

Calidad de aguas y análisis de la contaminación en el Río Tunuyán Superior (Mendoza, Argentina) en el periodo 2007-2014

Water quality and analysis of contamination in upper Tunuyán River (Mendoza, Argentina) in period 2007-2014.

Santa Salatino^{a*}, José Morábito^{a,b}, Adriana Bermejillo^b, Cora Dedio^b, Alicia Stocco^b, Olga Tapia^b, Susana Miralles^b, Rocío Hernández^{a,b}, Leandro Mastrantonio^b, Dora Genovese^b, Noelia Ortiz^b

Palabras clave:

agua de riego, aptitud del agua, polución, tendencias

Keywords:

irrigation water, water suitability, contamination, trends

ABSTRACT

Since August 2007, a physical, chemical and microbiological irrigation water quality database has been collected for Upper Tunuyán river (Mendoza). Monthly readings were taken from six strategically located sampling sites. Three of the sites are on the river itself (Dique Valle de Uco (VU), Costa Anzorena (CA) and Dique Tiburcio Benegas (TB) and the other three are on its main tributaries (Las Tunas river (LT) and the Aguanda (A) and Yaucha (Y) brooks). The objectives of this paper are: (1) to build a database of physical, chemical and biological parameters; (2) to describe the characteristics of water in the basin; (3) to identify the most important contamination sources; (4) to compare the evolution of contamination in time and space; and (5) to provide the General Department of Irrigation with water management guidelines. The parameters that were analysed included: temperature (T), flow rate (Q), salinity (CE), sodium adsorption ratio (SAR), nitrates (NO_3), phosphates (PO_4), chemical oxygen demand (COD), dissolved oxygen (DO), aerobic mesophilic bacteria (AMB) and fecal coliforms (FC). The paper shows the variations in time and space of the parameters subjected to non-parametric statistical analysis (Kruskal Wallis). Water salinity showed low values at LT, A and Y and much higher ones at VU, CA and TB, all of which points with a rising trend. The highest salinity values were found at TB ($1414 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) followed by CA ($1368 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) and VU ($1238 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$). Sodium Adsorption Ratio (SAR) values at these three sites were the highest. Fecal coliform content at CA and TB exceeded the maximum values established in Resolution 778/96 by the General Department of Irrigation. With respect to evolution in time, the only parameters with significant differences ($\alpha < 0.05$) are chemical oxygen demand, dissolved oxygen and fecal coliforms.

RESUMEN

Desde agosto de 2007 a la fecha, se ha conformado una base de datos de calidad físico-química-microbiológica del agua de riego del río Tunuyán superior (Mendoza). Se seleccionaron seis sitios de muestreo, de lectura mensual, estratégicamente ubicados. Tres sitios pertenecientes al río: Dique Valle de Uco (VU), Costa Anzorena (CA) y Dique Tiburcio Benegas (TB) y otros tres a sus afluentes principales: río Las Tunas (LT) y arroyos Aguanda (A) y Yaucha (Y). Son objetivos del trabajo: (1) conformar una base de datos de parámetros físico-químicos y biológicos; (2) caracterizar al agua de la cuenca; (3) identificar las fuentes de contaminación de mayor impacto; (4) comparar la evolución temporal y espacial de la contaminación y (5) aportar pautas de gestión transferibles a la administración del recurso hídrico. Los parámetros analizados fueron: Temperatura (T), caudal (Q), salinidad (CE), relación de adsorción de sodio (RAS), nitratos (NO_3), fosfatos (PO_4), demanda química de oxígeno (DQO), oxígeno disuelto (OD), bacterias aerobias mesófilas (BAM) y coliformes fecales (CF). El trabajo presenta la variación espacial y temporal de los diferentes parámetros analizados que fueron sometidos a un análisis estadístico no paramétrico (Kruskal Wallis). Se observa que la CE arrojó valores bajos en los sitios LT, A e Y, y bastante más altos en VU, CA y TB, pudiendo comprobarse además una tendencia creciente en dichos sitios. Los valores de salinidad más elevados se encuentran en TB ($1.414 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$), seguidos por CA ($1.368 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) y VU ($1.238 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$). En estos tres sitios, los valores de RAS fueron también los más altos. Con respecto al contenido de CF los sitios CA y TB superaron los valores máximos establecidos por la Resolución 778/96 del Departamento General de Irrigación. Respecto a la evolución temporal, los únicos parámetros que presentaron diferencias significativas ($\alpha < 0,05$) fueron DQO, OD y CF.

RECIBIDO: 11 DE ABRIL DE 2016; ACEPTADO: 1 DE DICIEMBRE

^aInstituto Nacional del Agua, Centro Regional Andino, Belgrano 210 Oeste, 3er Piso, (5500) Mendoza. Email: ssalatino@ina.gov.ar. Tel/FAX: +54 261 4286993

^bUniversidad Nacional de Cuyo, Facultad de Ciencias Agrarias, Almirante. Brown 500. Chacras de Coria, Luján de Cuyo, Mendoza

*Autor para correspondencia: +54 261 4286993 ssalatino@ina.gov.ar

INTRODUCCIÓN

La temática del aprovechamiento sustentable de los recursos -con énfasis en el agua de riego, insumo esencial de la agricultura de nuestras zonas áridas y semiáridas- es relevante para la investigación. Disponer de ocho (8) años de muestreos y registros continuos de parámetros de calidad del agua (superficial) de riego en el río Tunuyán superior (Oasis Centro), uno de los más importantes de la provincia, plantea la posibilidad de un análisis retrospectivo de la información recopilada que permite visualizar la evolución de la calidad del agua en tiempo y espacio. Los resultados obtenidos permiten: (1) cuantificar el deterioro que sufre el recurso hídrico a medida que se aleja de la fuente en su camino hacia la parcela regada y (2) identificar los distintos actores responsables de la contaminación.

Como se ha afirmado en un estudio similar sobre el río Mendoza (Morábito *et al.*, 2013), disponer de una base de datos de calidad de agua de riego durante un largo período de registros permite caracterizar al recurso hídrico superficial de la cuenca (en este caso el río Tunuyán superior, ciclos 2007/2014), conocer sus particularidades y comparar valores actuales e iniciales para visualizar tendencias y causas de contaminación (Morábito *et al.*, 2009). Se podrá así aportar -a nivel de organizaciones de usuarios y administración central- criterios de gestión basados en mediciones a campo tendientes a una mayor precisión en las acciones de preservación de la calidad del agua para su futura explotación continua y racional.

El río Tunuyán, con un módulo de $30,6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ da origen a dos subcuencas, separadas por la presa Embalse El Carrizal: la *superior* (54000 ha situadas en el denominado Valle de Uco, del Oasis Centro) y la *inferior* (80000 ha ubicadas al este del Oasis Norte, en los departamentos San Martín, Rivadavia, Junín, Santa Rosa y La Paz). Más de 2500 perforaciones completan la provisión de recurso bombeando del acuífero profundo para alimentar principalmente sistemas de riego presurizado (goteo). El área de estudio se caracteriza por un permanente

incremento de la superficie cultivada en la subcuenca superior-viñedos para vino de exportación y frutales de carozo para industria- concentrada principalmente en los departamentos de Tunuyán, Tupungato y San Carlos. Este fenómeno -que comenzó con los inicios de la globalización a principios de la década de los 90's y supone una demanda creciente de agua de riego- afecta a la subcuenca inferior no sólo disminuyendo los caudales escurridos sino contaminándolos. Al respecto, ya se ha evidenciado una tendencia al aumento progresivo de la salinidad del agua, que alcanza valores medios de $1,4 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ (Chambouleyron, 2002; Morábito *et al.*, 2012; Salatino *et al.*, 2013).

