

CALIDAD DEL AMBIENTE ACUÁTICO EN EL SISTEMA DEL RÍO COLORADO

Ricardo Alcalde ⁽¹⁾, Juan Enrique Perl ⁽²⁾⁽³⁾, Fernando Andrés ⁽²⁾⁽³⁾

(1) Asesor de la Comisión Técnica Fiscalizadora; ⁽²⁾ Comité Interjurisdiccional del Río Colorado; ⁽³⁾ Comisión Técnica Fiscalizadora (Secretaría de Energía de la Nación – Comité Interjurisdiccional del Río Colorado)

Sinopsis

La calidad del ambiente acuático del sistema del río Colorado, constituido por los ríos Grande, Barrancas, Colorado y el embalse Casa de Piedra, fue objeto de un pormenorizado estudio en el período comprendido entre 1997 y 1999. Esto permitió elaborar un diagnóstico del estado de diferentes componentes de ese ambiente en relación con la presencia de contaminantes originados en las actividades productivas llevadas a cabo en el área (explotación petrolera y agricultura) y los usos del recurso. A partir de ese diagnóstico fue diseñado un programa de evaluación del medio acuático que incluyó el monitoreo de sustancias tóxicas (metales pesados e hidrocarburos aromáticos polinucleares) en tres compartimentos: la columna de agua, los sedimentos de fondo y la biota acuática, representada esta última por la fauna íctica. Sobre esta base, desde el año 1999, fueron incorporándose nuevas herramientas de diagnóstico tales como los ensayos ecotoxicológicos crónicos con agua y sedimentos de fondo. Además, en función de los resultados obtenidos, se extendió el área de estudio a la alta cuenca y se evaluaron posibles fuentes de aportes de contaminantes. En el presente trabajo se presentan los resultados y conclusiones obtenidas en tres años de ejecución del programa.

1. Introducción

El recurso hídrico de la Cuenca del Río Colorado es utilizado para proveer de agua potable a las comunidades ribereñas y se encuentra en construcción un acueducto que abastecerá en un futuro próximo al 80% de las poblaciones de la provincia de La Pampa. Paralelamente con el agua del río Colorado se riega en la actualidad un área cultivada de 120.000 ha, existiendo la potencialidad de extenderse a 350.000 ha. Existen aprovechamientos hidroeléctricos y se abastecen requerimientos de uso industrial y petrolero. En cuanto a esta actividad, la producción de petróleo en la cuenca del río Colorado es por su magnitud la primera en importancia en el país.

El sistema del río Colorado, constituido por los ríos Grande, Barrancas, Colorado y el embalse Casa de Piedra, fue objeto de un pormenorizado estudio de calidad de aguas en el período comprendido entre 1997 y 1999 (Alcalde *et al.* 2000). Dicho estudio, cuyo carácter fue integral, tuvo por objeto efectuar un diagnóstico del estado del recurso en relación con diversos contaminantes que podrían ser generados en diferentes actividades desarrolladas en el área y en contingencias registradas en el pasado en la actividad petrolera. El mencionado Estudio, fue coordinado por el Comité Interjurisdiccional del Río Colorado (COIRCO) y la Comisión Técnica Fiscalizadora (CTF), con la participación de una empresa especializada en muestreos y monitoreos ambientales, y cuatro laboratorios pertenecientes a instituciones científicas, en los cuales se llevaron a cabo las determinaciones de las sustancias investigadas en las tres matrices (agua, sedimentos y músculo de peces). Dichas instituciones fueron el Laboratorio del Departamento Química de la Universidad Nacional del Comahue (análisis de nutrientes, carga orgánica y bacteriología), el Laboratorio de

Química Ambiental de la Universidad Nacional de La Plata (análisis de hidrocarburos por cromatografía en fase gaseosa), el Laboratorio de Análisis por Activación Neutrónica Instrumental del Centro Atómico Bariloche (análisis de metales pesados y metaloides por activación neutrónica instrumental), el Laboratorio del LIBIQUIMA – Universidad Nacional del Comahue (análisis de plaguicidas por cromatografía en fase gaseosa).

2. Relevamiento y evaluación de calidad del ambiente acuático (1997-1999)

2.1 Área de estudio

El área de estudio (Figura 1) estaba comprendida en el sector de la cuenca del río Colorado ubicado entre los 36° y los 38° de latitud sur y los 67° y 69° de longitud oeste. Abarcaba los tramos finales de los ríos Grande y Barrancas, el río Colorado en el tramo comprendido entre su nacimiento y el embalse Casa de Piedra y este último hasta su descarga.

2.2 Sustancias investigadas

Las sustancias consideradas prioritarias para este estudio fueron 19 metales pesados y metaloides (Tabla 1) teniendo como fuente potencial la actividad petrolera y la urbana; 19 HAPs (hidrocarburos aromáticos polinucleares) (Tabla 1) (actividad petrolera y urbana) y plaguicidas (actividad agrícola). Entre los plaguicidas investigados figuraban organoclorados, organofosforados, carbamatos, piretroides y herbicidas y fungicidas de diferentes familias. El criterio para la selección se basó en el uso y/o posible presencia de estos contaminantes, su toxicidad crónica (para el hombre y para la vida acuática), su inclusión en normas y valores guía de calidad y su potencial persistencia en los diferentes compartimentos del ambiente acuático. Entre estos últimos se consideraron la columna de agua, los sedimentos de fondo y la biota acuática (representada en este caso por la fauna íctica).

La evaluación de los resultados se llevó a cabo tomando como referencia diferentes valores guía y límites (WHO 1993, COFES 1996, CCREM, 1987, CCME, 1999a y 1999b, US-EPA 1999), los cuales han sido desarrollados para la calidad del agua de bebida, la protección de diferentes usos del agua (irrigación, ganadería y desarrollo de la vida acuática) y el consumo de pescado basado en el riesgo.

Los muestreos de agua y sedimentos de fondo fueron llevados a cabo según procedimientos publicados en la literatura (CCME 1993).

El estudio fue desarrollado en el marco de un programa de aseguramiento de la calidad de las operaciones de campo y laboratorio, conforme a metodologías establecidas (Gaskin 1993). El mencionado programa incluyó la realización, por parte de los laboratorios intervinientes, de la verificación de desempeño analítico (límite de detección del método, precisión y recuperación) para las sustancias a nivel de trazas (metales y metaloides, HAPs y plaguicidas organoclorados). Para las matrices sólidas (sedimentos y músculo de peces) la exactitud de los métodos analíticos para metales/metaloides, HAPs y plaguicidas organoclorados fue constatada mediante el análisis de materiales de referencia certificados obtenidos del *National Institute of Standards and Technology* (NIST, USA) y del *National Research Council* (NRC, Canadá). El control de calidad de las operaciones de campo fue efectuado mediante el análisis de réplicas de muestras, blancos de campo y muestras y blancos adicionados con estándares (únicamente para metales y metaloides). La identificación de estas muestras de control era desconocida por los laboratorios actuantes.

Tabla 1. Metales/metaloideos y HAPs investigados en agua en el período 1997-1999

Metales/metaloideos	HAPs
Arsénico	Naftaleno
Antimonio	Acenaftileno
Bario	Acenafteno
Boro	Fluoreno
Cadmio	Fenantreno
Cinc	Antraceno
Cobalto	3-Metil-fenantreno
Cobre	2-Metil-fenantreno
Cromo	9-Metil-fenantreno
Litio	1-Metil-fenantreno
Manganeso	Fluoranteno
Mercurio	Pireno
Molibdeno	Benzo[a]fluoreno
Níquel	Benzo[a]antraceno
Plata	Criseno
Plomo	Benzo[e]pireno
Selenio	Benzo[a]pireno
Uranio	Dibenzoantraceno
Vanadio	Benzo[g,h,i]perileno

2.3 Diseño del estudio

La ejecución del programa de relevamiento demandó el establecimiento de 16 estaciones de muestreo de agua (14 de evaluación y 2 de referencia ubicadas en áreas libres de influencia antrópica), 6 de descargas (cloacales y canales de drenaje agrícola), 12 de sedimentos de fondo y 8 de peces (5 en ríos y 3 en canales de drenaje), ver figura 1. La frecuencia de muestreo fue mensual para la columna de agua (cuatrimestral en las estaciones de referencia) y las descargas; los colectores de drenaje fueron muestreados con frecuencia mensual durante el período de riego para el estudio de plaguicidas. Los sedimentos de fondo y los peces fueron muestreados anualmente.

Las descargas cloacales existentes fueron evaluadas como fuentes de aporte de nutrientes (nitrógeno y fósforo) al embalse Casa de Piedra en relación con el estado trófico de éste y además por la contribución bacteriana y de materia orgánica (DBO₅) al río. Los canales de drenaje fueron estudiados como fuentes aporte de nutrientes al embalse y también por su aporte de sales al río Colorado, en relación con los usos aguas abajo de dichas descargas.

