

PROGRAMA INTEGRAL DE CALIDAD DE AGUAS DEL RÍO COLORADO

SUBPROGRAMA CALIDAD DEL MEDIO ACUÁTICO

INFORME FINAL

AÑO 2019

**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 2019

SUBPROGRAMA CALIDAD DEL MEDIO ACUÁTICO

AUTOR

Bioq. Ricardo Alcalde



Aprobado por el Comité Ejecutivo del COIRCO, en reunión ordinaria mensual, celebrada el 1 de junio de 2021, con la presencia de los representantes provinciales y del representante de la Nación, en ejercicio de la Presidencia. 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 Argentina SRL; Medanito SA;
Petróleos Sudamericanos; San Jorge Petroleum SA; Compañía General de Combustibles SA y
Vista Oil & Gas Argentina SA.

Índice

Capítulo 1 – Introducción	1
1.1 Introducción	3
1.2 La Cuenca del río Colorado	5
1.2.1 Características del río Colorado	5
1.2.2 Aspectos hidrológicos	6
1.2.3 Registros de lluvias en la cuenca	9
1.2.4 Usos del agua en la cuenca	10
1.2.5 Actividad petrolera en la cuenca del río Colorado	11
1.3 Programa integral de calidad de aguas	11
1.3.1 Subprograma histórico de monitoreo de calidad de aguas	12
1.3.1.1 Conductividad eléctrica	14
1.3.1.2 Sólidos disueltos totales y iones mayoritarios	15
1.3.2 Subprograma de Calidad del Medio Acuático	25
1.3.2.1 Ciclo 2019	28
Referencias	30
Capítulo 2 - Calidad del agua	31
2.1 Introducción	33
2.2 Metodología de muestreo y mediciones <i>in situ</i>	35
2.3 Metodologías analíticas	36
2.3.1 Análisis de metales y metaloides	36
2.3.2 Análisis de hidrocarburos aromáticos polinucleares (HAPs)	37
2.3.3 Ensayos ecotoxicológicos con agua	38
2.4 Resultados	39
2.4.1 Parámetros medidos <i>in situ</i> , metales/metaloides e hidrocarburos aromáticos polinucleares (HAPs)	40
2.4.2 Valores guía	66
2.4.3 Discusión	68
2.5 Ensayos ecotoxicológicos	69
2.5.1 Ensayos con <i>Daphnia magna</i>	70
2.5.1.1 Resultados	70
2.5.2 Ensayos con <i>Pseudokirchneriella subcapitata</i>	72
2.5.2.1 Resultados	72
2.6 Conclusiones	74
Referencias	75
Capítulo 3 - Calidad de los sedimentos de fondo	76
3.1 Introducción	78
3.2 Estaciones de monitoreo	78
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	81
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	Discusión.....	88
3.9	Ensayos ecotoxicológicos crónicos con sedimentos de fondo	88
3.9.1	Ensayos con <i>Hyalella curvispina</i>	88
3.9.1.1	Resultados.....	89
3.9.1.2	Discusión.....	89
3.9.2	Ensayos con <i>Vallisneria spiralis</i>	89
3.9.2.1	Resultados.....	90
3.9.2.2	Discusión.....	90
3.9.3	Evaluación de las actividades enzimáticas de guaiacol peroxidasa y catalasas sobre <i>Vallisneria spiralis</i> expuesta al sedimento entero.....	90
3.9.3.1	Resultados.....	90
3.9.3.1.1	Evaluación de la actividad de guaiacol peroxidasa	91
3.9.3.1.2	Evaluación de la actividad de catalasas.....	92
3.4	Conclusiones generales	92
	Referencias.....	94

Capítulo 4 - Evaluación de sustancias tóxicas en músculo de peces 95

4.1	Introducción	97
4.2	Estaciones de monitoreo	97
4.3	Métodos de captura y obtención de las muestras	97
4.4	Metodologías analíticas	99
4.4.1	Análisis de metales y metaloides	99
4.4.2	Análisis de hidrocarburos aromáticos polinucleares	100
4.5	Resultados.....	101
4.5.1	Metales/metaloides	101
4.5.2	HAPs	103
4.6	Límites para el consumo humano	105
4.7	Conclusiones generales	106
	Referencias.....	107

Conclusiones y Recomendaciones 108

	Conclusiones.....	110
	Recomendaciones.....	111

Glosario..... 112

	Bibliografía	116
--	--------------------	-----

Capítulo 1

Introducción

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 Secretaria 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" 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.

Por otro lado, 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

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

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 Habilitación 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. 1.2) a 835 msnm 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 142,5 m³/s para el período 1941 – 2019 (Secretaría de Infraestructura y Política Hídrica de la Nación).

El embalse Casa de Piedra, divide la cuenca en un tramo no regulado, compuesto por las cuencas de los ríos Grande, Barrancas y la Cuenca Alta del Río Colorado; y un tramo regulado aguas abajo del embalse conformado por la Cuenca Media/Baja del Río Colorado.



Fig. 1.2 – 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 29,8 m³/s para el período 1960 – 2019 (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 92,1 m³/s para el período 1972-2019 (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 – 2019, el derrame medio anual es de 4.495 hm³, equivalente a un caudal módulo de 142,5 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 1.3, de la página siguiente, se visualiza la distribución de la mencionada serie, actualizada al 31 de diciembre 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).

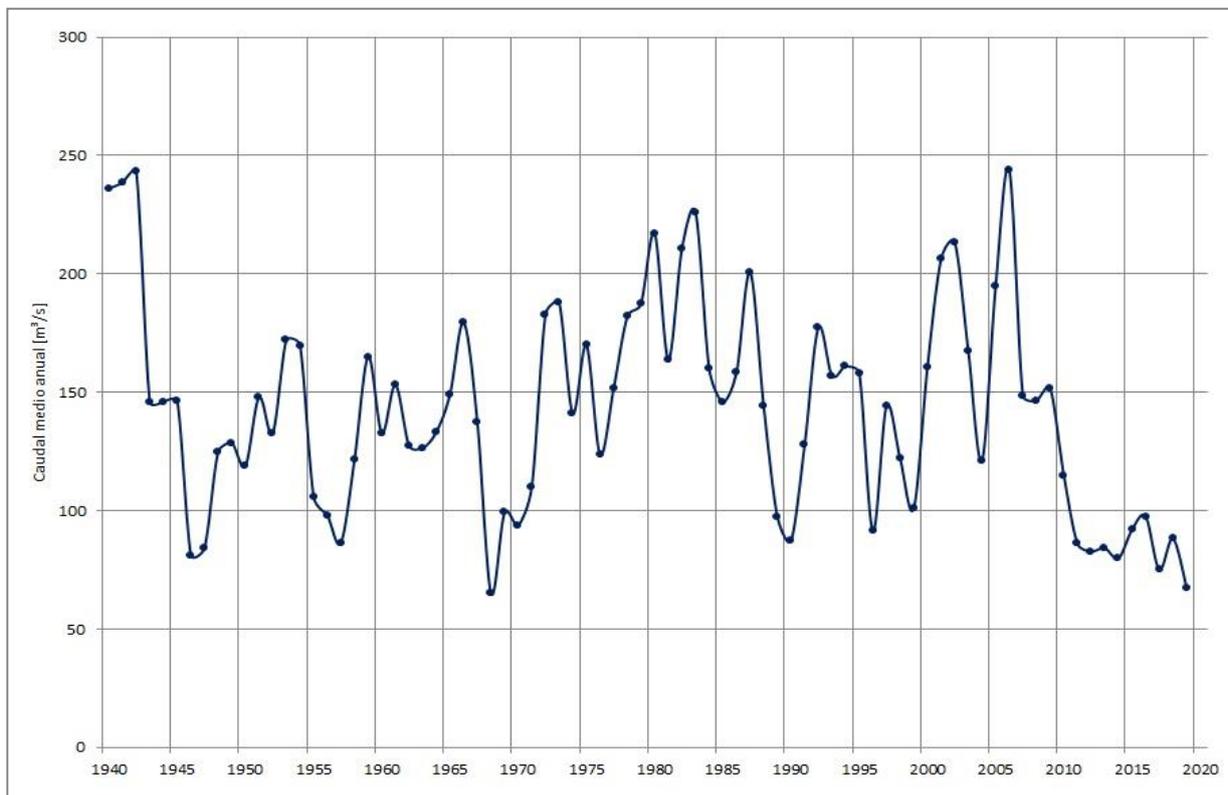


Fig. 1.3 - Caudal medio anual para la serie 1940 – 2019 del río Colorado en la estación de aforos de Buta Ranquil (Fuente de información: Secretaria de Infraestructura y Política Hídrica de la Nación).

Desde junio 2010 se está atravesando un período de escasez hídrica (Figura 1.3), y con mayor detalle se puede apreciar en la Figura 1.4

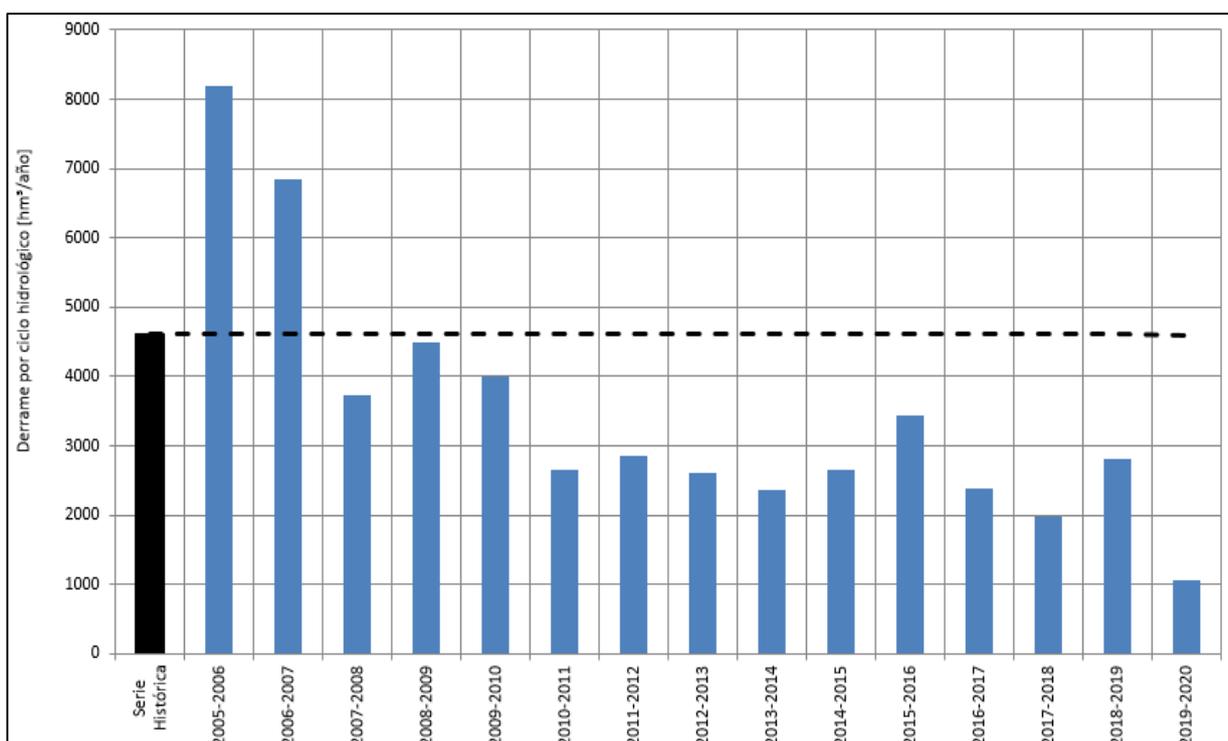


Figura 1.4 - Derrames por ciclo hidrológico del río Colorado en la Estación Buta Ranquil, período 2005 - 2019. Comparación con serie histórica.

El derrame medio escurrido en los últimos 10 ciclos fue de 2.481 hm³, equivalente al 54% de la media de la serie histórica cuyos registros tienen inicio en junio 1940.

En la Tabla 1.1 y en la Figura 1.5, se indican los valores de caudales máximo, promedio y mínimo mensual para el año 2019 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 2019.

Buta Ranquil- Caudales mensuales Año 2019 [m ³ /s]												
	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Máximo	140	105	63	54	61	55	51	61	83	89	135	83
Promedio	119	74	57	47	54	53	50	51	57	71	103	66
Mínimo	108	63	53	45	50	47	48	49	51	57	71	56

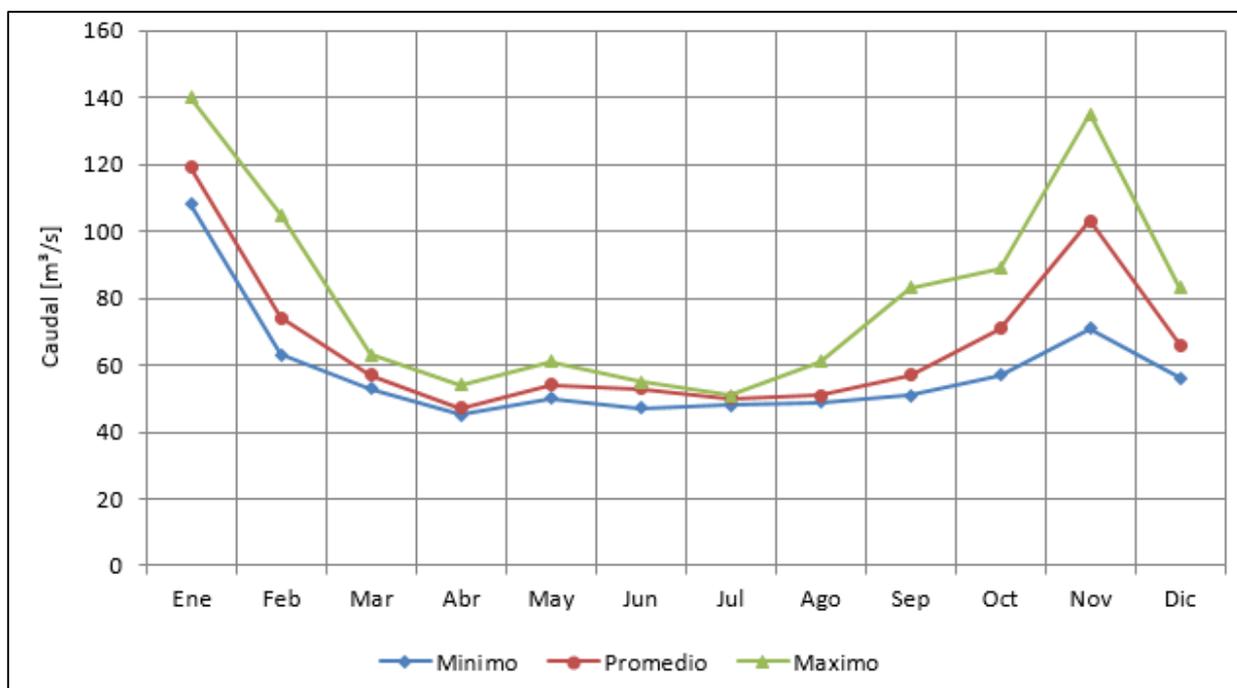


Figura 1.5 - Caudales en el Río Colorado, estación Buta Ranquil durante el año 2019.

El caudal máximo diario se produjo en el mes de enero con 140 m³/s, en correspondencia a la finalización del proceso de fusión nival. El caudal medio mensual fue de aproximadamente 67 m³/s, lo que implica que el derrame para el año 2019 fue de 2108 hm³.



Figura 1.6 - 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, en el año 2019 se tomó nuevamente 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. Atendiendo a la reducción de la reserva del embalse, y de los antecedentes de años previos, se optó por alcanzar la erogación de 15 m³/s. 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 los 99 días que duró la veda de riego, del 23 de abril al 1º de agosto, el nivel del embalse pasó de la cota 273,58 a 275,01 m s.n.m, mejorando la reserva en aproximadamente 210 hm³.

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 2019, 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 2019, valores expresados en milímetros.

Año 2019	Buta Ranquil	Rincón de los Sauces	Casa de Piedra	Pedro Luro
Enero	0,8	9,3	1,4	15,6
Febrero	2,4	7,7	0,8	1,8
Marzo	s/d	0,0	13,2	119,9
Abril	s/d	12,6	15,6	1,4
Mayo	0,0	10,1	39,8	30,8
Junio	15,3	26,7	17,4	32,0
Julio	1,6	0,0	2,4	0,4
Agosto	16,0	8,9	10	2,4
Septiembre	12,9	6,8	26,4	13,4
Octubre	5,1	18,3	14,2	39
Noviembre	0,0	3,3	9,0	70,4
Diciembre	36,3	0,3	11,4	29,8
Total Anual	90,4	104,0	161,6	356,9

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

1.2.4 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".

1.2.5 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 Programa integral de calidad de aguas

Como se observa en la Figura 1.7, el Programa Integral de Calidad del Medio Acuático está conformado por un conjunto de subprogramas que tienen fines específicos de punto de vista de requerimientos de los usos o ambientales para la cuenca. Las escalas temporales y espaciales se ajustan a las necesidades. Algunos de ellos se mantienen en el tiempo y se desarrollan a lo largo de toda la cuenca, mientras que otros, por sus fines específicos se limitan a un sector de la cuenca y a un período acotado.



Fig. 1.7. Esquema simplificado del Programa Integral de Calidad de Aguas del río Colorado y de los subprogramas que lo integran.

1.3.1 Subprograma histórico de monitoreo de calidad de aguas

En los inicios de la gestión integrada del recurso hídrico, se realizaban análisis fisicoquímicos de iones mayoritarios en las estaciones de aforo y en correspondencia de cada uno de los aforos. Las frecuencias fueron variando según el grado de avance del conocimiento, desde semanal, quincenal a mensual en la actualidad.

Aquellos primeros trabajos de análisis químicos estaban íntimamente ligados al mejor conocimiento de la conductividad eléctrica en la cuenca, atento que se trata de una de las variables del Modelo de distribución de caudales.

Posteriormente, y una vez que se implementó el "Programa Integral de Calidad del Medio Acuático", dichos trabajos migraron al "Subprograma histórico o de determinación de iones mayoritarios".

