

Calidad del agua de riego de los ríos Mendoza y Tunuyán superior.

Tendencias y recomendaciones

*José Morábito*¹⁻², *E. Lavie*³, *S. Salatino*², *A. Bermejillo*¹, *M. Filippini*¹, *S. Campos*¹, *C. Dedioli*¹, *R. Medina*¹, *A. Maffei*¹, *L. Mastrantonio*¹, *R. Hernández*², *D. Genovese*¹, *A. Stocco*¹.

1-Facultad de Ciencias Agrarias – UNCuyo – Alte. Brown 500 – Chacras de Coria, Luján de Cuyo, Mendoza. 2- INA – CRA Belgrano (oeste) 210, (M5500FIF) Mendoza. 3- Universidad Paris-Diderot, 5 rue T. Mann, cc7001 75205 Paris, France.

Email: rhernandez@ina.gob.ar

RESUMEN: El estudio abarca los períodos 2003-2011 (río Mendoza) y 2007-2011 (río Tunuyán superior) partiendo de la hipótesis de un paulatino desmejoramiento de la calidad del agua desde la derivación hasta la finca, como consecuencia del impacto de la actividad antrópica (agrícola, industrial y urbana). Utilizando bases de datos propias con registros mensuales de parámetros físico-químico-microbiológicos se presenta el estado actual de la calidad del agua de riego de cada río y se analizan las tendencias de la contaminación, refiriéndola a la normativa. Asimismo, para ayudar a la toma de decisiones de gestión se obtuvieron distintos indicadores de desempeño que, apoyados en el uso de GIS y Arc View, permiten analizar espacial y temporalmente la evolución de cada parámetro. Se presenta, también, una representación gráfica de la calidad del agua de ambas cuencas a través de un índice integrador Water Quality Index (WQI-DGI). Este índice, propuesto por el Canadian Council of Ministers Environment (CCME), tiene la ventaja de dejar a criterio del investigador la elección de los parámetros que resulten más importantes para cada zona o región y que mejor representen el/los uso/s al que se destine el agua. Los sitios de muestreo fueron estratégicamente elegidos para conocer el origen de la contaminación, ayudar al manejo del recurso y elaborar recomendaciones para su administración: dieciséis en el río Mendoza (3 en río, 5 en la red de canales y 8 en la red de drenaje) y seis en el río Tunuyán superior (4 de ingreso al sistema y 2 de egreso). Los resultados muestran en el río Mendoza un aumento de la salinidad (55 %), los nitratos (178 %) y los fosfatos (dieciséis veces más) entre los puntos más distantes y la cabecera del sistema. El río Tunuyán superior presenta -hasta ahora- una tendencia neutra, con valores de los distintos parámetros bastante más bajos que los exigidos por la normativa, pudiendo observarse: (1) un incremento paulatino de la salinidad a medida que el caudal de los cursos de agua disminuye y (2) una marcada diferenciación de calidad entre las aguas del río propiamente dicho y las de los sitios de egreso de la subcuenca alta.

INTRODUCCIÓN - ANTECEDENTES

La calidad del agua de los oasis regados de la provincia de Mendoza ha venido siendo objeto de estudio del equipo conformado por investigadores del Instituto Nacional del Agua (Centro Regional Andino) y la Universidad Nacional de Cuyo (Facultad de Ciencias Agrarias) desde 1999. Oportunamente el apoyo económico de Foncyt y posteriormente de la Secretaría de Ciencia y Técnica (SECTyP) de la universidad permitió diseñar redes de monitoreo mensual, en base a sitios de muestreo estratégicamente seleccionados en los Oasis Norte (río Mendoza y río Tunuyán inferior) y Centro (río Tunuyán superior) de nuestra provincia.

El siguiente trabajo tiene como objetivo: (1) conocer el estado actual de la calidad del agua de riego y analizar las tendencias de la contaminación; (2) representar espacialmente distintos indicadores de desempeño y (3) presentar el indicador integral de calidad WQI (CCME).