2.4 Resultados

Columna de agua

La evaluación de la calidad del agua para uso como fuente de agua potable, irrigación, ganadería puso de manifiesto su aptitud para dichos usos (Alcalde *et al.* 2000). En lo referido a protección de la vida acuática, los niveles de concentración correspondientes a los valores guías derivados para ciertos metales y metaloides (mercurio y selenio) no pudieron ser alcanzados con la metodología analítica disponible. Por otra parte, en diversas oportunidades, se observó que fueron superados los valores guía para cinc y cobre. Esto planteó la necesidad de recurrir a otras herramientas de diagnóstico con el propósito de evaluar la significación de esa situación. A tal fin, se planeó llevar a

cabo en una etapa posterior, ensayos ecotoxicológicos con agua del río Colorado extraída en diferentes sitios, empleando como organismo de ensayo *Daphnia magna*.

En relación con la carga orgánica, los valores de DBO₅ observados en las descargas cloacales investigadas y teniendo en cuenta los caudales de las mismas, indicaron que no era de esperar efectos apreciables en la calidad del agua del río Colorado en lo referente a su contenido de oxígeno disuelto.

Sedimentos de fondo

Las observaciones realizadas sugirieron que los metales y metaloides detectados en los sedimentos de fondo en toda el área de estudio provenían de fuentes naturales vinculadas a la litología de la alta cuenca (Alcalde *et al.* 2000).

Las concentraciones de HAPs en sedimentos detectadas en todas las estaciones de muestreo fueron bajas (Alcalde *et al.* 2000) y los miembros del grupo observados (mayoritariamente acenafteno) sugirieron un origen pirogénico (Yunker & Mac Donald 1995). Las concentraciones de ciertos HAPs en algunas ocasiones superaron los valores guía para la protección de la vida acuática (Tabla 2). Por esta razón, se consideró necesario evaluar esta situación en una etapa posterior por medio de ensayos de toxicidad con sedimentos de fondo, empleando como organismo de ensayo *Hyalella curvispina*.

Tabla 2. Valores guía para la calidad de los sedimentos de aguas dulces para la protección de la vida acuática⁽¹⁾

Hidrocarburo	Valor guía (ng/g, peso seco)
Acenafteno	6,71
Acenaftileno	5,87
Antraceno	46,9
Benzo[a]antraceno	31,7
Benzo[a]pireno	31,9
Criseno	57,1
Dibenzo[a,h]antraceno	6,22
Fenantreno	41,9
Fluoranteno	111
Fluoreno	21,2
2-Metilnaftaleno	20,2
Naftaleno	34,6
Pireno	53,0

⁽¹⁾ (CCME 1999c)

Los plaguicidas organoclorados detectados en los sedimentos de fondo de canales de drenaje agrícola fueron DDT (1,1,1-tricloro-2,2-bis(4-clorofenil)etano) sus metabolitos DDE (1,1-dicloro-2,2-bis(4-clorofenil)etileno) y DDD (1,1-dicloro-2,2-bis(4-clorofenil)etano) y, con menor frecuencia, α -clordano (1,2,4,5,6,7,8,8-octacloro-2,3,3a,4,7,7a-hexahidro-4,7-metanoindeno). Su presencia proviene del uso de estos productos en el pasado y es debida a su gran persistencia en el ambiente. Los niveles de estas sustancias, con una sola excepción, estuvieron por debajo de los valores guía para la protección de la vida acuática (CCME 1999b).

Biota acuática (peces)

En la Tabla 3 figuran los sitios muestreados y las especies de peces capturadas (Figura 1).

En el análisis de metales/metaloideos en músculo dorsal de peces se detectó mercurio, en concentraciones que superaban el límite para el consumo humano de 0,5 µg/g, con una distribución generalizada en el área muestreada, incluidas las estaciones de referencia. No obstante, debido a la escasez de la captura, la cual no permitió, a pesar del esfuerzo de pesca, alcanzar el número de ejemplares por especie recomendado (20), ni tampoco la uniformidad de talla requerida, no fue posible obtener conclusiones acerca de esta observación. Una situación similar se observó en relación al selenio, para el cual se detectaron valores algo superiores al límite (0,3 µg/g) establecido en la norma nacional (SENASA 1994), no pudiéndose arribarse a otras conclusiones a causa de las limitaciones antes mencionadas. La fuente de aporte de estos dos elementos era desconocida. En vista de los resultados obtenidos, se planeó efectuar un nuevo muestreo en una siguiente etapa, procurando lograr una mayor captura a fin de confirmarlos (Alcalde *et al.* 2000).

Tabla 3. Diferentes especies de peces capturadas en el sistema del río Colorado.

Sitio de captura/especies
Río Grande (referencia) Trucha arco iris (<i>Oncorhynchus mykiss</i>)
Río Barrancas (referencia) Perca (<i>Percichthys sp.</i>) Pejerrey (<i>Odontheistes bonariensis</i>)
Río Colorado (Buta Ranquil) Perca (<i>Percichthys sp.</i>) Pejerrey (<i>Odontheistes bonariensis</i>)
Río Colorado (Desfladero Bayo) Perca (<i>Percichthys sp.</i>) Pejerrey (<i>Odontheistes bonariensis</i>)
Embalse Casa de Piedra (entrada) Carpa (<i>Cyprinus carpio</i>) Pejerrey (<i>Odontheistes bonariensis</i>)

Para el resto de los metales y metaloides, a los cuales se han fijado límites para el consumo humano (SENASA 1994), las concentraciones detectadas fueron muy inferiores a dichos límites.

En la investigación de HAPs en muestras de músculo dorsal de peces, no hubo detección en ninguna de las muestras analizadas, siendo el límite de cuantificación alcanzado por el laboratorio de 0,08 µg/g. De acuerdo a los límites para el consumo de pescado basados en el riesgo (US EPA 1999) fue necesario en una próxima etapa, además de obtener un mayor número de ejemplares, recurrir a una técnica analítica de mayor sensibilidad a fin de poder lograr límites de cuantificación más bajos.

El análisis de plaguicidas organoclorados en peces capturados en canales de drenaje agrícola, reveló la presencia de bajas concentraciones de DDT y DDE en el músculo dorsal. Estos plaguicidas también fueron observados en los sedimentos de fondo de los mencionados canales. Las concentraciones detectadas en peces, de acuerdo a los límites basados en el riesgo (US EPA 1999) no implicaban la necesidad de recomendar restricciones al consumo.

3. Monitoreo de calidad del ambiente acuático

3.1 Programa año 2000

En base a los resultados obtenidos en la ejecución del programa de relevamiento y evaluación de calidad del ambiente acuático antes enunciados, se proyectó un nuevo estudio tendiente a proveer información actualizada de la calidad del agua a escala de cuenca fundamentalmente para uso como fuente de agua potable y medio para el desarrollo de la vida acuática. La información obtenida en el período de estudio anterior permitió reducir el número de estaciones de monitoreo de la columna de agua a siete (Tabla 4), una de referencia y seis relacionadas con los usos del agua mencionados (Figura 2). Entre ellas figuraba una estación aguas abajo del embalse Casa de Piedra, a la altura de la localidad de La Adela (Pcia. de La Pampa). Estos sitios fueron muestreados en ambas márgenes del río, tanto para metales/metaloideos como para hidrocarburos.

También en esta etapa de estudio, como en las que le siguieron, se mantuvo vigente el programa de aseguramiento de la calidad referido anteriormente.

Tabla 4. Estaciones de monitoreo de la columna de agua operadas en el sistema del río Colorado (año 2000)

Estación	Sitio	Finalidad
CL 1	Río Grande (Bardas Blancas)	Estación de referencia
CL 2	Río Colorado (Buta Ranquil)	Evaluación calidad del agua
CL 3	Río Colorado (Desfiladero Bayo)	Evaluación calidad del agua
CL 4	Río Colorado (Punto Unido)	Evaluación calidad del agua
CL 5	Río Colorado (Pasarela Medanito)	Evaluación calidad del agua
CL 6	Descarga embalse Casa de Piedra	Evaluación calidad del agua
CL 7	Río Colorado (La Adela)	Evaluación calidad del agua

La lista de metales pesados y metaloides investigados en este programa fue reducida a 10 elementos y se cambió la activación neutrónica instrumental por espectrometría de absorción atómica y de emisión por plasma inductivo (ICP). La Tabla 5 muestra la lista de metales y metaloides investigados, las técnicas y métodos analíticos empleados y los límites de cuantificación alcanzados para cada analito. Dichos análisis fueron llevados a cabo en el Laboratorio del Instituto de Tecnología Minera (INTEMIN) perteneciente al Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR)

Tabla 5. Técnicas y métodos analíticos empleados en la investigación de metales pesados y metaloides en agua

Analito	Técnica analítica	Método analítico	Límite de cuantificación (µg/L)
Arsénico	AA por generación de hidruros	EPA 206.3	10
Cadmio	AA por atomización electrotérmica	EPA 213.2	1,5
Cinc	ICP	EPA 200.7	20
Cobre	ICP	EPA 200.7	4
Cromo	AA por atomización electrotérmica	EPA 218.2	2
Mercurio	AA por vapor frío	EPA 245.1	1
Molibdeno	ICP	EPA 200.7	10
Níquel	ICP	EPA 200.7	10
Plomo	AA por atomización electrotérmica	EPA 239.2	7
Selenio	AA por generación de hidruros	EPA 206.5	2

AA: espectrometría de absorción atómica; ICP: espectrometría de emisión atómica por plasma inductivo.

