

PROGRAMA INTEGRAL DE CALIDAD DE AGUAS DEL RÍO COLORADO

SUBPROGRAMA CALIDAD DEL MEDIO ACUÁTICO

INFORME FINAL

AÑO 2018

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



PROGRAMA INTEGRAL DE CALIDAD DE
AGUAS DEL RÍO COLORADO
AÑO 2018

SUBPROGRAMA CALIDAD DEL MEDIO ACUÁTICO

AUTOR

Bioq. Ricardo Alcalde



Se autoriza la utilización de la información que contiene, siempre que se cite la fuente.

GRUPO INTEREMPRESARIO

YPF SA; Pluspetrol SA; Chevron Argentina SRL; Petrolera Entre Lomas SA; Oldelval SA;
Petroquímica Comodoro Rivadavia SA; Madalena Energy; Medanito SA;
Petróleos Sudamericanos; San Jorge Petroleum SA; Compañía General de Combustibles SA y
Vista Oil & Gas Argentina SA.

Índice

Capítulo 1 – Subprograma Calidad del Medio Acuático	1
1.1 Introducción	3
1.2 La Cuenca del río Colorado	7
1.2.1 Características del río Colorado	8
1.2.2 Aspectos hidrológicos	9
1.2.3 Registros de lluvias en la cuenca	12
1.2.4 Conductividad eléctrica	13
1.2.5 Sólidos disueltos totales e iones mayores	14
1.2.6 Usos del agua en la cuenca	24
1.2.7 Actividad petrolera en la cuenca del río Colorado	24
1.3 Área de estudio del Subprograma de Calidad del Medio Acuático	25
Referencias	26
Capítulo 2 - Calidad del agua	27
2.1 Introducción	29
2.2 Metodología de muestreo y mediciones <i>in situ</i>	31
2.3 Metodologías analíticas	32
2.3.1 Análisis de metales y metaloides	32
2.3.2 Análisis de hidrocarburos aromáticos polinucleares (HAPs)	33
2.3.3 Ensayos ecotoxicológicos con agua	33
2.4 Resultados	35
2.4.1 Parámetros medidos <i>in situ</i> , metales/metaloides e hidrocarburos aromáticos polinucleares (HAPs)	35
2.4.2 Referencias utilizadas para la evaluación de la calidad del agua para diferentes usos	62
2.4.2.1 Metales/metaloides	62
2.4.2.2 Hidrocarburos	63
2.4.3 Calidad del agua para los diferentes usos - Discusión	64
2.5 Ensayos ecotoxicológicos	67
2.5.1 Ensayos con <i>Daphnia magna</i>	68
2.5.1.1 Resultados	68
2.5.1.2 Discusión	70
2.5.2 Ensayos con <i>Pseudokirchneriella subcapitata</i>	70
2.5.2.1 Resultados	70
2.6 Conclusiones	72
Referencias	73
Capítulo 3 - Calidad de los sedimentos de fondo	75
3.1 Introducción	77
3.2 Estaciones de monitoreo	77
3.3 Metodología de muestreo	79
3.4 Metodologías analíticas	80
3.4.1 Análisis de metales y metaloides	80
3.4.2 Análisis de hidrocarburos aromáticos polinucleares	80

3.5	Ensayos ecotoxicológicos crónicos con sedimentos de fondo y evaluación de biomarcadores.....	81
3.6	Resultados.....	83
3.6.1	Análisis químico.....	83
3.6.1.1	Metales y metaloides.....	83
3.6.1.2	Hidrocarburos aromáticos polinucleares (HAPs)	85
3.7	Valores guía.....	87
3.8	Diagnóstico de la calidad de los sedimentos de fondo para protección de la vida acuática	88
3.9	Discusión.....	88
3.10	Ensayos ecotoxicológicos crónicos con sedimentos de fondo	88
3.10.1	Ensayos con <i>Hyalella curvispina</i>	89
3.10.1.1	Resultados	90
3.10.1.2	Discusión	90
3.10.2	Ensayos con <i>Vallisneria spiralis</i>	90
3.10.2.1	Resultados	91
3.10.2.2	Discusión	91
3.10.3	Evaluación de las actividades enzimáticas de guaiacol peroxidasa y catalasas sobre <i>Vallisneria spiralis</i> expuesta al sedimento entero	91
3.10.3.1	Resultados	91
3.10.3.1.1	Evaluación de la actividad de guaiacol peroxidasa	92
3.10.3.1.2	Evaluación de la actividad de catalasas.....	92
3.11	Conclusiones de los ensayos ecotoxicológicos	93
3.12	Calidad de los sedimentos de fondo – Conclusiones generales.....	95
	Referencias.....	96
Capítulo 4 - Evaluación de sustancias tóxicas en músculo de peces		97
4.1	Introducción	99
4.2	Estaciones de monitoreo	99
4.3	Métodos de captura y obtención de las muestras	100
4.4	Metodologías analíticas	101
4.4.1	Análisis de metales y metaloides	101
4.4.2	Análisis de hidrocarburos aromáticos polinucleares	102
4.5	Resultados.....	104
4.5.1	Metales/metaloides	104
4.5.2	HAPs.....	105
4.6	Límites para el consumo humano	108
4.7	Conclusiones generales	109
	Referencias.....	109
Conclusiones y Recomendaciones		111
	Conclusiones.....	113
	Recomendaciones.....	114
Glosario		115
	Bibliografía	118

Capítulo 1

SUBPROGRAMA

CALIDAD DEL MEDIO ACUÁTICO

1.1 Introducción

La gestión integrada del recurso hídrico de la cuenca del río Colorado está a cargo del Comité Interjurisdiccional del Río Colorado (COIRCO), integrado por las cinco provincias condóminas de las aguas, es decir, Buenos Aires, La Pampa, Mendoza, Neuquén y Río Negro (Figura 1.1), y la Nación.



Fig. 1.1 – Cuenca del río Colorado abarcando el área de su nacimiento en la cordillera de Los Andes y su desembocadura en el Océano Atlántico.

La gestión integrada implica el accionar de distintas disciplinas. El Acuerdo del Colorado tiene establecido las prioridades de usos y los cupos disponibles para cada Provincia, en el escenario de plena regulación. El orden de prioridades de los usos del agua son abastecimiento humano, riego, ganadería, industrial, petrolero y minero, y generación hidroeléctrica.

En lo concerniente a la calidad del agua, en el inicio del funcionamiento del COIRCO, los esfuerzos se centralizaron en el estudio y verificación de las variables de control que intervinieron en el Modelo de Distribución de las Áreas de Riego de la Cuenca del Río Colorado, es decir, caudal y conductividad eléctrica, extendiéndose a los principales iones vinculados a la aptitud del agua como fuente para abastecimiento humano, riego y consumo de ganadería.

La actividad hidrocarburífera, que era incipiente en 1976, tuvo un crecimiento importante a fines de la década del 80 y principio de los 90. Esta industria generaba impactos en los recursos hídricos por las descargas directas de aguas de purga al río Colorado o a bajos naturales afectando las napas freáticas de valles

potencialmente regables. En otras circunstancias, contingencias de la industria petrolera provocaron la interrupción de los servicios de agua potable y riego.

La organización y estructura formal del COIRCO, sirvió de base para que las provincias (en particular, las de aguas abajo de las mencionadas descargas) pudieran contar con un instrumento de gestión desde donde coordinar acciones para revertir conductas de trabajo en la actividad petrolera, que estaban poniendo en riesgo la calidad del agua para los diversos usos.

A raíz de esta situación, las Provincias y la Nación decidieron ampliar las facultades del COIRCO en materia de preservación ambiental y manejo de situaciones de contaminación que pudieran ocurrir, con el objeto de fortalecer el control y preservación del recurso compartido. De esta forma en el año 1997 se crea la Comisión Técnica Fiscalizadora (CTF), integrada por el Comité Interjurisdiccional del Río Colorado y la Secretaría de Energía y Puertos de la Nación, con el objeto de fiscalizar la exploración, explotación y transporte de hidrocarburos que se desarrollen en la cuenca en aquellos aspectos vinculados a la preservación de los recursos naturales.

La Comisión Técnica Fiscalizadora tiene dos misiones, ambas gerenciadas a través del COIRCO, la inspección de la actividad petrolera y la ejecución de un programa de calidad de aguas.

Para la primera responsabilidad se cuenta con recursos humanos en el área de explotación petrolera, en Rincón de los Sauces, Catriel y 25 de Mayo. Para la segunda, en el seno del COIRCO, en 1997 se resolvió realizar un amplio estudio para determinar la calidad del ambiente acuático del río Colorado, el cual se desarrolló entre 1997 y 1999. A partir del año 2000, en base a los resultados obtenidos en el mencionado estudio, se diseñó y se viene desarrollando de manera ininterrumpida el monitoreo permanente a través del Subprograma Calidad del Medio Acuático, cuyo objetivo es el seguimiento y control en el tiempo de la calidad del recurso agua de manera de evaluar su aptitud para los diferentes usos como consecuencia de la actividad petrolera.

Dicho Subprograma es una componente del "Programa Integral de Calidad de Aguas del Río Colorado" (Figura 1.2) y su objetivo es evaluar la presencia y significación en el ambiente acuático de diferentes sustancias, las cuales podrían provenir tanto de fuentes naturales como de las diversas actividades productivas desarrolladas en la cuenca (principalmente la actividad industria-minera-petrolera) y de los asentamientos poblacionales existentes en el área.



Fig. 1.2. Esquema simplificado del Programa Integral de Calidad de Aguas del río Colorado y de los subprogramas que lo integran.

En relación con las fuentes naturales de sustancias tóxicas, la litología de la alta cuenca, ubicada en la Cordillera Principal y representada en gran medida por rocas y materiales de origen volcánico, cobra especial significación ya que contienen en su composición metales pesados, los cuales potencialmente pueden alterar la calidad del agua para los diferentes usos. Las nacientes de los arroyos y de los ríos en sus primeros tramos están ubicadas en un área de intenso volcanismo en el pasado (Sruoga, P. 2002; Llambias, E.J. 2008;), al que se suman episodios ocurridos en épocas recientes (Sruoga, P. 2002; Scotti, A & Torres, D.N. 2012). A través de fenómenos de meteorización tiene lugar la movilización de dichas sustancias, posibilitando su ingreso en el ambiente acuático.

El Subprograma Calidad del Medio Acuático incluye el monitoreo de calidad de aguas, de sedimentos de fondo y la investigación de sustancias tóxicas en músculo de peces (Figura 1.3).

SUBPROGRAMA CALIDAD DEL MEDIO ACUÁTICO



Fig. 1.3. Componentes del Subprograma Calidad del Medio Acuático.

La evaluación de la calidad del ambiente acuático en relación con los mencionados contaminantes, se lleva a cabo con referencia a los usos del recurso que se desea proteger. Dichos usos son: fuente de agua potable, irrigación, bebida del ganado y medio para el desarrollo de la vida acuática (Fig. 1.4). La aptitud del agua para tales usos se define en función de las concentraciones detectadas de las sustancias seleccionadas, las cuales son contrastadas con valores guía internacionales (CCME 2012; O.M.S. 2008).

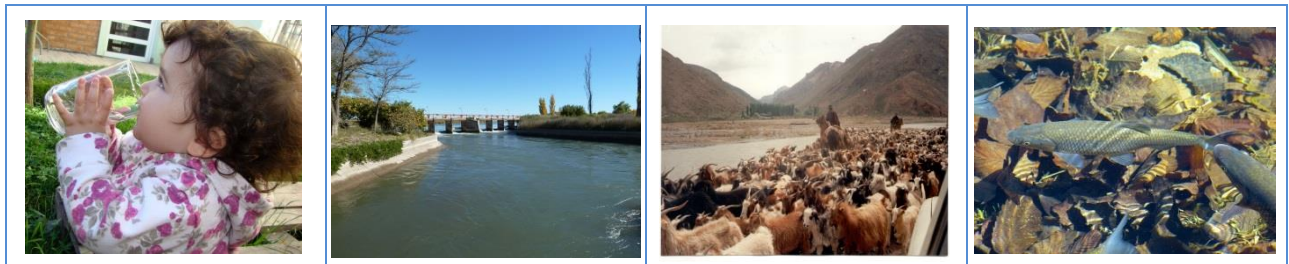


Fig. 1.4 – Usos del agua en la cuenca del río Colorado.

La aptitud de la calidad del agua superficial en la cuenca para su uso como fuente de agua potable es determinada tomando como referencia los valores guía de la O.M.S. para el agua de bebida y la disponibilidad de tecnologías de tratamiento para ajustar los parámetros que eventualmente lo requirieran para adecuarse a dicha norma (ver Capítulo 2).

En relación con la protección de la vida acuática, la evaluación se completa a través de la comprobación de la presencia de sustancias tóxicas en los sedimentos de fondo, y la realización de ensayos ecotoxicológicos con esta matriz y con agua.

La investigación de estas sustancias en las diferentes matrices, en relación con los usos previstos, implica la detección de niveles de concentración extremadamente bajos vinculados con efectos tóxicos crónicos. Esto determina que tanto las operaciones de muestreo como los análisis en laboratorio deban ser ejecutados bajo un riguroso programa de aseguramiento de la calidad, a fin de garantizar la calidad de los datos analíticos, dado que los mismos posteriormente serán

sometidos a análisis estadístico inferencial para dar sustento a la toma de decisiones para los usos previstos en el Acuerdo del Colorado, en lo concerniente a la calidad del agua en la cuenca.

Con el fin de establecer riesgos potenciales para la salud humana en el marco del Subprograma, se monitorea la presencia de sustancias tóxicas en las partes comestibles de diferentes especies de peces presentes en el sistema del río Colorado.

La información sobre calidad de aguas obtenida mediante el análisis estadístico inferencial de los resultados del monitoreo de aguas, sedimentos de fondo y peces es difundida en forma permanente a distintos sectores de la comunidad (gubernamentales, científico-técnicos, educativos y público en general) a través de distintos medios (informes técnicos como el presente, folletos de divulgación, publicación en la página web oficial del COIRCO, audiencias públicas, charlas en establecimientos escolares y en agrupaciones de productores rurales, etc.).

El presente informe contiene los resultados obtenidos en el ciclo de estudio 2018 cuyo diseño se basó en las recomendaciones del ciclo anterior, las cuáles eran las siguientes:

- *"Continuar con el monitoreo de metales/metaloides 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 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/metaloides 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 de 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/metaloides y HAPs en relación con la aptitud para el consumo humano".*

Entre las conclusiones obtenidas en el presente ciclo, se destaca que el agua del río es apta para los usos previstos como fuente de agua potable, en irrigación, ganadería y como medio para el desarrollo de la vida acuática.

1.2 La Cuenca del Río Colorado

La cuenca del río Colorado es la primera cuenca interprovincial de la Argentina que cuenta con un Programa Único de Habilidadación de Áreas de Riego y Distribución de

Caudales, el cual por sí solo es un hecho por demás significativo, y que fue resorte de otros logros que también fortalecen las relaciones interjurisdiccionales, así como los derechos y deberes de los usuarios del recurso hídrico compartido.

La cuenca del río Colorado cubre un área de 48.000 km², que se extiende sobre las provincias de Mendoza, Neuquén, La Pampa, Río Negro y Buenos Aires, que la convierten en una cuenca hídrica interprovincial.

Desde sus orígenes en la Cordillera de los Andes, hasta su desembocadura en el Océano Atlántico, presenta una extensión de 1.200 km, de los cuales 920 km corresponden al río Colorado propiamente dicho.

1.2.1 Características del río Colorado

El río Colorado se origina a partir de la confluencia de los ríos cordilleranos Grande (Mendoza) y Barrancas (Mendoza y Neuquén) (Fig. 1.5) a 835 m.s.n.m y escurre hacia el Océano Atlántico con dirección NO - SE. Su caudal promedio anual registrado en la estación Buta Ranquil (aguas abajo de la confluencia) es 143,5 m³/s para el período 1941 - 2018 (Secretaría de Infraestructura y Política Hídrica de la Nación).



Fig. 1.5 - Cuenca de los ríos Grande, Barrancas y Colorado.

Río Barrancas

El río Barrancas nace en la cordillera de Los Andes de los emisarios de las lagunas Negra y Fea, en cercanías al límite internacional con Chile. Su caudal promedio anual registrado en la estación Barrancas es 30,1 m³/s para el período 1960 - 2018 (Secretaría de Infraestructura y Política Hídrica de la Nación).

Río Grande

El río Grande, nace en la unión de los ríos Cobre y Tordillo aproximadamente a los 35°11'23" S y 70°14'56" O, en la Cordillera Principal, cercano al límite con Chile. Su caudal promedio anual registrado en la estación de aforo La Gotera es 93,3 m³/s para el período 1972-2018 (Secretaría de Infraestructura y Política Hídrica de la Nación), y recorre 257 km antes de su confluencia con el río Barrancas para formar el Colorado.

1.2.2 Aspectos hidrológicos

El río Colorado es de régimen nival, con crecidas que tienen inicio en los meses de octubre o noviembre, y que se extienden hasta los meses de enero o febrero, dependiendo de la acumulación de nieve y las condiciones climáticas.

Por lo dicho anteriormente, históricamente los ciclos hidrológicos en el río Colorado se definen desde el 1° de julio al 30 de junio del año siguiente.

La estación de aforo de Buta Ranquil del río Colorado, ubicada inmediatamente aguas abajo de la confluencia de los ríos Grande y Barrancas, dispone desde el año 1940 de una estación de medición hidrométrica, propiedad de la Secretaría de Infraestructura y Política Hídrica de la Nación. De acuerdo con la información disponible, para el período 1941 – 2018, el derrame medio anual es de 4.525 hm³, equivalente a un caudal módulo de 143,5 m³/s.

En aquella estación, el derrame máximo anual fue de 9.151 hm³ para el ciclo 1982-1983, mientras que el mínimo registrado corresponde al ciclo hidrológico 1968 – 1969 con 1.658 hm³.

En la Figura 1.6, de la página siguiente, se visualiza la distribución de la mencionada serie, actualizada al 30 de junio 2019.

Si bien se indicó que el río Colorado tiene un comportamiento claramente nival, presenta crecidas pluviales, generalmente entre los meses de febrero y agosto. Estas crecidas pueden alcanzar caudales instantáneos importantes (superando los 500 m³/s), sin embargo, debido a su corta duración, el derrame asociado no es significativo.

En la estación de aforo Buta Ranquil, se han registrado crecidas máximas con valores superiores a los 1.000 m³/s, tanto de origen nival (diciembre de 1982), como pluviales (mayo 2008, cuyo caudal máximo instantáneo fue de 1.050 m³/s, siendo esta la máxima crecida histórica por lluvias).

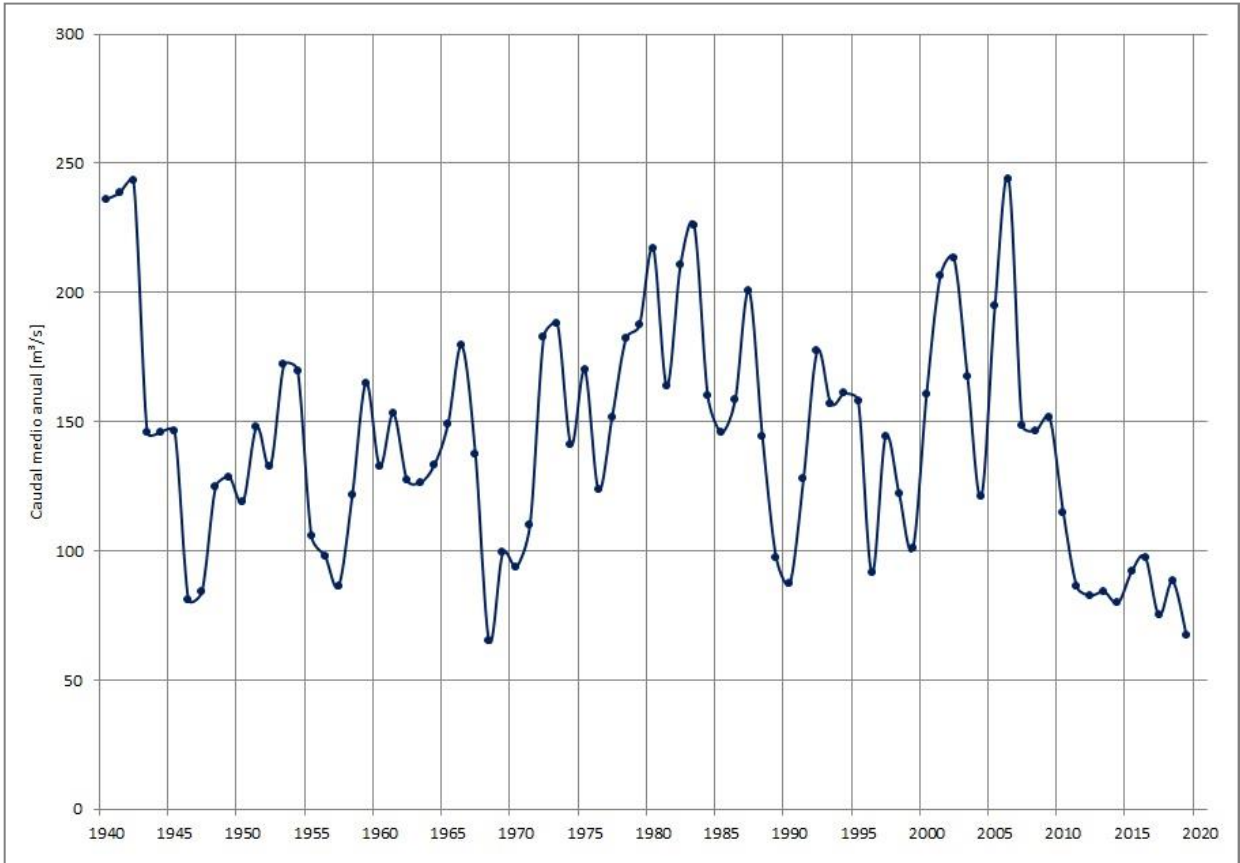


Fig. 1.6 - Caudal medio anual para la serie 1940 - 2019 del río Colorado en la estación de aforos de Buta Ranquil (Fuente de información: Secretaria de Infraestructura y Política Hídrica de la Nación).

