envasadas en recipientes de vidrio de 1 L de capacidad, los cuales habían sido sometidos previamente al procedimiento de limpieza antes indicado más un enjuague con acetona de alta pureza (grado cromatográfico) (Procedimiento Operativo Estándar PO A001, Sección 4.4.2). Estas muestras fueron preservadas mediante la adición de 2 mL/L de ácido clorhídrico (HCl) 1+1 y refrigeración a temperatura <4 °C y en esas condiciones enviadas al laboratorio.

1.3. Metodologías analíticas

1.3.1 Análisis de metales y metaloideos

Los análisis de metales y metaloideos en muestras de agua fueron llevados a cabo en el laboratorio del Instituto de Tecnología Minera (INTEMIN), dependiente del Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR). Este

laboratorio cuenta con un sistema de calidad basado en la Norma ISO/IEC 17025 (ISO/IEC 2005), estando acreditadas dichas determinaciones por el Organismo Argentino de Acreditación (OAA) a partir del mes de junio de 2014.

Las concentraciones medidas de los diferentes metales y metaloides fueron informadas con las respectivas incertidumbres de medición (valores expresados a continuación con el símbolo \pm), las cuales son incertidumbres expandidas (factor de cobertura $k=2$) y corresponden a un nivel de confianza de aproximadamente el 95%. Dichas incertidumbres fueron calculadas en el Laboratorio del INTEMIN empleando la metodología de la guía EURACHEM/CITAC (*Quantifying Uncertainty in Analytical Measurement*).

Las técnicas y métodos analíticos empleados con sus respectivos límites de cuantificación se muestran en la Tabla 1.2.

Tabla 1.2 - Técnicas y métodos analíticos empleados para el análisis de metales y metaloides en agua con sus respectivos límites de cuantificación.

Elemento	Técnica analítica	Método	Límite de cuantificación ($\mu\text{g/L}$)
Arsénico	ICP-MS	SMWW-Método 3125	0,2
Cadmio	ICP-MS	SMWW-Método 3125	0,2
Cinc	ICP-MS	SMWW-Método 3125	0,5
Cobre	ICP-MS	SMWW-Método 3125	0,2
Cromo	ICP-MS	SMWW-Método 3125	0,4
Mercurio	A.A. por vapor frío	EPA 245.1	0,2
Molibdeno	ICP-MS	SMWW-Método 3125	0,6
Níquel	ICP-MS	SMWW-Método 3125	0,3
Plomo	ICP-MS	SMWW-Método 3125	0,6
Selenio	ICP-MS	SMWW-Método 3125	0,4
Uranio	ICP-MS	SMWW-Método 3125	0,2

ICP-MS: espectrometría de emisión atómica por plasma inductivo con detector de masas.
 – SMWW: *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater – 22 ed.*

1.3.2 Análisis de hidrocarburos aromáticos polinucleares (HAPs)

Los análisis de HAPs en muestras de agua fueron llevados a cabo en el laboratorio de INDUSER de Lomas de Zamora, provincia de Buenos Aires. Este laboratorio cuenta con un sistema de calidad basado en la Norma ISO/IEC 17025 (ISO/IEC 2005).

Técnica y método analítico

La técnica y métodos analíticos empleados con sus respectivos límites de cuantificación se muestran en la Tabla 1.3

Tabla 1.3 – Técnica y método analítico empleados para el análisis de HAPs en aguas con sus respectivos límites de cuantificación.

HAPs	Técnica analítica	Método analítico	Límite de cuantificación del método (µg/L)
Naftaleno	CG/EM	EPA 3535 – A /EPA 8270 D	0,03
Acenaftileno			0,03
Acenafteno			0,03
Fluoreno			0,03
Fenantreno			0,01
Antraceno			0,01
Fluoranteno			0,01
Pireno			0,01
Benzo[a]antraceno			0,01
Criseno			0,01
Benzo[b]fluoranteno			0,01
Benzo[k]fluoranteno			0,01
Benzo[a]pireno			0,01
Dibenzo[a,h]antraceno			0,01
Benzo[g,h,i]perileno			0,01
Indeno[c,d]pireno			0,01
2-metilnaftaleno			0,01
1,3-dimetilnaftaleno			0,01
1-metilfenantreno	0,01		

EPA 3535 A: *Solid Phase Extraction (SPE)*

EPA 8270 D: *Semivolatile organic compounds by gas chromatography/mass spectrometry*

1.3 3 Ensayos ecotoxicológicos con agua

Métodos

Los ensayos ecotoxicológicos fueron llevados a cabo en el laboratorio del Programa de Investigación en Ecotoxicología – Departamento de Ciencias Básicas, Universidad Nacional de Luján según los siguientes métodos y protocolos:

- Ensayos con *Daphnia magna*: Los ensayos de ecotoxicidad crónica preliminares y definitivos se realizaron de acuerdo a los lineamientos del protocolo recomendado por U.S. EPA (*U.S. EPA, 1996, Ecological Effects Test Guidelines, OPPTS 850.1300, Daphnid Chronic Toxicity Test, Public Draft, Office of Prevention, Pesticides and Toxic Substances, 7101, EPA-712-C-96-120: 1-10*).
- Ensayos con *Pseudokirchneriella subcapitata* (Hindak, 1990): los ensayos de ecotoxicidad se llevaron a cabo según el procedimiento indicado por US EPA (*US EPA 2002. United States Environmental Protection Agency, Short-term Methods for Estimating the Chronic Toxicity of Effluents and Receiving Waters to Freshwater Organisms Fourth Edition October, EPA-821-R-02-013*)

1.4 Resultados

1.4.1 Parámetros medidos *in situ*, metales/metaloideos e hidrocarburos aromáticos polinucleares (HAPs)

Tabla 1.4 Parámetros medidos <i>in situ</i> en la Estación CL 0 (Río Barrancas, margen derecha) en el período Enero 2017 - Diciembre 2017.												
Parámetros medidos <i>in situ</i>	Campañas											
	1 (02/01/17)	2 (05/02/17)	3 (26/02/17)	4 (26/03/17)	5 (30/04/17)	6 (28/05/17)	7 (02/07/17)	8 (30/07/17)	9 (03/09/17)	10 (01/10/17)	11 (29/10/17)	12 (02/12/17)
Hora	16:20	15:10	16:00	16:05	15:41	15:00	15:50	15:30	15:38	16:10	15:30	16:10
pH	8,39	8,37	7,87	8,38	7,97	7,97	8,23	8,25	7,70	8,21	7,53	7,85
Temperatura del agua (°C)	23,0	20,5	21,0	16,0	13,5	7,0	7,0	7,0	11,0	12,0	14,0	16,0
Temperatura del aire (°C)	34,5	28,0	30,0	27,0	23,0	12,5	14,5	13,0	15,0	18,0	19,0	20,0
Conductividad específica [μS/cm]	866	1040	1150	927	845	850	915	858	840	735	540	938

Tabla 1.5 Concentraciones de metales y metaloides en la columna de agua ($\mu\text{g/L}$) en la estación CL 0 (Río Barrancas, margen derecha) en el período Enero 2017 – Diciembre de 2017.

Metal/ metaloides ($\mu\text{g/L}$)	Campañas											
	1 (02/01/17)	2 (05/02/17)	3 (26/02/17)	4 (26/03/17)	5 (30/04/17)	6 (28/05/17)	7 (02/07/17)	8 (30/07/17)	9 (03/09/17)	10 (01/10/17)	11 (29/10/17)	12 (02/12/17)
Arsénico	3,8 \pm 0,2	3,1 \pm 0,2	7,5 \pm 0,5	1,5 \pm 0,1	2,1 \pm 0,1	2,9 \pm 0,1	2,4 \pm 0,2	2,8 \pm 0,1	2,1 \pm 0,1	2,2 \pm 0,1	2,6 \pm 0,1	8,8 \pm 0,2
Cadmio	<0,2	<0,2	0,3 \pm 0,1	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	1,0 \pm 0,1
Cinc	11 \pm 0,8	8,0 \pm 0,6	26 \pm 2	5,8 \pm 0,3	3,1 \pm 0,2	3,8 \pm 0,2	4,0 \pm 0,3	2,6 \pm 0,2	4,1 \pm 0,3	9,2 \pm 0,9	17 \pm 2	72 \pm 5
Cobre	2,2 \pm 0,2	2,0 \pm 0,2	6,6 \pm 0,5	2,0 \pm 0,1	1,4 \pm 0,1	1,7 \pm 0,1	2,1 \pm 0,1	0,90 \pm 0,05	1,2 \pm 0,1	4,6 \pm 0,2	5,6 \pm 0,2	41 \pm 3
Cromo	0,6 \pm 0,1	0,6 \pm 0,1	1,2 \pm 0,1	0,6 \pm 0,1	0,4 \pm 0,1	0,9 \pm 0,1	0,5 \pm 0,1	0,7 \pm 0,1	1,7 \pm 0,1	0,72 \pm 0,09	1,5 \pm 0,1	4,7 \pm 0,4
Mercurio	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<1	<1
Molibdeno	2,2 \pm 0,2	3,1 \pm 0,2	2,2 \pm 0,2	2,9 \pm 0,2	2,6 \pm 0,2	2,6 \pm 0,2	2,2 \pm 0,2	2,2 \pm 0,2	1,9 \pm 0,1	1,6 \pm 0,1	1,1 \pm 0,1	0,61 \pm 0,07
Níquel	5,3 \pm 0,4	4,3 \pm 0,4	9,4 \pm 0,7	2,4 \pm 0,2	2,3 \pm 0,2	2,3 \pm 0,2	3,6 \pm 0,3	2,4 \pm 0,2	1,8 \pm 0,2	4,0 \pm 0,2	5,8 \pm 0,3	33 \pm 2
Plomo	8,6 \pm 0,6	4,6 \pm 0,4	19 \pm 1	2,9 \pm 0,2	1,2 \pm 0,1	1,0 \pm 0,1	1,6 \pm 0,1	1,1 \pm 0,1	1,0 \pm 0,1	4,6 \pm 0,2	5,6 \pm 0,2	21 \pm 1
Selenio	0,4 \pm 0,1	0,6 \pm 0,1	0,4 \pm 0,1	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	0,6 \pm 0,1	0,5 \pm 0,03	<0,4	0,6 \pm 0,1	0,7 \pm 0,1
Uranio	0,3 \pm 0,1	0,3 \pm 0,1	0,5 \pm 0,1	0,6 \pm 0,1	0,3 \pm 0,1	0,2 \pm 0,1	0,5 \pm 0,1	0,30 \pm 0,03	0,2 \pm 0,02	0,45 \pm 0,03	0,45 \pm 0,03	2,5 \pm 0,1

Tabla 1.6 Concentraciones de hidrocarburos aromáticos polinucleares (HAPs) en la columna de agua ($\mu\text{g/L}$) en la estación CL 0 (Río Barrancas, margen derecha) en el período Enero 2017 - Diciembre 2017.

HAPs ($\mu\text{g/L}$) ^(*)	Campañas											
	1 (02/01/17)	2 (05/02/17)	3 (26/02/17)	4 (26/03/17)	5 (30/04/17)	6 (28/05/17)	7 (02/07/17)	8 (30/07/17)	9 (03/09/17)	10 (01/10/17)	11 (29/10/17)	12 (02/12/17)
Naftaleno	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Acenaftileno	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Acenafteno	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Fluoreno	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Fenantreno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Antraceno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Fluoranteno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Pireno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Benzo[a]antraceno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Criseno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Benzo[b]fluoranteno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Benzo[k]fluoranteno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Benzo[a]pireno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Dibenzo[a,h]antraceno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Benzo[g,h,i]perileno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Indeno[c,d]pireno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
2-metilnaftaleno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
1,3-dimetilnaftaleno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
1-metilfenantreno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01

(*) La incertidumbre expandida para los resultados informados es del 32% (intervalo de confianza del 95%)

Tabla 1.7 Parámetros medidos *in situ* en la Estación CL 1 (Río Grande, Bardas Blancas, aguas arriba del puente de la Ruta Nacional Nº 40) en el período Enero 2017 - Diciembre 2017.

Parámetros medidos <i>in situ</i>	Campañas											
	1 (02/01/17)	2 (05/02/17)	3 (26/02/17)	4 (26/03/17)	5 (30/04/17)	6 (28/05/17)	7 (02/07/17)	8 (30/07/17)	9 (03/09/17)	10 (01/10/17)	11 (29/10/17)	12 (02/12/17)
Hora	18:48	17:30	19:45	18:21	18:05	17:20	18:35	17:55	18:00	18:30	18:06	(¹)
pH	8,38	8,83	7,98	8,21	8,16	7,93	8,15	8,00	8,21	8,84	7,74	"
Temperatura del agua (°C)	17,0	16,0	15,0	15,0	11,0	6,0	6,0	5,0	9,0	7,0	11,0	"
Temperatura del aire (°C)	28,0	28,0	20,0	26,0	22,0	10,0	14,0	5,0	13,5	7,0	17,0	"
Conductividad específica [µS/cm]	1005	1237	2880	1364	1350	1395	1431	1420	1375	1082	760	"

(¹) No se pudo acceder a Bardas Blancas por estar cortada la ruta por un aluvión.

Tabla 1.8 Concentraciones de metales y metaloides en la columna de agua ($\mu\text{g/L}$) en la estación CL 1 (Río Grande en Bardas Blancas) en el período Enero 2017 – Diciembre de 2017.

Metal/ metaloides ($\mu\text{g/L}$)	Campañas											
	1 (02/01/17)	2 (05/02/17)	3 (26/02/17)	4 (26/03/17)	5 (30/04/17)	6 (28/05/17)	7 (02/07/17)	8 (30/07/17)	9 (03/09/17)	10 (01/10/17)	11 (29/10/17)	12 (02/12/17)
Arsénico	1,3 \pm 0,2	2,5 \pm 0,2	4,5 \pm 0,2	1,4 \pm 0,1	2,4 \pm 0,2	2,8 \pm 0,2	2,4 \pm 0,2	3,2 \pm 0,2	2,1 \pm 0,1	2,1 \pm 0,1	3,3 \pm 0,1	-
Cadmio	<0,2	<0,2	1,6 \pm 0,1	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	-
Cinc	6,2 \pm 0,4	3,2 \pm 0,2	96 \pm 7	3,6 \pm 0,2	2,3 \pm 0,2	3,1 \pm 0,2	4,5 \pm 0,3	2,8 \pm 0,2	2,9 \pm 0,2	5,2 \pm 0,6	18 \pm 2	-
Cobre	6,7 \pm 0,5	6,9 \pm 0,5	41 \pm 3	5,3 \pm 0,3	5,5 \pm 0,4	8,1 \pm 0,1	7,0 \pm 0,5	5,4 \pm 0,2	2,9 \pm 0,2	5,5 \pm 0,2	14 \pm 1	-
Cromo	0,5 \pm 0,1	0,6 \pm 0,1	9,7 \pm 0,7	0,5 \pm 0,1	0,3 \pm 0,1	0,8 \pm 0,1	0,6 \pm 0,1	0,9 \pm 0,1	1,6 \pm 0,1	0,91 \pm 0,09	1,9 \pm 0,1	-
Mercurio	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<1	-
Molibdeno	0,8 \pm 0,2	0,9 \pm 0,1	<0,6	1,6 \pm 0,1	1,5 \pm 0,1	1,6 \pm 0,1	1,4 \pm 0,1	1,4 \pm 0,1	1,2 \pm 0,1	0,74 \pm 0,08	<0,6	-
Níquel	3,8 \pm 0,3	3,8 \pm 0,3	39 \pm 3	2,8 \pm 0,2	3,4 \pm 0,2	3,6 \pm 0,2	4,7 \pm 0,3	4,0 \pm 0,3	2,3 \pm 0,2	2,9 \pm 0,2	6,5 \pm 0,3	-
Plomo	0,4 \pm 0,1	0,3 \pm 0,1	53 \pm 3	0,6 \pm 0,1	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	1,5 \pm 0,1	4,2 \pm 0,2	-
Selenio	0,4 \pm 0,1	0,6 \pm 0,1	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	0,6 \pm 0,1	0,6 \pm 0,004	<0,4	0,5 \pm 0,1	-
Uranio	<0,2	<0,2	1,4 \pm 0,1	0,5 \pm 0,1	0,2 \pm 0,1	0,2 \pm 0,1	0,3 \pm 0,1	0,20 \pm 0,02	<0,2	0,25 \pm 0,02	0,37 \pm 0,03	-

Tabla 1.9 Concentraciones de hidrocarburos aromáticos polinucleares (HAPs) en la columna de agua ($\mu\text{g/L}$) en la estación CL 1 (Río Grande en Bardas Blancas) en el período Enero 2017 - Diciembre 2017.

HAPs ($\mu\text{g/L}$) ^(*)	Campañas											
	1 (02/01/17)	2 (05/02/17)	3 (26/02/17)	4 (26/03/17)	5 (30/04/17)	6 (28/05/17)	7 (02/07/17)	8 (30/07/17)	9 (03/09/17)	10 (01/10/17)	11 (29/10/17)	12 (02/12/17)
Naftaleno	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	-
Acenaftileno	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	-
Acenafteno	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	-
Fluoreno	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	-
Fenantreno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	-
Antraceno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	-
Fluoranteno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	-
Pireno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	-
Benzo[a]antraceno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	-
Criseno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	-
Benzo[b]fluoranteno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	-
Benzo[k]fluoranteno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	-
Benzo[a]pireno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	-
Dibenzo[a,h]antraceno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	-
Benzo[g,h,i]perileno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	-
Indeno[c,d]pireno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	-
2-metilnaftaleno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	-
1,3-dimetilnaftaleno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	-
1-metilfenantreno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	-

(*) La incertidumbre expandida para los resultados informados es del 32% (intervalo de confianza del 95%)

Tabla 1.10 Parámetros medidos *in situ* en la Estación CL 2 (Río Colorado, Buta Ranquil, Yacimiento El Portón, margen derecha, provincia de Neuquén) en el período Enero 2017 - Diciembre 2017.

Parámetros medidos <i>in situ</i>	Campañas											
	1 (02/01/17)	2 (05/02/17)	3 (26/02/17)	4 (26/03/17)	5 (30/04/17)	6 (28/05/17)	7 (02/07/17)	8 (30/07/17)	9 (03/09/17)	10 (01/10/17)	11 (29/10/17)	12 (02/12/17)
Hora	14:06	13:30	13:45	14:07	13:55	13:30	14:00	13:55	14:00	14:10	13:20	14:35
pH	8,38	8,86	7,89	8,12	7,97	7,94	8,25	8,18	7,67	7,98	7,42	8,03
Temperatura del agua (°C)	22,0	18,0	24,0	22,0	14,0	9,0	9,5	8,0	11,0	13,0	15,0	18,0
Temperatura del aire (°C)	35,0	23,0	25,0	32,5	25,0	13,0	14,0	13,0	20,0	20,0	23,0	22,0
Conductividad específica [µS/cm]	1017	1230	1380	1314	1290	1291	1303	1305	1263	960	737	627

Tabla 1.11 Concentraciones de metales/metaloideos en la columna de agua ($\mu\text{g/L}$) en la estación CL 2 (Río Colorado a la altura de Buta Ranquil) en el período Enero 2017 - Diciembre 2017.

