

PROGRAMA INTEGRAL DE CALIDAD DE AGUAS DEL RIO COLORADO

Calidad del Medio Acuático 2001

COMITÉ INTERJURISDICCIONAL DEL RÍO COLORADO
SECRETARÍA DE ENERGÍA DE LA NACIÓN
GRUPO INTEREMPRESARIO

COMITÉ INTERJURISDICCIONAL DEL RÍO COLORADO (COIRCO)

Consejo de Gobierno

Presidente
Ministro del Interior *Cr. Jorge Matzkin*

Integrantes
Gobernador Provincia de Buenos Aires *Ing. Felipe Solá*
Gobernador Provincia de La Pampa *Dr. Rubén Marín*
Gobernador Provincia de Mendoza *Ing. Roberto Iglesias*
Gobernador Provincia de Neuquén *Don Jorge Sobisch*
Gobernador Provincia de Río Negro *Dr. Pablo Verani*

Comité Ejecutivo

Presidente
Representante de la Nación *Ing. Osvaldo R. Gullacci*

Representantes Provinciales Titulares y Alternos
Buenos Aires *Ing. Horacio P. Boland*
La Pampa *Ing. Jaime L. Sterin, Ing. Raúl Gatto Cáceres*
Mendoza *Ing. Néstor E. Arias, Ing. Carlos A. Santilli*
Neuquén *Ing. Eduardo Vidal, Ing. Marcela González*
Río Negro *Ing. Horacio R. Collado, Ing. Daniel A. Petri*

Gerente Técnico *Ing. Juan E. Perl*

SECRETARÍA DE ENERGÍA DE LA NACIÓN

Secretario de Energía *Dr. Alieto Guadagni*
Subsecretario de Combustibles *Lic. Miguel Angel Cuervo*
Director Nacional de Recursos *Ing. Julio O. Castells*

COMISIÓN TÉCNICA FISCALIZADORA (CTF)

Integrada por el Comité Interjurisdiccional del Río Colorado (COIRCO)
y la Secretaría de Energía y Minería de la Nación
(Acta Acuerdo del Neuquén 17/03/97)

GRUPO INTEREMPRESARIO

PECOM ENERGÍA S.A.
REPSOL YPF REGIONAL ARGENTINA OESTE
RME ARGENTINA S.A.

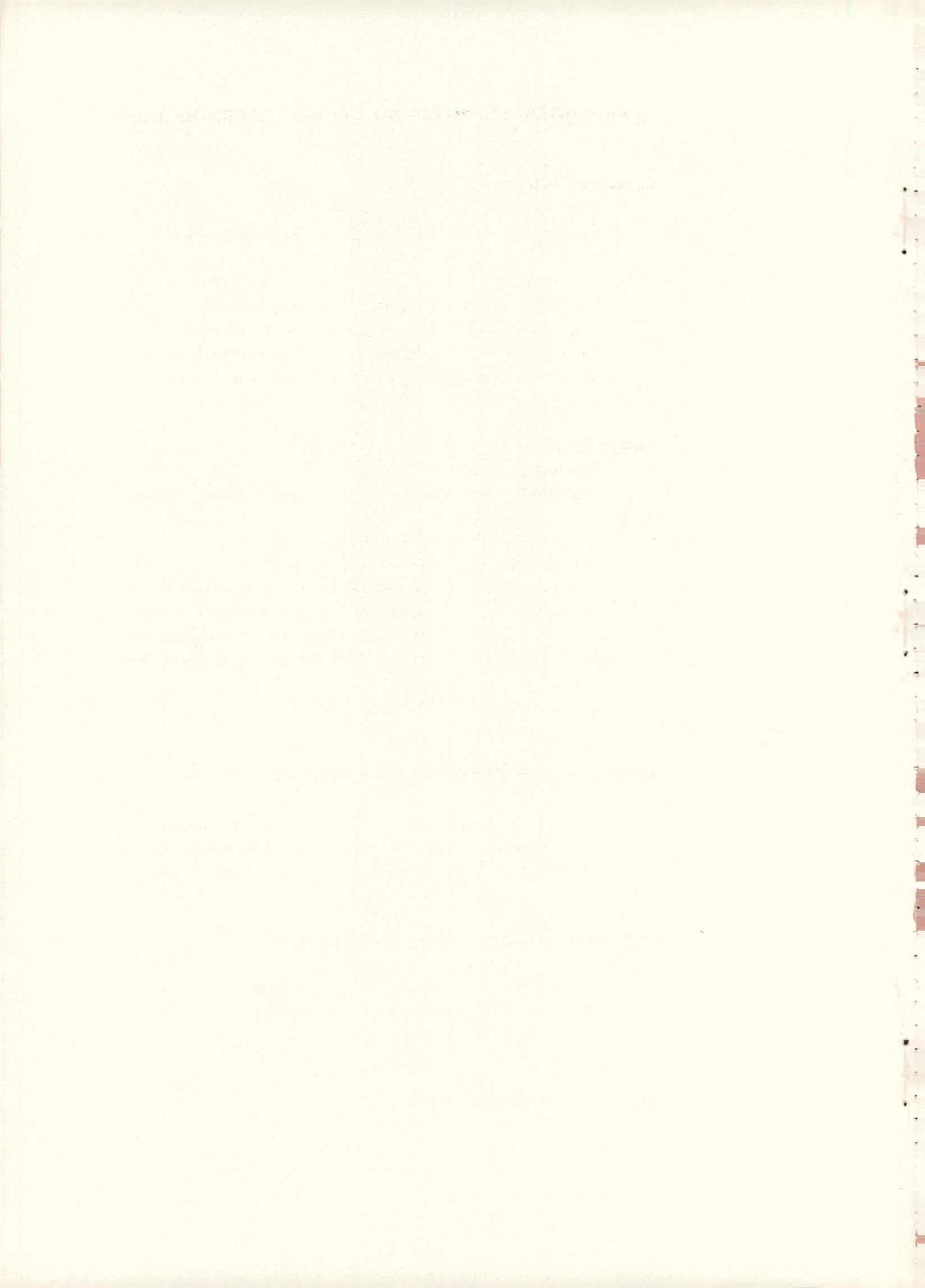
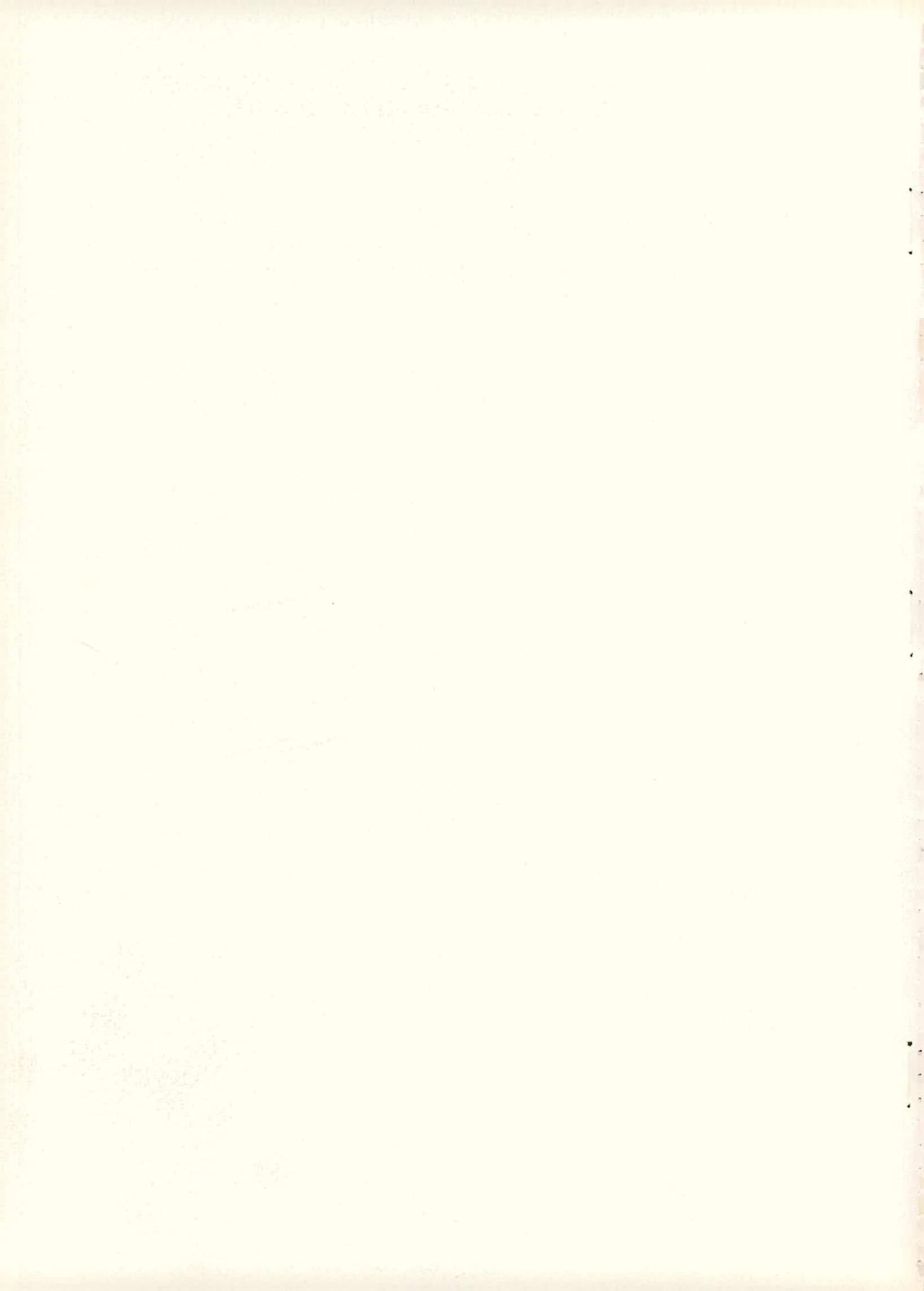




Tabla de contenidos



PROGRAMA INTEGRAL DE CALIDAD DE AGUAS DEL RÍO COLORADO / AÑO 2001

SUBPROGRAMA CALIDAD DEL MEDIO ACUÁTICO

Tabla de Contenidos

INTRODUCCIÓN	1
I AREA DE ESTUDIO	7
II MONITOREO DE LA PRESENCIA DE SUSTANCIAS TÓXICAS EN EL RÍO COLORADO (COLUMNA LÍQUIDA)	11
II.1. Estaciones de monitoreo y frecuencia de operación	13
II.2. Sustancias investigadas	15
II.3. Metodología de muestreo	15
II.3.1. Muestras para análisis de metales y metaloides	15
II.3.2. Muestras para análisis de hidrocarburos	15
II.3.3. Control de calidad de las operaciones de campo y laboratorio en el análisis de metales	15
II.4. Metodologías analíticas	16
II.4.1. Análisis de Metales y metaloides	16
II.4.2. Hidrocarburos alifáticos y aromáticos polinucleares	16
II.5. Análisis de metales y metaloides	17
II.5.1. Control de calidad de las operaciones de campo y laboratorio	17
II.5.2. Valores guía para la calidad del agua	19
II.5.3. Resultados	20
II.5.4. Discusión	22
II.6. Investigación de metales y metaloides en cursos de agua en la alta cuenca del río Grande	23
II.6.1. Estaciones de monitoreo	23
II.6.2. Metodología de muestreo	24
II.6.3. Metodologías analíticas	24
II.6.4. Resultados	24
II.6.5. Discusión	25
II.7. Análisis de hidrocarburos	25
II.7.1. Valores guía	25
II.7.2. Resultados	25
II.7.3. Discusión	29
III INVESTIGACIÓN DE SUSTANCIAS TÓXICAS EN MÚSCULO DE PECES	31
III.1. Sustancias investigadas	33
III.2. Estaciones de muestreo	33
III.3. Metodología de captura	34
III.4. Análisis de metales y metaloides	35
III.4.1. Metodologías analíticas	35
III.4.2. Calidad analítica	36
III.4.3. Resultados	37
III.4.4. Discusión	37
III.5. Análisis de hidrocarburos aromáticos polinucleares (HAPs)	38
III.5.1. Metodología analítica	38
III.5.2. Calidad analítica	38
III.5.3. Resultados	39
III.5.4. Discusión	39

IV POSIBLES APORTES DE LA ESCORRENTÍA SUPERFICIAL Y DEL DRENAJE AGRÍCOLA	41
IV.1. Análisis de metales y metaloides	43
IV.1.1. Estaciones de muestreo de materiales de transporte y suelos	43
IV.1.2. Metodología de muestreo	44
IV.1.3. Metodología analítica	44
IV.1.4. Calidad analítica	45
IV.1.5. Resultados	45
IV.1.6. Discusión	46
IV.2. Análisis de hidrocarburos alifáticos y aromáticos polinucleares	46
IV.2.1. Estaciones de muestreo de materiales de transporte y suelos	46
IV.2.2. Metodología de muestreo	46
IV.2.3. Metodología analítica	47
IV.2.4. Calidad analítica	47
IV.2.5. Resultados	47
IV.2.6. Discusión	50
V ENSAYOS DE ECOTOXICIDAD CRÓNICA CON AGUA Y SEDIMENTOS	51
V.1. Ensayos de ecotoxicidad con agua	53
V.1.1. Metodología de muestreo	53
V.1.2. Estaciones de muestreo y frecuencia	53
V.1.3. Metodología de los ensayos	54
V.1.4. Resultados	54
V.1.5. Discusión	56
V.2. Ensayos de ecotoxicidad crónica con sedimentos de fondo	56
V.2.1. Metodología de muestreo	57
V.2.2. Estaciones de muestreo y frecuencia	57
V.2.3. Ensayos sobre <i>Hyalella curvispina</i> (anfípodo)	57
V.2.3.1 Metodología de los ensayos	57
V.2.3.2 Resultados	58
V.2.4. Ensayos sobre <i>Vallisneria spiralis</i> (macrófita acuática enraizada)	58
V.2.4.1 Metodología de los ensayos	59
V.2.4.2 Resultados	60
V.2.5. Discusión	60
VI CONCLUSIONES	63
VII RECOMENDACIONES	67
REFERENCIAS	71



Introducción

INTRODUCCION

El presente informe contiene los resultados del estudio de calidad de aguas llevado a cabo durante el año 2001 en el área comprendida por el río Grande y el río Colorado desde su nacimiento hasta la localidad de La Adela, incluyendo el embalse Casa de Piedra. Dicho estudio fue una continuación de la serie iniciada en 1997 por la Comisión Técnica Fiscalizadora (CTF), integrada por el Comité Interjurisdiccional del Río Colorado (COIRCO) y la Secretaría de Energía de la Nación, y el apoyo del Grupo Interempresario, con el denominado "Programa de Relevamiento y Monitoreo de Calidad de Aguas del Sistema - Río Colorado-Embalse Casa de Piedra", a través del cual se llevó a cabo la evaluación de la aptitud del recurso para sus diferentes usos, en relación con las distintas actividades desarrolladas en la zona (actividad petrolera, agrícola, ganadera y urbana).

El diagnóstico de la calidad del recurso, llevado a cabo entre 1997 y 1999 fue completado y ampliado a través de dos etapas sucesivas que fueron ejecutadas en el curso de los años 2000 y 2001. Dichas etapas tuvieron como objetivo principal actualizar la información sobre la calidad del ambiente acuático, en relación con la presencia de sustancias tóxicas en diferentes compartimentos (columna de agua, sedimentos de fondo y peces).

La evaluación de los datos de calidad de aguas generados en la etapa correspondiente al año 2000, cuyos resultados fueron publicados en el informe "Programa Integral de Calidad de Aguas del Río Colorado – Calidad del Medio Acuático – Año 2000", permitió arribar a las siguientes conclusiones:

"1. Agua potable

- *El monitoreo de sustancias tóxicas en agua puso de manifiesto que el recurso mantiene su aptitud para uso como fuente de agua potable en toda su extensión.*

2. Protección de la vida acuática

- *El monitoreo de sustancias tóxicas en agua, llevado a cabo mediante análisis químicos, indicó que ésta mantiene su aptitud para el desarrollo de la vida acuática en toda su extensión. Estas conclusiones fueron confirmadas y ampliadas por los resultados obtenidos en los ensayos de ecotoxicidad crónicos, llevados a cabo con agua de diferentes sitios.*
- *Los análisis de metales y metaloides realizados en los sedimentos de fondo indican que sólo una muy baja proporción de las concentraciones totales de estos elementos es móvil y por lo tanto biodisponible, no significando sus niveles un riesgo para la vida acuática.*
- *Los análisis de hidrocarburos aromáticos polinucleares en sedimentos de fondo indican que los tipos presentes y las concentraciones en las que se encuentran, no significan un riesgo para la vida acuática.*
- *Los resultados obtenidos en los ensayos ecotoxicológicos crónicos, llevados a cabo con sedimentos de fondo, confirman las conclusiones*

obtenidas mediante los análisis químicos de hidrocarburos y metales pesados, en relación con la ausencia de riesgo para la vida acuática.

3. Peces

- *Los análisis de metales y metaloides en músculo de peces han puesto de manifiesto un cambio con respecto al muestreo anterior, consistente en una disminución significativa en los niveles de mercurio, que en todos los casos estuvieron por debajo del límite de cuantificación del método, y un incremento en los niveles de selenio que, atento a los límites basados en el riesgo de US EPA, no implicarían la necesidad de establecer restricciones al consumo, indicando por lo tanto una situación de normalidad para todos los elementos investigados.*
- *Las concentraciones de hidrocarburos aromáticos polinucleares halladas en músculo de peces no implican riesgo para la salud humana, por lo cual no sería necesario recomendar restricciones al consumo."*

En base a estas conclusiones se formularon recomendaciones para una siguiente etapa de estudio, las cuales se detallan a continuación:

- *"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.*
- *Establecer un programa de monitoreo permanente de sustancias tóxicas en peces a fin de evaluar la variación en el tiempo de ciertos elementos tales como mercurio y selenio, y efectuar, además, muestreos de suelos en la cuenca con el objeto de detectar posibles fuentes de aportes de dichos elementos al medio acuático.*
- *Realizar un relevamiento cuali-cuantitativo de los hidrocarburos alifáticos y aromáticos polinucleares presentes en los suelos de la cuenca, con el fin de identificar las fuentes de aporte naturales de estas sustancias.*
- *Llevar a cabo un muestreo intensivo de sedimentos de fondo en el área aguas abajo de Puesto Hernández, a fin de verificar las observaciones realizadas en el presente estudio."*

Estas recomendaciones, constituyeron los objetivos del Programa de estudio llevado a cabo durante el año 2001, cuyos resultados se exponen en el presente informe, siendo sus conclusiones principales las siguientes:

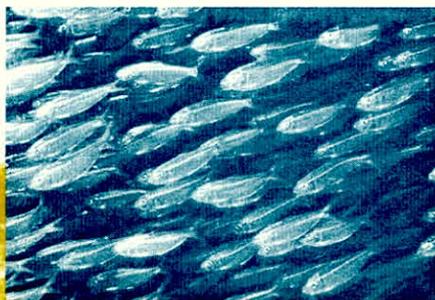
La ejecución del programa del presente ciclo (continuación de los realizados en los años 1998, 1999 y 2000), llevada a cabo a través de muestreos sistemáticos en estaciones distribuidas en diferentes sitios de la Cuenca del río Colorado previamente seleccionados, ha puesto de manifiesto una vez más, que el recurso mantiene su aptitud para los diferentes usos en toda su extensión.

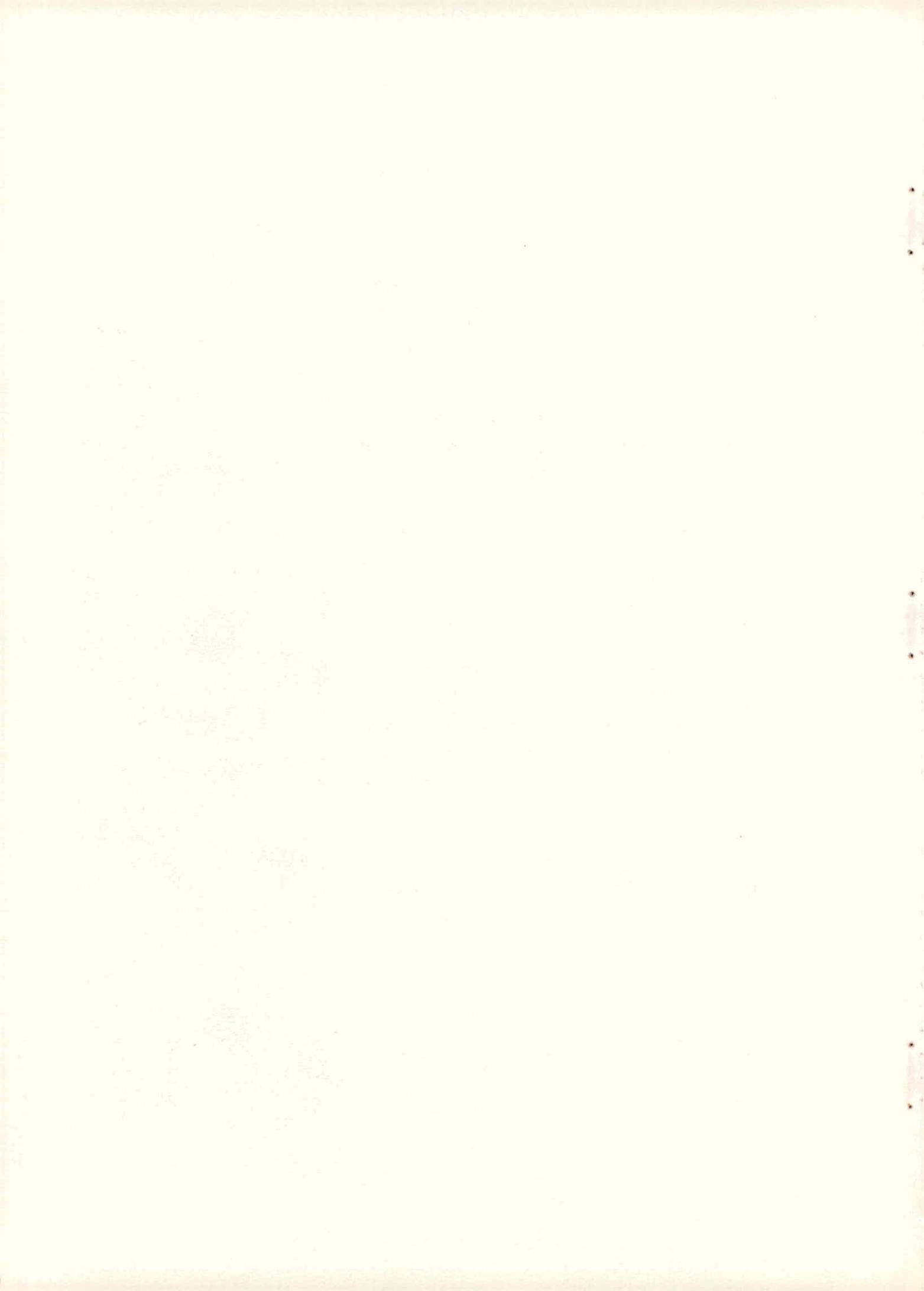
Las determinaciones efectuadas en músculos de peces, respetando lo establecido en normas nacionales e internacionales, indican que no existen restricciones para su consumo.