Desde junio 2010 se está atravesando un período de escasez hídrica (Figura 1.6), y con mayor detalle se puede apreciar en la Figura 1.7

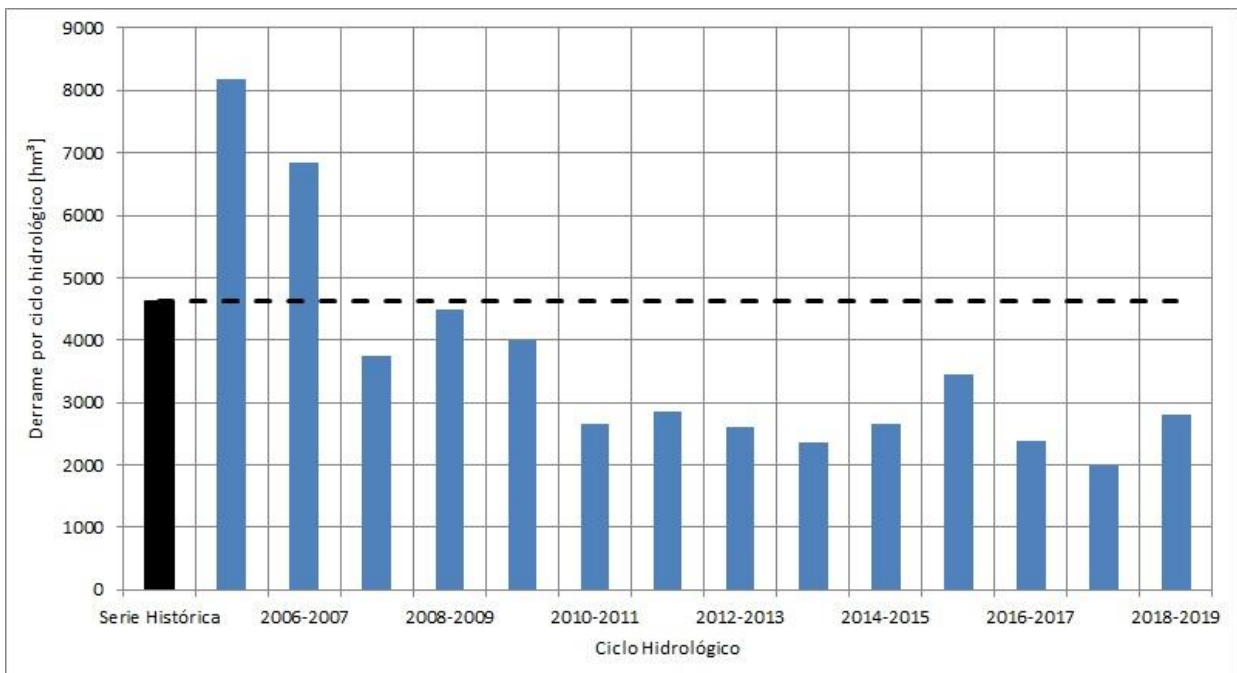


Figura 1.7 - Derrames por ciclo hidrológico del río Colorado en la Estación Buta Ranquil, período 2005 - 2019. Comparación con serie histórica.

El derrame escurrido en los últimos 9 ciclos fue de 2.639 hm³, equivalente al 57% de la media de la serie histórica cuyos registros tienen inicio en junio 1940.

En la Tabla 1.1 y en la Figura 1.8, se indican los valores de caudales máximo, promedio y mínimo mensual para el año 2018 correspondiente a la estación Buta Ranquil, de acuerdo con los registros de caudal medio diario publicados en la Base de Datos Hidrológica Integrada de la Secretaría de Infraestructura y Política Hídrica de la Nación.

Tabla 1.1 Caudales en el Río Colorado, estación Buta Ranquil durante el año 2018.

Buta Ranquil - Caudales mensuales Año 2018 [m ³ /s]												
	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Máximo	149	95	56	59	51	75	70	53	86	211	291	237
Promedio	99	67	48	49	46	51	53	48	64	101	201	194
Mínimo	71	56	41	45	44	44	48	45	51	70	128	147

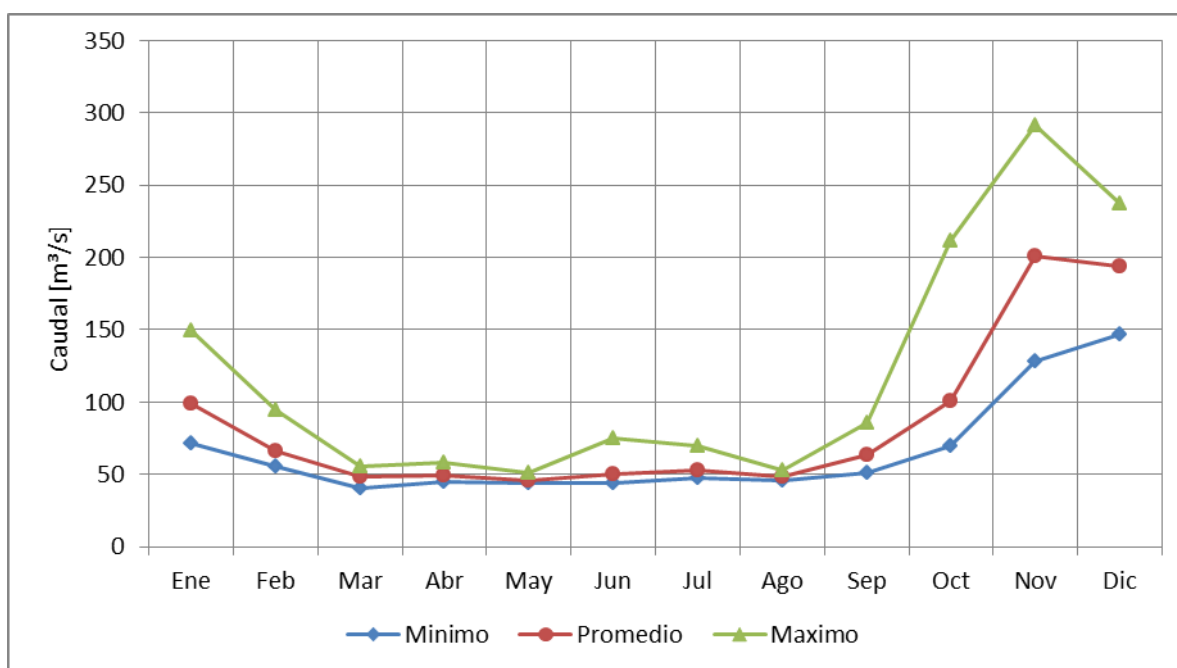


Fig. 1.8 - Caudales en el Río Colorado, estación Buta Ranquil durante el año 2018.

El caudal máximo mensual se produjo en el mes de noviembre con 291 m³/s, asociado a fusión nival. El caudal medio mensual fue de aproximadamente 85 m³/s, lo que implica que el derrame para el año 2018 fue de 2.683 hm³.



Figura 1.9 - Imágenes de la estación de aforo Buta Ranquil mostrando la escasez hídrica(ambas fotos fueron obtenidas desde la margen derecha - Neuquén, fecha: 21 febrero 2018).

Atendiendo a las condiciones hidrológicas de la cuenca, de reserva del embalse, y la continuidad de la escasez hídrica, el Comité Ejecutivo del COIRCO, en función de los términos del Acuerdo del Colorado, tomó la decisión de implementar un período de veda de riego simultáneo común en todas las áreas irrigadas aguas abajo de Casa de Piedra, y que durante dicho lapso se erogara un caudal mínimo extraordinario, con el objetivo de mejorar la reserva del embalse. Dicho caudal permitió satisfacer todos los usos consuntivos aguas abajo del embalse, respetando las prioridades de uso del Acuerdo del Colorado, aunque fue necesario suspender la generación de energía hidroeléctrica en la Central Casa de Piedra y en Salto Andersen.

Durante el período de veda de riego del año 2018, se implementó un caudal extraordinario de erogación desde Casa de Piedra de 35 m³/s alcanzando un mínimo de 25 m³/s. La veda se extendió por 98 días, permitiendo así que el embalse Casa de Piedra recupere volumen almacenado equivalente a 225 hm³, pasando de cota 273,72 msnm en el inicio de la veda a 275,08 msnm al fin del mismo período.

1.2.3 Registros de lluvias en la cuenca

Como se expresó anteriormente, el Rio Colorado tiene un comportamiento nival, aunque las lluvias pueden producir crecidas puntuales (caudales máximos instantáneos significativos) de corta duración.

Los eventos de precipitaciones representan una oportunidad de aporte adicional de humedad a los suelos de las áreas bajo riego, así como una posible influencia temporaria en el incremento de la salinidad del río.

En la Tabla 1.2 se indican registros pluviométricos mensuales para el año 2018, correspondientes a las estaciones Buta Ranquil y Rincón de los Sauces, ubicadas sobre la margen neuquina del río Colorado; estación evaporimétrica Casa de Piedra, ubicada en el lago Casa de Piedra; y la estación meteorológica Pedro Luro, en la provincia de Buenos Aires.

Tabla 1.2 - Registros pluviométricos mensuales en estaciones ubicadas en las márgenes del río Colorado para el año 2018, valores expresados en milímetros.

Año 2018	Buta Ranquil	Rincón de los Sauces	Casa de Piedra	Pedro Luro
Enero	0,0	2,1	1,4	0,0
Febrero	s/d	35,5	15,2	19,8
Marzo	s/d	0,0	4,0	39,2
Abril	s/d	0,5	4,6	32,2
Mayo	7,9	33,6	36,0	38,8
Junio	50,9	18,6	17,0	7,2
Julio	11,8	33,0	53,4	54,0
Agosto	4,6	11,2	0,8	0,8
Septiembre	6,6	2,3	36,4	23,8
Octubre	22,4	18,3	22,4	34,4
Noviembre	46,7	9,8	63,0	67,8
Diciembre	22,6	5,4	7,4	13,6
Total Anual	173,5	170,3	261,6	331,6

(Fuentes de información: Secretaria de Infraestructura y Política Hídrica de la Nación, Convenio COIRCO – EVARSA, Convenio COIRCO – Universidad Nacional de La Pampa, CORFO Río Colorado).

1.2.4 Conductividad eléctrica

En el Modelo de Distribución de Áreas de Riego, base para el Acuerdo del Río Colorado de las cinco provincias condóminas de la Cuenca del Río Colorado, la conductividad eléctrica es una de las variables de referencia, en los puntos de control del modelo (Buta Ranquil y Paso Alsina).

En la Figura 1.10 se presenta el hidrograma de caudales medios diarios de la estación Buta Ranquil, correspondiente al año 2018, junto con las determinaciones de conductividad eléctrica *in situ* en las estaciones Buta Ranquil (río no regulado) y descarga de Casa de Piedra (punto de inicio del tramo de río regulado), para cada una de las doce campañas mensuales.

La conductividad eléctrica presenta variaciones a lo largo del año, las cuales son notorias en el tramo no regulado y moderadas a partir de la regulación del Embalse Casa de Piedra.

Para el tramo no regulado, en términos generales se reduce con la crecida debida a la fusión nival (deshielo, que oscila entre octubre y febrero, variable con los ciclos hidrológicos), y se incrementa con los caudales bajos de los restantes meses (ver Figura 1.10). También sufre incrementos puntuales, y de corta duración en el caso de lluvias en el sector de la Cuenca Alta y Media del río Colorado propiamente dicho.

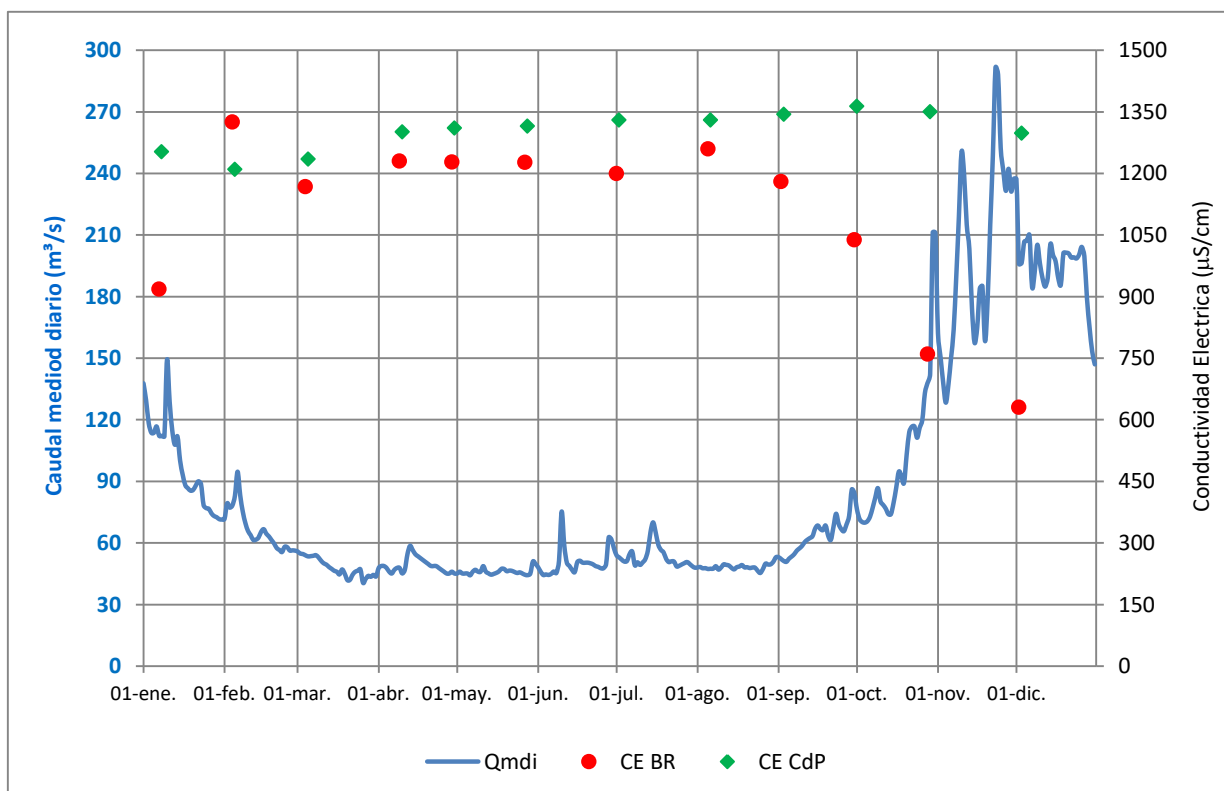


Figura 1.10. Hidrograma de caudal medio diario de la estación Buta Ranquil y registros de conductividad eléctrica *in situ* en Buta Ranquil y descarga Casa de Piedra, para las campañas de muestreo mensuales del año 2018 (Fuentes de información: Secretaria de Infraestructura y Política Hídrica de la Nación y Monitoreos Ambientales).

1.2.5 Sólidos disueltos totales e iones mayores

El Subprograma Red histórica del Monitoreo de Calidad de Aguas, incluye la determinación de sólidos disueltos totales y iones mayores, en una serie de estaciones en la cuenca, varias de ellas no coincidentes con las estaciones del Subprograma Calidad del Medio Acuático.

Complementariamente a las observaciones señaladas en el punto anterior "1.2.4. Conductividad eléctrica", donde se indica que este parámetro presenta variaciones estacionales y otras en ocasiones de lluvias, las condiciones de años hidrológicos secos (debajo de los valores medios) que se han presentado desde el ciclo 2010 – 2011, permite visualizar cómo se incrementan las concentraciones en las distintas estaciones de monitoreo.

A continuación en las Figuras 1.11 a 1.19 se muestran los resultados de las concentraciones de sólidos disueltos totales y iones mayores para las estaciones Bardas Blancas (Río Grande), Puente Ruta Nacional N° 40 (Río Barrancas) y Buta Ranquil y la descarga del embalse Casa de Piedra (Río Colorado tramo sin regular y regulado respectivamente). En las citadas figuras se comparan los resultados mensuales para el año 2018, con los valores medios para los períodos 1999 – 2009 (período cuyo derrame anual en el Río Colorado responde a valores medios históricos) y 2011 - 2017 (identificado como período de escasez hídrica).

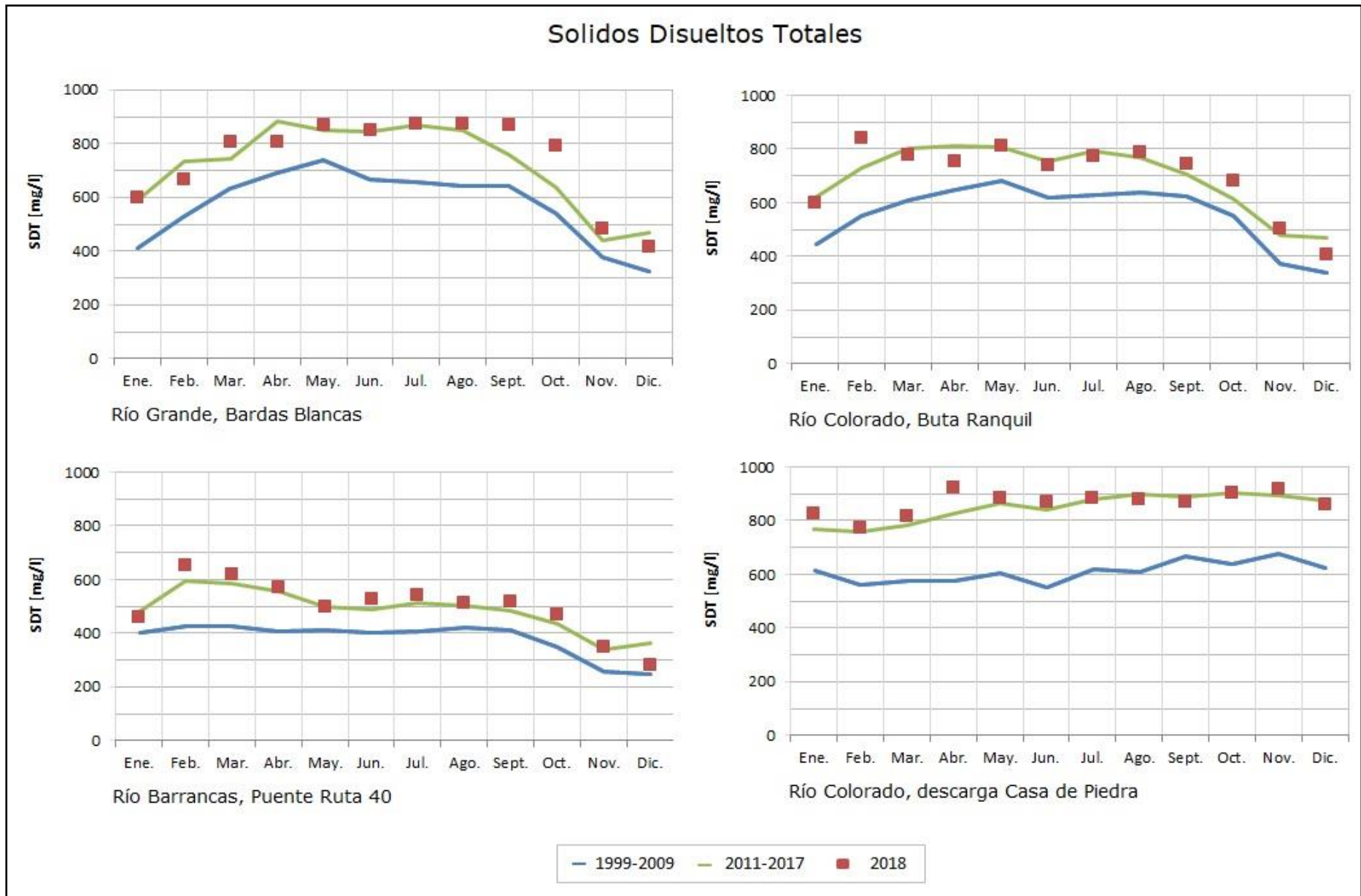


Fig. 1.11 – Solidos disueltos totales.