En la Tabla 1.3 se indican las determinaciones que se realizan en las distintas estaciones del río, así como también la frecuencia con la cual son llevadas a cabo.

	Río Barrancas	Río Grande	Río Colorado tramo no regulado						Embalse Casa de Piedra	Río Colorado tramo regulado			
Estación	CL 0 Área Barrancas	CL 1 Área Bardas Blancas	CL 2 Área Buta Ranquil	Área Puesto Hernández	CL 3 Área Desfiladero Bayo	CL 4	CL 4a Área Punto Unido	CL 5 Área Pasarela Medanito	Embalse Casa de Piedra (Área Toma)	CL 6 Área descarga embalse Casa de Piedra	CL 10a Área balneario Río Colorado	CL 10 Área El Gualicho	Paso Alsina
Análisis													
Subprograma histórico													
Columna líquida													
Fisicoquímico	mensual	mensual	mensual		mensual		mensual	mensual		mensual	mensual	mensual	mensual

Tabla 1.3- Diagrama del subprograma histórico de monitoreo de calidad de aguas

A continuación, se presenta información gráfica, a modo descriptivo, de los resultados obtenidos en algunas de las estaciones monitoreadas.

El COIRCO se encuentra realizando el Estudio Estadístico de la base de datos de análisis fisicoquímicos (iones y cationes) y de metales pesados, para la serie 2000 al 2018. El mismo incluye la variación temporal y espacial. Actualmente se encuentra disponible en la página web del COIRCO el informe de la primera fase: "*Análisis Estadístico de los Parámetros Fisicoquímicos Metales y Metaloides Estación piloto "Buta Ranquil"*". Una vez que se disponga de los informes definitivos de la segunda y tercera fase del estudio, se incorporarán en el sitio web del organismo.

1.3.1.1 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 1.8 se presenta el hidrograma de caudales medios diarios de la estación Buta Ranquil, correspondiente al año 2019, 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 la conductividad eléctrica 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 1.8). 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.

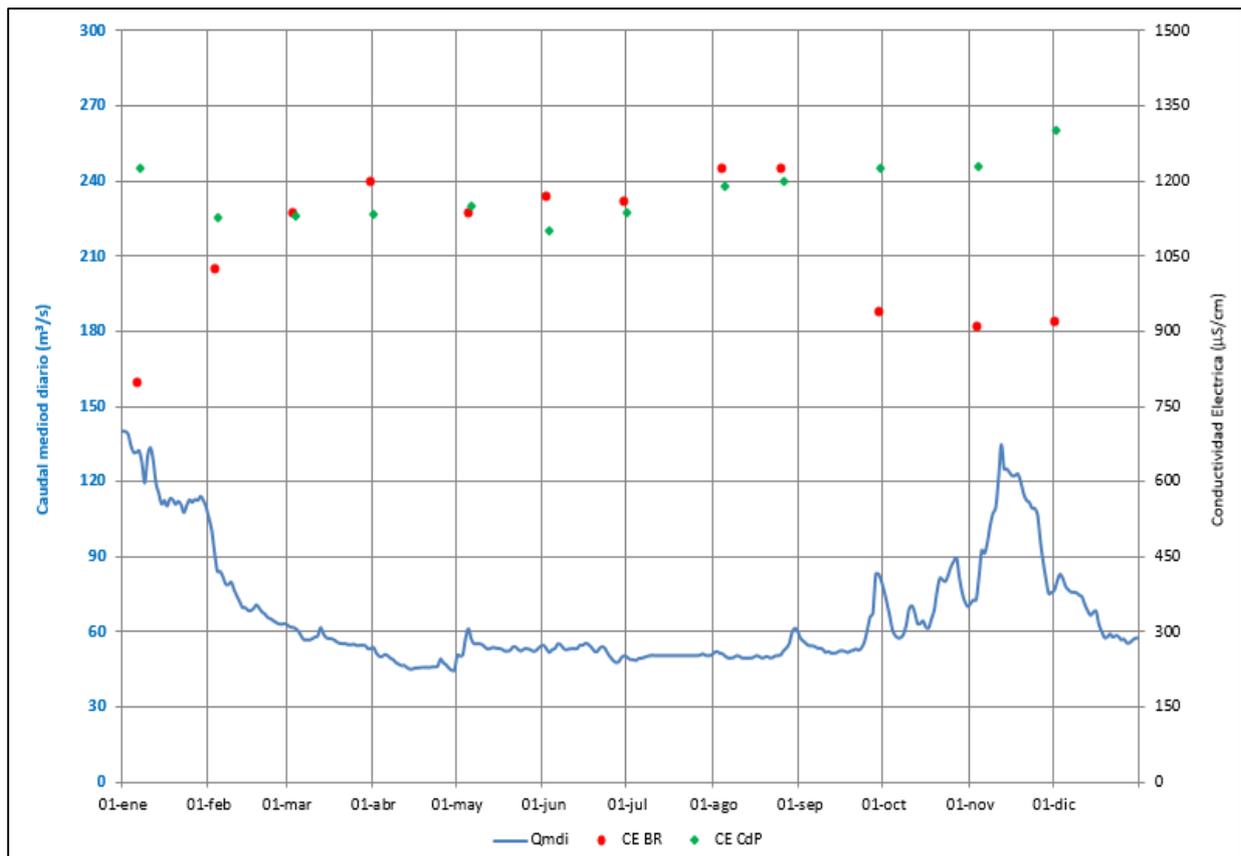


Figura 1.8. Hidrograma de caudal medio diario de la estación Buta Ranquil y registros de conductividad eléctrica *in situ* en Buta Ranquil y descarga Casa de Piedra para las campañas de muestreo mensuales del año 2019 (Fuentes de información: Secretaria de Infraestructura y Política Hídrica de la Nación y Monitoreos Ambientales).

1.3.1.2 Sólidos disueltos totales e iones mayoritarios

El Subprograma Red histórica del Monitoreo de Calidad de Aguas, incluye la determinación de sólidos disueltos totales e iones mayoritarios, 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 "1.3.1.1 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 1.9 a 1.17 se muestran los resultados de las concentraciones de sólidos disueltos totales e iones mayoritarios para las estaciones Bardas Blancas (Río Grande), Puente Ruta Nacional Nº 40 (Río Barrancas), Buta Ranquil, Punto Unido (Río Colorado tramo sin regular); la descarga del embalse Casa de Piedra y Paso Alsina (Río Colorado tramo regulado). En las citadas figuras se comparan los resultados mensuales para el año 2019, con

los valores medios de la base de datos divididos en dos períodos, 1999 – 2009 (período previo a la escasez hídrica) y 2011 - 2018 (período de escasez hídrica).

Con respecto a los gráficos mencionados cabe destacar que, en el caso de la estación de Punto Unido, los muestreos comenzaron en el año 2012 motivo por el cual no se dispone de los datos necesarios para el periodo 1999-2009 y que los datos del año calendario 2010 no formaron parte de la base de datos para la obtención de los valores medios graficados por ser un año de transición entre los periodos antes mencionados.

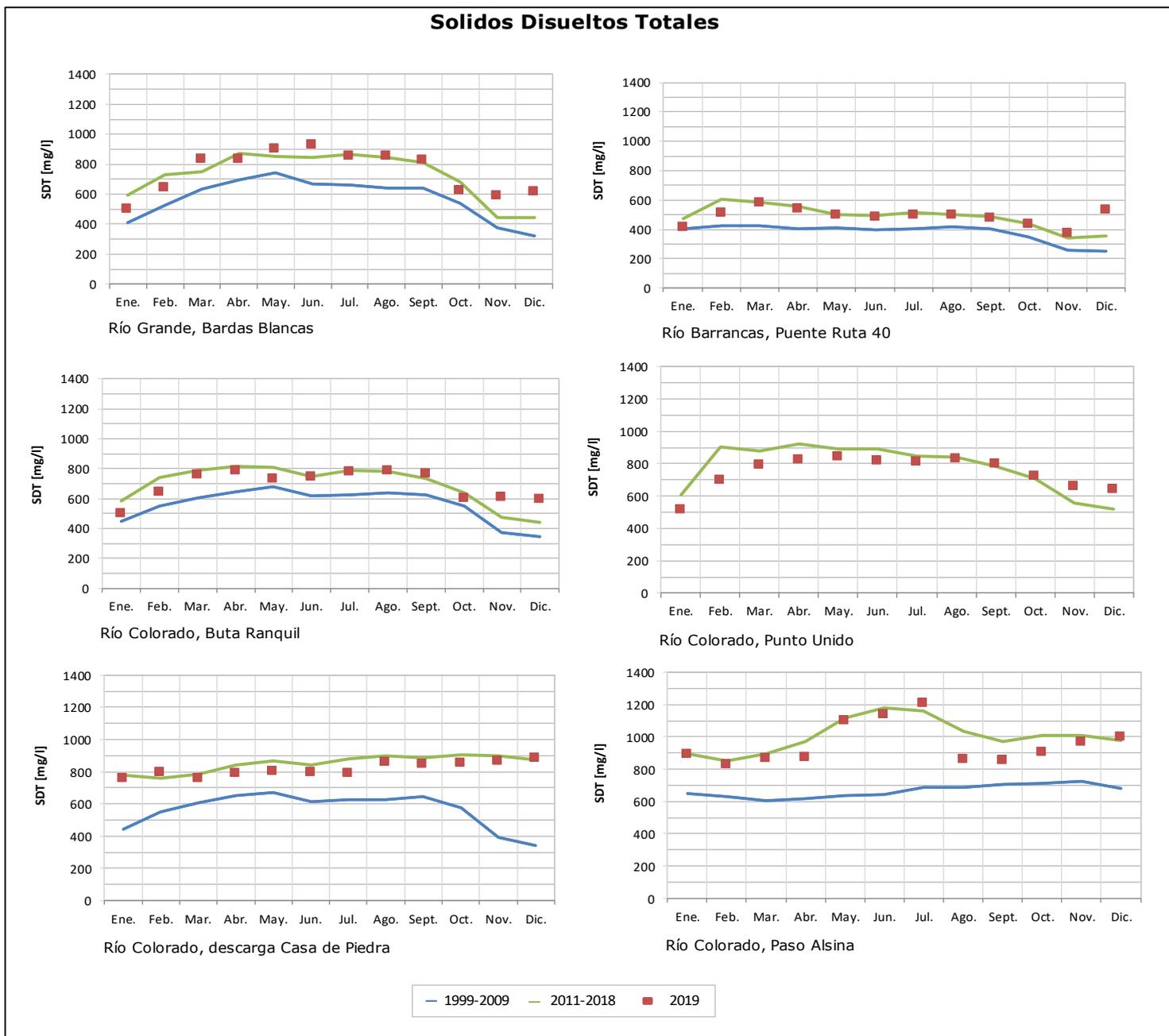
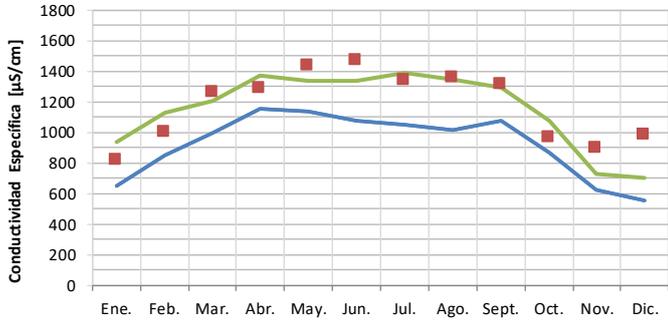
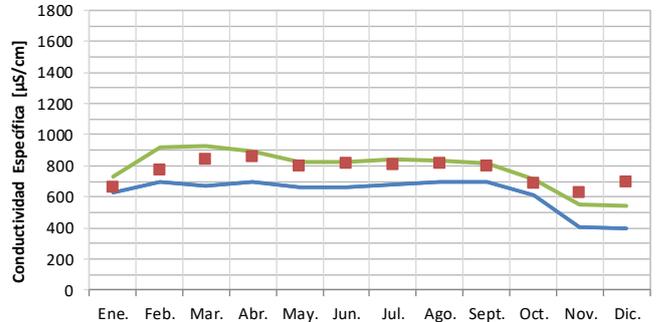


Fig. 1.9 – Solidos disueltos totales

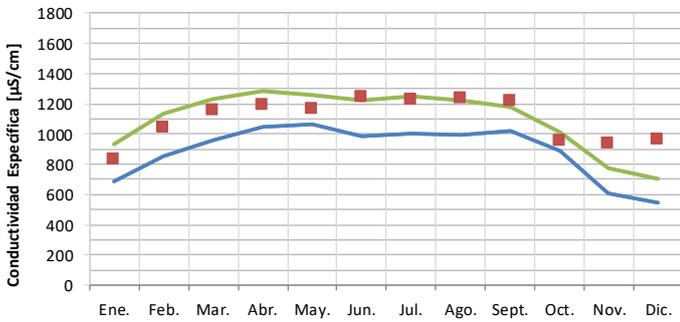
Conductividad Específica



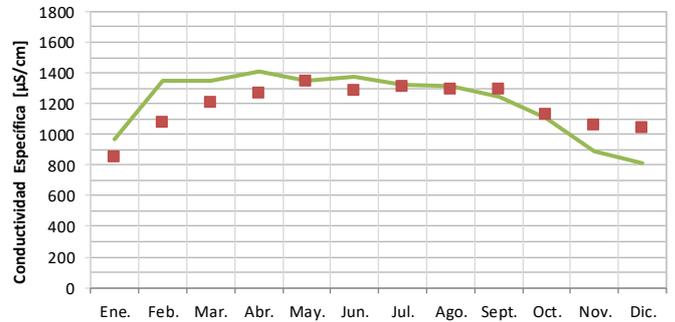
Río Grande, Bardas Blancas



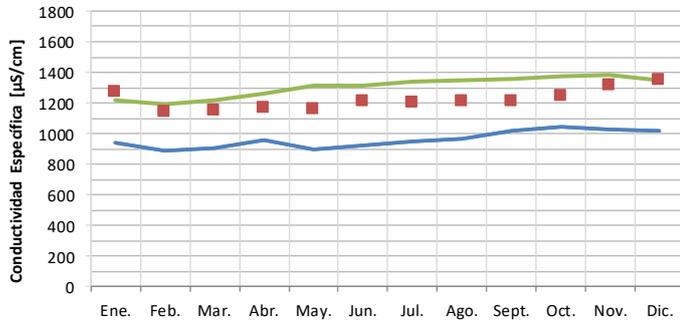
Río Barrancas, Puente Ruta 40



Río Colorado, Buta Ranquil



Río Colorado, Punto Unido



Río Colorado, descarga Casa de Piedra

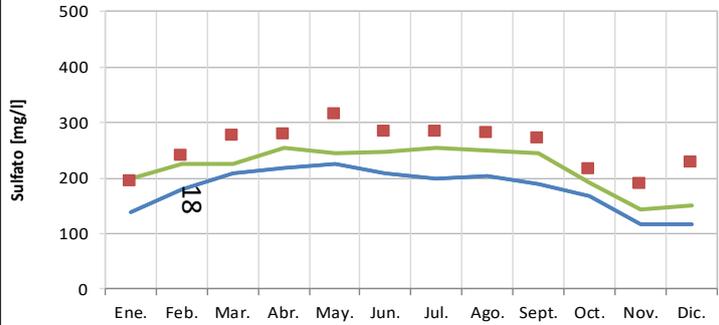


Río Colorado, Paso Alsina



Fig. 1.10 – Conductividad específica.