El monitoreo de sustancias tóxicas en agua, llevado a cabo mediante análisis químicos, demostró que ésta mantiene su aptitud para el desarrollo de la vida acuática.

Los resultados obtenidos en los ensayos ecotoxicológicos llevados a cabo con sedimentos de fondo, confirman nuevamente las conclusiones obtenidas mediante los análisis de hidrocarburos y metales pesados, en relación con la ausencia de riesgo para la vida acuática.

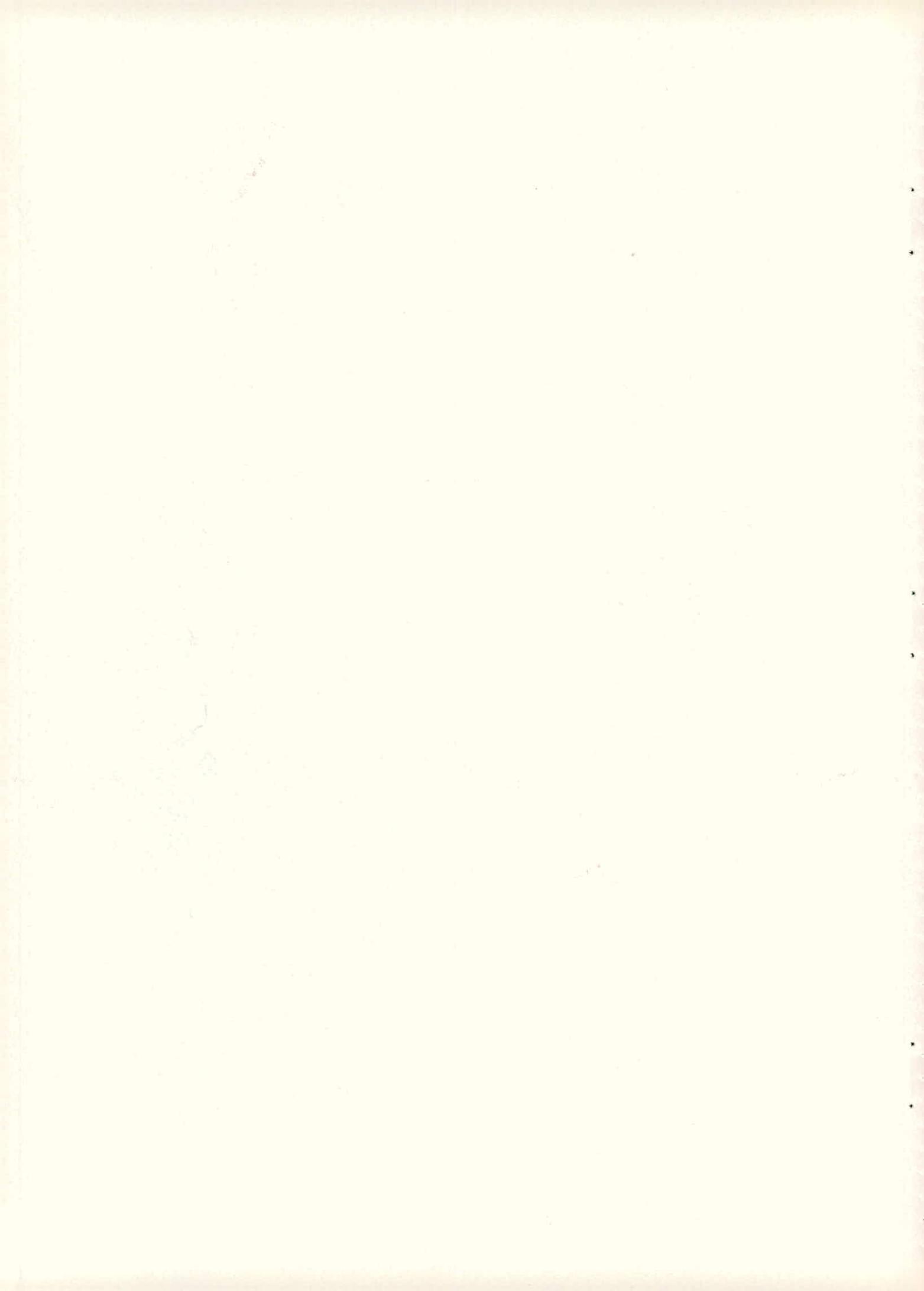
El desarrollo del informe que a continuación se brinda, amplía y fundamenta lo mencionado anteriormente.





Capítulo I

Area de estudio



Area de estudio

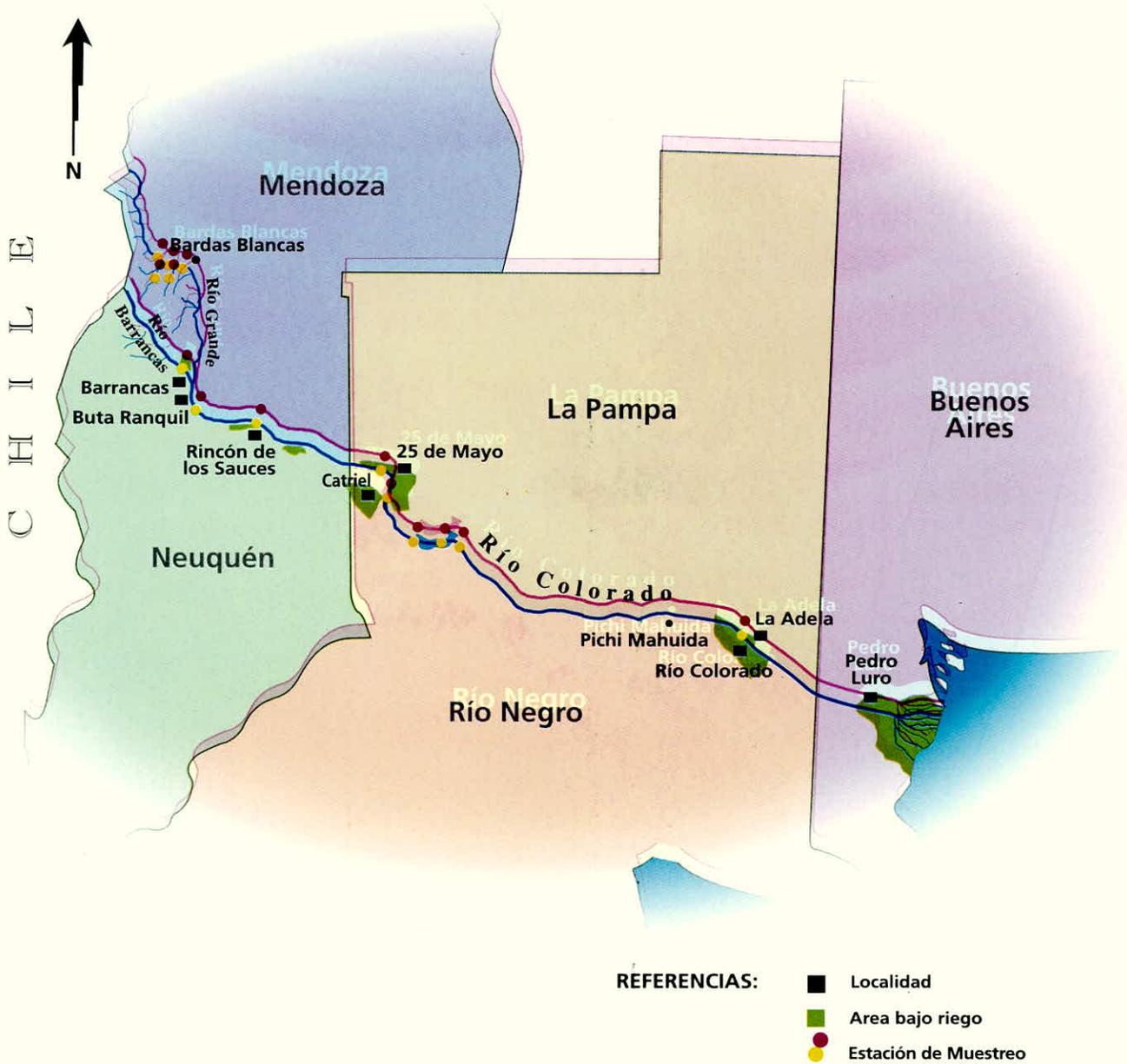


Figura 1 - Cuenca del Río Colorado





Capítulo II

**Monitoreo de la presencia de sustancias
tóxicas en el Río Colorado (columna líquida)**



Monitoreo de la presencia de sustancias tóxicas en el río Colorado (columna líquida)

II.1. Estaciones de monitoreo y frecuencia de operación

Se establecieron estaciones de monitoreo de columna líquida (Figura 2) en los sitios que se detallan en la Tabla 1. La estación CL 1 ubicada en el río Grande (Bardas Blancas) fue la estación de referencia, representativa de un sitio libre de influencia antrópica, mientras que las restantes corresponden a áreas donde existen diferentes actividades (petrolera, agrícola y urbana).

Las estaciones CL 2 y CL 3 ubicadas en Buta Ranquil y Desfiladero Bayo respectivamente, son representativas de un área de explotación petrolera. La estación CL 4 (Punto Unido), corresponde a un sitio ubicado aguas abajo de zonas de explotación petrolera y agrícola, donde el agua es derivada para múltiples usos. La estación CL 5 involucra descargas de todas las actividades, previo al ingreso al embalse Casa de Piedra. Aguas arriba de las mismas hay aprovechamientos agrícolas, asentamientos urbanos y yacimientos petrolíferos.

La estación CL 6 está ubicada en la descarga de dicho embalse y la CL 7, sobre el río Colorado, a la altura de la localidad de La Adela (Fig. 1). Esta última ligada a diferentes usos (agua potable e irrigación).

En la presente etapa, al igual que en la etapa anterior, se mantuvo el monitoreo de la columna de agua en sitios relacionados con la provisión de agua potable y la protección de la vida acuática en general. En las áreas donde tiene lugar la captación, directa o indirecta, del agua para suministros públicos, los muestreos se llevaron a cabo sobre la margen correspondiente a dicha captación.

Estas estaciones fueron muestreadas con frecuencia bimestral.

Tabla 1. Estaciones de monitoreo

Estación	Sitio	Coordenadas
CL-1	Río Grande (Bardas Blancas)	S 35° 51' 31" - O 69° 48' 25"
CL-2	Río Colorado (Buta Ranquil)	S 37° 07' 27" - O 69° 38' 51"
CL-3	Río Colorado (Desfiladero Bayo)	S 37° 21' 57" - O 69° 00' 55"
CL-4	Río Colorado (Punto Unido)	S 37° 43' 32" - O 67° 45' 47"
CL-5	Río Colorado (Pasarela Medanito)	S 38° 01' 35" - O 67° 52' 44"
CL-6	Descarga embalse Casa de Piedra	S 38° 12' 55" - O 67° 11' 04"
CL-7	Río Colorado (La Adela - Puente viejo)	S 38° 59' 14" - O 64° 05' 32"



Figura 2
Estaciones de monitoreo de sustancias tóxicas en columna líquida.

II.2. Sustancias investigadas

Se investigó en forma sistemática la presencia en la columna de agua de sustancias tóxicas que podrían provenir de las actividades que se desarrollan en la zona. Estas sustancias son metales y metaloides (arsénico, cadmio, cinc, cobre, cromo, mercurio, molibdeno, níquel, plomo y selenio) e hidrocarburos aromáticos polinucleares (HAPs). Además se llevaron a cabo determinaciones cuali y cuantitativas de hidrocarburos alifáticos como indicadores de las fuentes potenciales de hidrocarburos.

II.3. Metodología de muestreo

II.3.1. Muestras para análisis de metales y metaloides

Los muestreos se efectuaron de acuerdo a los lineamientos generales dados en Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, AWWA, WEF, 1999). En las correspondientes estaciones de monitoreo se extrajeron muestras de agua, siendo envasadas en frascos de polietileno de 500 mL de capacidad y preservadas mediante la adición de ácido nítrico hasta pH <2 y refrigeradas a temperatura <4°C. Los recipientes utilizados fueron sometidos previamente a un procedimiento de limpieza consistente en: lavado con detergente y agua corriente, enjuague prolongado con agua corriente, enjuague con agua destilada, secado a temperatura ambiente, inmersión durante 12 horas en solución de ácido nítrico 1+1, enjuague con agua destilada, enjuague con agua ultrapura (Tipo I ASTM), secado a temperatura ambiente.

II.3.2. Muestras para análisis de hidrocarburos

Se extrajeron muestras de agua de 2 L, siendo envasadas en recipientes de vidrio, los cuales habían sido sometidos previamente a igual procedimiento de limpieza que los envases para análisis de metales y metaloides más un enjuague con acetona de alta pureza (grado cromatográfico). Las muestras fueron preservadas mediante la adición de 2 mL/L de ácido clorhídrico 1+1 y refrigeración a temperatura <4° C, y en esas condiciones enviadas al laboratorio.

II.3.3. Control de calidad de las operaciones de campo y laboratorio en el análisis de metales/metaloides e hidrocarburos.

Se llevó a cabo un control de calidad de las operaciones de campo y de laboratorio relacionadas con el análisis de metales y metaloides consistente en la inclusión, en una de las campañas, de un juego de muestras de control de calidad compuesto por: un blanco de agua ultrapura, un blanco adicionado con un estándar de metales, una réplica (triplicado) de una muestra de columna líquida extraída en una de las estaciones de muestreo y una réplica (triplicado) igual a la anterior más la

adición del estándar de metales. Además, en cada campaña se incluyó con cada lote de muestras un blanco y una réplica (duplicado) de una de las muestras. El origen e identificación de estas muestras eran desconocidos por el laboratorio.

Para el control de calidad de las operaciones de campo y laboratorio correspondientes al análisis de hidrocarburos se analizaron junto con los lotes de muestras de cada campaña, un blanco de agua ultrapura y una réplica (duplicado) de una de las muestras. También en este caso el origen e identificación de estas muestras eran desconocidos por el laboratorio.

II.4. Metodologías analíticas

II.4.1. Análisis de Metales y metaloides

Los análisis de metales y metaloides se llevaron a cabo mediante las técnicas y métodos analíticos descriptos en la Tabla 2 en el laboratorio del Instituto de Tecnología Minera (INTEMIN) del Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR).

Tabla 2. Técnicas analíticas y métodos empleados para el análisis de metales y metaloides en columna de agua

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

A.A. : espectrometría de absorción atómica – ICP: espectrometría de emisión atómica por plasma inductivo

II.4.2. Hidrocarburos alifáticos y aromáticos polinucleares

Los análisis de hidrocarburos aromáticos polinucleares y alifáticos se llevaron a cabo por cromatografía en fase gaseosa de alta resolución con detector FID, en el Laboratorio de Química Ambiental de la Universidad Nacional de La Plata, con confirmación por cromatografía en fase gaseosa con detección por espectrometría de masa, llevada a cabo en el laboratorio CIC S.R.L. de Capital Federal.

Los hidrocarburos aromáticos polinucleares analizados figuran en el siguiente listado:

Naftaleno	Dimetil Naftaleno	Criseno
Acenafteno	Metil Fenantreno	BenzoAntraceno
Acenaftileno	Dimetil Fenantreno	Benzo[a]pireno
Fluoreno	Fluoranteno	DiBenzo[ah]antraceno
Fenantreno	Pireno	Benzo[g,h,i]perileno
Antraceno	Benzo[b]fluoranteno	Indenopireno
Metil Naftaleno	Benzo[k]fluoranteno	

Los hidrocarburos alifáticos analizados estuvieron comprendidos entre nC 11 y nC 36. Se determinó también la presencia de farnesano, norpristano, pristano y fitano.

II.5. Análisis de metales y metaloides

II.5.1. Control de calidad de las operaciones de campo y laboratorio

Con el objeto de asegurar la calidad de los datos analíticos se llevaron a cabo controles de calidad de las operaciones de campo y laboratorio, consistentes en la preparación y el análisis de blancos y muestras replicados con y sin adición de estándares. Estos procedimientos tuvieron por finalidad visualizar el grado de incidencia de distintos factores sobre la precisión general del análisis. Entre estos factores figuran los procedimientos de limpieza de los envases para las muestras, los productos químicos utilizados como conservantes, las operaciones de muestreo y el almacenaje de las muestras hasta su arribo al laboratorio. Todos estos factores pueden determinar la introducción de elementos extraños a la muestra o la alteración y/o pérdida de sustancias originalmente presentes en la misma.

La Tabla 3 resume los resultados obtenidos en el control de calidad de las operaciones de campo y laboratorio para el análisis de metales y metaloides.

Tabla 3 – Análisis de un blanco y de réplicas de muestras

Elemento ($\mu\text{g/L}$)	Blanco (de campo)	Réplica (*)		
		A	B	C
Arsénico	<5	<5	<5	<5
Cadmio	<1	<1	<1	<1
Cinc	<10	10	10	10
Cobre	<2	<2	<2	<2
Cromo	<1	<1	<1	<1
Mercurio	<1	<1	<1	<1
Molibdeno	<10	<10	<10	<10
Níquel	<5	<5	<5	<5
Plomo	<5	<5	<5	<5
Selenio	<2	5	4	<2

(*) Muestra replicada: Estación CL 7 (La Adela) – Campaña de Octubre de 2001

Blanco (de campo): ver referencia pie tabla 4.

Réplica: ver referencia pie tabla 4.

Para efectuar las adiciones al blanco y a las réplicas se empleó un estándar de metales (Sigma-Aldrich) con la siguiente composición: Cadmio, 10 µg/mL; Cinc, 40 µg/mL; Cobre, 50µg/mL; Cromo, 20 µg/mL y Níquel, 80 µg/mL, disueltos en solución de ácido nítrico al 5 %. De este estándar se adicionaron, mediante micropipeta, 350 µL llevándose a 500 mL con agua ultrapura o muestra en un matraz aforado.

La variación observada en la determinación de selenio en las muestras replicadas, es debida al comportamiento del método analítico a esos niveles de concentración, muy próximos al límite de cuantificación, y, quizás también, al procedimiento de preparación de las réplicas. En el presente caso (Tabla 3) se observa que las sustancias bajo estudio no aparecen en los blancos (a los límites de cuantificación establecidos) por lo tanto, las mismas no son introducidas en las condiciones de envasado.

En el análisis de la muestra replicada (Tabla 3), dado que los resultados (a excepción de los datos del cinc y del selenio) son todos valores inferiores al límite de cuantificación del método (LCM), no puede establecerse una comparación entre las tres réplicas. No obstante, la regularidad de estos resultados (todos inferiores al LCM) da también una idea acerca de la repetibilidad de los mismos.

Tabla 4. Control de calidad de las operaciones de campo y laboratorio para algunos metales y metaloides

Elemento	Concentración en el estándar (µg/mL)	Concentración adicionada (µg/L)	Concentraciones medidas (µg/L)			
			Blanco adicionado	Réplicas adicionadas		
				A	B	C
Cadmio	10	7,0	6,1	5,9	5,8	5,7
Cobre	50	35	34	30	30	30
Cromo	20	14	13	11	11	11
Níquel	80	56	54	43	45	39

Blanco (de campo):

se prepara con agua ultrapura (de calidad verificada) usando un envase del mismo lote que va a ser utilizado para las muestras. Se envasa en campo y es sometido a idénticos procedimientos de preservación, condiciones y tiempo de almacenaje que las muestras. Indica cualquier anomalía que pueda existir con los procedimientos de limpieza del envase, introducción de contaminantes en la muestra por los conservantes (ácidos), manipulación de los envases en campo para la obtención y preservación de la muestra.