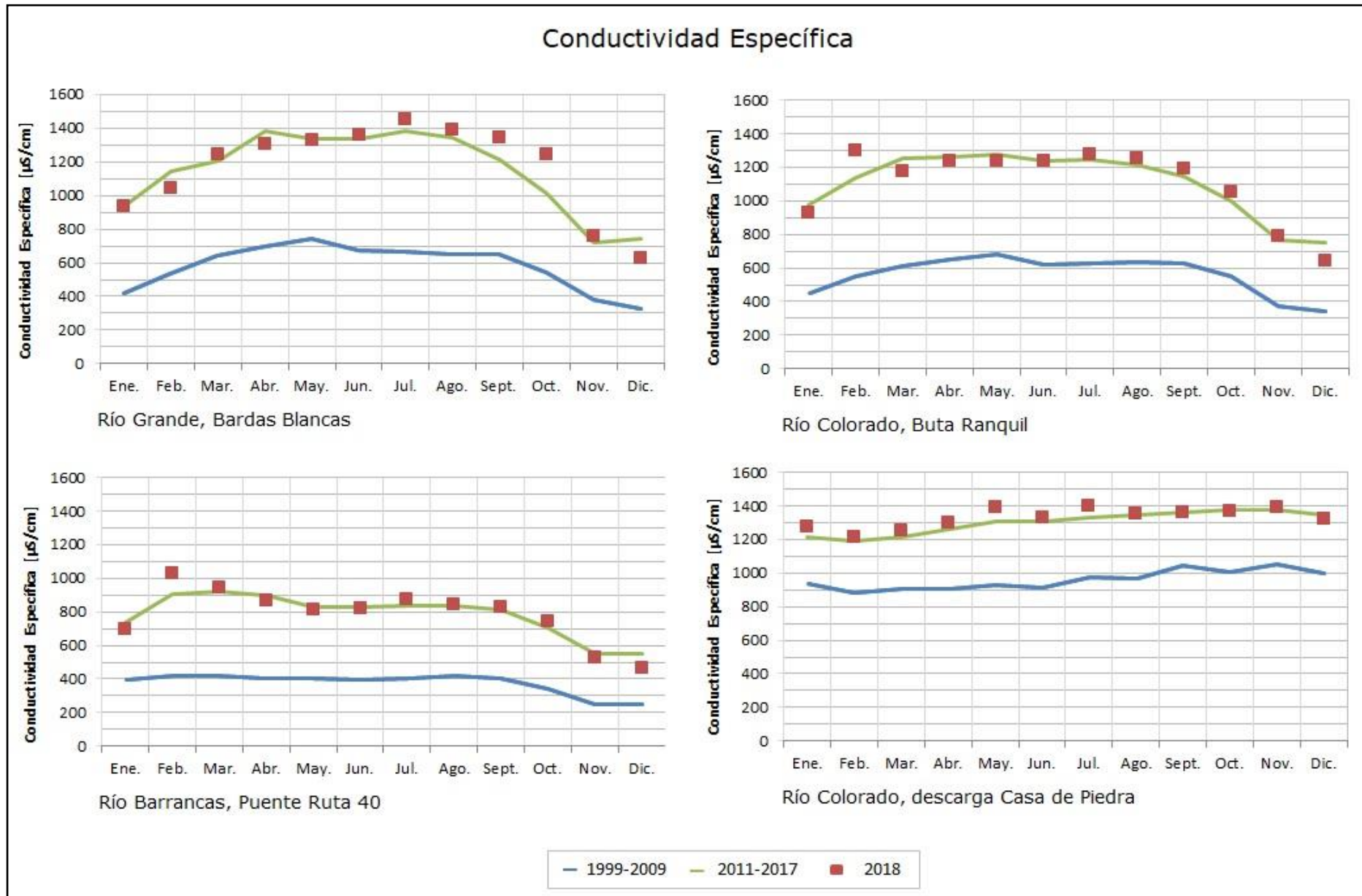


Fig. 1.12 – Conductividad eléctrica.

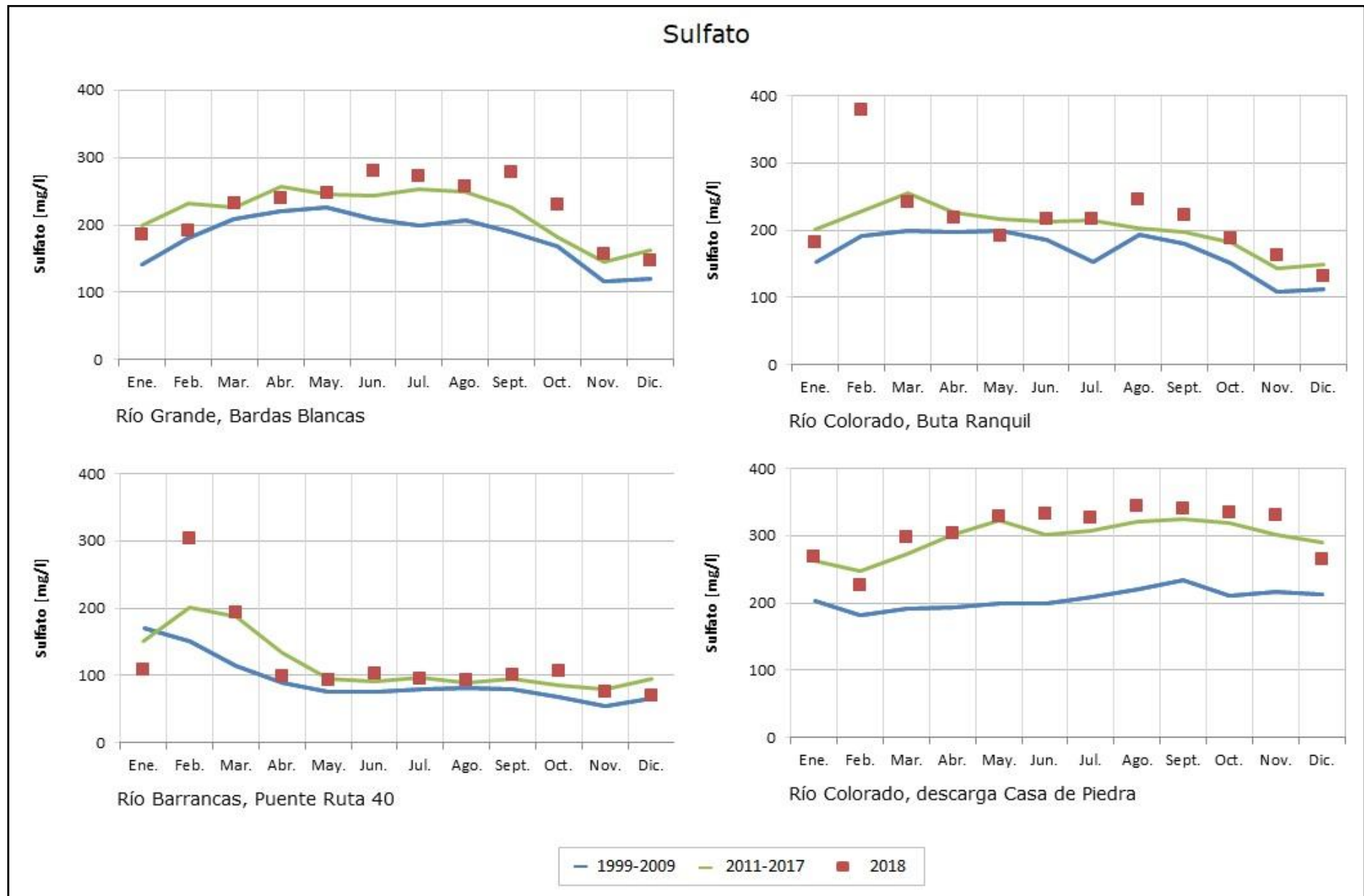


Fig. 1.13 – Sulfato.

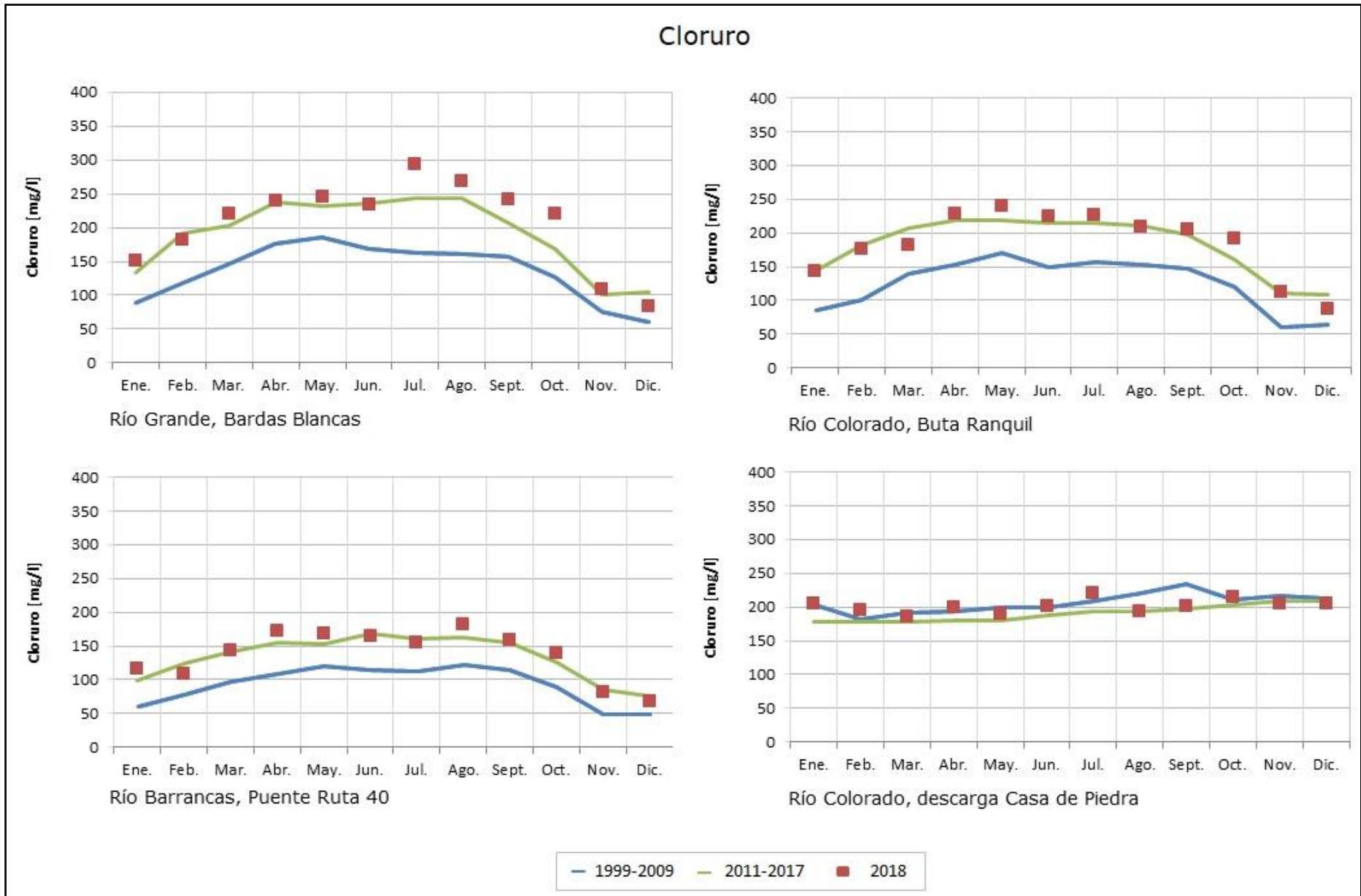


Fig. 1.14 - Cloruro.

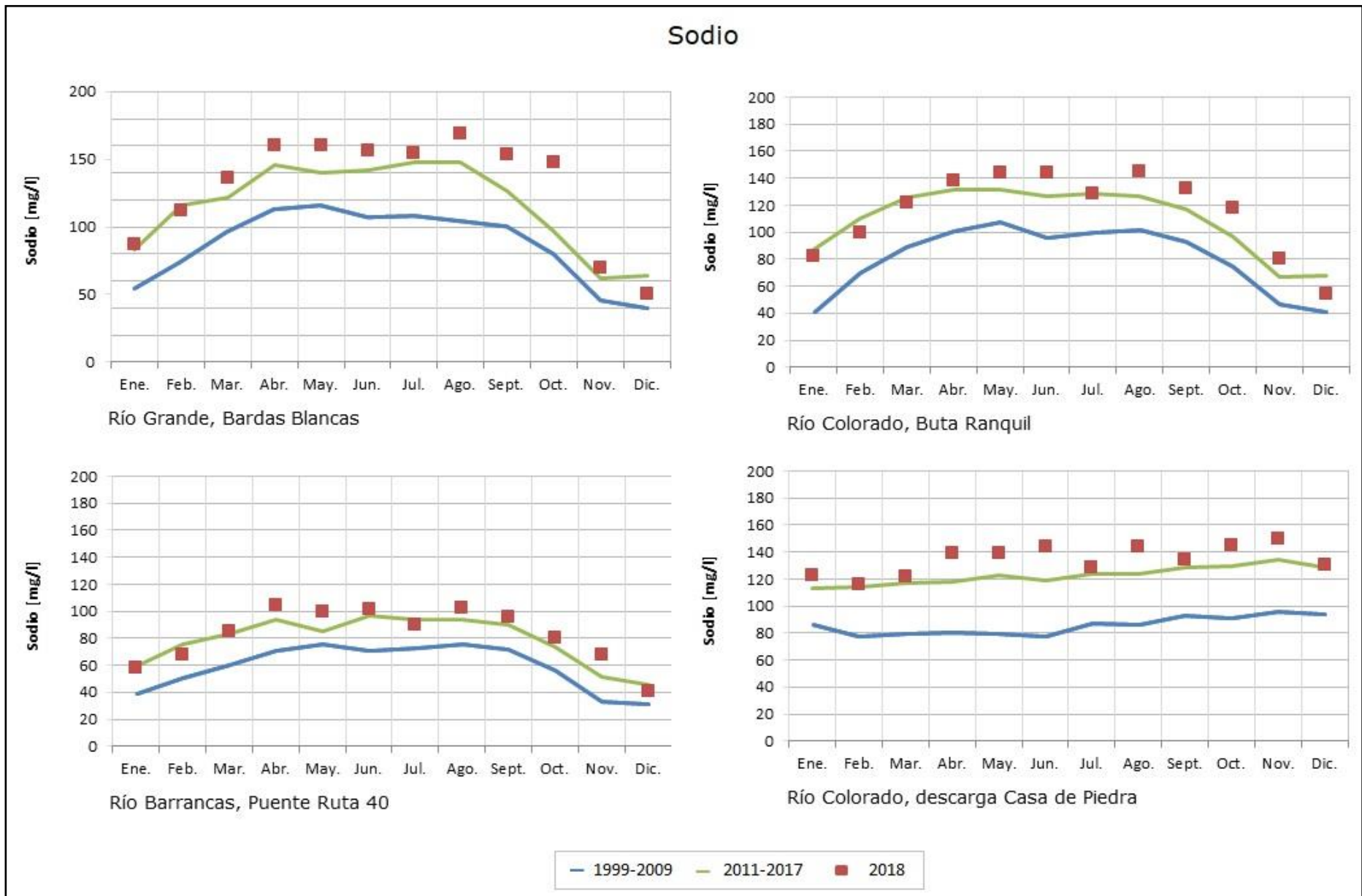


Fig. 1.15 – Sodio.

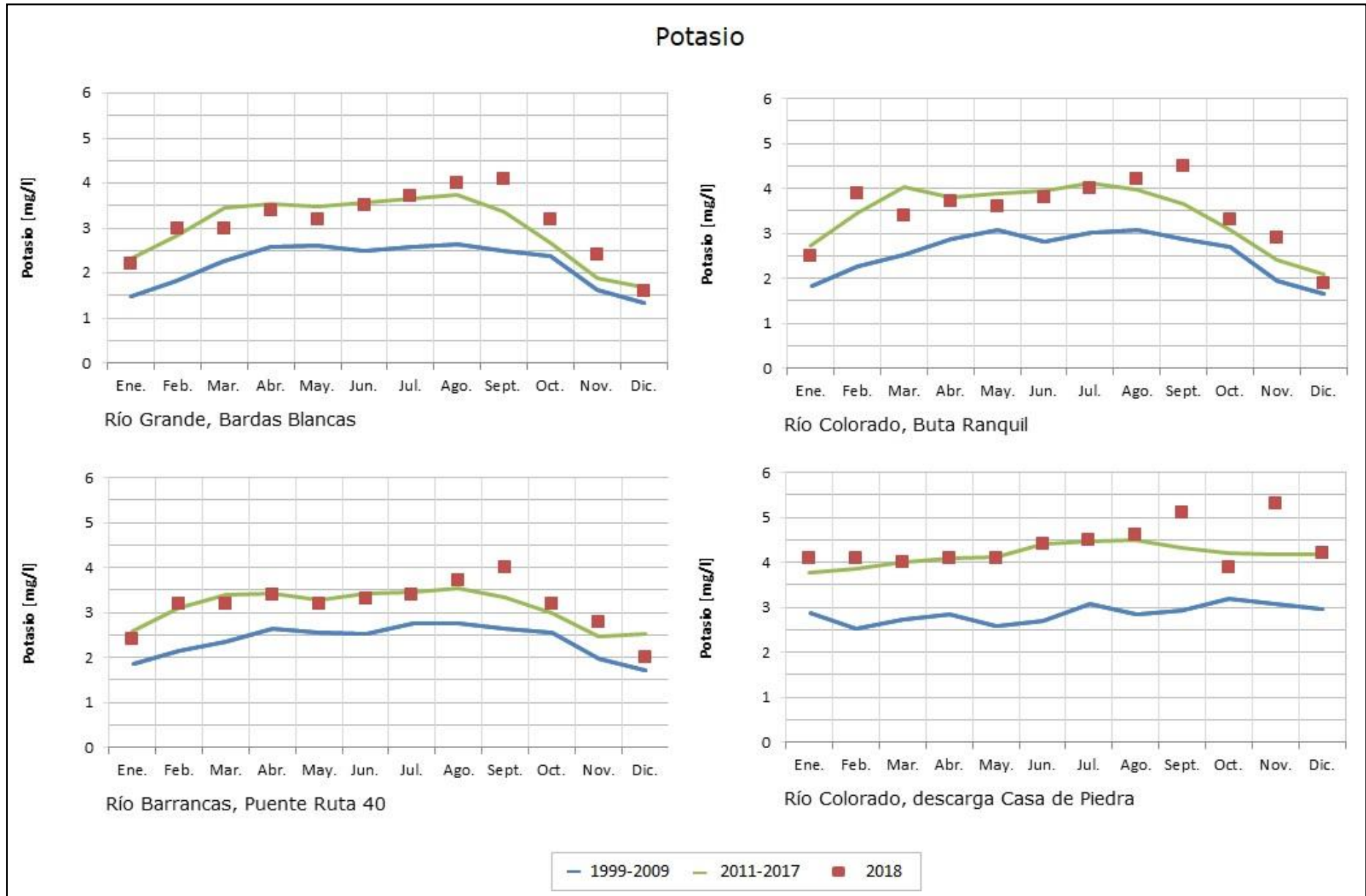


Fig. 1.16 – Potasio.