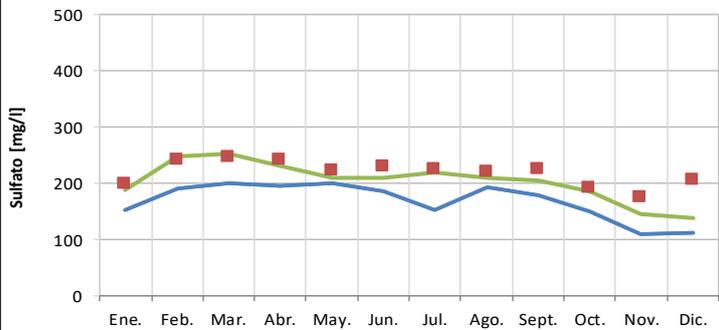
Sulfato



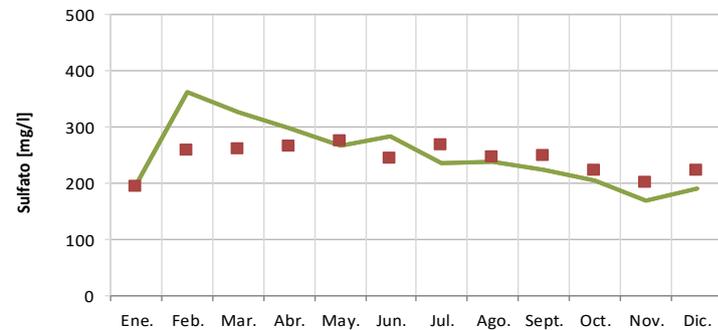
Río Grande, Bardas Blancas



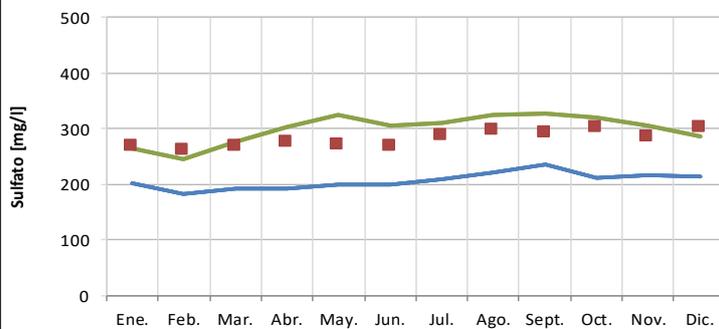
Río Barrancas, Puente Ruta 40



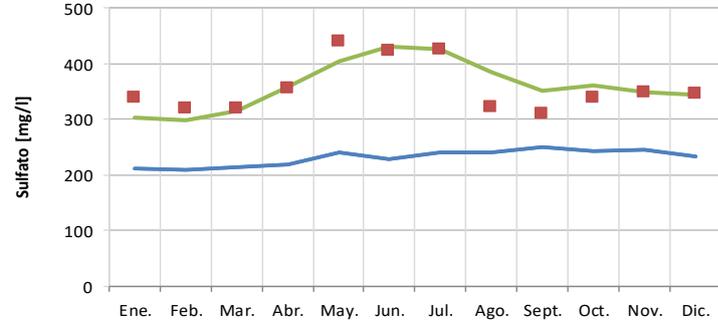
Río Colorado, Buta Ranquil



Río Colorado, Punto Unido



Río Colorado, descarga Casa de Piedra

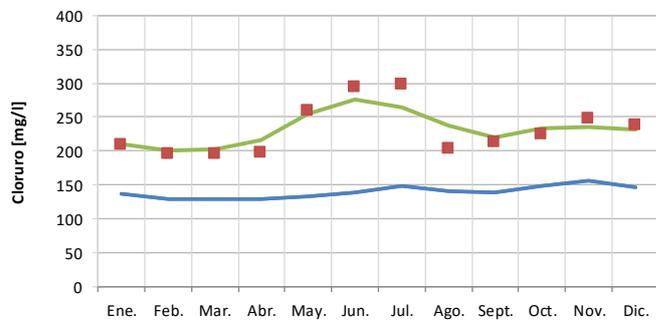
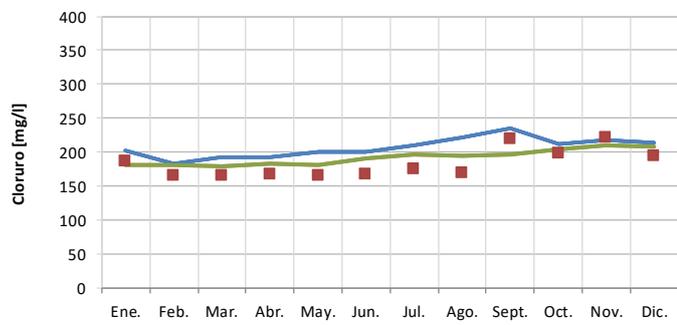
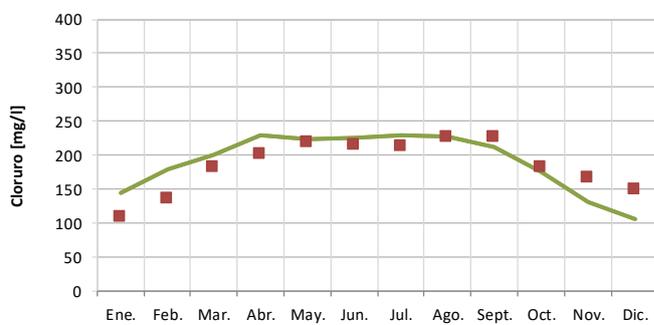
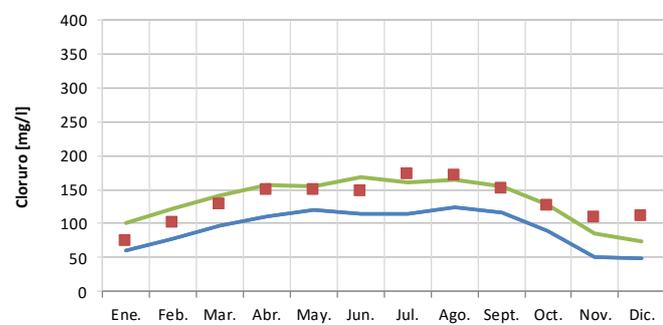
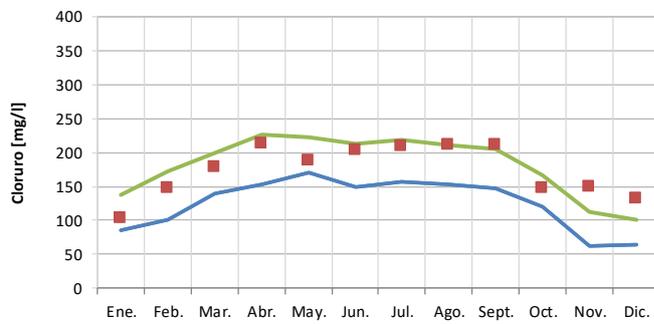
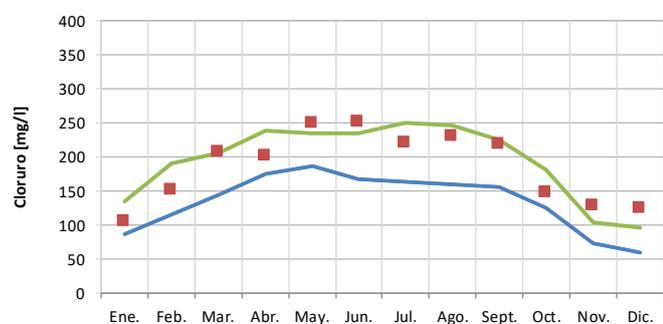


Río Colorado, Paso ALSina



Fig. 1.11 - Sulfato.

Cloruro



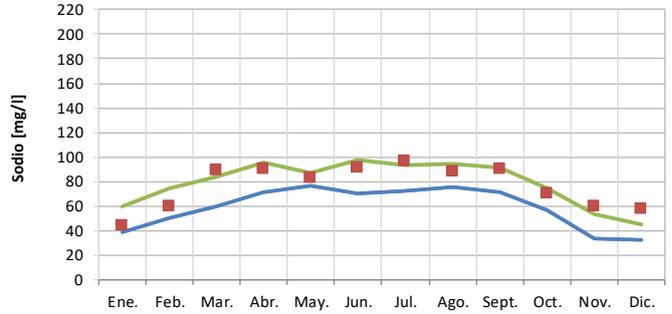
— 1999-2009 — 2011-2018 ■ 2019

Fig. 1.12 – Cloruro.

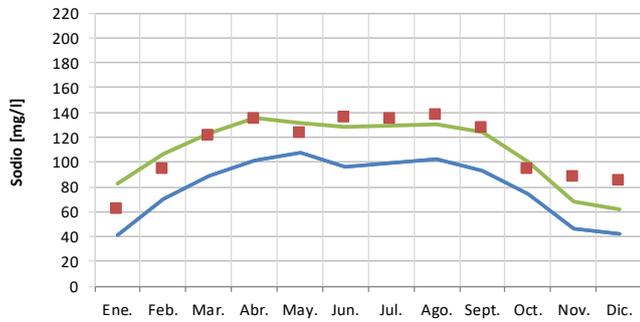
Sodio



Río Grande, Bardas Blancas



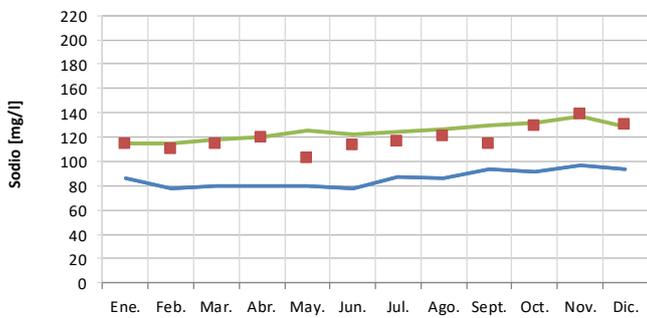
Río Barrancas, Puente Ruta 40



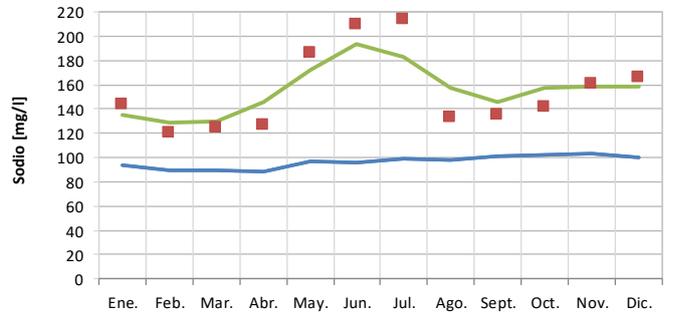
Río Colorado, Buta Ranquil



Río Colorado, Punto Unido



Río Colorado, descarga Casa de Piedra

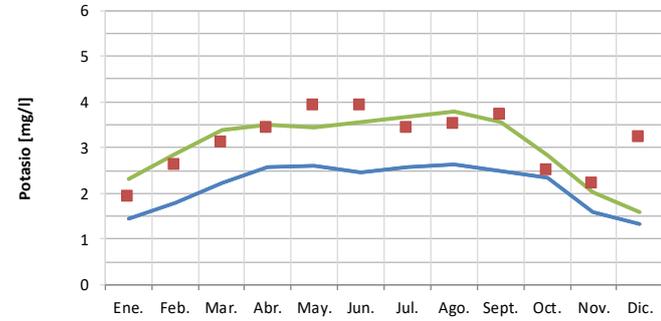


Río Colorado, Paso Alsina



Fig. 1.13 – Sodio.

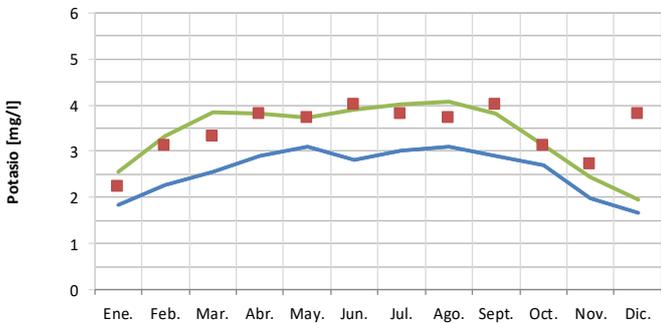
Potasio



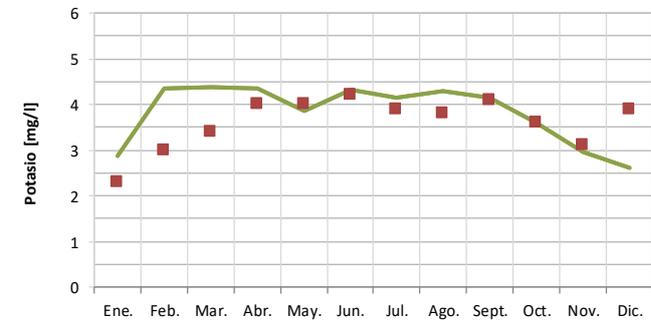
Río Grande, Bardas Blancas



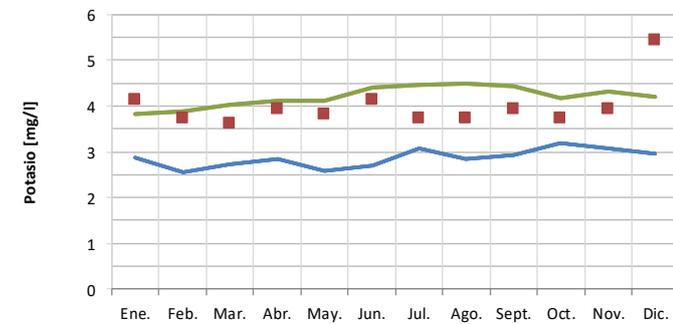
Río Barrancas, Puente Ruta 40



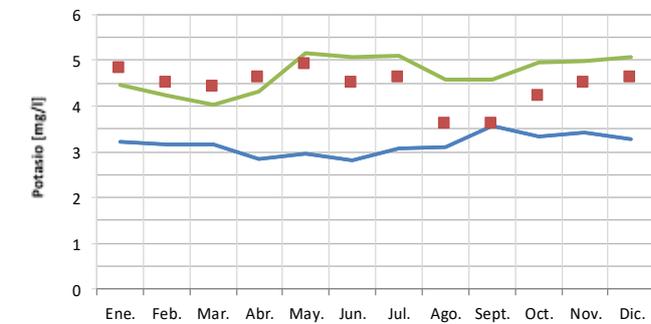
Río Colorado, Buta Ranquil



Río Colorado, Punto Unido



Río Colorado, descarga Casa de Piedra

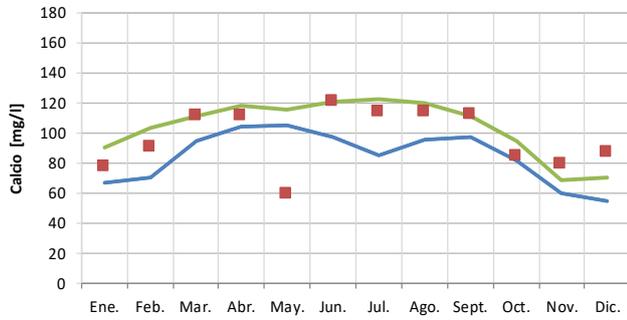


Río Colorado, Paso Alsina

— 1999-2009 — 2011-2018 ■ 2019

Fig. 1.14 – Potasio.

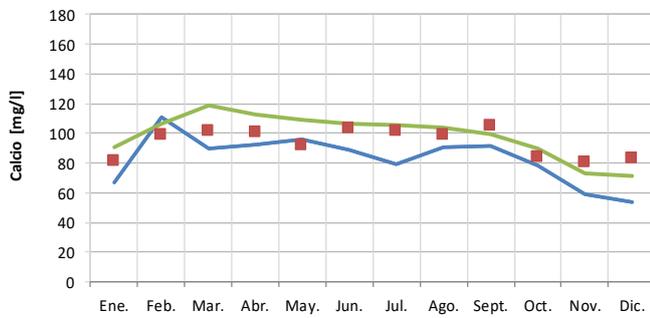
Calcio



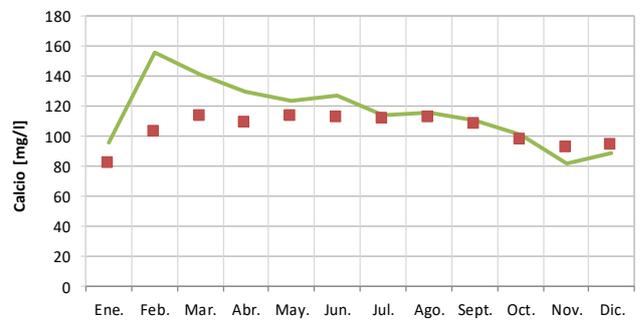
Río Grande, Bardas Blancas



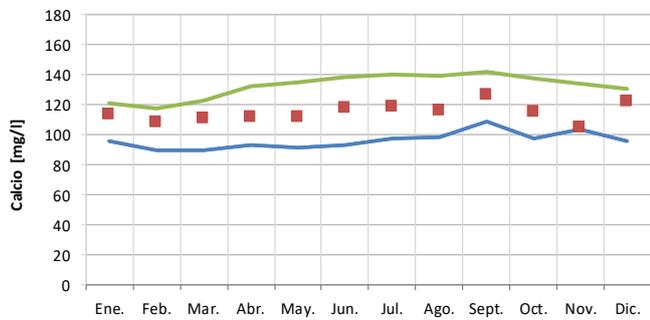
Río Barrancas, Puente Ruta 40



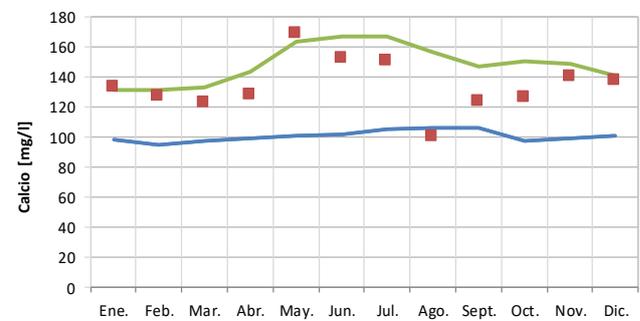
Río Colorado, Buta Ranquil



Río Colorado, Punto Unido



Río Colorado, descarga Casa de Piedra



Río Colorado, descarga Casa de Piedra

— 1999-2009 — 2011-2018 ■ 2019

Fig. 1.15 – Calcio.