Metal/ metaloide ($\mu\text{g/L}$)	Campañas											
	1 (02/01/17)	2 (05/02/17)	3 (26/02/17)	4 (26/03/17)	5 (30/04/17)	6 (28/05/17)	7 (02/07/17)	8 (30/07/17)	9 (03/09/17)	10 (01/10/17)	11 (29/10/17)	12 (02/12/17)
Arsénico	3,2 \pm 0,2	2,9 \pm 0,2	10 \pm 0,7	1,7 \pm 0,1	2,6 \pm 0,2	2,6 \pm 0,2	2,4 \pm 0,2	3,0 \pm 0,2	1,9 \pm 0,1	3,9 \pm 0,2	4,6 \pm 0,2	2,6 \pm 0,1
Cadmio	<0,2	<0,2	1,3 \pm 0,1	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	0,25 \pm 0,05	0,30 \pm 0,05	<0,2
Cinc	9,0 \pm 0,8	4,0 \pm 0,8	98 \pm 7	3,6 \pm 0,2	3,1 \pm 0,2	3,2 \pm 0,2	4,1 \pm 0,3	4,5 \pm 0,3	3,8 \pm 0,3	21 \pm 2	33 \pm 3	14 \pm 2
Cobre	4,4 \pm 0,2	4,3 \pm 0,3	71 \pm 5	3,2 \pm 0,2	4,0 \pm 0,2	3,3 \pm 0,1	3,3 \pm 0,2	2,6 \pm 0,1	2,1 \pm 0,1	21 \pm 1	28 \pm 2	9 \pm 1
Cromo	0,6 \pm 0,1	0,7 \pm 0,1	5 \pm 0,3	0,7 \pm 0,1	0,6 \pm 0,1	0,6 \pm 0,1	0,8 \pm 0,1	1,0 \pm 0,1	1,9 \pm 0,1	1,7 \pm 0,1	2,9 \pm 0,2	1,5 \pm 0,1
Mercurio	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<1	<1
Molibdeno	1,0 \pm 0,1	1,4 \pm 0,1	0,6 \pm 0,1	2,4 \pm 0,1	1,9 \pm 0,1	2,2 \pm 0,1	2,1 \pm 0,1	1,9 \pm 0,1	1,6 \pm 0,1	0,82 \pm 0,08	<0,6	<0,6
Níquel	4,9 \pm 0,4	4,9 \pm 0,4	37 \pm 2	3,0 \pm 0,2	3,7 \pm 0,2	3,0 \pm 0,2	4,9 \pm 0,3	4,0 \pm 0,3	2,3 \pm 0,2	8,0 \pm 0,4	11,6 \pm 0,5	5,1 \pm 0,3
Plomo	6,8 \pm 0,5	1,8 \pm 0,5	37 \pm 2	1,0 \pm 0,1	0,9 \pm 0,1	<0,6	0,7 \pm 0,1	<0,6	<0,6	7,6 \pm 0,3	9,4 \pm 0,3	3,8 \pm 0,2
Selenio	0,4 \pm 0,1	0,7 \pm 0,1	0,6 \pm 0,1	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	0,7 \pm 0,1	0,6 \pm 0,04	0,5 \pm 0,1	0,5 \pm 0,1	0,4 \pm 0,1
Uranio	0,3 \pm 0,1	0,4 \pm 0,1	3,1 \pm 0,2	0,6 \pm 0,1	0,5 \pm 0,1	0,4 \pm 0,1	0,5 \pm 0,1	0,40 \pm 0,04	0,3 \pm 0,03	0,83 \pm 0,04	0,78 \pm 0,04	0,36 \pm 0,03

Tabla 1.12 Concentraciones de hidrocarburos aromáticos polinucleares (HAPs) en la columna de agua ($\mu\text{g/L}$) en la estación CL 2 (Río Colorado a la altura de Buta Ranquil) en el período Enero 2017 - Diciembre 2017.

HAPs ($\mu\text{g/L}$) ^(*)	Campañas											
	1 (02/01/17)	2 (05/02/17)	3 (26/02/17)	4 (26/03/17)	5 (30/04/17)	6 (28/05/17)	7 (02/07/17)	8 (30/07/17)	9 (03/09/17)	10 (01/10/17)	11 (29/10/17)	12 (02/12/17)
Naftaleno	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Acenaftileno	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Acenafteno	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Fluoreno	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Fenantreno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Antraceno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Fluoranteno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Pireno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Benzo[a]antraceno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Criseno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Benzo[b]fluoranteno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Benzo[k]fluoranteno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Benzo[a]pireno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Dibenzo[a,h]antraceno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Benzo[g,h,i]perileno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Indeno[c,d]pireno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
2-metilnaftaleno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
1,3-dimetilnaftaleno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
1-metilfenantreno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01

(*) La incertidumbre expandida para los resultados informados es del 32% (intervalo de confianza del 95%)

Tabla 1.13 Parámetros medidos *in situ* en la Estación CL 3 (Río Colorado, Desfiladero Bayo, sector petrolero aguas arriba de Rincón de los Sauces, margen derecha, Pcia de Neuquén) en el período Enero 2017 - Diciembre 2017.

Parámetros medidos <i>in situ</i>	Campañas											
	1 (02/01/17)	2 (05/02/17)	3 (26/02/17)	4 (26/03/17)	5 (30/04/17)	6 (28/05/17)	7 (02/07/17)	8 (30/07/17)	9 (03/09/17)	10 (01/10/17)	11 (29/10/17)	12 (02/12/17)
Hora	12:14	11:46	11:50	12:15	11:48	11:30	12:00	12:15	12:18	12:15	11:45	12:18
pH	7,88	8,37	8,14	7,93	8,19	7,95	8,18	8,34	8,14	8,55	7,36	8,06
Temperatura del agua (°C)	22,0	19,0	24,0	19,5	14,0	7,0	8,5	7,0	10,0	12,0	14,0	18,0
Temperatura del aire (°C)	30,5	19,0	31,0	26,0	16,0	7,0	10,5	9,0	14,5	18,0	20,0	22,0
Conductividad específica [μS/cm]	972	1239	1463	1310	1300	1315	1310	1310	1280	975	725	765

Tabla 1.14 Concentraciones de metales/metaloideos en la columna de agua en la Estación CL 3 (Río Colorado, Desfiladero Bayo, sector petrolero aguas arriba de Rincón de los Sauces, margen derecha, Provincia de Neuquén) en el período Enero 2017 - Diciembre 2017

Metal/ metaloide ($\mu\text{g/L}$)	Campañas											
	1 (02/01/17)	2 (05/02/17)	3 (26/02/17)	4 (26/03/17)	5 (30/04/17)	6 (28/05/17)	7 (02/07/17)	8 (30/07/17)	9 (03/09/17)	10 (01/10/17)	11 (29/10/17)	12 (02/12/17)
Arsénico	2,2 \pm 0,2	3,3 \pm 0,2	11 \pm 0,7	1,7 \pm 0,1	2,7 \pm 0,2	2,6 \pm 0,2	2,4 \pm 0,2	2,9 \pm 0,2	1,8 \pm 0,1	5,7 \pm 0,2	6,1 \pm 0,2	3,8 \pm 0,2
Cadmio	<0,2	<0,2	0,6 \pm 0,1	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	0,44 \pm 0,06	0,43 \pm 0,06	0,29 \pm 0,05
Cinc	12 \pm 0,8	11 \pm 0,8	41 \pm 3	5,2 \pm 0,3	3,6 \pm 0,3	3,0 \pm 0,3	4,1 \pm 0,3	3,9 \pm 0,3	3,8 \pm 0,3	30 \pm 2	45 \pm 3	21 \pm 2
Cobre	4,2 \pm 0,2	4,2 \pm 0,3	19 \pm 1	3,6 \pm 0,2	5,6 \pm 0,4	3,3 \pm 0,1	3,7 \pm 0,4	2,9 \pm 0,1	1,9 \pm 0,1	27 \pm 2	34 \pm 2	14 \pm 1
Cromo	0,5 \pm 0,1	0,7 \pm 0,1	2,9 \pm 0,2	0,7 \pm 0,1	0,8 \pm 0,1	1,0 \pm 1,1	0,8 \pm 0,1	1,0 \pm 0,1	1,8 \pm 0,1	3,5 \pm 0,2	3,7 \pm 0,3	1,7 \pm 0,1
Mercurio	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<1	<1
Molibdeno	1,0 \pm 0,2	1,8 \pm 0,2	1,1 \pm 0,2	2,2 \pm 0,1	1,6 \pm 0,1	2,1 \pm 0,1	2,0 \pm 0,1	2,0 \pm 0,1	1,7 \pm 0,1	0,92 \pm 0,08	<0,6	0,88 \pm 0,07
Níquel	4,6 \pm 0,4	4,7 \pm 0,4	20 \pm 2	3,2 \pm 0,2	5,4 \pm 0,2	2,9 \pm 0,2	4,9 \pm 0,3	4,1 \pm 0,3	2,3 \pm 0,2	14,6 \pm 0,7	15,9 \pm 0,7	12,7 \pm 0,6
Plomo	3,4 \pm 0,2	2,8 \pm 0,2	25 \pm 1	1,5 \pm 0,1	1,7 \pm 0,1	<0,6	0,7 \pm 0,1	<0,6	<0,6	14,1 \pm 0,5	14,2 \pm 0,5	7,4 \pm 0,3
Selenio	<0,4	0,6 \pm 0,1	0,5 \pm 0,1	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	0,7 \pm 0,1	0,6 \pm 0,04	0,7 \pm 0,1	0,5 \pm 0,1	<0,4
Uranio	0,3 \pm 0,1	0,3 \pm 0,1	1,7 \pm 0,1	0,6 \pm 0,1	0,6 \pm 0,1	0,4 \pm 0,1	0,5 \pm 0,1	0,50 \pm 0,05	0,3 \pm 0,03	1,50 \pm 0,07	1,04 \pm 0,06	1,16 \pm 0,06

Tabla 1.15 Concentraciones de hidrocarburos aromáticos polinucleares (HAPs) en la columna de agua en la Estación CL 3 (Río Colorado, Desfiladero Bayo sector petrolero aguas arriba de Rincón de los Sauces, margen derecha, Provincia de Neuquén) en el período Enero 2017 - Diciembre 2017

HAPs (µg/L) (*)	Campañas											
	1 (02/01/17)	2 (05/02/17)	3 (26/02/17)	4 (26/03/17)	5 (30/04/17)	6 (28/05/17)	7 (02/07/17)	8 (30/07/17)	9 (03/09/17)	10 (01/10/17)	11 (29/10/17)	12 (02/12/17)
Naftaleno	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Acenaftileno	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Acenafteno	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Fluoreno	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Fenantreno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Antraceno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Fluoranteno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Pireno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Benzo[a]antraceno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Criseno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Benzo[b]fluoranteno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Benzo[k]fluoranteno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Benzo[a]pireno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Dibenzo[a,h]antraceno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Benzo[g,h,i]perileno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Indeno[c,d]pireno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
2-metilnaftaleno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
1,3-dimetilnaftaleno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
1-metilfenantreno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01

(*) La incertidumbre expandida para los resultados informados es del 32% (intervalo de confianza del 95%)

Tabla 1.16 Parámetros medidos *in situ* en la Estación CL 4-a (Río Colorado, Punto Unido, aprovechamiento múltiple 25 de Mayo, margen izquierda, provincia de La Pampa) en el período Enero 2017 - Diciembre 2017.

Parámetros medidos <i>in situ</i>	Campañas											
	1 (03/01/17)	2 (06/02/17)	3 (27/02/17)	4 (27/03/17)	5 (01/05/17)	6 (29/05/16)	7 (03/07/17)	8 (31/07/17)	9 (04/09/17)	10 (02/10/17)	11 (30/10/17)	12 (03/12/17)
Hora	11:15	11:40	13:15	12:07	11:45	12:00	11:55	11:50	11:15	11:30	11:22	09:20
pH	8,38	8,36	7,46	8,19	8,14	8,02	8,21	7,98	8,12	8,35	7,43	7,84
Temperatura del agua (°C)	20,0	19,0	25,0	20,5	14,0	7,0	9,0	6,0	9,5	12,0	14,0	16,0
Temperatura del aire (°C)	24,0	23,0	30,0	21,5	18,5	6,0	12,0	9,0	12,0	18,0	18,0	16,5
Conductividad específica [μ S/cm]	1102	1300	1750	1308	1340	1360	1355	1340	1342	1023	774	1118

Tabla 1.17 Concentraciones de metales/metaloideos ($\mu\text{g/L}$) en la columna de agua en la Estación CL 4-a (Río Colorado, Punto Unido, aprovechamiento múltiple 25 de Mayo, margen izquierda, provincia de La Pampa) en el período Enero 2017 - Diciembre 2017

Metal/ metaloide ($\mu\text{g/L}$)	Campañas											
	1 (03/01/17)	2 (06/02/17)	3 (27/02/17)	4 (27/03/17)	5 (01/05/17)	6 (29/05/16)	7 (03/07/17)	8 (31/07/17)	9 (04/09/17)	10 (02/10/17)	11 (30/10/17)	12 (03/12/17)
Arsénico	2,4 \pm 0,2	4,6 \pm 0,2	12 \pm 0,7	5,0 \pm 0,3	2,6 \pm 0,2	2,6 \pm 0,2	2,5 \pm 0,2	2,9 \pm 0,2	1,9 \pm 0,1	5,7 \pm 0,2	7,4 \pm 0,2	9,0 \pm 0,7
Cadmio	<0,2	<0,2	1,1 \pm 0,1	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	0,44 \pm 0,06	0,64 \pm 0,07	0,60 \pm 0,07
Cinc	9,0 \pm 0,8	11 \pm 0,8	44 \pm 3	15 \pm 1	6,7 \pm 0,5	7,8 \pm 0,5	5,4 \pm 0,4	3,2 \pm 0,3	1,9 \pm 0,1	28 \pm 2	57 \pm 4	33 \pm 3
Cobre	4,2 \pm 0,2	6,1 \pm 0,2	24 \pm 2	14 \pm 1	4,1 \pm 0,3	2,9 \pm 0,1	3,6 \pm 0,3	2,2 \pm 0,1	2,2 \pm 0,1	28 \pm 1	43 \pm 2	22 \pm 2
Cromo	0,5 \pm 0,1	0,9 \pm 0,1	4,7 \pm 0,3	1,9 \pm 0,2	0,5 \pm 0,1	0,6 \pm 0,1	0,9 \pm 0,1	0,9 \pm 0,1	1,7 \pm 0,1	2,2 \pm 0,1	4,6 \pm 0,4	2,8 \pm 0,2
Mercurio	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<1	<1
Molibdeno	1,2 \pm 0,2	1,3 \pm 0,2	1,0 \pm 0,2	1,0 \pm 0,1	1,8 \pm 0,1	2,4 \pm 0,1	2,1 \pm 0,1	2,2 \pm 0,2	1,8 \pm 0,1	0,96 \pm 0,08	<0,6	0,85 \pm 0,07
Níquel	4,9 \pm 0,4	5,7 \pm 0,4	38 \pm 3	9,7 \pm 0,5	4,8 \pm 0,3	3,2 \pm 0,2	4,8 \pm 0,3	4,2 \pm 0,3	2,4 \pm 0,2	14,2 \pm 0,7	24 \pm 1	29 \pm 1
Plomo	3,6 \pm 0,2	6,0 \pm 0,2	20 \pm 1	10 \pm 1	1,1 \pm 0,1	<0,6	0,8 \pm 0,1	<0,6	<0,6	13,9 \pm 0,5	21 \pm 1	16,8 \pm 0,7
Selenio	<0,4	0,7 \pm 0,1	0,8 \pm 0,1	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	0,7 \pm 0,1	0,6 \pm 0,04	0,6 \pm 0,1	0,5 \pm 0,1	0,5 \pm 0,1
Uranio	0,4 \pm 0,1	0,6 \pm 0,1	5,5 \pm 0,1	1,3 \pm 0,1	0,6 \pm 0,1	0,5 \pm 0,1	0,6 \pm 0,1	0,60 \pm 0,06	0,4 \pm 0,03	1,65 \pm 0,08	1,74 \pm 0,08	4,60 \pm 0,08

Tabla 1.18 - Concentraciones de hidrocarburos aromáticos polinucleares ($\mu\text{g/L}$) en la columna de agua en la Estación CL 4-a (Río Colorado, Punto Unido, aprovechamiento múltiple 25 de Mayo, margen izquierda, provincia de La Pampa) en el período Enero 2017 - Diciembre 2017

HAPs ($\mu\text{g/L}$) (*)	Campañas											
	1 (03/01/17)	2 (06/02/17)	3 (27/02/17)	4 (27/03/17)	5 (01/05/17)	6 (29/05/17)	7 (03/07/17)	8 (31/07/17)	9 (04/09/17)	10 (02/10/17)	11 (30/10/17)	12 (03/12/17)
Naftaleno	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Acenaftileno	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Acenafteno	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Fluoreno	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Fenantreno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Antraceno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Fluoranteno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Pireno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Benzo[a]antraceno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Criseno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Benzo[b]fluoranteno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Benzo[k]fluoranteno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Benzo[a]pireno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Dibenzo[a,h]antraceno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Benzo[g,h,i]perileno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Indeno[c,d]pireno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
2-metilnaftaleno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
1,3-dimetilnaftaleno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
1-metilfenantreno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01

(*) La incertidumbre expandida para los resultados informados es del 32% (intervalo de confianza del 95%)

Tabla 1.19 Parámetros medidos *in situ* en la Estación CL 5 (Río Colorado, Pasarela Medanito, margen derecha, provincia de Río Negro) en el período Enero 2017 - Diciembre 2017.