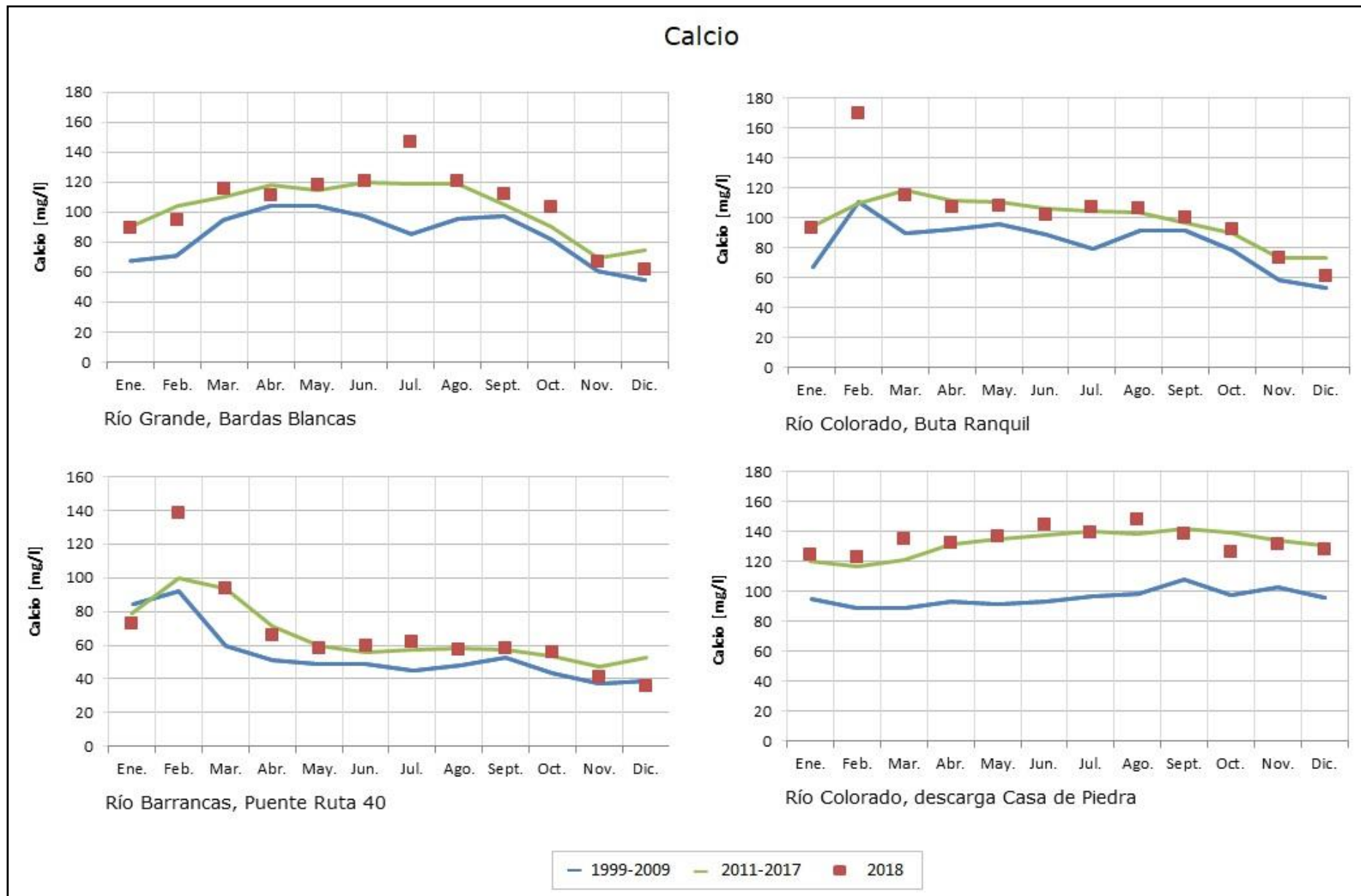


Fig. 1.17 - Calcio.

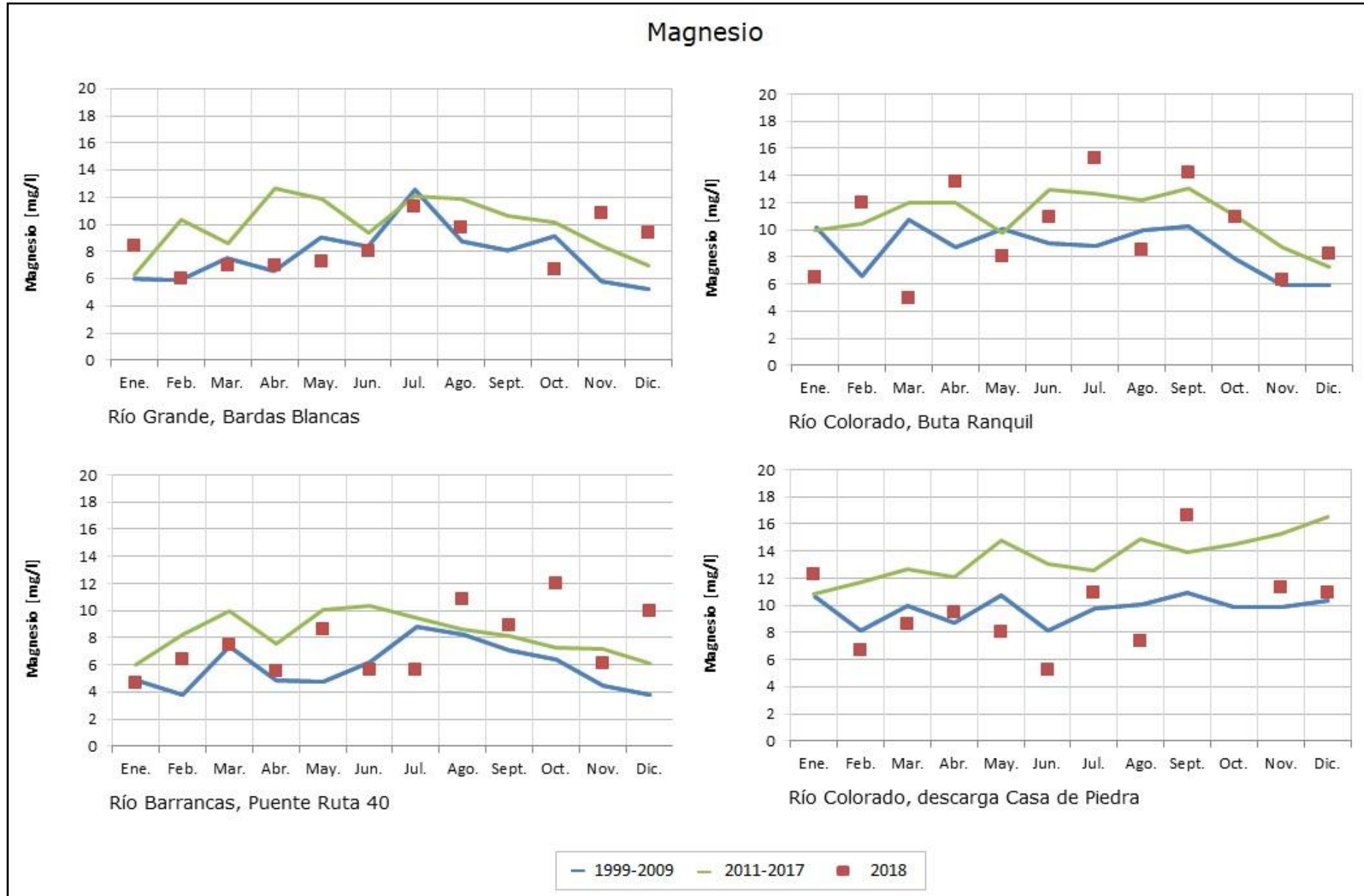


Fig. 1.18 – Magnesio.

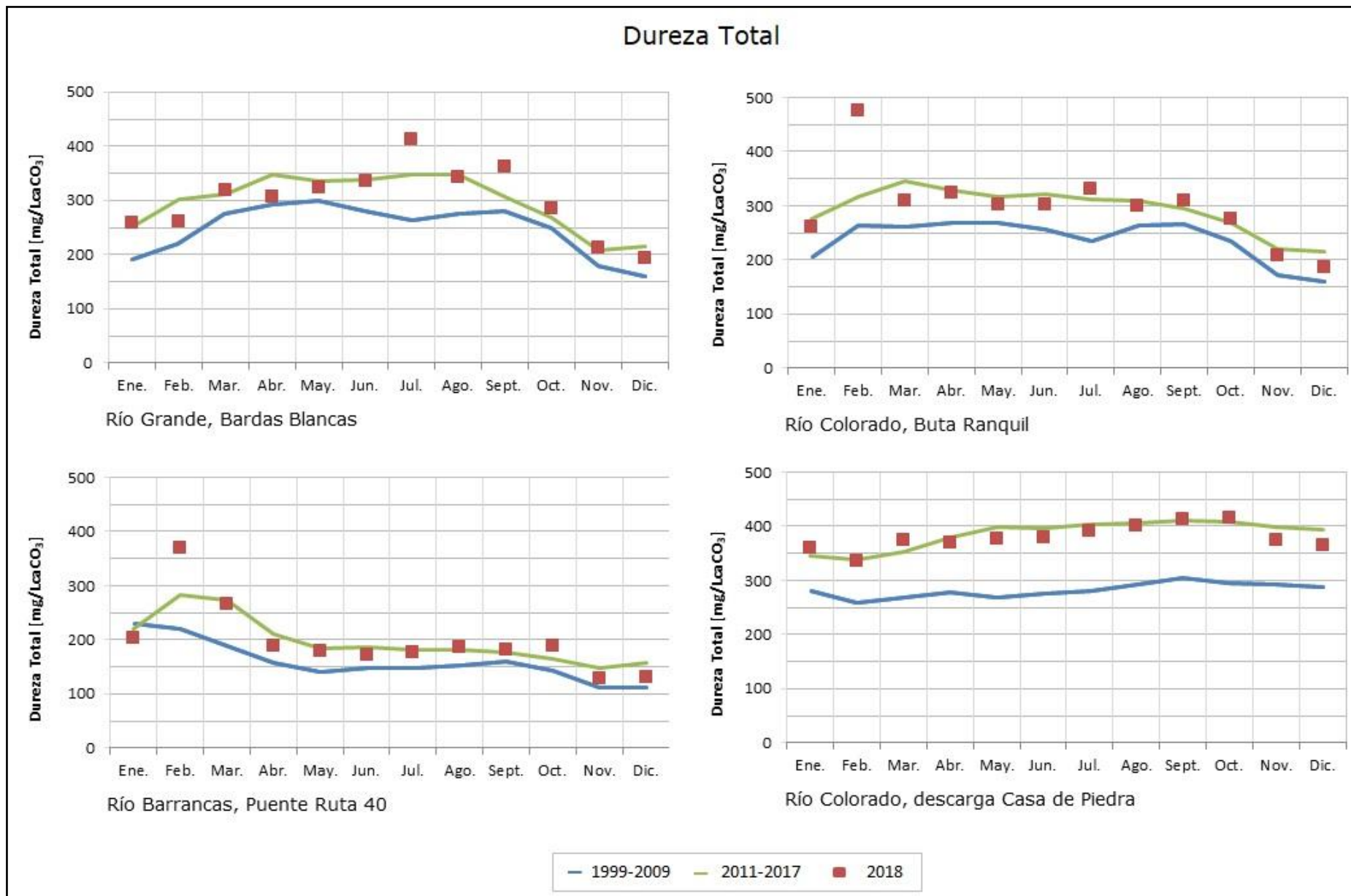


Fig. 1.19 – Dureza total.

1.2.6 Usos del agua en la cuenca

El Acuerdo Interprovincial del Río Colorado, fija los cupos de agua a utilizar por cada provincia y las prioridades de uso del recurso hídrico, siendo:

- 1) Abastecimiento humano
- 2) Riego y ganadería
- 3) Industrial – petrolero
- 4) Generación hidroeléctrica
- 5) Compatibilizados con actividades recreativas

La distribución porcentual de los consumos de agua en la cuenca del río Colorado, para este ciclo de escasez hídrica, es:

- | | |
|----------------------------|-----|
| 1) Abastecimiento humano: | 2% |
| 2) Riego y ganadería: | 96% |
| 3) Industrial – petrolero: | 2% |

Cabe destacar que, para el caso de los usos consuntivos, como consecuencia del período de escasez hídrica ya mencionado, hubo una restricción para el consumo “riego – ganadería”.

1.2.7 Actividad petrolera en la cuenca del río Colorado

El desarrollo de la actividad petrolera en la cuenca del río Colorado se extiende desde Bardas Blancas en el río Grande hasta el embalse Casa de Piedra en el río Colorado, a lo largo de las provincias de Mendoza, Neuquén, Río Negro y La Pampa.

En tal sentido, el control de la actividad petrolera en la cuenca del Río Colorado a través de COIRCO – CTF, se ejecuta mediante dos actividades de campo que se realizan diariamente:

- a) Inspección de incidentes: donde se relevan los incidentes denunciados por las empresas operadoras y aquellos que son detectados en las visitas de la CTF.
- b) Inspección preventiva de instalaciones: tienen por finalidad identificar instalaciones que pueden representar situaciones de riesgo para el recurso hídrico ante un eventual incidente, comprometiendo la calidad de éste.

Como consecuencia de la dinámica de trabajo de explotación se producen incidentes diariamente en la cuenca del río Colorado, los cuales en su gran mayoría son de volúmenes reducidos y quedan contenidos en el recinto de la instalación. No obstante, también hay incidentes de gran magnitud, sin embargo, en función de las prevenciones que implementan las empresas operadoras, desde enero de 2016 ninguno de los incidentes llegó a afectar los cursos de agua de la cuenca., dado que en su mayoría quedan contenidos en los predios de sus instalaciones, y paralelamente el saneamiento es realizado con mayor dinámica.

1.3. Área de estudio del Subprograma de Calidad del Medio Acuático

El área de estudio comprende desde las estaciones en los ríos Grande y Barrancas, donde no hay actividad humana en forma sistemática, hasta la estación de muestreo en El Gualicho, próxima a la Comarca de Río Colorado – La Adela (Provincias de La Pampa y Río Negro), aguas arriba de la última derivación, en la provincia de Buenos Aires, para el suministro de agua para uso de agua potable, riego y ganadero.

En forma independiente desde COIRCO, se desarrollan otros estudios a lo largo de la cuenca, o en sectores específicos, según las necesidades como son:

- Monitoreo de parámetros fisicoquímicos en la cuenca del río Colorado
- Monitoreo del embalse Casa de Piedra – Estudio Estado Trófico
- Monitoreo del criadero de truchas en el embalse Casa de Piedra
- Monitoreo de las descargas de líquidos cloacales
- Monitoreo de la descarga de la planta potabilizadora de Pichi Mahuida
- Monitoreo de balnearios

En forma paralela, las jurisdicciones provinciales desarrollan estudios específicos de acuerdo con sus necesidades de abastecimiento y ejercicio de la acción de contralor y regulador, los cuales no se indican en el detalle anterior.

Referencias

- CCME, Canadian Council of Ministers of the Environment, (2012), *Canadian Environmental Quality Guidelines*, Canada
- Llambías, E. J., (2008), *El distrito volcánico de la Payunia: un paisaje lunar en nuestro planeta*. Sitios de Interés Geológico de la República Argentina. Buenos Aires, p. 264- 280.
- Organización Mundial de la Salud (O.M.S.), (2008), *Guías para la Calidad del Agua Potable*, Volumen 1: Recomendaciones, Tercera Edición.
- Scotti, A. y Torres, D.N., 2012, *Caracterización de cenizas del volcán Peteroa*, En José Ruzzante y M. Isabel López Pumarega (eds.) Cuadernos ICES 5, 1ed., Comisión Nacional de Energía Atómica, 70p, Buenos Aires.
- Sruoga, P., 2002. *El volcanismo reciente y riesgo asociado en la provincia de Mendoza*. En Trombotto, D. y Villalba, R. (eds) IANIGLA, 30 años de investigación básica y aplicada en Ciencias Ambientales. 255-260p, Mendoza

Capítulo 2

CALIDAD DEL AGUA

2.1 Introducción

El presente capítulo contiene 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 2.1) durante el ciclo 2018 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 2.1. 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 69° 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 ' 0,1"
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" – O 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"

En la siguiente Figura 2.1 se muestran las estaciones de muestreo de columna líquida correspondientes al Subprograma Calidad del Medio Acuático.



Figura 2.1 - Estaciones de monitoreo del Programa Calidad de Aguas del río Colorado - Subprograma Calidad del Medio Acuático. Estaciones de muestreo de columna líquida.

En relación con la verificación de la aptitud del recurso para ser usado como fuente de agua potable, no disponiéndose de valores guía o de referencia para la calidad del agua de cursos superficiales para ese fin, con validez en las cinco provincias ribereñas, al solo efecto del presente estudio y atento que las condiciones naturales que presentan los cuerpos de agua evaluados (ríos Grande, Barrancas, Colorado no regulado, Colorado regulado y embalse Casa de Piedra) para los parámetros analizados, virtualmente cumplen con los requerimientos de agua potable de la Organización Mundial de la Salud y el Código Alimentario Argentino, se decide utilizar dichos valores guía como elemento comparativo, lo cual indicará eventualmente la necesidad de aplicar al agua cruda, además del tratamiento convencional, un tratamiento corrector adicional de algún parámetro para liberarla al consumo si fuera requerido. Dichas cuestiones son competencia de las provincias ribereñas, las cuales son las dueñas del recurso hídrico y responsables del abastecimiento de agua a las poblaciones.

El actual período de escasez hídrica (2011 – 2018) que se está atravesando en la cuenca presenta algunas diferencias respecto a la serie previa (2001 – 2010):

- Disminución de la concentración de metales/metaloideos.
- Incremento en la concentración de sales (no analizadas como tales en este programa, pero sí evaluadas a través de la conductividad eléctrica medida en campo).

2.2. Metodología de muestreo y mediciones *in situ*

Las muestras de agua fueron extraídas con frecuencia mensual en las estaciones de monitoreo establecidas al efecto (Tabla 2.1). 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 metaloides 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.

2.3. Metodologías analíticas

2.3.1 Análisis de metales y metaloides

Los análisis de metales y metaloides 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 2.2.

Tabla 2.2 - 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 (µg/L)
Arsénico	ICP-MS	SMWW-Método 3125	0,2
Cadmio	ICP-MS	SMWW-Método 3125	0,2
Cinc	ICP-MS	SMWW-Método 3125	0,2
Cobre	ICP-MS	SMWW-Método 3125	0,2
Cromo	ICP-MS	SMWW-Método 3125	0,2
Mercurio	A.A. por vapor frío	EPA 245.1	1
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 - 23 ed.*

2.3.2 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 2.3 de la página siguiente.

2.3 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:

Tabla 2.3 – 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*

- 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*).

2.4 Resultados

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

Tabla 2.4 Parámetros medidos <i>in situ</i> en la Estación CL 0 (Río Barrancas, margen derecha) en el período Enero 2018 - Diciembre 2018.												
Parámetros medidos <i>in situ</i>	Campañas											
	1 (07/01/18)	2 (04/02/18)	3 (04/03/18)	4 (09/04/18)	5 (29/04/18)	6 (27/05/18)	7 (01/07/18)	8 (05/08/18)	9 (02/09/18)	10 (30/09/18)	11 (28/10/18)	12 (02/12/18)
Hora	16:00	15:44	14:56	15:00	15:30	14:40	15:15	15:00	15:30	15:30	15:54	15:00
pH	7,07	7,81	8,10	8,38	8,00	7,97	8,55	8,49	7,26	7,67	7,02	7,44
Temperatura del agua (°C)	22,0	26,0	21,0	16,0	12,0	10,0	5,5	9,0	12,5	12,0	16,0	17,0
Temperatura del aire (°C)	35,0	35,0	31,0	26,0	20,0	17,5	10,0	19,0	20,0	18,0	29,0	26,0
Conductividad específica [μS/cm]	688	1026	913	846	807	816	825	839	815	735	510	457

Tabla 2.5 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 2018 – Diciembre de 2018.