Blanco adicionado:

se prepara adicionando cantidades conocidas de un estándar de la sustancia en estudio a un blanco de agua ultrapura preparado como se indicó más arriba. Indica la recuperación de la sustancia adicionada en el análisis de laboratorio, sin efectos de la matriz (conformada por otras sustancias o materiales distintos del analito a medir que están presentes en la muestra). Si se analizan réplicas del blanco adicionado, da un indicio también de la precisión general afectada por las operaciones de campo y analíticas.

Réplica:

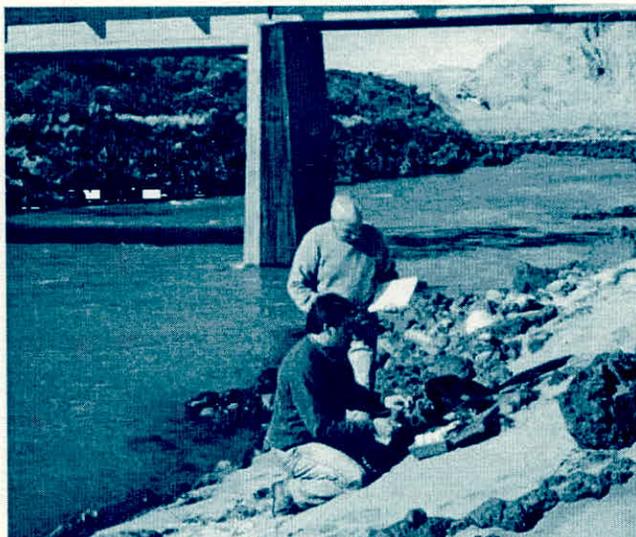
es una muestra repetida de la matriz en estudio. Se obtiene por división de una muestra (dos o más veces). Tiene por objeto medir la precisión general afectada por las operaciones de campo y laboratorio.

Réplica adicionada:

se prepara en idénticas condiciones que la anterior pero se le adiciona una cantidad conocida de un estándar de la sustancia en estudio. Mide la precisión general afectada por las operaciones de campo y analíticas, más el efecto de la matriz (por ejemplo, si la sustancia a medir tiene afinidad por el material particulado presente en la muestra y debe ser extraída para su análisis, lo más probable es que no se logre extraer en su totalidad dicha sustancia afectándose la recuperación y la precisión de la determinación). La recuperación (habitualmente expresada como porcentaje) mide la relación entre la concentración de una sustancia adicionada a una muestra y la concentración hallada en esa muestra por medio del análisis.

La Tabla 4 muestra los resultados del análisis de un blanco y de réplicas adicionadas con estándares de algunos metales.

Comparando el análisis del blanco adicionado con el de las réplicas adicionadas (Tabla 4) puede observarse que en todos los casos hay un efecto de la matriz que afecta la recuperación. En otras palabras, al blanco y a las muestras se les adicionó la misma cantidad de estándar, sin embargo, las concentraciones halladas para las muestra son menores. Por lo tanto, hay un factor en la muestra (efecto de la matriz) que afecta la recuperación de la sustancia adicionada. Los resultados del análisis indican que la precisión general no se encuentra afectada. En todas las campañas de muestreo, junto con cada lote de muestras, fue analizado un blanco de agua desionizada y una réplica (duplicado o triplicado) de una muestra obtenida en una de las estaciones. Los resultados obtenidos en el análisis de estas muestras de control a lo largo del período de estudio dieron resultados satisfactorios.



II.5.2. Valores guía para la calidad del agua

Con el objeto de evaluar la calidad del agua para los diferentes usos a que es sometida, los resultados obtenidos en el monitoreo de sustancias químicas, se han confrontado con valores guía (Tabla 5) derivados a tal fin (CCREM, 1987; WHO, 1993; CCME, 1999).

Tabla 5. Valores guía para diferentes usos del agua

Parámetro	Valor guía (µg/L)			
	Agua Potable (1,2)	Irrigación (3)	Ganadería (4)	Vida acuática (5)
Arsénico	10	100	25	50
Cadmio	3	5,1	80	1,8
Cinc	3000	1000 – 5000	50000	30
Cobre	2000	200-1000	500-5000	4
Cromo	50	4,8 – 8	50	2
Mercurio	1	-	3	0,1
Molibdeno	70	10 – 50	500	-
Níquel	20	200	1000	150
Plomo	10	200	100	7
Selenio	10	20 - 50	50	1

(1) Dado que en la mayoría de los suministros de agua potable con captaciones en el río Colorado, el único tratamiento de potabilización aplicado es la desinfección, se han adoptado los valores guía para el agua de bebida como valores guía de calidad de la fuente; (2) WHO, 1993; (3) CCME (1999), Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Agricultural Uses – Irrigation; (4) CCME (1999) Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Agricultural Uses – Livestock; (5) CCREM, 1987.

II.5.3. Resultados

Tabla 6. Metales y metaloides en columna líquida
Estación CL 1
Ubicación: Río Grande (Bardas Blancas) - Margen derecha

Metal/metaloides	Campaña					
	1 (12/02/01)	2 (23/04/01)	3 (25/06/01)	4 (13/08/01)	5 (29/10/01)	6 (03/12/01)
Arsénico (µg/L)	<5	<5	<5	<5	<5	< 5
Cadmio (µg/L)	<1	<1	<1	<1	<1	< 1
Cinc (µg/L)	11	<10	12	14	9	8
Cobre (µg/L)	16	3	3	3	2	7
Cromo (µg/L)	<1	<1	<1	<1	<1	< 1
Mercurio (µg/L)	<1	<1	<1	<1	<1	< 1
Molibdeno (µg/L)	<10	<10	<10	<10	<10	< 10
Níquel (µg/L)	<5	<5	<5	<5	<5	< 5
Plomo (µg/L)	<5	7	<5	<5	<5	< 5
Selenio (µg/L)	<2	<2	<2	4	6	< 2

Tabla 7. Metales y metaloides en columna líquida
Estación CL 2
Ubicación: Río Colorado (Buta Ranquil - Puente El Portón) - Margen derecha

Metal/metaloides	Campaña					
	1 (12/02/01)	2 (23/04/01)	3 (25/06/01)	4 (13/08/01)	5 (29/10/01)	6 (03/12/01)
Arsénico (µg/L)	<5	<5	<5	<5	<5	< 5
Cadmio (µg/L)	<1	<1	<1	<1	<1	< 1
Cinc (µg/L)	12	<10	<10	13	9	14
Cobre (µg/L)	5	<2	<2	<2	3	11
Cromo (µg/L)	<1	<1	<1	<1	<1	< 1
Mercurio (µg/L)	<1	<1	<1	<1	<1	< 1
Molibdeno (µg/L)	<10	<10	<10	<10	<10	< 10
Níquel (µg/L)	<5	<5	<5	<5	<5	< 5
Plomo (µg/L)	7	<5	<5	<5	<5	< 5
Selenio (µg/L)	<2	3	3	<2	<2	6

Tabla 8. Metales y metaloides en columna líquida
Estación CL 3
Ubicación: Río Colorado (Desfiladero Bayo) - Margen derecha

Metal/metaloides	Campaña						
	1 (12/02/01)	2 (23/04/01)	3 (25/06/01) ^(*)		4 (13/08/01)	5 (29/10/01)	6 (03/12/01)
Arsénico (µg/L)	<5	<5	<5	<5	<5	<5	< 5
Cadmio (µg/L)	<1	<1	<1	<1	<1	<1	< 1
Cinc (µg/L)	12	<10	11	11	13	10	19
Cobre (µg/L)	4	<2	<2	<2	<2	4	16
Cromo (µg/L)	<1	<1	<1	<1	<1	<1	< 1
Mercurio (µg/L)	<1	<1	<1	<1	<1	<1	< 1
Molibdeno (µg/L)	<10	<10	<10	<10	<10	<10	< 10
Níquel (µg/L)	<5	<5	<5	<5	<5	<5	< 5
Plomo (µg/L)	<5	<5	<5	<5	<5	<5	< 5
Selenio (µg/L)	<2	<2	4	5	<2	4	6

(*) Réplica (duplicado)

Tabla 9. Metales y metaloides en columna líquida
Estación CL 4
Ubicación: Río Colorado (Punto Unido) - Margen derecha

Metal/metaloide	Campaña					
	1 (12/02/01)	2 (23/04/01)	3 (25/06/01)	4 (13/08/01)	5 (29/10/01)	6 (03/12/01)
Arsénico (µg/L)	<5	<5	<5	<5	<5	< 5
Cadmio (µg/L)	<1	<1	<1	<1	<1	< 1
Cinc (µg/L)	12	<10	11	13	10	24
Cobre (µg/L)	5	<2	<2	<2	6	19
Cromo (µg/L)	<1	<1	<1	<1	<1	< 1
Mercurio (µg/L)	<1	<1	<1	<1	<1	< 1
Molibdeno (µg/L)	<10	<10	<10	<10	<10	< 10
Níquel (µg/L)	<5	<5	<5	<5	<5	8
Plomo (µg/L)	<5	<5	<5	<5	<5	< 5
Selenio (µg/L)	<2	<2	<2	6	6	3

Tabla 10. Metales y metaloides en columna líquida
Estación CL 5
Ubicación: Río Colorado (Pasarela Medanito) - Margen derecha

Metal/metaloide	Campaña						
	1 (13/02/01) ^(*)		2 (24/04/01)	3 (26/06/01)	4 (14/08/01)	5 (30/10/01)	6 (04/12/01)
Arsénico (µg/L)	<5	<5	<5	<5	<5	<5	< 5
Cadmio (µg/L)	<1	<1	<1	<1	<1	<1	< 1
Cinc (µg/L)	13	13	<10	11	13	12	30
Cobre (µg/L)	5	6	<2	<2	<2	6	23
Cromo (µg/L)	<1	<1	<1	<1	<1	<1	< 1
Mercurio (µg/L)	<1	<1	<1	<1	<1	<1	< 1
Molibdeno (µg/L)	<10	<10	<10	<10	<10	<10	< 10
Níquel (µg/L)	<5	<5	<5	<5	<5	<5	6
Plomo (µg/L)	<5	<5	<5	<5	<5	<5	5
Selenio (µg/L)	<2	<2	4	3	4	<2	3

(*) Réplica (duplicado)

Tabla 11. Metales y metaloides en columna líquida
Estación CL 6
Ubicación: Descarga embalse Casa de Piedra - Margen derecha

Metal/metaloide	Campaña					
	1 (13/02/01)	2 (24/04/01)	3 (26/06/01)	4 (14/08/01)	5 (30/10/01)	6 (04/12/01)
Arsénico (µg/L)	<5	<5	<5	<5	<5	< 5
Cadmio (µg/L)	<1	<1	<1	<1	<1	< 1
Cinc (µg/L)	11	<10	11	12	9	8
Cobre (µg/L)	<2	<2	<2	<2	<2	< 2
Cromo (µg/L)	<1	<1	<1	<1	<1	< 1
Mercurio (µg/L)	<1	<1	<1	<1	<1	< 1
Molibdeno (µg/L)	<10	<10	<10	<10	<10	< 10
Níquel (µg/L)	<5	<5	<5	<5	<5	< 5
Plomo (µg/L)	<5	<5	<5	<5	<5	< 5
Selenio (µg/L)	<2	<2	<2	3	5	< 2

**Tabla 12. Metales y metaloides en columna líquida
Estación CL 7
Ubicación: Río Colorado (La Adela-Puente Viejo) - Margen derecha**

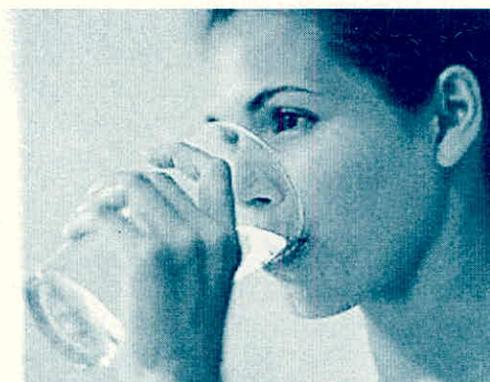
Metal/metaloides	Campaña								
	1 (14/02/01)	2 (25/04/01)	3 (27/06/01)	4 (16/08/01) ^(*)		5 (31/10/01) ^(**)			6 (03/12/01)
Arsénico (µg/L)	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Cadmio (µg/L)	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Cinc (µg/L)	11	<10	12	14	13	10	10	10	9
Cobre (µg/L)	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	2
Cromo (µg/L)	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Mercurio (µg/L)	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Molibdeno (µg/L)	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Níquel (µg/L)	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Plomo (µg/L)	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Selenio (µg/L)	<2	<2	5	7	2	5	4	<2	6

(*) Réplica (duplicado); (**) réplica (triplicado)

II.5.4. Discusión

a – Fuente de agua potable

El análisis de metales y metaloides en columna líquida en todas las estaciones muestreadas reveló que en ningún caso fueron superados los valores guía para uso como fuente de agua potable.



La presencia de algunos elementos en los niveles indicados se debe vincular a la conformación geológica de la región, como lo sugiere su detección incluso en las estaciones de referencia (libres de influencia antrópica) y su presencia en los sedimentos de fondo de toda el área, mostrando una distribución bastante uniforme, horizontal y vertical, tanto en las fracciones finas (arcillas y limos) como en las gruesas (arenas finas).

En función de los resultados obtenidos, se puede reiterar que, al igual que en los períodos de estudios anteriores, **el monitoreo de metales y metaloides en columna líquida puso de manifiesto que el agua del río en el área de estudio mantiene su aptitud para ser utilizada como fuente de agua potable, de acuerdo a las normas internacionales adoptadas en el programa (WHO, 1993).**

b – Uso en irrigación y ganadería

Los resultados obtenidos en el monitoreo de metales y metaloides **confirmaron nuevamente las observaciones efectuadas en las etapas de estudios anteriores, en relación con la aptitud del agua para uso en irrigación y ganadería.**

c - Protección de la vida acuática

Las concentraciones observadas de metales y metaloides, en la mayoría de los casos, fueron inferiores a los respectivos valores guía para la protección de la vida acuática. Los resultados obtenidos muestran una situación similar a la observada en las etapas anteriores.

Una excepción la constituyó el selenio, el cual fue detectado en forma esporádica, con variación espacial y temporal, en magnitudes que en esos únicos casos, llegaban a superar levemente el valor guía para la protección de la vida acuática.

II.6 Investigación de metales y metaloides en cursos de agua en la alta cuenca del río Grande

El monitoreo de metales y metaloides en agua, llevado a cabo como parte del Programa de Calidad de Aguas del año 2001, puso de manifiesto a partir de la segunda campaña (abril de 2001) la presencia de selenio en la columna de agua en las estaciones CL 2 (río Colorado, Buta Ranquil) y CL 5 (río Colorado, Pasarela Medanito). En la tercer campaña (junio de 2001) fue observado nuevamente en estas estaciones y en las estaciones CL 3 (río Colorado, Desfiladero Bayo) y CL 7 (río Colorado, La Adela). A partir de la cuarta campaña, la detección de selenio se hizo más generalizada, incluyendo la estación de referencia (río Grande – Bardas Blancas). Se observó, además, un incremento en sus concentraciones, si bien, en todos los casos las detecciones fueron en niveles inferiores al valor guía para uso del agua en suministros públicos.

La detección de selenio en el río Grande (Bardas Blancas), motivó la ejecución de muestreos fuera de programa en la alta cuenca de este río, a fin de determinar la procedencia de ese elemento.

II.6.1. Estaciones de monitoreo

La Tabla 13 muestra la ubicación de las estaciones de monitoreo establecidas en la alta cuenca del río Grande.

Tabla 13 - Estaciones de monitoreo de aguas en la alta cuenca del río Grande

Estación	Ubicación	Coordenadas Geográficas
CL-8	Río Grande. Aguas arriba río Chico (margen derecha)	S 35° 48' 07" O 70° 05' 01"
CL-9	Río Chico (margen derecha)	S 35° 43' 39" O 70° 09' 28"
CL-10	Río Grande. Aguas arriba río Poti Malal (margen derecha)	S 35° 51' 59" O 69° 56' 52"
CL-11	Río Poti Malal (margen derecha)	S 35° 52' 12" O 70° 56' 33"

II.6.2. Metodología de muestreo

Los muestreos en la columna de agua se llevaron a cabo según se ha descrito en la sección II.3.1

II.6.3. Metodologías analíticas

En las muestras de agua, además de mercurio y selenio, fueron analizados los restantes metales y metaloides establecidos en el listado del Programa. Los análisis se llevaron a cabo conforme a las metodologías descriptas en la sección II.3.2

II.6.4. Resultados

Las Tablas 14 y 15 detallan los resultados obtenidos en los muestreos realizados en los meses de octubre y diciembre de 2001. En este último caso las muestras fueron extraídas por duplicado.

Tabla 14. Monitoreo de metales y metaloides en la alta cuenca del río Grande – Octubre 2001

Elemento (µg/L)	Río Grande aguas arriba río Chico	Río Chico	Río Grande aguas arriba Poti Malal	Río Poti Malal
Arsénico	< 5	< 5	< 5	< 5
Cadmio	< 1	< 1	< 1	< 1
Cinc	9	3	7	<10
Cobre	4	<2	2	<2
Cromo	< 1	< 1	< 1	< 1
Mercurio	< 1	< 1	< 1	< 1
Molibdeno	< 10	< 10	< 10	< 10
Níquel	< 5	< 5	< 5	< 5
Plomo	< 5	< 5	< 5	< 5
Selenio	< 2	7	< 2	< 2

Tabla 15. Monitoreo de metales y metaloides en la alta cuenca del río Grande – Diciembre 2001

Elemento (µg/L)	Estación							
	R. Gde. aguas arriba río Chico		Río Chico		R. Gde. aguas arriba Poti Malal		Río Poti Malal	
Arsénico	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
Cadmio	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Cinc	6	6	3	2	5	6	5	6
Cobre	6	5	< 2	< 2	6	6	< 2	< 2
Cromo	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Mercurio	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Molibdeno	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
Níquel	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
Plomo	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
Selenio	< 2	< 2	< 2	3	7	< 2	3	< 2

II.6.5. Discusión

El monitoreo complementario de metales y metaloides en columna líquida en la alta cuenca del río Grande, iniciado en octubre de 2001, ha puesto de manifiesto un contenido de los elementos investigados similar al observado en el resto del sistema. En relación al selenio, los resultados de las dos campañas realizadas ponen de manifiesto que en la alta Cuenca del Río Grande y en algunos de sus afluentes, **el rango de detección es similar al hallado en el área correspondiente al Programa de Estudio**. Como ya fuera indicado anteriormente, los valores hallados de selenio en todos los casos estuvieron por debajo del nivel guía para uso de agua en suministros públicos.

II.7 Análisis de hidrocarburos

II.7.1 Valores guía

La evaluación de los resultados de los análisis de HAPs en columna líquida se llevó a cabo tomando como referencia diferentes normas internacionales. Para uso del agua como fuente de agua potable se adoptó el valor guía para benzo[a]pireno recomendado en Guidelines for Drinking Water Quality (WHO, 1993), el cual es de 0,7 µg/L. En tanto que para la protección de la vida acuática se siguieron los valores guía de Canadian Water Quality Guidelines (1999), los cuales figuran en la Tabla 16.

Tabla 16 – Valores guía de HAPs para la protección de la vida acuática¹

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

(1) Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life, 1999

II.7.2. Resultados

Las Tablas 17 a 23 muestran los resultados de los análisis de hidrocarburos aromáticos polinucleares (HAPs) en columna líquida correspondientes a los muestreos realizados bimestralmente entre febrero y diciembre de 2001.

Los HAPs investigados son los que pueden estar originados en distintas fuentes, naturales y antropogénicas, y definen la calidad del agua tanto para su uso como fuente de agua potable como para la protección de la vida acuática.