La lista de HAPs e hidrocarburos alifáticos investigados en esta etapa fue la misma que en la anterior. Los análisis fueron efectuados por cromatografía en fase gaseosa con detector FID en el Laboratorio de Química Ambiental de la Universidad Nacional de La Plata. Los HAPs detectados por este medio fueron confirmados a través de cromatografía en fase gaseosa con detección por espectrometría de masas en el laboratorio CIC S.R.L.

Los sedimentos de fondo fueron estudiados en 5 sitios (Tabla 6, y Figura 3), representativos de zonas de descarga de efluentes urbanos e industriales y en el embalse Casa de Piedra, por ser un sitio de acumulación de los sedimentos provenientes de la porción superior de la cuenca.

Tabla 6. Estaciones de muestreo de sedimentos de fondo para la investigación de metales y metaloides biodisponibles

Estación	Sitio
S1	Aguas abajo ex descarga Puesto Hernández
S2	Descarga cloacal de 25 de Mayo
S3	Descarga cloacal Catriel
S4	Cola embalse Casa de Piedra
S5	Toma embalse Casa de piedra

En la primera etapa de estudio (1997 a 1999), los análisis de la mayoría de los metales y metaloides fueron realizados mediante activación neutrónica instrumental, técnica que mide concentraciones totales de estas sustancias. En esta segunda etapa se había previsto efectuar estudios de especiación a fin de determinar las concentraciones de metales y metaloides que podían ser biodisponibles para la biota acuática. En el año 1999 fueron publicados valores guía para la calidad de los sedimentos de agua dulce para la protección de la vida acuática (CCME 1999c). Estos valores guía (Tabla 7) están referidos a las concentraciones de metales y metaloides en sedimentos de fondo (5 cm superficiales) en la fracción recuperable total, la cual es obtenida por digestión ácida débil y es considerada biodisponible. Por lo tanto, las muestras de sedimentos obtenidas para este estudio fueron sometidas a ese tipo de digestión para su análisis, en lugar de llevar a cabo estudios de especiación.

Tabla 7. Valores guía (metales pesados y metaloides) para la calidad de sedimentos de agua dulce para la protección de la vida acuática⁽¹⁾

Elemento	Valor guía (µg/g)
Arsénico	5,9
Cadmio	0,6
Cinc	123
Cobre	35,7
Cromo	37,3
Mercurio	0,17
Plomo	35,0

⁽¹⁾CCME 1999c

En este ciclo, como se había previsto, se incluyeron estudios específicos referidos a ensayos de ecotoxicidad con agua y sedimentos de fondo en sitios de la cuenca especialmente elegidos (Figura 4). Estos ensayos fueron llevados a cabo en el Laboratorio del Programa de Investigación en Ecotoxicología (Departamento de Ciencias Básicas - Universidad Nacional de Luján). En la evaluación de la ecotoxicidad crónica de la columna de agua se empleó como organismo de ensayo

el microcrustáceo del zooplancton dulceacuícola *Daphnia magna*. Las muestras de agua fueron extraídas en las estaciones CL3, CL 4 y CL 7 (Tabla 4, y Figura 4) con frecuencia bimestral.

Además, a fin de confirmar y complementar los resultados obtenidos mediante el análisis químico de metales/metaloideos y HAPs en el ciclo anterior se efectuaron ensayos ecotoxicológicos con sedimentos de fondo empleando como organismo de ensayo *Hyalella curvispina*, anfípodo bentónico dulceacuícola, registrándose como variables la supervivencia y el crecimiento de ejemplares de las poblaciones expuestas.

En esta etapa de estudio se incluyó además un nuevo muestreo de peces con las premisas establecidas a partir de los resultados obtenidos en el programa anterior (captura de un mayor número de ejemplares, mayor sensibilidad de las metodologías analíticas, énfasis en la investigación de mercurio y selenio). Se establecieron dos estaciones para efectuar las capturas (mediante redes agalleras), una en el río Colorado (Desfiladero Bayo) y otra en el embalse Casa de Piedra (Fig. 4).

Resultados

Columna de agua

En el período de estudio anterior ya había sido detectada en diferentes oportunidades la presencia de cinc, cobre, cromo, níquel y plomo en agua, (Alcalde *et al.* 2000, Perl 2001). Para estos metales han sido derivados valores guía para definir la aptitud del agua para diferentes usos basados en su toxicidad, por lo cual su monitoreo cobra relevancia. En este período, las concentraciones de los citados metales en agua, detectadas en las estaciones establecidas, dio como resultado que ésta mantenía su aptitud para ser usada como fuente de agua potable, de acuerdo a los valores guía establecidos en normas internacionales (Alcalde 2001).

Como fue mencionado precedentemente (Alcalde *et al.* 2000, Perl 2000), el posible origen de estos metales parecía estar vinculado a las características litológicas de la región e ingresarían al sistema a través de procesos de meteorización.

En ocasiones, las concentraciones de algunos de estos metales superaban los valores guía para la protección de la vida acuática y en otras, debido a limitaciones de las técnicas analíticas disponibles (límite de cuantificación) ello no pudo ser verificado. A fin de establecer la significación de esta situación se recurrió a la realización de ensayos de ecotoxicidad crónica con agua, como se detalla más abajo.

En relación a los HAPs, en general, no fueron detectados. Cuando se los detectó, fue en concentraciones muy bajas, en la mayoría de los casos en el orden de los nanogramos por litro (ng/L), no significando por ello un riesgo para la salud humana (Alcalde 2001). Estas detecciones, en los casos aislados en que tuvieron lugar, no aparecieron ligadas a ninguna actividad antrópica en particular, ya que fueron hallados incluso en las estaciones de referencia, con similar perfil, en cuanto a tipo y concentración, que las restantes.

Sedimentos de fondo

Las concentraciones de metales y metaloides en la fracción recuperable total en el estrato superficial (5 cm) de los sedimentos de fondo de los diferentes sitios muestreados, resultaron sensiblemente menores que las concentraciones totales medidas por activación neutrónica instrumental en la etapa

de estudio anterior (Tabla 8) y no superaron los respectivos valores guía para la protección de la vida acuática (Tabla 7).

Tabla 8 – Concentraciones totales y recuperables totales de algunos metales en sedimentos de fondo de aguas abajo de Puesto Hernández y de la cola del embalse Casa de Piedra

Elemento (µg/g)	Aguas abajo Puesto Hernández		cola embalse Casa de Piedra	
	Total	Recuperable total	Total	Recuperable total
Cinc	386	41	357	28
Cobre	300	25	300	17
Cromo	29,9	8,2	34,5	6,0
Plomo	45	10	30	4,8
Vanadio	105	33	149	41

El análisis de HAPs en sedimentos de fondo extraídos en lugares vinculados a posibles fuentes, como lo son la ex descarga de la deshidratadora de crudo de Puesto Hernández y las descargas cloacales de 25 de Mayo y Catriel, indicó valores de estas sustancias inferiores a los respectivos valores guía para la protección de la vida acuática (Tabla 9)

Tabla 9. Valores guía (HAPs) para la calidad de sedimentos de agua dulce para la protección de la vida acuática⁽¹⁾

Hidrocarburo	Valor guía (µg/g)
Acenafteno	0,00671
Acenaftileno	0,00587
Antraceno	0,0469
Benzo[a]pireno	0,0888
Bezo[a]antraceno	0,0748
Criseno	0,108
Dibenzo[a,h]antraceno	0,00622
Fenantreno	0,0867
Fluoranteno	0,113
Fluoreno	0,0212
2-Metilnaftaleno	0,0202
Naftaleno	0,0346
Pireno	0,153

⁽¹⁾ CCME, 1999c

En el embalse Casa de Piedra, sitio potencial de acumulación, los sedimentos extraídos en el área de la Toma presentaron concentraciones de HAPs algo más elevadas, pero siempre inferiores a los respectivos valores guía, a excepción del naftaleno que lo superó ligeramente (Alcalde 2001).