La obtención de registros mensuales de los distintos parámetros físico-químico-microbiológicos, indicadores de contaminación de origen antrópico, sea ésta agrícola (desagües de riego), urbana (presencia de residuos sólidos y vertidos ocasionales de efluentes domésticos y cloacales a la red de riego) o industrial, permitió la sistematización de una importante base de datos, permanentemente actualizada. Los resultados, presentados a través de diagramas de caja, histogramas y/o mapas, hacen posible comparar los niveles de contaminación del agua de riego en toda la extensión de la red, desde el dique derivador hasta bocatoma de finca. El análisis de tendencia brinda -además- una perspectiva del problema que permite imaginar escenarios futuros y planificar acciones de mejora o mitigación.

La información obtenida permitió conocer -en los oasis estudiados- la evolución de cada variable tanto en el tiempo como en el espacio. La obtención de valores medios y sus estadígrafos ha hecho posible caracterizar a nuestras aguas de riego con bastante precisión. Desde nuestro rol de investigadores hemos creído de utilidad poner a disposición del organismo encargado de la administración del agua en Mendoza (Departamento General de Irrigación-DGI) y de los organismos de usuarios (Inspecciones de cauce y Asociaciones de Inspectores de cauce) los resultados obtenidos, en el convencimiento de que podrían ser de ayuda para mejorar la gestión del recurso.

En forma paralela se avanzó en la obtención de indicadores ambientales de desempeño, destinados a facilitar la gestión del recurso agua de riego y la preservación de su calidad. Los resultados se presentan en forma cartográfica, de manera de permitir la rápida comparación de los valores de cada uno de los parámetros que inciden en la calidad del agua con los límites máximos permitidos y/o tolerados por la normativa vigente (Resolución 778/96, del DGI).

No obstante, los indicadores utilizados hasta el momento presentaban el inconveniente de considerar cada parámetro por separado por lo que no resultan suficientemente integradores de la calidad del agua. Al respecto, una exhaustiva búsqueda bibliográfica permitió encontrar al Water Quality Index del Canadian Council of Ministers of Environment (CCME). Este índice es capaz de integrar los distintos parámetros representativos de los diferentes usos del agua y tiene la ventaja de dejar a criterio del investigador la elección de aquéllos que resulten de mayor importancia en función de las características de cada caso de estudio (Lavié et al., 2012).

El presente trabajo pretende sintetizar los resultados obtenidos hasta el momento en relación a la calidad del agua de riego en los oasis Norte y Centro de Mendoza.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del área

La provincia de Mendoza posee una de las mayores superficies bajo riego del país (un poco más de 300.000 ha) a pesar de su clima árido-semiárido (200 mm anuales de precipitación promedio). Sus ríos de origen nival permitieron el desarrollo de verdaderos oasis en los que asientan la población, los cultivos y las industrias. Los ríos Mendoza y Tunuyán inferior conforman el Oasis Norte y el río Tunuyán superior el Oasis Centro. El área regadía del río Mendoza, concentra la población del Gran Mendoza (más de 1.000.000 de habitantes) y la mayor parte de la actividad agrícola e industrial de la provincia. En los últimos años el crecimiento urbano ha avanzado fuertemente sobre áreas originalmente agrícolas, haciendo que la actividad antrópica utilice el recurso y vuelque sus excedentes a la red de riego, contaminándola. Dicha contaminación, debida principalmente, a salinidad, sustancias orgánicas e inorgánicas, metales pesados y organismos patógenos, afecta tanto al agua superficial como a la subterránea, ya que una parte de aquella se infiltra en las áreas de recarga y alimenta los respectivos acuíferos subterráneos, también vulnerables a la contaminación

En nuestros oasis regadíos la agricultura es la mayor demandante del agua y compite, cada día más, con el resto de los usos (urbano -agua potable y saneamiento- industrial, recreativo y energético) transformándola en una limitante para el desarrollo. La problemática de la calidad del recurso está indisolublemente asociada al concepto de sustentabilidad, lo que hace necesario implementar una estrategia de monitoreo continuo de los oasis regadíos. Dicho monitoreo permitirá el seguimiento de la evolución temporal y espacial de la contaminación del agua de riego sobre la base de la identificación de puntos críticos y de causales de polución (fuentes puntuales y no puntuales), desde su ingreso al sistema (derivación) y a lo largo de toda la red de distribución (canales y drenes) hasta bocatoma de propiedad, brindando una información de gran utilidad para la gestión.