A lo largo de esos ocho años de registros el grupo de investigadores del Centro Regional Andino del INA -responsable del proyecto y a cargo de las tareas de muestreo a campo y de la Facultad de Ciencias Agrarias de la UNCuyo, en la determinación analítica e interpretación de los valores de los distintos parámetros seleccionados, ha logrado conformar una importante base de datos. Los registros (2007 / 2014) responden a muestreos mensuales, acompañados del aforo de los caudales pasantes en cada uno de los seis (6) sitios prefijados. Sus resultados parciales han sido presentados en diferentes foros nacionales e internacionales.

Los objetivos del presente trabajo son: (1) conformar una base de datos de registros mensuales (a campo y de Laboratorio) de parámetros físico-químicos y biológicos; (2) caracterizar al recurso hídrico de cada subcuenca en función de los valores medios de dichos parámetros; (3) identificar las fuentes de contaminación de mayor impacto sobre el recurso asociándolas con los distintos usos y con la geografía del lugar; (4) evaluar la evolución temporal y espacial de la contaminación y (5) aportar a la elaboración de pautas y/o criterios de gestión transferibles a los encargados provinciales de la administración del recurso hídrico. Estos criterios deberán estar destinados al desarrollo de políticas de prevención y/o mitigación de los efectos negativos de la contaminación, adecuadas a las particularidades de la cuenca.

MATERIALES Y MÉTODOS

Dado lo acotado de los recursos disponibles para la investigación fue necesario seleccionar cuidadosamente los sitios de muestreo de modo de asegurar su representatividad e identificar el origen/ causas de la contaminación (urbano-pluvial, agrícola o industrial) en cada uno de ellos. El criterio de selección respondió al interés en separar los sitios pertenecientes al río propiamente dicho VU (Dique Valle de Uco) de sus afluentes principales LT (río Las Tunas), A y Y (arroyos Aguanda y Yaucha) y de receptores de aguas con posible contaminación CA (Costa Anzorena). Además, se decidió registrar el ingreso a la *cuenca inferior* aguas abajo de la presa de embalse El Carrizal, en el Dique Tiburcio Benegas (TB) derivador del río Tunuyán inferior. En total, los sitios fueron seis (6), identificados por sus iniciales en mayúscula; la frecuencia de muestreo fue mensual, acompañada con la medición de la temperatura a campo y el registro del caudal pasante en cada sitio (oportunamente suministrado por el Departamento General de Irrigación (DGI)) a través de la Subdelegación del río Tunuyán superior, con sede en La Consulta, Departamento San Carlos). Cabe aclarar que existieron algunos vacíos de continuidad de registros en época de vacaciones de verano y cortas de invierno para limpieza de canales.

Para la determinación de los distintos parámetros en laboratorio se siguió la metodología del Standard Methods (APHA, AWWA, WPCF, 1992). Los parámetros analizados fueron:

- Físico-químicos: temperatura, conductividad eléctrica a 25°C (CE), relación de adsorción de sodio (RAS), nitratos y fosfatos.
- Micro-biológicos: bacterias aerobias mesófilas (BAM) (ufc. mL⁻¹).y Coliformes fecales (NMP.100 mL⁻¹).
- Demanda química de oxígeno (DQO) y oxígeno disuelto (OD).

Para facilitar una adecuada valoración de la contaminación del agua a través de los diferentes parámetros y con el fin de unificar criterios con el organismo administrador del recurso (DGI) se adoptó la única legislación vigente en Mendoza (Reglamentación 778 /96 de la DGI). La Tabla 1 hace referencia a los valores máximos permitidos para el vertido de efluentes a los cuerpos de agua. Dado que la Reglamentación mencionada no incluye al oxígeno disuelto, se tomó como valor límite (>5 mg L⁻¹) el sugerido por el Ente Provincial del Agua y del Saneamiento (EPAS, anexo 1.5, 2001) para aguas de riego, actividades recreativas con contacto directo y vida acuática.

En mapas de la cuenca proyectados en sistema de coordenadas Posgar 94, Argentina

Parámetro	Unidad	Valor límite
Temperatura	°C	30
Conductividad eléctrica (CE)	µS cm ⁻¹ a 25°C	900
Relación de Adsorción de Sodio (RAS)	-	6
Nitratos (NO ₃)	mg L ⁻¹	<45
Fosfatos (PO ₄)	mg L ⁻¹	0.4
Coliformes fecales	NMP 100mL ⁻¹	200
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg L ⁻¹ O ₂	75

Tabla 1. Valores máximos permitidos para vertido (DGI, Resolución 778/96)

Table 1. Maximum discharge values allowed (DGI, Resolution 778/96)

2, utilizando el software QGis 2.12.0 (www.qgis.org, 2015), se identificaron los sitios de muestreo y se incluyeron los valores medios y desviaciones estándar de los diez parámetros estudiados. Se realizó también un análisis no paramétrico de Kruskal Wallis comparando los valores medidos de las series 2007-2009 y 2012-2014, debido a que no cumplen el supuesto de homocedasticidad requerido por un análisis de varianzas. La hipótesis nula (H_0) establece que $\mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_a$, donde μ_i representa la esperanza del i -ésimo tratamiento, con $i=1, 2, \dots, a$.

Por último, para profundizar el análisis se propuso un indicador de evolución

temporal de la contaminación (I_{ev}) para cada parámetro, definido como el cociente: valor medio de la serie 2012 - 2014 / valor medio de la serie 2007 -2009. Valores mayores de 1 indican que ese parámetro ha aumentado.

RESULTADOS

La Figura 1 muestra la distribución espacial de los sitios de muestreo (LT, VU, A, Y, CA y TB) con los valores medios de caudal y temperatura acompañados de la desviación estándar para el intervalo de tiempo estudiado.