Parámetros medidos <i>in situ</i>	Campañas											
	1 (03/01/17)	2 (06/02/17)	3 (27/02/17)	4 (27/03/17)	5 (01/05/17)	6 (29/05/17)	7 (03/07/17)	8 (31/07/17)	9 (04/09/17)	10 (02/10/17)	11 (30/10/17)	12 (03/12/17)
Hora	10:10	10:40	12:15	11:10	10:40	10:40	10:45	10:50	10:25	10:34	10:22	08:20
pH	8,62	8,39	7,53	8,35	8,38	7,97	8,19	8,02	7,98	8,56	7,39	7,71
Temperatura del agua (°C)	21,0	19,5	25,0	20,0	13,0	7,0	9,0	6,0	9,5	12,0	14,0	16,0
Temperatura del aire (°C)	25,0	23,0	25,0	23,0	12,5	6,5	12,0	8,5	14,0	17,5	18,0	15,0
Conductividad específica [μS/cm]	1157	1285	2920	1365	1382	1433	1375	1378	1385	1148	845	1170

Tabla 1.20 Concentraciones de metales metaloides en réplicas de columna de agua ($\mu\text{g/L}$) en la estación CL 5 (río Colorado, Pasarela Medanito, margen derecha, provincia de Río Negro) en el período Enero 2017 – Diciembre 2017

Metal/ metaloides ($\mu\text{g/L}$)	Campañas											
	1 (03/01/17)	2 (06/02/17)	3 (27/02/17)	4 (27/03/17)	5 (01/05/17)	6 (29/05/17)	7 (03/07/17)	8 (31/07/17)	9 (04/09/17)	10 (02/10/17)	11 (30/10/17)	12 (03/12/17)
Arsénico	3,0 \pm 0,2/ 3,0 \pm 0,2	4,4 \pm 0,2/ 4,4 \pm 0,2	11 \pm 0,7/ 10 \pm 0,7	2,5 \pm 0,2/ 2,5 \pm 0,2	2,7 \pm 0,2/ 2,7 \pm 0,2	2,8 \pm 0,2 2,6 \pm 0,2	2,7 \pm 0,2/ 2,6 \pm 0,2	3,0 \pm 0,2/ 2,9 \pm 0,2	1,9 \pm 0,1/ 1,9 \pm 0,1	4,6 \pm 0,2/ 4,3 \pm 0,2	7,7 \pm 0,2/ 7,6 \pm 0,2	6,4 \pm 0,3/ 6,7 \pm 0,3
Cadmio	<0,2/<0,2	<0,2/<0,2	1,3 \pm 0,1/ 1,1 \pm 0,1	<0,2/<0,2	<0,2/<0,2	<0,2/<0,2	<0,2/<0,2	<0,2/<0,2	<0,2/<0,2	0,30 \pm 0,05/ 0,28 \pm 0,05	0,60 \pm 0,07/ 0,59 \pm 0,07	0,36 \pm 0,05/ 0,41 \pm 0,05
Cinc	8,3 \pm 0,6/ 11 \pm 0,8	10 \pm 0,6/ 12 \pm 0,8	40 \pm 3/ 39 \pm 3	6,8 \pm 0,4/ 7,3 \pm 0,5	3,9 \pm 0,3/ 3,1 \pm 0,2	4,1 \pm 0,3/ 2,6 \pm 0,2	7,6 \pm 0,5/ 6,3 \pm 0,5	4,5 \pm 0,4/ 5,1 \pm 0,4	2,0 \pm 0,1/ 2,8 \pm 0,2	19 \pm 2/ 21 \pm 2	51 \pm 3/ 50 \pm 3	29 \pm 3/ 30 \pm 3
Cobre	4,6 \pm 0,2/ 5,2 \pm 0,4	6,4 \pm 0,2/ 6,3 \pm 0,4	22 \pm 2/ 22 \pm 2	5,5 \pm 0,3/ 5,8 \pm 0,3	3,7 \pm 0,3/ 3,7 \pm 0,3	3,5 \pm 0,1/ 4,2 \pm 0,1	4,2 \pm 0,3/ 4,2 \pm 0,3	2,8 \pm 0,1/ 2,8 \pm 0,1	1,8 \pm 0,1/ 1,8 \pm 0,1	20 \pm 1/ 19 \pm 1	40 \pm 2/ 39 \pm 2	20 \pm 2/ 21 \pm 2
Cromo	0,6 \pm 0,1/ 0,6 \pm 0,1	0,8 \pm 0,1/ 0,9 \pm 0,1	4,5 \pm 0,3/ 4,9 \pm 0,3	1,0 \pm 0,1/ 1,0 \pm 0,1	0,5 \pm 0,1/ 0,5 \pm 0,1	1,0 \pm 0,1/ 0,5 \pm 0,1	0,9 \pm 0,1/ 0,9 \pm 0,1	1,2 \pm 0,1/ 1,1 \pm 0,1	1,8 \pm 0,1/ 1,8 \pm 0,1	2,3 \pm 0,1/ 1,7 \pm 0,1	4,0 \pm 0,3/ 4,2 \pm 0,3	2,8 \pm 0,2/ 2,7 \pm 0,2
Mercurio	<0,2/<0,2	<0,2/<0,2	<0,2/<0,2	<0,2/<0,2	<0,2/<0,2	<0,2/<0,2	<0,2/<0,2	<0,2/<0,2	<0,2/<0,2	<0,2/<0,2	<1/<1	<1/<1
Molibdeno	1,3 \pm 0,2/ 1,5 \pm 0,1	2,0 \pm 0,2/ 2,0 \pm 0,1	0,8 \pm 0,2/ 1,0 \pm 0,1	2,8 \pm 0,2/ 2,6 \pm 0,1	2,2 \pm 0,2/ 2,1 \pm 0,1	2,7 \pm 0,2/ 2,7 \pm 0,1	2,2 \pm 0,2/ 2,2 \pm 0,1	2,2 \pm 0,2/ 2,2 \pm 0,2	1,8 \pm 0,1/ 1,8 \pm 0,1	1,4 \pm 0,1/ 1,4 \pm 0,1	0,77 \pm 0,07/ 0,90 \pm 0,07	0,72 \pm 0,07/ 0,76 \pm 0,07
Níquel	5,3 \pm 0,4/ 5,7 \pm 0,4	5,3 \pm 0,4/ 5,4 \pm 0,4	46 \pm 3/ 48 \pm 3	4,3 \pm 0,3/ 4,7 \pm 0,3	4,3 \pm 0,3/ 4,3 \pm 0,3	3,8 \pm 0,2/ 3,4 \pm 0,2	5,9 \pm 0,4/ 6,1 \pm 0,4	4,5 \pm 0,3/ 4,6 \pm 0,3	2,3 \pm 0,2/ 2,2 \pm 0,2	9,5 \pm 0,5/ 9,0 \pm 0,5	21 \pm 1/ 21 \pm 1	16,3 \pm 0,8/ 17,5 \pm 0,8
Plomo	5,6 \pm 0,4/ 5,8 \pm 0,5	5,9 \pm 0,4/ 5,9 \pm 0,5	13 \pm 1/ 12 \pm 1	3,1 \pm 0,2/ 3,0 \pm 0,2	0,9 \pm 0,1/ 0,9 \pm 0,1	<0,6/<0,6	1,1 \pm 0,4/ 1,1 \pm 0,4	0,6 \pm 0,1/ 0,6 \pm 0,1	<0,6/<0,6	9,4 \pm 0,4/ 9,0 \pm 0,3	20 \pm 1/ 21 \pm 1	13,3 \pm 0,5/ 14,1 \pm 0,5
Selenio	0,4 \pm 0,1/ 0,4 \pm 0,1	0,6 \pm 0,1/ 0,6 \pm 0,1	1,1 \pm 0,1/ 1,0 \pm 0,1	<0,4/<0,4	<0,4/<0,4	<0,4/<0,4	<0,4/<0,4	0,6 \pm 0,1/ 0,6 \pm 0,1	0,5 \pm 0,04/ 0,4 \pm 0,03	0,5 \pm 0,1/ 0,5 \pm 0,1	0,5 \pm 0,1/ <0,4	0,5 \pm 0,1/ 0,4 \pm 0,1
Uranio	0,5 \pm 0,1/ 0,5 \pm 0,1	0,5 \pm 0,1/ 0,5 \pm 0,1	5,4 \pm 0,1/ 5,2 \pm 0,1	1,1 \pm 0,1/ 1,0 \pm 0,1	0,7 \pm 0,1/ 0,7 \pm 0,1	0,7 \pm 0,1/ 0,7 \pm 0,1	0,8 \pm 0,1/ 0,8 \pm 0,1	0,70 \pm 0,07/ 0,70 \pm 0,07	0,4 \pm 0,03/ 0,4 \pm 0,03	1,31 \pm 0,06/ 1,27 \pm 0,06	1,80 \pm 0,08/ 1,73 \pm 0,08	2,7 \pm 0,1/ 2,9 \pm 0,1

Tabla 1.21 Concentraciones de hidrocarburos aromáticos polinucleares en réplicas obtenidas en la columna de agua ($\mu\text{g/L}$) en la estación CL 5 (río Colorado a la altura de Pasarela Medanita) en el período Enero 2017 - Diciembre 2017

HAPs ($\mu\text{g/L}$) ^(*)	Campañas											
	1 (03/01/17)	2 (06/02/17)	3 (27/02/17)	4 (27/03/17)	5 (01/05/17)	6 (29/05/17)	7 (03/07/17)	8 (31/07/17)	9 (04/09/17)	10 (02/10/17)	11 (30/10/17)	12 (03/12/17)
Naftaleno	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Acenaftileno	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Acenafteno	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Fluoreno	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Fenantreno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Antraceno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Fluoranteno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Pireno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Benzo[a]antraceno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Criseno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Benzo[b]fluoranteno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Benzo[k]fluoranteno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Benzo[a]pireno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Dibenzo[a,h]antraceno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Benzo[g,h,i]perileno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Indeno[c,d]pireno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
2-metilnaftaleno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
1,3-dimetilnaftaleno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
1-metilfenantreno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01

(*) La incertidumbre expandida para los resultados informados es del 32% (intervalo de confianza del 95%)

Tabla 1.22 Parámetros medidos *in situ* en la Estación CL 6 (en la descarga del embalse Casa de Piedra, margen derecha) en el período Enero 2017 – Diciembre 2017

Parámetros medidos <i>in situ</i>	Campañas											
	1 (03/01/17)	2 (06/02/17)	3 (27/02/17)	4 (27/03/17)	5 (01/05/17)	6 (29/05/17)	7 (03/07/17)	8 (31/07/17)	9 (04/09/17)	10 (02/10/17)	11 (30/10/17)	12 (03/12/17)
Hora	13:20	14:10	15:33	14:30	14:16	14:35	14:14	13:44	13:14	13:37	13:20	11:47
pH	8,33	8,15	7,89	7,93	8,15	8,18	8,23	7,98	8,18	8,22	7,77	7,86
Temperatura del agua (°C)	22,0	23,0	24,0	20,0	17,0	13,0	11,0	9,0	10,0	14,0	17,0	17,0
Temperatura del aire (°C)	29,0	30,0	36,0	26,5	22,0	13,0	18,0	12,0	18,0	23,0	25,0	20,0
Conductividad específica [μS/cm]	1223	1220	1224	1286	1286	1305	1335	1332	1338	1355	1410	1358

Tabla 1.23 Concentraciones de metales y metaloides en la columna de agua ($\mu\text{g/L}$) en la estación CL 6 (en la descarga del embalse Casa de Piedra, margen derecha) en el período Enero 2017 - Diciembre 2017.

Metal/ metaloides ($\mu\text{g/L}$)	Campañas											
	1 (03/01/17)	2 (06/02/17)	3 (27/02/17)	4 (27/03/17)	5 (01/05/17)	6 (29/05/17)	7 (03/07/17)	8 (31/07/17)	9 (04/09/17)	10 (02/10/17)	11 (30/10/17)	12 (03/12/17)
Arsénico	1,5 \pm 0,1	2,9 \pm 0,2	2,4 \pm 0,1	1,9 \pm 0,1	2,6 \pm 0,2	3,2 \pm 0,2	2,7 \pm 0,2	3,2 \pm 0,2	2,0 \pm 0,1	1,7 \pm 0,1	2,0 \pm 0,1	1,7 \pm 0,1
Cadmio	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Cinc	1,0 \pm 0,1	2,2 \pm 0,1	1,6 \pm 0,1	3,6 \pm 0,2	0,8 \pm 0,1	3,0 \pm 0,2	4,1 \pm 0,3	3,9 \pm 0,3	4,0 \pm 0,3	3,0 \pm 0,3	1,6 \pm 0,2	1,4 \pm 0,1
Cobre	1,3 \pm 0,1	2,0 \pm 0,1	0,9 \pm 0,1	2,4 \pm 0,1	1,3 \pm 0,1	1,2 \pm 0,1	1,4 \pm 0,1	1,10 \pm 0,04	0,9 \pm 0,1	1,15 \pm 0,05	1,23 \pm 0,05	1,1 \pm 0,1
Cromo	0,3 \pm 0,1	0,5 \pm 0,1	<0,4	0,6 \pm 0,1	0,3 \pm 0,1	<0,4	0,5 \pm 0,1	1,0 \pm 0,1	1,6 \pm 0,1	0,56 \pm 0,08	0,44 \pm 0,07	<0,4
Mercurio	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<1	<1
Molibdeno	2,5 \pm 0,2	3,2 \pm 0,2	2,5 \pm 0,2	3,5 \pm 0,2	3,5 \pm 0,2	3,9 \pm 0,2	4,1 \pm 0,2	3,5 \pm 0,2	2,8 \pm 0,2	2,7 \pm 0,1	3,2 \pm 0,2	2,9 \pm 0,1
Níquel	4,1 \pm 0,3	5,3 \pm 0,3	4,8 \pm 0,3	3,5 \pm 0,2	3,3 \pm 0,2	3,4 \pm 0,2	5,4 \pm 0,4	4,7 \pm 0,3	2,2 \pm 0,2	2,3 \pm 0,1	2,8 \pm 0,2	2,7 \pm 0,2
Plomo	<0,6	<0,6	<0,6	0,5 \pm 0,1	0,6 \pm 0,1	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6
Selenio	0,4 \pm 0,1	0,6 \pm 0,1	0,5 \pm 0,1	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	0,8 \pm 0,1	0,5 \pm 0,04	<0,4	0,5 \pm 0,1	0,5 \pm 0,1
Uranio	0,7 \pm 0,1	0,8 \pm 0,1	0,5 \pm 0,1	1,0 \pm 0,1	0,8 \pm 0,1	0,8 \pm 0,1	0,9 \pm 0,1	0,90 \pm 0,09	0,6 \pm 0,04	0,75 \pm 0,04	0,75 \pm 0,04	0,72 \pm 0,05

Tabla 1.24 Concentraciones de hidrocarburos aromáticos polinucleares (HAPs) en la columna de agua ($\mu\text{g/L}$) en la estación CL 6 (en la descarga del embalse Casa de Piedra, margen derecha) en el período Enero 2017 - Diciembre 2017.

HAPs ($\mu\text{g/L}$) (*)	Campañas											
	1 (03/01/17)	2 (06/02/17)	3 (27/02/17)	4 (27/03/17)	5 (01/05/17)	6 (29/05/17)	7 (03/07/17)	8 (31/07/17)	9 (04/09/17)	10 (02/10/17)	11 (30/10/17)	12 (03/12/17)
Naftaleno	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Acenaftileno	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Acenafteno	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Fluoreno	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Fenantreno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Antraceno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Fluoranteno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Pireno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Benzo[a]antraceno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Criseno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Benzo[b]fluoranteno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Benzo[k]fluoranteno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Benzo[a]pireno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Dibenzo[a,h]antraceno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Benzo[g,h,i]perileno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Indeno[c,d]pireno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
2-metilnaftaleno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
1,3-dimetilnaftaleno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
1-metilfenantreno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01

(*) La incertidumbre expandida para los resultados informados es del 32% (intervalo de confianza del 95%)

Tabla 1.25 Parámetros medidos *in situ* en la Estación CL 10-a (Río Colorado, Balneario, margen derecha, aguas arriba del puente de la Ruta Nacional N° 22, provincia de Río Negro) en el período Enero 2017 - Diciembre 2017.

Parámetros medidos <i>in situ</i>	Campañas											
	1 (04/01/17)	2 (07/02/17)	3 (28/02/17)	4 (28/03/17)	5 (02/05/17)	6 (30/05/17)	7 (04/07/17)	8 (01/08/17)	9 (05/09/17)	10 (03/10/17)	11 (31/10/17)	12 (04/12/17)
Hora	14:15	18:00	14:30	14:48	16:39	14:14	15:30	17:20	14:35	17:30	14:30	15:15
pH	8,41	8,12	7,91	8,19	7,89	7,94	8,02	7,99	7,96	8,72	7,80	7,89
Temperatura del agua (°C)	22,0	24,0	27,0	22,0	17,0	11,0	12,5	10,0	12,0	15,0	18,0	21,0
Temperatura del aire (°C)	25,0	27,0	33,0	23,0	22,0	14,0	15,0	14,0	18,0	17,0	21,0	25,0
Conductividad específica [μS/cm]	1307	1265	1298	1260	1610	1693	1630	1653	1430	1435	1480	1450

Tabla 1.26 Concentraciones de metales y metaloides en la columna de agua ($\mu\text{g/L}$) en la estación CL 10-a (Río Colorado, Balneario, margen derecha, aguas arriba del puente de la Ruta Nacional N° 22, provincia de Río Negro) en el período Enero 2017 - Diciembre 2017.

Metal/ metaloides ($\mu\text{g/L}$)	Campañas											
	1 (04/01/17)	2 (07/02/17)	3 (28/02/17)	4 (28/03/17)	5 (02/05/17)	6 (30/05/17)	7 (04/07/17)	8 (01/08/17)	9 (05/09/17)	10 (03/10/17)	11 (31/10/17)	12 (04/12/17)
Arsénico	1,9 \pm 0,1	3,3 \pm 0,2	2,7 \pm 0,1	1,9 \pm 0,1	3,3 \pm 0,2	3,2 \pm 0,2	2,7 \pm 0,2	3,0 \pm 0,2	1,9 \pm 0,1	2,0 \pm 0,1	2,3 \pm 0,1	2,1 \pm 0,1
Cadmio	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Cinc	1,8 \pm 0,2	3,4 \pm 0,2	1,5 \pm 0,1	3,5 \pm 0,2	1,7 \pm 0,1	1,2 \pm 0,1	4,0 \pm 0,3	3,0 \pm 0,3	2,6 \pm 0,2	6,4 \pm 0,7	3,3 \pm 0,4	3,7 \pm 0,4
Cobre	2,4 \pm 0,2	3,7 \pm 0,2	<0,2	2,5 \pm 0,1	2,1 \pm 0,1	1,4 \pm 0,1	1,7 \pm 0,1	1,20 \pm 0,05	1,2 \pm 0,1	2,06 \pm 0,06	2,23 \pm 0,06	2,00 \pm 0,05
Cromo	0,4 \pm 0,1	0,7 \pm 0,1	<0,4	0,8 \pm 0,1	0,4 \pm 0,1	0,4 \pm 0,1	0,6 \pm 0,1	0,9 \pm 0,1	1,6 \pm 0,1	0,50 \pm 0,08	0,56 \pm 0,07	0,53 \pm 0,07
Mercurio	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<1	<1
Molibdeno	2,6 \pm 0,2	3,1 \pm 0,2	2,7 \pm 0,2	3,9 \pm 0,2	4,8 \pm 0,3	5,3 \pm 0,3	4,8 \pm 0,3	3,9 \pm 0,3	2,8 \pm 0,2	2,6 \pm 0,2	3,3 \pm 0,2	2,7 \pm 0,2
Níquel	4,5 \pm 0,3	4,5 \pm 0,3	4,4 \pm 0,3	3,5 \pm 0,2	4,8 \pm 0,3	4,3 \pm 0,3	5,5 \pm 0,4	5,0 \pm 0,3	2,5 \pm 0,2	3,0 \pm 0,2	3,2 \pm 0,2	2,9 \pm 0,2
Plomo	0,6 \pm 0,1	0,7 \pm 0,1	<0,6	0,6 \pm 0,1	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	0,66 \pm 0,08	<0,6	<0,6
Selenio	0,5 \pm 0,1	0,8 \pm 0,1	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	0,9 \pm 0,1	0,6 \pm 0,04	0,4 \pm 0,1	0,6 \pm 0,1	0,5 \pm 0,1
Uranio	0,8 \pm 0,1	0,9 \pm 0,1	0,6 \pm 0,1	1,1 \pm 0,1	1,3 \pm 0,1	1,3 \pm 0,1	1,1 \pm 0,1	1,1 \pm 0,1	0,7 \pm 0,05	0,92 \pm 0,05	0,88 \pm 0,05	0,79 \pm 0,05

Tabla 1.27 Concentraciones de HAPs en la columna de agua ($\mu\text{g/L}$) en la estación CL 10-a (Río Colorado, Balneario, margen derecha, aguas arriba del puente de la Ruta Nacional N° 22, provincia de Río Negro) en el período Enero 2017 - Diciembre 2017.