Metal/ metaloides ($\mu\text{g/L}$)	Campañas											
	1 (07/01/18)	2 (04/02/18)	3 (04/03/18)	4 (09/04/18)	5 (29/04/18)	6 (27/05/18)	7 (01/07/18)	8 (05/08/18)	9 (02/09/18)	10 (30/09/18)	11 (28/10/18)	12 (02/12/18)
Arsénico	3,3 \pm 0,2	19 \pm 0,5	4,9 \pm 0,2	2,4 \pm 0,2	1,9 \pm 0,1	2,5 \pm 0,1	2,3 \pm 0,1	2,1 \pm 0,1	1,9 \pm 0,1	2,0 \pm 0,1	1,7 \pm 0,1	1,4 \pm 0,1
Cadmio	<0,2	0,6 \pm 0,06	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Cinc	9,2 \pm 0,9	67 \pm 5	14 \pm 1,4	3,7 \pm 0,3	2,8 \pm 0,2	2,9 \pm 0,3	5,8 \pm 0,6	0,4 \pm 0,04	3,1 \pm 0,4	11 \pm 1	9,7 \pm 1,0	8,1 \pm 0,8
Cobre	2,2 \pm 1,1	11 \pm 0,7	2,7 \pm 0,2	1,4 \pm 0,1	1,2 \pm 0,1	1,3 \pm 0,7	2,6 \pm 0,7	1,2 \pm 0,6	1,9 \pm 0,05	4,0 \pm 0,1	3,2 \pm 0,1	3,0 \pm 0,1
Cromo	1,4 \pm 0,1	2,9 \pm 0,1	1,2 \pm 0,1	0,7 \pm 0,1	0,9 \pm 0,1	1,4 \pm 0,1	1,0 \pm 0,1	0,5 \pm 0,1	0,5 \pm 0,1	1,6 \pm 0,1	1,9 \pm 0,1	0,9 \pm 0,1
Mercurio	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Molibdeno	2,6 \pm 0,1	3,9 \pm 0,2	3,5 \pm 0,2	2,8 \pm 0,2	2,4 \pm 0,2	2,5 \pm 0,1	2,1 \pm 0,1	2,3 \pm 0,1	2,3 \pm 0,1	1,6 \pm 0,1	1,1 \pm 0,1	1,3 \pm 0,1
Níquel	2,9 \pm 0,2	13 \pm 0,7	4,1 \pm 0,2	2,2 \pm 0,2	1,9 \pm 0,1	2,2 \pm 0,1	3,5 \pm 0,1	2,8 \pm 0,2	3,1 \pm 0,2	4,0 \pm 0,2	3,9 \pm 0,2	3,1 \pm 0,2
Plomo	3,7 \pm 0,2	39 \pm 3	7,6 \pm 2,9	17 \pm 0,1	1,1 \pm 0,1	0,8 \pm 0,1	1,5 \pm 0,1	<0,6	0,9 \pm 0,1	2,9 \pm 0,1	2,7 \pm 0,1	2,2 \pm 0,1
Selenio	1,0 \pm 0,1	1,3 \pm 0,1	0,93 \pm 0,09	0,79 \pm 0,09	0,55 \pm 0,09	0,42 \pm 0,11	0,52 \pm 0,11	0,59 \pm 0,11	0,64 \pm 0,1	0,5 \pm 0,1	<0,4	<0,4
Uranio	0,28 \pm 0,02	0,65 \pm 0,04	0,35 \pm 0,02	0,26 \pm 0,02	0,24 \pm 0,02	0,20 \pm 0,02	0,33 \pm 0,02	0,23 \pm 0,02	0,28 \pm 0,02	0,50 \pm 0,03	0,35 \pm 0,02	0,32 \pm 0,02

Tabla 2.6 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 2018 - Diciembre 2018.

HAPs ($\mu\text{g/L}$) ^(*)	Campañas											
	1 (07/01/18)	2 (04/02/18)	3 (04/03/18)	4 (09/04/18)	5 (29/04/18)	6 (27/05/18)	7 (01/07/18)	8 (05/08/18)	9 (02/09/18)	10 (30/09/18)	11 (28/10/18)	12 (02/12/18)
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 2.7 Parámetros medidos *in situ* en la Estación CL 1 (Río Grande, Bardas Blancas, margen derecha aguas arriba del puente de la Ruta Nacional N° 40) en el período Enero 2018 - Diciembre 2018.

Parámetros medidos <i>in situ</i>	Campañas											
	1 (07/01/18)	2 (04/02/18)	3 (04/03/18)	4 (09/04/18)	5 (29/04/18)	6 (27/05/18)	7 (01/07/18)	8 (05/08/18)	9 (02/09/18)	10 (30/09/18)	11 (28/10/18)	12 (02/12/18)
Hora	18:21	18:05	17:20	17:20	18:00	17:08	17:40	17:45	17:42	18:00	18:45	17:00
pH	7,88	7,86	8,41	8,39	8,18	8,01	8,61	8,34	7,28	7,51	7,64	7,28
Temperatura del agua (°C)	20,0	22,5	17,5	14,0	11,0	9,0	5,5	7,0	10,5	7,5	12,0	14,0
Temperatura del aire (°C)	35,0	33,0	31,0	22,0	22,0	20,0	9,0	11,0	19,0	11,0	20,0	24,0
Conductividad específica [µS/cm]	920	1066	1228	1300	1325	1360	1400	1395	1328	1220	736	619

Tabla 2.8 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 2018 – Diciembre de 2018.

Metal/ metaloides ($\mu\text{g/L}$)	Campañas											
	1 (07/01/18)	2 (04/02/18)	3 (04/03/18)	4 (09/04/18)	5 (29/04/18)	6 (27/05/18)	7 (01/07/18)	8 (05/08/18)	9 (02/09/18)	10 (30/09/18)	11 (28/10/18)	12 (02/12/18)
Arsénico	2,0 \pm 0,1	10 \pm 0,3	2,6 \pm 0,1	2,0 \pm 0,2	2,0 \pm 0,1	2,9 \pm 0,1	2,5 \pm 0,1	2,2 \pm 0,1	1,9 \pm 0,1	3,9 \pm 0,2	2,7 \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	6,5 \pm 0,7	14 \pm 1,4	6,2 \pm 0,7	4,0 \pm 0,3	3,0 \pm 0,2	2,7 \pm 0,3	4,5 \pm 0,5	3,4 \pm 0,4	2,6 \pm 0,4	13 \pm 1	13 \pm 1	13 \pm 1,3
Cobre	8,8 \pm 3,8	19 \pm 1,3	7,4 \pm 0,5	5,6 \pm 0,4	5,5 \pm 0,4	6,0 \pm 2,9	5,3 \pm 2,9	7,8 \pm 3,7	5,6 \pm 0,2	12 \pm 1	9,4 \pm 0,4	5,6 \pm 0,2
Cromo	1,1 \pm 0,1	1,9 \pm 0,1	1,0 \pm 0,1	0,7 \pm 0,1	1,0 \pm 0,1	1,1 \pm 0,1	0,8 \pm 0,1	0,6 \pm 0,1	0,4 \pm 0,1	1,8 \pm 0,1	1,9 \pm 0,1	1,0 \pm 0,1
Mercurio	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Molibdeno	1,6 \pm 0,1	1,2 \pm 0,1	1,7 \pm 0,1	1,5 \pm 0,1	1,4 \pm 0,1	1,4 \pm 0,1	1,4 \pm 0,1	1,1 \pm 0,1	1,3 \pm 0,1	1,0 \pm 0,1	0,7 \pm 0,1	<0,6
Níquel	2,3 \pm 0,1	4,8 \pm 0,3	3,3 \pm 0,2	2,9 \pm 0,2	2,7 \pm 0,2	3,4 \pm 0,2	3,7 \pm 0,2	5,4 \pm 0,3	4,8 \pm 0,3	4,2 \pm 0,2	3,9 \pm 0,2	2,8 \pm 0,2
Plomo	<0,6	11 \pm 0,7	0,93 \pm 0,09	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	0,85 \pm 0,09	<0,6	4,2 \pm 0,2	3,1 \pm 0,2	1,5 \pm 0,1
Selenio	0,6 \pm 0,11	1,1 \pm 0,13	0,90 \pm 0,09	0,62 \pm 0,09	0,66 \pm 0,09	0,53 \pm 0,11	0,66 \pm 0,12	0,80 \pm 0,12	0,73 \pm 0,1	0,7 \pm 0,1	<0,4	<0,4
Uranio	0,16 \pm 0,02	0,29 \pm 0,02	0,22 \pm 0,02	0,20 \pm 0,02	0,19 \pm 0,02	<0,2	<0,2	0,20 \pm 0,02	0,20 \pm 0,02	0,39 \pm 0,02	0,26 \pm 0,02	<0,2

Tabla 2.9 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 2018 - Diciembre 2018.

HAPs ($\mu\text{g/L}$) ^(*)	Campañas											
	1 (07/01/18)	2 (04/02/18)	3 (04/03/18)	4 (09/04/18)	5 (29/04/18)	6 (27/05/18)	7 (01/07/18)	8 (05/08/18)	9 (02/09/18)	10 (30/09/18)	11 (28/10/18)	12 (02/12/18)
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 2.10 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 2018 - Diciembre 2018.

Parámetros medidos <i>in situ</i>	Campañas											
	1 (07/01/18)	2 (04/02/18)	3 (04/03/18)	4 (09/04/18)	5 (29/04/18)	6 (27/05/18)	7 (01/07/18)	8 (05/08/18)	9 (02/09/18)	10 (30/09/18)	11 (28/10/18)	12 (02/12/18)
Hora	13:55	13:46	13:15	13:30	13:23	13:11	13:33	13:40	13:10	13:40	13:47	13:24
pH	7,86	7,86	7,98	8,17	7,95	7,98	8,52	8,51	7,45	7,64	7,49	7,45
Temperatura del agua (°C)	21,0	26,0	22,0	18,0	13,0	10,0	8,5	8,0	11,0	11,0	17,5	15,0
Temperatura del aire (°C)	31,5	35,0	29,0	27,0	19,0	15,0	12,0	14,0	21,0	19,0	31,0	26,0
Conductividad específica [µS/cm]	918	1325	1168	1230	1228	1227	1200	1260	1180	1038	760	630

Tabla 2.11 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 2018 - Diciembre 2018.

Metal/ metaloide ($\mu\text{g/L}$)	Campañas											
	1 (07/01/18)	2 (04/02/18)	3 (04/03/18)	4 (09/04/18)	5 (29/04/18)	6 (27/05/18)	7 (01/07/18)	8 (05/08/18)	9 (*) (02/09/18)	10 (30/09/18)	11 (28/10/18)	12 (02/12/18)
Arsénico	2,6 \pm 0,1	72 \pm 1,8	2,8 \pm 0,1	2,3 \pm 0,2	2,0 \pm 0,1	2,7 \pm 0,1	2,6 \pm 0,1	1,6 \pm 0,1	--	3,6 \pm 0,2	5,0 \pm 0,2	1,9 \pm 0,1
Cadmio	<0,2	2,2 \pm 0,11	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	--	<0,2	<0,2	<0,2
Cinc	9,6 \pm 0,9	225 \pm 16	6,4 \pm 0,7	4,0 \pm 0,3	2,4 \pm 0,2	5,2 \pm 0,6	7,0 \pm 0,7	1,1 \pm 0,1	--	19 \pm 2	32 \pm 3	20 \pm 1,9
Cobre	4,1 \pm 2,0	49 \pm 3,4	3,4 \pm 0,2	2,9 \pm 0,3	2,5 \pm 0,2	2,6 \pm 1,3	4,4 \pm 1,3	2,1 \pm 1,1	--	21 \pm 1	26 \pm 1	7,4 \pm 0,3
Cromo	1,2 \pm 0,1	7,1 \pm 0,2	1,1 \pm 0,1	0,7 \pm 0,1	1,1 \pm 0,1	1,2 \pm 0,1	1,0 \pm 0,1	0,5 \pm 0,1	--	2,4 \pm 0,1	4,6 \pm 0,2	1,5 \pm 0,1
Mercurio	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	--	<1	<1	<1
Molibdeno	1,6 \pm 0,1	1,8 \pm 0,1	2,3 \pm 0,1	2,0 \pm 0,1	1,9 \pm 0,1	1,8 \pm 0,1	1,7 \pm 0,1	1,8 \pm 0,1	--	0,8 \pm 0,1	0,9 \pm 0,1	<0,6
Níquel	3,0 \pm 0,2	41 \pm 2	3,7 \pm 0,2	2,8 \pm 0,2	2,7 \pm 0,3	3,2 \pm 0,2	4,0 \pm 0,2	4,1 \pm 0,2	--	7,2 \pm 0,4	12 \pm 1	4,6 \pm 0,3
Plomo	2,1 \pm 0,1	127 \pm 9	1,9 \pm 0,1	0,9 \pm 0,1	<0,6	<0,6	0,96 \pm 0,11	<0,6	--	6,8 \pm 0,3	12 \pm 0,4	3,3 \pm 0,2
Selenio	0,7 \pm 0,12	1,5 \pm 0,14	0,80 \pm 0,08	0,69 \pm 0,08	0,74 \pm 0,08	0,4 \pm 0,11	0,74 \pm 0,12	0,80 \pm 0,12	--	0,4 \pm 0,1	0,41 \pm 0,11	<0,4
Uranio	0,28 \pm 0,06	2,0 \pm 0,09	0,43 \pm 0,03	0,36 \pm 0,03	0,36 \pm 0,03	0,32 \pm 0,02	0,43 \pm 0,03	0,35 \pm 0,02	--	0,76 \pm 0,04	1,00 \pm 0,05	0,34 \pm 0,02

(*) Datos perdidos.

Tabla 2.12 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 2018 - Diciembre 2018.

HAPs ($\mu\text{g/L}$) ^(*)	Campañas											
	1 (07/01/18)	2 (04/02/18)	3 (04/03/18)	4 (09/04/18)	5 (29/04/18)	6 (27/05/18)	7 (01/07/18)	8 (05/08/18)	9 (02/09/18)	10 (30/09/18)	11 (28/10/18)	12 (02/12/18)
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 2.13 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 2018 - Diciembre 2018.

Parámetros medidos <i>in situ</i>	Campañas											
	1 (07/01/18)	2 (04/02/18)	3 (04/03/18)	4 (09/04/18)	5 (29/04/18)	6 (27/05/18)	7 (01/07/18)	8 (05/08/18)	9 (02/09/18)	10 (30/09/18)	11 (28/10/18)	12 (02/12/18)
Hora	12:00	11:52	11:35	11:30	11:30	11:40	11:53	12:00	11:30	12:00	12:12	12:00
pH	8,07	8,04	7,91	8,39	8,64	8,16	8,82	8,53	7,67	7,68	7,46	7,66
Temperatura del agua (°C)	20,0	25,0	20,5	17,0	11,0	8,0	8,0	7,0	10,5	11,0	17,5	15,0
Temperatura del aire (°C)	29,0	32,0	25,0	20,0	14,0	10,0	8,0	10,0	12,0	18,0	27,0	22,0
Conductividad específica [μS/cm]	935	1500	1175	1234	1235	1241	1180	1284	1175	1035	804	580

Tabla 2.14 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 2018 - Diciembre 2018

Metal/ metaloide (µg/L)	Campañas											
	1 (07/01/18)	2 (04/02/18)	3 (04/03/18)	4 (09/04/18)	5 (29/04/18)	6 (27/05/18)	7 (01/07/18)	8 (05/08/18)	9 (02/09/18)	10 (30/09/18)	11 (28/10/18)	12 (02/12/18)
Arsénico	2,0±0,1	19±0,5	3,8±0,2	2,2±0,2	2,0±0,1	2,6±0,1	2,8±0,1	1,3±0,1	2,0±0,1	4,6±0,2	6,1±0,2	2,2±0,1
Cadmio	<0,2	3,6±0,1	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	0,27±0,05	<0,2	<0,2
Cinc	4,8±0,5	195±14	11±1,1	5,6±0,4	2,5±0,2	3,3±0,4	7,5±0,8	<0,2	3,4±0,4	33±3	38±3	17±1,6
Cobre	3,9±1,9	93±6,5	5,1±0,4	2,9±0,3	2,7±0,2	2,7±1,3	6,5±1,3	2,0±1,0	3,5±0,1	19±1	31±1	9,7±0,4
Cromo	1,3±0,1	11±0,3	1,3±0,1	0,7±0,1	1,1±0,1	1,1±0,1	1,2±0,1	0,4±0,1	0,5±0,1	3,3±0,1	4,9±0,2	1,9±0,1
Mercurio	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Molibdeno	1,5±0,1	<0,6	1,9±0,1	2,0±0,1	1,8±0,1	1,8±0,1	1,4±0,1	1,8±0,1	1,8±0,1	0,7±0,1	1,0±0,1	<0,6
Níquel	3,0±0,2	116±8	4,9±0,3	3,0±0,3	2,7±0,3	3,3±0,2	4,6±0,2	3,7±0,2	4,9±0,2	10±1	14±1	5,1±0,3
Plomo	1,1±0,1	32±2	4,5±0,2	1,0±0,1	0,6±0,2	<0,6	1,9±0,11	<0,6	<0,6	10±0,4	15±1	3,8±0,2
Selenio	0,6±0,11	1,1±0,13	0,90±0,09	0,73±0,09	0,69±0,09	0,42±0,11	0,74±0,12	0,75±0,12	0,76±0,1	0,4±0,1	0,47±0,11	<0,4
Uranio	0,30±0,02	6,2±0,26	0,49±0,03	0,36±0,03	0,38±0,03	0,33±0,02	0,48±0,03	0,33±0,02	0,33±0,02	1,0±0,1	1,20±0,06	0,38±0,02

Tabla 2.15 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 2018 - Diciembre 2018

HAPs (µg/L) (*)	Campañas											
	1 (07/01/18)	2 (04/02/18)	3 (04/03/18)	4 (09/04/18)	5 (29/04/18)	6 (27/05/18)	7 (01/07/18)	8 (05/08/18)	9 (02/09/18)	10 (30/09/18)	11 (28/10/18)	12 (02/12/18)
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 2.16 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 2018 - Diciembre 2018.

Parámetros medidos <i>in situ</i>	Campañas											
	1 (08/01/18)	2 (05/02/18)	3 (05/03/18)	4 (10/04/18)	5 (30/04/18)	6 (28/05/18)	7 (02/07/18)	8 (06/08/18)	9 (03/09/18)	10 (01/10/18)	11 (29/10/18)	12 (03/12/18)
Hora	11:00	11:00	10:55	09:05	10:40	10:50	10:30	10:20	10:30	09:50	09:55	09:30
pH	8,00	7,83	8,19	8,42	8,40	8,35	8,53	8,26	7,68	7,68	7,64	7,45
Temperatura del agua (°C)	23,0	26,0	19,0	14,5	11,0	8,5	6,0	7,5	10,5	8,5	18,0	18,0
Temperatura del aire (°C)	31,0	27,0	20,0	15,0	14,0	10,0	5,0	10,0	14,0	9,0	19,0	23,0
Conductividad específica [μS/cm]	960	1470	1228	1265	1284	1278	1267	1328	1235	1157	885	614

Tabla 2.17 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 2018 - Diciembre 2018

Metal/ metaloide ($\mu\text{g/L}$)	Campañas											
	1 (08/01/18)	2 (05/02/18)	3 (05/03/18)	4 (10/04/18)	5 (30/04/18)	6 (28/05/18)	7 (02/07/18)	8 (06/08/18)	9 (03/09/18)	10 (01/10/18)	11 (29/10/18)	12 (03/12/18)
Arsénico	2,6 \pm 0,1	14 \pm 0,4	4,2 \pm 0,2	2,4 \pm 0,2	2,0 \pm 0,1	2,7 \pm 0,1	3,4 \pm 0,1	1,4 \pm 0,1	2,1 \pm 0,1	6,0 \pm 0,3	8,3 \pm 0,3	2,7 \pm 0,1
Cadmio	<0,2	0,5 \pm 0,06	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Cinc	6,1 \pm 0,6	44 \pm 3	13 \pm 1,3	4,5 \pm 0,3	2,8 \pm 0,2	2,2 \pm 0,2	22 \pm 2,0	<0,2	2,7 \pm 0,3	43 \pm 3	45 \pm 3	36 \pm 2,8
Cobre	4,5 \pm 2,2	26 \pm 1,8	5,9 \pm 0,4	2,6 \pm 0,3	1,9 \pm 0,1	2,4 \pm 1,2	8,4 \pm 1,2	2,0 \pm 1,0	3,8 \pm 0,1	27 \pm 1	32 \pm 1	13 \pm 0,5
Cromo	1,5 \pm 0,2	5,4 \pm 0,2	1,4 \pm 0,1	1,4 \pm 0,1	1,1 \pm 0,1	1,3 \pm 0,1	1,7 \pm 0,1	0,4 \pm 0,1	0,5 \pm 0,1	4,4 \pm 0,2	6,3 \pm 0,2	2,3 \pm 0,1
Mercurio	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Molibdeno	1,5 \pm 0,1	0,69 \pm 0,08	1,8 \pm 0,1	2,3 \pm 0,2	2,1 \pm 0,1	2,1 \pm 0,1	1,2 \pm 0,1	2,0 \pm 0,1	1,8 \pm 0,1	0,9 \pm 0,1	1,3 \pm 0,1	<0,6
Níquel	3,5 \pm 0,2	28 \pm 1,4	5,4 \pm 0,3	3,0 \pm 0,3	2,8 \pm 0,3	3,7 \pm 0,2	6,0 \pm 0,2	4,1 \pm 0,2	4,5 \pm 0,2	15 \pm 1	21 \pm 1	7,2 \pm 0,4
Plomo	1,6 \pm 0,1	19 \pm 1,3	5,4 \pm 0,2	0,8 \pm 0,1	<0,6	<0,6	3,1 \pm 0,11	<0,6	0,83 \pm 0,1	14 \pm 1	20 \pm 1	5,9 \pm 0,2
Selenio	0,7 \pm 0,12	1,2 \pm 0,13	0,86 \pm 0,09	0,67 \pm 0,09	0,68 \pm 0,09	0,44 \pm 0,11	0,75 \pm 0,12	0,81 \pm 0,12	0,87 \pm 0,1	0,4 \pm 0,1	0,48 \pm 0,11	<0,4
Uranio	0,40 \pm 0,02	4,2 \pm 0,18	0,62 \pm 0,03	0,37 \pm 0,03	0,46 \pm 0,03	0,50 \pm 0,03	0,70 \pm 0,04	0,46 \pm 0,04	0,40 \pm 0,04	1,4 \pm 0,1	1,87 \pm 0,08	0,57 \pm 0,03

Tabla 2.18 - Concentraciones de hidrocarburos aromáticos polinucleares (µg/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 2018 - Diciembre 2018

HAPs (µg/L) (*)	Campañas											
	1 (08/01/18)	2 (05/02/18)	3 (05/03/18)	4 (10/04/18)	5 (30/04/18)	6 (28/05/18)	7 (02/07/18)	8 (06/08/18)	9 (03/09/18)	10 (01/10/18)	11 (29/10/18)	12 (03/12/18)
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 2.19 Parámetros medidos *in situ* en la Estación CL 5 (Río Colorado, Pasarela Medanito, margen derecha, provincia de Río Negro) en el período Enero 2018 - Diciembre 2018.