Tabla 17. Concentraciones ($\mu\text{g/L}$) de hidrocarburos aromáticos polinucleares (HAPs) en columna líquida Estación CL 1 - Río Grande (Bardas Blancas)

Hidrocarburo	Campaña					
	1 (12/02/01)	2 (23/04/01)	3 (25/06/01)	4 (13/08/01)	5 (29/10/01)	6 (03/12/01)
Naftaleno	0,03	-	<LC	<LC	0,01	<LC
Acenafteno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Acenaftileno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Fluoreno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Fenantreno	0,02	0,02	<LC	<LC	<LC	<LC
Antraceno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Metil Naftaleno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Dimetil Naftaleno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Metil Fenantreno	0,03	0,03	<LC	<LC	<LC	<LC
Dimetil Fenantreno	0,02	0,02	<LC	<LC	<LC	<LC
Fluoranteno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Pireno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Benzo[b]fluoranteno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Benzo[k]fluoranteno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Criseno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
BenzoAntraceno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Benzo[a]pireno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
DiBenzo[ah]antraceno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Benzo[g,h,i]perileno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Indenopireno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC

Límite de cuantificación (LC): 0,01 $\mu\text{g/L}$; (-) Valor no informado

Tabla 18. Concentraciones ($\mu\text{g/L}$) de hidrocarburos aromáticos polinucleares (HAPs) en columna líquida Estación CL 2 - Río Colorado (Buta Ranquil) - Margen derecha

Hidrocarburo	Campaña					
	1 (12/02/01)	2 (23/04/01)	3 (25/06/01)	4 (13/08/01)	5 (29/10/01)	6 (03/12/01)
Naftaleno	<LC	-	<LC	<LC	<LC	<LC
Acenafteno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Acenaftileno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Fluoreno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Fenantreno	<LC	0,01	<LC	<LC	<LC	<LC
Antraceno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Metil Naftaleno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Dimetil Naftaleno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Metil Fenantreno	<LC	0,02	<LC	<LC	<LC	<LC
Dimetil Fenantreno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Fluoranteno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Pireno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Benzo[b]fluoranteno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Benzo[k]fluoranteno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Criseno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
BenzoAntraceno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Benzo[a]pireno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
DiBenzo[ah]antraceno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Benzo[g,h,i]perileno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Indenopireno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC

Límite de cuantificación (LC): 0,01 $\mu\text{g/L}$; (-) Valor no informado

Tabla 19. Concentraciones ($\mu\text{g/L}$) de hidrocarburos aromáticos polinucleares (HAPs) en columna líquida Estación CL 3 - Río Colorado (Desfiladero Bayo) - Margen derecha

Hidrocarburo	Campaña						
	1 (12/02/01)	2 (23/04/01)	3 (25/06/01)	4 (13/08/01)	5 (29/10/01)	6 (03/12/01)	
Naftaleno	0,02	-	-	<LC	<LC	0,02	0,01
Acenafteno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Acenaftileno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Fluoreno	<LC	0,01	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Fenantreno	<LC	0,04	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Antraceno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Metil Naftaleno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Dimetil Naftaleno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Metil Fenantreno	<LC	0,07	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Dimetil Fenantreno	<LC	0,04	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Fluoranteno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Pireno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Benzo[b]fluoranteno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Benzo[k]fluoranteno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Criseno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
BenzoAntraceno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Benzo[a]pireno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
DiBenzo[ah]antraceno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Benzo[g,h,i]perileno	<LC	0,04	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Indenopireno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC

Límite de cuantificación (LC): 0,01 $\mu\text{g/L}$; (-) Valor no informado

Tabla 20. Concentraciones ($\mu\text{g/L}$) de hidrocarburos aromáticos polinucleares (HAPs) en columna líquida Estación CL 4 - Río Colorado (Punto Unido) - Margen izquierda

Hidrocarburo	Campaña					
	1 (12/02/01)	2 (23/04/01)	3 (25/06/01)	4 (13/08/01)	5 (29/10/01)	6 (03/12/01)
Naftaleno	0,02	<LC	0,02	<LC	<LC	<LC
Acenafteno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Acenaftileno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Fluoreno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Fenantreno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Antraceno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Metil Naftaleno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Dimetil Naftaleno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Metil Fenantreno	0,02	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Dimetil Fenantreno	0,01	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Fluoranteno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Pireno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Benzo[b]fluoranteno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Benzo[k]fluoranteno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Criseno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
BenzoAntraceno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Benzo[a]pireno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
DiBenzo[ah]antraceno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Benzo[g,h,i]perileno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Indenopireno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC

Límite de cuantificación (LC): 0,01 $\mu\text{g/L}$; (-) Valor no informado

Tabla 21. Concentraciones ($\mu\text{g/L}$) de hidrocarburos aromáticos polinucleares (HAPs) en columna líquida Estación CL 5 - Río Colorado (Punto Unido) - Margen izquierda

Hidrocarburo	Campaña					
	1 (13/02/01)	2 (24/04/01)	3 (26/06/01)	4 (14/08/01)	5 (30/10/01)	6 (04/12/01)
Naftaleno	0,02	0,01	-	<LC	<LC	<LC
Acenafteno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Acenaftileno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Fluoreno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Fenantreno	<LC	0,02	<LC	<LC	<LC	<LC
Antraceno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Metil Naftaleno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Dimetil Naftaleno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Metil Fenantreno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Dimetil Fenantreno	0,01	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Fluoranteno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Pireno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Benzo[b]fluoranteno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Benzo[k]fluoranteno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Criseno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
BenzoAntraceno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Benzo[a]pireno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
DiBenzo[ah]antraceno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Benzo[g,h,i]perileno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Indenopireno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC

Límite de cuantificación (LC): 0,01 $\mu\text{g/L}$; (-) Valor no informado

Tabla 22. Concentraciones ($\mu\text{g/L}$) de hidrocarburos aromáticos polinucleares (HAPs) en columna líquida Estación CL 6 - Descarga Casa de Piedra - Margen derecha

Hidrocarburo	Campaña					
	1 (13/02/01)	2 (24/04/01)	3 (26/06/01)	4 (14/08/01)	5 (30/10/01)	6 (04/12/01)
Naftaleno	0,02	-	<LC	<LC	<LC	<LC
Acenafteno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Acenaftileno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Fluoreno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Fenantreno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Antraceno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Metil Naftaleno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Dimetil Naftaleno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Metil Fenantreno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Dimetil Fenantreno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Fluoranteno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Pireno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Benzo[b]fluoranteno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Benzo[k]fluoranteno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Criseno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
BenzoAntraceno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Benzo[a]pireno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
DiBenzo[ah]antraceno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Benzo[g,h,i]perileno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Indenopireno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC

Límite de cuantificación (LC): 0,01 $\mu\text{g/L}$; (-) Valor no informado

Tabla 23. Concentraciones ($\mu\text{g/L}$) de hidrocarburos aromáticos polinucleares (HAPs) en columna líquida Estación CL 7 - Río Colorado (La Adela – Puente viejo) – Margen derecha

Hidrocarburo	Campaña					
	1 (14/02/01)	2 (25/04/01)	3 (27/06/01)	4 (16/08/01)	5 (31/10/01)	6 (05/12/01)
Naftaleno	0,03	-	<LC	<LC	<LC	<LC
Acenafteno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Acenaftileno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Fluoreno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Fenantreno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Antraceno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Metil Naftaleno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Dimetil Naftaleno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Metil Fenantreno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Dimetil Fenantreno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Fluoranteno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Pireno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Benzo[b]fluoranteno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Benzo[k]fluoranteno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Criseno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
BenzoAntraceno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Benzo[a]pireno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
DiBenzo[ah]antraceno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Benzo[g,h,i]perileno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Indenopireno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC

Límite de cuantificación (LC): 0,01 $\mu\text{g/L}$; (-) Valor no informado

II.7.3. Discusión

a – Fuente de agua potable

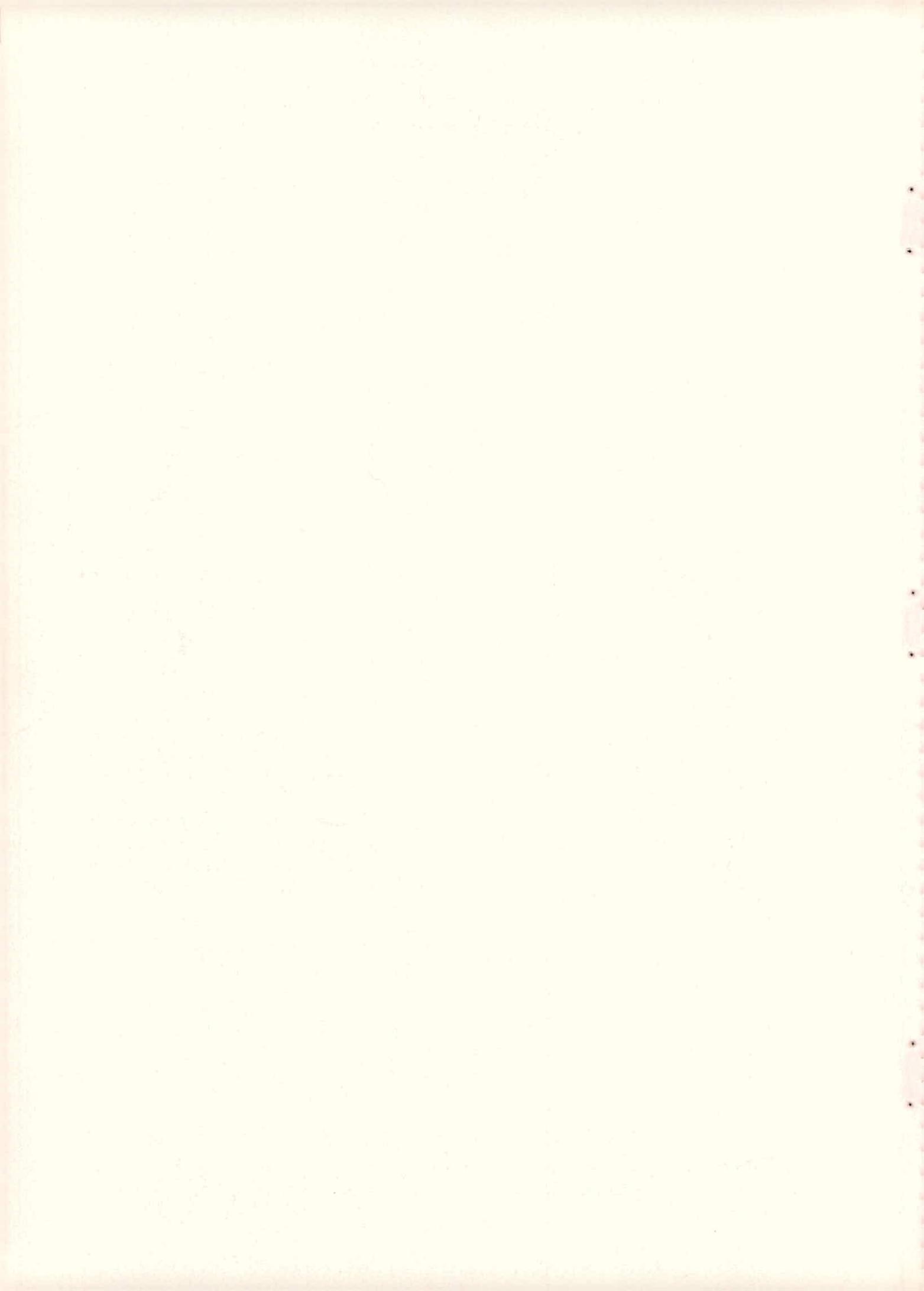
De acuerdo a los resultados obtenidos, puede concluirse que no hubo detección de HAPs que superaran los valores guía recomendados por las normas internacionales (WHO, 1993). En los muy aislados casos en que hubo presencia de algún miembro del grupo, lo fue en concentraciones un orden de magnitud por debajo de los valores guía mencionados, no habiendo indicios que los vincularan a alguna actividad antrópica en particular, ya que inclusive se los halló en la estación de referencia, con similar perfil, en cuanto a tipo y concentración, que en las restantes estaciones.

Los análisis de hidrocarburos alifáticos en los distintos sitios del río Colorado evaluados, mostraron bajas concentraciones (de unos pocos $\mu\text{g/L}$) y con un perfil que no sugiere un origen petrogénico.

En función de estos resultados se obtiene como conclusión que *el agua del río Colorado mantiene su aptitud para ser utilizada como fuente de agua potable.*

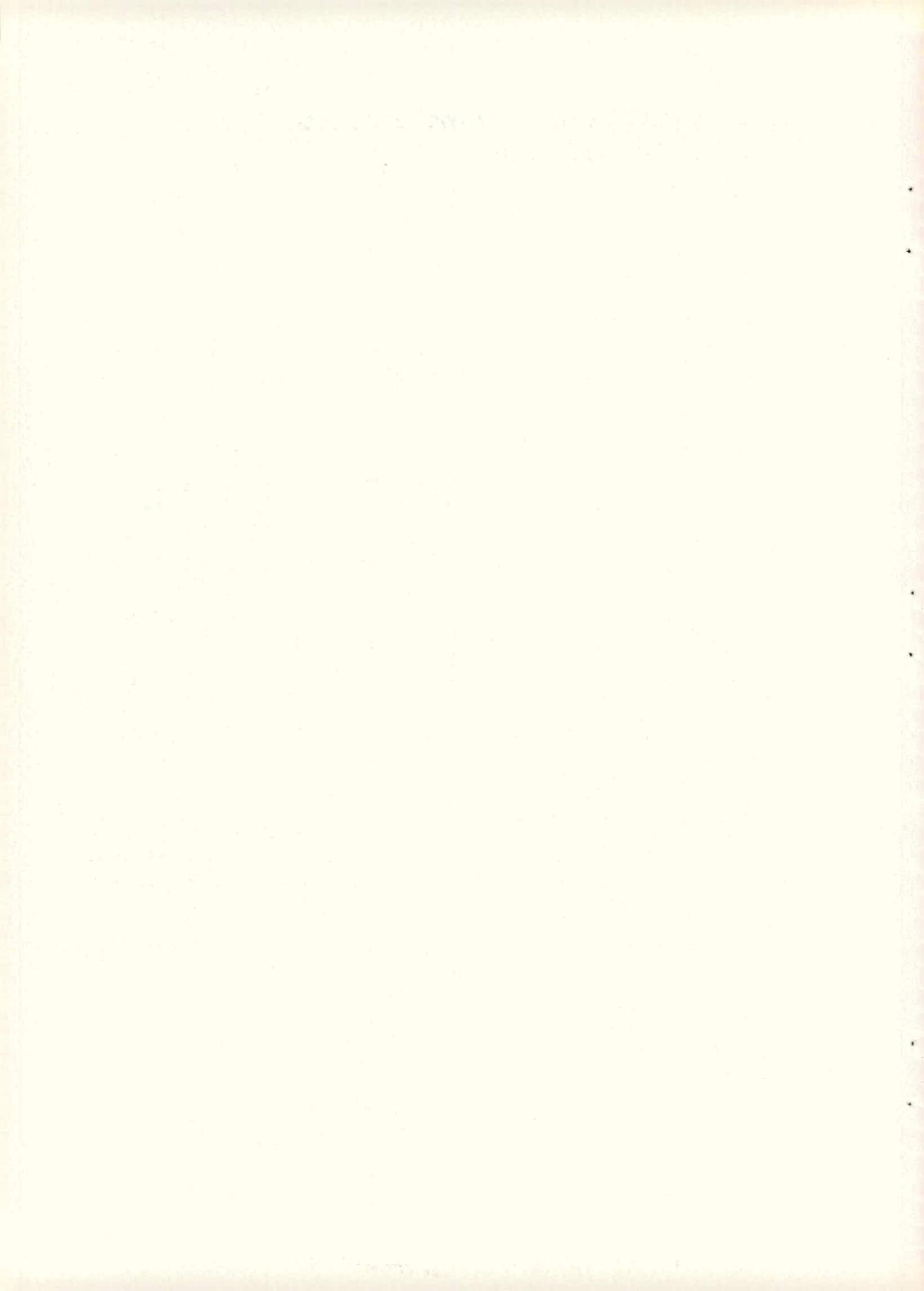
b- Protección de la vida acuática

La comparación de los resultados obtenidos en los análisis de HAPs con los respectivos valores guía (CWQG, 1999) indica que *no existe riesgo para la vida acuática en el área, en relación con estas sustancias.*



Capítulo III

**Investigación de sustancias tóxicas
en músculo de peces**





Investigación de sustancias tóxicas en músculo de peces

III.1. Sustancias investigadas

En el músculo dorsal de peces se investigó la presencia de metales y metaloides y de hidrocarburos aromáticos polinucleares (HAPs). Los elementos y HAPs analizados figuran en los siguientes listados:

Metales y metaloides

Antimonio
Arsénico
Bario
Cadmio
Cinc
Cobre
Cromo
Hierro
Mercurio
Molibdeno
Níquel
Plata
Plomo
Selenio

Hidrocarburos aromáticos polinucleares

Naftaleno
Acenafteno
Acenaftileno
Fluoreno
Fenantreno
Antraceno
Metil Naftaleno
Dimetil Naftaleno
Metil Fenantreno
Dimetil Fenantreno

Fluoranteno
Pireno
Benzo[b]fluoranteno
Benzo[k]fluoranteno
Benzopireno
Criseno
Benzoantraceno
Benzo[a]pireno
DiBenzo[a,h]antraceno
Benzo[g,h,i]perileno

III.2. Estaciones de muestreo

Se efectuaron muestreos de peces en el río Colorado y en el embalse Casa de Piedra. En el río, las capturas se hicieron en cercanías del puente de Desfiladero Bayo. En el embalse Casa de Piedra se realizaron pescas en la cola sobre la margen izquierda (Sitios 1 y 2) y en las proximidades de la presa. En la Tabla 24 se detallan las estaciones de muestreo.

Tabla 24 . Estaciones de muestreo de peces en el río Colorado y en el embalse Casa de Piedra

Sitio		Coordenadas
Río Colorado (Desfiladero Bayo)		S 37° 21' 56" O 69° 00' 55"
Embalse Casa de Piedra	Cola (Sitio 1)	S 38° 12' 23" O 67° 37' 03"
	Cola (Sitio 2)	S 38° 12' 14" O 67° 37' 29"
	Presa	S 38° 12' 35" O 67° 39' 18"

III.3. Metodología de captura

Se utilizaron dos métodos de pesca distintos (Sauval, R. H., Muestreo de Peces en Río Colorado – Desfiladero Bayo y Embalse Casa de Piedra, Período 2001, Marzo-Abril 2001): redes agalleras (Fukui Fishing Net Co. Ltd.) compuesta por siete paños armados de distinto tamaño de malla y pesca eléctrica (aparato Smith-Root 15-D equipado con un generador Honda EX350). Las redes fueron utilizadas tanto en el río Colorado como en el embalse Casa de Piedra, en tanto que la pesca eléctrica fue utilizada sólo en el río Colorado. La totalidad de las capturas fue realizada por medio de las redes, dado que la pesca eléctrica no dio resultado.



En el río se calaron las redes de a pares (3 sitios en cercanías del puente, aguas arriba sobre la margen izquierda en un brazo secundario del río, en forma paralela a la costa debido a la velocidad de la corriente). En la cola del embalse Casa de Piedra se calaron baterías completas en dos sitios vecinos.

Se capturó un total de 231 peces. Dieciséis en el río Colorado (15 perquitas espinudas y 1 perca bocona), 161 en la cola del embalse (160 pejerreyes y 1 carpa) y 54 en el embalse, en el sector próximo a la presa (37 carpas, 16 pejerreyes y 1 perca bocona).

En la Tabla 25 figuran las especies de peces capturadas.

Tabla 25. Especies de peces capturadas

Nombre común	Nombre científico
Pejerrey bonaerense	<i>Odontesthes bonariensis</i>
Perca bocona	<i>Percichthys colhuapiensis</i>
Perquita espinuda	<i>Percichthys altispinnis</i>
Carpa	<i>Cyprinus carpio</i>

Una vez capturados los peces fue registrada su talla (Largo total, precisión 1mm) y pesados (Peso fresco total, precisión 2 g). Inmediatamente después se llevó a cabo la disección de cada ejemplar extrayendo dos porciones de los paquetes musculares dorsales por medio de cuchillos de material plástico.

Los lotes de peces a los que se les extrajo músculo para los diferentes análisis variaron en el número de ejemplares. Cuando se obtuvieron menos de 20 individuos de la especie, se disecaron la totalidad de los mismos. En los casos en que se pescaron más de 20 piezas de la especie, se realizó un submuestreo, utilizando ese número de piezas de talla similar, para proceder a la extracción de las masas musculares (Tabla 26).

Para cada especie de pez capturado, una de las porciones musculares se guardó en una bandeja de aluminio o envuelta en papel del mismo material, lavados con acetona de alta pureza (grado cromatográfico), destinándose al análisis de HAPs, mientras que la restante se almacenó en una bolsa de polietileno lavada con ácido nítrico 1+1 y enjuagada con agua ultrapura para el análisis de metales y metaloides.

Las muestras fueron mantenidas en campo en conservadoras con hielo seco (-22 °C) y congeladas en freezer hasta su envío al laboratorio.

Tabla 26. Tallas y pesos de las especies capturadas cuyo músculo dorsal fue muestreado para el análisis de metales/metaloides y HAPs.

Especie		Desfiladero Bayo		Embalse Casa de Piedra			
				Cola Embalse		Toma Embalse	
		Largo (mm)	Peso (g)	Largo (mm)	Peso (g)	Largo (mm)	Peso (g)
Perca bocona	n	1		0		1	
	media	324,0	372,0	-	-	332,0	426,0
	s	-	-	-	-	-	-
	máximo	324,0	372,0	-	-	332,0	426,0
	mínimo	324,0	372,0	-	-	332,0	426,0
Perquita espinuda	n	15		0		0	
	media	187,4	58,7	-	-	-	-
	s	22,8	20,9	-	-	-	-
	máximo	232,0	100,5	-	-	-	-
	mínimo	158,0	36,3	-	-	-	-
Carpa	n	0		1		20	
	media	-	-	461,0	1222,0	417,5	901,1
	s	-	-	-	-	36,7	220,9
	máximo	-	-	461,0	1222,0	510,0	1470,0
	mínimo	-	-	461,0	1222,0	330,0	474,0
Pejerrey	n	0		20		16	
	media	-	-	263,8	145,6	262,1	146,3
	s	-	-	13,4	30,9	18,4	31,1
	máximo	-	-	285,0	226,0	301,0	216,0
	mínimo	-	-	241,0	102,0	235,0	98,0

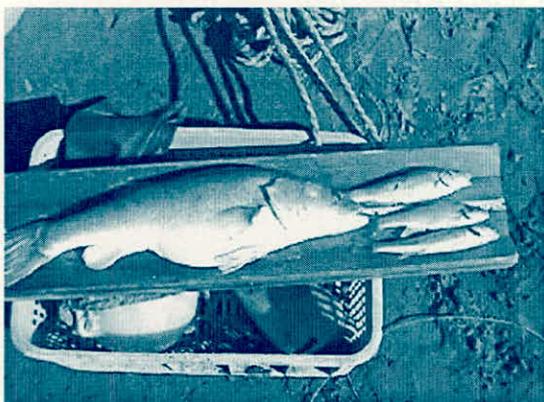
n: número de ejemplares por especie; s: desvío estándar - Tomado de Sauval, R.H., 2001, Muestreo de peces en el Río Colorado (Desfiladero Bayo) – Embalse Casa de Piedra – Período 2001, Marzo - Abril de 2001 – Informe de Campaña

III.4. Análisis de metales y metaloides

III.4.1 Metodologías analíticas

Los análisis de metales y metaloides en músculo de peces fueron llevados a cabo en el Laboratorio del Instituto de Tecnología Minera (INTEMIN) dependiente del Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR).