Ensayos ecotoxicológicos con agua y sedimentos de fondo

Los ensayos ecotoxicológicos con agua del río Colorado, en los cuales se emplearon como variables la supervivencia y la reproducción de poblaciones de *Daphnia magna*, dieron como resultado la ausencia de efectos tóxicos crónicos significativos para las dos variables observadas (supervivencia y reproducción). Este hecho puso de manifiesto que, a pesar de que las concentraciones de algunos

metales (de origen natural) superaban los valores guía, eso no se traducía en efectos tóxicos crónicos para el organismo de ensayo. Además, pudo descartarse posibles efectos tóxicos crónicos debidos a la presencia potencial de mercurio y selenio en concentraciones inferiores a los límites de cuantificación alcanzados para estos elementos, las cuales, no obstante, podrían haber excedido los respectivos valores guía (Tabla 10). En base a estos resultados, el agua fue considerada apta para el desarrollo de la vida acuática en el área de estudio (Alcalde 2001).

Tabla 10. Comparación entre límites de cuantificación de metales pesados y metaloides en agua y los correspondientes valores guía para la protección de la vida acuática

Parámetro	Límite de cuantificación (µg/L)	Valor guía ⁽¹⁾ (µg/L)
Arsénico	10	50
Cadmio	1,5	1,8
Cinc	20	30
Cobre	4	4
Cromo	2	2
Mercurio	1	0,1
Molibdeno	10	-
Níquel	10	150
Plomo	7	7
Selenio	2	1

⁽¹⁾ CCREM 1987

Los resultados obtenidos en las evaluaciones ecotoxicológicas con sedimentos de fondo, empleando *Hyalella curvispina* como organismo de ensayo, mostraron la ausencia de efectos tóxicos crónicos sobre el crecimiento para las dos estaciones muestreadas. En tanto que para la supervivencia se observaron efectos tóxicos significativos con los sedimentos extraídos aguas abajo de la ex descarga de Puesto Hernández y ausencia de dichos efectos en la cola del embalse Casa de Piedra. En la muestra de sedimentos que mostró efectos tóxicos crónicos se observó la existencia de un estrato de color negro, el cual se estimó era debido a la presencia de materia orgánica en descomposición con generación de sulfuros, los cuales serían la causa del efecto observado. No obstante, se consideró necesario efectuar una evaluación más detallada en una siguiente etapa para definir esta situación.

Estos ensayos, también pusieron de manifiesto que las concentraciones de HAPs, específicamente acenafteno, en sedimentos, a pesar de superar el valor guía (Tabla 9), no significaban un riesgo para el desarrollo de la vida acuática (Alcalde 2001).

Biota acuática (peces)

La investigación de metales pesados y metaloides en el músculo de diferentes especies de peces capturadas (Tabla 11), no reveló la presencia de niveles significativos de estos elementos, a excepción del selenio.

Tabla 11. Especies de peces capturadas en el sistema del río Colorado en la campaña de muestreo realizada en el año 2000

Nombre común	Nombre científico
Pejerrey bonaerense	<i>Odontesthes bonariensis</i>
Trucha arco iris	<i>Oncorhynchus mykiss</i>
Perca bocona	<i>Percichthys colhuapiensis</i>
Perquita espinuda	<i>Percichthys altispinnis</i>
Otuno o bagre aterciopelado	<i>Diplomystes viedmensis</i>
Carpa	<i>Cyprinus carpio</i>

En el primer muestreo de peces, realizado en 1998, se hallaron concentraciones de mercurio y selenio en el músculo dorsal de los peces estudiados que superaban el límite para consumo humano. En la campaña correspondiente al año 2000, se pudo constatar que los niveles de mercurio habían disminuido, siendo no detectables al nivel de cuantificación de 0,2 µg/g, en tanto que se habían incrementado sensiblemente las concentraciones de selenio (Alcalde 2001). La disminución de las concentraciones de mercurio podría haber sido provocada por la acción antagónica del selenio sobre diferentes especies químicas de aquél, interfiriendo en su bioacumulación o aumentando su excreción desde el músculo y otros órganos de los peces y otros animales (Turner & Rudd 1984, Jackson 1998). En esa etapa del estudio de la calidad del ambiente acuático del sistema del río Colorado, era desconocida la fuente del selenio detectado en los peces, ya que el estudio de los sedimentos de fondo no había revelado su presencia. En base a estos resultados, se proyectó llevar a cabo en la siguiente etapa de estudio, un muestreo de suelos y material de transporte en cañadones de la cuenca, en áreas con y sin influencia antrópica para análisis de selenio y mercurio.

La investigación de HAPs en el músculo dorsal de peces capturados en el río Colorado (Desfiladero Bayo) y en el embalse Casa de Piedra, reveló la presencia de miembros del grupo de bajo peso molecular en concentraciones que no significaban un riesgo para la salud humana. Dado los tipos de hidrocarburos identificados y sus concentraciones, no era necesario recomendar restricciones al consumo.

3.2 Programa año 2001

Este programa fue diseñado con el objeto de dar continuidad al monitoreo de sustancias tóxicas en la columna de agua y en el músculo de peces. Para ambos estudios fueron operadas las mismas estaciones de muestreo que en el período anterior (año 2000), ver Figuras 2 y 4.

Por otra parte, se proyectó la realización de un muestreo de suelos y de material de transporte en cañadones y suelo agrícola con el fin de intentar ubicar las fuentes del mercurio y selenio hallado en el músculo de diferentes especies de peces (Figura 3). Dicho muestreo también tenía por objeto efectuar un relevamiento de hidrocarburos (aromáticos polinucleares y alifáticos) en esas matrices.

A partir del estudio de suelos y de material de transporte mencionado, el cual estaba proyectado realizar en el mes de septiembre de 2001, se esperaba obtener una respuesta acerca del origen de las sustancias mencionadas. La investigación de estas fuentes potenciales se debió a que en el relevamiento previo y en el monitoreo que le siguió (año 2000) no habían sido detectadas estas sustancias en agua en las estaciones de referencia, ubicadas en la alta cuenca. En la cuarta campaña de muestreo de este período de estudio (año 2001) se detectó selenio en la estación de referencia ubicada en el río Grande (Bardas Blancas), obteniéndose por primera vez evidencia de una fuente de este elemento ubicada en la alta cuenca. Por esta razón, independientemente del estudio de suelos y de material de transporte proyectado, dada la importancia del selenio como parámetro de calidad para el agua potable y para la protección de la vida acuática, se resolvió efectuar, fuera de

programa, su relevamiento en la alta cuenca, aprovechándose el esfuerzo para estudiar el resto de los metales pesados y metaloides seleccionados (Alcalde 2002, Perl 2002).

En relación a los sedimentos de fondo, debido al resultado obtenido en el ensayo de ecotoxicidad crónica realizado con muestras extraídas en el área ubicada aguas abajo de la ex descarga de Puesto Hernández, se decidió efectuar una evaluación intensiva con el fin de verificar la observación realizada en el período anterior. En esta oportunidad se emplearon como organismos de ensayo el anfípodo *Hyalella curvispina* y la macrófita acuática enraizada *Vallisneria spiralis*.

Resultados

Columna de agua

El monitoreo de metales y metaloides en agua en todas las estaciones muestreadas puso de manifiesto que en ningún caso fueron superados los valores guía para uso del recurso como fuente de agua potable, en irrigación y ganadería (Alcalde 2002). Los elementos detectados, en concentraciones inferiores a los respectivos valores guía, como se expresó con anterioridad, son considerados de origen natural, vinculados a la litología de la alta cuenca. En relación con la calidad del agua como medio para el desarrollo de la vida acuática, los resultados obtenidos mostraron una situación similar a la observada en las etapas anteriores. Una excepción la constituyó el selenio, el cual comenzó a ser detectado en forma esporádica, en forma variable temporal y espacialmente, en niveles que llegaron a superar levemente el valor guía para la protección de la vida acuática. Las detecciones de esta sustancia, fueron al principio aisladas y luego se hicieron más frecuentes y en niveles crecientes en las sucesivas campañas.

El monitoreo complementario de metales y metaloides en la columna de agua en la alta cuenca del río Grande (Figura 3) iniciado en octubre de 2001, llevado a cabo con el objeto de ubicar las posibles fuentes de metales pesados y metaloides, con énfasis en el selenio, puso de manifiesto la existencia de un contenido de estas sustancias similar al observado en el resto del sistema. En relación al selenio, se pudo establecer su detección en el río Grande y en algunos de sus afluentes, en niveles comparables a los observados en el río Colorado (Alcalde 2002, Perl 2002).

Estas observaciones confirmaron la presunción acerca del origen natural del cinc y el cobre, y posiblemente del selenio, detectados habitualmente en la columna de agua en el sistema del río Colorado, ya que se trata de un área libre de influencia antrópica.