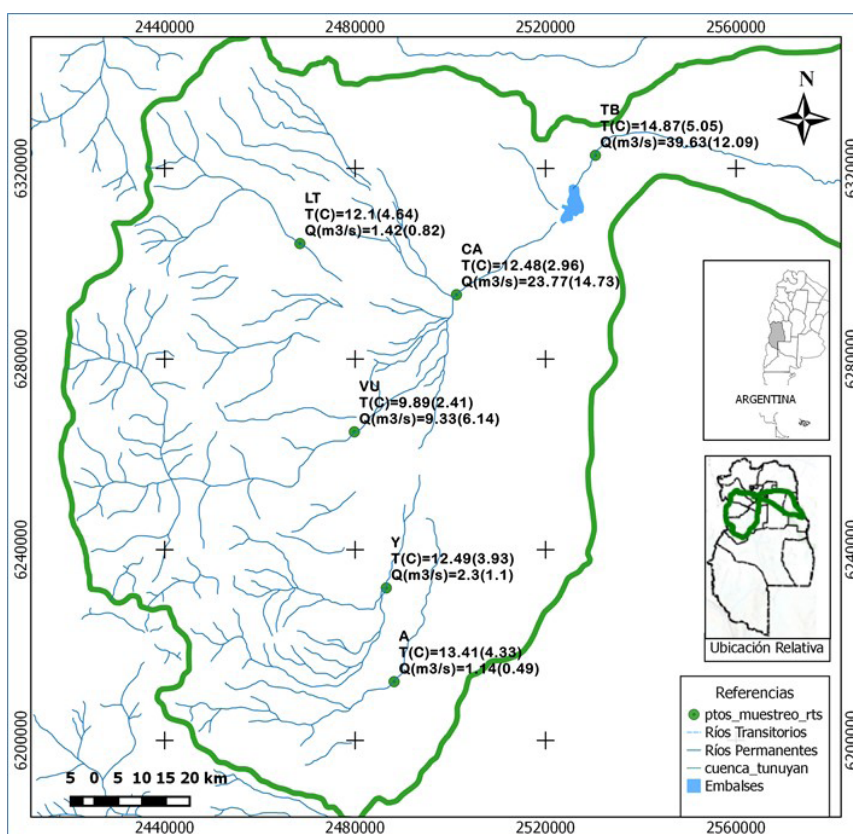


Figura 1. Sitios de muestreo y valores medios de temperatura y caudal

Figure 1. Sampling sites, mean temperature and flow values

En las Figuras 2 a 5 puede verse el resto de los parámetros analizados (valores medios y desviación estándar). En ellas se evidencia la evolución de la contaminación en el sistema aguas abajo (desde la cuenca superior a la

inferior). La Tabla 2 resume los valores de los parámetros analizados y sus estadígrafos (número de datos, media, desviación estándar, mínimo y máximo).

S	E	T °C	Q m ³ .s ⁻¹	CE μS.cm ⁻¹	RAS	NO ₃ mg.L ⁻¹	P0 ₄ mg.L ⁻¹	DQO mg.L ⁻¹	OD mg.L ⁻¹	BAM u.f.c mL ⁻¹	CF NMP100 mL ⁻¹
A	N	60	60	68	68	67	60	41	41	68	67
	M	13.4	1.14	419	0.6	0.99	0.6	19.15	8.1	8601	809
	DE	4.3	0.49	43.91	0.15	0.84	0.53	18.1	2.1	16755	3172
	Min	5	0.68	300	0.2	0.44	0.17	2	3.7	9	3
	Max	20	3.54	530	1	4.43	3.98	80	12	100000	24000
CA	N	52	52	67	67	66	60	49	56	70	67
	M	12.5	23.77	1368	1.42	1.22	0.67	44.59	8.14	365307	2154
	DE	3	14.73	208.85	0.46	0.76	0.41	55.56	2.01	2745612	5688
	Min	5	0.95	862	0.49	0.44	0.15	1	4.4	46	3
	Max	17	74.23	1804	2.98	3.54	2.29	262	12	23000000	24000
LT	N	58	58	67	67	67	60	31	58	68	67
	M	12.1	1.42	514	0.44	1.63	0.48	26.03	8.26	307794	41
	DE	4.6	0.82	90.02	0.2	1.07	0.55	25.78	1.66	2424399	45
	Min	2	0.01	350	0.03	0.44	0.01	1	5	10	3
	Max	21	4.1	801	1.38	5.32	2.79	103	11.2	20000000	300
TB	N	55	55	60	60	60	54	26	52	60	59
	M	14.9	39.63	1414	1.55	1.38	0.42	72.88	8.23	673454	1111
	DE	5.1	12.09	179.39	0.42	0.93	0.37	87.77	2.42	5163104	4385
	Min	6	22	986	0.4	0.44	0.11	6	0.7	90	3
	Max	22	61	1804	2.64	4.43	2.51	324	12	40000000	24000
VU	N	61	61	68	68	67	61	25	57	69	68
	M	9.9	9.33	1238	1.47	1.03	0.74	31.08	8.66	28693	192
	DE	2.4	6.14	273.86	0.64	0.92	0.59	31.16	1.77	1711901	641
	Min	5	0.46	799	0.19	0.44	0.12	2	4.5	10	3
	Max	15	41	1793	3.21	3.54	2.63	112	11.6	1400000	4600
Y	N	61	61	69	69	68	61	43	55	70	68
	M	12.5	2.3	255	0.6	1.32	0.67	27.07	8.34	7883	254
	DE	3.9	1.1	37.26	0.24	0.98	0.59	32.73	1.99	22651	711.4
	Min	5	0.29	170	0.02	0.44	0.11	4	4.3	30	3
	Max	19	7.82	344	1.44	4.43	3.25	188	11.5	180000	4600

Referencias: S = sitio, E = estadígrafo, N = número de datos, M = media, DE = desviación estándar, Min = mínimo y Max = máximo. NO₃ = Nitratos, P0₄ = fosfatos y CF: Coliformes fecales.

Tabla 2. Valores estadígrafos de parámetros de calidad de agua por sitio de muestreo

Table 2. Statistical analysis of water quality parameters per sampling site

En la Figura 2 se observan los valores de salinidad y sodicidad del agua (expresados como conductividad eléctrica (CE) y porcentaje de adsorción de sodio o RAS).

Claramente se identifican dos sectores: *el primero*, conformado por los sitios LT (río Las Tunas, principal afluente), A (Arroyo Aguanda) y (Arroyo Yaucha) que presentan agua de muy buena calidad con valores de CE comprendidos entre 255 - 514 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ y de RAS (0,44 a 0,6) y *el segundo*, que incluye los tres sitios restantes: VU, CA (parte final del recorrido del Tunuyán superior, aguas abajo de la planta de tratamiento

de efluentes domésticos del conglomerado urbano del Departamento Tunuyán) y TB. Estos dos últimos sitios son referentes de contaminación de origen antrópico mientras que VU sólo es afectado por la presencia, aguas arriba, de ganadería extensiva; la salinidad que exhibe es de origen natural, causada por la presencia de sulfatos (yeso) en los suelos por los que atraviesa. Los valores de salinidad más elevados se encuentran en la presa El Carrizal (TB = 1.414 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$), seguidos por CA (1.368 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) y VU (1.238 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$); los valores de RAS más altos: TB (1,55) y VU (1,47).