El río Mendoza tiene un módulo de 50 m³s⁻¹ y riega 80.000 ha ubicadas mayoritariamente en los departamentos del Gran Mendoza como Maipú, Luján y Las Heras, del norte (Lavalle) y del este provincial (San Martín). Alimenta un importante acuífero subterráneo que constituye la reserva que asegura la sostenibilidad del modelo mediterráneo de cultivos (vid, frutales de carozo y pepita, olivo y hortalizas) y está comenzando a mostrar signos de agotamiento y contaminación en algunos sectores. El río Tunuyán (cuyo módulo es de 30,6 m³ s⁻¹) nace en la cordillera de los Andes (límite oeste de la Argentina con Chile) y en su devenir hacia el este da origen a dos subcuencas: la superior (54.000 ha en el denominado Valle de Uco, conformando el oasis Centro) y la inferior (80.000 ha ubicadas al este del Oasis Norte, en los departamentos San Martín, Rivadavia, Junín, Santa Rosa y La Paz). Ambas subcuencas están divididas por la presa embalse El Carrizal (360 hm³). Para el riego de la subcuenca superior se deriva aproximadamente el 17% del caudal total disponible, el resto se aprovecha en el oasis inferior. Más de 2500 perforaciones completan la provisión de recurso bombeando del acuífero profundo para alimentar principalmente sistemas de riego presurizado (goteo).

El Oasis Centro adquirió especial relevancia a partir de los años 90 por su ubicación geográfica, la calidad de sus suelos y -fundamentalmente- por la calidad y disponibilidad de agua de riego, proveniente de la acumulación névea invernal y de los glaciares andinos. La coyuntura económica de la globalización hizo visibles estas características de excepción a inversores extranjeros quienes, asociados en su mayoría a importantes empresas locales, comenzaron a desarrollar una viticultura de calidad, destinada a exportación y fundada en las reconocidas bondades del cv Malbec, que en estas latitudes alcanza su máxima expresión. Este tipo de emprendimientos adoptó la incorporación de tecnología tanto para el manejo del cultivo como para el riego (más de 45.000 ha con riego presurizado, concentradas principalmente en el denominado Valle de Uco, en los departamentos de Tunuyán, Tupungato y San Carlos). El permanente incremento de la superficie cultivada en la subcuenca alta supone una demanda creciente de agua de riego y afecta el aporte hacia la subcuenca inferior, no sólo disminuyendo los caudales escurridos sino contaminándolos. En efecto, ya se evidencia una tendencia al aumento progresivo de la salinidad del agua, (valores medios de conductividad eléctrica de 1400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Chambouleyron et al, 2002; Morábito et al, 2011)).

Sitios de muestreo

La Figura 1a muestra la ubicación de los sitios de muestreo seleccionados en el río Mendoza: tres en río (R), cinco en canales (C) y ocho en drenes (D) y la Figura 1b los sitios en el río Tunuyán: cuatro de ingreso a la subcuenca superior (LT, VU, A y Y) y dos de egreso hacia la subcuenca inferior (CA y TB). La frecuencia de muestreo fue mensual, acompañada del aforo del caudal pasante en cada sitio.

En laboratorio se siguió la metodología del Standard Methods (AWWA, WPCF APHA, 1992). Los parámetros medidos y analizados fueron:

- físico-químicos: temperatura, sólidos en suspensión 2 hs y sólidos sedimentables compactados 10' (por cono de Imhoff), conductividad eléctrica a 25°C (CE), pH, relación de adsorción de sodio (RAS), cloruros, sodio, potasio, calcio, magnesio, carbonatos y bicarbonatos, nitratos, fosfatos, fósforo, plomo, cobre, zinc y demanda química de oxígeno (DQO), oxígeno disuelto,.

- biológicos: bacterias aerobias mesófilas (BAM) y coliformes totales y fecales (NMP /100 mL-1).