Para el análisis de metales y metaloides las muestras previamente fueron sometidas a digestión multiácida (Método EPA 200.3). Mediante espectrometría de absorción atómica por generación



de hidruros fueron determinados los contenidos de arsénico (Método EPA 7061 A), selenio (Método EPA 7741 A) y antimonio (Método EPA 7062); cadmio fue determinado por espectrometría de absorción atómica por atomización electrotérmica (Método EPA 7131 A) y mercurio mediante espectrometría de absorción atómica por vapor frío (Método EPA 7471 A). Cinc, cobre, cromo, plomo, bario, plata, hierro, molibdeno y níquel fueron analizados por espectrometría de emisión atómica por plasma inductivo (ICP) (Método EPA 6010 B).

III.4.2. Calidad analítica

Con el objeto de determinar la calidad analítica en las determinaciones de metales y metaloides en músculo de peces, junto con el lote de muestras fue analizado un material de referencia certificado (Certified Reference Material – Mussel - National Research Centre for CRMs – Republic of China).

La Tabla 27 muestra las concentraciones totales halladas, expresadas en base a peso seco, en comparación con los valores de referencia certificados y el porcentaje de recuperación obtenido por el laboratorio para cada elemento.

Tabla 27. Análisis del Certified Reference Material – Mussel - National Research Centre for CRMs – Republic of China

Elemento	Valores de referencia certificados ($\mu\text{g/g}$)	Concentración hallada ($\mu\text{g/g}$)	% Recuperación
Arsénico	6	0,2	-
Antimonio	$6,1 \pm 1,1$	6,3	103,3
Bario	2	1,26	-
Cadmio	$4,5 \pm 0,5$	4,6	102,2
Cinc	138 ± 9	130	94,2
Cobre	$7,7 \pm 0,9$	7,9	102,6
Cromo	$0,57 \pm 0,08$	0,6	105,3
Hierro	221 ± 14	213	96,4
Mercurio	$0,067 \pm 0,008$	0,07	104,5
Molibdeno	0,6	0,58	-
Níquel	$1,03 \pm 0,13$	1,1	113,3
Plata	-	<0,3	-
Plomo	$1,96 \pm 0,9$	1,9	96,9
Selenio	$3,65 \pm 0,17$	3,8	104,1

III.4.3. Resultados

Tabla 28. Contenidos de metales y metaloides ($\mu\text{g/g}$, peso húmedo) en músculo de peces en el río Colorado (Desfiladero Bayo) y en el embalse Casa de Piedra

	Desfiladero Bayo		Embalse Casa de Piedra			
	Perquita espinuda (n=15)	Perca bocona (n=1)	Cola del embalse		Toma del embalse	
			Pejerrey (n= 20)	Carpa (n= 1)	Pejerrey (n= 16)	Carpa (n= 20)
Antimonio	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Arsénico	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Bario	0,19	1,0	0,11	<0,1	<0,1	0,13
Cadmio	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Cinc	9,1	16,0	5,6	6,2	10,0	5,8
Cobre	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
Cromo	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Hierro	9,9	20	11,0	9,3	3,2	10
Mercurio	<0,05	<0,05	<0,05	0,08	<0,05	<0,05
Molibdeno	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Níquel	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Plata	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	0,3	<0,3
Plomo	10	0,3	<0,15	0,8	0,3	0,3
Selenio	0,9	1,1	0,5	0,5	0,6	0,6

Se detectaron concentraciones más bajas de selenio que el año anterior en todas las especies de peces muestreadas en los distintos sitios.

A excepción de un ejemplar de carpa capturado en la cola del embalse Casa de Piedra, el cual presentó una concentración muy baja, **no hubo detección de mercurio al nivel del límite de cuantificación (0,05 $\mu\text{g/g}$) en ninguna de las especies analizadas.** Dicho límite de cuantificación fue un orden de magnitud inferior al alcanzado en el estudio de peces del año 2000.

Los restantes elementos presentaron bajas concentraciones, en la mayoría de los casos inferiores al límite de cuantificación del método.

III.4.4 Discusión

Todos los elementos investigados mostraron concentraciones muy bajas, en la mayoría de los casos, inferiores al límite de cuantificación del método y se ubicaron por debajo de los límites establecidos por SENASA (SENASA 1994)

Para las concentraciones de selenio halladas en el período 2001, los límites para el consumo basados en el riesgo (US EPA, 1999) no recomiendan restricciones a la ingesta de pescado.

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

En este muestreo se alcanzó el número recomendado de ejemplares (Ministry of Environment and Energy, 2000) en el embalse Casa de Piedra para las especies de pejerrey (cola del embalse) y carpa (presa).

III.5. Análisis de hidrocarburos aromáticos polinucleares (HAPs)

III.5.1. Metodología analítica

Los análisis de hidrocarburos aromáticos polinucleares en músculo de peces fueron llevados a cabo mediante cromatografía en fase gaseosa con detección por espectrometría de masas. Las muestras fueron molidas tomándose de cada una porciones representativas de todos los ejemplares. Se efectuó una extracción con diclorometano, por sonicación durante tres horas, de las alícuotas de muestra, colocadas dentro de cartuchos tipo Soxhlet, para evitar tener que filtrar posteriormente.



Las fracciones de diclorometano para cada muestra se pasaron por una pequeña columna de alúmina para eliminar la mayor parte de la materia grasa disuelta. Las columnas se enjuagaron con porciones frescas de diclorometano, y las fases orgánicas se evaporaron a presión reducida para eliminar el solvente, retomando luego en 1 mL de diclorometano. Este proceso se repitió efectuando una segunda extracción de cada porción de muestra. Se inyectó 1 μL en el cromatógrafo para cada ensayo (2 distintos para cada muestra: cualitativo de identificación y cuantitativo para aromáticos polinucleares).

III.5.2. Calidad analítica

Con el fin de determinar la calidad analítica junto con las muestras de músculo de pescado fue analizado un material de referencia certificado (Standard Reference Material 2975 – Organics in Freeze-Dried Mussel Tissue (*Mytilus edulis*) – National Institute of Standards & Technology, NIST). En la Tabla 29 se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 29. Análisis del Standard Reference Material 2975 – Organics in Freeze-Dried Mussel Tissue (*Mytilus edulis*) – National Institute of Standards & Technology (NIST)

Hidrocarburo	Concentración certificada (µg/g)	Concentración hallada (µg/g)	% Recuperación
Fenantreno	22,2 ± 2,5	24,1	108,6
Antraceno	6,1 ± 1,7	7,1	116,4
Fluoranteno	163,7 ± 10,3	166	101,4
Pireno	151,6 ± 8,0	153	100,9
BenzoFluoranteno (b + k)	46,4 ± 4,0 (b) 20,2 ± 1,0 (k)	64 (*)	96,1
Criseno	44,2 ± 2,7	45,1	102,0
Benzo Antraceno	32,5 ± 4,8	30,3	93,2
Benzo[a]Pireno	15,63 ± 0,80	14,2	90,9
Benzo[ghi]Perileno	22,0 ± 2,3	20,1	91,4
Indeno[1,2,3-cd]pireno	14,2 ± 2,8	16,5	116,2

(*) Los isómeros b y k tienen un comportamiento cromatográfico similar y sus espectros son idénticos. Límite de detección: 0,002 µg/g

III.5.3. Resultados

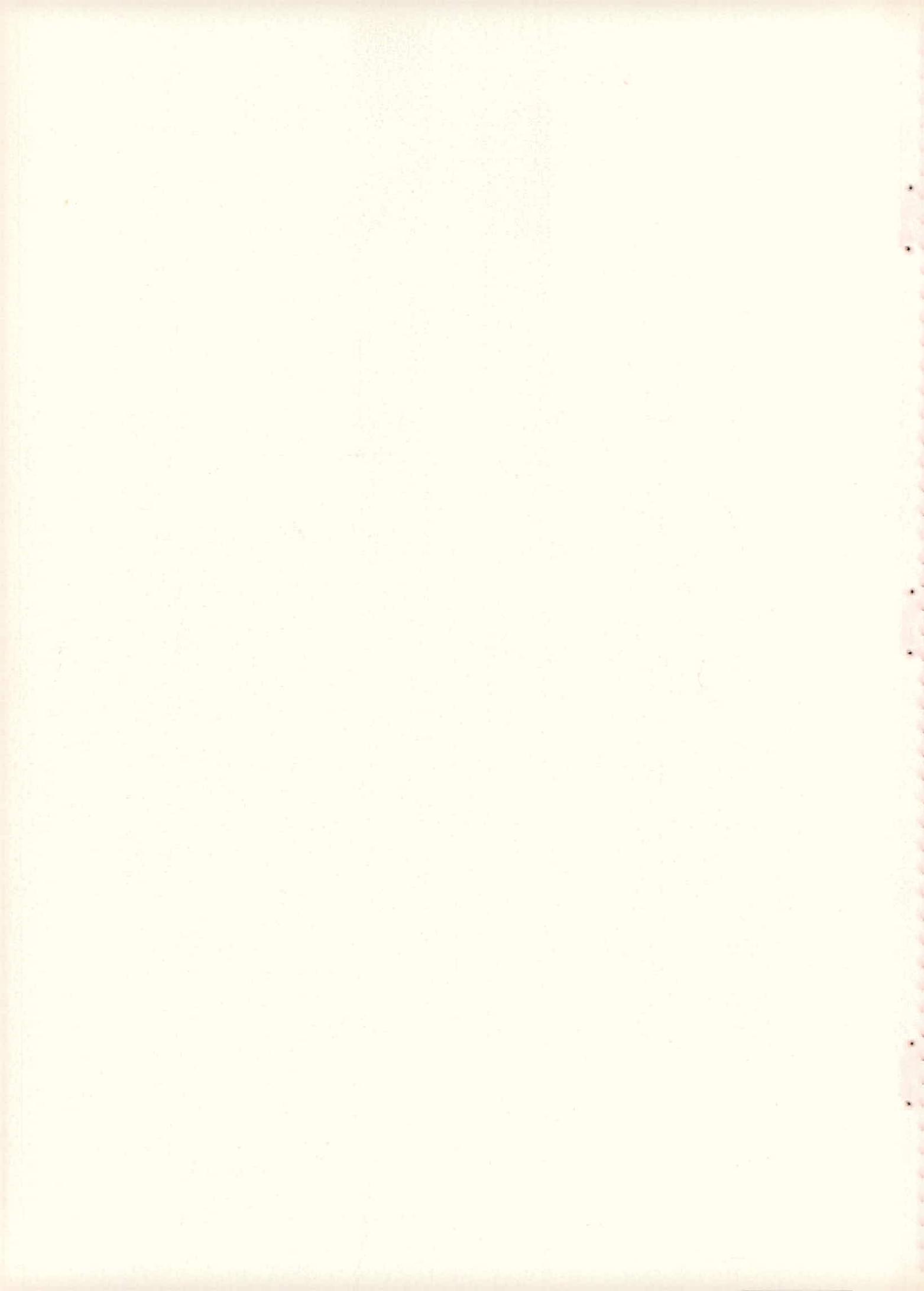
Tabla 30. Contenido de HAPs (µg/g, peso húmedo) en músculo dorsal de diferentes especies de peces capturadas en el río Colorado (Desfiladero Bayo) y en el embalse Casa de Piedra

	Desfiladero Bayo		Embalse Casa de Piedra			
	Perquita espinuda (n=15)	Perca bocona (n=1)	Cola del embalse		Toma del embalse	
			Pejerrey (n= 20)	Carpa (n= 1)	Pejerrey (n= 16)	Carpa (n= 20)
Naftaleno	0,0122	<LC	<LC	<LC	0,0224	<LC
Acenafteno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Acenaftileno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Fluoreno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Fenantreno	0,0016	0,0022	0,0013	0,0018	0,0016	<LC
Antraceno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Metil Naftaleno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Dimetil Naftaleno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Metil Fenantreno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Dimetil Fenantreno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Fluoranteno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Pireno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Benzo[b]fluoranteno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Benzo[k]fluoranteno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Benzopireno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Criseno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
BenzoAntraceno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Benzo[a]pireno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
DiBenzo[a,h]antraceno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Benzo[g,h,i]perileno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Total	0,0138	0,0022	0,0013	0,0018	0,0240	<LC

Límite de cuantificación (LC): 0,001 µg/g salvo para: metil naftalenos, 0,002 µg/g; dimetil naftalenos y metil y dimetil fenantrenos, 0,004 µg/g; y naftaleno, 0,006 µg/g.

III.5.4. Discusión

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 algunas detecciones de dos miembros del grupo que, por su naturaleza y concentración no implican un riesgo para la salud. Por lo tanto, no corresponde recomendar límites para el consumo de pescado basados en el riesgo (US EPA, 1999).



Capítulo IV

Posibles aportes de la escorrentía superficial y del drenaje agrícola

Posibles aportes de la escorrentía superficial y del drenaje agrícola

IV.1. Análisis de metales y metaloides

En la primera etapa de estudio (1997-1999), se observó la presencia de selenio y mercurio en el músculo dorsal de diferentes especies de peces del sistema del río Colorado. Las mediciones efectuadas en el curso de la segunda etapa realizada en el año 2000, mostraron un incremento en las concentraciones de selenio y una disminución en las de mercurio. Los niveles detectados en esa oportunidad no implicaban restricciones al consumo de pescado. Este fenómeno podría ser el resultado de una acción antagónica entre ambos elementos (el selenio interfiere la bioacumulación e incrementa la excreción del mercurio). La disminución de los niveles de mercurio (por debajo del límite de cuantificación) podría ser explicada por este mecanismo, pero en el caso del selenio, su incremento estaría relacionado con una fuente activa del mismo.

Dado que los análisis de sedimentos de fondo de la cuenca, llevados a cabo con anterioridad, no detectaron selenio en este compartimento, se pensó que otras posibles fuentes de este elemento podrían ser la escorrentía superficial o el drenaje agrícola.

Esta investigación surgió a raíz de antecedentes bibliográficos que señalan que los suelos agrícolas de áreas seleníferas actúan movilizando el selenio hacia los cuerpos de agua a través del drenaje subsuperficial (IPCS, 1987)



Con el fin de evaluar esta posibilidad se planificó, como ampliación del programa original, un muestreo de suelos en parcelas cultivadas y material de transporte en cañadones conectados con los ríos Grande, Barrancas y Colorado y el embalse Casa de Piedra. En las muestras obtenidas se llevó a cabo la determinación de selenio y mercurio.

IV.1.1. Estaciones de muestreo de materiales de transporte y suelos

La Tabla 31 detalla la ubicación de las estaciones de muestreo de materiales de transporte y suelos en cañadones y en parcelas agrícolas.

Tabla 31. Ubicación de las estaciones de muestreo de material de transporte y suelos en la cuenca del río Colorado

Estación	Ubicación	Receptor	Coordenadas	
1	Bardas Blancas (cañadón)	Río Grande	S 35° 52' 26"	O 69° 53' 45"
2	Barrancas (cañadón)	Río Barrancas	S 36° 48' 19"	O 69° 53' 00"
3	Buta Ranquil (cañadón)	Río Colorado	S 36° 56' 50"	O 69° 47' 29"
4	El Portón (cañadón)	Río Colorado	S 37° 09' 32"	O 69° 38' 46"
5	Cañadón "El Pichanal"	Río Colorado	S 37° 08' 29"	O 69° 19' 13"
6	Cañadón Puesto Hernández	Río Colorado	S 37° 18' 04"	O 69° 02' 56"
8	Cañadón Desfiladero Bayo	Río Colorado	S 37° 20' 29"	O 69° 02' 34"
9	Chacra Colonia Ovejero (Catriel)	Río Colorado	S 37° 54' 07"	O 67° 50' 47"
10	Chacra Colonia (25 de Mayo)	Río Colorado	S 37° 45' 04"	O 67° 42' 41"
11	Cañadón Medanito	Río Colorado	S 38° 00' 44"	O 67° 54' 08"
12	Cola de Embalse Casa de Piedra (cañadón)	Embalse Casa de Piedra	S 38° 10' 39"	O 67° 42' 37"

IV.1.2. Metodología de muestreo

La extracción de las muestras de material de transporte en cañadones y de suelos en parcelas agrícolas se realizó, según las características del sustrato a muestrear, mediante distintas técnicas:

a) con un tubo acrílico (corer) de 4,5 cm. de diámetro interno y 65 cm. de largo. Se extrajeron entre 14 y 20 testigos por muestra, de éstos se tomaron los 5 cm superficiales, los cuales fueron reunidos y homogeneizados en un recipiente de vidrio lavado y enjuagado con ácido nítrico y agua ultrapura. Los cortes de las secciones fueron realizados con elementos de vidrio previamente lavados y enjuagados con ácido nítrico y agua ultrapura antes de cada operación.

Las muestras de suelo agrícola fueron extraídas a 0,80 m – 1 m de profundidad (IPCS, 1987).

b) en los casos en que no fue posible la utilización del corer se empleó una pequeña pala de vidrio. Dicha pala fue lavada y enjuagada con ácido nítrico y agua ultrapura antes de cada operación.

En ambos casos, después de mezclar y homogeneizar las submuestras, se tomaron porciones de aproximadamente 1 kg, las cuales fueron envasadas en bolsas plásticas previamente enjuagadas con ácido nítrico y agua ultrapura.

Las muestras envasadas se mantuvieron en conservadoras portátiles con hielo y posteriormente se preservaron en freezer a -18 °C hasta su envío al laboratorio.

IV.1.3. Metodología analítica

Las muestras de suelos fueron sometidas a digestión ácida total por microondas, a fin de determinar las concentraciones totales de selenio y mercurio. Los análisis de selenio se hicieron por espectrometría de emisión atómica por plasma inductivo (ICP-AES) y los de mercurio por espectrometría de absorción atómica por vapor frío.

IV.1.4. Calidad analítica

Con el objeto de evaluar la calidad analítica del laboratorio en las determinaciones de selenio y mercurio en suelos, se analizó junto con el lote de muestras un material de referencia certificado. El resultado de dicho análisis se muestra en la Tabla 32.

Tabla 32 - Análisis del Material de Referencia Certificado (Standard Reference Material 2709 – San Joaquin Soil – Baseline Trace Elements Concentrations – National Institute of Standards & Technology, NIST)

Elemento	Valor de referencia certificado ($\mu\text{g/g}$)	Valor hallado ($\mu\text{g/g}$)	% de Recuperación
Mercurio (mg/g)	$1,40 \pm 0,08$	1,38	98,6
Selenio (mg/g)	$1,57 \pm 0,08$	1,6	98,1

IV.1.5. Resultados

En general, en todos los sitios muestreados, tanto en cañadones como en suelos agrícolas, se observaron concentraciones de mercurio inferiores a $1 \mu\text{g/g}$, mientras que el selenio no fue detectado a un nivel de cuantificación de $0,5 \mu\text{g/g}$. Las mayores concentraciones de mercurio (Tabla 33) correspondieron a material de transporte en cañadones y fueron halladas en Bardas Blancas (río Grande), Barrancas (río Barrancas), Buta Ranquil (río Colorado), El Pichanal (río Colorado) y Medanito (río Colorado).

Tabla 33 - Análisis de mercurio y selenio en material de transporte de cañadones y suelos de parcelas cultivadas con conexión a los ríos Grande, Barrancas y Colorado y al embalse Casa de Piedra

Estación	Ubicación	Selenio ($\mu\text{g/g}$, peso seco)	Mercurio ($\mu\text{g/g}$, peso seco)
1	Bardas Blancas (cañadón)	< 0,5	0,8
2	Barrancas (cañadón)	< 0,5	0,6
3	Buta Ranquil (cañadón)	< 0,5	0,7
4	El Portón (cañadón)	< 0,5	0,3
5	Cañadón "El Pichanal"	< 0,5	0,5
6	Cañadón Puesto Hernández.	< 0,5	0,3
8	Cañadón Desfiladero Bayo	< 0,5	0,3
9	Chacra Colonia Ovejero (Catriel).	< 0,5	0,3
10	Chacra Colonia (25 de Mayo)	< 0,5	0,3
11	Cañadón Medanito	< 0,5	0,6
12	Cola de Embalse Casa de Piedra (cañadón)	< 0,5	0,3

IV.1.6. Discusión

El presente muestreo tuvo carácter exploratorio y se llevó a cabo con el objeto de avanzar en la identificación de fuentes potenciales de aporte de selenio y mercurio al sistema del río Colorado. Dicho aporte estaría relacionado con la presencia de estos elementos, observados en ciclos anteriores en músculo de peces.