Magnesio

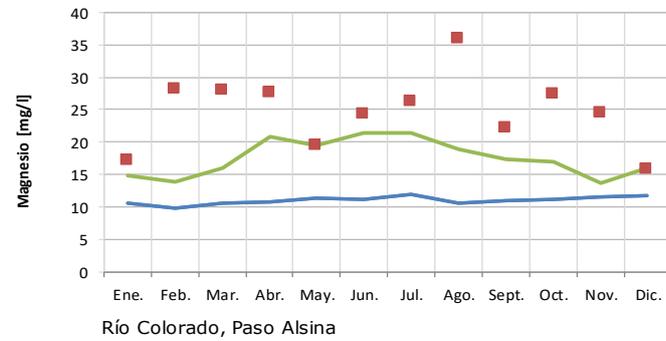
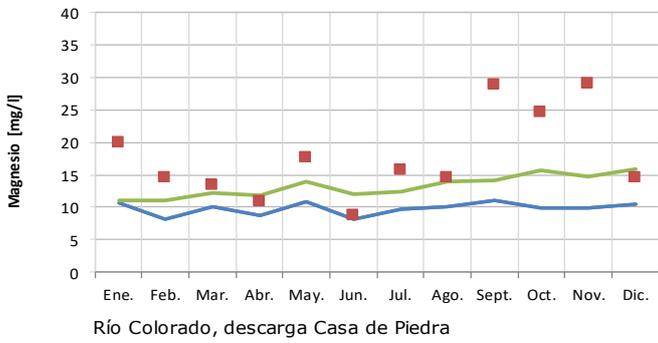
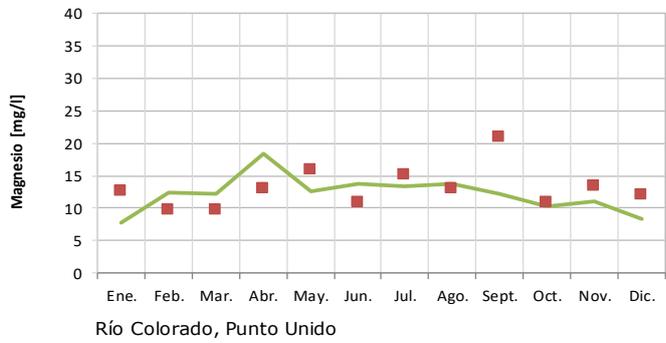
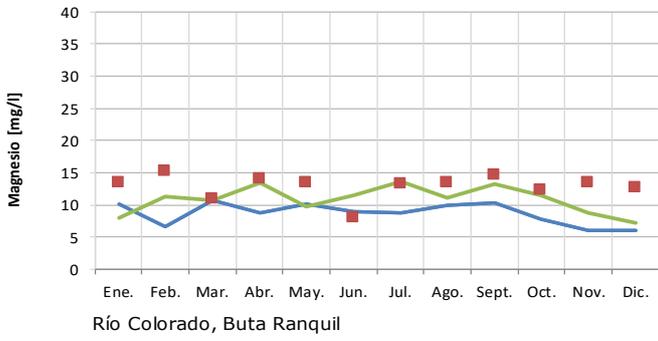
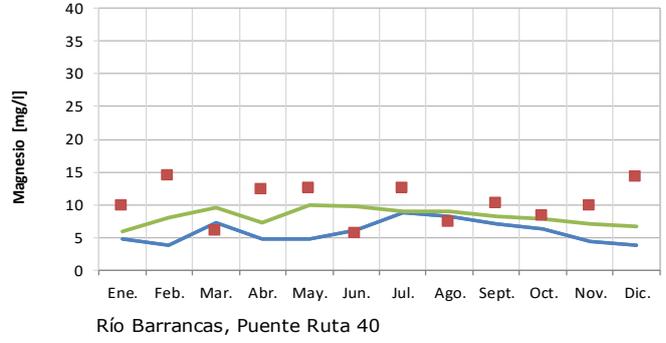
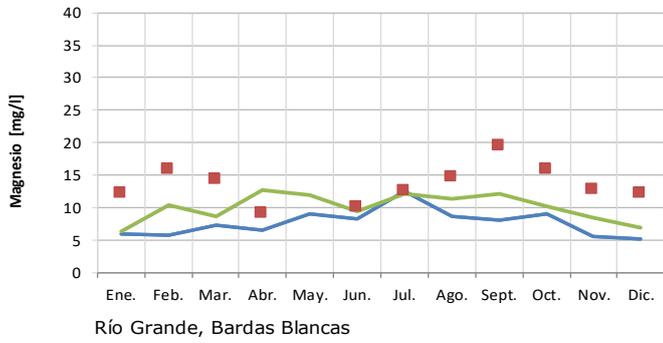


Fig. 1.16 – Magnesio.

Dureza Total

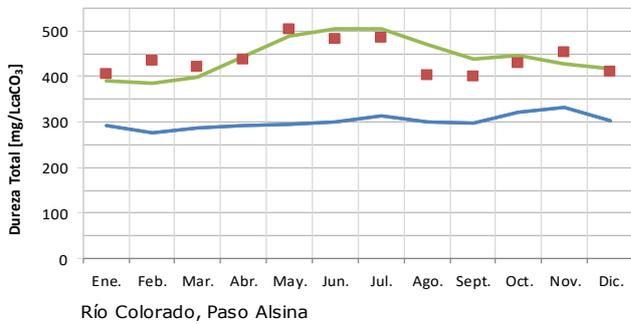
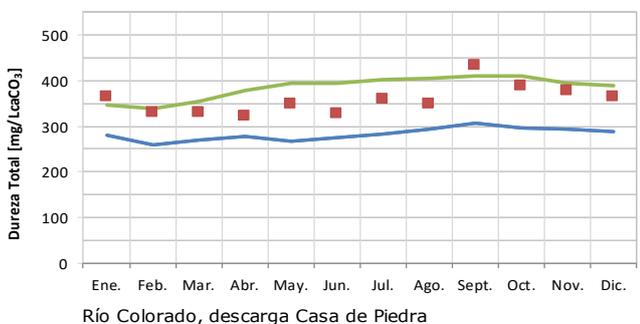
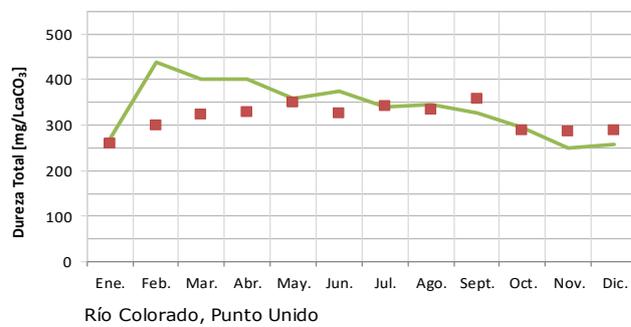
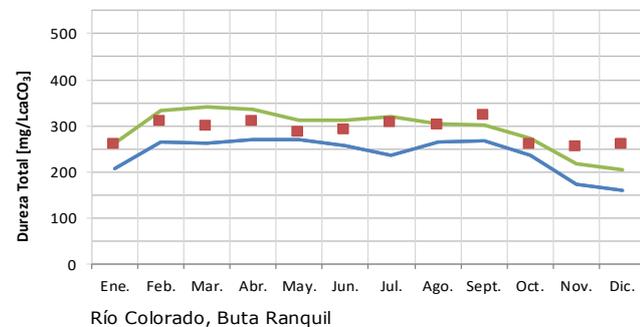
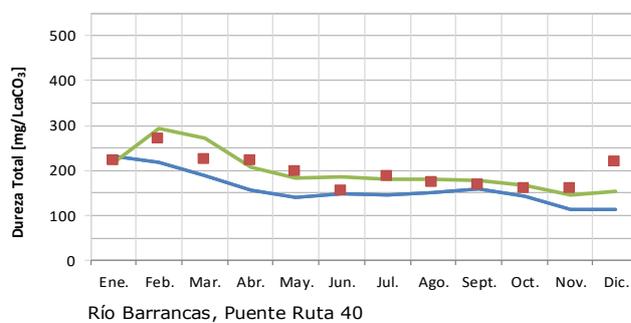
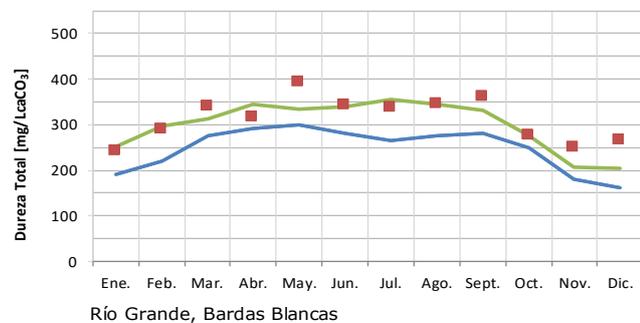


Fig. 1.17 - Dureza total.

1.3.2 Subprograma de Calidad del Medio Acuático

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 1.18).

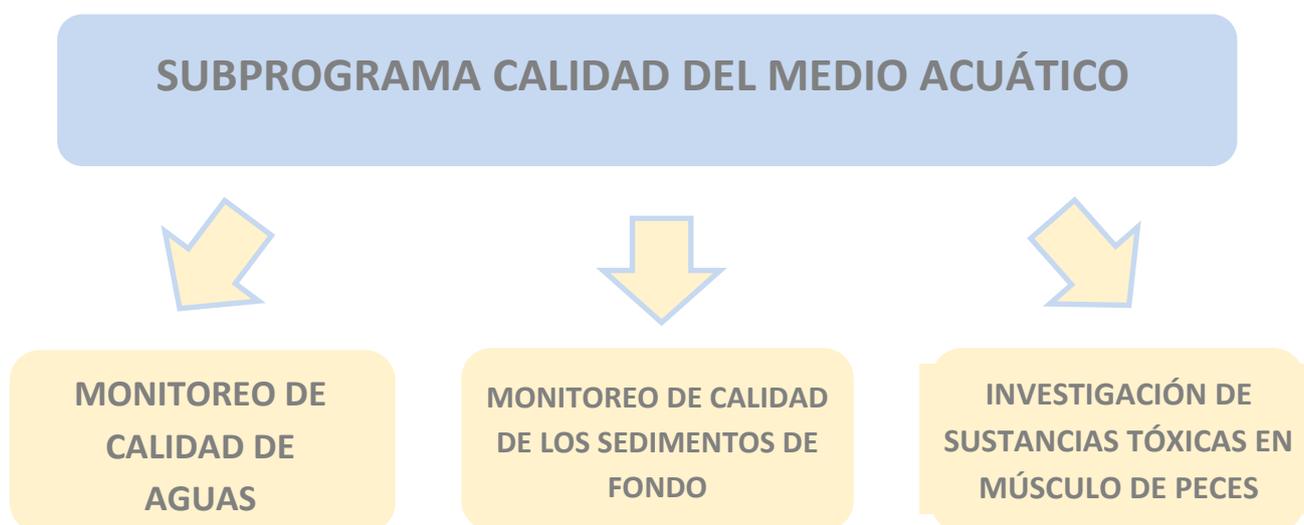


Fig. 1.18. Componentes del Subprograma Calidad del Medio Acuático.

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. 1.19). 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. 1.19 – 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.).

	Río Barrancas	Río Grande	Río Colorado tramo no regulado						Embalse Casa de Piedra	Río Colorado tramo regulado			
Estación	CL 0 Área Barrancas	CL 1 Área Bardas Blancas	CL 2 Área Buta Ranquil	Área Puesto Hernández	CL 3 Área Desfiladero Bayo	CL 4	CL 4a Área Punto Unido	CL 5 Área Pasarela Medanito	Embalse Casa de Piedra (Área Toma)	CL 6 Área descarga embalse Casa de Piedra	CL 10a Área balneario Río Colorado	CL 10 Área El Gualicho	Paso Alsina
Análisis													
Subprograma de calidad de aguas													
Columna líquida													
Metales y metaloides	mensual	mensual	mensual		mensual		mensual	mensual		mensual	mensual	mensual	
HAPS	mensual	mensual	mensual		mensual		mensual	mensual		mensual	mensual	mensual	
Ecotoxicológicos					anual	anual							
Sedimentos de fondo													
HAPS				anual					anual				
Metales y metaloides				anual					anual				
Ecotoxicológicos				anual					anual				
Músculo de peces													
Metales y metaloides				anual					anual				
HAPS				anual					anual				

Tabla 1.4- Diagrama del subprograma de calidad de agua

1.3.2.1 Ciclo 2019

En la Tabla 1.4, se detalla el área de estudio del subprograma de calidad de aguas en el ciclo 2019, que 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. También en la tabla se indican los estudios que se realizan en cada una de las estaciones, así como también la frecuencia con la que se efectúan.

En los siguientes capítulos del presente informe, se presentarán los resultados obtenidos en el ciclo para cada una de las matrices.

El presente informe contiene los resultados obtenidos en el ciclo de estudio 2019 cuyo diseño se basó en las conclusiones y recomendaciones del ciclo anterior, las cuáles eran 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/metaloideos e hidrocarburos en columna de agua en las estaciones establecidas al efecto con el fin de lograr una evaluación permanente de la calidad del agua para diferentes usos en el sistema del río Colorado.
- Continuar con la realización de los ensayos de ecotoxicidad crónica con agua del río Colorado como complemento del análisis químico en los sitios evaluados en el presente ciclo.
- Mantener el monitoreo de metales/metaloideos y HAPs en sedimentos de fondo en las estaciones establecidas para ese fin en el río Colorado y en el embalse Casa de Piedra con el fin obtener una evaluación permanente de la calidad de los mismos para la protección de la vida acuática.
- Continuar con la realización de ensayos ecotoxicológicos con sedimentos de fondo con el fin de mantener un seguimiento permanente y observar la evolución de algunos resultados 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/metaloideos y HAPs en esta matriz en relación con la aptitud para el consumo humano."

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 las mediciones *in situ* y de análisis de metales/metaloideos, hidrocarburos aromáticos polinucleares (HAPs) y ensayos ecotoxicológicos con columna de agua, realizados con muestras de agua extraídas en las estaciones de la red de monitoreo del Subprograma Calidad del Medio Acuático (Tabla 2.1, Fig. 2.1) durante el ciclo 2019 a fin de verificar la aptitud del agua para los diferentes usos a que es sometida en la cuenca. Se describen también 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"00,1"
CL 4a		Área Punto Unido	S 37°43'11,24" – O 67°45'47,65"
CL 5		Área Pasarela Medanito	S 38°0,1'34,9" – 67°52'53,9"
CL 6		Área descarga embalse Casa de Piedra	S 38°13'14,8" – O 67°11'18,8"
CL 10a		Área balneario Río Colorado	S 38° 58' 35,1" – O 64° 06` 33,6"
CL 10		Área El Gualicho	S 39°03'41,77" - O 63°56' 03,22"

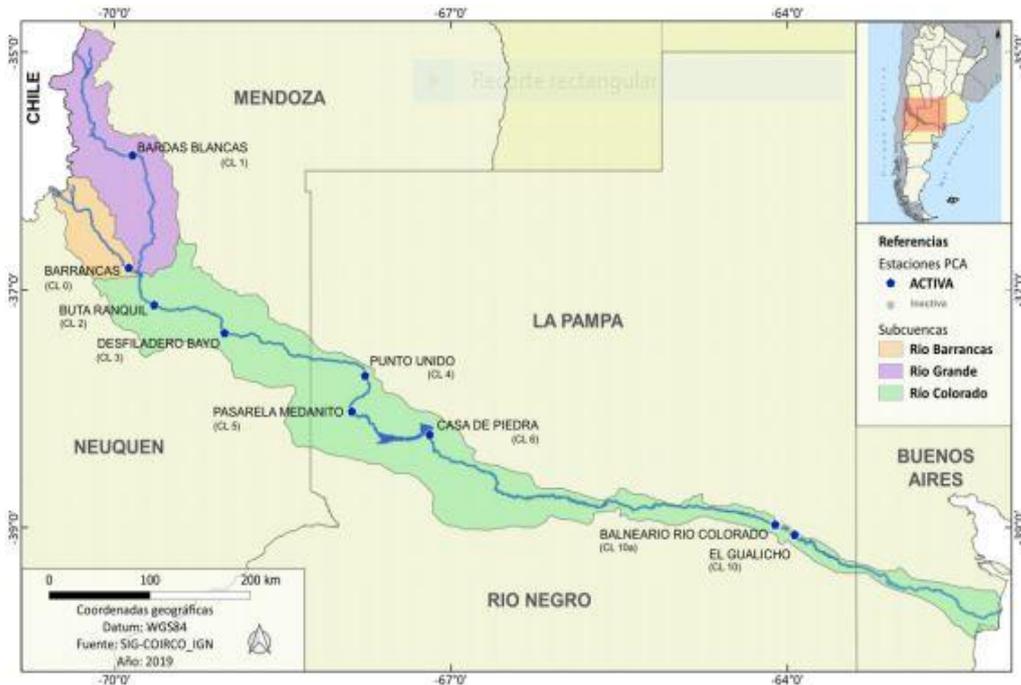


Figura 2.1 - Estaciones de monitoreo del Programa Calidad de Aguas del río Colorado - Subprograma Calidad del Medio Acuático. Estaciones de muestreo de columna de agua.

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 del 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 – 2019) que se está atravesando en la cuenca presenta algunas diferencias respecto a la serie previa (2001-2010):

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

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

2.2. 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 21). Los muestreos y mediciones *in situ*, al igual que en los ciclos anteriores, fueron realizados por la empresa Monitoreos Ambientales.

Las determinaciones de parámetros ambientales *in situ* (pH y conductividad) se llevaron a cabo por duplicado empleando dos instrumentos diferentes en cada caso. Las mediciones de pH se efectuaron mediante los equipos *HORIBA Twin pH B-213* y *HORIBA LAQUAtwin pH-11*, en tanto que para las de conductividad se utilizaron los equipos *LUTRON Conductivity Meter PCD-431*, *HORIBA LAQUAtwin Conductivity Meter* y *HANNA Combo pH/Conductivity*.

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

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

Las muestras de agua para análisis de metales y metaloideos fueron envasadas en bidones de polietileno de 500 mL de capacidad y preservadas mediante la adición de ácido nítrico (HNO_3) 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 (Fig. 2.6) 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.

Metal/metaloide	Técnica analítica	Método	Límite de cuantificación ($\mu\text{g/L}$)
Arsénico	ICP-MS	SMWW-Método 3125	0,2
Cadmio	ICP-MS	SMWW-Método 3125	0,2
Cinc	ICP-MS	SMWW-Método 3125	0,2
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	1,0 - 0,18 ⁽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.*

⁽¹⁾ A partir de la campaña de septiembre el límite de cuantificación es reducido a 0,18 $\mu\text{g/L}$.

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

Tabla 2.3 – Técnica y métodos analíticos 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 E	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*.

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:

- 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, Barrancas, margen derecha, provincia de Neuquén) en el período Enero 2019 - Diciembre 2019.												
Parámetros medidos <i>in situ</i>	Campañas											
	1 06/01/19	2 03/02/19	3 03/03/19	4 31/03/19	5 05/05/19	6 02/06/19	7 30/06/19	8 04/08/19	9 25/08/19	10 29/09/19	11 03/11/19	12 01/12/19
Hora	15:30	14:44	15:25	15:22	14:55	15:00	14:50	14:42	14:30	14:50	14:55	14:40
pH	7,68	8,41	8,03	7,98	8,18	8,03	7,99	7,91	7,8	8,2	8,0	8,1
Temperatura del agua (°C)	22,0	22,0	16,5	18,0	12,5	9,0	6,5	10,5	12,0	16,0	20,0	21,0
Temperatura del aire (°C)	30,0	28,0	26,0	28,0	20,0	18,0	9,0	20,0	16,0	27,0	33,0	32,0
Conductividad específica [μS/cm]	626	760	825	820	760	790	722	772	760	665	610	700

Tabla 2.5 Concentraciones de metales y metaloides en la columna de agua ($\mu\text{g/L}$) en la estación CL 0 (Río Barrancas, Barrancas, margen derecha, provincia de Neuquén) en el período Enero 2019 – Diciembre de 2019.