Parámetros medidos <i>in situ</i>	Campañas											
	1 (08/01/18)	2 (05/02/18)	3 (05/03/18)	4 (10/04/18)	5 (30/04/18)	6 (28/05/18)	7 (02/07/18)	8 (06/08/18)	9 (03/09/18)	10 (01/10/18)	11 (29/10/18)	12 (03/12/18)
Hora	10:00	10:00	10:00	08:00	09:50	09:45	09:46	09:35	09:50	09:00	09:08	08:50
pH	8,07	7,87	8,24	8,21	8,28	8,06	8,58	8,30	7,65	7,65	7,23	7,67
Temperatura del agua (°C)	23,5	26,0	19,0	16,0	11,0	8,5	6,0	8,0	10,5	8,5	18,0	18,0
Temperatura del aire (°C)	30,0	29,0	21,0	10,0	11,0	8,0	4,0	6,5	11,0	8,0	19,0	21,0
Conductividad específica [μS/cm]	995	1699	1300	1350	1350	1313	1260	1370	1295	1244	934	664

Tabla 2.20 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 2018 – Diciembre 2018

Metal/ metaloides ($\mu\text{g/L}$)	Campañas											
	1 (08/01/18)	2 (05/02/18)	3 (05/03/18)	4 (10/04/18)	5 (30/04/18)	6 (28/05/18)	7 (02/07/18)	8 (06/08/18)	9 (03/09/18)	10 (01/10/18)	11 (29/10/18)	12 (03/12/18)
Arsénico	2,9 \pm 0,1/ 2,9 \pm 0,1	21 \pm 0,4/ 21 \pm 0,4	4,3 \pm 0,2/ 4,5 \pm 0,2	2,6 \pm 0,2/ 2,6 \pm 0,2	2,0 \pm 0,1/ 2,0 \pm 0,1	2,7 \pm 0,1 2,6 \pm 0,1	3,8 \pm 0,1/ 3,8 \pm 0,1	1,5 \pm 0,1/ 1,4 \pm 0,1	2,1 \pm 0,1/ 2,1 \pm 0,1	4,0 \pm 0,2/ 3,8 \pm 0,2	7,0 \pm 0,2/ 2,3 \pm 0,1	3,4 \pm 0,2/ 3,5 \pm 0,2
Cadmio	<0,2/<0,2	1,0 \pm 0,08/ 1,0 \pm 0,08	<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
Cinc	16 \pm 1,6/ 9,6 \pm 0,9	79 \pm 6/ 79 \pm 6	13 \pm 1,3/ 13 \pm 1,3	5,1 \pm 0,4/ 4,9 \pm 0,4	2,1 \pm 0,2/ 2,9 \pm 0,2	6,3 \pm 0,7/ 4,7 \pm 0,5	11 \pm 1,1/ 11 \pm 1,1	5,5 \pm 0,6/ 2,1 \pm 0,2	4,4 \pm 0,5/ 2,9 \pm 0,3	21 \pm 2/ 35 \pm 3	35 \pm 3/ 39 \pm 3	28 \pm 2,4/ 43 \pm 3,1
Cobre	5,7 \pm 2,7/ 6,1 \pm 2,9	43 \pm 3/ 45 \pm 3	7,1 \pm 0,5/ 7,3 \pm 0,5	2,7 \pm 0,3/ 1,7 \pm 0,1	1,9 \pm 0,1/ 1,9 \pm 0,1	2,3 \pm 1,1/ 2,2 \pm 1,1	8,6 \pm 1,1/ 8,2 \pm 1,1	2,3 \pm 1,1/ 2,2 \pm 1,1	3,8 \pm 0,1/ 3,7 \pm 0,1	14 \pm 1/ 14 \pm 1	26 \pm 1/ 25 \pm 1	15 \pm 0,6/ 16 \pm 0,6
Cromo	1,6 \pm 0,1/ 1,6 \pm 0,1	7,4 \pm 0,2/ 7,8 \pm 0,2	1,5 \pm 0,1/ 1,5 \pm 0,1	1,2 \pm 0,1/ 1,1 \pm 0,1	1,1 \pm 0,1/ 1,1 \pm 0,1	1,2 \pm 0,1/ 1,1 \pm 0,1	2,0 \pm 0,1/ 2,5 \pm 0,1	0,5 \pm 0,1/ 0,5 \pm 0,1	0,5 \pm 0,1/ 0,5 \pm 0,1	2,6 \pm 0,1/ 2,5 \pm 0,1	4,8 \pm 0,2/ 5,8 \pm 0,2	3,1 \pm 0,1/ 3,2 \pm 0,1
Mercurio	<1/<1	<1/<1	<1/<1	<1/<1	<1/<1	<1/<1	<1/<1	<1/<1	<1/<1	<1/<1	<1/<1	<1/<1
Molibdeno	1,6 \pm 0,1/ 1,5 \pm 0,1	1,3 \pm 0,1/ 1,1 \pm 0,1	2,0 \pm 0,1/ 2,1 \pm 0,1	2,4 \pm 0,2/ 2,4 \pm 0,2	2,3 \pm 0,1/ 2,3 \pm 0,1	2,3 \pm 0,1/ 2,2 \pm 0,1	1,2 \pm 0,1/ 1,4 \pm 0,1	2,1 \pm 0,1/ 2,1 \pm 0,1	2,0 \pm 0,1/ 2,0 \pm 0,1	1,1 \pm 0,1/ 1,1 \pm 0,1	1,4 \pm 0,1/ 0,8 \pm 0,1	<0,6 /<0,6
Níquel	4,2 \pm 0,2/ 4,2 \pm 0,2	57 \pm 3/ 57 \pm 3	5,7 \pm 0,3/ 5,8 \pm 0,3	3,6 \pm 0,3/ 3,7 \pm 0,3	2,9 \pm 0,3/ 2,8 \pm 0,3	3,5 \pm 0,2/ 3,5 \pm 0,2	7,2 \pm 0,2/ 6,7 \pm 0,2	4,9 \pm 0,3/ 4,7 \pm 0,3	5,4 \pm 0,2/ 5,3 \pm 0,2	8,1 \pm 0,4/ 7,4 \pm 0,4	15 \pm 1/ 16 \pm 1	9,9 \pm 0,5/ 11 \pm 0,6
Plomo	2,3 \pm 0,1/ 2,4 \pm 0,1	29 \pm 2/ 28 \pm 2	5,2 \pm 0,2/ 5,4 \pm 0,2	1,0 \pm 0,1/ 1,1 \pm 0,1	<0,6/<0,6	<0,6/<0,6	4,2 \pm 0,11/ 4,1 \pm 0,11	<0,6 /<0,6	0,81 \pm 0,1/ 0,83 \pm 0,1	5,9 \pm 0,2/ 5,6 \pm 0,2	16 \pm 1/ 16 \pm 1	7,9 \pm 0,3/ 8,0 \pm 0,3
Selenio	0,7 \pm 0,12/ 0,5 \pm 0,11	1,4 \pm 0,14/ 1,5 \pm 0,14	0,85 \pm 0,09/ 0,85 \pm 0,09	0,77 \pm 0,09/ 0,81 \pm 0,09	0,72 \pm 0,09/ 0,66 \pm 0,09	0,50 \pm 0,11/ <0,4	0,79 \pm 0,12/ 0,66 \pm 0,12	0,86 \pm 0,12/ 0,88 \pm 0,12	0,79 \pm 0,1/ 0,75 \pm 0,1	0,6 \pm 0,1/ 0,5 \pm 0,1	0,44 \pm 0,11/ 0,45 \pm 0,11	<0,4/<0,4
Uranio	0,50 \pm 0,05/ 0,50 \pm 0,03	5,6 \pm 0,24/ 5,8 \pm 0,24	0,78 \pm 0,04/ 0,80 \pm 0,04	0,60 \pm 0,04/ 0,59 \pm 0,04	0,60 \pm 0,04/ 0,59 \pm 0,04	0,62 \pm 0,03/ 0,61 \pm 0,04	0,92 \pm 0,05/ 0,89 \pm 0,04	0,60 \pm 0,03/ 0,58 \pm 0,03	0,53 \pm 0,03/ 0,63 \pm 0,03	1,0 \pm 0,1/ 1,0 \pm 0,1	1,62 \pm 0,07/ 1,63 \pm 0,07	0,76 \pm 0,04/ 0,79 \pm 0,04

Tabla 2.21 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 2018 - Diciembre 2018

HAPs ($\mu\text{g/L}$) ^(*)	Campañas											
	1 (08/01/18)	2 (05/02/18)	3 (05/03/18)	4 (10/04/18)	5 (30/04/18)	6 (28/05/18)	7 (02/07/18)	8 (06/08/18)	9 (03/09/18)	10 (01/10/18)	11 (29/10/18)	12 (03/12/18)
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 2.22 Parámetros medidos *in situ* en la Estación CL 6 (en la descarga del embalse Casa de Piedra, margen derecha) en el período Enero 2018 – Diciembre 2018

Parámetros medidos <i>in situ</i>	Campañas											
	1 (08/01/18)	2 (05/02/18)	3 (05/03/18)	4 (10/04/18)	5 (30/04/18)	6 (28/05/18)	7 (02/07/18)	8 (06/08/18)	9 (03/09/18)	10 (01/10/18)	11 (29/10/18)	12 (03/12/18)
Hora	13:30	13:04	12:44	10:45	12:48	12:40	12:30	12:15	12:23	12:00	11:53	11:15
pH	7,83	7,81	8,18	8,36	8,41	8,30	8,35	8,31	7,71	7,71	7,71	7,44
Temperatura del agua (°C)	22,0	23,5	22,0	18,0	16,0	13,5	9,0	8,0	9,5	12,0	15,5	19,0
Temperatura del aire (°C)	37,0	38,5	26,0	20,0	19,0	17,0	6,0	15,0	14,0	17,0	24,5	28,0
Conductividad específica [μS/cm]	1253	1210	1235	1301	1310	1315	1330	1330	1344	1363	1350	1298

Tabla 2.23 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 2018 - Diciembre 2018.

Metal/ metaloides ($\mu\text{g/L}$)	Campañas											
	1 (08/01/18)	2 (05/02/18)	3 (05/03/18)	4 (10/04/18)	5 (30/04/18)	6 (28/05/18)	7 (02/07/18)	8 (06/08/18)	9 (03/09/18)	10 (01/10/18)	11 (29/10/18)	12 (03/12/18)
Arsénico	2,7 \pm 0,1	2,7 \pm 0,1	2,6 \pm 0,1	2,6 \pm 0,2	2,5 \pm 0,2	3,3 \pm 0,2	2,9 \pm 0,2	1,8 \pm 0,1	2,2 \pm 0,1	2,2 \pm 0,1	2,7 \pm 0,1	1,9 \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	5,0 \pm 0,5	1,9 \pm 0,2	2,1 \pm 0,2	2,3 \pm 0,2	2,9 \pm 0,2	1,4 \pm 0,2	1,2 \pm 0,2	<0,2	1,0 \pm 0,1	4,0 \pm 0,4	2,2 \pm 0,2	3,4 \pm 0,4
Cobre	1,4 \pm 0,2	1,3 \pm 0,1	1,2 \pm 0,1	1,3 \pm 0,1	1,2 \pm 0,1	1,4 \pm 0,7	1,4 \pm 0,7	1,2 \pm 0,6	1,8 \pm 0,05	0,6 \pm 0,1	<0,2	1,1 \pm 0,1
Cromo	1,1 \pm 0,1	0,9 \pm 0,1	0,9 \pm 0,1	0,9 \pm 0,1	0,9 \pm 0,1	0,9 \pm 0,1	0,5 \pm 0,1	<0,4	0,3 \pm 0,1	<0,2	1,5 \pm 0,1	0,5 \pm 0,1
Mercurio	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Molibdeno	3,6 \pm 0,2	3,9 \pm 0,2	3,8 \pm 0,2	3,7 \pm 0,3	3,5 \pm 0,3	4,1 \pm 0,2	4,1 \pm 0,2	3,6 \pm 0,2	3,3 \pm 0,2	4,0 \pm 0,2	4,0 \pm 0,2	3,3 \pm 0,2
Níquel	3,6 \pm 0,2	3,6 \pm 0,2	3,4 \pm 0,2	3,2 \pm 0,2	2,8 \pm 0,2	4,2 \pm 0,2	3,9 \pm 0,2	5,3 \pm 0,3	5,3 \pm 0,2	2,6 \pm 0,2	2,8 \pm 0,2	2,4 \pm 0,2
Plomo	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6
Selenio	0,8 \pm 0,11	0,89 \pm 0,12	0,85 \pm 0,09	0,86 \pm 0,09	0,81 \pm 0,09	0,45 \pm 0,11	0,84 \pm 0,11	0,91 \pm 0,12	0,86 \pm 0,1	0,7 \pm 0,1	0,64 \pm 0,11	<0,4
Uranio	0,77 \pm 0,04	0,83 \pm 0,04	0,83 \pm 0,04	0,77 \pm 0,04	0,76 \pm 0,04	0,91 \pm 0,05	0,91 \pm 0,05	0,84 \pm 0,04	0,86 \pm 0,04	0,9 \pm 0,1	0,90 \pm 0,05	0,78 \pm 0,04

Tabla 2.24 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 2018 - Diciembre 2018.

HAPs ($\mu\text{g/L}$) ^(*)	Campañas											
	1 (08/01/18)	2 (05/02/18)	3 (05/03/18)	4 (10/04/18)	5 (30/04/18)	6 (28/05/18)	7 (02/07/18)	8 (06/08/18)	9 (03/09/18)	10 (01/10/18)	11 (29/10/18)	12 (03/12/18)
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 2.25 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 2018 - Diciembre 2018.

Parámetros medidos <i>in situ</i>	Campañas											
	1 (09/01/18)	2 (06/02/18)	3 (06/03/18)	4 (12/04/18)	5 (01/05/18)	6 (29/05/18)	7 (03/07/18)	8 (07/08/18)	9 (04/09/18)	10 (02/10/18)	11 (30/10/18)	12 (04/12/18)
Hora	11:40	15:00	12:35	14:00	13:50	15:00	12:50	15:55	11:20	13:50	11:45	14:10
pH	7,65	7,89	7,94	8,44	8,30	8,08	8,30	8,02	7,69	7,67	7,71	7,25
Temperatura del agua (°C)	25,0	26,0	23,0	16,0	14,0	12,0	5,5	11,0	12,0	14,0	21,5	23,5
Temperatura del aire (°C)	33,0	26,0	25,5	16,0	14,0	17,0	4,0	12,0	17,5	15,5	22,0	26,5
Conductividad específica [μ S/cm]	1358	1280	1300	1350	1487	1760	1777	1615	1426	1400	1424	1446

Tabla 2.26 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 2018 - Diciembre 2018.

Metal/ metaloides ($\mu\text{g/L}$)	Campañas											
	1 (09/01/18)	2 (06/02/18)	3 (06/03/18)	4 (12/04/18)	5 (01/05/18)	6 (29/05/18)	7 (03/07/18)	8 (07/08/18)	9 (04/09/18)	10 (02/10/18)	11 (30/10/18)	12 (04/12/18)
Arsénico	3,1 \pm 0,1	3,1 \pm 0,1	2,7 \pm 0,1	2,6 \pm 0,2	2,5 \pm 0,2	3,2 \pm 0,2	2,8 \pm 0,2	2,5 \pm 0,2	2,2 \pm 0,1	2,6 \pm 0,1	2,8 \pm 0,1	2,4 \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	5,3 \pm 0,6	3,7 \pm 0,4	5,5 \pm 0,6	2,7 \pm 0,3	2,5 \pm 0,2	1,9 \pm 0,2	2,4 \pm 0,3	1,3 \pm 0,14	1,5 \pm 0,2	3,1 \pm 0,3	3,5 \pm 0,4	11 \pm 1,1
Cobre	2,6 \pm 1,3	2,3 \pm 0,2	1,7 \pm 0,1	1,8 \pm 0,1	1,7 \pm 0,1	1,9 \pm 0,9	1,6 \pm 0,8	2,2 \pm 1,1	2,3 \pm 0,1	1,3 \pm 0,1	1,4 \pm 0,1	2,8 \pm 0,1
Cromo	1,2 \pm 0,1	1,0 \pm 0,1	0,9 \pm 0,1	0,9 \pm 0,1	1,0 \pm 0,1	1,1 \pm 0,1	0,7 \pm 0,1	<0,4	0,4 \pm 0,1	1,1 \pm 0,1	1,5 \pm 0,1	0,8 \pm 0,1
Mercurio	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Molibdeno	3,5 \pm 0,2	3,8 \pm 0,2	3,8 \pm 0,2	3,8 \pm 0,3	4,0 \pm 0,3	5,5 \pm 0,2	5,1 \pm 0,2	4,5 \pm 0,2	3,4 \pm 0,2	4,2 \pm 0,2	4,3 \pm 0,2	3,1 \pm 0,2
Níquel	3,3 \pm 0,2	3,9 \pm 0,2	3,6 \pm 0,2	3,5 \pm 0,2	3,4 \pm 0,3	5,1 \pm 0,3	4,6 \pm 0,3	6,6 \pm 0,4	6,3 \pm 0,3	3,3 \pm 0,2	3,6 \pm 0,2	3,0 \pm 0,2
Plomo	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	0,9 \pm 0,1
Selenio	0,82 \pm 0,12	0,94 \pm 0,12	0,67 \pm 0,07	0,85 \pm 0,07	0,74 \pm 0,07	0,58 \pm 0,11	0,92 \pm 0,11	1,3 \pm 0,13	0,85 \pm 0,1	0,7 \pm 0,1	0,63 \pm 0,11	<0,4
Uranio	0,86 \pm 0,04	0,89 \pm 0,04	0,89 \pm 0,04	0,91 \pm 0,05	1,0 \pm 0,05	1,4 \pm 0,07	1,3 \pm 0,06	1,1 \pm 0,05	0,97 \pm 0,05	1,1 \pm 0,1	1,09 \pm 0,05	0,95 \pm 0,05

Tabla 2.27 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 2018 - Diciembre 2018.

HAPS ($\mu\text{g/L}$) (*)	Campañas											
	1 (09/01/18)	2 (06/02/18)	3 (06/03/18)	4 (12/04/18)	5 (01/05/18)	6 (29/05/18)	7 (03/07/18)	8 (07/08/18)	9 (04/09/18)	10 (02/10/18)	11 (30/10/18)	12 (04/12/18)
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 2.28 Parámetros medidos *in situ* en la Estación CL 10 (Río Colorado, El Gualicho, margen derecha), en el período Enero 2018 - Diciembre 2018.