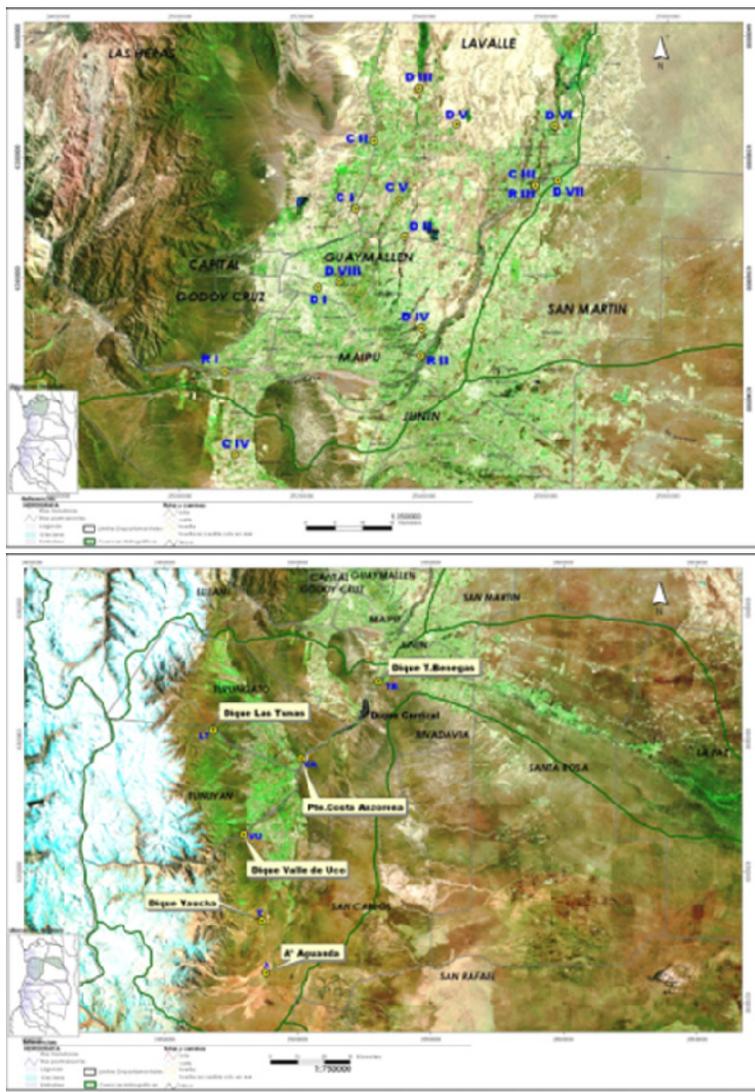


Figura 1: Sitios de muestreo (en azul) en el oasis Norte (a) y Centro de Mendoza (b)

Indicadores de desempeño

A partir de los años 90 se insistió mucho en la necesidad de utilizar indicadores de desempeño. Los mismos deberán ser seleccionados en función de las necesidades y características de cada sistema, de modo de facilitar el monitoreo temporal y espacial de los distintos parámetros (físico-químico-microbiológicos) de calidad del agua de riego. De ellos deberán surgir las acciones de corrección y/o mitigación de los impactos negativos de la contaminación causada por la actividad antrópica. Por definición un parámetro de desempeño es el cociente entre el valor real de una variable y su valor objetivo. Así por ejemplo, el indicador de salinidad estará definido como el cociente entre la salinidad actual del agua para un determinado momento de muestreo y aquél valor de salinidad que permita a un cultivo dado alcanzar su potencial productivo.

El presente equipo de investigación viene trabajando en la obtención de indicadores de calidad del agua de riego de los ríos Mendoza y Tunuyán desde hace un largo tiempo. En base a la normativa provincial vigente

(Resolución 778/96 del DGI) que establece para el vertido directo e indirecto a los cuerpos de agua dos (2) límites máximos: “máximo permitido” y “máximo tolerable”, aplicables a los distintos parámetros contaminantes, se han propuesto -para las aguas superficiales - los siguientes indicadores ambientales: (a) físicos: IC_{ea} (salinidad expresada como conductividad eléctrica) e IT^{°C} (temperatura), (b) químicos: IpH, ICl (cloruros), INa (sodio), IRas (RAS), INO₃ (nitratos), IPO₄ (fosfatos) y ISO₄ (sulfatos) y (c) microbiológicos IOD (oxígeno disuelto) y IColif (coliformes fecales) (Morábito, J.; Salatino, S et al., 2010).