El material de transporte presente en cañadones que desaguan en los ríos Grande, Barrancas, Colorado y en el embalse Casa de Piedra, podría dar un indicio de los posibles aportes de la escorrentía superficial, correspondientes a una vasta área de la cuenca. En este caso, si esta fuera una fuente de aporte importante de estos elementos, se reconoce que una gran parte sería transportada a los ríos durante los aluviones y que sólo quedaría un remanente en los cañadones.

El análisis de los suelos agrícolas no reveló la presencia de selenio y puso de manifiesto bajas concentraciones de mercurio.

La detección de mercurio en el material de transporte de algunos cañadones, si bien en niveles moderados, podría tener relación con las concentraciones de este metal hallados en el músculo de peces en el año 1998 (Alcalde et al. 2000).

La presencia de mercurio en algunos cañadones que drenan áreas libres de influencia antrópica, estaría vinculada a su ocurrencia natural en la zona, o bien a un aporte externo a través del transporte atmosférico y la precipitación.

No hubo detección de selenio en las muestras de material de transporte.

IV.2. Análisis de hidrocarburos alifáticos y aromáticos polinucleares

Aprovechando el muestreo de materiales de transporte y suelos agrícolas, se tomaron muestras para investigar cuali-cuantitativamente los hidrocarburos alifáticos y aromáticos polinucleares presentes en la cuenca. Este estudio tuvo por objeto conocer posibles fuentes de aporte de estos hidrocarburos al sistema del río Colorado.

IV.2.1. Estaciones de muestreo de materiales de transporte y suelos

Los muestreos para el estudio de hidrocarburos en materiales de transporte y suelos se efectuaron en las mismas estaciones que los correspondientes a la investigación de selenio y mercurio (Tabla 33)

IV.2.2. Metodología de muestreo

Se empleó la misma metodología de muestreo que para el estudio de selenio y mercurio (ver sección IV.1.2. "Metodología de muestreo").

IV.2.3. Metodología analítica

Las muestras de materiales de transporte y de suelos fueron extraídas con diclorometano, por sonicación, durante tres horas. Las fracciones de diclorometano para cada muestra se filtraron y se llevaron a sequedad, redisolviendo luego en 1 mL de diclorometano. Los extractos fueron analizados mediante cromatografía gaseosa con detección por espectrometría de masas. Se inyectó 1 µL de extracto.

IV.2.4. Calidad analítica

Con el objeto de evaluar la calidad analítica del laboratorio en las determinaciones de los hidrocarburos aromáticos polinucleares en suelos, se analizó junto con el lote de muestras un material de referencia certificado. El resultado de dicho análisis se presenta en la Tabla 34.

Tabla 34. Análisis del material de referencia certificado PAH Contaminated Soil/Sediment – CRM 104-100 – Resource Technology Corporation - USA

Hidrocarburo	Valor de referencia certificado (µg/g)		Valor hallado (ug/g)	% Recuperación
	Valor de referencia	I. C. ¹		
Acenafteno	0,77	0,67-0,88	0,56	72,7
Acenaftileno	1,21	0,82-1,59	1,18	97,5
Fluoreno	0,65	0,56-0,74	0,51	78,5
Fenantreno	5,79	4,93-6,66	4,71	81,3
Antraceno	1,44	1,15-1,73	1,88	130,6
Fluoranteno	24,6	19,7-29,4	19,13	77,8
Pireno	15,0	11,6-18,5	9,18	61,2
Benzo[b+k]fluoranteno	(9,69) ² (b) (5,10) (k)	-	11,99 ³	-
Criseno	8,60	7,05-10,14	5,31	61,7
Benzo[a]antraceno	7,98	6,70-9,26	9,66	121,1
Benzo[a]pireno	5,09	4,25-5,94	3,97	78,0
DiBenzo[a,h]antraceno	(1,55)	-	2,21	-
Benzo(ghi)perileno	3,58	2,65-4,51	2,92	81,6
Indeno[1,2,3-cd]pireno	4,46	3,45-5,47	3,91	87,7

¹ Intervalo de confianza del 95 %.

² Los valores que figuran entre paréntesis no son certificados y deben ser considerados como valores de información.

³ El laboratorio informa la suma de ambos isómeros.

IV.2.5. Resultados

Los resultados de los análisis de hidrocarburos aromáticos polinucleares en muestras de materiales de transporte y en suelos agrícolas se muestran en las Tablas 35 y 36. Estos hidrocarburos no fueron detectados al nivel del límite de cuantificación (0,01 µg/g) en las estaciones muestreadas. Las concentraciones halladas en el cañadon Medanito resultaron muy bajas (Tabla 36).

Las Tablas 37 y 38 muestran los resultados del análisis de hidrocarburos alifáticos en las distintas estaciones. En general, este tipo de hidrocarburo no fue detectado al nivel del límite de cuantificación del método (0,1 µg/g). Las escasas detecciones correspondieron a muy bajas concentraciones de miembros del grupo a partir de C₂₄, los cuales son considerados de origen terrígeno.

Tabla 35. Hidrocarburos aromáticos polinucleares ($\mu\text{g/g}$, peso seco) en material de transporte en cañadones y suelos en parcelas agrícolas.

Hidrocarburo	Bardas Blancas	Barrancas	Buta Ranquil	El Portón	Cañadón El Pichanal
Naftaleno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Acenafteno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Acenaftileno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Fluoreno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Fenantreno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Antraceno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Metil naftaleno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Dimetil naftaleno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Metil fenantreno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Dimetil fenantreno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Fluoranteno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Pireno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Bz[b+k]fluoranteno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Criseno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Benzoantraceno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Benzo[a]pireno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Dibenzo[a,h]antraceno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Benzo[ghi]perileno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Indeno[1,2,3-cd]pireno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC

LC: 0,01 $\mu\text{g/g}$ (peso seco)

Tabla 36. Hidrocarburos aromáticos polinucleares ($\mu\text{g/g}$, peso seco) en material de transporte en cañadones y suelos en parcelas agrícolas.

Hidrocarburo	Cañadón Puesto Hernández	Cañadón Desfiladero Bayo	Chacra Colonia Ovejero (Catriel)	Chacra Colonia 25 de Mayo	Cañadón Medianito	Cola de Embalse Casa de Piedra (cañadón)
Naftaleno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Acenafteno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Acenaftileno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Fluoreno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Fenantreno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Antraceno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Metil naftaleno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Dimetil naftaleno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Metil fenantreno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Dimetil fenantreno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Fluoranteno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Pireno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Bz[b+k]fluoranteno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Criseno	<LC	<LC	<LC	<LC	0,01	<LC
Benzoantraceno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Benzo[a]pireno	<LC	<LC	<LC	<LC	0,01	<LC
Dibenzo[a,h]antraceno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Benzo[ghi]perileno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
Indeno[1,2,3-cd]pireno	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC

LC: 0,01 $\mu\text{g/g}$ (peso seco)

Tabla 37. Hidrocarburos alifáticos ($\mu\text{g/g}$, peso seco) en material de transporte en cañadones y suelos en parcelas agrícolas.

Hidrocarburo	Bardas Blancas	Barrancas	Buta Ranquil	El Portón	Cañadón El Pichanal
C11	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
C12	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
C13	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
C14	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
C15	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
C16	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
C17	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
C18	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
C19	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
C20	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
C21	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
C22	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
C23	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
C24	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
C25	<LC	0,1	0,1	0,1	0,1
C26	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
C27	<LC	0,2	<LC	<LC	<LC
C28	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
C29	0,2	0,5	0,5	0,1	0,1
C30	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
C31	<LC	0,2	0,3	<LC	0,1
C32	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
C33	<LC	<LC	0,1	<LC	<LC
C34	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
C35	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
C36	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC

LC: 0,1 $\mu\text{g/g}$ (peso seco)

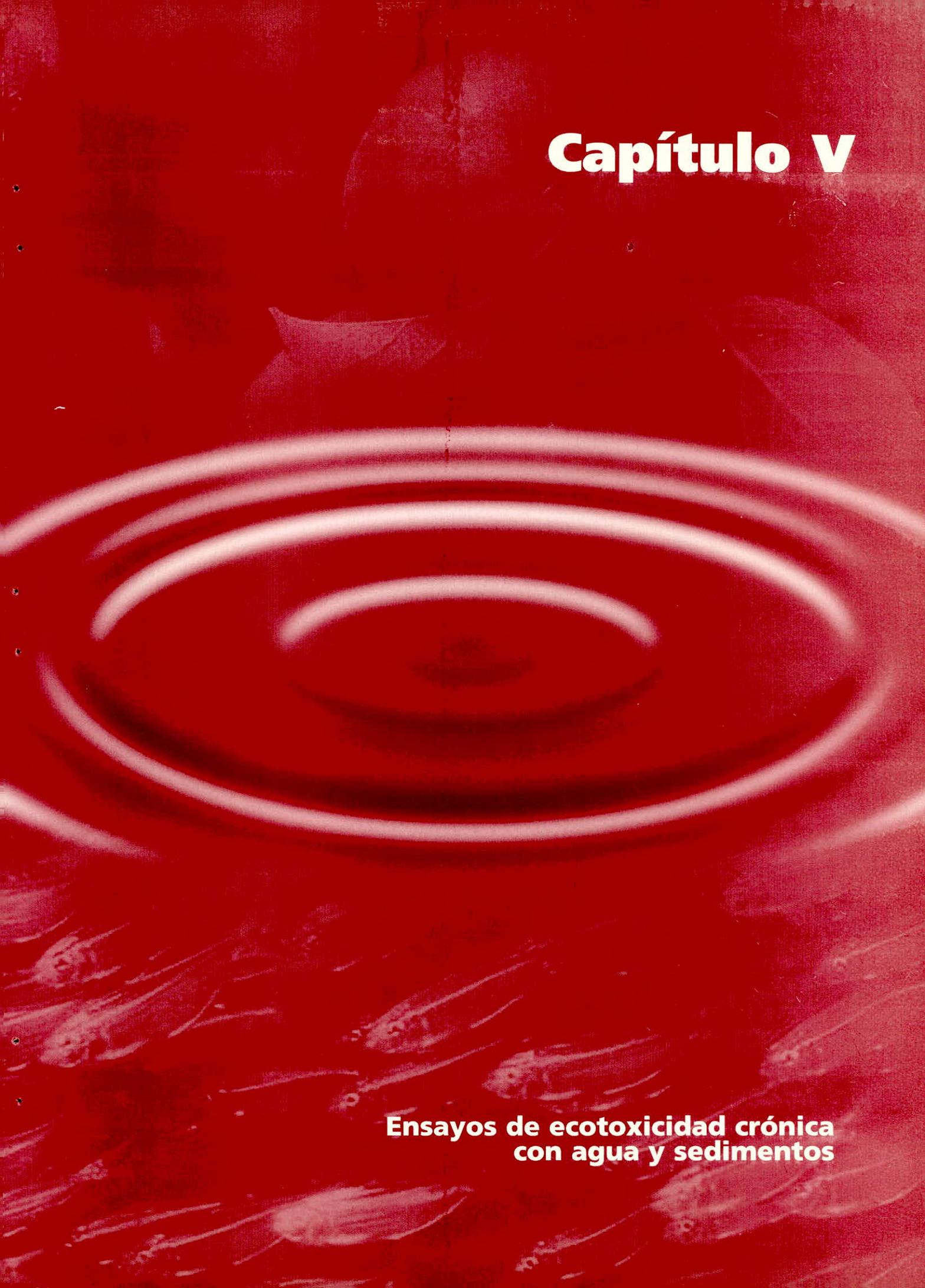
Tabla 38. Hidrocarburos alifáticos ($\mu\text{g/g}$, peso seco) en material de transporte en cañadones y suelos en parcelas agrícolas.

Hidrocarburo	Cañadón Puesto Hernández	Cañadón Desfiladero Bayo	Chacra Colonia Ovejero (Catriel)	Chacra Colonia 25 de Mayo	Cañadón Medianito	Cola de Embalse Casa de Piedra (cañadón)
C11	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
C12	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
C13	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
C14	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
C15	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
C16	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
C17	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
C18	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
C19	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
C20	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
C21	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
C22	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
C23	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
C24	<LC	<LC	0,1	<LC	<LC	<LC
C25	<LC	0,1	0,2	0,1	<LC	0,1
C26	<LC	<LC	0,1	<LC	<LC	0,2
C27	<LC	0,1	0,1	<LC	<LC	0,1
C28	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	0,1
C29	<LC	0,1	0,1	<LC	0,4	0,1
C30	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
C31	<LC	0,1	<LC	<LC	0,4	<LC
C32	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
C33	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
C34	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
C35	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
C36	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC

LC: 0,1 $\mu\text{g/g}$ (peso seco)

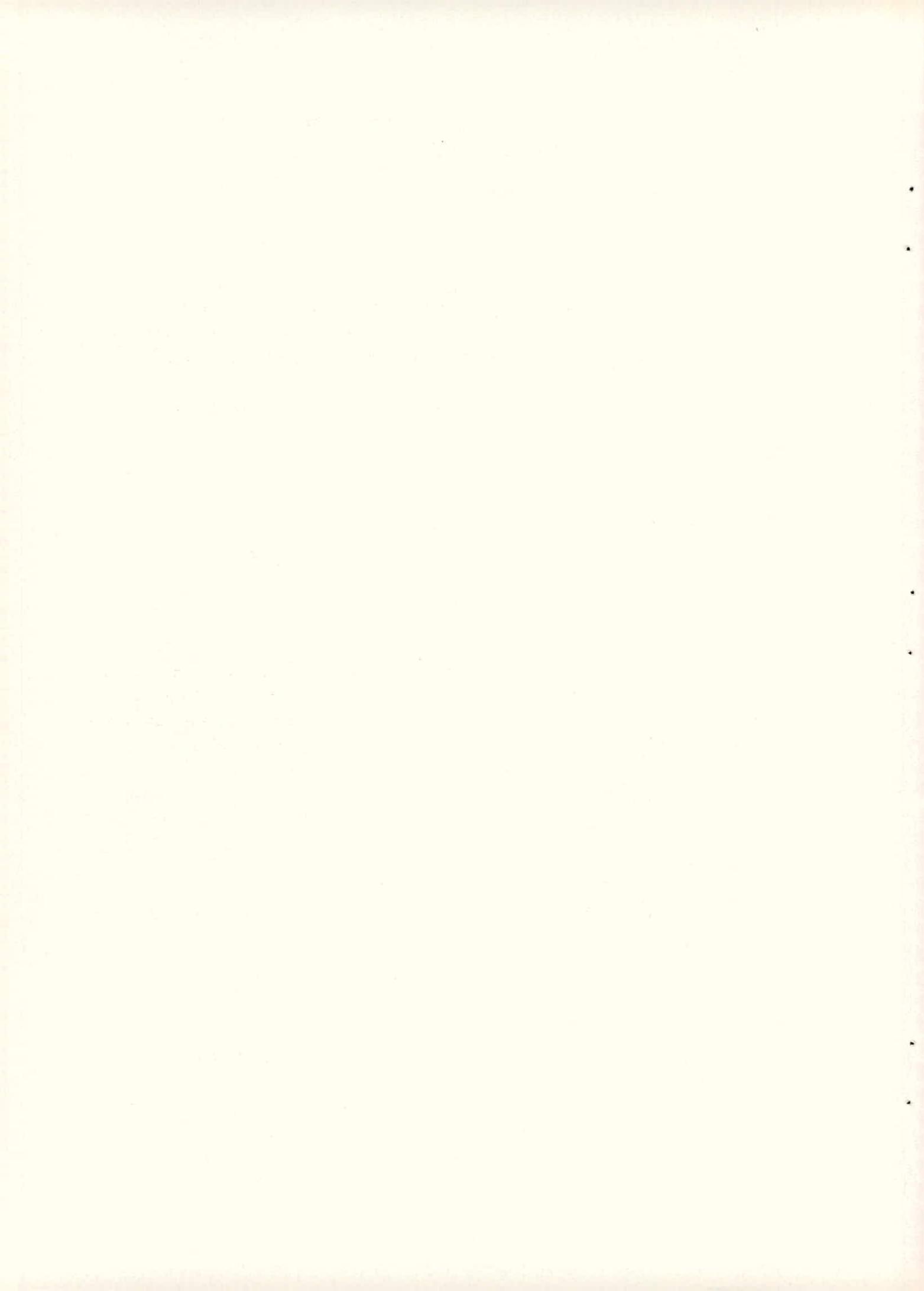
IV.2.6. Discusión

El presente muestreo de materiales de transporte en cañadones y de suelos en parcelas agrícolas tuvo carácter exploratorio. Los resultados obtenidos han puesto de manifiesto que éstos no serían fuentes cuantitativamente importantes de aporte de hidrocarburos al sistema del río Colorado. No se observaron diferencias en el contenido de hidrocarburos alifáticos en relación con la procedencia de las muestras (zonas sin influencia antrópica y áreas de explotación petrolera).



Capítulo V

**Ensayos de ecotoxicidad crónica
con agua y sedimentos**





Ensayos de ecotoxicidad crónica con agua y sedimentos

A los efectos de completar y ampliar los estudios realizados en el curso de la etapa de estudio del año 2000, en relación con la calidad del medio acuático en el área, en la presente etapa se llevaron a cabo nuevos ensayos de ecotoxicidad crónica con agua y sedimentos de fondo.

Estos ensayos fueron llevados a cabo en el laboratorio de Ecotoxicología de la Universidad Nacional de Luján.

V.1. Ensayos de ecotoxicidad con agua

V.1.1. Metodología de muestreo

Para la realización de los ensayos ecotoxicológicos se extrajeron, en cada uno de los sitios seleccionados, muestras de agua de 20 L, las cuales fueron envasadas en bidones de plástico de 5 L de capacidad, sin dejar cámara de aire y cerrados herméticamente. Las muestras fueron conservadas con hielo y despachadas en esas condiciones, dentro de las 24 h de su recolección y tomando los recaudos necesarios para su arribo al laboratorio dentro de las 48 hs.

V.1.2. Estaciones de muestreo y frecuencia

Las muestras de columna líquida fueron extraídas en dos oportunidades en los sitios que figuran en la Tabla 39.

Tabla 39. Estaciones de muestreo de agua en el río Colorado para ensayos ecotoxicológicos

Estación	Sitio	Coordenadas	
CL 3	Desfiladero Bayo	S 37° 21' 57"	O 69° 00' 55"
CL 4	Punto Unido	S 37° 43' 32"	O 67° 45' 47"
CL 7	La Adela (Puente viejo)	S 38° 59' 14"	O 64° 05' 32"

V.1.3. Metodología de los ensayos

(Programa de Investigación en Ecotoxicología – Departamento de Ciencias Básicas, Universidad Nacional de Luján)

La evaluación de la ecotoxicidad crónica de la columna líquida se llevó a cabo utilizando como organismo de ensayo *Daphnia magna*, registrándose como variables la sobrevivencia y la reproducción de la población de este microcrustáceo del zooplancton dulceacuícola, al cabo de 21 días de exposición.

Los ensayos fueron realizados de acuerdo a los protocolos de la Agencia de Protección Ambiental de los E.E.U.U. (U.S. EPA, 1989, Short-term Methods for estimating the chronic toxicity of effluents and receiving water to freshwater organisms, EPA/600/4-89/00; U.S. EPA, 1996, Ecological Effects Test Guidelines, OPPTS 850.1300, Daphnid Chronic Toxicity Test, EPA-712-C-96-120: 1-10).

Para la interpretación de los resultados de los ensayos se planteó la hipótesis nula de que las respuestas observadas en las distintas condiciones de exposición resultan ser iguales a las registradas en controles no expuestos.

El análisis estadístico de los resultados obtenidos se llevó a cabo mediante el test de Shapiro-Wilk para homogeneidad de los datos; test de Barlett para homogeneidad de varianzas; test "exacto" de Fisher; ANOVA de una vía y test de Dunnett con modificación de Bonferroni y el Método de Comparaciones Múltiples de Tukey para la comprobación de la hipótesis nula.

V.1.4. Resultados

En las Tablas 40 y 41 se muestran los resultados obtenidos con las muestras de agua extraídas en las dos campañas de muestreo. En dichas tablas F es el valor crítico de Fisher, para un nivel de significación de 0,05, el cual se obtiene de tablas, en tanto que b es el parámetro de Fisher que surge por cálculo a partir de los resultados de los ensayos. 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 (Laboratorio de Ecotoxicología – Universidad Nacional de Luján).

En el presente caso, en las dos campañas y en todas los sitios, los valores del parámetro b fueron mayores que el valor crítico de F , por lo tanto las diferencias observadas entre los grupos expuestos y los de control resultaron no significativas. Es decir, no existieron efectos tóxicos crónicos significativos sobre la sobrevivencia de la población de *Daphnia magna* expuesta durante 21 días, en las condiciones de los ensayos, a las muestras extraídas en las estaciones CL 3, CL4 y CL 7 en el río Colorado, en las campañas realizadas en agosto y diciembre de 2001.

Tabla 40. Campaña N° 1 (22-08-01 al 23-08-01)

Muestra	Sobrevivencia (%)	F ¹ (a = 0,05)	b ²
Control ³	92,50 (± 0,500)		
Desfiladero Bayo (CL 3)	90,00 (± 0)*	30,0	36
Punto Unido (CL 4)	90,00 (± 0,817)*	30,0	36
La Adela (CL 7)	92,50 (± 0,500)*	30,0	37

1 Valor Crítico de Fisher; a un nivel de significación de 0,05

2 Parámetro de Fisher; si b es mayor que F no existe diferencia significativa entre el Control y el Tratamiento considerado, a un nivel de significación de 0,05.