HAPS ($\mu\text{g/L}$) ^(*)	Campañas											
	1 (04/01/17)	2 (07/02/17)	3 (28/02/17)	4 (28/03/17)	5 (02/05/17)	6 (30/05/17)	7 (04/07/17)	8 (01/08/17)	9 (05/09/17)	10 (03/10/17)	11 (31/10/17)	12 (04/12/17)
Naftaleno	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Acenaftileno	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Acenafteno	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Fluoreno	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Fenantreno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Antraceno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Fluoranteno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Pireno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Benzo[a]antraceno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Criseno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Benzo[b]fluoranteno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Benzo[k]fluoranteno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Benzo[a]pireno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Dibenzo[a,h]antraceno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Benzo[g,h,i]perileno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Indeno[c,d]pireno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
2-metilnaftaleno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
1,3-dimetilnaftaleno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
1-metilfenantreno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01

(*) La incertidumbre expandida para los resultados informados es del 32% (intervalo de confianza del 95%)

Tabla 1.28 Parámetros medidos *in situ* en la Estación CL 10 (Río Colorado, El Gualicho, margen derecha), en el período Enero 2017 - Diciembre 2017.

Parámetros medidos <i>in situ</i>	Campañas											
	1 (04/01/17)	2 (07/02/17)	3 (28/02/17)	4 (28/03/17)	5 (02/05/17)	6 (30/05/17)	7 (04/07/17)	8 (01/08/17)	9 (05/09/17)	10 (03/10/17)	11 (31/10/17)	12 (04/12/17)
Hora	13:15	19:05	13:25	13:50	17:30	13:22	14:35	18:15	13:37	18:20	13:30	16:00
pH	8,55	8,09	8,09	8,13	7,95	7,96	7,99	8,0	7,96	8,63	7,77	7,89
Temperatura del agua (°C)	22,0	24,0	27,0	22,0	17,0	11,0	13,0	10,0	12,0	15,0	18,0	21,5
Temperatura del aire (°C)	25,0	26,0	30,0	23,0	20,0	12,0	16,0	11,0	16,0	16,5	22,0	24,0
Conductividad específica [μS/cm]	1350	1295	1358	1300	1717	1775	1665	1691	1477	1471	1515	1500

Tabla 1.29 Concentraciones de metales y metaloides en la columna de agua ($\mu\text{g/L}$) en la estación CL 10 (Río Colorado, El Gualicho, margen derecha) en el período Enero 2017 - Diciembre 2017.

Metal/ metaloides ($\mu\text{g/L}$)	Campañas											
	1 (04/01/17)	2 (07/02/17)	3 (28/02/17)	4 (28/03/17)	5 (02/05/17)	6 (30/05/17)	7 (04/07/17)	8 (01/08/17)	9 (05/09/17)	10 (03/10/17)	11 (31/10/17)	12 (04/12/17)
Arsénico	2,0 \pm 0,1	3,3 \pm 0,2	2,7 \pm 0,1	1,9 \pm 0,1	2,9 \pm 0,2	3,1 \pm 0,2	2,8 \pm 0,2	3,1 \pm 0,2	2,1 \pm 0,1	2,0 \pm 0,1	2,4 \pm 0,1	2,1 \pm 0,1
Cadmio	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Cinc	6,5 \pm 0,2	2,6 \pm 0,2	1,4 \pm 0,1	3,3 \pm 0,2	1,0 \pm 0,1	1,0 \pm 0,1	3,5 \pm 0,3	2,4 \pm 0,2	1,8 \pm 0,1	7,0 \pm 0,7	3,9 \pm 0,4	2,7 \pm 0,2
Cobre	2,9 \pm 0,2	3,1 \pm 0,2	<0,2	2,5 \pm 0,1	1,6 \pm 0,1	1,5 \pm 0,1	1,8 \pm 0,1	1,30 \pm 0,05	1,3 \pm 0,8	2,19 \pm 0,07	2,61 \pm 0,06	1,76 \pm 0,05
Cromo	0,4 \pm 0,1	0,6 \pm 0,1	<0,4	0,7 \pm 0,1	0,2 \pm 0,1	0,4 \pm 0,1	0,5 \pm 0,1	0,8 \pm 0,1	1,7 \pm 0,1	<0,4	0,55 \pm 0,07	0,49 \pm 0,05
Mercurio	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<1	<1
Molibdeno	2,9 \pm 0,3	3,5 \pm 0,3	2,7 \pm 0,2	4,9 \pm 0,3	4,9 \pm 0,3	4,8 \pm 0,3	4,8 \pm 0,3	4,0 \pm 0,3	3,1 \pm 0,2	2,9 \pm 0,2	3,4 \pm 0,2	3,2 \pm 0,2
Níquel	4,7 \pm 0,3	4,3 \pm 0,3	4,3 \pm 0,3	3,2 \pm 0,2	4,0 \pm 0,3	4,2 \pm 0,2	5,7 \pm 0,4	5,3 \pm 0,4	2,7 \pm 0,2	3,1 \pm 0,2	3,4 \pm 0,2	2,9 \pm 0,2
Plomo	0,6 \pm 0,1	<0,6	<0,6	0,7 \pm 0,1	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	0,60 \pm 0,08	<0,6	<0,6
Selenio	0,6 \pm 0,1	0,7 \pm 0,1	0,5 \pm 0,1	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	0,8 \pm 0,1	0,6 \pm 0,04	0,4 \pm 0,1	0,5 \pm 0,1	0,5 \pm 0,1
Uranio	0,8 \pm 0,1	0,9 \pm 0,1	0,6 \pm 0,1	1,1 \pm 0,1	1,1 \pm 0,1	1,2 \pm 0,1	1,1 \pm 0,1	1,2 \pm 0,1	0,7 \pm 0,05	0,98 \pm 0,05	0,96 \pm 0,05	0,86 \pm 0,05

Tabla 1.30 Concentraciones de HAPs en la columna de agua ($\mu\text{g/L}$) en la estación CL 10 (Río Colorado, El Gualicho, margen derecha) en el período Enero 2017 - Diciembre 2017.

HAPS ($\mu\text{g/L}$) ^(*)	Campañas											
	1 (04/01/17)	2 (07/02/17)	3 (28/02/17)	4 (28/03/17)	5 (02/05/17)	6 (30/05/17)	7 (04/07/17)	8 (01/08/17)	9 (05/09/17)	10 (03/10/17)	11 (31/10/17)	12 (04/12/17)
Naftaleno	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Acenaftileno	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Acenafteno	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Fluoreno	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Fenantreno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Antraceno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Fluoranteno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Pireno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Benzo[a]antraceno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Criseno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Benzo[b]fluoranteno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Benzo[k]fluoranteno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Benzo[a]pireno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Dibenzo[a,h]antraceno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Benzo[g,h,i]perileno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Indeno[c,d]pireno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
2-metilnaftaleno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
1,3-dimetilnaftaleno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
1-metilfenantreno	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01

(*) La incertidumbre expandida para los resultados informados es del 32% (intervalo de confianza del 95%)

Tabla 1.31 – Resumen estadístico de las concentraciones registradas de metales/metaloideos durante el ciclo 2017.

	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	Se	U	Zn
Número de muestras	107	107	107	107	107	107	107	107	107	107	107
Frecuencia detección (%)	100	16,8	94,4	98,1	0	94,4	100	59,8	58,9	97,2	100
Mínimo (µg/L)	1,3	<0,2	<0,4	<0,2	<0,2	<0,6	1,8	<0,6	<0,4	<0,2	0,8
Máximo (µg/L)	12,0 ^(*)	1,6 ^(*)	9,7 ^(*)	71,0 ^(*)		5,3	47 ^(*)	53 ^(*)	1,1 ^(*)	5,5 ^(*)	98 ^(*)
Media (µg/L)	3,3						7,1				11,3
Mediana (µg/L)	2,7	<0,2	0,7	3,2	<0,2	2,2	4,3	0,7	0,4	0,7	4,0
Percentil 75 (µg/L)	3,3	<0,2	1,6	5,9	<0,2	2,9	5,4	4,4	0,6	1,0	10,3
Percentil 95 (µg/L)	8,5	0,63	4,4	32,2	<0,2	4,8	27,5	20,4	0,8	2,3	44,7

(As): arsénico, (Cd): cadmio, (Cr): cromo, (Cu): cobre, (Hg): mercurio, (Mo): molibdeno, (Ni): níquel, (Pb): plomo, (Se): selenio, (U) uranio, (Zn): cinc.

(*) Los valores máximos corresponden al muestreo de marzo, efectuado en ocasión de un evento extraordinario de precipitación, lo cual determina aportes extras por escorrentía de los elementos investigados. Los valores de percentil 95 (P₉₅) ponen de manifiesto el carácter atípico de estos valores.

1.4.2 Valores guía

Los resultados obtenidos en el análisis de metales y metaloideos en muestras de agua fueron evaluados tomando como referencia valores guía (Tabla 1.32) que definen la aptitud del agua para diferentes usos (World Health Organization 2011; *Canadian Environmental Quality Guidelines*, 2005, 2006, 2011, 2014; CCREM 1987).

Tabla 1.32 - Valores guía para diferentes usos del agua

Parámetro	Valor guía (µg/L)			
	Agua Potable ^(1,2)	Irrigación ⁽³⁾	Ganadería ⁽⁴⁾	Vida acuática ⁽⁵⁾
Arsénico	10	100	25	5
Cadmio	3	5,1	80	0,37
Cinc	⁽⁶⁾	1.000-5.000 ⁽⁷⁾	50.000	7 ^(**)
Cobre	2.000	200 -1.000 ⁽⁸⁾	500-1.000-5.000 ⁽⁹⁾	4 ^(*)
Cromo	50 ⁽¹⁰⁾	4,9-8,0 ⁽¹¹⁾	50	1,0–8,9 ⁽¹²⁾
Mercurio	6 ⁽¹³⁾	-	3	0,026
Molibdeno	^(***)	10-50 ⁽¹⁴⁾	500	73
Níquel	70	200	1.000	150 ^(*)
Plomo	10	200	100	7 ^(*)
Selenio	40	20-50 ⁽¹⁵⁾	50	1
Uranio	30	10	200	15

¹ Dado que en la mayoría de los suministros de agua potable con captaciones en el río Colorado, el único tratamiento de potabilización aplicado es la desinfección, se han adoptado los valores guía para el agua de bebida como valores guía de calidad de la fuente; ⁽²⁾ WHO, (2011) *Guidelines for Drinking Water Quality*; ⁽³⁾ CCME, (2005) *Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Agricultural Uses – Irrigation*; ⁽⁴⁾ CCME, (2005) *Canadian Water Quality Guidelines for the*

Protection of Agricultural Uses – Livestock; ⁽⁵⁾ CCME, (2006, 2011) *Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life*. – ⁽⁶⁾ En la 4ª edición de las guías para la calidad del agua potable (2011), la OMS no fija valor guía para el cinc basado en consideraciones sobre la salud humana. Concentraciones del orden de los 4.0000 µg/L imparten al agua sabor objetable. ⁽⁷⁾ 1.000 µg/L cuando el pH del suelo es <6,5, 5.000 µg/L cuando el pH del suelo es >6,5; ⁽⁸⁾ 200 µg/L para cereales; 1000 µg/L para cultivos tolerantes; ⁽⁹⁾ 500 µg/L para ovinos, 1000 µg/L para bovinos, 5.000 µg/L para porcinos; ⁽¹⁰⁾ Para cromo total; ⁽¹¹⁾ 4,9 µg/L para cromo total, 8,0 para cromo trivalente; ⁽¹²⁾ 1,0 µg/L para cromo hexavalente, 8,9 µg/L para cromo trivalente; ⁽¹³⁾ Para mercurio inorgánico. ⁽¹⁴⁾ La concentración no debe exceder 10 µg/L para uso continuo en todos los suelos o 50 µg/L para uso no prolongado en suelos ácidos. ⁽¹⁵⁾ 20 µg/L para uso continuo en todos los suelos; 50 µg/L para uso intermitente en todos los suelos. ^(*) Los valores guía para la protección de la vida acuática para cobre, níquel y plomo, son los que recomienda la última actualización de *Canadian Environmental Quality Guidelines* (15/01/2014) para valores de dureza total mayores de 180 mg/L. ^(**) El valor guía de cinc para protección de la vida acuática fue reducido de 30 µg/L a 7 µg/L en 2018. ^(***) En la 4ª edición de las guías de la O.M.S. (2011) no se establece un valor guía basándose en que las concentraciones que habitualmente ocurren en agua potable son muy inferiores a las que tienen significación para la salud.

La evaluación de los resultados obtenidos en el análisis de HAPs en agua se llevó a cabo tomando como referencia los valores guías para la protección de la vida acuática publicados en *Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life* (CCME 2014), los cuales figuran en la Tabla 1.33.

Tabla 1.33 Valores guía para HAPs para la protección de la vida acuática (*Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life*⁽¹⁾)

Hidrocarburo	Valor guía (µg/L)
Acenafteno	5,8
Antraceno	0,012
Benzo[a]antraceno	0,018
Benzo[a]pireno	0,015
Fluoranteno	0,04
Fluoreno	3,0
Naftaleno	1,1
Fenantreno	0,4
Pireno	0,025

(1) *Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life*, 2014

En relación con la salud humana, los resultados obtenidos fueron contrastados con el valor guía de la Organización Mundial de la Salud para benzo[a]pireno, el cual es 0,7 µg/L (WHO 2008, 2011). Este valor guía, en base a estimaciones de la potencia relativa de los HAPs, da protección para el resto de los miembros del grupo (WHO 1998, 2008).

1.4.3 Diagnostico de la calidad del agua para los diferentes usos

En base a los resultados obtenidos se observó que únicamente los niveles de arsénico y plomo superaron el valor guía para agua potable.

Las concentraciones de arsénico superaron muy ligeramente dicho valor guía en 4 del total de las 107 muestras analizadas. Esto ocurrió en el mes marzo de 2017 en las estaciones CL 2, CL 3, CL 4-a y CL 5. En el 95% del total de las muestras la concentración hallada fue de 8,5 µg/L o menos (P_{95}) (valor guía 10 µg/L).

Las concentraciones de plomo superaron el correspondiente valor guía para agua en 14 de las 107 muestras analizadas (13%), teniendo lugar en marzo en las estaciones CL 0, CL 1, CL 2, CL 3, CL 4-a y CL 5, en octubre en las estaciones CL 3 y CL 4a, en noviembre en las estaciones CL 3, CL 4-a y CL 5 y en diciembre en las estaciones CL 0, CL 4-a y CL 5. En el 75% de las muestras (P_{75}) la concentración de plomo fue menor o igual a 4,4 µg/L, es decir, inferior al valor guía de 10 µg/L (Tabla 1.32) y en el 95% (P_{95}) fue de 20,4 µg/L o menor.

Para el resto de los metales/metaloideos investigados las concentraciones halladas fueron inferiores a los respectivos valores guía.

Los valores guía para uso agrícola y ganadero del agua para los diferentes metales y metaloides analizados no fueron superados en ninguna oportunidad.

En relación con la protección de la vida acuática, se detectaron concentraciones de arsénico superiores al valor guía en las estaciones CL 0 (marzo y diciembre), CL 2 (marzo y noviembre), CL3 (marzo, octubre y noviembre), CL 4-a (marzo, abril, octubre, noviembre y diciembre) y CL 5 (marzo, noviembre y diciembre), en 14 de las 107 muestras analizadas, representando el 13% del total de las muestras extraídas en el ciclo en las ocho estaciones del programa. El 75% de dichas muestras presentó un valor de arsénico de 3,3 µg/L o menor (P_{75}) y el 95% de 8,5 µg/L o menor (P_{95}).

El cadmio fue detectado en 18 muestras sobre un total de 107 (16,8%), correspondientes a las estaciones CL 0 (marzo y diciembre), CL 1 (marzo), CL 2 (marzo, octubre y noviembre), CL 3 (marzo, octubre, noviembre y diciembre), CL 4-a (marzo, octubre, noviembre y diciembre) y CL 5 (marzo, octubre, noviembre y diciembre), observándose que en el 75% de las muestras el nivel fue inferior al límite de cuantificación alcanzable por el laboratorio (0,2 µg/L). El valor guía para la protección de la vida acuática (0,37 µg/L) fue superado en 13 oportunidades en las estaciones CL 1 a CL 5, lo que representa el 12% de las determinaciones de cadmio en columna líquida durante el año 2017.

Los niveles de cinc superaron el valor guía para la protección de la vida acuática en 35 de las 107 muestras analizadas (32,7 %), lo cual fue observado en las estaciones de monitoreo ubicadas aguas arriba del embalse (CL 0 a CL 5). En el 75% del total de las muestras las concentraciones halladas fueron 10,3 µg/L o menores (P_{75}) frente a un valor guía de 7 µg/L.

El cobre superó el valor guía para la protección de la vida acuática en 45 de las 107 muestras analizadas (42%), siendo su concentración 5,9 µg/L o menor en el 75% de las mismas (P_{75}), frente a un valor guía de 4 µg/L.

El valor guía para cromo para la protección de la vida acuática fue superado en diversas oportunidades. En este último caso el valor guía excedido fue, salvo en un caso, sólo para cromo hexavalente, no obstante, el análisis efectuado determina cromo total, no discriminando entre las diferentes especies presentes de este metal. En el 75% del total de las muestras analizadas la concentración de cromo total fue 1,6 µg/L o menor (P₇₅) frente a un valor guía de 1,0 µg/L (cromo hexavalente).

Las concentraciones de níquel, molibdeno, selenio y uranio fueron en todos los casos inferiores a los valores guía para uso como fuente de agua potable, en irrigación y ganadería y para la protección de la vida acuática.

No hubo detección de mercurio. Sin embargo, el límite de cuantificación para este metal es superior al correspondiente valor guía para la protección de la vida acuática. Por lo tanto, la aptitud del agua para este uso no puede ser evaluada a través del análisis químico con el instrumental analítico disponible. La significación de esta situación y de la superación del respectivo valor guía por algunos metales/metaloides fue evaluada mediante la realización de ensayos ecotoxicológicos con agua.

HAPs

No hubo detección de HAPs en ninguno de los sitios muestreados durante todo el presente período de estudio.

1.4.4 Discusión

Metales y metaloides

Las concentraciones de la mayoría de los metales y metaloides analizados en el presente ciclo fueron inferiores a los respectivos valores guía para uso como fuente de agua potable y para uso agrícola y ganadero. Las excepciones fueron arsénico, y plomo (Tablas 1.31 y 1.32), los cuales superaron el correspondiente valor guía para uso como fuente de agua potable en algunas oportunidades en estaciones ubicadas aguas arriba del embalse Casa de Piedra.

Las detecciones aisladas de arsénico y plomo en concentraciones por encima del valor guía no implican el compromiso de la calidad el agua para uso como fuente de agua potable.

El origen de los metales y metaloides detectados se atribuye a la litología de la alta cuenca, ya que dichas sustancias generalmente presentan en esa zona, libre de influencia antrópica, las concentraciones más elevadas. A partir de la variación temporal de los niveles de ciertos metales/metaloides en agua se infiere que su origen estaría vinculado a la escorrentía superficial producida por la fusión nival y lluvias.

El hecho de que los niveles de los distintos metales/metaloideos sufren una marcada disminución aguas abajo del embalse (a partir de la estación CL 6) sugiere que los mismos estarían ligados en parte a formas particuladas, las cuales quedarían retenidas por sedimentación en dicho cuerpo de agua. La constante detección de estos elementos en los sedimentos de fondo del embalse da sustento a esta presunción.

HAPs

Los resultados obtenidos indican que la calidad del agua para consumo humano no se encuentra afectada por la presencia de HAPs.