Metal/ metaloides ($\mu\text{g/L}$)	Campañas											
	1 06/01/19	2 03/02/19	3 03/03/19	4 31/03/19	5 05/05/19	6 02/06/19	7 30/06/19	8 04/08/19	9 25/08/19	10 29/09/19	11 03/11/19	12 01/12/19
Arsénico	1,4 \pm 0,1	2,9 \pm 0,1	1,9 \pm 0,1	2,2 \pm 0,1	2,3 \pm 0,1	1,7 \pm 0,1	1,4 \pm 0,1	1,8 \pm 0,1	1,4 \pm 0,1	1,8 \pm 0,1	1,8 \pm 0,1	2,1 \pm 0,1
Cadmio	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Cinc	8,1 \pm 0,8	5,2 \pm 0,6	5,2 \pm 0,6	4,1 \pm 0,4	12 \pm 1,2	1,9 \pm 0,2	1,7 \pm 0,2	1,7 \pm 0,2	2,1 \pm 0,2	6,7 \pm 0,7	7,0 \pm 0,7	8,5 \pm 0,9
Cobre	3,0 \pm 0,1	1,60 \pm 0,04	1,0 \pm 0,1	1,2 \pm 0,1	4,5 \pm 0,2	0,74 \pm 0,01	0,36 \pm 0,01	0,67 \pm 0,01	1,3 \pm 0,03	2,7 \pm 0,1	2,6 \pm 0,1	1,8 \pm 0,1
Cromo	0,9 \pm 0,1	0,57 \pm 0,08	0,35 \pm 0,08	1,9 \pm 0,1	2,2 \pm 0,1	0,61 \pm 0,08	0,49 \pm 0,08	0,67 \pm 0,09	0,38 \pm 0,15	0,96 \pm 0,09	0,97 \pm 0,09	0,64 \pm 0,09
Mercurio	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<0,18	<0,18	<0,18	<0,18
Molibdeno	1,3 \pm 0,1	2,8 \pm 0,1	2,9 \pm 0,2	2,6 \pm 0,1	1,3 \pm 0,1	1,8 \pm 0,1	1,7 \pm 0,1	2,3 \pm 0,1	1,7 \pm 0,2	1,7 \pm 0,1	1,5 \pm 0,2	1,5 \pm 0,1
Níquel	3,1 \pm 0,2	3,5 \pm 0,2	2,0 \pm 0,1	2,7 \pm 0,2	5,0 \pm 0,3	1,8 \pm 0,1	1,2 \pm 0,1	1,7 \pm 0,1	2,1 \pm 0,1	3,9 \pm 0,2	4,1 \pm 0,2	3,5 \pm 0,2
Plomo	2,2 \pm 0,1	3,7 \pm 0,2	1,4 \pm 0,1	2,4 \pm 0,1	3,3 \pm 0,2	<0,6	<0,6	<0,6	0,7 \pm 0,08	2,0 \pm 0,1	1,8 \pm 0,1	2,5 \pm 0,1
Selenio	<0,4	<0,4	<0,4	0,43 \pm 0,11	<0,4	<0,4	<0,4	0,46 \pm 0,11	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4
Uranio	0,32 \pm 0,02	0,25 \pm 0,02	0,24 \pm 0,02	<0,2	0,3 \pm 0,02	<0,2	<0,2	<0,2	0,22 \pm 0,02	0,31 \pm 0,02	0,26 \pm 0,02	0,21 \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, Barrancas, margen derecha, provincia de Neuquén) en el período Enero 2019 - Diciembre 2019.

HAPs ($\mu\text{g/L}$)(*)	Campañas											
	1 06/01/19	2 03/02/19	3 03/03/19	4 31/03/19	5 05/05/19	6 02/06/19	7 30/06/19	8 04/08/19	9 25/08/19	10 29/09/19	11 03/11/19	12 01/12/19
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, provincia de Mendoza) en el período Enero 2019 - Diciembre 2019.

Parámetros medidos <i>in situ</i>	Campañas											
	1 06/01/19	2 03/02/19	3 03/03/19	4 31/03/19	5 05/05/19	6 02/06/19	7 30/06/19	8 04/08/19	9 25/08/19	10 29/09/19	11 03/11/19	12 01/12/19
Hora	17:45	17:07	17:40	17:36	17:02	17:00	17:00	16:50	16:50	17:15	17:50	17:00
pH	7,63	8,38	8,22	8,26	8,21	8,32	7,77	7,88	7,3	8,1	8,1	8,0
Temperatura del agua (°C)	17,5	18,0	17,0	16,0	10,5	6,5	4,5	8,5	11,5	13,0	16,0	18,0
Temperatura del aire (°C)	29,0	18,5	31,0	27,0	16,0	13,0	9,0	23,0	16,0	23,0	24,0	28,0
Conductividad específica [µS/cm]	777	980	1238	1255	1405	1370	1277	1343	1305	945	870	950

Tabla 2.8 Concentraciones de metales y metaloides en la columna de agua ($\mu\text{g/L}$) en la estación CL 1 (Río Grande, Bardas Blancas, margen derecha, provincia de Mendoza) en el período Enero 2019 – Diciembre de 2019.

Metal/metaloide ($\mu\text{g/L}$)	Campañas											
	1 06/01/19	2 03/02/19	3 03/03/19	4 31/03/19	5 05/05/19	6 02/06/19	7 30/06/19	8 04/08/19	9 25/08/19	10 29/09/19	11 03/11/19	12 01/12/19
Arsénico	1,7 \pm 0,1	3,2 \pm 0,2	2,4 \pm 0,1	2,2 \pm 0,1	2,3 \pm 0,1	2,0 \pm 0,1	1,6 \pm 0,1	2,1 \pm 0,1	1,8 \pm 0,1	2,3 \pm 0,1	2,4 \pm 0,1	2,0 \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	13 \pm 1,3	4,8 \pm 0,5	4,8 \pm 0,5	3,6 \pm 0,4	6,2 \pm 0,7	3,5 \pm 0,4	2,2 \pm 0,2	3,5 \pm 0,4	3,9 \pm 0,4	6,1 \pm 0,6	10 \pm 1	2,3 \pm 0,2
Cobre	5,6 \pm 0,2	12 \pm 0,5	8,7 \pm 0,3	6,7 \pm 0,2	6,4 \pm 0,2	6,5 \pm 0,2	4,2 \pm 0,2	6,4 \pm 0,2	7,3 \pm 0,27	10 \pm 0,4	11 \pm 0,4	9,3 \pm 0,4
Cromo	1,0 \pm 0,1	0,73 \pm 0,09	0,53 \pm 0,08	0,40 \pm 0,08	1,1 \pm 0,1	0,60 \pm 0,08	0,52 \pm 0,08	0,55 \pm 0,08	0,40 \pm 0,15	0,77 \pm 0,09	1,3 \pm 0,1	0,76 \pm 0,09
Mercurio	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<0,18	<0,18	<0,18	<0,18
Molibdeno	<0,6	1,0 \pm 0,1	1,3 \pm 0,1	1,2 \pm 0,1	1,3 \pm 0,1	1,0 \pm 0,1	0,9 \pm 0,08	1,3 \pm 0,1	0,71 \pm 0,08	0,71 \pm 0,08	0,64 \pm 0,07	0,64 \pm 0,07
Níquel	2,8 \pm 0,2	3,0 \pm 0,2	2,4 \pm 0,2	2,9 \pm 0,2	3,2 \pm 0,2	2,7 \pm 0,2	2,4 \pm 0,2	2,7 \pm 0,2	3,4 \pm 0,2	4,0 \pm 0,2	4,2 \pm 0,2	3,2 \pm 0,2
Plomo	1,5 \pm 0,1	1,2 \pm 0,1	<0,6	<0,6	0,8 \pm 0,08	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	1,2 \pm 0,1	1,3 \pm 0,1	<0,6
Selenio	<0,4	<0,4	<0,4	0,50 \pm 0,11	0,6 \pm 0,1	0,48 \pm 0,11	<0,4	0,59 \pm 0,11	<0,4	0,44 \pm 0,11	0,43 \pm 0,11	<0,4
Uranio	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<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, Bardas Blancas, margen derecha, provincia de Mendoza) en el período Enero 2019 – Diciembre de 2019.

HAPs ($\mu\text{g/L}$)*	Campañas											
	1 06/01/19	2 03/02/19	3 03/03/19	4 31/03/19	5 05/05/19	6 02/06/19	7 30/06/19	8 04/08/19	9 25/08/19	10 29/09/19	11 03/11/19	12 01/12/19
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 2019 - Diciembre 2019.

Parámetros medidos <i>in situ</i>	Campañas											
	1 06/01/19	2 03/02/19	3 03/03/19	4 31/03/19	5 05/05/19	6 02/06/19	7 30/06/19	8 04/08/19	9 25/08/19	10 29/09/19	11 03/11/19	12 01/12/19
Hora	13:55	13:20	13:40	13:13	13:30	13:10	13:20	13:15	13:12	13:20	13:30	13:00
pH	8,41	8,57	8,03	7,94	8,18	8,27	7,85	7,69	7,8	8,2	8,0	8,0
Temperatura del agua (°C)	22,0	21,0	19,0	20,0	12,5	10,5	6,5	8,0	12,0	16,5	17,5	19,0
Temperatura del aire (°C)	32,0	29,0	26,0	31,0	19,0	18,0	10,0	21,0	20,0	28,0	33,0	29,0
Conductividad específica [µS/cm]	797	1024	1134	1200	1135	1170	1160	1225	1224	940	910	920

Tabla 2.11 Concentraciones de metales/metaloideos en la columna de agua ($\mu\text{g/L}$) en la estación CL 2 (Río Colorado, Buta Ranquil, yacimiento El Portón, margen derecha, provincia de Neuquén) en el período Enero 2019 - Diciembre 2019.

Metal/metaloide ($\mu\text{g/L}$)	Campañas											
	1 06/01/19	2 03/02/19	3 03/03/19	4 31/03/19	5 05/05/19	6 02/06/19	7 30/06/19	8 04/08/19	9 25/08/19	10 29/09/19	11 03/11/19	12 01/12/19
Arsénico	1,9±0,1	2,3±0,1	2,0±0,1	1,9±0,1	2,3±0,1	1,8±0,1	1,6±0,1	2,0±0,1	1,5±0,1	3,1±0,1	1,7±0,1	1,6±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	20±1,9	4,4±0,5	4,4±0,5	2,6±0,3	9,0±0,9	1,9±0,2	6,6±0,7	2,0±0,2	1,6±0,2	11±1,1	3,3±0,3	0,31±0,03
Cobre	7,4±0,3	3,9±0,1	3,8±0,1	2,4±0,1	5,6±0,2	2,0±0,1	1,6±0,1	2,5±0,1	2,0±0,06	17±0,7	3,7±0,1	3,6±0,1
Cromo	1,5±0,1	0,52±0,08	0,39±0,08	0,32±0,08	1,9±0,1	0,62±0,08	0,64±0,09	0,63±0,08	<0,2	1,3±0,1	0,84±0,09	0,75±0,09
Mercurio	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<0,18	<0,18	<0,18	<0,18
Molibdeno	<0,6	1,9±0,1	2,0±0,1	1,9±0,1	1,0±0,1	1,4±0,1	1,4±0,1	1,8±0,1	0,86±0,08	0,86±0,08	1,3±0,1	1,2±0,1
Níquel	4,6±0,3	2,9±0,2	2,3±0,1	2,5±0,2	4,3±0,2	2,2±0,1	2,2±0,1	2,5±0,2	2,7±0,2	5,4±0,3	3,4±0,2	2,9±0,2
Plomo	3,3±0,2	1,6±0,1	0,61±0,08	<0,6	2,4±0,1	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	3,0±0,2	0,60±0,08	<0,6
Selenio	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	0,6±0,1	<0,4	<0,4	0,66±0,12	<0,4	0,42±0,11	<0,4	<0,4
Uranio	0,34±0,02	0,25±0,02	0,31±0,02	<0,2	0,4±0,02	0,29±0,02	0,28±0,02	0,36±0,02	0,33±0,02	0,39±0,02	0,25±0,02	0,23±0,02

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, Buta Ranquil, yacimiento El Portón, margen derecha, provincia de Neuquén) en el período Enero 2019 - Diciembre 2019.

HAPs ($\mu\text{g/L}$) (*)	Campañas											
	1 06/01/19	2 03/02/19	3 03/03/19	4 31/03/19	5 05/05/19	6 02/06/19	7 30/06/19	8 04/08/19	9 25/08/19	10 29/09/19	11 03/11/19	12 01/12/19
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, provincia de Neuquén) en el período Enero 2019 - Diciembre 2019.

Parámetros medidos <i>in situ</i>	Campañas											
	1 06/01/19	2 03/02/19	3 03/03/19	4 31/03/19	5 05/05/19	6 02/06/19	7 30/06/19	8 04/08/19	9 25/08/19	10 29/09/19	11 03/11/19	12 01/12/19
Hora	12:10	11:42	12:00	11:40	12:01	11:40	11:57	11:50	11:45	11:30	12:00	11:38
pH	8,33	8,59	8,22	8,40	8,48	8,57	7,84	7,98	7,7	8,3	8,2	8,1
Temperatura del agua (°C)	22,0	20,0	19,0	18,0	12,5	9,5	5,0	7,0	11,0	15,5	16,5	18,5
Temperatura del aire (°C)	31,0	28,0	27,0	25,0	16,0	10,0	3,0	13,0	14,0	22,0	26,0	27,0
Conductividad específica [μS/cm]	803	1027	1155	1216	1200	1150	1150	1206	1235	991	950	910

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 2019 - Diciembre 2019.

Metal/meta loide (µg/L)	Campañas											
	1 06/01/19	2 03/02/19	3 03/03/19	4 31/03/19	5 05/05/19	6 02/06/19	7 30/06/19	8 04/08/19	9 25/08/19	10 29/09/19	11 03/11/19	12 01/12/19
Arsénico	2,2±0,1	3,0±0,1	2,0±0,1	1,8±0,1	2,4±0,1	1,8±0,1	1,6±0,1	2,0±0,1	1,5±0,1	3,3±0,2	1,9±0,1	1,7±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	17±1,6	4,7±0,5	4,7±0,5	2,3±0,3	8,5±0,9	2,4±0,3	2,8±0,3	2,2±0,2	1,4±0,2	13±1,3	4,3±0,4	1,0±0,1
Cobre	9,7±0,4	4,0±0,1	2,9±0,1	2,2±0,1	5,6±0,2	1,8±0,1	1,4±0,1	2,8±0,1	1,8±0,06	15±0,6	4,3±0,2	3,7±0,1
Cromo	1,9±0,1	0,62±0,08	0,35±0,08	0,31±0,08	1,7±0,1	0,65±0,08	0,59±0,09	0,66±0,09	<0,2	1,9±0,1	1,0±0,1	0,84±0,09
Mercurio	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<0,18	<0,18	<0,18	<0,18
Molibdeno	<0,6	1,9±0,1	2,1±0,1	1,9±0,1	1,2±0,1	1,5±0,1	1,4±0,1	1,9±0,1	0,70±0,08	0,70±0,09	1,3±0,1	1,2±0,1
Níquel	5,1±0,3	3,4±0,2	2,4±0,2	2,5±0,2	4,2±0,2	2,4±0,2	2,2±0,1	2,6±0,2	2,5±0,2	7,7±0,4	3,7±0,2	3,2±0,2
Plomo	3,8±0,2	2,9±0,1	0,79±0,08	<0,6	2,0±0,1	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	4,3±0,2	0,83±0,09	0,69±0,08
Selenio	<0,4	<0,4	<0,4	0,45±0,11	0,5±0,1	<0,4	<0,4	0,63±0,11	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4
Uranio	0,38±0,02	0,29±0,02	0,32±0,02	<0,2	0,4±0,02	0,29±0,02	0,30±0,02	0,38±0,02	0,33±0,02	0,49±0,03	0,26±0,02	0,25±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 2019 - Diciembre 2019.

HAPs (µg/L) ^(*)	Campañas											
	1 06/01/19	2 03/02/19	3 03/03/19	4 31/03/19	5 05/05/19	6 02/06/19	7 30/06/19	8 04/08/19	9 25/08/19	10 29/09/19	11 03/11/19	12 01/12/19
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, margen izquierda, aprovechamiento múltiple 25 de Mayo, provincia de La Pampa) en el período Enero 2019 - Diciembre 2019.

Parámetros medidos <i>in situ</i>	Campañas											
	1 07/01/19	2 04/02/19	3 04/03/19	4 01/04/19	5 06/05/19	6 03/06/19	7 01/07/19	8 05/08/19	9 26/08/19	10 30/09/19	11 04/11/19	12 02/12/19
Hora	10:00	10:00	09:50	09:54	11:50	10:15	10:18	10:05	10:20	10:00	10:20	10:21
pH	7,68	8,57	8,19	8,17	7,97	8,29	7,82	7,53	7,5	8,3	8,2	8,2
Temperatura del agua (°C)	21,0	19,0	18,0	18,0	12,5	6,5	3,0	6,0	9,5	13,0	16,5	20,5
Temperatura del aire (°C)	24,5	23,0	18,0	18,0	18,0	7,0	1,0	8,0	9,0	11,0	20,0	25,0
Conductividad específica [μS/cm]	804	1050	1177	1235	1299	1200	1255	1275	1282	1112	1020	1010

Tabla 2.17 Concentraciones de metales/metaloides ($\mu\text{g/L}$) en la columna de agua en la Estación CL 4-a (Río Colorado, Punto Unido, margen izquierda, aprovechamiento múltiple 25 de Mayo, provincia de La Pampa) en el período Enero 2019 - Diciembre 2019.