En relación con el monitoreo de HAPs en el río Colorado, en los muy aislados casos en que hubo detección de algún miembro del grupo, lo fue en concentraciones un orden de magnitud por debajo de los valores guía recomendados por las normas internacionales (WHO 1993), no existiendo indicios que los vincularan a alguna actividad antrópica en particular, ya que se los halló inclusive en la estación de referencia, con similar perfil, en cuanto a tipo y a concentración, que en las restantes estaciones. En función de estos resultados, se estableció que el agua del río Colorado mantenía su aptitud para ser usada como fuente de agua potable. En lo referido a la protección de la vida acuática, las concentraciones halladas, en relación con los valores guía empleados como referencia (CCME 1999) indicaron que no existía riesgo para la vida acuática.

Estudio de suelos y de material de transporte

La investigación de selenio y mercurio en posibles fuentes potenciales (material de transporte en cañadones y suelo en parcelas agrícolas) ubicadas en el tramo superior del río Colorado (Tabla 12, Figura 3) dio resultados negativos para el selenio y la detección de bajas concentraciones de

mercurio, las cuales son consideradas niveles naturales por comparación con otros sitios pertenecientes a otras cuencas cercanas. Por lo tanto, fueron descartados como posibles fuentes de aporte.

Tabla 12. Estaciones de muestreo de material de transporte de cañadones y de suelos de parcelas agrícolas con vinculación hidrológica al río Colorado

Estación	Ubicación
1	Bardas blancas (cañadón)
2	Barrancas (cañadón)
3	Buta Ranquil (cañadón)
4	El Portón (cañadón)
5	El Pichanal (cañadón)
6	Puesto Hernández (cañadón)
8	Desfiladero Bayo (cañadón)
9	Chacra Colonia Ovejero (Catriel)
10	Chacra Colonia (25 de Mayo)
11	Medanito (cañadón)
12	Cola embalse Casa de Piedra (cañadón)

La investigación de hidrocarburos en las muestras de suelo en parcelas agrícolas y en materiales de transporte en cañadones puso de manifiesto que éstos no serían fuentes de aporte cuantitativamente importantes de hidrocarburos (alifáticos y aromáticos polinucleares) al sistema del río Colorado. No se observaron diferencias en el contenido de hidrocarburos alifáticos en relación con la procedencia de las muestras (zonas libres de influencia antrópica y áreas de explotación petrolera)

Biota acuática (peces)

En el muestreo de peces correspondientes a este estudio se alcanzó el número de ejemplares recomendado (Ministry of Environment and Energy 2000) en el embalse Casa de Piedra para pejerrey (cola del embalse) y carpa (presa). En el río Colorado (Desfiladero Bayo) el número de ejemplares capturados fue insuficiente a pesar del esfuerzo de pesca realizado, no obstante se les efectuaron los análisis correspondientes.

Los resultados obtenidos mostraron una reducción en los niveles de selenio en el músculo de las diferentes especies de peces muestreadas con respecto a los observados en el estudio realizado en el año 2000. En aquella oportunidad fueron hallados valores de este elemento un orden de magnitud superiores a los actuales. Las concentraciones de selenio detectadas en el presente muestreo fueron comparables a las observadas en 1998.

No hubo detección de HAPs en casi la totalidad de las muestras, con un límite de cuantificación que para la mayoría de los compuestos fue de 0,001 µg/g. Sólo hubo detecciones de dos miembros del grupo (naftaleno y fenantreno) que, por su naturaleza y concentración, no implicaban un riesgo para la salud humana. Por lo tanto, no correspondía recomendar límites para el consumo de pescado basados en el riesgo (US EPA 1999).

Ensayos de ecotoxicidad crónica con agua y sedimentos

No se observaron efectos tóxicos crónicos significativos sobre la supervivencia de poblaciones de *Daphnia magna* expuestas durante 21 días a las muestras de agua del río Colorado obtenidas en las estaciones CL 3 (Desfiladero Bayo), CL 4 (Punto Unido) y CL 7 (La Adela), ver Figura 4.

Con respecto a la reproducción de las poblaciones de *Daphnia magna* expuestas a las muestras del río Colorado, se observaron efectos tóxicos crónicos significativos en relación a los controles no expuestos, en las estaciones CL 4 y CL 7. Con el objeto de interpretar las posibles causas de los resultados referidos se evaluaron los resultados de los análisis químicos realizados en muestras obtenidas simultáneamente con las extraídas para los ensayos ecotoxicológicos. En esa oportunidad, no hubo detección de HAPs (con un límite de cuantificación de 0,01 µg/L), en toda la extensión del área de estudio. En cambio, en relación con los metales y metaloides, sólo se observaron concentraciones de selenio que podrían tener relación con ese hecho. Sin embargo, con valores de selenio similares, hallados en la campaña llevada a cabo en el mes de diciembre de 2001, no se evidenciaron efectos tóxicos significativos sobre la reproducción de *Daphnia magna*. Por lo tanto, se resolvió continuar estudiándose este aspecto en una etapa posterior.

Los resultados obtenidos en los ensayos con sedimentos de fondo mostraron la ausencia de efectos tóxicos crónicos significativos sobre la supervivencia y el crecimiento de poblaciones de *Hyalella curvispina* y la generación de hojas nuevas y el contenido de clorofila *a* de poblaciones de *Valisneria spiralis* expuestas a las muestras obtenidas en el río Colorado (aguas abajo de la ex descarga de la deshidratadora de crudo de Puesto Hernández) y a la altura de la toma del embalse Casa de Piedra. Esta observación permitió restar significación a los resultados registrados en el período anterior, en el cual se habían observado efectos tóxicos crónicos sobre la supervivencia de las poblaciones de *Hyalella curvispina*, los cuales se sospechaba eran debidos a una interferencia.

3.3 Programa año 2002

Los objetivos de esta etapa de estudio fueron: continuar con el monitoreo de metales/metaloides e hidrocarburos en la columna de agua con el fin de generar información actualizada sobre su calidad; mantener el monitoreo de la presencia de sustancias tóxicas en peces a fin de seguir su evolución en el tiempo; continuar la evaluación de la calidad del agua para la protección de la vida acuática mediante la realización de ensayos ecotoxicológicos; y llevar a cabo un muestreo de sedimentos de fondo en el embalse Casa de Piedra y aguas abajo del mismo, con el fin de investigar la presencia de metales/metaloides y HAPs.

En esta oportunidad, a las ya existentes se agregó una estación de monitoreo de referencia. Dicha estación (CL0) se ubicó en el río Barrancas (Figura 2).

Columna de agua

La situación general en el período de estudio fue de no detección de metales y metaloides en todas las estaciones de monitoreo, en las seis campañas de muestreo (Alcalde *et al.* 2003)

Las concentraciones de metales y metaloides (cinc, cobre, cromo, níquel, plomo y selenio) observadas resultaron inferiores (con la excepción de una detección de plomo) a los valores guía para definir la aptitud del agua para ser utilizada como fuente de agua potable adoptadas en el programa. La concentración de plomo detectada, por ser aislada no implicaba una alteración del agua para uso como fuente de agua potable (WHO 1993), si bien fue en un sitio donde no existen captaciones para suministros públicos. Por lo tanto, al igual que en períodos de estudio de años anteriores, se concluyó que el agua en el sistema del río Colorado mantenía su aptitud para ser utilizada como fuente de agua potable, de acuerdo a las normas internacionales adoptadas en el programa.

En este período de estudio, se detectó un incremento en las concentraciones de cinc y cobre en agua (inferiores a los valores guía), el cual parecía estar asociado a los caudales extraordinarios

registrados en los ríos de la cuenca, ya sea debidos a precipitaciones pluviales significativas en la alta cuenca (mes de marzo de 2002) o bien a la crecida anual que se registra con el inicio de la fusión nival a partir del mes de octubre, la cual tuvo particular intensidad en este ciclo hidrológico. Esta situación fue determinante de una mayor erosión de márgenes y de resuspensión y arrastre de sedimentos de fondo.

Las concentraciones de metales y metaloides en la columna de agua, observados en este ciclo, con anterioridad al incremento antes mencionado, en algunos casos superaron los valores guía para la protección de la vida acuática, pero la significación de esa situación ya había sido evaluada precedentemente (Alcalde 2001, Perl 2002), y también en este período de estudio, a través de la realización de ensayos ecotoxicológicos con agua de distintos sitios. Esos ensayos pusieron de manifiesto la ausencia de efectos tóxicos crónicos significativos para poblaciones *Daphnia magna* (organismo de ensayo) expuestas a las concentraciones de metales y metaloides antes señaladas.

Sedimentos de fondo

Se observaron concentraciones de ciertos metales y metaloides en la fracción recuperable total en los sedimentos de fondo del embalse Casa de Piedra (Figura 3), en particular en la toma, más elevadas que las registradas en el año 2000. Las concentraciones de arsénico, bario, boro, cinc, cobre y plomo se duplicaron, en tanto que las de cromo, níquel y vanadio aumentaron unas tres veces. No se detectaron aumentos apreciables en las concentraciones de cadmio, mercurio y selenio. Este hecho estaría vinculado a los caudales excepcionales que se registraron en ese ciclo hidrológico, los cuales incrementaron la erosión provocando un mayor transporte de material particulado conteniendo estos elementos cuyo origen es natural.