1.5 Ensayos ecotoxicológicos

(Saenz, María Elena, Alberdi, José Luis, Di Marzio, Walter D. - Programa de Investigación en Ecotoxicología – Departamento de Ciencias Básicas, Universidad Nacional de Luján, Programa Integral de Calidad de Agua del Sistema del Río Colorado – Año 2017, Subprograma Calidad del Medio Acuático - Informe de Resultados, Noviembre de 2017).

Las muestras de agua para ensayos ecotoxicológicos fueron extraídas en el río Colorado en el mes de Octubre de 2017, en áreas donde tienen lugar actividades potencialmente generadoras de contaminantes (estación CL 3) y de distribución del agua para diferentes usos (estación CL 4). En la Tabla 1.34 se indican las estaciones de muestreo y su ubicación geográfica.

Tabla 1.34 Estaciones de muestreo de agua en el río Colorado para ensayos ecotoxicológicos

Estación	Sitio	Coordenadas
CL 3	Desfiladero Bayo	S 37° 21' 57,7" O 69° 01' 00,1"
CL 4	Punto Unido	S 37° 43' 28,5" O 67° 45' 50,7"

Los organismos de ensayo empleados para la evaluación de la ecotoxicidad crónica de la columna de agua en los sitios indicados fueron el alga *Chlorofita Selenastrum capricornutum*, actualmente denominada *Pseudokirchneriella subcapitata* (Hindak, 1990) y el microcrustáceo dulceacuícola *Daphnia magna*.

Con *Pseudokirchneriella subcapitata* se realizaron ensayos a fin de determinar la inhibición del crecimiento exponiendo a las muestras analizadas en ensayos estáticos de 96 horas de duración en cultivos enriquecidos con nutrientes (E) y no enriquecidos (NE). Las respuestas obtenidas se utilizaron con el fin de obtener datos de fitotoxicidad de las muestras ambientales. La respuesta de la población fue medida en términos de cambios en densidad celular y contenido en clorofila "a" o absorbancia.

En los ensayos con *Daphnia magna* los efectos ecotóxicos seleccionados para la evaluación de la toxicidad crónica de esta especie frente a la exposición a las muestras de agua fueron la supervivencia y la reproducción.

1.5.1 Ensayos con *Daphnia magna*

1.5.1.1 Resultados

Supervivencia

Los resultados obtenidos para cada una de las diferentes concentraciones analizadas y grupos control respecto del efecto tóxico crónico sobre la mortalidad de los ejemplares expuestos durante 21 días se resumen en la Tabla 1.35. Se indican los valores medios de los porcentajes de supervivencia registrados, al cabo de 21 días de exposición, a una concentración del 100% de cada una de las muestras y controles, considerando tres réplicas por tratamiento.

Los datos de supervivencia obtenidos fueron sometidos al Test Exacto de Fisher a efectos de comprobar la existencia de diferencias significativas entre la supervivencia registrada en la población control y los distintos grupos de tratamiento, con un nivel de significación de 0,05.

Tabla 1.35 Porcentajes de supervivencia observados en una población de *Daphnia magna* al finalizar el ensayo al cabo de 21 días, para los controles y organismos expuestos a dos muestras líquidas del río Colorado extraídas en Octubre de 2017. Los resultados representan el promedio de tres réplicas por tratamiento y control.

Muestra	Supervivencia (%)	$F^{(1)}$ ($\alpha = 0,05$)	$b^{(2)}$
Control ⁽³⁾	93,33		
Desfiladero Bayo (CL3)	93,33	22	28
Punto Unido (CL 4)	90,00	22	27

⁽¹⁾ Valor Crítico de Fisher (F) a un nivel de significación de 0,05; ⁽²⁾ Parámetro de Fisher: si b es mayor que F no existe diferencia significativa entre el Control y el Tratamiento considerado, a un nivel de significación de 0,05; ⁽³⁾ Población control, mantenida durante 21 días en las condiciones indicadas para el ensayo en agua de dilución, en

ausencia de muestra. Significativamente diferente de los controles (Test exacto de Fisher $\alpha=0,05$) si es que existe. **DB (CL 3)**: Valor Crítico de Fisher ($\alpha=0,05$) es 22. El valor de \underline{p} para las muestras es 28. Si \underline{p} es mayor que F NO HAY DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS ENTRE EL CONTROL Y LOS ORGANISMOS EXPUESTOS A LA MUESTRA DE LA ESTACIÓN CL 3 al nivel de significación de 0,05. **PU (CL 4)**: Valor Crítico de Fisher ($\alpha=0,05$) es 22. El valor de \underline{p} para las muestras es 27. Si \underline{p} es mayor que F NO HAY DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS ENTRE EL CONTROL Y LOS ORGANISMOS EXPUESTOS A LA MUESTRA DE LA ESTACIÓN CL 4 al nivel de significación de 0,05.

Los resultados alcanzados indican que las muestras líquidas provenientes de las Estaciones CL 3 (Desfiladero Bayo) y Estación CL 4 (Punto Unido) no resultan ejercer efecto tóxico crónico significativo ($p \leq 0,05$), respecto de los controles sobre la supervivencia de la población de *Daphnia magna* expuesta durante 21 días, en las condiciones de los ensayos.

Reproducción

Los resultados obtenidos para cada una de las muestras analizadas respecto del efecto tóxico crónico sobre la reproducción, expresada como Tasa Neta de Reproducción, de la población de *Daphnia magna* expuesta a las muestras durante 21 días se resumen en la Tabla 1.36. Se indican los valores medios y la desviación estándar de los porcentajes de supervivencia registrados, al cabo de 21 días de exposición, a cada una de las muestras y controles, considerando tres réplicas por tratamiento.

Tabla 1.36 - Tasa neta de reproducción (expresada como el número promedio de progenie hembra capaz de ser producida por cada hembra de la población durante toda su vida) calculada en una población de *Daphnia magna*, como consecuencia de la exposición crónica a dos muestras provenientes del río Colorado extraídas en Octubre de 2017, analizado durante 21 días. Los resultados representan el promedio de tres réplicas por tratamiento y control.

Muestra	Tasa Neta de Reproducción (número promedio de progenie hembra/hembra)
Control ¹	78,6667 ($\pm 3,2036$)
Desfiladero Bayo (CL 3)	78,50 ($\pm 3,5369$)
Punto Unido (CL 4)	80,3333 ($\pm 0,8083$)

¹ Población control, mantenida durante 21 días en las condiciones del ensayo en agua de dilución, en ausencia de muestra. Los valores entre paréntesis representan el desvío estándar para cada valor de la Tasa Neta de Reproducción, luego de 21 días de exposición.

Los resultados alcanzados indican que las muestras provenientes de las Estaciones CL 2 (Buta Ranquil) y CL 3 (Desfiladero Bayo) no resultan ejercer efecto tóxico crónico significativo respecto del control (ANOVA de un factor y test de Dunnett, $\alpha = 0,05$), sobre la reproducción, expresada como Tasa Neta de Reproducción, de la

población de *Daphnia magna* expuesta durante 21 días, en las condiciones de los ensayos.

1.5.1.2 Discusión

Los datos obtenidos en los ensayos crónicos con muestras líquidas del río Colorado, provenientes de las estaciones CL 3 (Desfiladero Bayo) y CL 4 (Punto Unido), permiten establecer que las mismas no presentan efecto tóxico crónico sobre la supervivencia y la reproducción de las poblaciones de *Daphnia magna* expuestas.

1.5.2 Ensayos con *Pseudokirchneriella subcapitata*

1.5.2.1 Resultados

En la tabla 1.37 se presentan los resultados obtenidos en los ensayos de inhibición de crecimiento algal empleando la especie *P. subcapitata* con el agregado de sales nutritivas (E). Cada resultado representa la media de cuatro réplicas. El desvío estándar se indica entre paréntesis.

Tabla 1.37 - Resultados obtenidos luego de la incubación de *P. subcapitata* en medio control y en las muestras ambientales enriquecidas (E) por un período de 96 horas. Entre paréntesis se indica el desvío estándar.

Muestra	Densidad celular (células/ml x 10 ⁶)	Clorofila <i>a</i> <i>in vivo</i> (µg/L)	% Inhibición
Control	2,21(±1,6)	41(±3,1)	-
Desfiladero Bayo (CL 3)	2,12(±1,2)	39,3(±2,08)	4
Punto Unido (CL 4)	2,07(±0,58)	38,3(±1,52)	7

En la Tabla 1.38 se presentan los resultados de los ensayos realizados sin el agregado de las sales nutritivas que componen el medio (cultivos NE). Cada resultado representa la media de tres réplicas. El desvío estándar se indica entre paréntesis.

Tabla 1.38 - Resultados obtenidos luego de la incubación de *P. subcapitata* en medio control y en las muestras ambientales no enriquecidas (NE) por un período de 96 horas. Entre paréntesis se indica el desvío estándar.

Muestra	Densidad celular (células/ml x 10 ⁶)	Clorofila <i>ain vivo</i> (µg/L)
Control	2,21(±1,6)	41(±3,1)
Desfiladero Bayo (CL 3)	0,14(±0,3)	2,7(±0,7)
Punto Unido (CL 4)	0,18(±0,1)	3,3(±0,2)

El análisis estadístico realizado demostró que los efectos inhibitorios observados entre los resultados obtenidos entre las muestras ambientales enriquecidas y los controles no fueron estadísticamente significativos (Tabla 1.37).

Las muestras sin enriquecer (NE) no produjeron crecimiento algal debido a la escasa concentración de nutrientes de las mismas (Tabla 1.38).

Las muestras de ambos sitios no contienen sustancias que inhiban el crecimiento algal, ya que el agregado de sales nutritivas permitió un desarrollo de la población algal con densidades similares a los controles.

De acuerdo a los resultados obtenidos de las dos series de ensayos realizados, las muestras ambientales evaluadas no ejercieron efectos fitotóxicos sobre las poblaciones algales de *P.subcapitata* CCAP 278/4.

Análisis microscópico

Se realizaron observaciones al microscopio de alícuotas tomadas de los cultivos tratados y controles a magnificaciones de X450 y X1000 (aceite de inmersión) Las células algales expuestas a las muestras ambientales no presentaron deformaciones ni contenidos celulares anormales, con geometrías y tamaños correspondientes a células algales no tratadas (controles).

Complementariamente, en otras épocas del año representativas de diferentes condiciones hidrológicas y estacionales (mayo, julio y diciembre), se llevaron a cabo ensayos ecotoxicológicos con muestras de agua extraídas en la estación CL 3 (Desfiladero Bayo), empleándose como organismos de ensayo *Daphnia magna* y *Pseudokirchneriella subcapitata*. (Tablas 1.39 a 1.42).

En los cultivos de *Pseudokirchneriella subcapitata* expuestos a las muestras antes mencionadas y los controles no tratados se efectuaron también observaciones microscópicas de las características que presentaban las células algales.

Tabla 1.39 Porcentajes de supervivencia observados en una población de *Daphnia magna* al finalizar el ensayo al cabo de 21 días, para los controles y organismos expuestos a muestras líquidas del río Colorado (Desfiladero Bayo) extraídas en los meses de mayo, julio y diciembre de 2017. Los resultados representan el promedio de tres réplicas por tratamiento y control.

Muestra	Mayo			Julio			Diciembre		
	Supervivencia (%)	$F^{(1)}$ ($\alpha = 0,05$)	$b^{(2)}$	Supervivencia (%)	$F^{(1)}$ ($\alpha = 0,05$)	$b^{(2)}$	Supervivencia (%)	$F^{(1)}$ ($\alpha = 0,05$)	$b^{(2)}$
Control ⁽³⁾	93,33			93,33			90,00		
Desfiladero Bayo (CL3)	90,00	22	27	90,00	22	27	90,00	20	227

⁽¹⁾ Valor Crítico de Fisher (F) a un nivel de significación de 0,05; ⁽²⁾ Parámetro de Fisher: si b es mayor que F no existe diferencia significativa entre el Control y el Tratamiento considerado, a un nivel de significación de 0,05; ⁽³⁾ Población control, mantenida durante 21 días en las condiciones indicadas para el ensayo en agua de dilución, en ausencia de muestra. *Significativamente diferente de los controles (Test exacto de Fisher $\alpha=0,05$) si es que existe.

Tabla 1.40 Tasa Neta de Reproducción (expresada como el número promedio de progenie hembra capaz de ser producida por cada hembra de la población durante toda su vida) calculada en una población de *Daphnia magna*, como consecuencia de la exposición crónica a las muestras provenientes del Río Colorado, extraídas en los meses de mayo, julio y diciembre de 2017 analizadas durante 21 días. Los resultados representan el promedio de tres réplicas por tratamiento y control.

Muestra	Tasa Neta de Reproducción (número promedio de progenie hembra/hembra)		
	Mayo	Julio	Diciembre
Control ⁽³⁾	74,50 ($\pm 3,1575$)	77,8667 ($\pm 1,3204$)	76,3000 ($\pm 3,0265$)
Desfiladero Bayo (CL3)	78,50 ($\pm 1,4$)	80,4667 ($\pm 1,7898$)	77,9000 ($\pm 2,4637$)

⁽¹⁾ Valor Crítico de Fisher (F) a un nivel de significación de 0,05; ⁽²⁾ Parámetro de Fisher: si b es mayor que F no existe diferencia significativa entre el Control y el Tratamiento considerado, a un nivel de significación de 0,05; ⁽³⁾ Población control, mantenida durante 21 días en las condiciones indicadas para el ensayo en agua de dilución, en ausencia de muestra. *Significativamente diferente de los controles (Test exacto de Fisher $\alpha=0,05$) si es que existe.

Tabla 1.41 Resultados obtenidos luego de la incubación por un período de 96 horas de *P. subcapitata* en medio control y en las muestras ambientales enriquecidas (E), extraídas en los meses de mayo, julio y diciembre de 2017 en la estación CL 3 (Desfiladero Bayo)

Muestra	Mayo			Julio			Diciembre		
	Densidad celular (células/ml x 10 ⁶)	Clorofila <i>a in vivo</i> (µg/L)	% Inhibición	Densidad celular (células/ml x 10 ⁶)	Clorofila <i>a in vivo</i> (µg/L)	% Inhibición	Densidad celular (células/ml x 10 ⁶)	Clorofila <i>a in vivo</i> (µg/L)	% Inhibición
Control ⁽³⁾	2,16±0,02	40,2±0,02	-	1,99±0,05	37 (1)	-	2,28±1,1	42,3±2,08	-
Desfiladero Bayo (CL3)	1,87±0,03	33,5±0,02	16	1,67±0,1	31 (2)	16	2,17±1,8	40,3±3,5	2

Tabla 1.42 Resultados obtenidos luego de la incubación por un período de 96 horas de *P. subcapitata* en medio control y en las muestras ambientales no enriquecidas (NE), extraídas en los meses de mayo, julio y diciembre de 2017 en la estación CL 3 (Desfiladero Bayo)

Muestra	Mayo		Julio		Diciembre	
	Densidad celular (células/ml x 10 ⁶)	Clorofila <i>a in vivo</i> (µg/L)	Densidad celular (células/ml x 10 ⁶)	Clorofila <i>a in vivo</i> (µg/L)	Densidad celular (células/ml x 10 ⁶)	Clorofila <i>a in vivo</i> (µg/L)
Control ⁽³⁾	2,16±0,02	40,2±0,02	1,99±0,05	37±1	2,28±1,1	42,3±2,08
Desfiladero Bayo (CL3)	1,02±0,03	19,1±0,03	0,92±0,08	15,3±1,5	0,81±0,5	14,8±1

Análisis microscópico

Con las muestras de agua extraídas en la estación CL 3 (Desfiladero Bayo) en los meses de mayo, julio y diciembre de 2017 se realizaron observaciones al microscopio de alícuotas tomadas de los cultivos tratados y controles a magnificaciones de X400 y X1000 (aceite de inmersión). Las células algales expuestas a las muestras ambientales no presentaron deformaciones ni contenidos celulares anormales, con geometrías y tamaños correspondientes a células algales no tratadas (controles).

1.6 Conclusiones

De los resultados expuestos, es posible establecer que:

- Las muestras de la columna de agua evaluadas, correspondientes a las estaciones Desfiladero Bayo y Punto Unido ubicadas en el río Colorado, en las condiciones de los ensayos, no han registrado efectos ecotóxicos crónicos significativos, en relación a los controles, (ANOVA-Dunnett $p > 0.05$) sobre la sobrevivencia de la población del microcrustáceo del zooplancton dulceacuícola *Daphnia magna*, como resultado de la exposición durante 21 días.
- Las muestras de la columna de agua evaluadas, correspondientes a la estación Desfiladero Bayo y Punto Unido ubicadas en el río Colorado, no resultaron ejercer efectos ecotóxicos crónicos significativos, respecto de los controles (ANOVA-Dunnett $p > 0,05$), sobre la reproducción, expresada como Tasa Neta de Reproducción, de la población de *Daphnia magna* expuesta durante 21 días, en las condiciones de los ensayos.
- De acuerdo a los resultados obtenidos las muestras ambientales evaluadas no ejercieron efectos fitotóxicos sobre las poblaciones algales de *Pseudokirchneriella subcapitata*.

Esta conclusión es coherente con la obtenida a través de los análisis químicos efectuados a fin de constatar la aptitud del agua para desarrollo de la vida acuática en los mencionados sitios.

En otro aspecto, los ensayos ecotoxicológicos aportan información en aquellos casos donde no es posible arribar a una conclusión por limitaciones del instrumental analítico disponible o por haber sido superado un valor guía para la protección de la vida acuática.

Referencias

- CCREM (Canadian Council of Resource and Environment Ministers), 1987, *Canadian Water Quality Guidelines*.
- CCME (Canadian Council of Ministers of the Environment), 2005, *Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Agricultural Uses - Irrigation*, Canadian Environmental Quality Guidelines.
- CCME (Canadian Council of Ministers of the Environment), 2005, *Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Agricultural Uses - Livestock*, Canadian Environmental Quality Guidelines.
- CCME (Canadian Council of Ministers of the Environment), 2006, *Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life*, Canadian Environmental Quality Guidelines.
- CCME (Canadian Council of Ministers of the Environment), 2011, *Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life*, Canadian Environmental Quality Guidelines.
- CCME (Canadian Council of Ministers of the Environment), 2014, *Canadian Environmental Quality Guidelines*.
- ISO/IEC, 2005, *General requirements for the competence of testing and calibration laboratories*.
- WHO (World Health Organization), 1993, *Guidelines for drinking-water quality*, Second edition, Volume 1, Recommendations, Geneva.
- WHO (World Health Organization), 1998, *Guidelines for drinking-water quality*, Second edition, Addendum to Volume 2, Health criteria and other supporting information, Geneva.
- WHO (World Health Organization), 2008, *Guidelines for drinking-water quality*, Third edition, incorporating the first and second addenda, Geneva.
- WHO (World Health Organization), 2011, *Guidelines for drinking-water quality*, Fourth edition, Geneva.

Capítulo 2

CALIDAD DE LOS

SEDIMENTOS DE FONDO

2.1 Introducción

El presente capítulo contiene los resultados de los análisis de metales/metaloideos, hidrocarburos aromáticos polinucleares (HAPs) y ensayos ecotoxicológicos con sedimentos de fondo, realizados con muestras extraídas en las estaciones de la red de monitoreo del Subprograma Calidad del Medio Acuático (Tabla 2.1) durante el ciclo 2017 a fin de verificar la aptitud de los sedimentos de fondo para el desarrollo de la vida acuática.

Se describen las metodologías de muestreo y mediciones *in situ* así como las técnicas y métodos analíticos y de ensayo empleados por los laboratorios actuantes.