Metal/metaloide ($\mu\text{g/L}$)	Campañas											
	1 07/01/19	2 04/02/19	3 04/03/19	4 01/04/19	5 06/05/19	6 03/06/19	7 01/07/19	8 05/08/19	9 26/08/19	10 30/09/19	11 04/11/19	12 02/12/19
Arsénico	2,7 \pm 0,1	2,6 \pm 0,1	2,1 \pm 0,1	1,9 \pm 0,1	1,9 \pm 0,1	1,9 \pm 0,1	1,8 \pm 0,1	2,1 \pm 0,1	1,5 \pm 0,1	2,9 \pm 0,1	2,1 \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	36 \pm 2,8	3,9 \pm 0,4	3,9 \pm 0,4	2,3 \pm 0,3	12 \pm 1,2	2,2 \pm 0,2	2,8 \pm 0,3	10 \pm 1	1,5 \pm 0,2	10 \pm 1,0	5,1 \pm 0,5	2,5 \pm 0,3
Cobre	13 \pm 0,5	3,2 \pm 0,1	2,5 \pm 0,1	1,9 \pm 0,1	2,5 \pm 0,1	1,3 \pm 0,1	1,6 \pm 0,1	2,5 \pm 0,1	1,6 \pm 0,06	9,8 \pm 0,4	4,4 \pm 0,2	3,2 \pm 0,1
Cromo	2,3 \pm 0,1	0,78 \pm 0,09	0,37 \pm 0,08	0,35 \pm 0,08	0,9 \pm 0,09	0,63 \pm 0,08	0,70 \pm 0,09	0,76 \pm 0,09	<0,2	1,3 \pm 0,1	1,2 \pm 0,1	0,83 \pm 0,09
Mercurio	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<0,18	<0,18	<0,18	<0,18
Molibdeno	<0,6	2,0 \pm 0,1	2,2 \pm 0,1	2,1 \pm 0,1	1,9 \pm 0,1	1,6 \pm 0,1	1,4 \pm 0,1	2,0 \pm 0,1	0,88 \pm 0,15	0,88 \pm 0,08	1,3 \pm 0,1	1,2 \pm 0,1
Níquel	7,2 \pm 0,4	3,3 \pm 0,2	2,7 \pm 0,2	2,7 \pm 0,2	2,4 \pm 0,2	2,4 \pm 0,2	2,7 \pm 0,2	2,9 \pm 0,2	2,6 \pm 0,2	5,5 \pm 0,3	4,0 \pm 0,2	3,4 \pm 0,2
Plomo	5,9 \pm 0,2	1,9 \pm 0,1	0,80 \pm 0,08	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	3,2 \pm 0,2	1,1 \pm 0,09	0,88 \pm 0,09
Selenio	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	0,5 \pm 0,1	<0,4	0,41 \pm 0,11	0,61 \pm 0,11	<0,4	<0,4	0,44 \pm 0,11	<0,4
Uranio	0,57 \pm 0,03	0,34 \pm 0,02	0,40 \pm 0,02	<0,2	0,4 \pm 0,02	0,40 \pm 0,02	0,44 \pm 0,3	0,53 \pm 0,03	0,41 \pm 0,03	0,52 \pm 0,03	0,36 \pm 0,02	0,34 \pm 0,02

Tabla 2.18 - Concentraciones de hidrocarburos aromáticos polinucleares ($\mu\text{g/L}$) en la columna de agua en la Estación CL 4-a (Río Colorado, Punto Unido, margen izquierda, aprovechamiento múltiple 25 de Mayo, provincia de La Pampa) en el período Enero 2019 - Diciembre 2019.

HAPs ($\mu\text{g/L}$)*	Campañas											
	1 07/01/19	2 04/02/19	3 04/03/19	4 01/04/19	5 06/05/19	6 03/06/19	7 01/07/19	8 05/08/19	9 26/08/19	10 30/09/19	11 04/11/19	12 02/12/19
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 2019 - Diciembre 2019.

Parámetros medidos <i>in situ</i>	Campañas											
	1 07/01/19	2 04/02/19	3 04/03/19	4 01/04/19	5 06/05/19	6 03/06/19	7 01/07/19	8 05/08/19	9 26/08/19	10 30/09/19	11 04/11/19	12 02/12/19
Hora	09:15	09:00	09:05	09:00	09:40	09:30	09:30	09:00	09:30	09:00	09:10	09:20
pH	7,85	8,67	8,27	8,18	8,26	8,29	7,77	7,51	7,8	8,4	8,3	8,1
Temperatura del agua (°C)	21,0	19,5	17,5	18,0	12,0	6,5	4,0	6,0	9,5	13,0	15,0	20,5
Temperatura del aire (°C)	23,0	21,5	17,5	18,0	11,0	2,0	-1,0	-1,0	6,0	10,0	20,0	26,0
Conductividad específica [μS/cm]	822	1084	1227	1307	1376	1250	1287	1300	1315	1252	1110	1020

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 2019 – Diciembre 2019.

Metal/meta loide ($\mu\text{g/L}$)	Campañas											
	1 07/01/19	2 04/02/19	3 04/03/19	4 01/04/19	5 06/05/19	6 03/06/19	7 01/07/19	8 05/08/19	9 26/08/19	10 30/09/19	11 04/11/19	12 02/12/19
Arsénico	3,4±0,2/ 3,5±0,2	2,6±0,1/ 2,6±0,1	2,2±0,1/ 2,0±0,1	2,1±0,1/ 2,0±0,1	2,0±0,1/ 1,9±0,1	1,9±0,1/ 1,9±0,1	1,7±0,1/ 1,7±0,1	2,1±0,1/ 2,1±0,1	1,5±0,1/ 1,4±0,1	2,5±0,1/ 2,5±0,1	2,3±0,1/ 2,3±0,1	2,0±0,1/ 1,9±0,1
Cadmio	<0,2/ 0,22±0,05	<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	<0,2/<0,2
Cinc	28±2,4/ 43±3,1	4,8±0,5/ 8,0±0,8	4,8±0,5/ 8,0±0,8	3,1±0,3/ 2,6±0,3	2,7±0,3/ 2,8±0,3	1,9±0,2/ 2,1±0,2	1,7±0,2/ 3,5±0,4	30±2,5/ 3,0±0,3	3,5±0,4/ 1,2±0,1	6,9±0,7/ 7,2±0,7	8,2±0,8/ 6,9±0,7	5,2±0,6/ 31±2,6
Cobre	15±0,6/ 16±0,6	3,9±0,1/ 3,6±0,1	3,0±0,1/ 3,1±0,1	2,6±0,1/ 2,3±0,1	2,0±0,1/ 2,1±0,1	1,4±0,1/ 1,4±0,1	1,2±0,1/ 1,2±0,1	4,5±0,2/ 2,1±0,1	1,6±0,04/ 1,6±0,04	5,9±0,2/ 5,8±0,2	4,7±0,2/ 4,6±0,2	3,9±0,1/ 4,0±0,1
Cromo	3,1±0,1/ 3,2±0,1	0,64±0,09/ 0,61±0,08	0,49±0,08/ 0,50±0,08	0,33±0,08/ 0,78±0,09	0,7±0,09/ 0,8±0,09	0,61±0,08/ 0,67±0,08	0,65±0,09/ 0,68±0,09	0,78±0,09/ 0,64±0,09	0,80±0,09/ 0,77±0,09	0,68±0,09/ 0,65±0,09	1,2±0,1/ 1,1±0,1	0,90±0,09/ 0,95±0,09
Mercurio	<1/<1	<1/<1	<1/<1	<1/<1	<1/<1	<1/<1	<1/<1	<1/<1	<0,18/ <0,18	<0,18/ <0,18	<0,18/ <0,18	<0,18/ <0,18
Molibdeno	<0,6/<0,6	2,1±0,1/ 2,1±0,1	2,4±0,1/ 2,4±0,1	2,4±0,1/ 2,4±0,1	2,4±0,1/ 2,4±0,1	1,8±0,1/ 1,8±0,1	1,7±0,1/ 1,7±0,1	2,2±0,1/ 2,1±0,1	2,1±0,1/ 2,0±0,1	1,4±0,1/ 1,4±0,1	1,4±0,1/ 1,4±0,1	1,4±0,1/ 1,4±0,1
Níquel	9,9±0,5/ 11±0,6	3,9±0,2/ 3,8±0,2	3,0±0,2/ 2,9±0,2	3,2±0,2/ 3,3±0,2	2,4±0,2/ 2,4±0,2	2,6±0,2/ 2,7±0,2	2,4±0,2/ 2,5±0,2	3,0±0,2/ 2,7±0,2	2,8±0,2/ 2,9±0,2	4,7±0,2/ 4,5±0,2	4,4±0,2/ 4,2±0,2	3,6±0,2/ 3,7±0,2
Plomo	7,9±0,3/ 8,0±0,3	1,9±0,1/ 2,0±0,1	1,1±0,1/ 1,1±0,1	0,61±0,08/ <0,6	<0,6/<0,6	<0,6/<0,6	<0,6/<0,6	<0,6/<0,6	<0,6/<0,6	1,9±0,1/ 1,8±0,1	1,2±0,1/ 1,1±0,1	1,1±0,1/ 1,4±0,1
Selenio	<0,4/<0,4	<0,4/<0,4	<0,4/<0,4	<0,37/ 0,43±0,11	0,6±0,1/ 0,6±0,1	0,42±0,11/ <0,4	0,45±0,11/ <0,4	0,62±0,11/ 0,67±0,12	<0,4/<0,4	<0,4/<0,4	<0,4/<0,4	<0,4/<0,4
Uranio	0,76±0,04/ 0,79±0,04	0,43±0,03/ 0,43±0,03	0,52±0,03/ 0,51±0,03	<0,2/<0,2	0,5±0,03/ 0,5±0,03	0,59±0,03/ 0,59±0,03	0,53±0,03/ 0,54±0,03	0,61±0,03/ 0,60±0,03	0,58±0,03/ 0,57±0,03	0,63±0,03/ 0,62±0,03	0,51±0,03/ 0,49±0,03	0,43±0,03/ 0,42±0,03

Tabla 2.21 Concentraciones de hidrocarburos aromáticos polinucleares en réplicas de columna de agua ($\mu\text{g/L}$) en la estación CL 5 (Río Colorado, Pasarela Medanita, margen derecha, provincia de Río Negro) en el período Enero 2019 – Diciembre 2019.

HAPs ($\mu\text{g/L}$) ^(*)	Campañas											
	1 07/01/19	2 04/02/19	3 04/03/19	4 01/04/19	5 06/05/19	6 03/06/19	7 01/07/19	8 05/08/19	9 26/08/19	10 30/09/19	11 04/11/19	12 02/12/19
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 (descarga del embalse Casa de Piedra, margen derecha, provincia de Río Negro) en el período Enero 2019 – Diciembre 2019.

Parámetros medidos <i>in situ</i>	Campañas											
	1 07/01/19	2 04/02/19	3 04/03/19	4 01/04/19	5 06/05/19	6 03/06/19	7 01/07/19	8 05/08/19	9 26/08/19	10 30/09/19	11 04/11/19	12 02/12/19
Hora	11:48	11:55	11:40	11:50	13:50	12:00	12:20	11:50	12:13	11:50	12:10	12:12
pH	7,63	8,42	8,28	8,17	8,01	7,75	7,77	7,74	7,4	8,1	8,1	8,1
Temperatura del agua (°C)	22,5	21,5	20,5	19,0	16,5	11,5	8,0	8,5	9,0	12,0	16,5	20,0
Temperatura del aire (°C)	28,0	27,0	20,0	26,0	21,0	12,0	10,0	14,5	17,0	16,0	25,0	31,0
Conductividad específica [μS/cm]	1224	1126	1131	1132	1152	1100	1135	1190	1200	1225	1230	1300

Tabla 2.23 Concentraciones de metales y metaloides en la columna de agua ($\mu\text{g/L}$) en la estación CL 6 (descarga del embalse Casa de Piedra, margen derecha, provincia de Río Negro) en el período Enero 2019 - Diciembre 2019.

Metal/metaloide ($\mu\text{g/L}$)	Campañas											
	1 07/01/19	2 04/02/19	3 04/03/19	4 01/04/19	5 06/05/19	6 03/06/19	7 01/07/19	8 05/08/19	9 26/08/19	10 30/09/19	11 04/11/19	12 02/12/19
Arsénico	1,9±0,1	2,1±0,1	2,3±0,1	2,4±0,1	2,2±0,1	2,5±0,1	2,2±0,1	2,3±0,1	1,7±0,1	2,0±0,1	2,2±0,1	2,0±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	3,4±0,4	2,7±0,3	2,7±0,3	2,3±0,3	2,1±0,2	1,3±0,1	2,0±0,2	2,1±0,2	1,3±0,1	1,8±0,2	1,8±0,2	<0,2
Cobre	1,1±0,1	0,78±0,01	0,83±0,01	0,78±0,01	0,83±0,01	0,55±0,01	0,64±0,01	0,85±0,01	0,8±0,01	1,1±0,1	1,2±0,1	1,1±0,02
Cromo	0,5±0,1	0,26±0,08	0,21±0,08	0,20±0,08	0,5±0,08	0,48±0,08	0,49±0,08	0,51±0,08	<0,2	<0,2	0,80±0,09	0,56±0,08
Mercurio	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<0,18	<0,18	<0,18	<0,18
Molibdeno	3,3±0,2	3,7±0,2	3,5±0,2	3,1±0,2	3,3±0,2	2,7±0,1	2,6±0,1	3,4±0,2	3,0±0,2	2,9±0,2	2,9±0,2	2,9±0,2
Níquel	2,4±0,2	2,6±0,2	2,3±0,1	3,0±0,2	1,9±0,1	2,5±0,2	2,3±0,2	2,8±0,2	2,7±0,2	3,1±0,2	3,8±0,2	3,4±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	<0,4	<0,4	<0,4	0,48±0,11	0,7±0,1	0,45±0,11	0,55±0,11	0,82±0,12	<0,4	0,44±0,11	0,54±0,11	0,51±0,11
Uranio	0,78±0,04	0,63±0,03	0,72±0,04	<0,2	0,6±0,03	0,73±0,04	0,69±0,04	0,95±0,05	0,72±0,04	0,68±0,04	0,67±0,04	0,71±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 (descarga del embalse Casa de Piedra, margen derecha, provincia de Río Negro) en el período Enero 2019 - Diciembre 2019.

HAPs ($\mu\text{g/L}$) (*)	Campañas											
	1 07/01/19	2 04/02/19	3 04/03/19	4 01/04/19	5 06/05/19	6 03/06/19	7 01/07/19	8 05/08/19	9 26/08/19	10 30/09/19	11 04/11/19	12 02/12/19
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, aguas arriba del puente de la Ruta Nacional N° 22, margen derecha, provincia de Río Negro) en el período Enero 2019 - Diciembre 2019.

Parámetros medidos <i>in situ</i>	Campañas											
	1 08/01/19	2 05/02/19	3 05/03/19	4 02/04/19	5 07/05/19	6 04/06/19	7 02/07/19	8 06/08/19	9 27/08/19	10 01/10/19	11 05/11/19	12 03/12/19
Hora	11:10	14:35	11:45	14:14	11:25	14:45	11:24	14:00	11:50	14:14	11:55	14:21
pH	7,71	7,88	8,35	8,25	8,26	8,01	7,63	7,47	8,2	8,3	8,2	8,2
Temperatura del agua (°C)	22,0	25,0	19,0	23,0	13,0	13,0	6,0	12,0	12,5	18,0	18,0	22,5
Temperatura del aire (°C)	21,0	31,0	21,0	27,0	11,0	15,0	10,0	15,0	17,0	18,0	20,0	24,0
Conductividad específica [µS/cm]	1356	1219	1246	1272	1550	1730	1697	1712	1263	1321	1340	1400

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, aguas arriba del puente de la Ruta Nacional N° 22, margen derecha, provincia de Río Negro) en el período Enero 2019 - Diciembre 2019.

Metal/metaloide ($\mu\text{g/L}$)	Campañas											
	1 08/01/19	2 05/02/19	3 05/03/19	4 02/04/19	5 07/05/19	6 04/06/19	7 02/07/19	8 06/08/19	9 27/08/19	10 01/10/19	11 05/11/19	12 03/12/19
Arsénico	2,4 \pm 0,1	2,7 \pm 0,1	2,4 \pm 0,1	2,5 \pm 0,1	2,2 \pm 0,1	2,5 \pm 0,1	2,3 \pm 0,1	2,7 \pm 0,1	1,8 \pm 0,1	2,2 \pm 0,1	2,5 \pm 0,1	<0,2
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	11 \pm 1,1	3,1 \pm 0,3	3,1 \pm 0,3	2,7 \pm 0,3	1,8 \pm 0,2	1,9 \pm 0,2	24 \pm 2,2	2,8 \pm 0,3	1,3 \pm 0,1	1,4 \pm 0,1	2,6 \pm 0,3	<0,2
Cobre	2,8 \pm 0,1	1,63 \pm 0,04	1,4 \pm 0,1	0,97 \pm 0,02	1,1 \pm 0,02	0,69 \pm 0,01	1,0 \pm 0,1	0,83 \pm 0,01	1,4 \pm 0,03	1,6 \pm 0,1	1,5 \pm 0,1	1,6 \pm 0,04
Cromo	0,8 \pm 0,1	0,42 \pm 0,08	0,30 \pm 0,08	0,27 \pm 0,08	0,5 \pm 0,08	0,55 \pm 0,08	0,63 \pm 0,08	0,46 \pm 0,08	0,22 \pm 0,08	0,26 \pm 0,08	0,87 \pm 0,09	0,63 \pm 0,08
Mercurio	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<0,18	<0,18	<0,18	<0,18
Molibdeno	3,1 \pm 0,2	3,8 \pm 0,2	3,8 \pm 0,2	3,6 \pm 0,2	4,3 \pm 0,2	3,8 \pm 0,2	3,4 \pm 0,2	4,5 \pm 0,2	2,9 \pm 0,2	3,1 \pm 0,2	1,4 \pm 0,2	3,0 \pm 0,2
Níquel	3,0 \pm 0,2	3,1 \pm 0,1	2,9 \pm 0,2	2,9 \pm 0,2	2,2 \pm 0,1	3,2 \pm 0,2	3,2 \pm 0,2	3,4 \pm 0,2	3,0 \pm 0,2	3,2 \pm 0,2	3,9 \pm 0,2	3,6 \pm 0,2
Plomo	0,9 \pm 0,1	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	1,2 \pm 0,1	<0,6
Selenio	<0,4	<0,4	<0,4	0,46 \pm 0,11	0,7 \pm 0,1	0,51 \pm 0,11	0,69 \pm 0,12	0,89 \pm 0,12	<0,4	<0,4	0,53 \pm 0,11	0,52 \pm 0,11
Uranio	0,95 \pm 0,05	0,76 \pm 0,04	0,86 \pm 0,04	<0,2	0,9 \pm 0,05	1,2 \pm 0,1	1,2 \pm 0,1	1,5 \pm 0,1	0,85 \pm 0,04	0,86 \pm 0,05	0,86 \pm 0,04	0,84 \pm 0,04

Tabla 2.27 Concentraciones de HAPs en la columna de agua ($\mu\text{g/L}$) en la estación CL 10-a (Río Colorado, Balneario, aguas arriba del puente de la Ruta Nacional N° 22, margen derecha, provincia de Río Negro) en el período Enero 2019 - Diciembre 2019.