Las concentraciones de metales y metaloides en sedimentos de fondo aguas abajo de la descarga del embalse Casa de Piedra (Gobernador Duval), retornaron a valores similares a los observados en el embalse en el año 2000.

En esas condiciones, las concentraciones de arsénico, cadmio y cobre en los sedimentos del embalse Casa de Piedra superaron ligeramente los valores guía para la protección de la vida acuática, mientras que en los sedimentos del río Colorado aguas abajo de la descarga (Gobernador Duval) los metales/metaloides cumplían con los respectivos valores guía.

El análisis de HAPs en sedimentos de fondo de diferentes sitios del embalse Casa de Piedra, el cual podría actuar como sitio de acumulación de estos contaminantes, puso de manifiesto la ausencia de este tipo de sustancias. Las escasas detecciones de algunos miembros del grupo fueron en concentraciones inferiores a los respectivos valores guía para la protección de la vida acuática. Por lo tanto, se pudo concluir que, como había sido observado anteriormente, los sedimentos de fondo del embalse no se encontraban afectados por la presencia de este tipo de hidrocarburos (Alcalde *et al.* 2003).

Los resultados obtenidos con los sedimentos de fondo del río Colorado aguas abajo de la descarga del embalse, indicaron también la ausencia de HAPs.

Biota acuática (peces)

Nuevamente se efectuaron capturas en el río Colorado y en el embalse Casa de Piedra (Tabla 13 y Figura 4). Dichas capturas fueron reducidas y sólo se alcanzó el número recomendado de ejemplares (*Ministry of Environment and Energy* 2000) para pejerrey en el embalse Casa de Piedra

(cola del embalse). Las especies capturadas fueron pejerrey bonaerense, perca bocona, y carpa (embalse Casa de Piedra) y perquita espinuda (río Colorado – Desfiladero Bayo).

Tabla 13. Estaciones de muestreo de peces en el río Colorado y en el embalse Casa de Piedra (año 2002)

Sitio		Coordenadas
Río Colorado (Desfiladero Bayo)		S 37° 21' 56" O 69° 00' 55"
Cola embalse Casa de Piedra	Margen derecha	S 38° 12' 44" O 67° 39' 10"
	Margen izquierda	S 38° 12' 14" O 67° 37' 29"

Teniendo presentes las limitaciones que imponen las restricciones antes señaladas, se puede mencionar que los niveles de metales y metaloides hallados en músculo dorsal de peces fueron bajos, tanto en el río Colorado (Desfiladero Bayo) como en el embalse Casa de Piedra y muy inferiores a los límites establecidos para los productos de la pesca (SENASA 1994).

En base a las recomendaciones del ciclo anterior, se puso énfasis en la evaluación en forma específica de la presencia de mercurio y selenio en músculo de peces. A este respecto, cabe señalar que los resultados obtenidos indicaron nuevamente la ausencia de mercurio en todas las especies analizadas y bajos niveles de selenio en todos los casos, los cuales permitieron garantizar que no era necesario recomendar restricciones al consumo (US EPA 1999).

Hubo escasa detección de HAPs en la totalidad de las muestras de músculo dorsal de peces capturados, en concentraciones que superaron ligeramente el límite de cuantificación del método, que para la mayoría de los compuestos fue de 0,001 µg/g. Los miembros del grupo detectados fueron naftaleno, antraceno, fenantreno, metil y dimetilnaftaleno, en niveles que no llevaban asociado un riesgo para la salud. Por lo tanto, tampoco en este caso correspondía recomendar límites para el consumo de pescado basados en el riesgo (US EPA, 1999).

Ensayo de ecotoxicidad crónica con agua

En los ensayos correspondientes a la campaña del mes de agosto de 2002, no se registraron efectos tóxicos crónicos, en relación a los controles, sobre la supervivencia y la reproducción de las poblaciones de *Daphnia magna*, expuestas a las muestras de agua del río Colorado obtenidas en las estaciones CL 3 (Desfiladero Bayo), CL 4 (Punto Unido) y CL 7 (La Adela), ver Figura 4.

3.4 Programa año 2003

Los objetivos de este programa son: continuar con el monitoreo de metales/metaloides e hidrocarburos en columna líquida con el fin de obtener una evaluación permanente de la calidad del agua en la cuenca; mantener el programa de monitoreo de sustancias tóxicas en el músculo de peces a fin de evaluar la variación en el tiempo de las concentraciones de metales/metaloides e hidrocarburos aromáticos polinucleares; llevar a cabo un muestreo de sedimentos de fondo en las estaciones muestreadas en el ciclo 2002, con el fin de investigar los niveles de metales/metaloides, dadas las concentraciones observadas en dicho ciclo; incluir el análisis de hidrocarburos aromáticos polinucleares en las muestras obtenidas; realizar ensayos de ecotoxicidad crónica con sedimentos de

fondo del embalse Casa de Piedra (cola y toma) con el objeto de determinar la significación de las concentraciones de metales y metaloides halladas en el ciclo 2002; y continuar con los ensayos de ecotoxicidad crónica con agua del río Colorado en sitios ubicados aguas arriba del embalse Casa de Piedra.

Actualmente este programa se encuentra en ejecución, habiéndose realizado a la fecha cuatro campañas de muestreo de agua y las previstas para el muestreo de peces y de sedimentos de fondo.

4. Conclusiones

A través de un relevamiento intensivo de la calidad del ambiente acuático, desarrollado durante el período 1997 – 1999, y de los tres períodos consecutivos de monitoreo y estudios complementarios analizados en el sistema del río Colorado (2000; 2001 y 2002), en relación con las fuentes de aportes de contaminantes actuales y que existieron en el pasado, y que podrían tener aún un efecto residual, se ha arribado a la conclusión de que la calidad del ambiente acuático no se encuentra afectada y es apta para todos los usos benéficos previstos (fuente de agua potable, irrigación, ganadería y medio apto para el desarrollo de la vida acuática). A estas conclusiones se ha arribado aplicando modernas técnicas analíticas y de evaluación y los resultados obtenidos han sido contrastados con las guías de calidad internacionales actualmente vigentes. No obstante, la permanencia de las actividades productivas en el área han determinado la necesidad de mantener en forma ininterrumpida los programas de monitoreo de la calidad del ambiente acuático, tal como lo demuestra la etapa actualmente en ejecución.

5. Bibliografía

Alcalde, R., Perl, J., Andrés, F., 2000, *Evaluación de la Calidad del Agua del Sistema Río Colorado-Embalse Casa de Piedra para diferentes Usos*, 4^{tas}. Jornadas de Preservación de Agua, Aire y Suelo en la Industria del Petróleo y del Gas, Instituto Argentino del Petróleo y del Gas, 3 al 6 de octubre de 2000, Salta.

Alcalde, R., 2001, *Programa Integral de Calidad de Aguas del Río Colorado – Calidad del Medio Acuático - Año 2000 - Informe Técnico – Comité Interjurisdiccional del Río Colorado*, Secretaría de Energía de la Nación, Grupo Interempresario (disponible en el COIRCO).

Alcalde, R., 2002, *Programa Integral de Calidad de Aguas del Río Colorado – Calidad del Medio Acuático – Año 2001 - Informe Técnico – Comité Interjurisdiccional del Río Colorado*, Secretaría de Energía de la Nación, Grupo Interempresario (disponible en el COIRCO).

Alcalde, R., Perl, J. E., Andrés, F., 2003, *Programa Integral de Calidad de Aguas del Río Colorado – Calidad del Medio Acuático – Año 2002 - Informe Técnico – Comité Interjurisdiccional del Río Colorado*, Secretaría de Energía de la Nación, Grupo Interempresario (disponible en el COIRCO).

CCME (Canadian Council of Ministers of the Environment), 1993, *Guidance Manual on Sampling, Analysis, and Data Management for Contaminated Sites*, Volume I: Main Report – Report CCME EPC-NCS62E.

CCME (Canadian Council of Ministers of the Environment), 1999a, *Canadian Water Quality Guidelines for the Protection Agricultural Uses*, in Environmental Quality Guidelines.

CCME (Canadian Council of Ministers of the Environment), 1999b, *Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life*, in Environmental Quality Guidelines.

CCME (Canadian Council of Ministers of the Environment), 1999c, *Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life*, in Environmental Quality Guidelines.

CCREM (Canadian Council of Resources and Environment Ministers), 1987, *Canadian Water Quality Guidelines*.

COFES (Consejo Federal de Entidades de Servicios Sanitarios), 1996, *Norma de Calidad para el Agua de Bebida de Suministro Público*, Serie Documento Técnico N° 3, Buenos Aires, Argentina.