2.2 Estaciones de monitoreo

Tabla 2.1 Estaciones de monitoreo de sedimentos de fondo en el embalse en el río Colorado y en el embalse Casa de Piedra

Estación de muestreo	Coordenadas geográficas
Río Colorado, aguas abajo de Puesto Hernández ⁽¹⁾	S 37°18'36,6" - O 69°03'02,4"
Embalse Casa de Piedra (toma)	
Sitio 1a	S 38°12'32,7" - O 67°13'13,7"
Sitio 1b	S 38°12'51,8" - O 67°12'34,3"
Sitio 1c	S 38°12'59,5" - O 67°12'19,4"
Sitio 2a	S 38°12'17,7" - O 67°12'54,7"
Sitio 2b	S 38°12'35,7" - O 67°12'19,2"
Sitio 2c	S 38°12'41,8" - O 67°12'00,8"
Sitio 3a	S 38°12'00,3" - O 67°12'37,7"
Sitio 3b	S 38°12'15,4" - O 67°12'02,8"
Sitio 3c	S 38°12'23,1" - O 67°11'44,3"

2.3 Metodología de muestreo

La preparación de los elementos para el muestreo y la obtención de las muestras de sedimentos de fondo se llevó a cabo conforme a lo establecido en los respectivos Procedimientos Operativos Estándar (PO S001 y PO S002) del Programa de Aseguramiento de la Calidad para Operaciones de Campo del COIRCO.

En el embalse Casa de Piedra las muestras de sedimentos de fondo fueron extraídas desde una embarcación utilizándose una draga tipo *Eckman*.

Para obtener submuestras de los sedimentos de fondo extraídos con la draga se emplearon elementos de vidrio previamente lavados con ácido nítrico al 5% y agua ultrapura (Tipo I ASTM) (muestras para análisis de metales/metaloides y ensayos ecotoxicológicos) y con ácido nítrico 5% y acetona grado cromatográfico (muestras para análisis de hidrocarburos). Mediante dichos elementos se tomaron submuestras de las porciones de sedimentos que no estuvieron en contacto con las paredes y fondo de la draga. Las submuestras obtenidas fueron homogeneizadas en recipientes de vidrio sometidos al procedimiento de lavado antes indicado, extrayéndose luego las porciones para enviar a los laboratorios. Se estima que los sedimentos obtenidos son representativos del estrato 0-10 cm.

Para el muestreo de sedimentos de fondo en la estación ubicada en el río Colorado aguas abajo de Puesto Hernández se utilizó un tubo de acrílico (*corer*) de 5 cm de diámetro interno y 65 cm de largo. En una grilla, se tomaron 20 muestras, extrayéndose de cada una de ellas sendas submuestras de los primeros 5 cm de sedimento. Las 20 submuestras se homogeneizaron en recipientes de vidrio previamente acondicionados y posteriormente se extrajeron las porciones para enviar a cada uno de los laboratorios.

Los elementos de muestreo, homogeneización y envasado fueron previamente lavados mediante el procedimiento indicado en el POE 001.

Para el análisis de metales y metaloides y HAPs, las porciones de sedimentos fueron envasadas en recipientes de vidrio sometidos previamente al procedimiento antes señalado.

Las muestras de sedimentos de fondo para ensayos ecotoxicológicos fueron extraídas solamente en el embalse Casa de Piedra. Las correspondientes submuestras fueron envasadas en porciones de aproximadamente 2 kg en bolsas de polietileno.

Las muestras fueron mantenidas en campo en conservadoras con hielo. Las correspondientes a metales y metaloides y HAPs fueron congeladas en *freezer* (-18°C) y enviadas a los laboratorios. Las muestras para ensayos ecotoxicológicos fueron mantenidas bajo refrigeración y remitidas al laboratorio en ese estado.

2.4 Metodologías analíticas

2.4.1 Análisis de metales y metaloides

Los análisis de metales y metaloides en los sedimentos de fondo fueron llevados a cabo en el laboratorio del Instituto de Tecnología Minera (INTEMIN), dependiente del Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR). Este laboratorio cuenta con un sistema de calidad basado en la Norma ISO/IEC 17025 (ISO/IEC 2005).

Técnicas y métodos analíticos

Las técnicas y métodos analíticos empleados con sus respectivos límites de cuantificación se muestran en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2 Técnicas y métodos analíticos empleados en el análisis de metales y metaloides en sedimentos de fondo y sus respectivos límites de cuantificación.

Elemento	Técnica analítica	Método analítico	Límite de cuantificación (µg/g)
Arsénico	ICP-OES	EPA 3051 - 6010 B	1
Bario	ICP-OES	EPA 3051 - 6010 B	0,5
Boro	ICP-OES	EPA 3051 - 6010 B	2
Cadmio	ICP-OES	EPA 3051 - 213.2	0,3
Cinc	ICP-OES	EPA 3051 - 6010 B	0,7
Cobre	ICP-OES	EPA 3051 - 6010 B	0,5
Cromo	ICP-OES	EPA 3051 - 6010 B	0,3
Mercurio	A.A. por vapor frío	EPA 3051- EPA 7471a	0,05
Molibdeno	ICP-OES	EPA 3051 - 6010 B	0,5
Níquel	ICP-OES	EPA 3051 - 6010 B	0,3
Plata	ICP-OES	EPA 3051 - 6010 B	1
Plomo	ICP-OES	EPA 3051 - 6010 B	1
Selenio	ICP-OES	EPA 3051 - 6010 B	0,5
Vanadio	ICP-OES	EPA 3051 - 6010 B	0,3

AA: espectrometría de absorción atómica - ICP-OES: espectrometría de emisión atómica por plasma inductivo con detección óptica.

2.4.2 Análisis de hidrocarburos aromáticos polinucleares

Técnica y métodos analíticos

Los análisis de HAPs en muestras de sedimentos de fondo fueron llevados a cabo en el laboratorio de INDUSER de Lomas de Zamora, provincia de Buenos Aires. Este laboratorio cuenta con un sistema de calidad basado en la Norma ISO/IEC 17025 (ISO/IEC 2005).

La técnica y el método analítico empleados con el correspondiente límite de cuantificación se muestran en la Tabla 2.3

Tabla 2.3 Técnica y métodos analíticos y límite de cuantificación empleados en el análisis de HAPs en sedimentos de fondo.

HAPs	Técnica analítica	Método analítico	Límite de cuantificación (µg/g)
Naftaleno	Cromatografía gaseosa con espectrometría de masas	EPA 3540 C/ 8270 D	0,006
Acenaftileno			0,006
Acenafteno			0,006
Fluoreno			0,006
Fenantreno			0,006
Antraceno			0,006
Fluoranteno			0,006
Pireno			0,006
Benzo(a)antraceno			0,006
Criseno			0,006
Benzo(b)fluoranteno			0,006
Benzo(k)fluoranteno			0,006
Benzo(a)pireno			0,006
Dibenzo(a,h)antraceno			0,006
Benzo(g,h,i)perileno			0,006
Indeno(1,2,3-cd) pireno			0,006
2-metilnaftaleno			0,006
1,3-dimetilnaftaleno	0,006		
1-metilfenantreno	0,006		

2.5 Ensayos ecotoxicológicos crónicos con sedimentos de fondo y evaluación de biomarcadores

Métodos

Los ensayos ecotoxicológicos y la evaluación de biomarcadores fue llevada a cabo en el laboratorio del Programa de Investigación en Ecotoxicología – Departamento de Ciencias Básicas, Universidad Nacional de Luján según los siguientes métodos y protocolos:

- Ensayos con *Hyalella curvispina*: El protocolo utilizado corresponde al recomendado por US EPA (1996, 2000) y Di Marzio et al. (1999).
- Ensayos con *Vallisneria spiralis*: los ensayos fueron realizados según las recomendaciones indicadas en Biernacki et al (Biernacki M, Lovett Doust J and Lovett Doust L. 1997. Laboratory assay of sediment phytotoxicity using the macrophyte *Vallisneria americana*. Environ. Toxicol. Chem. 16(3): 472-478).
- Evaluación de la actividad enzimática guaiacolperoxidasa en *Vallisneria spiralis*: se llevó a cabo por el método desarrollado por Egert y Tevini (Egert

M and Tevini M. 2002. Influence of drought on some physiological parameters symptomatic for oxidative stress in leaves of chives, Allium schoenoprasum, Environ. Exp. Botany 48, 43-49.

- Evaluación de la actividad enzimática catalasa en *Vallisneria spiralis*: se llevó a cabo empleando el método de Johansson y Borg (*Johansson LH and Borg LA, 1988. A spectrophotometric method for determination of catalase activity in small tissue samples, Anal Biochem 174, 331-336.*)

2.6 Resultados

2.6.1 Análisis químico

2.6.1.1 Metales y metaloides

Tabla 2.4 Metales y metaloides ($\mu\text{g/g}$, peso seco) en la fracción recuperable total de los sedimentos de fondo extraídos en el río Colorado, aguas abajo de Puesto Hernández (Octubre 2017)

Metales/metaloides ($\mu\text{g/g}$)	
Arsénico	2,4
Bario	288
Boro	29
Cadmio	<0,3
Cinc	45
Cobre	20
Cromo	131
Mercurio	<0,05
Molibdeno	6,3
Níquel	17
Plata	<1
Plomo	10
Selenio	<0,5
Vanadio	68

Tabla 2.5 Metales y metaloides ($\mu\text{g/g}$, peso seco) en la fracción recuperable total de los sedimentos de fondo en la toma del embalse Casa de Piedra (Octubre 2017)

Metales/ metaloides ($\mu\text{g/g}$)	Transectas								
	1a	1b	1c	2a	2b	2c	3a	3b	3c
Arsénico	3,2	3,2	2,4	2,5	3,4	2,8	2,8	3,0	3,0
Bario	216	195	224	177	187	206	181	193	185
Boro	60	54	51	54	55	49	50	48	48
Cadmio	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
Cinc	80	68	53	66	67	63	63	62	63
Cobre	40	41	25	40	42	38	40	33	38
Cromo	220	164	138	164	175	163	158	164	174
Mercurio	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Molibdeno	3,8	<0,6	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	1,3
Níquel	23	18	12	17	18	18	17	17	17
Plata	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Plomo	14	13	7,9	13	13	12	13	10	12
Selenio	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Vanadio	129	128	147	121	128	123	118	124	119

2.6.1.2 Hidrocarburos aromáticos polinucleares (HAPs)

Tabla 2.6 HAPs en sedimentos de fondo ($\mu\text{g/g}$ peso seco) en el río Colorado, aguas abajo de Puesto Hernández (Octubre 2017)

HAPs	$\mu\text{g/g}$ (peso seco)
Naftaleno	<0,006
Acenaftileno	<0,006
Acenafteno	<0,006
Fluoreno	<0,006
Fenantreno	<0,006
Antraceno	<0,006
Fluoranteno	<0,006
Pireno	<0,006
Benzo[a]antraceno	<0,006
Criseno	<0,006
Benzo[b]fluoranteno	<0,006
Benzo[k]fluoranteno	<0,006
Benzo[a]pireno	<0,006
Dibenzo[a,h]antraceno	<0,006
Benzo[g,h,i]perileno	<0,006
Indeno[1,2,3cd]pireno	<0,006
2-metilnaftaleno	<0,006
1,3-dimetilnaftaleno	<0,006
1-metilfenantreno	<0,006

Tabla 2.7 HAPs en sedimentos de fondo ($\mu\text{g/g}$ peso seco) extraídos en transectas en la toma del embalse Casa de Piedra (Octubre de 2017).

HAPs ($\mu\text{g/g}$)	Transectas								
	1a	1b	1c	2a	2b	2c	3a	3b	3c
Naftaleno	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006
Acenaftileno	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006
Acenafteno	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006
Fluoreno	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006
Fenantreno	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006
Antraceno	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006
Fluoranteno	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006
Pireno	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006
Benzo[a]antraceno	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006
Criseno	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006
Benzo[b]fluoranteno	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006
Benzo[k]fluoranteno	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006
Benzo[a]pireno	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006
Dibenzo[a,h]antraceno	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006
Benzo[g,h,i]perileno	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006
Indeno[1,2,3cd]pireno	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006
2-metilnaftaleno	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006
1,3-dimetilnaftaleno	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006
1-metilfenantreno	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006

2.7 Valores guía

Las siguientes tablas 2.8 y 2.9 muestran los valores guía para la protección de la vida acuática publicados en *Canadian Environmental Quality Guidelines* (CCME 2014) para metales/metaloides y HAPs tomados como referencia para evaluar la calidad de los sedimentos de fondo.

Tabla 2.8 Valores guía y niveles de efecto probable de metales y metaloides en sedimentos de fondo de agua dulce para la protección de la vida acuática⁽¹⁾

Metal/metaloide	Valor guía (µg/g, peso seco)	Nivel de Efecto Probable (µg/g, peso seco)
Arsénico	5,9	17,0
Cadmio	0,6	3,5
Cinc	123,0	315,0
Cobre	35,7	197,0
Cromo (total)	37,3	90,0
Mercurio	0,170	0,486
Plomo	35,0	91,3

⁽¹⁾*Canadian Environmental Quality Guidelines, CCME, 2014*

Tabla 2.9 Valores guía de HAPs para la calidad de los sedimentos de aguas dulces para la protección de la vida acuática (*Canadian Environmental Quality Guidelines, CCME, 2014*)

HAPs	Valor guía (µg/g)	Nivel de Efecto Probable (µg/g)
Acenafteno	0,00671	0,0889
Acenaftileno	0,00587	0,128
Antraceno	0,0469	0,245
Benzo[a]antraceno	0,0317	0,385
Benzo[a]pireno	0,0319	0,782
Criseno	0,0571	0,862
Dibenzo[a,h]antraceno	0,00622	0,135
Fenantreno	0,0419	0,515
Fluoranteno	0,111	2,355
Fluoreno	0,0212	0,144
2-Metilnaftaleno	0,0202	0,201
Naftaleno	0,0346	0,391
Pireno	0,0530	0,875

2.8 Diagnóstico de la calidad de los sedimentos de fondo para protección de la vida acuática

En general, las concentraciones de los diferentes metales y metaloides investigados en la fracción recuperable total en muestras de sedimentos de fondo extraídas en el río Colorado aguas abajo de Puesto Hernández y en el embalse Casa de Piedra fueron inferiores a los respectivos valores guía para la protección de la vida acuática. Las excepciones fueron el cobre en el embalse, cuyos niveles superaron ligeramente el valor guía en siete de los nueve sitios muestreados, pero alcanzando valores muy inferiores al nivel de efecto probable y el cromo, en el embalse y en el río Colorado, registrándose en todos los casos concentraciones superiores al valor guía y al nivel de efecto probable correspondientes.

Los niveles de arsénico, cinc y plomo fueron inferiores a sus respectivos valores guía para la protección de la vida acuática, tanto en el río Colorado (aguas abajo de Puesto Hernández) como en la toma del embalse Casa de Piedra. No se observó la presencia de cadmio, mercurio y selenio en ninguno de los sitios muestreados, en tanto que molibdeno fue detectado solo en dos oportunidades en el embalse.

No hubo detección de HAPs en las muestras de sedimentos de fondo extraídas aguas abajo de Puesto Hernández y en la toma del embalse Casa de Piedra.

2.9 Discusión

Los niveles observados de metales/metaloides y HAPs en sedimentos de fondo, tanto en el río Colorado (Puesto Hernández) y en el embalse Casa de Piedra (toma), no indicaron la existencia de un riesgo para el desarrollo de la vida acuática. La excepción la constituyó el cromo cuyas concentraciones, tanto en el río Colorado como en el embalse, fueron superiores al nivel de efecto probable y el cobre que en el embalse alcanzó valores superiores al valor guía en casi todos los puntos muestreados pero inferiores al nivel de efecto probable.

Para evaluar la significación de este hecho, junto con la de otros metales y metaloides detectados para los cuales no han sido desarrollados aún valores guía, se llevaron a cabo ensayos ecotoxicológicos con sedimentos de fondo empleando un organismo bentónico y una macrófita acuática enraizada cuyos resultados se describen en la Sección 2.9.

2.10 Ensayos ecotoxicológicos crónicos con sedimentos de fondo

(Saenz, María Elena, Alberdi, José Luis, Di Marzio, Walter D. - Programa de Investigación en Ecotoxicología – Departamento de Ciencias Básicas, Universidad Nacional de Luján, Programa Integral de Calidad de Agua del Sistema del Río

Colorado – Año 2017, Subprograma Calidad del Medio Acuático - Informe de Resultados, Noviembre de 2017).

2.10.1 Ensayos con *Hyaella curvispina*

Se llevaron a cabo ensayo de ecotoxicidad crónica con sedimentos de fondo empleando como organismo de ensayo el anfípodo bentónico dulceacuícola *Hyaella curvispina*, evaluándose los efectos tóxicos sobre la sobrevivencia y el crecimiento.

2.10.1.1 Resultados

Tabla 2.10 Porcentajes de mortalidad y valores de la longitud total media observados como resultado de la exposición durante 10 días de una población de *Hyaella curvispina* a muestras de sedimento entero (100%) obtenidas aguas abajo de Puesto Hernández y en las estaciones Toma (1a, 2c y 3a) en el mes de Octubre de 2017.

Muestra	Sobrevivencia (%)	s	c.v.	Crecimiento (µm)	s	c.v.
Control ¹	97,5	0,50	5,13	1263,5	137,35	10,87
Puesto Hernández	62,5*	0,96	15,32	890*	147,45	16,57
Toma del embalse Casa de Piedra (1a)	95	0,58	6,08	1263,75	94,97	7,51
Toma del embalse Casa de Piedra (2c)	97,5	0,50	5,13	1263,75	137,96	10,89
Toma del embalse Casa de Piedra (3a)	100	0	0	1194,5	103,28	8,65

¹ Población control mantenida durante 10 días en las condiciones del ensayo en sedimento estándar y agua de dilución. s: desvío estándar, c.v.: coeficiente de variación en %. *significativo respecto de los controles p<0,05.

2.10.1.2 Discusión

No se han registrado efectos ecotóxicos significativos de los sedimentos analizados respecto del crecimiento y sobrevivencia sobre individuos de *Hyaella curvispina* para las muestras Toma del embalse 1a, Toma del embalse 2c y Toma del embalse 3a.

Para la muestra Puesto Hernández hubo efecto significativo sobre el crecimiento ($p < 0.05$) y la mortalidad ($p < 0.05$).

2.10.2 Ensayos con *Vallisneria spiralis*

Se llevaron a cabo ensayo de ecotoxicidad crónica con sedimentos de fondo empleando como organismo de ensayo la macrófita acuática enraizada *Vallisneria spiralis*, evaluándose los efectos tóxicos sobre la generación de biomasa a través del conteo de hojas nuevas, con lo cual se estimó la Tasa de Crecimiento Relativo (TCR), y del contenido de clorofila *a*.

2.10.2.1 Resultados

Tabla 2.11 Tasa de Crecimiento Relativo (TCR) y contenido de clorofila *a* de *Vallisneria spiralis* al cabo de 10 días de exposición a sedimento control y a muestras de 100% de sedimento provenientes de las estaciones Puesto Hernández y Toma del embalse Casa de Piedra (Octubre de 2017). Los resultados para cada muestra representan el promedio y el desvío estándar.