3 Población control, mantenida durante 21 días en las condiciones indicadas para el ensayo en agua de dilución, en ausencia de muestra.

* No significativamente diferente de los controles (Test exacto de Fischer, a = 0,05).

Tabla 41. Campaña N° 2 (03-12-01 al 05-12-01)

Muestra	Sobrevivencia (%)	F ¹ (a = 0,05)	b ²
Control ³	100 (± 0)		
Desfiladero Bayo (CL 3)	100 (± 0)	N.D.	N.D.
Punto Unido (CL 4)	100 (± 0)	N.D.	N.D.
La Adela (CL 7)	100 (± 0)	N.D.	N.D.

1 Valor Crítico de Fisher; a un nivel de significación de 0,05

2 Parámetro de Fisher; si b es mayor que F no existe diferencia significativa entre el Control y el Tratamiento considerado, a un nivel de significación de 0,05.

3 Población control, mantenida durante 21 días en las condiciones indicadas para el ensayo en agua de dilución, en ausencia de muestra.

N.D. No determinado por no haberse detectado mortalidad en los controles y tratamientos.

Tabla 42. Tasa neta de reproducción calculada en poblaciones de *Daphnia magna* sometidas a exposición crónica durante 21 días a una concentración del 100 % de cada una de las muestras extraídas en las estaciones de muestreo en el río Colorado.

Fecha	Muestra	Tasa Neta de Reproducción (número promedio de progenie hembra/hembra)
22-08-01 al 23-08-01	Control ¹	91,68 (± 1,43) ²
	Desfiladero Bayo (CL 3)	84,63 (± 4,20) *
	Punto Unido (CL 4)	63,13 (± 8,95)
	La Adela (CL 7)	54,13 (± 3,19)
03-12-01 al 05-12-01	Control ¹	103,775 (± 9,687) ²
	Desfiladero Bayo (CL 3)	98,475 (± 13,509)*
	Punto Unido (CL 4)	103,375 (± 9,050)*
	La Adela (CL 7)	105,500 (± 13,222)*

1 Población control, mantenida durante 21 días en las condiciones indicadas para el ensayo en agua de dilución, en ausencia de muestra.

2 Los valores entre paréntesis representan el desvío estándar para cada valor de la Tasa Neta de Reproducción calculada a una concentración del 100% de la muestra, luego de 21 días de exposición;

* No significativamente diferente de los controles (ANOVA de una vía con test de Dunnett, a = 0,05).

La significación de las diferencias observadas en la tasa neta de reproducción de los grupos expuestos con respecto a los controles, fue analizada estadísticamente mediante la aplicación del análisis de la varianza (ANOVA) de una vía, el test de Dunnett con modificación de Bonferroni y el Método de

Comparaciones Múltiples de Tukey. Dicho análisis mostró que en la campaña del mes de agosto de 2001 las diferencias observadas entre el grupo de tratamiento y el control eran significativas al nivel de significación de 0,05 en las estaciones CL 4 y CL 7. Es decir, que existieron efectos tóxicos crónicos significativos ejercidos por el agua sobre la Tasa Neta de Reproducción de la población de *Daphnia magna* expuesta durante 21 días a las muestras extraídas en las citadas estaciones. En tanto que en la estación CL 3, las diferencias observadas entre el grupo de tratamiento y el control no fueron significativas al nivel de significación de 0,05. Por lo tanto, en esta estación no existieron efectos tóxicos crónicos significativos ejercidos por el agua sobre la Tasa Neta de Reproducción de *Daphnia magna* en las condiciones del ensayo.

En la campaña del mes de diciembre de 2001, en cambio, no se observaron diferencias significativas, al nivel de significación de 0,05, entre los grupos de tratamiento y el control en ninguna de las estaciones muestreadas (Tabla 42). Por lo tanto, no existieron efectos tóxicos crónicos significativos ejercidos por el agua sobre la Tasa Neta de Reproducción de las poblaciones de *Daphnia magna* expuestas durante 21 días a las muestras de agua extraídas en las estaciones CL 3, CL 4 y CL7 en el río Colorado.

V.1.5. Discusión

No se observaron efectos tóxicos crónicos significativos sobre la sobrevivencia de la población de *Daphnia magna* expuesta durante 21 días, en las condiciones de los ensayos, a las muestras de agua obtenidas en las tres estaciones (CL 3, CL4 y CL 7) en la campaña de agosto de 2001.

En relación a los controles, sobre la reproducción de las poblaciones de *Daphnia magna*, expuestas a las muestras de agua del río Colorado obtenidas en las estaciones CL 4 (Punto Unido) y CL 7 (La Adela) se registraron efectos tóxicos crónicos. Estos no fueron observados en el ensayo con la muestra de la estación CL 3 (Desfiladero Bayo).

A los fines de interpretar las posibles causas de los resultados observados sobre la reproducción de las poblaciones de *Daphnia magna*, en las estaciones CL 4 y CL 7 se evaluaron los resultados de los análisis químicos realizados en muestras obtenidas simultáneamente con las de ecotoxicología.

En esa oportunidad, no hubo detección de hidrocarburos aromáticos polinucleares, con un límite de cuantificación de 0,01 µg/L, en toda la extensión del área de estudio (Tablas 17 a 23).

En cambio, con relación a los metales y metaloides, sólo se observaron concentraciones de selenio que podrían tener relación con ese hecho. Sin embargo, valores similares hallados en la campaña del mes de diciembre no provocaron ningún efecto sobre la reproducción de *Daphnia magna*. Por lo tanto, deberá continuar estudiándose este aspecto.

V.2. Ensayos de ecotoxicidad crónica con sedimentos de fondo

Se llevaron a cabo ensayos de ecotoxicidad crónica con sedimentos de fondo en dos sitios en el sistema del río Colorado, con el propósito de confirmar resultados de ensayos anteriores y de investigar áreas no estudiadas hasta el presente.

Se emplearon dos organismos de ensayo, *Hyalella curvispina* (anfípodo epibéntico) y *Vallisneria spiralis* (macrófita acuática enraizada)

V.2.1. Metodología de muestreo

En los sitios elegidos se extrajeron muestras de aproximadamente 1 kg de sedimentos de fondo por sitio de muestreo. En el área de la toma del embalse Casa de Piedra se empleó una draga Eckman – Birge. En este caso se obtuvieron 4 submuestras en otros tantos sitios cercanos a la presa, integrándolas luego en una sola muestra. Cada submuestra se extrajo de la zona central del cuerpo de sedimentos lograda con la draga, de manera que el material colectado no hubiese tenido contacto con las paredes metálicas de la misma.

En el área aguas abajo de Puesto Hernández, se empleó un tubo acrílico (corer) de 4,5 cm. de diámetro interno y 65 cm. de largo. Del cilindro de sedimentos obtenido con el corer (para cada muestra se extrajeron diez testigos) se tomaron los 5 cm superficiales. Las diez porciones fueron reunidas y homogeneizadas, extrayéndose una muestra de 1 kg de sedimentos.

Las muestras se mantuvieron refrigeradas a 4° C hasta su envío al laboratorio, al cual arribaron, en esas condiciones, dentro de las 48 hs.

V.2.2. Estaciones de muestreo y frecuencia

Las muestras para ensayos de ecotoxicidad crónica con sedimentos de fondo fueron extraídas por única vez en las estaciones de muestreo que figuran en la Tabla 43.

Tabla 43. Ubicación de las estaciones de muestreo de sedimentos para ensayos ecotoxicológicos

Estación de muestreo	Ubicación	Coordenadas	
Aguas abajo Puesto Hernández	Cauce Río Colorado	S 37° 18' 25"	O 69° 02' 54"
Toma del embalse Casa de Piedra	Sitio 1 (vertedero, m. derecha)	S 38° 12' 50"	O 67° 12' 09"
	Sitio 2 (frente a vertedero)	S 38° 12' 46"	O 67° 12' 07"
	Sitio 3 (entre toma y vertedero)	S 38° 12' 41"	O 67° 12' 05"
	Sitio 4 (frente a toma)	S 38° 12' 35"	O 67° 12' 01"

V.2.3. Ensayos sobre *Hyalella curvispina* (anfípodo)

V.2.3.1. Metodología de los ensayos

(Programa de Investigación en Ecotoxicología – Departamento de Ciencias Básicas, Universidad Nacional de Luján)

La evaluación ecotoxicológica crónica de los sedimentos de fondo enteros se llevó a cabo mediante ensayos sobre el anfípodo *Hyalella curvispina*, registrándose como variables la sobrevivencia de poblaciones y el crecimiento de ejemplares de este crustáceo bentónico dulceacuícola, al

cabo de 10 días de exposición. El protocolo utilizado para los ensayos fue el recomendado por la agencia de Protección Ambiental de los E.E.U.U. (Ecological Effects Test Guidelines, 1996, OPPTS 850.1735, Whole sediment toxicity invertebrates, freshwater, Office of Prevention, Pesticides and Toxic Substances, 7101, EPA 712-C-96-354).

Para la interpretación de los resultados de los ensayos se planteó la hipótesis nula de que las respuestas observadas en las distintas condiciones de exposición resultan ser iguales a las registradas en controles no expuestos. Se empleó el ANOVA de una vía y test de Dunnett para la comprobación de la hipótesis nula.

V.2.3.2. Resultados

Tabla 44. Porcentajes de mortalidad y crecimiento de poblaciones de *Hyalella curvispina* expuestas a muestras de sedimentos enteros de diferentes sitios del río Colorado.

Fecha	Muestra	Mortalidad (%)	Longitud total (μm)
	Control ¹	1,00 (\pm 0,76) ²	1098,76 (\pm 65,32)
11-09-01	Aguas abajo Puesto Hernández	1,00 (\pm 0,93) *	1134,41 (\pm 77,05) *
13-09-01	Toma embalse Casa de Piedra	1,50 (\pm 0,93) *	1103,12 (\pm 56,90) *

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

² Los valores entre paréntesis representan el desvío standard para cada valor de mortalidad o longitud total alcanzado a una concentración del 100% de la muestra o control analizado, luego de 10 días de exposición.

* No significativamente diferente de los controles (ANOVA de una vía con test de Dunnett, $p \leq 0,05$).

Los resultados obtenidos (Tabla 44) han evidenciado la ausencia de diferencias significativas entre los porcentajes de mortalidad y los valores de crecimiento, medidos como longitud total, registrados como resultado de la exposición de una población de *Hyalella curvispina*, durante 10 días, a las muestras de sedimento entero correspondientes a las estaciones aguas abajo de Puesto Hernández y Toma del embalse Casa de Piedra, extraídas en el mes de diciembre de 2001, en relación con los controles (ANOVA de una vía con "test" de Dunnett, $p \leq 0,05$). Es decir, no se han registrado efectos tóxicos crónicos significativos de los sedimentos analizados sobre la sobrevivencia y el crecimiento, medido como longitud total, de las poblaciones de *Hyalella curvispina* expuestas durante 10 días, en las condiciones de los ensayos.

V.2.4. Ensayos sobre *Vallisneria spiralis* (macrófita acuática enraizada)

Con el objeto de ampliar el panorama obtenido mediante los ensayos de toxicidad con sedimentos de fondo realizados con *Hyalella curvispina*, ya descriptos, y a fin de obtener un diagnóstico más completo, se incorporó en esta oportunidad un organismo de ensayo adicional (vegetal), el cual fue una macrófita acuática enraizada.

V.2.4.1. Metodología de los ensayos

(Programa de Investigación en Ecotoxicología – Departamento de Ciencias Básicas, Universidad Nacional de Luján)

Los ensayos de ecotoxicidad fueron realizados utilizando como organismo de prueba a una población de *Vallisneria spiralis*, especie autóctona frecuente en los ambientes acuáticos bonaerenses, cultivada en el Laboratorio de Ecotoxicología de la Universidad de Luján, según las recomendaciones indicadas en Biernacki et al, 1997 (Laboratory assay of sediment phytotoxicity using the macrophyte *Vallisneria americana*, Environ. Toxicol. And Chem. 16 (3): 472 - 478).

Se incubaron ejemplares jóvenes, obtenidos a partir de cultivos propios, en las muestras de sedimentos provenientes de los muestreos realizados en el mes de diciembre de 2001.

Previamente a su utilización, cada una de las muestras fue homogeneizada y llevada a temperatura ambiente. Se determinaron parámetros físico-químicos de los medios control y las muestras de sedimentos, al inicio y a la finalización de los ensayos, los que no arrojaron diferencias significativas (ANOVA de un factor con test de Dunnett, $p < 0,05$).

Se llevaron a cabo estimaciones de la biomasa inicial de los ejemplares utilizados, mediante el conteo del número de hojas de cada planta, número de raíces, peso fresco y longitud de las hojas. Se estimó la superficie foliar mediante técnicas de análisis por imágenes, considerando las recomendaciones de Gerber et al. (1994, An image technique to determine the surface area and volume for dissected leaves of aquatic macrophytes, Aquatic Bot. 48: 175 – 182). Para la aplicación de esta técnica se utilizó un microscopio Nikon modelo Eclipse 600, provisto del software Image Pro Plus Media Cybernetic , para el análisis de imágenes.

Los ensayos de toxicidad se llevaron a cabo en acuarios de 50 cm de altura por 60 cm de largo por 30 cm de ancho. Se utilizaron tres acuarios por muestra, colocando en cada uno de ellos tres recipientes de 500 mL, conteniendo 10 cm aproximadamente de sedimento cada uno.

Las concentraciones utilizadas para el ensayo fueron del 0 % (control) y 100%, para cada una de las muestras de las estaciones: aguas abajo de Puesto Hernández y toma del embalse Casa de Piedra. Los ensayos se llevaron a cabo por triplicado.

En cada uno de los recipientes se plantó un ejemplar de la especie utilizada. Las incubaciones se realizaron a 22 °C de temperatura, con un fotoperíodo de 12 h luz / 12 h oscuridad, bajo una intensidad lumínica de 1500 lux. Los recipientes se mantuvieron con aireación a lo largo del ensayo. Las evaluaciones se realizaron sin recambio del medio; esto es, se utilizó un diseño estático, de acuerdo a las recomendaciones del protocolo ya citado.

Al cabo de 10 días de incubación, en las condiciones controladas de laboratorio indicadas, se determinó el número de hojas y raíces nuevas en ejemplares expuestos y controles, como una estimación de la generación de biomasa a lo largo de la exposición. Por otra parte, a la finalización del ensayo, se realizaron estimaciones del contenido de clorofila a de los ejemplares tratados y de los controles. Estas estimaciones se realizaron mediante la técnica fluorométrica con lectura de extractos de clorofila en acetona *in vitro*.

Los efectos tóxicos seleccionados para la evaluación de la toxicidad crónica de esta especie frente a la exposición a las muestras de sedimentos del río Colorado fueron la generación de biomasa, mediante conteo de hojas y raíces nuevas, y el contenido en clorofila a.

V.2.4.2. Resultados

Tabla 45. Número de hojas nuevas, como estimadores de la generación de biomasa, y contenido en clorofila a observados como resultado de la exposición durante 10 días de una población de *Vallisneria spiralis* a muestras de sedimento entero (100%) obtenidas en las estaciones de muestreo de sedimentos en el río Colorado, durante el mes de diciembre de 2001. Los resultados para cada muestra representan el promedio de 3 réplicas por tratamiento.

Muestra	Nº de hojas nuevas (mg / g peso fresco)	Contenido de clorofila "a"
Control ¹	2,5 (± 0,72) ²	405,65 (± 9,89)
Aguas abajo Puesto Hernández	2,0 (± 0,67) *	386,35 (± 7,45) *
Toma Embalse Casa de Piedra	2,75 (± 0,33) *	412,49 (± 8,57) *

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

2 Los valores entre paréntesis representan el desvío standard para cada valor de número de hojas nuevas y contenido en clorofila "a" alcanzado a una concentración del 100% de la muestra o control analizado, luego de 10 días de exposición.

* No significativamente diferente de los controles (ANOVA de una vía con test de Dunnett, $p \leq 0,05$).

Los valores obtenidos (Tabla 45) evidencian la ausencia de diferencias significativas entre los números de hojas nuevas y el contenido de clorofila a registrados como resultado de la exposición de una población de *Vallisneria spiralis*, durante 10 días, a las muestras de sedimento entero correspondientes a las estaciones aguas abajo de Puesto Hernández y Toma del embalse Casa de Piedra, extraídas en el mes de diciembre de 2001, en relación con los controles (ANOVA de una vía con "test" de Dunnett, $p \leq 0,05$). Es decir, no se han registrado efectos tóxicos crónicos significativos de los sedimentos analizados, sobre la generación de hojas nuevas y el contenido de clorofila a de la población de *Vallisneria spiralis* expuesta durante 10 días, en las condiciones de los ensayos.

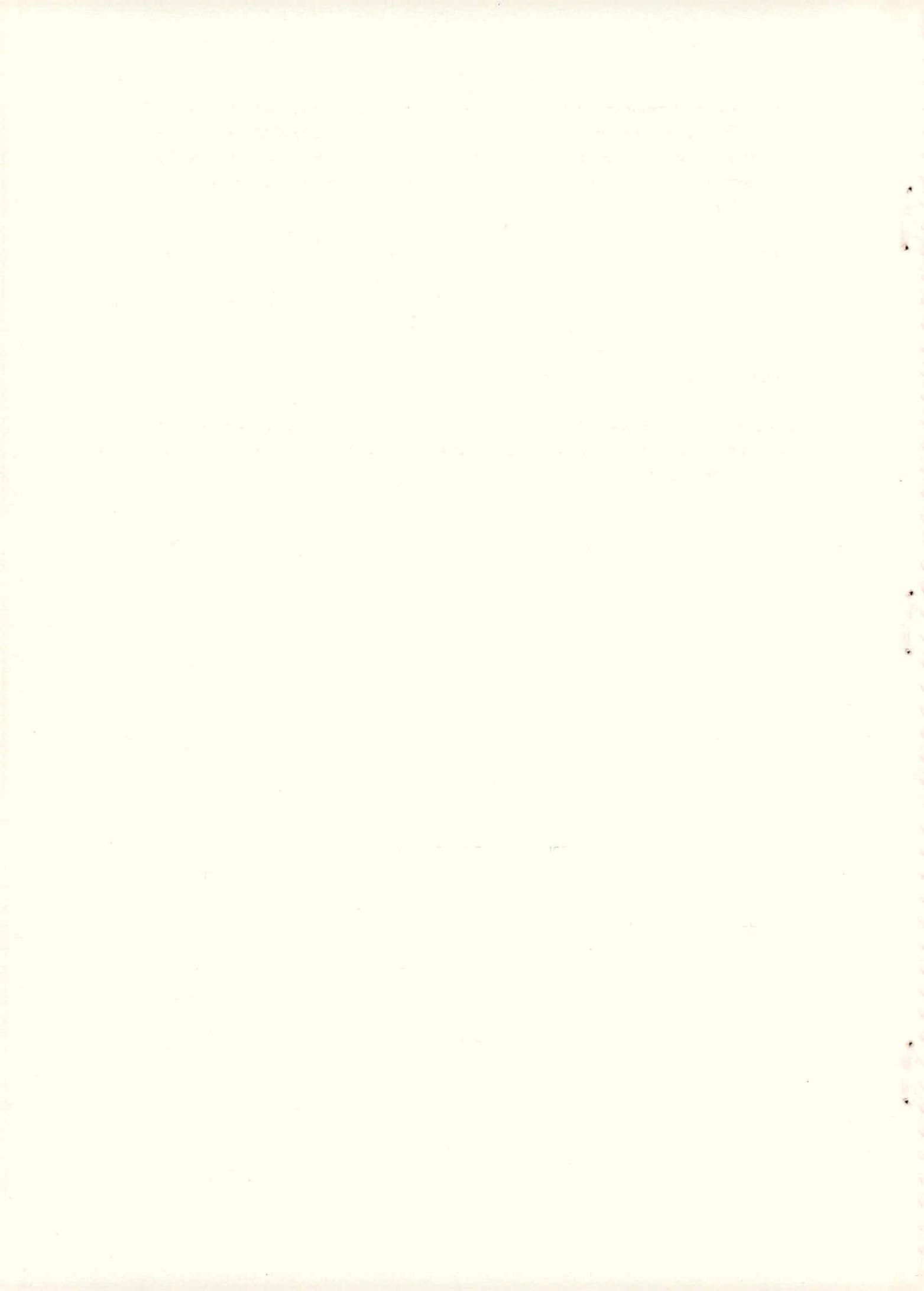
V.2.5. Discusión

Los ensayos de toxicidad crónica con los sedimentos de la estación aguas abajo de Puesto Hernández, fueron llevados a cabo con el objeto de confirmar los resultados obtenidos en el estudio del año 2000. Para ello, en el presente ciclo se proyectó efectuar nuevos ensayos con los sedimentos de ese sitio, utilizando el mismo organismo, *Hyalella curvispina*, complementado con la macrófita acuática enraizada *Vallisneria spiralis*.

Los resultados obtenidos en ambos ensayos, mostraron la ausencia de efectos tóxicos crónicos significativos sobre la sobrevivencia y el crecimiento de una población de *Hyalella curvispina* y sobre la generación de hojas nuevas y el contenido de clorofila *a* de una población de *Vallisneria spiralis*, expuestas ambas a los sedimentos de fondo de la estación aguas abajo de Puesto Hernández.