HAPS ($\mu\text{g/L}$) (*)	Campañas											
	1 08/01/19	2 05/02/19	3 05/03/19	4 02/04/19	5 07/05/19	6 04/06/19	7 02/07/19	8 06/08/19	9 27/08/19	10 01/10/19	11 05/11/19	12 03/12/19
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, provincia de Río Negro), en el período Enero 2019 - Diciembre 2019.

Parámetros medidos <i>in situ</i>	Campañas											
	1 08/01/19	2 05/02/19	3 05/03/19	4 02/04/19	5 07/05/19	6 04/06/19	7 02/07/19	8 06/08/19	9 27/08/19	10 01/10/19	11 05/11/19	12 03/12/19
Hora	10:20	15:10	10:47	14:56	10:30	15:20	10:35	14:50	10:54	14:50	11:00	15:10
pH	7,87	7,87	8,26	8,18	8,25	8,05	7,62	7,52	8,0	8,2	8,2	8,1
Temperatura del agua (°C)	22,0	25,5	19,0	23,0	14,0	12,0	6,5	12,0	12,5	18,0	18,0	22,5
Temperatura del aire (°C)	21,0	33,0	20,0	27,0	11,0	15,0	9,0	18,0	17,0	21,0	24,0	25,0
Conductividad específica [μS/cm]	1340	1244	1267	1321	1642	1760	1743	1772	1281	13,79	1430	1410

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, provincia de Río Negro) en el período Enero 2019 - Diciembre 2019.

Metal/ metaloides ($\mu\text{g/L}$)	Campañas											
	1 08/01/19	2 05/02/19	3 05/03/19	4 02/04/19	5 07/05/19	6 04/06/19	7 02/07/19	8 06/08/19	9 27/08/19	10 01/10/19	11 05/11/19	12 03/12/19
Arsénico	2,4 \pm 0,1	2,9 \pm 0,1	2,4 \pm 0,1	2,7 \pm 0,1	2,4 \pm 0,1	2,4 \pm 0,1	2,1 \pm 0,1	2,7 \pm 0,1	1,6 \pm 0,1	2,3 \pm 0,1	2,7 \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	4,2 \pm 0,5	3,2 \pm 0,3	3,2 \pm 0,3	3,3 \pm 0,4	5,3 \pm 0,6	1,7 \pm 0,2	2,3 \pm 0,1	8,6 \pm 0,9	1,3 \pm 0,1	2,6 \pm 0,3	2,1 \pm 0,2	0,07
Cobre	2,3 \pm 0,1	1,59 \pm 0,04	1,4 \pm 0,1	1,1 \pm 0,1	1,1 \pm 0,02	0,65 \pm 0,01	0,57 \pm 0,01	0,88 \pm 0,01	1,3 \pm 0,03	1,5 \pm 0,1	1,8 \pm 0,1	2,0 \pm 0,1
Cromo	0,6 \pm 0,1	0,40 \pm 0,08	0,28 \pm 0,08	0,23 \pm 0,80	0,6 \pm 0,08	0,52 \pm 0,08	0,55 \pm 0,08	0,51 \pm 0,08	0,24 \pm 0,08	0,30 \pm 0,08	1,0 \pm 0,1	0,75 \pm 0,09
Mercurio	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<0,18	<0,18	<0,18	<0,18
Molibdeno	3,6 \pm 0,2	4,0 \pm 0,2	4,0 \pm 0,2	3,8 \pm 0,2	4,7 \pm 0,2	3,8 \pm 0,2	3,7 \pm 0,2	4,6 \pm 0,2	3,0 \pm 0,2	3,6 \pm 0,2	3,1 \pm 0,2	3,1 \pm 0,2
Níquel	3,0 \pm 0,2	2,9 \pm 0,2	2,8 \pm 0,2	3,0 \pm 0,2	2,5 \pm 0,2	3,2 \pm 0,2	3,0 \pm 0,2	3,4 \pm 0,2	3,0 \pm 0,2	3,8 \pm 0,2	4,3 \pm 0,2	4,1 \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	<0,4	<0,4	<0,4	0,48 \pm 0,11	0,7 \pm 0,1	0,46 \pm 0,11	0,48 \pm 0,11	0,89 \pm 0,12	<0,4	0,45 \pm 0,11	0,52 \pm 0,11	0,46 \pm 0,11
Uranio	1,0 \pm 0,05	0,78 \pm 0,04	0,89 \pm 0,04	<0,2	1,0 \pm 0,05	1,3 \pm 0,1	1,2 \pm 0,1	1,5 \pm 0,1	0,87 \pm 0,1	0,94 \pm 0,05	0,90 \pm 0,05	0,92 \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 provincia de Río Negro) en el período Enero 2019 - Diciembre 2019.

HAPS ($\mu\text{g/L}$) (*)	Campañas											
	1 08/01/19	2 05/02/19	3 05/03/19	4 02/04/19	5 07/05/19	6 04/06/19	7 02/07/19	8 06/08/19	9 27/08/19	10 01/10/19	11 05/11/19	12 03/12/19
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 2019.

	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	Se	U	Zn
Número de muestras	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108
Frecuencia detección (%)	99	0,9	95	100	0	95	100	39	43	79	97
Máximo (µg/L)	3,45	0,11	3,15	17,0	<0,2	4,7	10,45	7,95	0,89	1,5	36,0
Mínimo (µg/L)	<0,2	<0,2	<0,2	0,36	<0,18	<0,6	1,2	<0,6	<0,4	<0,2	<0,2
Media (µg/L)				3,4			3,2				
Mediana (µg/L)	2,1	<0,2	0,62	2,0	<1	1,9	3,0	<0,6	<0,4	0,4	3,1
Percentil 75 (µg/L)	2,4	<0,2	0,81	4,0	<1	3,0	3,6	1,2	0,48	0,72	6,25
Percentil 95 (µg/L)	2,9	<0,2	1,9	10,7	<1	3,93	5,1	3,3	0,70	1,13	15,3

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

2.4.2 Valores guía

Los resultados obtenidos en el análisis de metales y metaloides en muestras de agua fueron evaluados tomando como referencia valores guía (Tabla 2.32) que definen la aptitud del agua para diferentes usos (Organización Mundial de la Salud 2018; *Canadian Environmental Quality Guidelines*, 2014).

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	(**)	1.000-5.000 ⁽⁵⁾	50.000	7 ^(***)
Cobre	2.000	200 -1.000 ⁽⁶⁾	500-1.000-5.000 ⁽⁷⁾	4 ^(*)
Cromo	50 ⁽⁸⁾	4,9-8,0 ⁽⁹⁾	50 ⁽¹⁰⁾	1,0-8,9 ⁽¹¹⁾
Mercurio	6 ⁽¹²⁾	-	3	0,026
Molibdeno	(**)	10-50 ⁽¹³⁾	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) Guías para la calidad del agua de consumo humano, OMS (2018); (2) CCME, (2014) *Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Agricultural Uses – Irrigation*; (3) CCME, (2014) *Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Agricultural Uses – Livestock*; (4) CCME, (2014) *Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life*; (5) 1.000 µg/L cuando el pH del suelo es <6,5; 5.000 µg/L cuando es >6,5; (6) 200 µg/L para cereales; 1000 µg/L para cultivos tolerantes; (7) 500 µg/L para ovinos, 1000 µg/L para bovinos, 5.000 µg/L para porcinos; (8) Para cromo total; (9) 4,9 µg/L para cromo total, 8,0 para cromo trivalente; (10) 50 µg/L para cromo trivalente y hexavalente; (11) 1,0 µg/L para cromo hexavalente, 8,9 µg/L para cromo trivalente; (12) Para mercurio inorgánico. (13) 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. (14) 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 cadmio, 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. (**) En la 4a edición de las guías de la O.M.S. (2018) no se establece un valor guía basándose en que las concentraciones en el agua de consumo humano son tan bajas que no representan una preocupación para la salud. Concentraciones de cinc del orden de los 4.000 µg/L imparten al agua sabor objetable (***) El valor guía de cinc para protección de la vida acuática fue reducido de 30 µg/L a 7 µg/L en 2018

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⁾)

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

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

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

2.4.3 Discusión

Metales y metaloides

Las concentraciones de metales/metaloides detectados en el presente ciclo en todos los casos fueron inferiores a los respectivos valores guía para uso como fuente de agua potable y para uso agrícola y ganadero.

Los valores guía para la protección de la vida acuática para cinc, cobre y cromo fueron superados en diversas oportunidades. En este último caso el valor guía excedido fue para cromo hexavalente, no obstante, la concentración analizada se refiere a cromo total, no discriminando entre las diferentes especies presentes de este metal. Los niveles de arsénico, cadmio, molibdeno, níquel, selenio y uranio fueron inferiores a sus respectivos valores guía para la protección de la vida acuática. Dicho valor guía fue superado ligeramente para plomo en una única oportunidad en el mes de enero en la estación CL 5 (7,95 µg/L, promedio de dos réplicas).

Al igual que en años anteriores, no hubo detección de mercurio en ninguno de los sitios muestreados. 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. Esta situación y la superación del citado valor guía por algunos

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

A partir de los resultados obtenidos a través del análisis químico y de los ensayos ecotoxicológicos (Sección 2.5), se concluye que el agua mantiene su aptitud para todos los usos a que es sometida en la cuenca.

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

HAPs

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

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

2.5 Ensayos ecotoxicológicos

(Sáenz, 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 2019, Subprograma Calidad del Medio Acuático - Informe de Resultados, Noviembre de 2019).

Las muestras de agua para ensayos ecotoxicológicos fueron extraídas en el río Colorado en el mes de Octubre de 2019, 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 a fin de determinar la inhibición del crecimiento exponiendo a las muestras analizadas en ensayos estáticos de 96 horas de duración. 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 2019. Los resultados representan el promedio de tres réplicas por tratamiento y control.

Muestra	Supervivencia (%)	F^1 ($\alpha = 0,05$)	b^2
Control ³	90,00		
Desfiladero Bayo (CL3)	93,33	≤ 0	2
Punto Unido (CL 4)	90,00	20	27

¹Valor Crítico de Fisher (F) a un nivel de significación de 0,05; ²Parámetro 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; ³Población control, mantenida durante 21 días en las condiciones indicadas para el ensayo en agua de dilución, en ausencia de muestra.

Desfiladero Bayo: el valor crítico de Fisher ($\alpha=0,05$) es negativo. El valor de b para las muestras es 2. Sí 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. Punto Unido: el valor crítico de Fisher ($\alpha=0,05$) es 20. el valor de b para las muestras es 27, sí 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 sobre la supervivencia ($p \leq 0,05$), 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 la Tasa Neta de Reproducción calculada, 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 2019, 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	70,3000 (±2,1071)
Desfiladero Bayo (CL 3)	69,4667 (±2,1595)
Punto Unido (CL 4)	69,1041 (±2,4000)

¹Población 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 3 (Desfiladero Bayo) y CL 4 (Punto Unido) 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.

2.5.2 Ensayos con *Pseudokirchneriella subcapitata*

2.5.2.1 Resultados

En la tabla 2.37 se presentan los resultados obtenidos de los ensayos de inhibición de crecimiento algal con la especie *P. subcapitata* con el agregado de las sales nutritivas (E), de acuerdo con las recomendaciones de US EPA (2002). Cada resultado representa la media de tres 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</i> <i>in vivo</i> (µg/L)	% Inhibición
Control	2,30 (±0,3)	42,6 (±6,5)	-
Desfiladero Bayo (CL 3)	2,28 (±1,3)	42,3 (±2,5)	0,8
Punto Unido (CL 4)	2,21 (±1,4)	41,0 (±2,6)	4

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</i> <i>in vivo</i> (µg/L)
Control	2,30 (±0,3)	42,6 (±6,5)
Desfiladero Bayo (CL 3)	1,35 (±0,5)	25,0 (±1)
Punto Unido (CL 4)	1,36 (±0,1)	25,3 (±2,0)

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

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

Análisis microscópico

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

2.6 Conclusiones

- 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*.
- No hubo efectos fitotóxicos sobre el crecimiento del alga *Selenastrum capricornutum* (ANOVA-Dunnnett $p > 0.05$).

Estas conclusiones son coherentes con la obtenida a través de los análisis químicos efectuados a fin de constatar la aptitud del agua para diferentes usos en los mencionados sitios.

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

Referencias

- CCREM (*Canadian Council of Resource and Environment Ministers*), 1987, *Canadian Water Quality Guidelines*.
- CCME (*Canadian Council of Ministers of the Environment*), 2014, *Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Agricultural Uses - Irrigation, Canadian Environmental Quality Guidelines*.
- CCME (*Canadian Council of Ministers of the Environment*), 2014, *Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Agricultural Uses - Livestock, Canadian Environmental Quality Guidelines*.
- CCME (*Canadian Council of Ministers of the Environment*), 2014, *Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life, Canadian Environmental Quality Guidelines*.
- CCME (*Canadian Council of Ministers of the Environment*), 2014, *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*.
- OMS (Organización Mundial de la Salud), 2018, *Guías para la Calidad del Agua de Consumo*. 4^{ta} edición incorporando la primera adenda, Ginebra.
- 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/metaloideos y de 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 2019 a fin de verificar la aptitud de la calidad 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 río Colorado y en el embalse Casa de Piedra.

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

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, POE S001 (limpieza de envases y elementos de muestreo) y POE S002 (muestreo de sedimentos de fondo) del Programa de Aseguramiento de la Calidad para Operaciones de Campo del COIRCO.

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

Para efectuar el submuestreo 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/metaloideos y ensayos ecotoxicológicos) y con ácido nítrico 5% y acetona grado cromatográfico (muestras para análisis de hidrocarburos). Mediante dichos elementos se obtuvieron submuestras a partir de las porciones de sedimentos que no estuvieron en contacto con las paredes 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 extrajeron 20 muestras, tomándose de cada una de ellas sendas submuestras de los primeros 5 cm de sedimento. Las 20 submuestras se homogeneizaron en recipientes de vidrio previamente lavados con ácido nítrico al 5% y enjuagados con agua ultrapura y posteriormente se separaron las porciones para enviar a cada uno de los laboratorios.

Los elementos utilizados para el muestreo, homogeneización y envasado fueron previamente lavados mediante el procedimiento antes descripto (POE S001).

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

Las muestras de sedimentos de fondo para ensayos ecotoxicológicos fueron extraídas en el río Colorado (aguas abajo de Puesto Hernández) y en el embalse Casa de Piedra (sector de la toma). Las correspondientes submuestras fueron envasadas en porciones de aproximadamente 2 kg en bolsas de polietileno y fueron preservadas en campo en conservadoras con hielo.

Las muestras para análisis de metales y metaloides y HAPs fueron luego congeladas en *freezer* (-18°C) y enviadas a los laboratorios, en tanto que las destinadas a 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 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 figuran 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 - 6010B	1
Bario	ICP-OES	EPA 3051 - 6010 B	0,5
Boro	ICP-OES	EPA 3051 - 6010 B	2
Cadmio	ICP-OES	EPA 3051 - 213.2	0,3
Cinc	ICP-OES	EPA 3051 - 6010 B	0,7
Cobre	ICP-OES	EPA 3051 - 6010 B	0,5
Cromo	ICP-OES	EPA 3051 - 6010 B	0,3
Mercurio	A.A. por vapor frío	EPA 3051- EPA 7471a	0,05
Molibdeno	ICP-OES	EPA 3051 - 6010 B	0,5
Níquel	ICP-OES	EPA 3051 - 6010 B	0,3
Plata	ICP-OES	EPA 3051 - 6010 B	1
Plomo	ICP-OES	EPA 3051 - 6010 B	1
Selenio	ICP-OES	EPA 3051 - 6010 B	0,5
Vanadio	ICP-OES	EPA 3051 - 6010 B	0,3

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

3.4.2 Análisis de hidrocarburos aromáticos polinucleares

Técnica y métodos analíticos

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)

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

Tabla 3.3 - Técnica y métodos analíticos empleados en el análisis de HAPs en sedimentos de fondo y sus respectivos límites de cuantificación.

HAPs	Técnica analítica	Método analítico	Límite de cuantificación ($\mu\text{g/g}$)
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 marcadores 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 (1996¹, 2000²) y Di Marzio et al. (1999³).
- Ensayos con *Vallisneria spiralis*: los ensayos fueron realizados según las recomendaciones indicadas en Biernackiet al⁴.
- Evaluación de la actividad enzimática guaiacol peroxidasa en *Vallisneria spiralis*: se llevó a cabo por el método desarrollado por Egert y Tevini⁵
- Evaluación de la actividad enzimática catalasa en *Vallisneria spiralis*: se llevó a cabo empleando el método de Johansson y Borg⁶.

Referencias

- ¹ 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-96120: 1-10.*
- ² US EPA 2000. *Methods for Measuring the Toxicity and Bioaccumulation of Sediment-associated Contaminants with Freshwater Invertebrates. Duluth, Mn, EPA 600/R-99/064.*
- ³ 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.*
- ⁴ 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).*
- ⁵ 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.*
- ⁶ 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 (Octubre 2019).