Gaskin, J. E., 1993, *Quality Assurance in Water Quality Monitoring*, Ecosystem, Sciences and Evaluation Directorate, Conservation and Protection, Environment Canada.

Jackson, T.A., 1998, *Mercury in Aquatic Ecosystems* – In Metal Metabolism in Aquatic Environments (W.J. Langston and M.J. Bebianno eds.) Chapman & Hall, London.

Ministry of Environment and Energy, 2000, *Guide to eating Ontario sport fish*. 20th ed

Perl, J.E., 2000, Programa Integral de Calidad de Aguas de la Cuenca del Río Colorado, Argentina, IV Seminario Taller Cuencas Hidrográficas Patagónicas – Río Gallegos, Noviembre 2000.

Perl, J.E., 2002, Manejo Integral de la Cuenca del Río Colorado - Calidad de las Aguas, VI Seminario Internacional de Cuencas – Ushuaia, Noviembre 2002.

SENASA (Servicio Nacional de Sanidad Animal), 1994, *Normas Sanitarias para los Productos de la Pesca*, Suplemento edición N° 76 de la revista REDES de la Industria Pesquera Argentina.

Turner, M. A. and Rudd, J.W. M., 1984, *Selenium in Aquatic Ecosystems: its Biogeochemistry and Experimental use as a Mercury ameliorating Agent*. In Mercury Pollution in the Wabigoon-English River System of Northwestern Ontario, and possible Remedial Measures, Technical report, Minister of Supply and Services, Canada.

US EPA, (United States Environmental Protection Agency), 1999, *Guidance for Assessing Chemical Contaminant Data for Use in Fish Advisories – Volume 2: Risk Assessment and Fish Consumption Limits*, Washington D.C.

World Health Organization (WHO), 1993, *Guidelines for Drinking-water Quality*, Second edition, Volume 1, Recommendations, Geneva.

Yunker, M. B. and Macdonald, R. W., 1995, *Composition and Origins of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Mackenzie River and on the Beaufort Sea Shelf*, *Artic* **48**: 118-129

6. Figuras

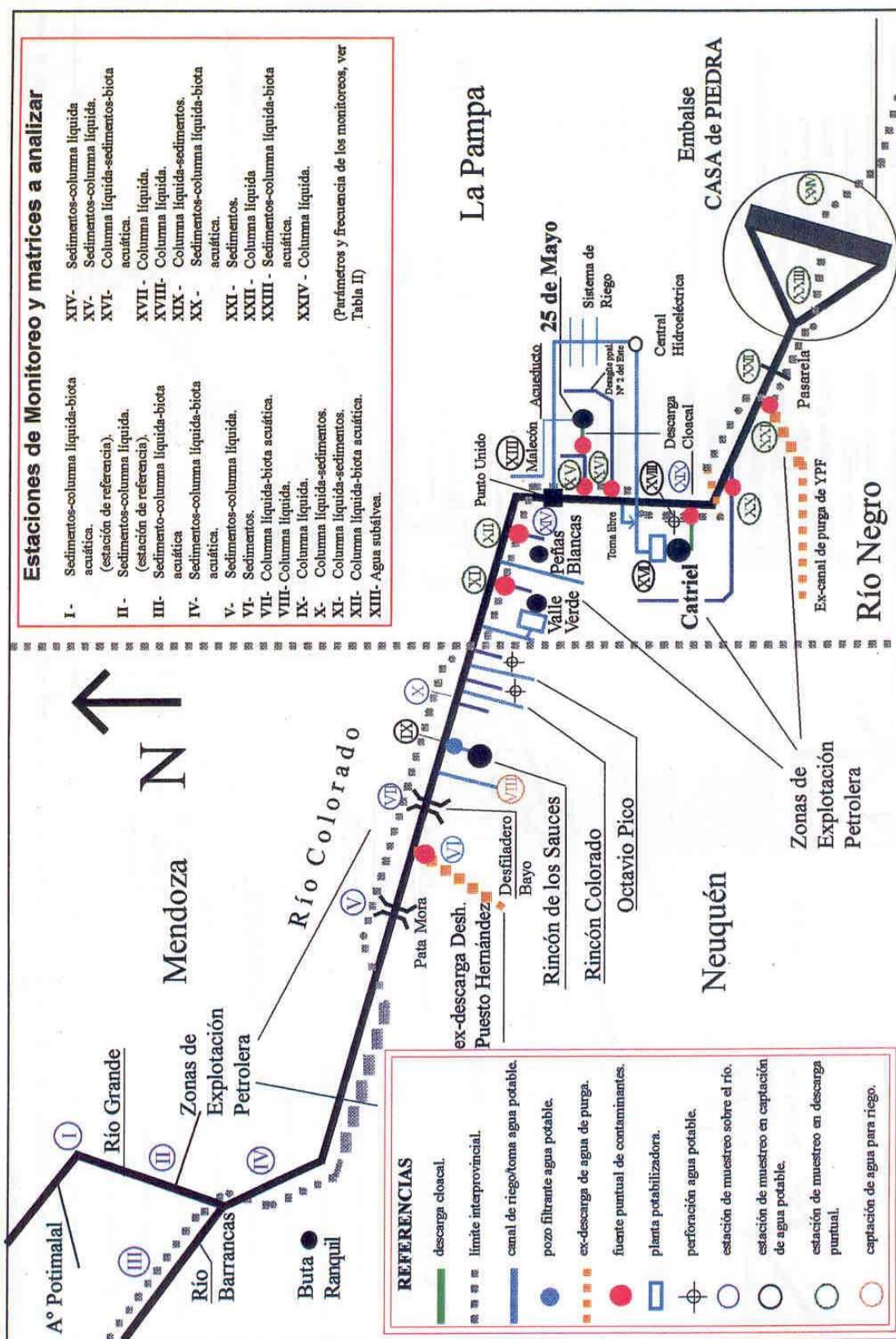


Figura 1 – Estaciones de muestreo 1997 - 1999

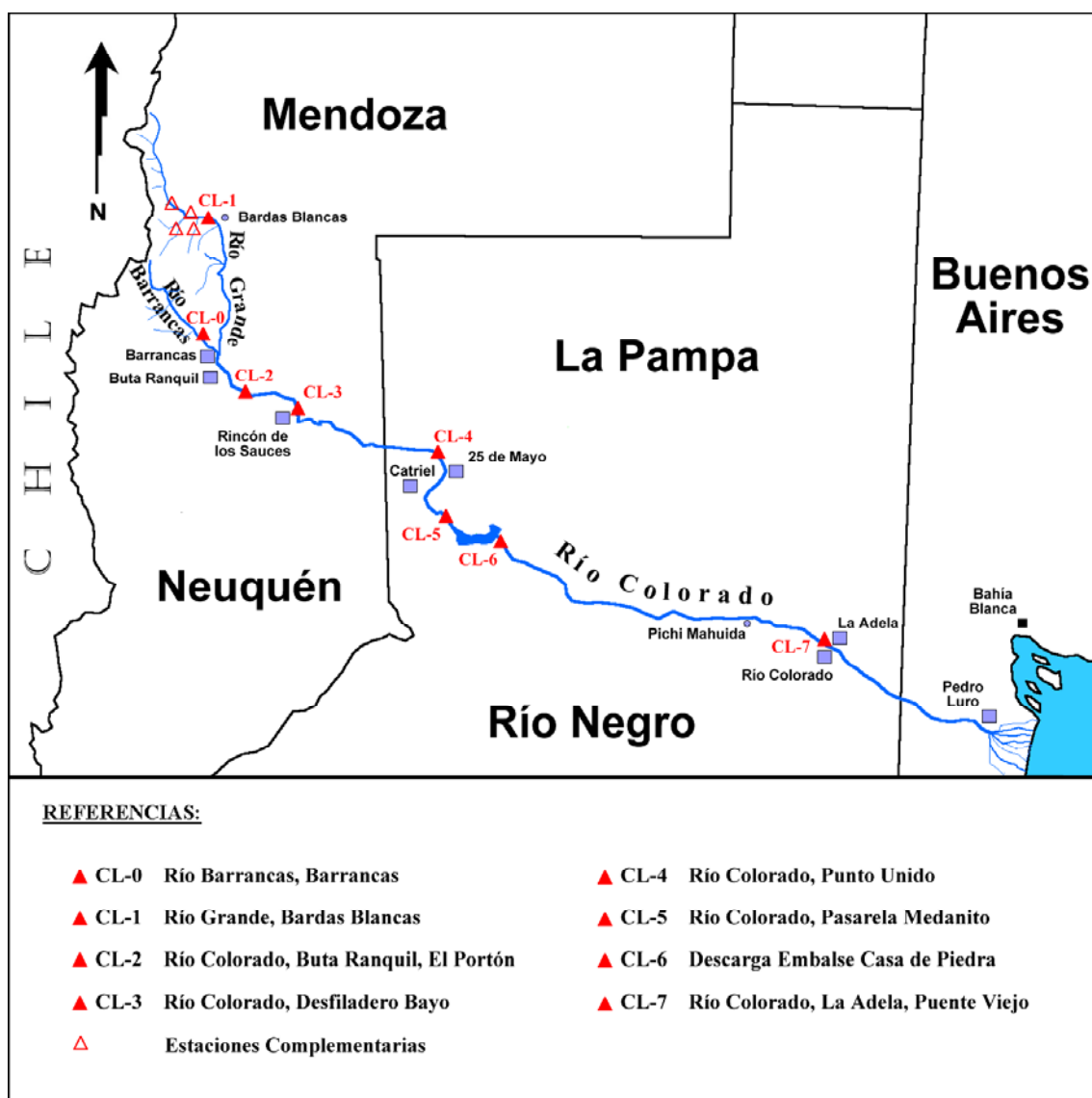


Figura 2 – Estaciones de muestreo de columna de agua.
(Ciclos 2000, 2001, 2002 y 2003 en ejecución)