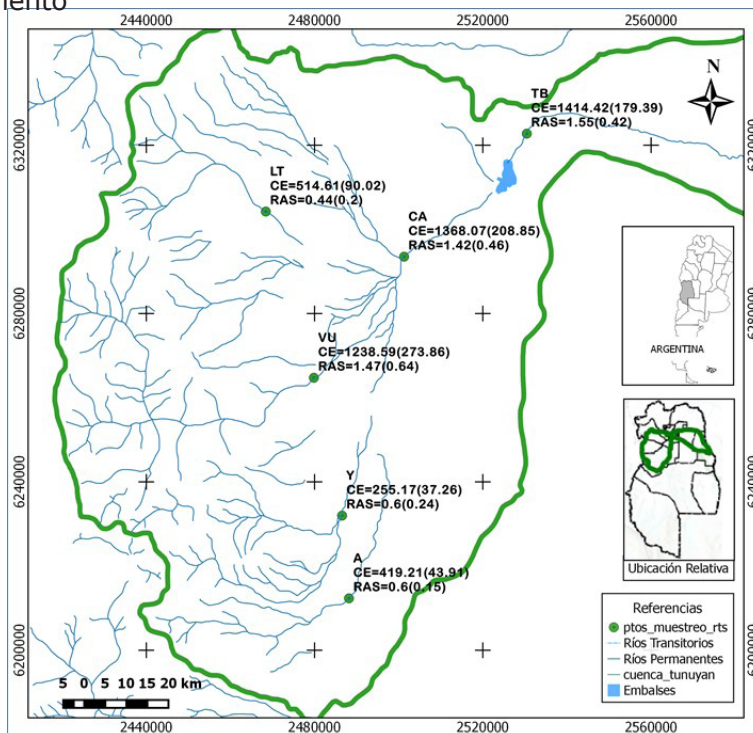


Figura 2. Valores medios de conductividad eléctrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$) y relación de adsorción de sodio (RAS)

Figure 2. Mean electrical conductivity values ($\mu\text{S cm}^{-1}$) and sodium adsorption ratio (SAR)

Los valores medios de nitratos y fosfatos se han graficado en la Figura 3. Con respecto a los primeros puede verse que -en general- se registran valores muy bajos por lo que se descarta algún problema a corto-mediano plazo (el valor máximo permitido para nitratos es de menos de 45 mg L^{-1}). En cuanto al contenido de aniones fosfato, su presencia en las aguas de riego favorece la eutrofización -la que se acelera a causa de la contaminación- e implica cambios físicos,

químicos y biológicos en el agua que recibe estos aportes. Los mayores contenidos se encuentran en VU (0,74 mg L^{-1}); CA y Y (ambos con 0,67 mg L^{-1}) y A (0,6 mg L^{-1}). El valor relativamente bajo encontrado en TB (0,42 mg L^{-1}) podría explicarse por el aprovechamiento que las algas y microorganismos del embalse hacen del sustrato. Esta aseveración ha sido también observada por otros autores (Hoffmann & Pellegrin, 1996; Lavie, 2009).

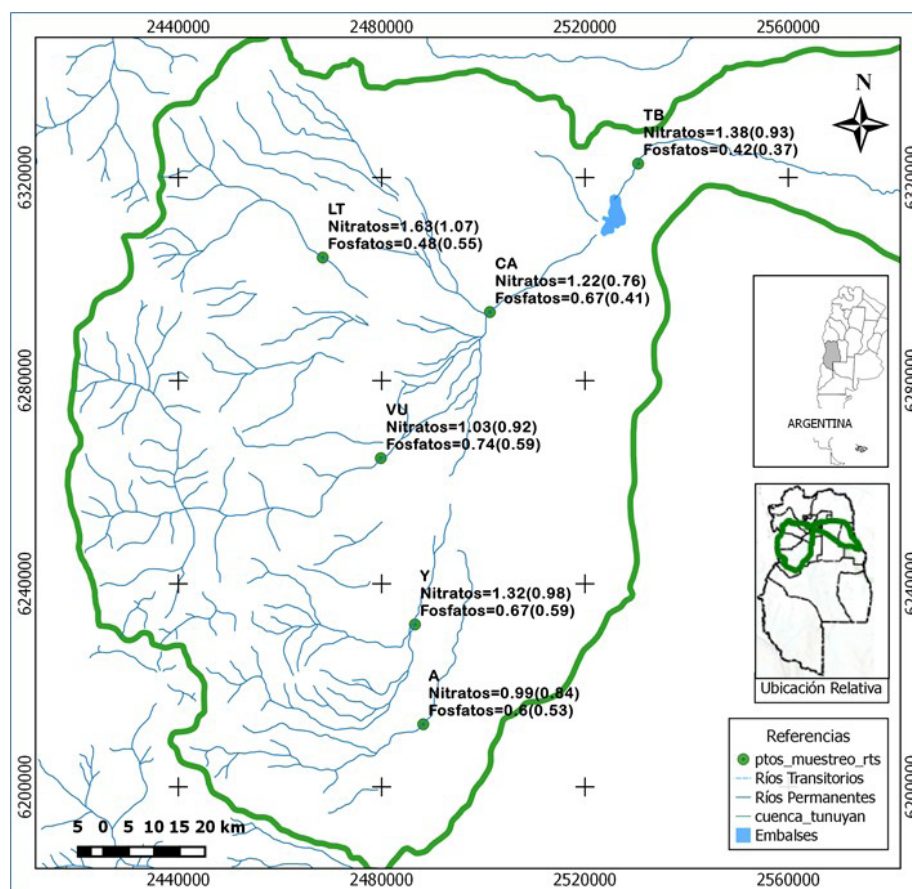


Figura 3. Valores medios de nitratos y fosfatos (mg.L⁻¹)

Figure 3. Mean nitrate and phosphate values (mg.L⁻¹)

La Figura 4 hace referencia a los valores medios de los parámetros de demanda química de oxígeno y oxígeno disuelto. Como era de esperar los valores más altos de DQO se encuentran en el embalse propiamente dicho (TB = 73 mg.L⁻¹) y en el sitio aguas arriba inmediatamente anterior al ingreso del agua al del embalse (CA = 45 mg.L⁻¹). El valor más bajo (agua de mejor calidad, sin contaminación aparente) corresponde al arroyo Aguanda, un aportante natural al sistema, situado aguas arriba del Dique El Carrizal y de la ciudad de Tunuyán (A = 19 mg.L⁻¹). El oxígeno disuelto, en cambio, arroja valores prácticamente constantes en los seis sitios estudiados que oscilan alrededor de 8 mg.L⁻¹, con un máximo de 8,7 mg.L⁻¹ en VU. Además, con una muy alta variabilidad, los valores medios de los parámetros microbiológicos (Bacterias aerobias mesófilas y Coliformes fecales) muestran

claramente la contaminación que se registra en los sitios con mayor presión de actividad antrópica (Figura 5). Las BAM registran el valor más alto en el Dique Tiburcio Benegas (673.400 ufc. mL⁻¹), seguido por Costa Anzorena (365.000 ufc. mL⁻¹) y Las Tunas, con ganadería a campo, (307.800 ufc. mL⁻¹). En los sitios correspondientes a los arroyos Aguanda y Yaucha, en cambio, los valores medidos son bajos (8.600 y 7.900 ufc. mL⁻¹, respectivamente). Las Coliformes fecales no acompañan exactamente el comportamiento de las BAM; los valores más altos se observan en Costa Anzorena (CA = 2.150 NMP.100mL⁻¹), seguidos de TB (1.100 NMP.100mL⁻¹) y A (810 NMP.100mL⁻¹) mientras que Yaucha, Valle de Uco y Las Tunas presentan, respectivamente, valores mucho más bajos: 255, 193 y 41 NMP.100mL⁻¹.