Muestra	Tasa de crecimiento relativo (TCR)	Contenido de clorofila <i>a</i> (mg/g, peso fresco)
Control ¹	12,0 ($\pm 0,9$)	295,5 ($\pm 7,7$)
Puesto Hernández	10,6 ($\pm 1,0$)	274,5 ($\pm 6,3$)
Toma del embalse 1a	11,4 ($\pm 0,1$)	289 ($\pm 5,6$)
Toma del embalse 2c	12,0 ($\pm 0,9$)	297,2 ($\pm 2,5$)
Toma del embalse 3a	11,3 ($\pm 1,9$)	288,5 ($\pm 7,7$)

¹ Población control mantenida durante 10 días en las condiciones indicadas para el ensayo en sedimento estándar y agua de dilución, en ausencia de muestra.

2.10.2.2 Discusión

Los valores reportados en la Tabla 2.11 indican que no existen diferencias significativas entre la tasa de crecimiento relativo del control y las plantas incubadas en los sedimentos provenientes de las estaciones de muestreo Toma Embalse 1a, Toma del embalse 2c, Toma del embalse 3a y Puesto Hernández (ANOVA "test" de Dunnett, $p < 0,05$). Los resultados de clorofila *a* se corresponden con los resultados anteriores.

2.10.3 Evaluación de las actividades enzimáticas de guaiacol peroxidasa y catalasas sobre *Vallisneria spiralis* expuesta al sedimento entero.

Las actividades guaiacol peroxidasa y catalasas fueron determinadas en los ejemplares control y expuestos al sedimento entero de las estaciones toma del embalse 1a, toma del embalse 2c, toma del embalse 3a y Puesto Hernández utilizadas en los ensayos de ecotoxicidad.

2.10.3.1 Resultados

2.10.3.1.1 Evaluación de la actividad de guaiacol peroxidasa

En las Tablas 2.12 y 2.13 se muestran los resultados obtenidos en la evaluación de las actividades enzimáticas de guaiacolperoxidasa y catalasas en ejemplares de *Vallisneria spiralis* expuestas a sedimentos extraídos en el río Colorado y en el embalse Casa de Piedra.

Tabla 2.12 Actividad guaiacol peroxidasa (milimoles de guaiacol catalizado por minuto de reacción por mg de proteína y en unidades enzimáticas) luego de la exposición durante 10 días de *Vallisneria spiralis* a muestras de sedimento entero provenientes de diferentes estaciones (Octubre de 2017).

Muestra	Actividad guaiacol peroxidasa (mM Guaiacol/min/mg proteína)	Actividad (Unidades enzimáticas) ²
Control ¹	0,87 (±0,07)	74 (±6,4)
Puesto Hernández	0,76 (±0,07)	64 (±6,5)
Toma del embalse 1a	0,82 (±0,02)	69 (±2,1)
Toma del embalse 2c	0,84 (±0,04)	71 (±3,6)
Toma del embalse 3a	0,78 (±0,06)	67 (±5,4)

¹ Población control mantenida durante 10 días en las condiciones del ensayo en sedimento estándar. ² Una unidad enzimática corresponde a la variación de 0,01 unidades de absorbancia/minuto. Los valores entre paréntesis representan el desvío estándar para cada valor de actividad enzimática.

Los resultados registrados en la Tabla 2.12 permiten observar la ausencia de diferencias significativas (ANOVA de un factor con test de Dunnett, $p < 0,05$) entre los valores de la actividad guaiacol peroxidasa en las hojas de las plantas incubadas en las muestras de sedimento entero provenientes de Toma del embalse 1a, Toma del embalse 2c, Toma del embalse 3a y Puesto Hernández respecto de las plantas controles no expuestas. Los sedimentos

provenientes de Puesto Hernández provocaron una disminución no significativa de la actividad de esta enzima en las hojas de las plantas respecto a la actividad de las plantas controles.

2.10.3.1.2 Evaluación de la actividad de catalasas

Tabla 2.13 Actividad catalasas (en milimoles de peróxido de hidrógeno catalizado por minuto de reacción por mg de proteína y en unidades enzimáticas) luego de la exposición durante 10 días de una población de *Vallisneria spiralis* a muestras de sedimento entero provenientes de las diferentes estaciones de muestreo (Octubre de 2017).

Muestra	Actividad catalasas (mM H ₂ O ₂ /min/mg proteína)	Actividad (Unidades enzimáticas) ²
Control ¹	98,0 (±10,1)	11,7 (±1,2)
Puesto Hernández	88,2 (±2,4)	10,5 (±0,2)
Toma del embalse 1a	100,0 (±9,9)	10,0 (±1,1)
Toma del embalse 2c	91,2 (±6,6)	9,9 (±0,7)
Toma del embalse 3a	84,7 (±4,1)	10,5 (±0,2)

¹ Población control mantenida durante 10 días en las condiciones del ensayo en sedimento estándar. ² Una unidad enzimática corresponde a la variación de 0,01 unidades de absorbancia/minuto. Los valores entre paréntesis representan el desvío estándar para cada valor de actividad enzimática.

Los resultados registrados en la Tabla 2.13 permiten observar la ausencia de diferencias significativas (ANOVA de un factor con test de Dunnett, $p < 0,05$) entre los valores de la actividad catalasas de los ejemplares expuestos al sedimento entero de los sitios Toma del embalse 1a, Toma del Embalse 2c, Toma del embalse 3a y Puesto Hernández, respecto de los controles en sedimento estándar.

Las plantas incubadas en los sedimentos provenientes de los sitios Toma del embalse 1a, Toma del embalse 2a, Toma del embalse 3a y Puesto Hernández, presentaron un crecimiento y actividades enzimáticas para ambas enzimas estudiadas no diferente de las plantas controles. Por lo tanto, estas muestras no afectaron los parámetros estudiados.

Conclusiones de los ensayos ecotoxicológicos

De los resultados expuestos es posible establecer que:

- En las condiciones de los ensayos, no se han registrado efectos ecotóxicos significativos, en relación a los controles, sobre el crecimiento (medido como longitud total media) y la sobrevivencia de las poblaciones del crustáceo bentónico dulceacuícola *Hyaella curvispina*, como resultado de su exposición durante 10 días, a las muestras del sedimento entero extraídas de las estaciones Toma del embalse 1a, 2c y 3a. (ANOVA - Dunnett $p > 0,05$).
- En las condiciones de los ensayos, se han registrado efectos ecotóxicos significativos, en relación a los controles, sobre el crecimiento (medido como longitud total media) y la sobrevivencia de las poblaciones del crustáceo bentónico dulceacuícola *Hyaella curvispina*, como resultado de su exposición durante 10 días, a las muestras del sedimento entero extraídas de la estación Puesto Hernández, en el río Colorado (ANOVA - Dunnett $p < 0,05$).
- En las condiciones de los ensayos, no se han registrado efectos ecotóxicos crónicos significativos, en relación a los controles, sobre el contenido de clorofila *a*, considerados como estimadores de la biomasa, de la población de la planta macrófita acuática enraizada *Vallisneria spiralis*, como resultado de su exposición durante 10 días, a las muestras del sedimento entero extraídas de las estaciones Puesto Hernández, Toma del embalse 1a, 2c y 3a en el río Colorado. (ANOVA-Dunnett $p > 0,05$).
- En las condiciones de los ensayos, no se han registrado efectos ecotóxicos crónicos significativos, en relación a los controles, sobre la generación de hojas nuevas de la población de la planta macrófita acuática enraizada *Vallisneria spiralis*, como resultado de su exposición durante 10 días, a las muestras del sedimento entero extraídas de las estaciones Puesto Hernández, Toma del embalse 1a, 2c y 3a en el río Colorado (ANOVA-Dunnett $p > 0,05$).
- En las condiciones de los ensayos, no se han registrado efectos significativos sobre la actividad enzimática guaiacol peroxidasa y catalasa, respecto de los controles, de la población de la planta macrófita acuática enraizada *Vallisneria spiralis*, como resultado de su exposición durante 10 días, a las muestras del sedimento entero extraídas de las estaciones Puesto Hernández, Toma de Embalse 1a, 2c y 3a, en el río Colorado (ANOVA-Dunnett $p > 0,05$).

Calidad de los sedimentos de fondo – Conclusiones generales

Los análisis químicos llevados a cabo con los sedimentos de fondo extraídos en el río Colorado y en el embalse Casa de Piedra dieron como resultado la no detección de HAPs y revelaron la presencia de dos metales (cromo y cobre) en concentraciones que podrían significar un riesgo para la vida acuática.

La evaluación a través de ensayos ecotoxicológicos de la significación de los niveles de cromo y cobre detectados en sedimentos de fondo extraídos en el embalse Casa de Piedra, los cuales superaron el valor guía para la protección de la vida acuática para el cobre y el nivel de efecto probable para el cromo, puso de manifiesto que dichos niveles no determinaron efectos adversos en los organismos de ensayo (*Hyalella curvispina* y *Vallisneria spiralis*) ni tampoco efectos significativos sobre las actividades de los biomarcadores guaiacol peroxidasa y catalasa, empleados para la detección temprana de efectos ecotóxicos en el ambiente.

En los sedimentos de fondo del río Colorado (Puesto Hernández), en los cuales fue superado el nivel de efecto probable para el cromo, los resultados obtenidos no fueron concluyentes ya que si bien se observaron efectos ecotóxicos significativos sobre *Hyalella curvispina* no ocurrió lo mismo con *Vallisneria spiralis* ni tampoco sobre los biomarcadores evaluados en esta macrófita acuática.

A partir de los resultados antes señalados se puede establecer como conclusión que los sedimentos de fondo del embalse Casa de Piedra, en los sitios examinados, no representan un riesgo para el normal desarrollo de la vida acuática desde el punto de vista del contenido de metales/metaloides. En tanto que los sedimentos de fondo en el área de Puesto Hernández deberán continuar siendo evaluados a fin de poder arribar a una conclusión definitiva.

Capítulo 3

EVALUACIÓN DE SUSTANCIAS TÓXICAS EN MÚSCULO DE PECES

3.1 Introducción

En el presente capítulo se informan los resultados de los análisis de metales/metaloideos e hidrocarburos aromáticos polinucleares (HAPs) realizados en muestras de músculo dorsal de peces capturados en el río Colorado (Puesto Hernández) y en el embalse Casa de Piedra, a fin de investigar la presencia de estas sustancias tóxicas, las cuales podrían significar un riesgo para la salud humana a través de su consumo.

Se describen las metodologías de captura y mediciones de los ejemplares obtenidos así como las técnicas y métodos analíticos empleados por los laboratorios actuantes.

3.2 Estaciones de monitoreo

En la Tabla 3.1 se indican las estaciones de monitoreo de peces y su ubicación geográfica.

Tabla 3.1 Estaciones de monitoreo de peces

Sitio de muestreo	Coordenadas (Latitud S, Longitud O)	Descripción
Río Colorado (Puesto Hernández)	S 37° 18' 36,6" O 69° 03' 02,4"	Sitio de muestreo de 2014, 2015 y 2016. Caudal medio del río, brazos secundarios activados.
Embalse Casa de Piedra (villa)	S 38° 09' 39,8" O 67° 10' 16,3"	Sitio de pesca con redes en margen izquierda del embalse, sector presa.

3.3 Métodos de captura y obtención de las muestras

Se utilizaron 3 métodos de pesca distintos para incrementar la posibilidad de captura. Los mismos fueron redes agalleras, pesca eléctrica y red de voleo (*casting net*).

Redes agalleras

La unidad de muestreo con redes fue una batería de redes agalleras (Fukui Fishing Net Co. Ltd.), compuesta por 7 (siete) paños armados de distinto tamaño de malla.

En el embalse Casa de Piedra se realizaron pescas en un sitio en el área adyacente a la presa, en cercanías de la Villa Casa de Piedra, sobre margen izquierda. Se caló una batería completa.

Se realizó el cale de las redes al atardecer y se recuperaron a la mañana del día subsiguiente.

Pesca eléctrica y red de voleo

En el sector de río (Puesto Hernández), tal como se hizo a partir de los años 2008 y 2009, se optó por reemplazar la pesca con redes agalleras por pescas activas con red de voleo más la implementación de pesca eléctrica.

La pesca eléctrica se realizó con un equipo portátil *Smith-Root 15-D* equipado con un generador *Honda EX350*. El muestreo se realizó por aplicaciones sucesivas de pulsos eléctricos por unidad de tiempo en sitios costeros.

La pesca con red de voleo se efectuó con una red de 2,18 metros de radio (superficie de muestreo por lance = 15 m²). Normalmente se realizaron entre 15 y 20 lances de la misma, variando el número en función de las condiciones del momento.

En el área de Puesto Hernández se obtuvieron capturas con las 2 artes de pesca utilizadas. Solo un ejemplar de perca espinuda de tamaño apto para extracción de musculo, peces restantes (madrecitas de agua y mojarras) muy pequeños para disección.

En el embalse Casa de Piedra se capturaron 73 ejemplares de pejerrey bonaerense y 4 de carpa. Para extraer las muestras de músculo dorsal se seleccionaron 10 pejerreyes y las 4 carpas obtenidas.

Una vez obtenidos los peces fueron medidos (Largo Total, precisión 1 mm) y pesados (Peso Fresco Total, precisión 2 gr para los ejemplares mayores y 0,10 g para los ejemplares pequeños).

Inmediatamente después del pesado se realizó la disección de cada ejemplar extrayendo dos porciones de los paquetes musculares dorsales mediante la utilización de un cuchillo cerámico para evitar la posible contaminación por metales en el momento de la disección.

La preparación de los elementos para el muestreo de peces y la obtención de las muestras de tejido muscular fue llevada a cabo conforme a lo establecido en los respectivos Procedimientos Operativos Estándar (PO P001 y PO P002)

del Programa de Aseguramiento de la Calidad para Operaciones de Campo del COIRCO.

Las porciones musculares de cada especie íctica capturada fueron guardadas en recipientes de vidrio. Las muestras fueron subsiguientemente colocadas en una heladera portátil conteniendo hielo, pasándolas luego a un freezer donde fueron almacenadas hasta su envío a los respectivos laboratorios.

3.4 Metodologías analíticas

3.4.1 Análisis de metales y metaloides

Los análisis de metales y metaloides en muestra de músculo de peces fueron llevados a cabo en el laboratorio del Instituto de Tecnología Minera (INTEMIN), dependiente del Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR). Este laboratorio cuenta con un sistema de calidad basado en la Norma ISO/IEC 17025 (ISO/IEC 2005).

Técnicas y métodos analíticos

Las técnicas y métodos analíticos empleados con sus respectivos límites de cuantificación se muestran en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2 - Técnicas y métodos analíticos empleados en el análisis de metales y metaloides en músculo de peces y sus respectivos límites de cuantificación.

Elemento	Técnica analítica	Método analítico	Límite de cuantificación (µg/g)
Arsénico	ICP	EPA 200.3 – EPA 6010 B	0,2
Antimonio			0,2
Bario			0,2
Cadmio			0,1
Cinc			1,0
Cobre			0,5
Cromo			0,2
Hierro			1,0
Molibdeno			0,2
Níquel			0,2
Plata			0,3
Plomo			0,15
Selenio			0,4
Mercurio			AA-VF

AA-VF: espectrometría de absorción atómica por vapor frío – ICP: espectrometría de emisión por plasma inductivo.

3.4.2 Análisis de hidrocarburos aromáticos polinucleares

Técnica y métodos analíticos

Los análisis de HAPs en muestras de músculo de peces fueron llevados a cabo en el laboratorio de INDUSER de Lomas de Zamora, provincia de Buenos Aires. Este laboratorio cuenta con un sistema de calidad basado en la Norma ISO/IEC 17025 (ISO/IEC 2005)

La técnica y el método analítico empleados con sus respectivos límites de cuantificación se muestran en la Tabla 3.3

Tabla 3.3 – Técnica y método analítico y su correspondiente límite de cuantificación empleados en el análisis de HAPs en músculo de peces.

HAPs	Técnica analítica	Método analítico	Límite de cuantificación (µg/g)
Naftaleno	Cromatografía gaseosa con espectrometría de masas	EPA 3540 C/ 8270 D	0,0004
Acenaftileno			0,0004
Acenafteno			0,0004
Fluoreno			0,0004
Fenantreno			0,0004
Antraceno			0,0004
Fluoranteno			0,0004
Pireno			0,0004
Benzo(a)antraceno			0,0004
Criseno			0,0004
Benzo(b)fluoranteno			0,0004
Benzo(k)fluoranteno			0,0004
Benzo(a)pireno			0,0004
Dibenzo(a,h)antraceno			0,0004
Benzo(g,h,i)perileno			0,0004
Indeno(1,2,3-cd)pireno			0,0004
2-metilnaftaleno			0,0004
1,3-dimetilnaftaleno	0,0004		
1-metilfenantreno	0,0004		

3.5 Resultados

3.5.1 Metales/metaloides

Tabla 3.4 Concentraciones de metales y metaloides ($\mu\text{g/g}$, peso húmedo) halladas en el músculo dorsal de perca espinuda capturada en el río Colorado (Puesto Hernández) – Octubre de 2017.

Metal/metaloides ($\mu\text{g/g}$)	Perca espinuda (1)
Arsénico	<0,2
Antimonio	<0,2
Bario	<0,2
Cadmio	<0,1
Cinc	5,5 \pm 0,4
Cobre	1,0
Cromo	<0,2
Hierro	8,0 \pm 0,6
Mercurio	0,03 \pm 0,01
Molibdeno	<0,2
Níquel	<0,2
Plata	<0,3
Plomo	0,7 \pm 0,05
Selenio	0,84 \pm 0,06

Tabla 3.5 Concentraciones de metales y metaloides ($\mu\text{g/g}$, peso húmedo) halladas en el músculo dorsal de ejemplares de pejerrey bonaerense y carpa capturados en el embalse Casa de Piedra (Villa) - Octubre de 2017.

Metal/metaloides ($\mu\text{g/g}$)	Pejerrey bonaerense (10)	Carpa (4)
Arsénico	<0,2	<0,2
Antimonio	<0,2	<0,2
Bario	<0,2	<0,2
Cadmio	<0,1	<0,1
Cinc	5,7 \pm 0,4	6,2 \pm 0,4
Cobre	<0,5	0,97
Cromo	<0,2	<0,2
Hierro	<1	25 \pm 1,8
Mercurio	0,09 \pm 0,02	0,02 \pm 0,01
Molibdeno	<0,2	<0,2
Níquel	<0,2	<0,2
Plata	<0,3	<0,3
Plomo	0,7 \pm 0,05	1,4 \pm 0,1
Selenio	0,84 \pm 0,06	1,7 \pm 0,1

3.5.2 HAPs

Tabla 3.6 Concentraciones de HAPs ($\mu\text{g/g}$, peso húmedo) halladas en el músculo dorsal de perca espinuda capturada en el río Colorado (Puesto Hernández) - Octubre de 2017.

HAPs ($\mu\text{g/g}$)	Perca espinuda (1)
Naftaleno	<0,0004
Acenaftileno	<0,0004
Acenafteno	<0,0004
Fluoreno	<0,0004
Fenantreno	<0,0004
Antraceno	<0,0004
Fluoranteno	<0,0004
Pireno	<0,0004
Benzo[a]antraceno	<0,0004
Criseno	<0,0004
Benzo[b]fluoranteno	<0,0004
Benzo[k]fluoranteno	<0,0004
Benzo[a]pireno	<0,0004
Dibenzo[a,h]antraceno	<0,0004
Benzo[g,h,i]perileno	<0,0004
Indeno[c,d]pireno	<0,0004
2-metilnaftaleno	<0,0004
1,3-dimetilnaftaleno	<0,0004
1-metilfenantreno	<0,0004

Tabla 3.7 Concentraciones de HAPs ($\mu\text{g/g}$, peso húmedo) halladas en el músculo dorsal de diferentes especies de peces capturadas en el embalse Casa de Piedra (Villa) en Octubre de 2017.