Parámetros medidos <i>in situ</i>	Campañas											
	1 (09/01/18)	2 (06/02/18)	3 (06/03/18)	4 (12/04/18)	5 (01/05/18)	6 (29/05/18)	7 (03/07/18)	8 (07/08/18)	9 (04/09/18)	10 (02/10/18)	11 (30/10/18)	12 (04/12/18)
Hora	10:30	15:50	11:42	14:38	12:55	15:51	11:55	16:35	10:30	14:35	11:45	14:40
pH	8,05	7,68	8,19	8,00	8,23	7,99	8,27	8,02	7,64	7,66	7,71	7,49
Temperatura del agua (°C)	25,0	26,0	22,0	16,0	14,0	12,5	5,5	11,0	12,0	14,0	20,5	24,0
Temperatura del aire (°C)	28,0	26,0	24,0	17,0	18,0	15,0	4,0	12,0	16,5	18,0	22,5	27,0
Conductividad específica [μS/cm]	1392	1318	1320	1390	1505	1805	1807	1682	1437	1428	1441	1505

Tabla 2.29 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 2018 - Diciembre 2018.

Metal/ metaloides ($\mu\text{g/L}$)	Campañas											
	1 (09/01/18)	2 (06/02/18)	3 (06/03/18)	4 (12/04/18)	5 (01/05/18)	6 (29/05/18)	7 (03/07/18)	8 (07/08/18)	9 (04/09/18)	10 (02/10/18)	11 (30/10/18)	12 (04/12/18)
Arsénico	2,8 \pm 0,1	3,1 \pm 0,1	2,8 \pm 0,1	2,6 \pm 0,2	2,3 \pm 0,2	3,2 \pm 0,2	2,8 \pm 0,2	1,8 \pm 0,2	2,2 \pm 0,1	2,6 \pm 0,1	<0,2	2,4 \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	3,6 \pm 0,4	3,8 \pm 0,4	3,0 \pm 0,3	2,9 \pm 0,3	2,0 \pm 0,1	1,8 \pm 0,2	1,1 \pm 0,1	1,1 \pm 0,12	1,8 \pm 0,2	4,6 \pm 0,5	5,2 \pm 0,6	4,2 \pm 0,5
Cobre	3,1 \pm 1,5	2,1 \pm 0,2	1,7 \pm 0,1	1,7 \pm 0,1	1,3 \pm 0,1	1,8 \pm 0,9	1,6 \pm 0,8	1,5 \pm 0,8	2,3 \pm 0,1	1,6 \pm 0,1	2,1 \pm 0,1	2,3 \pm 0,1
Cromo	1,2 \pm 0,1	1,0 \pm 0,1	0,9 \pm 0,1	1,3 \pm 0,1	1,0 \pm 0,1	1,1 \pm 0,1	0,7 \pm 0,1	<0,4	0,4 \pm 0,1	1,1 \pm 0,1	1,8 \pm 0,1	0,6 \pm 0,1
Mercurio	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Molibdeno	3,8 \pm 0,2	3,9 \pm 0,2	3,8 \pm 0,2	4,1 \pm 0,3	4,0 \pm 0,3	5,7 \pm 0,2	5,3 \pm 0,2	5,3 \pm 0,2	3,4 \pm 0,2	4,3 \pm 0,2	4,5 \pm 0,2	3,6 \pm 0,2
Níquel	3,5 \pm 0,2	4,2 \pm 0,2	3,9 \pm 0,2	3,3 \pm 0,2	3,1 \pm 0,2	5,1 \pm 0,3	4,8 \pm 0,3	6,6 \pm 0,4	6,6 \pm 0,4	3,1 \pm 0,2	3,7 \pm 0,2	3,0 \pm 0,2
Plomo	1,2 \pm 0,2	0,6 \pm 0,1	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6
Selenio	0,72 \pm 0,12	0,89 \pm 0,12	0,78 \pm 0,08	0,80 \pm 0,08	0,85 \pm 0,08	0,78 \pm 0,12	0,95 \pm 0,12	1,3 \pm 0,13	0,86 \pm 0,1	0,7 \pm 0,1	0,74 \pm 0,12	<0,4
Uranio	0,91 \pm 0,05	0,92 \pm 0,05	0,92 \pm 0,05	0,92 \pm 0,05	0,97 \pm 0,05	1,5 \pm 0,07	1,3 \pm 0,06	1,1 \pm 0,05	1,0 \pm 0,05	1,1 \pm 0,1	1,14 \pm 0,05	1,0 \pm 0,05

Tabla 2.30 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 2018 - Diciembre 2018.

HAPS ($\mu\text{g/L}$) ^(*)	Campañas											
	1 (09/01/18)	2 (06/02/18)	3 (06/03/18)	4 (12/04/18)	5 (01/05/18)	6 (29/05/18)	7 (03/07/18)	8 (07/08/18)	9 (04/09/18)	10 (02/10/18)	11 (30/10/18)	12 (04/12/18)
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 2.31 – Resumen estadístico de las concentraciones registradas de metales/metaloideos durante el ciclo 2018.

	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 (%)	99	6,5	96,3	99,0	0	94,4	100	51,4	89,7	97,2	87,9
Mínimo (µg/L)	<0,2	<0,2	<0,4	<0,2	<0,2	<0,6	1,9	<0,6	<0,4	<0,2	<0,2
Máximo (µg/L)	72 ^(*)	3,6 ^(*)	195 ^(*)	93,0 ^(*)		5,7	116 ^(*)	127 ^(*)	1,5 ^(*)	6,2 ^(*)	225 ^(*)
Media (µg/L)							6,8				
Mediana (µg/L)	2,6	<0,2	1,1	2,6	<0,2	2,1	3,9	0,8	0,7	0,6	4,2
Percentil 75 (µg/L)	3,1	<0,2	1,5	6,3	<0,2	3,7	5,2	3,1	0,9	0,9	11
Percentil 95 (µg/L)	9,5	0,2	5,2	26,7	<0,2	4,5	15,4	18,4	1,2	1,6	43,7

(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 febrero de 2018, efectuado en ocasión de un evento extraordinario de precipitación en la alta cuenca, el cual determinó aportes extras por escorrentía de los elementos investigados particularmente notables a partir de la estación CL 2 y detectables hasta la estación CL 5. Los valores de percentil 95 (P₉₅) ponen de manifiesto el carácter atípico de estos registros.

2.4.2 Referencias utilizadas para la evaluación de la calidad del agua para diferentes usos

2.4.2.1 Metales/Metaloides

Los resultados obtenidos en el análisis de metales y metaloides en muestras de agua fueron evaluados tomando como referencia valores guía que definen la aptitud del agua para diferentes usos previstos en la Cuenca como son: riego, ganadería y como medio apto para el desarrollo de la vida acuática (Tabla 2.32).

En relación con la calidad de las fuentes de agua potable, tal como se expresó y fundamentó en la Introducción del presente capítulo, se dan como referencia los valores guía de la OMS para el agua de bebida que figuran en la Tabla 2.32.

Para el caso de riego y ganadería y para la protección de la vida acuática se usan los valores guía propuestos en Canadian Environmental Quality Guidelines (CCME 2005, 2006, 2011, 2014) los cuales se muestran en la Tabla 2.32.

Tabla 2.32 - Valores guía para diferentes usos del agua

Parámetro	Valor guía (µg/L)			
	Agua Potable ⁽¹⁾	Irrigación ⁽²⁾	Ganadería ⁽³⁾	Vida acuática ⁽⁴⁾
Arsénico	10	100	25	5
Cadmio	3	5,1	80	0,37
Cinc	⁽⁵⁾	1.000-5.000 ⁽⁶⁾	50.000	7 ^(**)
Cobre	2.000	200 -1.000 ⁽⁷⁾	500-1.000-5.000 ⁽⁸⁾	4 ^(*)
Cromo	50 ⁽⁹⁾	4,9-8,0 ⁽¹⁰⁾	50 ⁽¹¹⁾	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⁾ *Guidelines for Drinking Water Quality WHO (2011)*; ⁽²⁾ CCME, (2005) *Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Agricultural Uses – Irrigation*; ⁽³⁾ CCME, (2005) *Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Agricultural Uses – Livestock*; ⁽⁴⁾ CCME, (2006, 2011) *Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life*; ⁽⁵⁾ 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 4.000 µg/L imparten al agua sabor objetable; ⁽⁶⁾ 1.000 µg/L cuando el pH del suelo es <6,5, 5.000 µg/L cuando el pH del suelo es >6,5; ⁽⁷⁾ 200 µg/L para cereales; 1000 µg/L para cultivos tolerantes; ⁽⁸⁾ 500 µg/L para ovinos, 1000 µg/L para bovinos, 5.000 µg/L para porcinos; ⁽⁹⁾ Para cromo total; ⁽¹⁰⁾ 4,9 µg/L para cromo total, 8,0 para cromo trivalente; ⁽¹¹⁾ 50 µg/L para cromo trivalente y hexavalente; ⁽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.

2.4.2.2 Hidrocarburos

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 2.33.

Tabla 2.33 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, y en base al mismo criterio empleado para los metales/metaloideos, los resultados obtenidos fueron contrastados con el valor guía para el agua de bebida 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).

2.4.3 Calidad del agua para los diferentes usos - Discusión

Metales/Metaloides

En base a los resultados obtenidos se observó que excepcionalmente los niveles de arsénico, cadmio y plomo superaron el valor guía para agua potable (Tablas 2.31 y 2.32) en algunas estaciones ubicadas aguas abajo del embalse Casa de Piedra.

Las detecciones aisladas de arsénico, cadmio 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.

Las concentraciones de arsénico superaron el correspondiente valor guía en 5 del total de 107 muestras analizadas. Esto ocurrió en el mes febrero de 2018 en las estaciones CL 0, CL 2, CL 3, CL 4-a y CL 5. En la estación CL 1, la concentración hallada fue de 10±0,3 µg/L, en consecuencia, en función de la incertidumbre de la medición, el valor guía (10 µg/L) podría haber sido superado muy ligeramente. En el 95% del total de las muestras la concentración hallada fue de 9,5 µg/L o menos (P₉₅).

El valor guía de cadmio ($3 \mu\text{g/L}$) fue superado en una sola oportunidad en la estación CL 3 en el mes de febrero, siendo la concentración registrada $3,6 \pm 0,1 \mu\text{g/L}$.

Las concentraciones de plomo en el mes de febrero superaron el valor guía en 5 de las 107 muestras analizadas (4,7 %). Dichas muestras correspondían a las estaciones CL 0, CL 1, CL 2, CL 3, CL 4-a y CL 5. En un caso (estación CL 3 en el mes de octubre), en función de la incertidumbre de la medición, no es posible establecer si el valor hallado ($10 \pm 0,4 \mu\text{g/L}$) excedió o no el correspondiente valor guía. En el 75% de las muestras (P_{75}) la concentración de esta sustancia fue menor o igual a $3,1 \mu\text{g/L}$ (valor guía $10 \mu\text{g/L}$).

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

Para la protección de la vida acuática, el valor guía de arsénico fue superado en 10 de las 107 muestras analizadas (9,3 %). Esto tuvo lugar en las estaciones CL 0, CL 1 y CL 2 (febrero), CL3 y CL 5 (febrero y noviembre) y CL 4-a (febrero, octubre y noviembre). En dos oportunidades (marzo en la estación CL 0 y noviembre en la estación CL 2), las concentraciones halladas ($4,9 \pm 0,2 \mu\text{g/L}$ y $5,0 \pm 0,2$ respectivamente), dada la incertidumbre asociada a la medición, no fue posible establecer si fue excedido levemente o no el mencionado valor guía. El 75% de dichas muestras presentó un valor de arsénico de $3,1 \mu\text{g/L}$ o menor (P_{75}) y el 95% de $9,5 \mu\text{g/L}$ o menor (P_{95}).

El cadmio fue detectado en concentraciones que superaron el valor guía para la protección de la vida acuática en 5 muestras sobre un total de 107 (4,7%), en el mes de febrero en las estaciones CL 0, CL 2, CL 3, CL 4-a y CL 5. En el 75% de las muestras (P_{75}) el nivel fue inferior al límite de cuantificación alcanzable por el laboratorio ($0,2 \mu\text{g/L}$), en tanto que en el 95% (P_{95}) fue igual o menor a $0,2 \mu\text{g/L}$.

Los niveles de cinc superaron el valor guía para la protección de la vida acuática en 35 de las 107 muestras analizadas (32,7 %), en las estaciones CL 0 (enero, febrero, marzo, octubre, noviembre y diciembre), CL1 (febrero, octubre, noviembre y diciembre), CL 2 (enero, febrero, octubre, noviembre y diciembre), CL 3 (febrero, marzo, julio, octubre, noviembre y diciembre) y CL 4-a (febrero, marzo, julio, octubre, noviembre y diciembre), CL 5 (enero, febrero, marzo, julio, octubre, noviembre y diciembre) y CL 10-a (diciembre). En cuatro ocasiones, dada la incertidumbre asociada a la medición, existió la posibilidad de que el mencionado valor guía haya sido muy levemente excedido. En el 75% del total de las muestras la concentración hallada fue $11,0 \mu\text{g/L}$ o menor (P_{75}) frente a un valor guía de $7 \mu\text{g/L}$.

El cobre superó el valor guía para la protección de la vida acuática en 32 de las 107 muestras analizadas (29,9 %). En nueve oportunidades, en función de la incertidumbre de la medición, no pudo establecerse si dicho valor guía fue excedido o no en alguna medida. En el 75 % de las muestras la concentración hallada fue 6,3 µg/L o menor (P_{75}), frente a un valor guía de 4 µg/L.

El valor guía para la protección de la vida acuática para cromo hexavalente fue superado en diversas oportunidades, en otras ocasiones, debido a la incertidumbre asociada a la medición, no es posible establecer si dicho valor guía fue alcanzado o ligeramente superado. Sólo en una oportunidad fue excedido el valor guía para cromo trivalente (estación CL 3, febrero). 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 1,5 µg/L o menor (P_{75}) frente a un valor guía de 1,0 µg/L (cromo hexavalente).

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 otros metales/metaloideos fue evaluada mediante la realización de ensayos ecotoxicológicos con agua.

Los niveles de molibdeno y uranio fueron en todos los casos inferiores al respectivo valor guía para la protección de la vida acuática.

Las concentraciones de níquel halladas (máximo 116 µg/L) fueron en todos los casos inferiores al valor guía para la protección de la vida acuática (150 µg/L), siendo el 95% de las veces 15,4 µg/L o menos (P_{95}).

El valor guía para plomo fue superado en 14 oportunidades, lo cual tuvo lugar en las estaciones CL 0, CL 1, CL 2, CL 3, CL 4-a y CL 5, registrándose el máximo (127 ± 9 µg/L) en el mes de febrero en la estación CL 2. En una oportunidad (marzo en la estación CL 0), dada la incertidumbre asociada a la medición, no se pudo establecer si el valor guía fue excedido o no. Llamamos la atención las detecciones aisladas de plomo en las estaciones CL 10-a (diciembre) y CL 10 (enero y febrero).

Los niveles de selenio superaron ligeramente el valor guía para la protección de la vida acuática en cuatro oportunidades (estaciones CL 0, CL 2, CL 4-a y CL 5) en el mes de febrero. En seis ocasiones, el valor hallado fue igual o ligeramente inferior a dicho valor guía, pero dada la incertidumbre asociada a la medición, no puede descartarse que también el mismo haya sido escasamente excedido. En dos casos, el valor hallado fue superior al valor guía, pero debido a la incertidumbre asociada no puede excluirse la posibilidad de que dicho valor no haya sido excedido.

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. La variación temporal de los niveles de ciertos metales/metaloides en agua sugiere que su origen estaría vinculado al arrastre de material particulado por la escorrentía superficial producida por la fusión nival y lluvias.

A este fenómeno se deberían los elevados niveles de metales/metaloides observados en el mes de febrero, los cuales son atribuibles a lluvias en la cuenca del río Grande, que habrían determinado el marcado incremento de caudal (de alrededor de 10 m³/s) registrado en las fechas en las que se efectuaron los muestreos (4 y 5 de febrero), el cual fue acompañado por un significativo aumento de la turbiedad del agua.

El vínculo existente entre las concentraciones halladas para los distintos metales/metaloides con el contenido de material particulado, explicaría la marcada disminución que sufren las mismas aguas abajo de Casa de Piedra (a partir de la estación CL 6), hecho atribuible a la retención por sedimentación en este cuerpo de agua de las mencionadas formas particuladas. 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.

2.5 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 2018, Subprograma Calidad del Medio Acuático - Informe de Resultados, Noviembre de 2018).

Las muestras de agua para ensayos ecotoxicológicos fueron extraídas en el río Colorado en el mes de Octubre de 2018, 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 2.34 se indican las estaciones de muestreo y su ubicación geográfica.

Tabla 2.34 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 de inhibición del crecimiento algal 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 sobrevivencia y la reproducción.

2.5.1 Ensayos con *Daphnia magna*

2.5.1.1 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 2.35. 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 2.35 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 2018. Los resultados representan el promedio de tres réplicas por tratamiento y control.

Muestra	Supervivencia (%)	$F^{(1)}$ ($\alpha = 0,05$)	$b^{(2)}$
Control ⁽³⁾	96,67		
Desfiladero Bayo (CL3)	96,67	23	29
Punto Unido (CL 4)	93,33	23	28

⁽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 23. El valor de b para las muestras es 29. Si b 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 23. El valor de b para las muestras es 28. Si b 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 2.36. Se indican los valores medios y la desviación estándar de las tasas netas de reproducción registradas, al cabo de 21 días de exposición, a cada una de las muestras y controles, considerando tres réplicas por tratamiento.

Tabla 2.36 - 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 2018, 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	78,8333 (±3,0892)
Desfiladero Bayo (CL 3)	81,0000 (±4,6357)
Punto Unido (CL 4)	79,5000 (±1,3115)

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.

2.5.1.2 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.

2.5.2 Ensayos con *Pseudokirchneriella subcapitata*

2.5.2.1 Resultados

En la tabla 2.37 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 2.37 - 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.

Muestra	Densidad celular (células/ml x 10 ⁶)	Clorofila <i>a in vivo</i> (µg/L)	% Inhibición
Control	2,14(±0,1)	39,6(±3,5)	-
Desfiladero Bayo (CL 3)	1,85(±1,6)	34,3(±3,0)	12
Punto Unido (CL 4)	2,03(±0,1)	37,6(±2,0)	5

En la Tabla 2.38 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 2.38 - 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.

Muestra	Densidad celular (células/ml x 10 ⁶)	Clorofila <i>a in vivo</i> (µg/L)
Control	2,14(±0,1)	39,6(±3,5)
Desfiladero Bayo (CL 3)	1,53(±0,3)	28,3(±2,0)
Punto Unido (CL 4)	1,58(±0,1)	29,3(±1,5)

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 2.37).

Las muestras sin enriquecer (NE) permitieron el crecimiento algal, representado alrededor del 70% de la biomasa observada en los cultivos controles.

Este desarrollo significa que las muestras presentan una concentración de nutrientes que permiten desarrollo algal, sin llegar a los valores óptimos observados en los controles (Tabla 2.38). Ambas muestras no contienen sustancias que inhiben el crecimiento, ya que el agregado de las sales nutritivas permitió un desarrollo de la población algal con densidades similares a los controles.

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).

2.6 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 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.

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, por haber sido superado un valor guía para la protección de la vida acuática o por no haberse desarrollado aún dicho valor guía.

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), 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 3

CALIDAD DE LOS

SEDIMENTOS DE FONDO

3.1 Introducción

El presente capítulo contiene los resultados de los análisis de metales/metaloides, 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 3.1) 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.

3.2 Estaciones de monitoreo

Tabla 3.1 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	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"

En la Figura 3.1 se muestran las estaciones de monitoreo de sedimentos correspondientes al Subprograma Calidad del Medio Acuático.



Figura 3.1 – Estaciones de monitoreo de sedimentos de fondo en el río Colorado y en el embalse Casa de Piedra correspondientes al Subprograma Calidad del Medio Acuático.

En la siguiente Figura 3.2 se muestra en detalle la localización de los sitios de muestreo en el embalse Casa de Piedra.