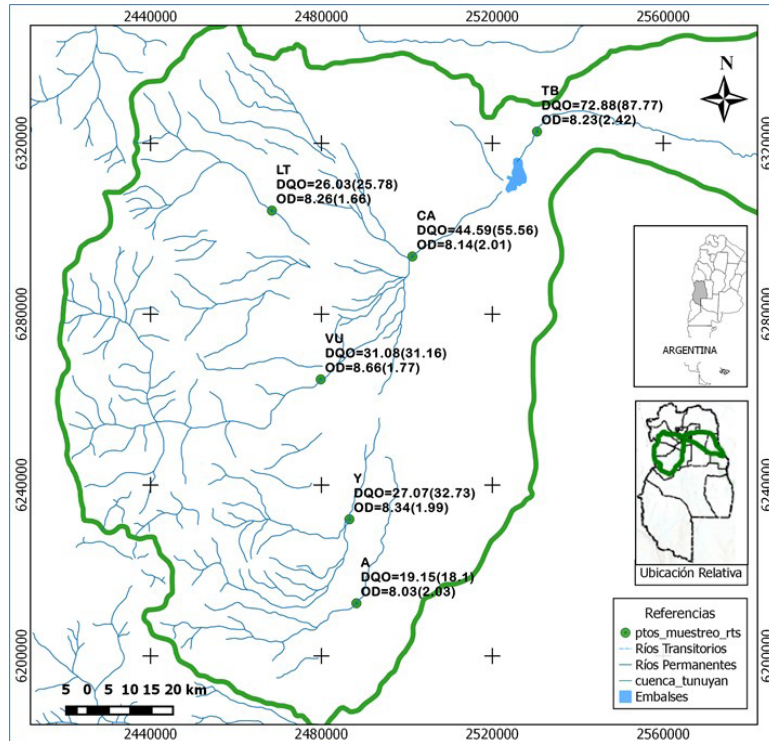


Figura 4. Valores medios de DQO y OD (mg.L⁻¹)

Figure 4. Mean COD and DO values (mg.L⁻¹)

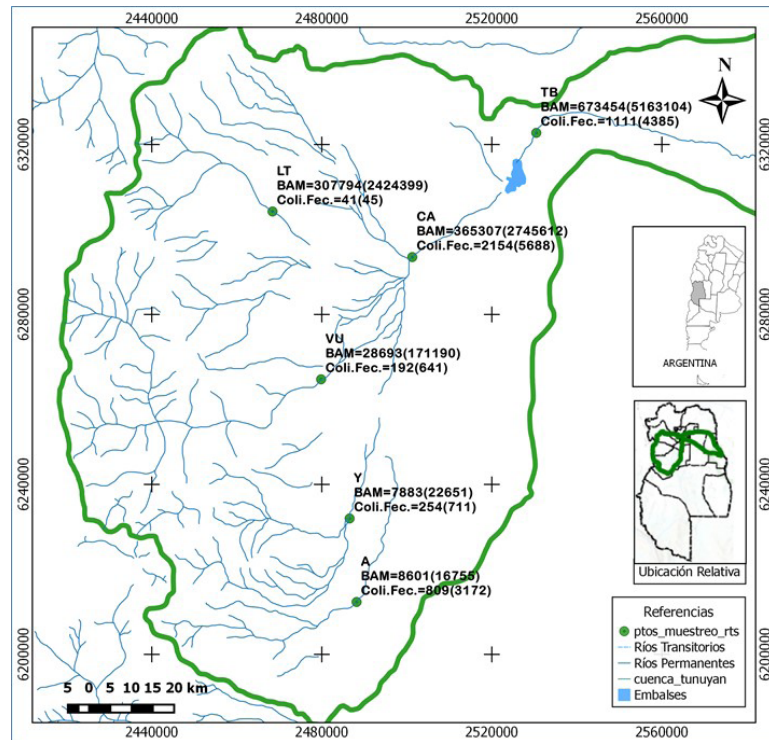


Figura 5. Valores medios de BAM (ufc. mL⁻¹) y Coliformes fecales (NMP.100mL⁻¹)

Figure 5. Mean BAM (ufc. mL⁻¹) and fecal coliform values (NMP.100mL⁻¹)

Pasando del análisis espacial al temporal, en los ocho (8) años de registro puede verse que TB presenta los mayores valores mensuales de temperatura, ya que se trata de aguas almacenadas en el dique de embalse El Carrizal, las que acumulan calor desde diciembre hasta mayo (figura 6). Por su parte VU, localizado en el oeste a mayor altura sobre el nivel del mar, presenta las temperaturas más bajas debido a la más

reciente fusión de la nieve y a la magnitud de su caudal. Los cursos Y, A y LT están en una situación intermedia: su caudal es bastante menor y resultan más impactados por la temperatura ambiental. El sitio CA si bien lleva un gran caudal, está localizado en una cota más baja, recibiendo los aportes de los tres cursos menores con aguas de temperaturas más altas.

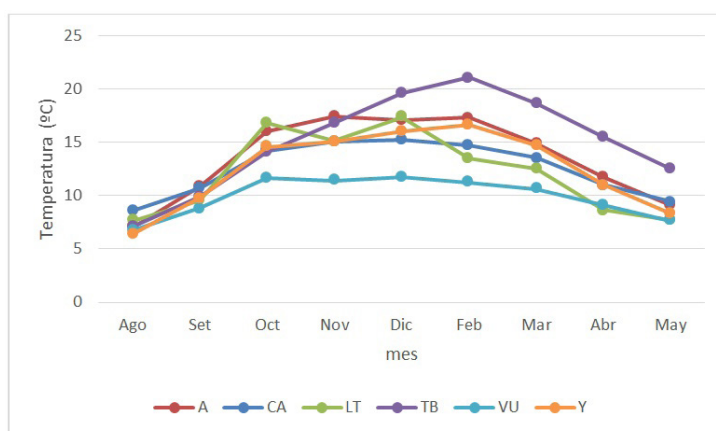


Figura 6. Variación mensual de la temperatura (2007-2014)

Figure 6. Monthly temperature variation (2007-2014)

En la figura 7 se observan claramente dos grupos en relación a los contenidos de salinidad de los distintos sitios de muestreo: A, Y y LT con valores de C.E. comprendidos entre un mínimo de 200 y un máximo de

700 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ mientras que los sitios restantes muestran valores más elevados (800 a 1800 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$), influidos por VU, cuyas aguas diluyen una mayor cantidad de sales por las particularidades de los suelos de la cuenca.

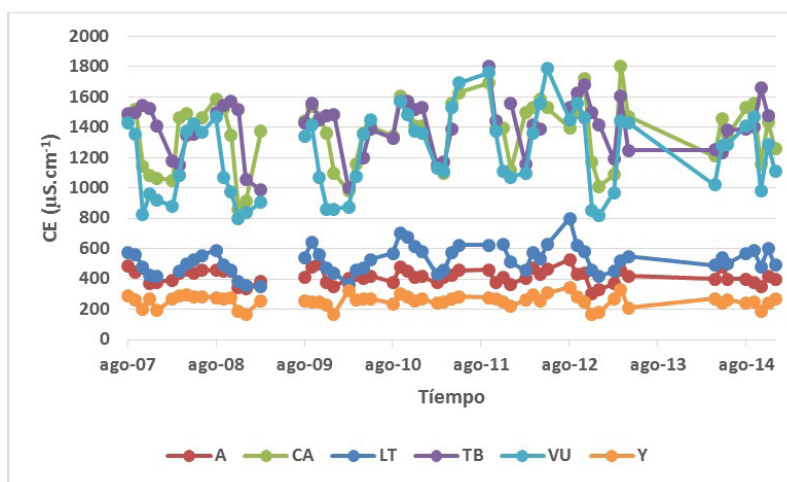


Figura 7. Variación mensual de la salinidad (2007 al 2014)

Figure 7. Monthly salinity variation (2007-2014)

Para graficar la variación de la salinidad en función del caudal, se han separado los sitios A, Y y LT de caudales relativamente menores (figura 8) y TB, VU y CA (figura 9) que

poseen caudales mayores. En ambos casos la tendencia se ve con claridad a pesar de la alta variabilidad del parámetro analizado.