HAPs ($\mu\text{g/g}$)	Pejerrey bonaerense (10)	Carpa (4)
Naftaleno	<0,0004	<0,0004
Acenaftileno	<0,0004	<0,0004
Acenafteno	<0,0004	<0,0004
Fluoreno	<0,0004	<0,0004
Fenantreno	<0,0004	<0,0004
Antraceno	<0,0004	<0,0004
Fluoranteno	<0,0004	<0,0004
Pireno	<0,0004	<0,0004
Benzo[a]antraceno	<0,0004	<0,0004
Criseno	<0,0004	<0,0004
Benzo[b]fluoranteno	<0,0004	<0,0004
Benzo[k]fluoranteno	<0,0004	<0,0004
Benzo[a]pireno	<0,0004	<0,0004
Dibenzo[a,h]antraceno	<0,0004	<0,0004
Benzo[g,h,i]perileno	<0,0004	<0,0004
Indeno[c,d]pireno	<0,0004	<0,0004
2-metilnaftaleno	<0,0004	<0,0004
1,3-dimetilnaftaleno	<0,0004	<0,0004
1-metilfenantreno	<0,0004	<0,0004

3.6 Límites para el consumo humano

Los resultados obtenidos en el análisis de metales y metaloides fueron evaluados tomando como referencia los límites máximos de tolerancia para contaminantes inorgánicos para productos de la pesca (Res. ex-SENASA N° 533 del 10/05/94), en el Código Alimentario Argentino (ANMAT 2017), los cuales se muestran en la Tabla 3.8 y los límites para el consumo de pescado basados en el riesgo de la US EPA (US EPA 2000) para algunos de los elementos detectados.

Tabla 3.8 – Límites máximos de tolerancia para contaminantes inorgánicos en peces y productos de la pesca (SENASA y Código Alimentario Argentino)

Metal/metaloide	Límite (µg/g) ⁽¹⁾
Antimonio	20
Arsénico	1
Bario	500
Boro	80
Cadmio	5
Cinc	100
Cobre	10
Cromo	-
Hierro	500
Mercurio	0,5 ⁽²⁾
Molibdeno	-
Níquel	150
Plata	1
Plomo	20
Selenio	0,3

⁽¹⁾ SENASA-Decreto 4238/68- Versión 83 – ⁽²⁾ Código alimentario argentino - Capítulo VI – Alimentos Cárneos y Afines: (Res 846, 30.7.76) "La carne de pescados frescos, moluscos o crustáceos así como la de sus conservas, no deberá contener mercurio en cantidad superior a 0,5 mg/kg (0,5 ppm) y de esa cifra no más de 0,3 mg/kg (0,3 ppm) (expresada como mercurio) podrá encontrarse como compuestos metilmercuriales."

Para la evaluación de los resultados obtenidos en el análisis de HAPs se tomaron como referencia los límites para el consumo de pescado basados en el riesgo de la US EPA (US EPA 2000).

3.7 Conclusiones generales

En el presente ciclo, en los ejemplares capturados y muestreados en el río Colorado y en el embalse Casa de Piedra no se detectó al nivel del límite de cuantificación arsénico, antimonio, bario, cadmio, cromo, molibdeno, níquel ni plata.

Los niveles de mercurio, cinc, hierro y plomo hallados fueron muy inferiores a sus respectivos límites para el consumo humano.

Las concentraciones de selenio detectadas en las especies capturadas analizadas superaron en todos los casos ligeramente el correspondiente límite. No obstante, de acuerdo con los límites para el consumo basados en el riesgo (US EPA 2000), el nivel hallado permite un consumo irrestricto para pejerrey bonaerense.

Los resultados obtenidos en el análisis de músculo dorsal de carpa y perca espinuda arrojaron valores que permitirían un consumo mensual prácticamente irrestricto del músculo de estas especies. Sin embargo, dado que dichos valores fueron obtenidos a partir de escaso número de ejemplares, esta conclusión no tiene carácter definitivo.

El análisis de HAPs no detectó la presencia de estas sustancias en el músculo dorsal de las especies capturadas, a un nivel de concentración inferior al que permite un consumo irrestricto de pescado.

Referencias

Administración Nacional de Medicamentos, Alimentos y Tecnología Médica (ANMAT), 2017, Capítulo VI – Alimentos Cárneos y Afines – Actualizado 10/2017.

ISO/IEC, 2005, *General requirements for the competence of testing and calibration laboratories*.

SENASA (Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria) 1968, Decreto 4238/68. Versión 83 - Septiembre 2017.

US EPA (United States Environmental Protection Agency), 2000, *Guidance for assessing chemical contaminant data for use in fish advisories – Volume 2: Risk Assessment and fish consumption limits. Third edition - 823_B-00-008 - Washington D.C.*

CONCLUSIONES
Y
RECOMENDACIONES

Conclusiones

En base a los resultados obtenidos en la ejecución del Subprograma Calidad del Medio Acuático en el período de estudio 2017, ha sido posible extraer las siguientes conclusiones:

Calidad del agua

Los resultados del monitoreo de metales/metaloideos y HAPs en la columna de agua permiten establecer que el recurso mantiene su aptitud para ser usado como fuente de agua potable, en irrigación, ganadería y como medio para el desarrollo de la vida acuática.

Los ensayos ecotoxicológicos con agua confirman estas observaciones, indicando la ausencia de efectos tóxicos sobre variables medidas en un microcrustáceo (*Daphnia magna*) y un alga *Chlorophyta* (*Pseudokirchneriella subcapitata*). Idénticas conclusiones fueron obtenidas en los ensayos con ambos organismos en la estación CL 3, correspondiente al área de mayor explotación hidrocarburífera, llevados a cabo en distintas épocas del año representativas de diferentes condiciones hidrológicas y estacionales.

Calidad de los sedimentos de fondo

Los niveles de metales/metaloideos y HAPs observados en sedimentos de fondo, tanto en el río Colorado (Puesto Hernández) y en el embalse Casa de Piedra (toma), no indicaron la existencia de un riesgo para el desarrollo de la vida acuática. La excepción la constituyó el cromo cuyas concentraciones, tanto en el río Colorado como en el embalse, fueron superiores al nivel de efecto probable. La presencia de este elemento es atribuida a fuentes naturales ubicadas en la alta cuenca.

Los ensayos ecotoxicológicos, realizados con dos organismos de prueba (*Hyalella curvispina* y *Vallisneria spiralis*) arrojaron resultados variables en la estación Puesto Hernández y negativos en el embalse Casa de Piedra. Estas observaciones son coincidentes, en general, con los resultados de los análisis químicos de metales/metaloideos y HAPs. La evaluación de biomarcadores, en *Vallisneria spiralis* no indicó la existencia de efectos significativos sobre los mismos, tanto en el río Colorado (Puesto Hernández) como en el embalse.

Evaluación de sustancias tóxicas en músculo de peces

Los resultados obtenidos en el análisis químico pusieron de manifiesto que los contenidos de metales/metaloideos y HAPs en el músculo dorsal de las especies investigadas, teniendo presente las restricciones impuestas en algunos casos por el escaso número de ejemplares capturados, no significan un riesgo para el consumo humano.

Los límites de cuantificación de HAPs alcanzados por el laboratorio permiten medir niveles de estas sustancias para los cuales es posible el consumo irrestricto de pescado sin riesgo para la salud humana.

Recomendaciones

- Continuar con el monitoreo de metales/metaloideos e hidrocarburos en columna de agua en las estaciones establecidas al efecto con el fin de lograr una evaluación permanente de la calidad del agua para diferentes usos en el sistema del río Colorado.
- Continuar con la realización de los ensayos de ecotoxicidad crónica con agua del río Colorado como complemento del análisis químico en los sitios evaluados en el presente ciclo.
- Mantener el monitoreo de metales/metaloideos y HAPs en sedimentos de fondo en las estaciones establecidas para ese fin en el río Colorado y en el embalse Casa de Piedra con el fin obtener una evaluación permanente de la calidad de los mismos para la protección de la vida acuática.
 - Continuar con la realización de ensayos ecotoxicológicos con sedimentos de fondo con el fin de mantener un seguimiento permanente y observar la evolución de algunos resultados variables observados en el presente ciclo.

Continuar con el monitoreo de sustancias tóxicas en músculo de peces, a fin de contar con información actualizada sobre la variación temporal de los niveles de metales/metaloideos y HAPs en relación con la aptitud para el consumo humano

GLOSARIO

Agua ultrapura Tipo I ASTM: agua preparada por destilación, tratada por medio de una mezcla de resinas de intercambio iónico de manera que tenga una conductividad final máxima de 0,056 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y filtrada a través de una membrana de 0,2 μm de diámetro de poro. Este tipo de agua es utilizado en aplicaciones que requieren mínimas interferencias y máxima precisión y exactitud. Estas incluyen, entre otras, espectrofotometría de absorción atómica y de emisión de llama, análisis de metales traza, preparación de soluciones estándar y soluciones *buffer*.

Agua Tipo IV ASTM: agua preparada por destilación, intercambio iónico u ósmosis inversa y con una conductividad final máxima de 5,000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Anfípodo: artrópodo caracterizado por tener sus apéndices locomotores iguales.

ANOVA: *Analysis of Variance* (Análisis de la Varianza). El análisis de la varianza de una vía es una prueba estadística que permite comparar varios grupos de observaciones, todas las cuales son independientes entre sí y posiblemente tienen una media diferente para cada grupo. Permite decidir si las medias son iguales o no.

ASTM: sigla de *American Society for Testing and Materials*.

Bentónico: perteneciente al bentos.

Bentos: todos los organismos que viven en el fondo de un cuerpo de agua, ya sea en la superficie del mismo (epibentos) o bien enterrados en el sedimento (endobentos). Pueden ser vegetales (fitobentos) o animales (zoobentos).

Biomarcador: cambio inducido por un contaminante en los componentes bioquímicos o celulares de un proceso, estructura o función, el cual puede ser medido en un sistema biológico. El empleo de biomarcadores se basa en el concepto de que la toxicidad primaria de un contaminante generalmente se manifiesta a niveles bioquímicos y moleculares (cambios en actividades enzimáticas, ADN, etc.) y más tarde a niveles de organela, célula, tejido, organismo y eventualmente población.

Columna de agua: masa de agua comprendida entre la superficie y el fondo. Incluye los sólidos en suspensión.

Conductividad (eléctrica): es una medida de la capacidad de una solución acuosa de transportar una corriente eléctrica. Esta capacidad depende de la presencia de iones, su concentración total, su movilidad, su valencia y de la temperatura a la cual se efectúa la medición. En el Sistema Internacional de Unidades la conductividad se expresa en milisiemens por metro (mS/m). En la práctica es más corriente el empleo de microsiemens por centímetro ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

Corer: tubo de acrílico empleado para el muestreo de sedimentos de fondo. Permite extraer testigos que posibilitan el estudio de diferentes estratos.

Cromatografía en fase gaseosa: técnica analítica para la separación y cuantificación de sustancias químicas basada en las diferencias en la partición de

las mismas entre una fase móvil (transportada en un flujo de gas) y otra estacionaria (contenida en un soporte empaquetado en una columna de gran longitud y pequeño diámetro, por la cual circula el flujo de gas). Una vez separadas las sustancias son identificadas mediante un detector, del cual existen diferentes tipos, entre ellos el de espectrometría de masas.

Crustáceo: artrópodos mandibulados de respiración branquial, poseen dos pares de antenas y presentan el cuerpo cubierto generalmente por un caparazón calcáreo, la cabeza y el tórax soldados formando un cefalotórax y las patas dispuestas unas para la prensión y otras para la locomoción.

Draga Eckman: dispositivo de acero inoxidable constituido por una caja que posee dos quijadas del mismo material en su parte inferior, que permiten el cierre para retener los sedimentos de fondo extraídos y la apertura para la descarga, homogeneizado y envasado de los mismos. La draga es operada desde una embarcación y el cierre es comandado desde la superficie mediante un mensajero (peso) que se deja caer guiado por el cable de acero que sujeta a la draga. Existen otros tipos de dragas empleadas con el mismo fin.

Ensayos ecotoxicológicos: experimentos de laboratorio utilizados para evaluar los efectos tóxicos potenciales de muestras de agua o sedimentos de un cuerpo receptor sobre los organismos vivos. Los efectos se evalúan a través de la observación en poblaciones de los organismos de ensayo de variables establecidas (mortalidad, reproducción, crecimiento, etc.).

Ensayo ecotoxicológico crónico: estudio crónico en el cual todos los estadios de la vida de un organismo son expuestos a un material en ensayo. Generalmente, un ensayo durante el ciclo de vida involucra el ciclo reproductivo completo del organismo. Un ensayo durante un ciclo de vida parcial incluye las partes del ciclo de vida que se han observado como especialmente sensibles a la exposición a una sustancia química.

Espectrometría de absorción atómica: técnica analítica basada en el empleo del espectro de absorción de átomos aislados para determinar concentraciones de elementos.

Espectrometría de emisión atómica por plasma inductivo: técnica analítica basada en el empleo de plasma (gas neutro parcialmente ionizado). El gas empleado es el argón y la energía que lo mantiene en funcionamiento es transmitida inductivamente mediante una bobina por la que circula radiofrecuencia. La muestra en aerosol es introducida por medio de un inyector en la parte central del plasma, en la cual existen temperaturas muy elevadas. De esta manera, los elementos presentes en la muestra son ionizados y posteriormente analizados mediante un detector.

Espectrometría de masas: técnica analítica basada en el empleo del movimiento de iones en campos eléctricos y magnéticos para clasificarlos de acuerdo a su relación masa-carga. Por medio de esta técnica las sustancias químicas se identifican separando los iones gaseosos en campos eléctricos y magnéticos. La espectrometría de masas provee información cualitativa y cuantitativa sobre la composición atómica y molecular de materiales inorgánicos y orgánicos.

Espectrometría de emisión óptica: técnica analítica basada en la medición de la intensidad de las líneas del espectro de emisión atómica que producen los átomos ionizados a elevadas temperaturas.

Factor de cobertura (k): factor numérico usado como multiplicador de la incertidumbre estándar combinada para obtener la incertidumbre expandida para un determinado nivel de confianza. Habitualmente, para una distribución normal, se usa un factor de cobertura (k) = 2, para dar un nivel de confianza de aproximadamente el 95%.

Fracción recuperable total (metales): concentración de un metal obtenida por digestión ácida débil de la muestra. Esta fracción es considerada biodisponible.

Hidrocarburos aromáticos polinucleares (HAPs): grupo de sustancias químicas orgánicas que poseen una estructura formada por dos o más anillos bencénicos fusionados. Los anillos bencénicos están constituidos por cadenas hidrocarbonadas cerradas formando ciclos en los cuales se alternan uniones dobles y simples entre átomos de carbono vecinos. Los HAPs con dos a cinco anillos bencénicos son los de mayor significación ambiental y para la salud humana.

Incertidumbre de medición: parámetro asociado con el resultado de una medición que caracteriza la dispersión de los valores que razonablemente pueden ser atribuidos al mesurando.

Incertidumbre estándar (u): Incertidumbre del resultado de una medición expresada como desviación estándar.

Incertidumbre estándar combinada (u_c): Incertidumbre estándar del resultado de una medición cuando este resultado es obtenido a partir de los valores de otras magnitudes; se caracteriza por el valor numérico obtenido aplicando el método usual para la combinación de varianzas, de modo tal que la incertidumbre combinada y sus componentes se expresan en la forma de desviaciones estándar.

Incertidumbre expandida (U): incertidumbre estándar (incertidumbres estándar combinadas) multiplicadas por un factor de cobertura k para dar un nivel de confianza particular.

Límite de cuantificación del método (LCM): es la concentración por encima de la cual pueden obtenerse resultados cuantitativos con un nivel de confianza especificado.

Litología: es la parte de la geología que estudia las rocas en relación con su estructura, color, características físicas y químicas, tamaño de grano, tamaño de las partículas y la disposición de sus partes componentes.

Macrófita: planta vascular grande especialmente de un cuerpo de agua, enraizada o flotante.

Metal pesado: metales de densidad mayor que 4,5 g/cm³ y relativamente elevada masa atómica. El término también designa un grupo de metales que presentan marcada toxicidad para los organismos vivos. También se los denomina elementos traza.

Metales: grupos de elementos químicos cuyas propiedades son intermedias entre los metales y los no metales.

Monitoreo: observación periódica y sistemática de niveles de contaminantes en el ambiente.

Nivel de Efecto Probable: nivel por encima del cual se espera que ocurran frecuentemente efectos adversos.

pH: valor que representa la acidez o alcalinidad de una solución acuosa. Se define como el logaritmo negativo de la actividad del ión hidrógeno.

Sedimentos: material fragmentado, que proviene de la meteorización de las rocas y que es transportado principalmente por el agua y el aire o es generado por otros procesos tales como la precipitación química o la excreción por organismos. El término se aplica usualmente al material en suspensión en agua o recientemente depositado del estado suspendido.

Sedimentos de fondo: sedimentos que constituyen el lecho de un cuerpo de agua corriente o estancado.

Sustancia tóxica: sustancia capaz de producir algún efecto nocivo en un sistema biológico, daño a sus funciones o la muerte. Desde el punto de vista de la preservación y utilización de los cuerpos de agua superficiales, se puede definir que una sustancia se vuelve tóxica cuando está presente en el medio ambiente acuático (columna líquida, sedimentos u organismos acuáticos) en concentraciones que interfieren con un uso deseable del recurso hídrico por su impacto negativo sobre la salud humana o sobre el ecosistema acuático.

Toxicidad crónica: efecto que involucra un estímulo que se mantiene durante un tiempo prolongado (varias semanas a años), dependiendo del ciclo reproductivo de las especies acuáticas. Los efectos tóxicos crónicos se manifiestan por respuestas biológicas de progreso relativamente lento y larga duración.

Valor guía: concentración numérica límite o enunciado narrativo recomendado para sostener y mantener un uso del agua determinado (o de otro compartimento del ambiente acuático, tal como sedimentos de fondo)

Bibliografía

- APHA, AWWA, WEF, 1999, *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th ed.*
- CCME (Canadian Council of Ministers of the Environment), 2002, *Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life - Introduction-Canadian Environmental Quality Guidelines.*
- CCME (Canadian Council of Ministers of the Environment), 1993, *Guidance Manual on Sampling, Analysis, and Data Management for Contaminated Sites - Volume I: Main Report - Glossary - Report CCME EPC-NCS62E.*
- CCREM (Canadian Council of Resources and Environment Ministers), 1986, *Canadian Water Quality Guidelines - Glossary.*
- Cortada de Kohan, N., Carro, J.M., 1978, *Estadística Aplicada, séptima edición*, Editorial Universitaria de Buenos Aires, EUDEBA, Buenos Aires.

Gaskin, J. E., 1993, *Quality assurance in water quality monitoring – General Glossary - Ecosystem Science and Evaluation Directorate, Conservation and Protection Environment Canada, Ottawa, Ontario.*

ISO, 1993, *International Vocabulary of Basic and General Terms in Metrology.*

Salas, H.J., Dos Santos, J.L., Fernícola, N., 1987, *Manual de Evaluación y Control de Sustancias Tóxicas en Aguas Superficiales, CEPIS, OPS, OMS.*