Metales/metaloides ($\mu\text{g/g}$ peso seco)	
Arsénico	9,8
Bario	220
Boro	62
Cadmio	<0,3
Cinc	72
Cobre	32
Cromo	30
Mercurio	0,11
Molibdeno	<0,5
Níquel	13
Plata	<1
Plomo	7,5
Selenio	<0,5
Vanadio	201

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 (Octubre 2019)

Metales/metaloides ($\mu\text{g/g}$)	Transectas								
	1a	1b	1c	2a	2b	2c	3a	3b	3c
Arsénico	13	7,8	10	11	8,4	9,2	8,7	9,6	8,6
Bario	194	201	213	223	219	229	192	215	214
Boro	65	59	61	60	64	69	60	58	56
Cadmio	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
Cinc	65	78	65	68	66	67	69	75	78
Cobre	35	31	36	38	37	36	38	35	37
Cromo	29	27	25	28	27	31	28	27	28
Mercurio	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,07	0,06	<0,05	<0,05
Molibdeno	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Níquel	14	16	18	13	15	14	11	10	9,7
Plata	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Plomo	12	10	11	10	9,8	10	8,7	9,2	9,3
Selenio	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Vanadio	192	187	178	182	177	179	188	191	199

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 (Octubre 2019).

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

Tabla 3.7- HAPs en sedimentos de fondo ($\mu\text{g/g}$ peso seco) extraídos en transectas en la toma del embalse Casa de Piedra (Octubre de 2019).

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

3.7 Valores guía

Los resultados obtenidos en el análisis de metales y metaloides y HAPs fueron evaluados tomando como referencia los valores guía para la protección de la vida acuática publicados en *Canadian Environmental Quality Guidelines* (CCME 2014) los cuales figuran en las Tablas 3.8 y 3.9.

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 Discusión

Tanto en los sedimentos de fondo extraídos en el río Colorado (aguas abajo de Puesto Hernández) como los del área de la toma del embalse Casa de Piedra, las concentraciones de arsénico en la fracción recuperable total en todos los casos superaron el correspondiente valor guía para la protección de la vida acuática, aunque las mismas fueron siempre inferiores al nivel de efecto probable.

Las concentraciones halladas de cadmio, cinc, cobre, cromo, mercurio y plomo en el río Colorado (aguas abajo de puesto Hernández) fueron inferiores a los respectivos valores guía. El nivel de mercurio detectado fue de 0,11 µg/g frente a un valor guía de 0,17 µg/g.

No fueron detectados cadmio, molibdeno y selenio. En el caso de bario, boro, níquel, plata, selenio y vanadio, no se han desarrollado aún valores guía, por lo cual no puede establecerse por esta vía la significación de los niveles hallados.

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 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 2019, Subprograma Calidad del Medio Acuático - Informe de Resultados, Noviembre de 2019).

3.9.1 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.

3.9.1.1 Resultados

Tabla 3.10 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) del embalse Casa de Piedra en el mes de Octubre de 2019.

Muestra	Sobrevivencia (%)	c.v.	Crecimiento (μm)	s	c.v.
Control ¹	92,5	10,35	1125	132,29	11,76
Puesto Hernández	87,5	10,94	1007,5	86,94	8,63
Toma del embalse Casa de Piedra (2c)	52,5*	18,24	590*	89,81	15,22
Toma del embalse Casa de Piedra (3a)	85	15,19	1125	86,60	7,70

¹Población 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 $p < 0,05$. * significativo respecto los controles $p < 0,05$.

3.9.1.2 Discusión

Los resultados obtenidos permiten establecer que no se han registrado efectos ecotóxicos de los sedimentos analizados respecto del crecimiento sobre individuos de *Hyalella curvispina* para las muestras de Puesto Hernández y Toma del embalse 3a. Para la muestra Toma del embalse 2c hubo un efecto negativo significativo sobre el crecimiento y sobrevivencia ($p < 0,05$).

3.9.2 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*.

3.9.2.1 Resultados

Tabla 3.11. Tasa de Crecimiento Relativo (TCR) y contenido de clorofila *a* de *Vallisneria spiralis* al cabo de 10 días de exposición a sedimento control y a muestras de 100% de sedimento provenientes de las estaciones Puesto Hernández y Toma del embalse Casa de Piedra 2c y 3a extraídas en el mes de Octubre de 2019. 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	12,05 (±0,91)	288,8 (±1,7)
Puesto Hernández	11,44 (±0,06)	278,5 (±2,1)
Toma del embalse 2c	10,65 (1,09)	274,5 (±4,2)
Toma del embalse 3a	12,09 (±0,98)	280,7 (±6,6)

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.

3.9.2.2 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 Río Colorado Puesto Hernández, Embalse Toma 2c, y Embalse Toma 3a y (ANOVA "test" de Dunnett, $p > 0.05$). Los resultados de contenido en Clorofila "a" se correspondieron con los resultados anteriores.

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

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

3.9.3.1 Resultados

En las Tablas 3.12 y 3.13 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.

3.9.3.1.1 Evaluación de la actividad de guaiacol peroxidasa

Tabla 3.12 Actividad guaiacol peroxidasa (milimoles de guaiacol catalizado por minuto de reacción por mg de proteína y en unidades enzimáticas) luego de la exposición durante 10 días de *Vallisneria spiralis* a muestras de sedimento entero provenientes de diferentes estaciones (Octubre de 2019).

Muestra	Actividad guaiacol peroxidasa (mMGuaiacol/min/mg proteína)	Actividad (Unidades enzimáticas) ²
Control ¹	0,88 (±0,04)	75 (±4,1)
Puesto Hernández	0,87 (±0,04)	74 (±3,7)
Toma del embalse 2c	0,72 (±0,02)	61 (±2,4)
Toma del embalse 3a	0,78 (±0,04)	67 (±3,9)

¹Población 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 3.12 permiten observar la ausencia de diferencias significativas (ANOVA de un factor con test de Dunnett, ($p < 0,05$) entre los valores de la actividad guaiacol peroxidasa en las hojas de las plantas incubadas en las muestras de sedimento entero provenientes del río Colorado (aguas abajo de Puesto Hernández) y de la Toma del embalse 1a y Toma del embalse 2c respecto de las plantas controles no expuestas.

3.9.3.1.2 Evaluación de la actividad de catalasas

Tabla 3.13 Actividad catalasas (en milimoles de peróxido de hidrógeno catalizado por minuto de reacción por mg de proteína y actividad en unidades enzimáticas) luego de la exposición durante 10 días de una población de *Vallisneria spiralis* a muestras de sedimento entero provenientes de diferentes estaciones de muestreo (Octubre de 2019). Los resultados representan el promedio y desvío estándar.

Muestra	Actividad catalasas (mM H ₂ O ₂ /min/mg proteína)	Actividad (Unidades enzimáticas) ²
Control ¹	115,0 (±9,6)	13,9 (±1,1)
Puesto Hernández	112,5 (±3,8)	13,5 (±0,4)
Toma del embalse 2c	93 (±4,5)	10,1 (±0,5)
Toma del embalse 3a	93,8 (±8,6)	12,3 (±1,1)

¹Población control mantenida durante 10 días en las condiciones del ensayo en sedimento estándar. ²Una 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.

Las plantas incubadas en los sedimentos provenientes de los sitios Toma del embalse 2c, Toma del embalse 3a y Río Colorado, aguas abajo de Puesto Hernández presentaron un crecimiento y actividades enzimáticas para ambas enzimas estudiadas no diferente de las plantas controles. Por lo tanto, estas muestras no afectaron los parámetros estudiados. Las plantas incubadas en las muestras de sedimentos proveniente del sitio Toma del embalse 2c registraron una tasa de crecimiento y actividades enzimáticas ligeramente inferiores a los controles, sin embargo, estas diferencias no fueron significativas.

3.9.4 Conclusiones generales

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 *Hyalella curvispina*, como resultado de su exposición durante 10 días, a las muestras del sedimento entero extraídas en el río Colorado en la estación Puesto Hernández y en el embalse Casa de Piedra, sector toma, en el sitio 3a (ANOVA - Dunnett $p > 0.05$).
- En las condiciones de los ensayos, se han registrado efectos ecotóxicos significativos, en relación con 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 embalse Casa de Piedra, sector toma, en el sitio 2c (ANOVA - Dunnett $p < 0.05$).

- En las condiciones de los ensayos, no se han registrado efectos ecotóxicos crónicos significativos, en relación con los controles, sobre el contenido de clorofila *a*, considerados como estimadores de la biomasa, de la población de la planta macrófita acuática enraizada *Vallisneria spiralis*, como resultado de su exposición durante 10 días, a las muestras del sedimento entero extraídas en el río Colorado en la estación Puesto Hernández y en el embalse Casa de Piedra, sector toma. en los sitios 2c y 3a(ANOVA-Dunnett $p > 0.05$).
- En las condiciones de los ensayos, no se han registrado efectos ecotóxicos crónicos significativos, en relación con 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 en la estación Puesto Hernández y en el embalse Casa de Piedra, sector toma. en los sitios 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 en la estación Puesto Hernández y en el embalse Casa de Piedra, sector toma. en los sitios 2c y 3a (ANOVA-Dunnett $p > 0.05$).

Los resultados negativos obtenidos en los ensayos con *Hyaella curvispina* con sedimentos de fondo extraídos en el área de Puesto Hernández son diferentes de los observados en ciclos anteriores, los cuales, dado su carácter contradictorio y variable, habían indicado la necesidad de efectuar muestreos complementarios en otros sitios de esa zona. En función de los resultados actuales, por el momento sería aconsejable continuar la evaluación en el sitio original, procurando establecer la causa de la variabilidad observada.

En tanto que a partir de los resultados positivos en los ensayos con el citado organismo en las variables estudiadas (crecimiento y sobrevivencia), pero negativos con la macrófita acuática enraizada *Vallisneria spiralis* (variables y biomarcadores) en el sitio 2c del área de la toma del embalse Casa de Piedra surge la necesidad de continuar evaluando esta situación.

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.*

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 en octubre de 2019, 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 a 2019. 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.

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 del embalse, en cercanías de la Villa Casa de Piedra, sobre margen izquierda. Se caló una batería completa.

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

Pesca eléctrica y red de voleo

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

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

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

En el área de Puesto Hernández se capturaron con red de voleo dos ejemplares de pejerrey bonaerense aptos para el muestreo de músculo, acompañados por peces de pequeño tamaño: 5 *Jenynsia* (madrecita de agua) y 1 bagre otuno. No se obtuvieron capturas con pesca eléctrica. Las pobres capturas fueron debidas a los grandes caudales del río y a la nula visibilidad asociada a los mismos (agua barrosa).

En el embalse Casa de Piedra se capturaron 72 ejemplares de pejerrey bonaerense y 9 de carpa. Para extraer las muestras de músculo dorsal se seleccionaron 10 pejerreyes y las 9 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 (POE P001 y POE 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 (µg/g)
Arsénico	ICP	EPA 200.3 – EPA 6010 B	0,2
Antimonio			0,2
Bario			0,2
Cadmio			0,1
Cinc			1,0
Cobre			0,5
Cromo			0,2
Hierro			1,0
Molibdeno			0,2
Níquel			0,2
Plata			0,3
Plomo			0,15
Selenio			0,4
Mercurio			AA-VF

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

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

Tabla 4.4 Concentraciones de metales y metaloides ($\mu\text{g/g}$, peso húmedo) halladas en el músculo dorsal de pejerrey bonaerense capturado en el río Colorado (Puesto Hernández) – Octubre de 2019.

Metal/metaloide ($\mu\text{g/g}$)	Pejerrey bonaerense (2)
Arsénico	<0,2
Antimonio	<0,2
Bario	<0,2
Cadmio	<0,1
Cinc	5,9 \pm 0,4
Cobre	1,2 \pm 0,1
Cromo	<0,2
Hierro	9,5 \pm 0,7
Mercurio	0,15 \pm 0,01
Molibdeno	<0,2
Níquel	<0,2
Plata	<0,3
Plomo	2,5 \pm 0,2
Selenio	0,75 \pm 0,05

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) -Octubre de 2019.

Metal/metaloides ($\mu\text{g/g}$)	Pejerrey bonaerense (10)	Carpa (9)
Arsénico	<0,2	<0,2
Antimonio	<0,2	<0,2
Bario	<0,2	<0,2
Cadmio	<0,1	<0,1
Cinc	6,3 \pm 0,4	5,5 \pm 0,4
Cobre	<0,5	1,8 \pm 0,1
Cromo	<0,2	<0,2
Hierro	12 \pm 0,8	18 \pm 1,3
Mercurio	0,18 \pm 0,01	0,12 \pm 0,01
Molibdeno	<0,2	<0,2
Níquel	<0,2	<0,2
Plata	<0,3	<0,3
Plomo	2,0 \pm 0,1	1,8 \pm 0,1
Selenio	0,92 \pm 0,06	0,68 \pm 0,05

4.5.2 HAPs

Tabla 4.6 Concentraciones de HAPs ($\mu\text{g/g}$, peso húmedo) halladas en el músculo dorsal de pejerrey bonaerense capturado en el río Colorado (Puesto Hernández) - Octubre de 2019.

HAPs ($\mu\text{g/g}$)	Pejerrey bonaerense (2)
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 pejerrey bonaerense y carpa capturados en el embalse Casa de Piedra (Villa) en Octubre de 2019.

HAPs ($\mu\text{g/g}$)	Pejerrey bonaerense (10)	Carpa (9)
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 2017), 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/metaloide	Límite (µg/g)
Antimonio	20 ⁽¹⁾
Arsénico	1 ⁽¹⁾
Bario	500 ⁽¹⁾
Boro	100 ⁽¹⁾
Cadmio	5 ⁽¹⁾
Cinc	100 ⁽¹⁾
Cobre	10 ⁽¹⁾
Cromo	-
Hierro	500 ⁽¹⁾
Mercurio	0,5 ^(1,2)
Molibdeno	-
Níquel	150 ⁽¹⁾
Plata	1 ⁽¹⁾
Plomo	20 ⁽¹⁾
Selenio	0,3 ⁽¹⁾

⁽¹⁾ SENASA (Res. Ex-SENASA N° 533 - 10/05/94) ⁽²⁾ Código alimentario argentino - Capítulo VI – Alimentos Cárneos y Afines: (Res 846, 30.7.76) "La carne de pescados frescos, moluscos o crustáceos, así como la de sus conservas, no deberá contener mercurio en cantidad superior a 0,5 mg/kg (0,5 ppm) y de esa cifra no más de 0,3 mg/kg (0,3 ppm) (expresada como mercurio) podrá encontrarse como compuestos metilmercuriales."

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

4.7 Conclusiones generales

Cabe destacar que en el presente ciclo la captura de peces en el río Colorado (Puesto Hernández) fue muy escasa (sólo dos ejemplares de pejerrey bonaerense) no alcanzándose por lo tanto el número mínimo requerido en este tipo de estudio. Por lo tanto, no puede emitirse una conclusión definitiva, tanto para los contenidos de metales/metaloideos como los de HAPs, en relación con el consumo de pescado capturado en esta área.

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

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

Las concentraciones de selenio detectadas en las especies capturadas y analizadas, tanto en el río Colorado (Puesto Hernández) como en el embalse Casa de Piedra (villa), superaron en todos los casos ligeramente el correspondiente límite (0,3 µg/g). No obstante, de acuerdo con los límites para el consumo basados en el riesgo (US EPA 2000), el nivel hallado permite un consumo irrestricto tanto para pejerrey bonaerense como para carpa.

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

Referencias

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

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

SENASA (Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria) 1968, Decreto 4238/68. Capítulo XXIII – 23. Productos de la pesca, 23.14.8 – 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

En base a los resultados obtenidos en la ejecución del Subprograma Calidad del Medio Acuático en el período de estudio 2019, ha sido posible extraer las siguientes conclusiones:

- *Calidad del agua*

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

En relación con la posible significación de la superación de ciertos valores guía de metales/metaloideos para la protección de la vida acuática, de la falta de desarrollo de los mismos en algunos casos y de las limitaciones del instrumental disponible para verificarlo en otro, los ensayos ecotoxicológicos llevados a cabo con muestras de agua obtenidas en el mismo muestreo en las estaciones CL 3 (correspondiente al área de mayor explotación hidrocarburífera en la cuenca) y CL 4 (sitio de distribución del agua para diferentes usos), indicaron la ausencia de efectos tóxicos sobre las variables medidas en dos organismos de ensayo, indicando por lo tanto la aptitud del agua para el desarrollo de la vida acuática.

- *Calidad de los sedimentos de fondo*

Los niveles de metales/metaloideos en general y la no detección de HAPs en sedimentos de fondo, en las dos áreas muestreadas (Puesto Hernández y embalse Casa de Piedra), indicaron la ausencia de riesgo para el desarrollo de la vida acuática. Las concentraciones de arsénico detectadas, tanto en el río Colorado como en el embalse, en todos los casos superaron el correspondiente valor guía para la protección de la vida acuática, aunque las mismas fueron siempre inferiores al nivel de efecto probable.

Dado los resultados negativos obtenidos en el presente ciclo en los ensayos con *Hyalella curvispina* con sedimentos de fondo extraídos en el área de Puesto Hernández, por el momento, sería aconsejable mantener la evaluación en el sitio original, no incorporando un segundo sitio y procurando establecer la causa de la variabilidad observada en ciclos anteriores.

En el área de la toma del embalse Casa de Piedra (sitio 2c) a partir de los resultados contrapuestos obtenidos con dos organismos de ensayo utilizados surge la necesidad de continuar evaluando esta situación.

- *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 la no detección de HAPs en el músculo dorsal de las especies investigadas, teniendo presente las

restricciones impuestas en el caso del río Colorado (puesto Hernández) por el escaso número de ejemplares capturados, no implican un riesgo para el consumo humano.

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

Recomendaciones

- Continuar con el monitoreo de metales/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 estos 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 ciclos anteriores.
- 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

GLOSARIO

Agua ultra pura 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.

Metaloides: grupos de elementos químicos cuyas propiedades son intermedias entre los metales y los no metales. Se ubican en la Tabla Periódica entre estos últimos.

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.



Sede Operativa: Belgrano 366 – (B8000IJH) Bahía Blanca – Argentina
Tel: (0291) 455-1054/3054 – coirco@coirco.gov.ar – www.coirco.gov.ar