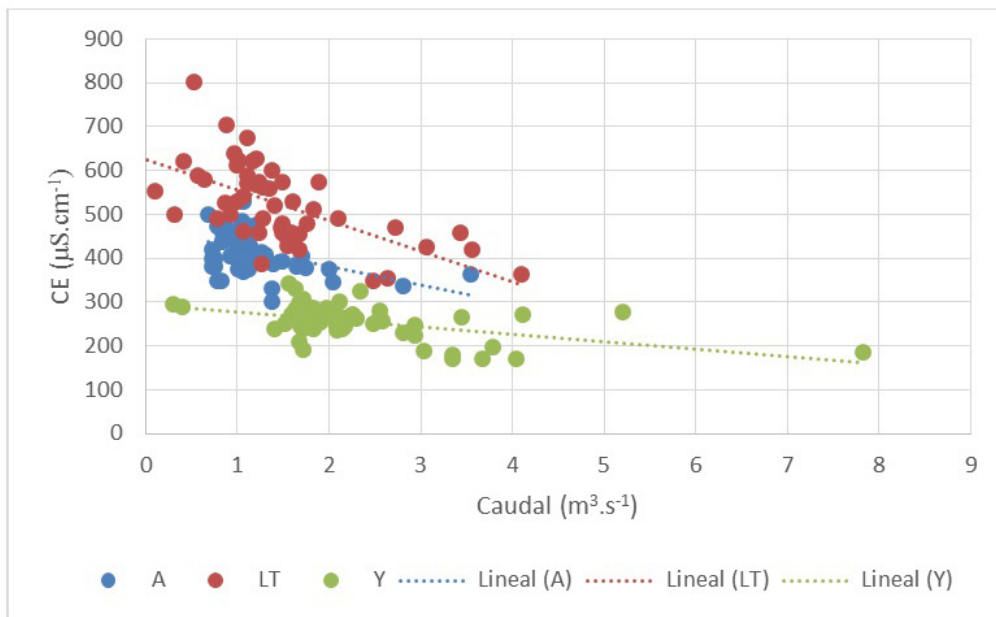


Figura 8. Relación salinidad del agua versus caudal: sitios A, LT y Y (2007-2014)

Figure 8. Water salinity-flow rate ratio: A, LT and Y sites (2007-2014)

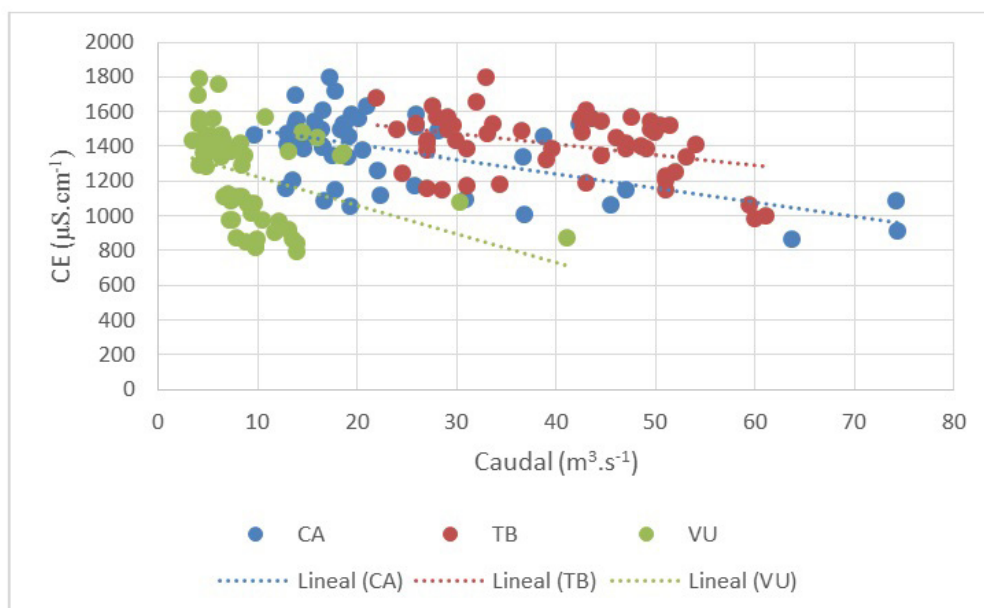


Figura 9. Relación salinidad del agua versus caudal: sitios VU, CA y TB (2007-2014)

Figure 9. Water salinity-flow rate ratio: VU, CA and TB sites (2007-2014)

Seguidamente la figura 10 grafica la variación temporal del oxígeno disuelto: en ella puede verse un comportamiento similar en todos los

sitios y una disminución de OD a lo largo del tiempo, en coincidencia con los resultados obtenidos en el análisis estadístico (tabla 3).

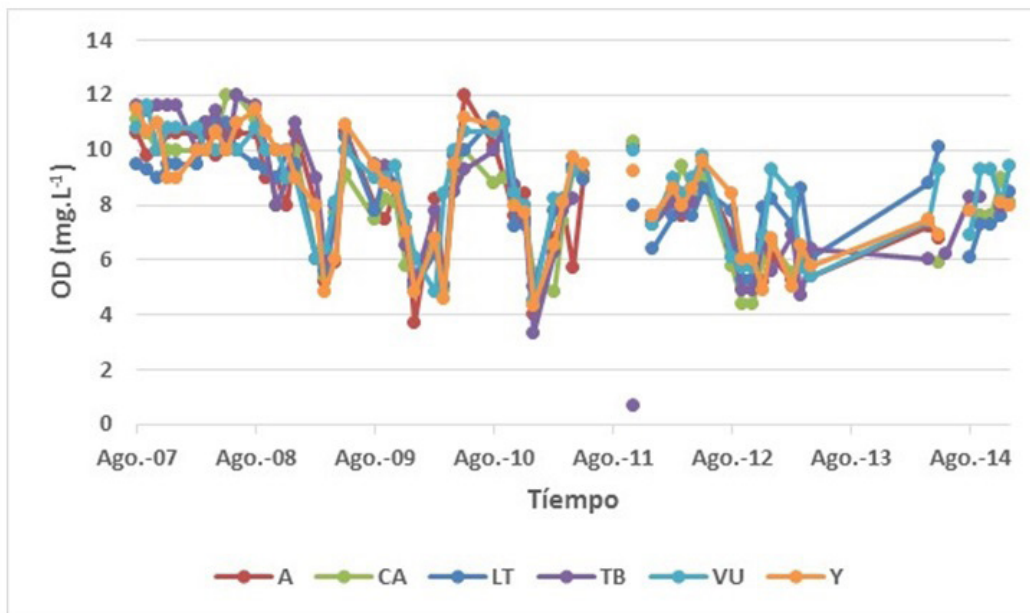


Figura 10. Variación temporal de OD (2007 al 2014)

Figure 10. Temporal variations of DO (2007-2014)

La figura 11 grafica la relación OD/caudal y muestra su alta variabilidad en los seis sitios de muestreo. Si bien la tendencia es ascendente, gráficamente no resulta tan

evidente debido a que, en general, las aguas presentan en todos los sitios un buen nivel de oxigenación.