Los sedimentos del embalse Casa de Piedra, a la altura de la toma, fueron muestreados por primera vez para la realización de ensayos de ecotoxicidad. Con dichos sedimentos se efectuaron ensayos crónicos con *Hyalella curvispina* y con *Vallisneria spiralis*. Los resultados de esos ensayos mostraron la ausencia de efectos tóxicos crónicos significativos sobre la sobrevivencia y el crecimiento de una población de *Hyalella curvispina* y sobre la generación de hojas nuevas y el contenido de clorofila *a* de una población de *Vallisneria spiralis*.

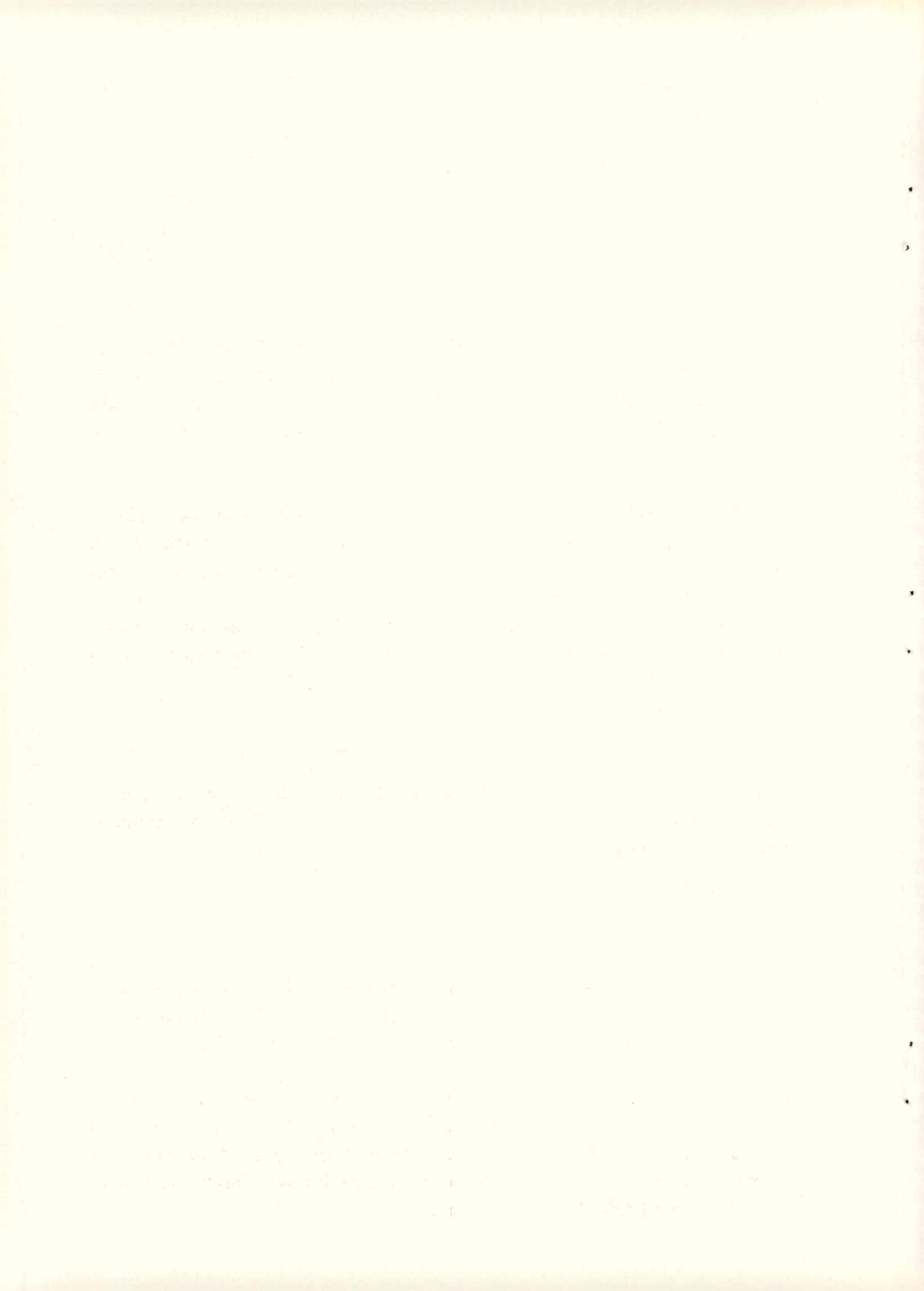
Estos resultados, son coincidentes con los obtenidos a través de los análisis químicos de metales/metaloideos e hidrocarburos aromáticos polinucleares, llevados a cabo durante el año 2000 en los sedimentos de ese sitio.





Capítulo VI

Conclusiones



Agua Potable

La ejecución del programa del presente ciclo (continuación de los realizados en los años 98 – 99 y 2000), llevada a cabo a través de muestreos sistemáticos, en estaciones distribuidas en diferentes sitios de la cuenca previamente seleccionados, ha puesto de manifiesto una vez más, que el recurso mantiene su aptitud para uso como fuente de agua potable en toda su extensión.

En efecto, la investigación de sustancias tóxicas en el agua del río Colorado, ha ratificado que la misma cumple con las normas nacionales e internacionales de calidad, en relación con el contenido de metales pesados e hidrocarburos. Cabe destacar que dichas normas están referidas a la calidad del agua potable distribuida a la población. Esto significa que se ha evaluado la aptitud del agua del río, empleando un criterio más riguroso que el exigible para una fuente de agua.

Irrigación y Ganadería

El análisis de sustancias tóxicas en columna líquida confirma las conclusiones obtenidas en los ciclos precedentes, en relación con la aptitud del agua para su uso en irrigación y ganadería.

Peces

En el presente ciclo se optimizó la metodología de muestreo de peces, lo cual permitió, para determinadas especies, lograr capturas que satisfacen en número de ejemplares los requisitos establecidos en las normas internacionales.

Se llevó a cabo en músculo de peces el análisis del listado de metales y metaloides correspondientes a las normas de SENASA y a los límites de EPA para consumo de pescado basados en el riesgo. Los resultados mostraron que la totalidad de los elementos analizados se encuentran por debajo de dichos límites y, más aún, en la mayoría de los casos no son detectados.

Se observó en esta oportunidad una reducción significativa en los niveles de selenio con respecto a los hallados en el ciclo anterior. De acuerdo a los límites de EPA para el consumo de pescado, basado en el riesgo, no existen restricciones al consumo para los valores de selenio encontrados.

No hubo detección de mercurio, aún cuando el laboratorio alcanzó en esta oportunidad límites de cuantificación sensiblemente más bajos que en las etapas anteriores. Esta situación permite un consumo irrestricto de pescado de acuerdo a los límites de EPA.

En función de las recomendaciones que surgieron de la etapa de estudio anterior, se llevó a cabo en el presente ciclo un relevamiento para verificar la presencia de mercurio y selenio en suelos agrícolas y materiales de transporte en cañadones, con el fin de ubicar posibles fuentes de aporte de estos elementos. Los resultados obtenidos indicaron la existencia de bajas concentraciones de mercurio, las cuales corresponderían a niveles naturales, en tanto que no se detectó selenio en ninguna de las estaciones muestreadas.

Las determinaciones de hidrocarburos aromáticos polinucleares efectuadas en músculo de peces indican que no existen restricciones para su consumo.

Protección de la vida acuática

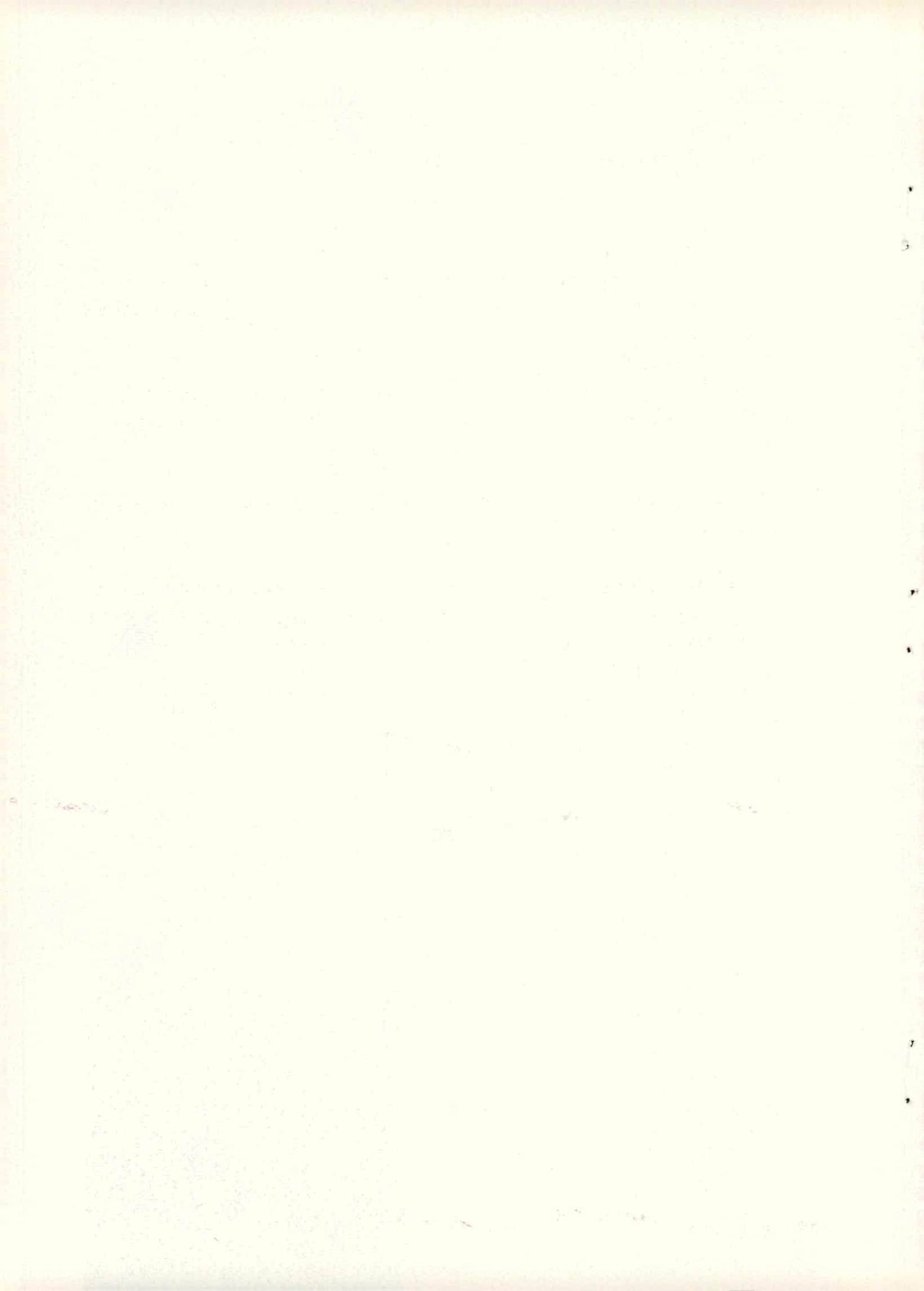
El monitoreo de sustancias tóxicas en agua, llevado a cabo mediante análisis químicos, indicó que ésta mantiene su aptitud para el desarrollo de la vida acuática en toda su extensión. Las incipientes detecciones de selenio en los últimos muestreos aconsejan la necesidad de mantener los controles de este elemento.

Los resultados obtenidos en los ensayos ecotoxicológicos llevados a cabo con sedimentos de fondo mediante el empleo de dos organismos (un crustáceo y una planta acuática), confirman nuevamente las conclusiones obtenidas mediante los análisis químicos de hidrocarburos y metales pesados, en relación con la ausencia de riesgo para la vida acuática.

Los resultados de los muestreos adicionales en columna de agua en la alta cuenca del río Grande mostraron un contenido de metales pesados y metaloides similar al observado en el resto del sistema.

Capítulo VII

Recomendaciones



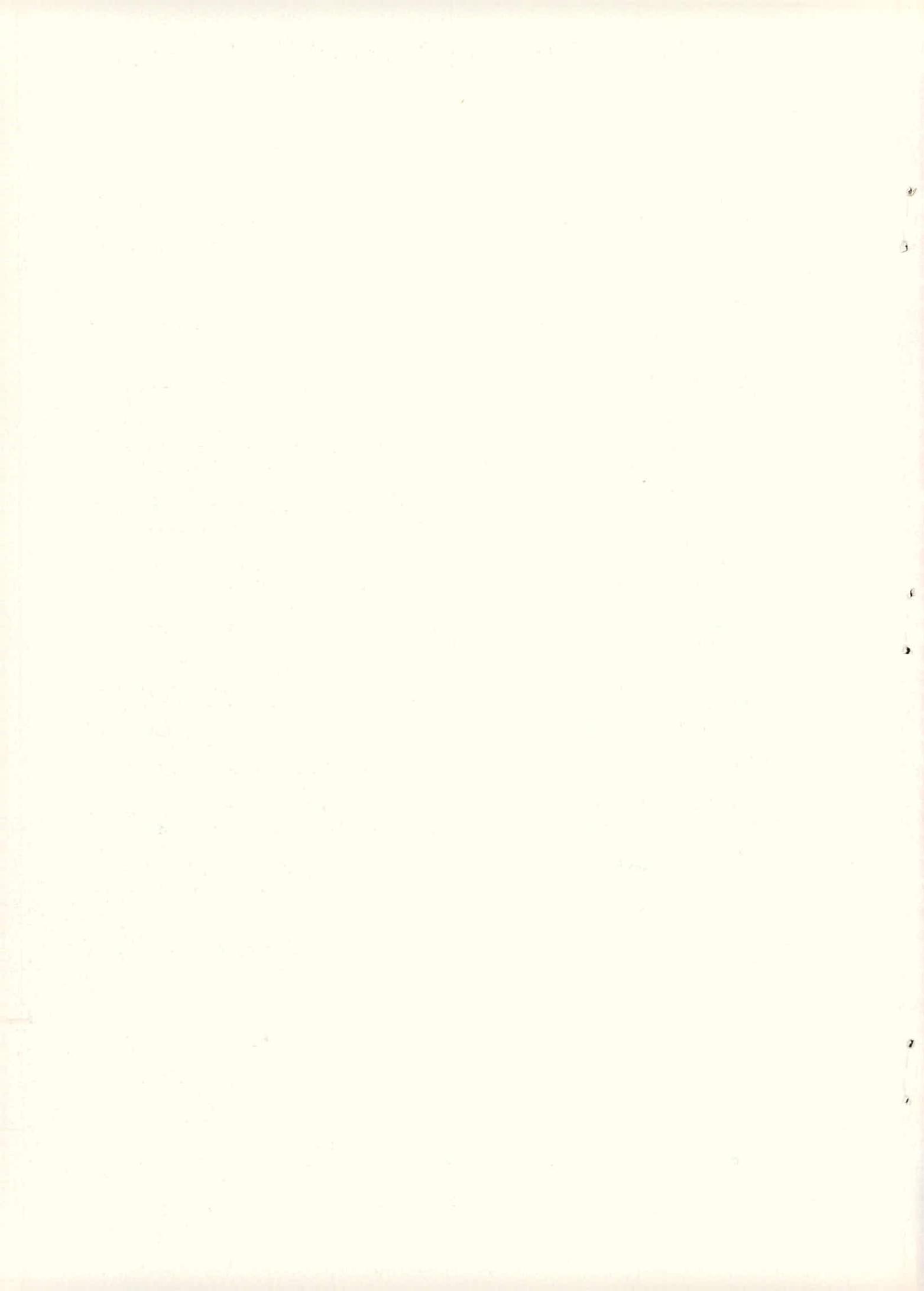
Recomendaciones

- 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.
- Llevar a cabo ensayos ecotoxicológicos crónicos con agua en las estaciones muestreadas en la presente etapa, a fin de continuar la evaluación de la aptitud del recurso para la preservación de la vida acuática.
- Mantener el programa de monitoreo de sustancias tóxicas en peces a fin de evaluar su variación en el tiempo.
- 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 de hidrocarburos aromáticos polinucleares.

Estas recomendaciones fueron tenidas en cuenta por el Comité Interjurisdiccional del Río Colorado para la continuación del estudio que se encuentra en pleno estado de ejecución.



Referencias



Referencias

Alcalde, R., Perl, J., Andrés, F., 2000, Evaluación de la Calidad del Agua del Sistema Río Colorado-Embalse Casa de Piedra para diferentes Usos, 4tas. 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, Informe Técnico – Comité Interjurisdiccional del Río Colorado, Secretaría de Energía de la Nación, Grupo Interempresario.

APHA, AWWA, WEF, 1999, Standard Methods for the Examination of Waters and Wastewater, 20th ed.

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

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

CCME (Canadian Council of Ministers of the Environment), 1999, Canadian Water 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.

IPCS (International Programme on Chemical Safety), 1987, Selenium, Environmental Health Criteria 58, United Nations Environment Programme, International Labour Organisation, World Health Organisation, Geneva.

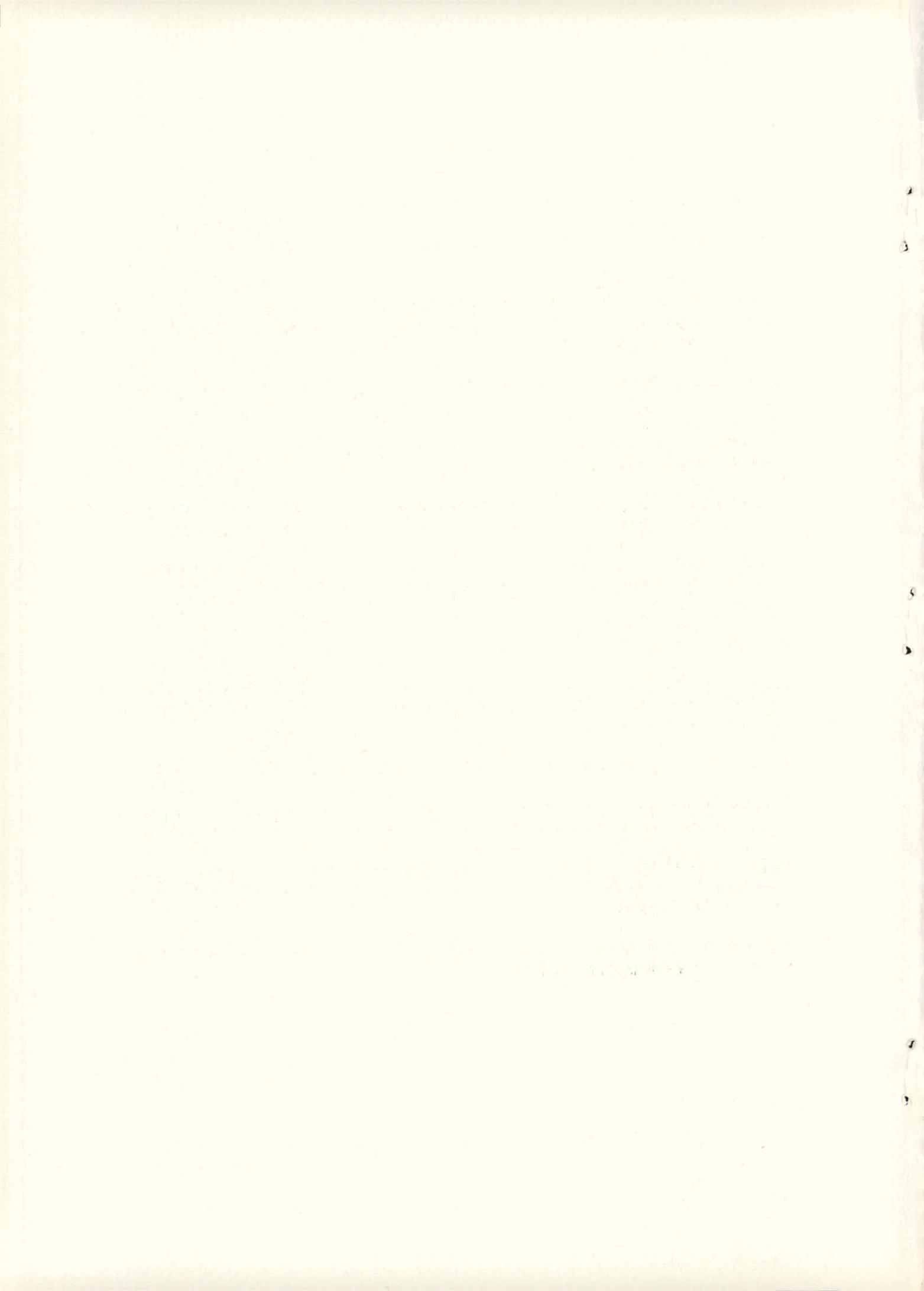
Ministry of Environment and Energy, 2000, Guide to eating Ontario sport fish. 20th ed

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.

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.

El seguimiento, interpretación de resultados y preparación del presente informe estuvo a cargo del Bioquímico Ricardo Alcalde, en su carácter de Asesor de Calidad de Aguas de la CTF. La coordinación y fiscalización fue realizada por la Gerencia Técnica de COIRCO. Fue aprobado por el Comité Ejecutivo en su reunión del 26 de Abril del 2002.





COMITE INTERJURISDICCIONAL DEL RIO COLORADO (COIRCO)

Sede operativa: Belgrano 366 • Bahía Blanca • Provincia de Buenos Aires • Argentina • Tel. (0291) 455-1054
E mail: coirco@bblanca.com.ar • www.coirco.com.ar