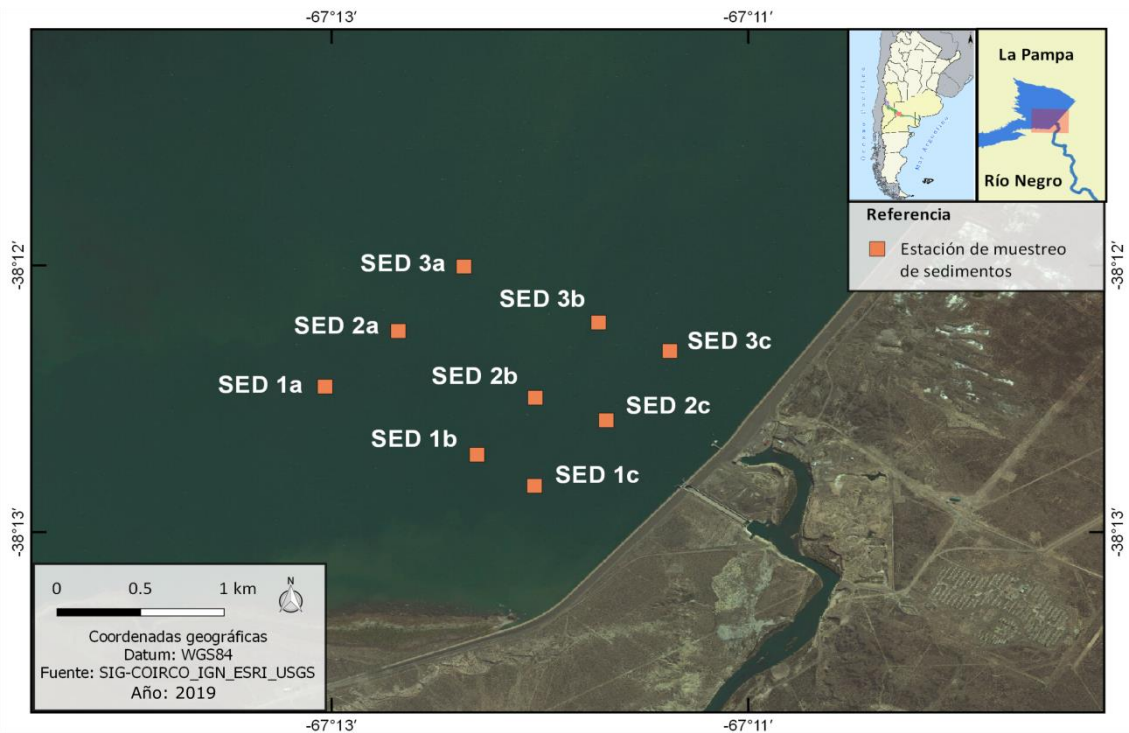


Figura 3.2 – Estaciones de muestreo de sedimentos de fondo en el embalse Casa de Piedra.

3.3 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 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.

3.4 Metodologías analíticas

3.4.1 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 3.2.

Tabla 3.2 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 7471B	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.

3.4.2 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 3.3

Tabla 3.3 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		

3.5 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*).

3.6 Resultados

3.6.1 Análisis químico

3.6.1.1 Metales y metaloides

Tabla 3.4 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 (Septiembre 2018)

Metales/metaloides ($\mu\text{g/g}$)	
Arsénico	8,3
Bario	530
Boro	45
Cadmio	2,5
Cinc	65
Cobre	21
Cromo	21
Mercurio	<0,05
Molibdeno	<0,5
Níquel	13
Plata	<1
Plomo	13
Selenio	<0,5
Vanadio	137

Tabla 3.5 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 (Septiembre 2018)

Metales/ metaloides ($\mu\text{g/g}$)	Transectas								
	1a	1b	1c	2a	2b	2c	3a	3b	3c
Arsénico	8,6	8,8	9,1	9,5	10	8,7	13	12	9,5
Bario	221	199	211	222	232	219	223	223	226
Boro	75	56	66	74	69	67	76	75	71
Cadmio	3,0	2,6	2,7	3,0	2,9	3,0	3,2	3,3	3,1
Cinc	65	57	60	66	65	67	69	72	67
Cobre	32	28	30	32	32	33	33	34	32
Cromo	26	20	22	25	25	25	27	27	25
Mercurio	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,07	<0,05	<0,05	<0,05
Molibdeno	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Níquel	10	10	9,8	10	9,4	10	9,9	11	9,8
Plata	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Plomo	10	8,8	7,9	11	10	8,6	9,3	9,4	7,0
Selenio	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Vanadio	200	165	177	198	198	193	217	220	207

3.6.1.2 Hidrocarburos aromáticos polinucleares (HAPs)

Tabla 3.6 HAPs en sedimentos de fondo ($\mu\text{g/g}$ peso seco) en el río Colorado, aguas abajo de Puesto Hernández (Septiembre 2018)

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

3.7 Valores guía

Las siguientes tablas 3.8 y 3.9 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 3.8 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 3.9 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

3.8 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 arsénico y cadmio cuyos niveles, tanto en el río y como en el embalse, superaron el respectivo valor guía en todos los sitios muestreados, pero en ningún caso alcanzaron el nivel de efecto probable. Se observó la presencia de mercurio en uno de los sitios muestreados en el embalse, aunque su concentración fue inferior al valor guía, en tanto que molibdeno, plata y selenio no fueron detectados en ninguna oportunidad en el río ni 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.

3.9 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.

Para evaluar la significación de las concentraciones halladas de arsénico y cadmio que superaron el correspondiente valor guía y la de otros metales y metaloides, para los cuales aún no ha sido desarrollado dicho valor, 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 3.10.

3.10 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 2018, Subprograma Calidad del Medio Acuático - Informe de Resultados, Noviembre de 2018).

Tabla 3.10 Estaciones de muestreo de sedimentos de fondo

Estación de muestreo	Coordenadas geográficas
Río Colorado, aguas abajo de Puesto Hernández	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"

No pudo efectuarse el muestreo en los sitios ubicados en la cola del embalse por no haber agua en esa zona.

3.10.1 Ensayos con *Hyalella curvispina*

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

3.10.1.1 Resultados

Tabla 3.11 Porcentajes de mortalidad y valores de la longitud total media observados como resultado de la exposición durante 10 días de una población de *Hyalella curvispina* a muestras de sedimento entero (100%) obtenidas aguas abajo de Puesto Hernández y en las estaciones Toma (2c y 3a) en el mes de Septiembre de 2018.

Muestra	Sobrevivencia (%)	c.v.	Crecimiento (μm)	s	c.v.
Control ¹	95	10,53	1280	136,59	10,67
Puesto Hernández	47,5*	20,16	640*	124,10	19,39
Toma del embalse Casa de Piedra (2c)	92,5	5,41	1217,5	92,51	7,60
Toma del embalse Casa de Piedra (3a)	90	12,83	1189	136,08	11,45

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 $p < 0,05$.

3.10.1.2 Discusión

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

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

3.10.2 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*.

3.10.2.1 Resultados

Tabla 3.12 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 (Septiembre de 2018). 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	12,6 (±1,7)	296,4 (±4,2)
Puesto Hernández	11,3 (±1,9)	287,2 (±0,7)
Toma del embalse 2c	12,0 (±0,9)	294,5 (±7,5)
Toma del embalse 3a	11,4 (±0,06)	288,5 (±2,5)

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.

3.10.2.2 Discusión

Los valores reportados en la Tabla 3.11 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 del embalse 2c, Toma del embalse 3a y Puesto Hernández (ANOVA "test" de Dunnett, $p < 0,05$). Los resultados de clorofila *a* se correspondieron con los resultados anteriores.

3.10.3 Evaluación de las actividades enzimáticas de guaiacol peroxidasa y catalasas sobre *Vallisneria spiralis*.

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

3.10.3.1 Resultados

En las Tablas 3.13 y 3.14 se muestran los resultados obtenidos en la evaluación de las actividades enzimáticas de guaiacol peroxidasa y catalasas en ejemplares de *Vallisneria spiralis* expuestas a sedimentos extraídos en el río Colorado y en el embalse Casa de Piedra.

3.10.3.1.1 Evaluación de la actividad de guaiacol peroxidasa

En la Tabla 3.13 figuran los resultados obtenidos en la evaluación de la actividad de guaiacol peroxidasa en ejemplares de *Vallisneria spiralis* expuestos a sedimentos enteros extraídos en el río Colorado y en el embalse Casa de Piedra.

Tabla 3.13 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 (Septiembre de 2018).

Muestra	Actividad guaiacol peroxidasa (mM Guaiacol/min/mg proteína)	Actividad (Unidades enzimáticas) ²
Control ¹	0,84 ($\pm 0,05$)	71 ($\pm 4,8$)
Puesto Hernández	0,82 ($\pm 0,02$)	69 ($\pm 2,2$)
Toma del embalse 2c	0,82 ($\pm 0,02$)	69 ($\pm 2,2$)
Toma del embalse 3a	0,78 ($\pm 0,06$)	67 ($\pm 5,4$)

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 3.13 permiten observar la ausencia de diferencias significativas (ANOVA de un factor con test de Dunnett, $p < 0,05$) entre los valores de la actividad guaiacol peroxidasa en las hojas de las plantas incubadas en las muestras de sedimento entero provenientes de los sitios río Colorado (aguas abajo de Puesto Hernández, Toma del Embalse 2c y Toma del embalse 3a), respecto de los controles en sedimento estándar.

3.10.3.1.2 Evaluación de la actividad de catalasas

Los resultados obtenidos en la evaluación de la actividad de catalasa en ejemplares de *Vallisneria spiralis* expuestos a sedimentos enteros extraídos en el río Colorado y en el embalse Casa de Piedra se muestran en la Tabla 3.14.

Tabla 3.14 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 (Septiembre de 2018).

Muestra	Actividad catalasas (mM H ₂ O ₂ /min/mg proteína)	Actividad (Unidades enzimáticas) ²
Control ¹	107,0 (±9,9)	12,8 (±1,1)
Puesto Hernández	93,8 (±4,3)	11,1 (±0,5)
Toma del embalse 2c	90,2 (±9,5)	10,1 (±1,0)
Toma del embalse 3a	94,7 (±4,1)	11,1 (±0,5)

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 3.14 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 río Colorado (aguas abajo de Puesto Hernández, Toma del Embalse 2c y Toma del embalse 3a), respecto de los controles en sedimento estándar.

Las plantas incubadas en los sedimentos provenientes de los sitios antes señalados presentaron un crecimiento y actividades enzimáticas para ambas enzimas evaluadas no diferentes de las plantas controles. Por lo tanto, estas muestras no afectaron los parámetros estudiados.

3.11 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 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 en el río Colorado aguas abajo de Puesto Hernández, (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*, considerado como estimador 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 en el río Colorado, aguas abajo de Puesto Hernández y en el embalse Casa de Piedra en los sitios Toma del embalse 2c y 3a. (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 en el río Colorado, aguas abajo de Puesto Hernández y en el embalse Casa de Piedra en los sitios Toma del embalse 2c y 3a (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 en el río Colorado, aguas abajo de Puesto Hernández y en el embalse Casa de Piedra en los sitios Toma de Embalse 2c y 3a, (ANOVA-Dunnett $p > 0,05$).

En la Tabla 3.15 se presenta un resumen de los resultados obtenidos en los ensayos ecotoxicológicos llevados a cabo con muestras extraídas en el río Colorado (aguas debajo de Puesto Hernández) y en sitios de la toma del embalse Casa de Piedra.

Tabla 3.15 – Resumen de resultados de los ensayos ecotoxicológicos con sedimentos de fondo extraídos en el río Colorado y en el embalse Casa de Piedra

Organismo	Variable	Sitio		
		Río Colorado	Embalse Casa de Piedra	
			2c	3a
<i>Hyalella curvispina</i>	Sobrevivencia	positivo	negativo	negativo
	Crecimiento	positivo	negativo	negativo
<i>Vallisneria spiralis</i>	Crecimiento	negativo	negativo	negativo
	Clorofila	negativo	negativo	negativo
	Catalasas	negativo	negativo	negativo
	Peroxidasas	negativo	negativo	negativo

3.12 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 arsénico y cadmio en concentraciones que superaron el valor guía para la protección de la vida acuática, pudiendo significar un riesgo para el desarrollo normal de la misma.

La evaluación a través de ensayos ecotoxicológicos de la significación de los niveles de arsénico y cadmio detectados en los sedimentos de fondo extraídos en el río Colorado (Puesto Hernández) y en embalse Casa de Piedra, los cuales superaron el valor guía para la protección de la vida acuática para ambos elementos (no así el respectivo nivel de efecto probable), puso de manifiesto que dichos niveles no determinaron efectos adversos en *Vallisneria spiralis* ni tampoco efectos significativos sobre las actividades de los biomarcadores guaiacolperoxidasa y catalasa, empleados para la detección temprana de efectos ecotóxicos en el ambiente.

Contrariamente, en los sedimentos de fondo del río Colorado (Puesto Hernández), se observaron efectos ecotóxicos significativos sobre *Hyalella curvispina* en las dos variables evaluadas (sobrevivencia y crecimiento), hecho que no fue observado en el embalse Casa de Piedra.

A partir de los resultados antes señalados se pudo establecer como conclusión que los sedimentos de fondo del embalse Casa de Piedra, en los sitios examinados, no representaban 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, a partir de los resultados contradictorios obtenidos en las variables estudiadas en *Hyalella curvispina*, en el presente ciclo y en ciclos anteriores, deberán continuar siendo evaluados (investigando por ejemplo otros sitios de acumulación de sedimentos en esa área) a fin de poder arribar a una conclusión definitiva.

Referencias

- CCME, 2014, *Canadian Environmental Quality Guidelines - Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life*.
- ISO (International Organization for Standardization)/IEC (*International Electrotechnical Commission*), 2005, *General requirements for the competence of testing and calibration laboratories*.
- Di Marzio, WD; Sáenz ME; Alberdi, JL and Tortorelli, MC, 1999, *Assessment of the Toxicity of Stabilized Sludges using Hyalella curvispina (Amphipod) Bioassays. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, Vol. 63 (5): 654-659.*
- US EPA, 1996, *Ecological Effects Test Guidelines, OPPTS 850.1735, Whole Sediment Toxicity Invertebrates, Freshwater, Office of Prevention, Pesticides and Toxic Substances, 7101, EPA 712-C-96-354.*
- U.S. EPA, 2000, *Methods for Measuring the Toxicity and Bioaccumulation of Sediment-associated Contaminants with Freshwater Invertebrates. Duluth, Mn, EPA 600/R-99/064.*

Capítulo 4

EVALUACIÓN DE SUSTANCIAS TÓXICAS EN MÚSCULO DE PECES

4.1 Introducción

En el presente capítulo se informan los resultados de los análisis de metales/metaloides 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.

4.2 Estaciones de monitoreo

En la Tabla 4.1 se indican las estaciones de monitoreo de peces y su ubicación geográfica.

Tabla 4.1 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, 2016 y 2017. 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.

En la Figura 4.1 de la página siguiente se muestran las zonas de captura de peces correspondientes al Subprograma Calidad del Medio Acuático.



Figura 4.1 – Zonas de captura de peces correspondientes al Subprograma Calidad del Medio Acuático.

4.3 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 realizan 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 obtuvo solo una captura de un ejemplar de perca bocona mediante pesca eléctrica. No se obtuvieron capturas con red de voleo, debido a los grandes caudales del río y a la nula visibilidad asociada a los mismos.

En el embalse Casa de Piedra se capturaron 36 ejemplares de pejerrey bonaerense y 8 de carpa. Para extraer las muestras de músculo dorsal se seleccionaron 10 pejerreyes y las 8 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.

4.4 Metodologías analíticas

4.4.1 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 4.2.

Tabla 4.2 - 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 ($\mu\text{g/g}$)
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.

4.4.2 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 4.3

Tabla 4.3 - 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		

4.5 Resultados

4.5.1 Metales/metaloideos

En las Tablas 4.4 y 4.5 se muestran los resultados obtenidos en el análisis de metales/metaloideos en el músculo dorsal de las diferentes especies de peces capturadas en el río Colorado y en el embalse Casa de Piedra.

Tabla 4.4 Concentraciones de metales y metaloideos ($\mu\text{g/g}$, peso húmedo) halladas en el músculo dorsal de perca bocona capturada en el río Colorado (Puesto Hernández) – Septiembre de 2018.

Metal/metaloide ($\mu\text{g/g}$)	Perca bocona (1)
Arsénico	<0,2
Antimonio	<0,2
Bario	<0,2
Cadmio	<0,1
Cinc	4,1 \pm 0,3
Cobre	<0,5
Cromo	<0,2
Hierro	5,2 \pm 0,4
Mercurio	0,17 \pm 0,03
Molibdeno	<0,2
Níquel	<0,2
Plata	<0,3
Plomo	3,7 \pm 0,2
Selenio	<0,4

Tabla 4.5 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) - Septiembre de 2018.

Metal/metaloide ($\mu\text{g/g}$)	Pejerrey bonaerense (10)	Carpa (8)
Arsénico	<0,2	<0,2
Antimonio	<0,2	<0,2
Bario	<0,2	<0,2
Cadmio	<0,1	<0,1
Cinc	4,6 \pm 0,3	5,0 \pm 0,4
Cobre	<0,5	<0,5
Cromo	<0,2	<0,2
Hierro	11 \pm 0,8	9,0 \pm 0,6
Mercurio	0,14 \pm 0,03	0,11 \pm 0,02
Molibdeno	<0,2	<0,2
Níquel	<0,2	<0,2
Plata	<0,3	<0,3
Plomo	1,2 \pm 0,1	1,3 \pm 0,1
Selenio	<0,4	0,60 \pm 0,04

4.5.2 HAPs

En las Tablas 4.6 y 4.7 se muestran los resultados obtenidos en el análisis de HAPs en el músculo dorsal de las diferentes especies de peces capturadas en el río Colorado y en el embalse Casa de Piedra.

Tabla 4.6 Concentraciones de HAPs ($\mu\text{g/g}$, peso húmedo) halladas en el músculo dorsal de perca bocona capturada en el río Colorado (Puesto Hernández) - Septiembre de 2018.

HAPs ($\mu\text{g/g}$)	Perca bocona (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 4.7 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 Septiembre de 2018.

HAPs ($\mu\text{g/g}$)	Pejerrey bonaerense (10)	Carpa (8)
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

4.6 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 2019), los cuales se muestran en la Tabla 4.8 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 4.8 – Límites máximos de tolerancia para contaminantes inorgánicos en peces y productos de la pesca (SENASA y Código Alimentario Argentino)

Metal/metaloides	Límite ($\mu\text{g/g}$) ^(1, 2)
Antimonio	20
Arsénico	1
Bario	500
Boro	100
Cadmio	5
Cinc	100
Cobre	10
Cromo	-
Hierro	500
Mercurio	0,5 ^(*)
Molibdeno	-
Níquel	150
Plata	1
Plomo	20
Selenio	0,3

⁽¹⁾ Resolución ex SENASA N° 533, 10/05/94 – Capítulo XXIII – Productos de la pesca – Tolerancia en el tenor de diversas sustancias. ⁽²⁾ ANMAT, 2019, 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 (Código Alimentario Argentino - Capítulo VI – Alimentos Cárneos y Afines: (Res 846, 30.7.76).

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).

4.7 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, cobre, cromo, molibdeno, níquel ni plata.

En los ejemplares capturados, tanto en el río como en el embalse, los niveles hallados de mercurio, cinc, hierro y plomo fueron inferiores a sus respectivos límites para el consumo humano.

La concentración de selenio hallada en ejemplares de carpa capturados en el embalse casa de Piedra superó el correspondiente límite. No obstante, de acuerdo con los límites para el consumo de pescado basados en el riesgo (US EPA 2000), el nivel hallado permite un consumo irrestricto. En el resto de las especies capturadas no hubo detección de selenio.

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), 2019, Código Alimentario Argentino, Capítulo VI – Alimentos Cárneos y Afines – Actualización 04/2019.

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

SENASA (Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria) 1994, Res. ex-SENASA N° 533 del 10/05/94, Capítulo XXIII, Productos de la pesca – Tolerancia en el tenor de diversas sustancias.

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

A partir de los resultados obtenidos en la ejecución del Subprograma Calidad del Medio Acuático en el curso del año 2018, han sido extraídas 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 dan sustento a estas observaciones, indicando la ausencia de efectos tóxicos sobre variables medidas en un microcrustáceo (*Daphnia magna*) y un alga *Chlorophyta* (*Pseudokirchneriella subcapitata*).

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 constituyeron las concentraciones de arsénico y cadmio, tanto en el río Colorado como en el embalse, aunque en ningún caso superaron el nivel de efecto probable. La presencia de este elemento es atribuida a una fuente natural vinculada a la litología de la alta cuenca.

Los ensayos ecotoxicológicos, realizados con dos organismos de prueba (*Hyalella curvispina* y *Vallisneria spiralis*) arrojaron resultados opuestos en la estación Puesto Hernández y negativos para ambos organismos de ensayo 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 la salud humana a través del consumo de pescado.

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/metaloides 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/metaloides 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 opuestos observados con los sedimentos del área de Puesto Hernández. Sería recomendable extender la evaluación a otros sitios de acumulación de sedimentos en esa zona, poniendo especial atención en las condiciones ambientales de esa matriz.
- Continuar con el monitoreo de sustancias tóxicas en músculo de peces, a fin de contar con información actualizada sobre la variación temporal de los contenidos de metales/metaloides y HAPs en esta matriz 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.