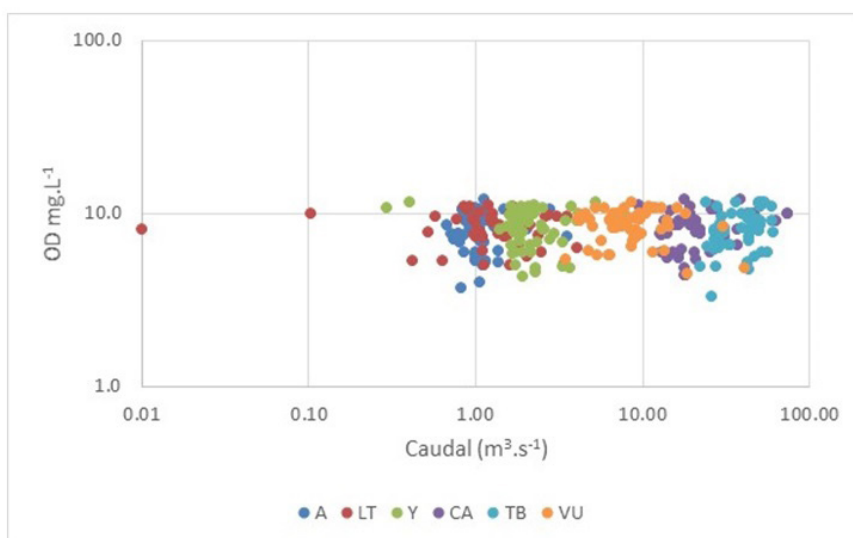


Figura 11. Variación de OD en función del caudal (período 2007-2014)

Figure 11. DO variation as a function of flow rate (2007-2014)

La Figura 12 grafica el índice de evolución temporal (I_{ev}) por sitio, para todas las variables analizadas. En la misma puede observarse una disminución del caudal y un aumento de la DQO y fosfato en diques y arroyos. Los cocientes para DQO resultaron muy cercanos a 2, con un valor muy elevado (> 5) para el sitio Costa Anzorena debido a que concentra la suma de la

contaminación agrícola y urbano-industrial aguas abajo de la ciudad de Tunuyán.

Los fosfatos, en cambio, si bien algunos superan el valor 1 están más cercanos a 1.5 y resultan bastante similares en los 6 sitios de muestreo analizados. La presencia de coliformes fecales, marca una clara disminución que se refleja en el índice (el valor 1 sólo es superado en el Arroyo Yaucha).

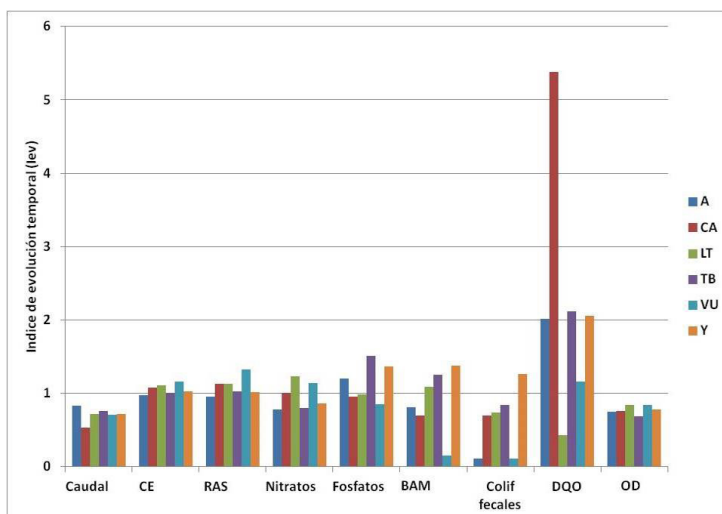


Figura 12. Variación temporal de los parámetros seleccionados

Figure 12. Temporal variations of the selected parameters

Los resultados del análisis estadístico de la comparación para cada variable entre los primeros y los últimos tres años de registros (2007 - 2009 y 2012 - 2014) y su

nivel de significancia figuran en la Tabla 3 y confirman la valoración realizada con el indicador I_{ev}.

Variable	Serie 2007-2009		Valor p
	Media	Serie 2012-2014	
Temperatura (°C)	12.04	13.04	0.0507 ns
CE (µS.cm ⁻¹)	825	879	0.4071 ns
RAS	0.94	1.04	0.5760 ns
Caudal (m ³ .s ⁻¹)	14.73	10.39	0.1906 ns
Nitratos (mg.L ⁻¹)	1.50	1.45	0.9705 ns
Fosfatos (mg.L ⁻¹)	0.61	0.67	0.3297 ns
DQO (mg.L ⁻¹)	17.33	33.76	0.0001 *
OD (mg.L ⁻¹)	9.24	7.2	<0.0001 *
BAM (ufc.mL ⁻¹)	20593	15933	0.0989 ns
Colif. Fec. (NPMcel%ml)	1187	622	0.0010 *

Nota: (*) significativo α = 0.05; (ns) no significativo

Tabla 3. Comparación estadística de variables (2007-2009 versus 2012-2014)

Table 3. Statistical comparison of values 2007-2009 vs 2012-2014

Los resultados indican que sólo existen diferencias significativas entre las dos series para las variables DQO, OD y coliformes fecales.

CONCLUSIONES

La base de datos obtenida presenta coherencia de resultados a lo largo del tiempo a pesar de las limitaciones propias del tipo de muestreo, acotado a lecturas mensuales y con pequeños espacios de ausencia de información. Asimismo, la cantidad de registros y mediciones -a campo y en laboratorio- resultó lo suficientemente grande como para obtener resultados confiables en los parámetros medidos lo que ha permitido caracterizar al recurso hídrico de cada sub-cuenca en función de los valores medios de dichos parámetros.

Los resultados del análisis espacial de la contaminación resultan consistentes con los de otros trabajos anteriores al presente (Morábito *et al.*, 2009a,b y Morábito *et al.*, 2012).

La salinidad del agua expresada como conductividad eléctrica arrojó valores muy bajos en la subcuenca superior (LT, A, Y) y bastante más altos en VU y en la subcuenca inferior (CA y TB), pudiendo comprobarse además, una tendencia creciente en dichos sitios. Una situación similar se observa con el parámetro RAS. Con respecto al contenido de coliformes fecales los registros en CA, TB y A superaron los valores máximos permitidos y tolerados (Resolución 778/96 del DGI, ya mencionada).

Los resultados permiten identificar que las fuentes de contaminación que más impactan en la calidad del agua, acompañando el recorrido del río, son los vuelcos de efluentes domésticos (altos valores de CF y de BAM) y en menor medida producto de la actividad ganadera y agrícola. Entre las pautas de gestión del recurso hídrico se debería asegurar un control más efectivo de los vertidos tanto permanentes como ocasionales de las distintas plantas de tratamiento de efluentes urbanos mediante la activa participación conjunta entre la policía del agua (DGI) y los

organismos de usuarios. La inclusión de la temática ambiental en los distintos niveles educativos fortalecería este objetivo.