Cálculo del WQI (Water Quality Index)

Este indicador fue desarrollado en el marco del Canadian Council of Ministers of Environment (CCME, 1999, Alberta Environment, 1995; Hébert, 2005; Khan et al. 2005; Lumb et al. 2006; Guzmán-Colis et al., 2011). Se trata de un indicador integrado que tiene a su favor la ventaja de dejar a criterio del investigador la elección -debidamente fundamentada- de los parámetros que lo conformen y puede integrar información no sólo de carácter biológico (como en la mayoría de los índices) sino también físico-química.

Los autores proponen para la selección del Water Quality Index las siguientes siete etapas:

- Elección de parámetros (según importancia, uso y entorno, para cada caso de estudio)
- Fijación de objetivos (referidos a las exigencias de calidad del recurso, i.e., la adopción de normas de contaminación)
- Registros comparables (idéntica escala temporal de las bases de datos para los distintos cursos de agua)
- Cálculo del porcentaje de parámetros que no cumplieron con los niveles objetivo prefijados: (Factor 1): $F1 = (\text{número de parámetros que no cumplieron con los niveles deseables} / \text{número total de parámetros}) \times 100$
- Cálculo del porcentaje de resultados que no cumplieron con los niveles objetivo prefijados (Factor 2): $F2 = (\text{número de resultados que no cumplieron con los niveles deseables} / \text{número total de resultados}) \times 100$
- Cálculo (en etapas) del Factor F3:
 - **Etapa 1:** conocer la magnitud de cada una de las desviaciones observadas en las pruebas que estuvieron fuera de conformidad:

$$\text{desviación}_i = (\text{valor del resultado fuera de conformidad} / \text{nivel deseable}_i) - 1$$

- **Etapa 2:** dividir la suma de estas desviaciones por el número total de resultados

$$snce = \frac{\sum_{i=1}^n \text{desviación}_i}{\text{Número total de resultados}} \quad (1)$$

- **Etapa 3:** cálculo del Factor F3:

$$F3 = \frac{snce}{0,01 snce + 0,01} \times 100 \quad (2)$$

- Cálculo del WQI (valores entre 0 y 100):

$$WQI = 100 - \left(\frac{\sqrt{F1^2 + F2^2 + F3^2}}{1,732} \right) \quad (3)$$

RESULTADOS

Parámetros representativos: valores estadígrafos

Las tablas 1 y 2 presentan valores medios (M) y desviación estándar (DE) de los parámetros seleccionados entre los que conforman las bases de datos oportunamente diseñadas para los ríos Mendoza y Tunuyán superior, respectivamente.

En el caso del río Mendoza (tabla 1) el muestreo está referido al río propiamente dicho en tres (3) sitios representativos: cabecera del sistema de distribución (RI), curso medio (RII) y última derivación / salida del oasis (RIII); a la red de canales de riego en cinco (5), para conocer la contaminación de origen urbano (CI, CII y CIII), agrícola (CIV) e industrial (CV) y a la red de drenaje superficial, en ocho (8) sitios que aportan información relativa al balance hídrico del área de estudio (DI al DVII) y permiten evaluar puntualmente la contaminación industrial (DVIII).

Respecto del parámetro salinidad puede afirmarse que -en general- se trata de aguas que pueden calificarse como de buena calidad. Los registros muestran diferencias importantes entre los sitios R I (origen del sistema), C IV (canal Flores, margen derecha) y C III, el punto más lejano de la red, recientemente impermeabilizado. Si la comparación se realiza entre la parte media del río y su salida del oasis (sitios R II y R III, respectivamente), se evidencia su transformación en un colector de drenajes cuyas aguas presentan menor contenido salino en la salida (R III) a causa de la dilución originada por ocasionales vuelcos de agua superficial. Con referencia a la presencia de cloruros puede verse que la situación está bastante controlada en R I y en la red de canales a excepción de los sitios C V y C II (este último presenta valores elevados sólo en

un par de meses del ciclo). En la tabla 1 puede verse también que, a medida que el río deviene su curso aumenta el contenido de sólidos en suspensión de sus aguas.