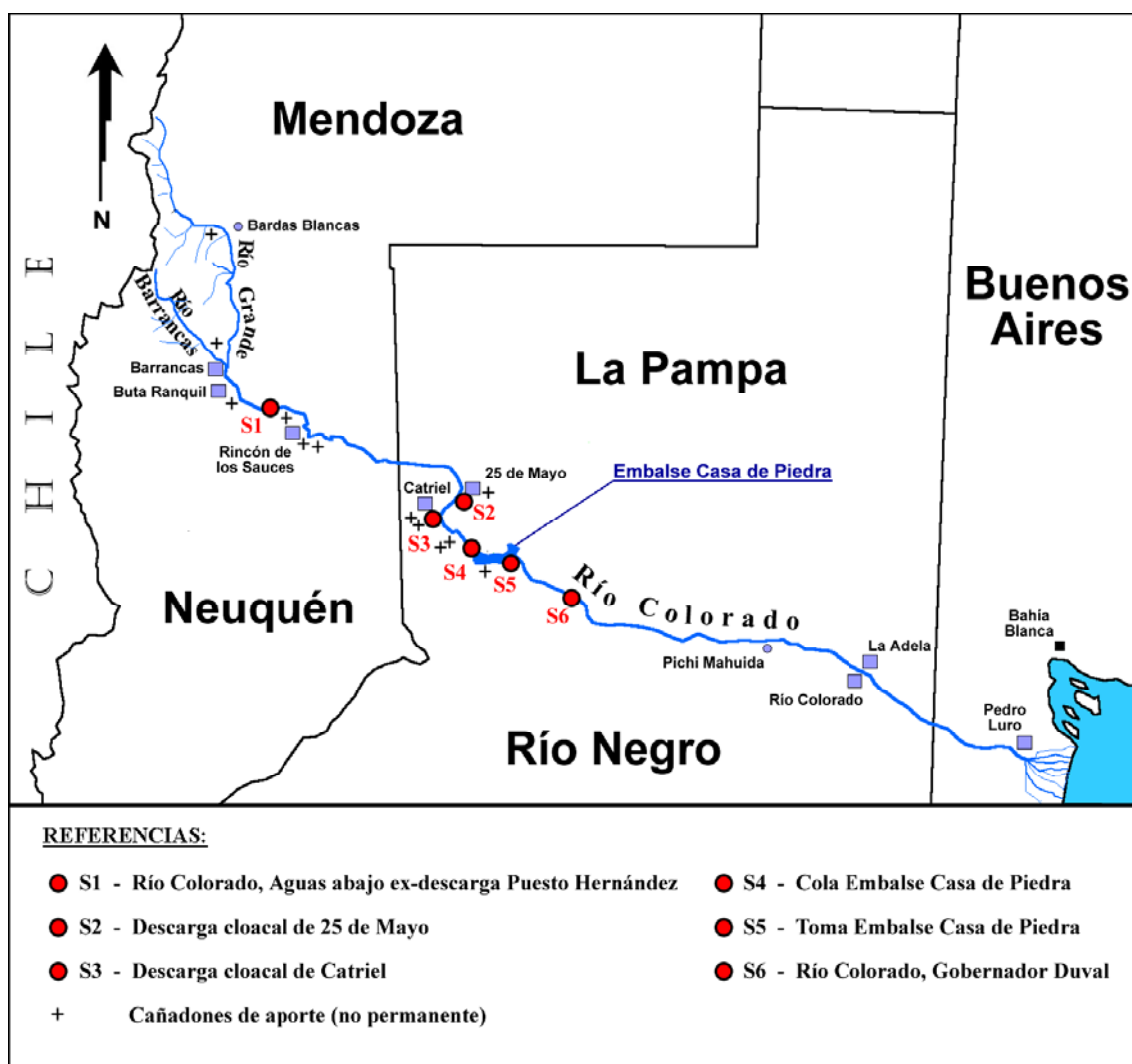


Figura 3 – Estaciones de muestreo de sedimentos de fondo en el río y Embalse Casa de Piedra, y suelos de cañadones y drenajes de áreas agrícolas.
(Ciclos 2000, 2001, 2002 y 2003 en ejecución)

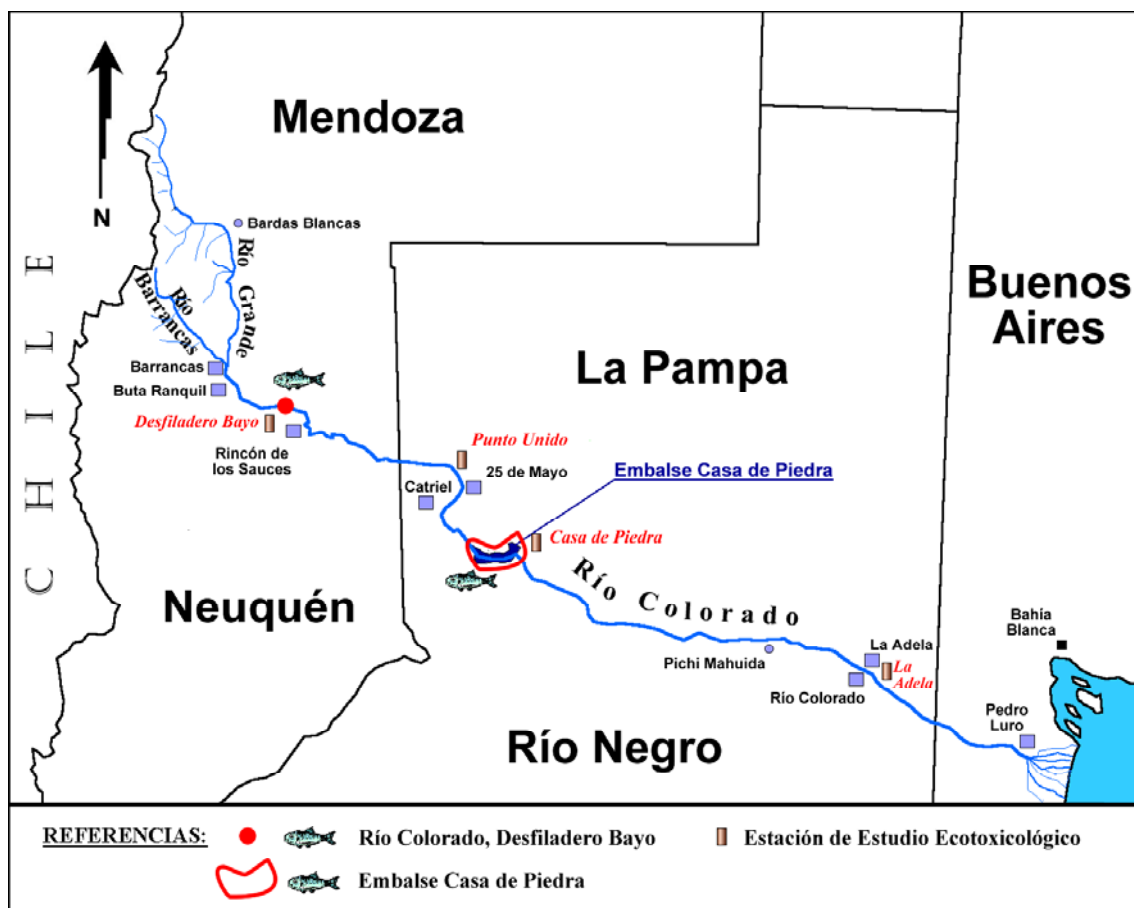


Figura 4 – Estaciones de muestreo de peces, y de estudios ecotoxicológicos con agua y sedimentos de fondo (Ciclos 2000, 2001, 2002 y 2003 en ejecución).