La significancia del análisis estadístico de los diferentes parámetros permitió evidenciar a través de los indicadores DQO y OD una disminución de la calidad del agua. No obstante, la carga de coliformes fecales mostró una mejora significativa del recurso (salvo en Y) vinculada a la puesta en funcionamiento de nuevas plantas de tratamiento de efluentes urbanos ubicadas aguas arriba de CA.

Diez años atrás Drovandi *et al.* (2005) en estudios realizados en el embalse El Carrizal localizado en la misma cuenca encontraron valores de DQO menores a 20 mg.L⁻¹ (con una excepción de 84 mg.L⁻¹) y de oxígeno disuelto elevados (mayores a 10 mg.L⁻¹) concluyendo que "no se presentaban síntomas de contaminación orgánica en el agua". Si se comparan estos resultados con los obtenidos en el presente trabajo puede verse un desmejoramiento de la calidad del agua.

En lo referente a las BAM -en Mendoza- el EPAS (2001) establece como máximo 100 ufc por ml para agua potable. No da indicaciones para el resto de los usos (aguas de riego, de actividades recreativas con contacto directo y vida acuática). Analizando otras normas (Parlamento Europeo, 2007), tampoco se mencionan valores límites para los casos de uso recreativo, ni para vertidos. Lo mismo sucede con las normas de Marruecos (SEEE, 2007) para el agua de riego.

Si bien hasta ahora, la calidad del recurso está siendo relativamente conservada, es aconsejable continuar e intensificar el monitoreo para acrecentar la base de datos, con especial atención en aquellos sitios estratégicos que resultan impactados por las actividades antrópicas, fundamentalmente urbano-industriales (vuelco de efluentes de las plantas de tratamiento al cauce del río, disposición de residuos sólidos urbanos a cielo abierto, contaminación urbana de la red de riego) y agropecuarias (presencia de ganadería extensiva, aguas arriba de las fuentes). Asimismo, es importante regular/

limitar en la cuenca superior el crecimiento del área cultivada y la consecuente demanda de agua de manera de minimizar los impactos negativos sobre la calidad del recurso que se deriva a la cuenca inferior (entre otros un aumento progresivo de la salinidad).

Agradecimientos

El proyecto ha contado y cuenta con financiación de la Secretaría de Ciencia, Técnica y Posgrado de la UNCuyo (SECTYP) y de la Corporación Vitivinícola Argentina (COVIAR).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APHA-AWWA-WPCF. 1992. *Métodos normalizados para el análisis de agua potables y residuales*. XVII edición. Ediciones Días de Santos, SA
- Chambouleyron J. 2002. Conflictos Ambientales en áreas regadías. Evaluación de impactos en la cuenca del río Tunuyán, Mendoza, Argentina".UNCuyo -FONCYT -INA, Mendoza. http://www.ina.gov.ar/pdf/Conflictos_Ambientales_Rio_Tunuyan.pdf
- DGI (Departamento General de Irrigación). 1996. Reglamento general para el control de contaminación hídrica. Resolución 778. Mendoza, Argentina
- Drovandi A, Zuluaga J, Filippini M, Bermejillo A, Peralta P, Bustamante M, Ruiz M, Granero A, Morsucci A, Velgas M, Valdes A & Nacif N. 2005. Diagnóstico preliminar del estado trófico del embalse el Carrizal, provincia de Mendoza. *IV Taller Internacional sobre enfoques regionales para el Desarrollo y Gestión de Embalses en la Cuenca del Plata*, Salto Grande Argentina-Uruguay. <http://www.ina.gov.ar/pdf/Cirsa-Limnologia-11%20EL%20CARRIZAL.pdf>
- EPAS (Ente Provincial del Agua y del Saneamiento). 2001. Normas de calidad de aguas y efluentes (Anexos I y II). Límites para aguas de riego de actividades recreativas con contacto directo y vida acuática (Anexo I 5). Mendoza, Argentina. <http://www.siagua.org/sites/default/files/documentos/legislacion/Mendoza.pdf>
- Hoffmann F & Pellegrin JC. 1996. Méthodologies hydrochimiques. P 13-79 En: *Travaux du Laboratoire de Géographie Physique Appliquée* n° 14.. France
- Lavie E. 2009. Impact anthropiques et qualité des eaux dans l'oasis de Mendoza (Argentine): diagnostic, enjeux et durabilité. Tesis doctoral de la Universidad de Burdeos, France : 385 p
- Morábito J, Lavié E, Salatino S, Bermejillo A, Filippini M, Campos S, Dediol C, Medina R, Maffei A, Mastrantonio L, Hernández R, Genovese D & Stocco A. 2013. Calidad del agua de riego de los ríos Mendoza y Tunuyán superior. Tendencias y recomendaciones. *XXIV Congreso Nacional del Agua, trabajo 206*. San Juan, Argentina
- Morábito J, Salatino S, Campos S, Maffei J, Mastrantonio L, Stocco A & Ortiz N. 2012. Estimación de los incrementos de la salinidad del agua superficial en la cuenca del río Tunuyán consecuencia del impacto climático. *XXX Congreso Nacional de Riegos*, Albacete, España: 71-72
- Morábito J, Salatino S, Filippini M, Bermejillo A & Lavie E. 2009. Presencia de nitratos en agua en los oasis Norte y Centro de Mendoza, Argentina: áreas regadías de los ríos Mendoza y Tunuyán Superior.

International Workshop: "Towards new methods to manage nitrate pollution within the Water Framework Directive", OIEau Isonitrate Workshop Final Programme, UNESCO, Paris, France: 38/54

- Morábito J, Salatino S, Medina R, Miralles S, Dediol C, Nacif N, Mastrantonio L, Ortíz N & Burgos V. 2012. Indicadores químico-microbiológicos de calidad de las aguas del río Tunuyán superior (Mendoza, Argentina). *CLICAP. Memorias de Congreso San Rafael*, Mendoza . trabajo 07TCAm.En CD . ISBN 978-987-575-106-4,
- Morábito J, Salatino S, Medina R, Zimmermann M, Filippini M & Bermejillo A. 2009. Evaluación de la calidad del agua en áreas de regadío del río Tunuyán Superior (Prov. de Mendoza) para un aprovechamiento racional y sustentable. *Conagua*, Trelew, Chubut, Argentina : 65. ISBN 978-987-25369-0-9
- Parlamento Europeo. 2007. Directiva 2006/7/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 15 de febrero de 2006 relativa a la Gestión de la Calidad de las aguas de baño y por la que se deroga la directiva 76/160/CEE.
- QGIS. 2015. A Free and Open Source Geographic Information System. Versión 2.12.0. <http://www.qgis.org/en/site/>
- Salatino S, Morábito J & Lavie E. 2014. The Northern and Central Oases of the Province of Mendoza(Argentina): water resources and sustainability challenges. *Proceedings of the international colloquium Oases in the globalization: ruptures and continuities*, Paris, France: 189-195, hal-01138342
- SEEE (Secrétariat d'état Auprès du Ministère de l'Énergie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement). 2007. Chargé de l'Eau et de l'Environnement. Normes de Qualité – Eaux Destinées à l'Irrigation. Maroc.<http://www.susana.org/en/resources/library/details/1836>