Tabla 1: Río Mendoza, parámetros de calidad del agua de riego

<i>Sitio</i>	<i>E</i>	<i>T</i> (°C)	<i>pH</i>	<i>CE</i> (μ S/cm)	<i>RAS</i>	<i>Na</i> (meq/L)	<i>Cl</i> (meq/L)	<i>SO₄</i> (meq/L)	<i>Nitratos</i> (meq/L)	<i>Fosfatos</i> (meq/L)	<i>Colif. fecales</i> (NMP/100mL)	<i>DQO</i> (mg/L)	<i>SS 10'</i> (mL/L)
R I	M	15.4	7.66	887	1.07	2.10	1.88	5.80	1.54	0.44	66	17.7	0.01
	DE	3.5	0.45	103	0.25	0.53	0.63	0.82	0.95	0.44	276	23.4	0.06
R II	M	18.9	7.65	2242	2.03	6.50	4.65	19.01	2.11	1.75	2244	24.8	0.20
	DE	5.2	0.36	422	0.61	2.21	1.40	4.84	0.91	2.30	5282	23.8	0.54
R III	M	17.1	7.72	1881	2.22	6.22	4.44	13.38	4.83	8.13	1724	60.3	0.21
	DE	6.1	0.44	577	0.79	2.68	1.66	5.38	3.64	5.75	4832	56.0	0.31
C I	M	15.3	7.66	1102	1.25	2.77	2.47	6.98	4.07	0.95	3289	16.7	0.07
	DE	4.1	0.37	260	0.35	1.03	1.09	2.02	3.64	0.89	6173	12.6	0.12
C II	M	14.9	7.57	1309	1.88	4.35	3.25	8.41	5.25	2.33	4331	22.0	0.20
	DE	4.0	0.36	433	0.83	2.59	1.87	2.98	4.37	1.87	13474	19.7	0.26
C III	M	15.1	7.82	983	1.22	2.88	2.60	7.02	1.55	0.33	324	26.4	0.09
	DE	4.3	0.36	339	0.44	1.92	1.50	4.00	0.31	0.11	909	36.7	0.25
C IV	M	14.6	7.82	885	1.10	2.25	2.15	6.06	2.13	0.46	1186	26.3	16.86
	DE	3.8	0.37	108	0.42	1.83	1.47	4.69	1.10	0.24	2519	32.6	131.36
C V	M	15.6	7.48	1483	1.44	3.82	3.57	10.18	2.16	1.24	501842	91.2	0.69
	DE	3.7	0.31	498	0.42	1.58	1.56	4.00	1.94	1.03	1420153	93.3	0.69
D I	M	17.8	7.38	1218	1.61	3.61	3.63	6.98	2.36	1.45	-	-	-
	DE	5.1	0.58	551	1.35	3.60	3.66	2.81	1.43	1.01	-	-	-
D II	M	18.8	7.72	3860	3.93	16.67	13.78	30.43	-	-	-	-	-
	DE	5.8	0.40	1229	1.50	8.56	6.96	10.83	-	-	-	-	-
D III	M	15.4	7.76	2474	2.82	9.49	7.73	18.19	2.79	1.15	-	-	-
	DE	4.7	0.29	824	1.20	5.24	3.91	7.35	2.12	0.74	-	-	-
D IV	M	18.8	7.58	3779	3.00	12.79	10.29	34.95	2.22	0.37	-	-	-
	DE	5.9	0.44	726	1.63	6.76	3.93	8.67	0.45	0.04	-	-	-
D V	M	15.0	7.78	1843	1.78	5.30	4.77	13.21	2.96	0.72	-	-	-
	DE	4.5	0.40	556	0.70	3.15	2.57	5.59	2.23	0.53	-	-	-
D VI	M	16.3	7.67	5162	6.93	29.93	13.65	47.61	1.03	0.57	-	-	-
	DE	4.2	0.36	574	1.65	5.63	3.00	7.48	1.22	0.39	-	-	-
D VII	M	16.0	7.66	4258	5.17	21.06	10.78	35.07	0.67	1.40	-	-	-
	DE	5.8	0.41	720	1.48	6.60	3.01	10.20	0.32	0.35	-	-	-
D VIII	M	19.5	6.81	1730	2.12	5.67	4.91	10.23	1.77	9.76	-	-	-
	DE	3.5	0.62	324	0.82	2.12	1.87	5.30	0.00	0.00	-	-	-

En relación al contenido de nitratos se observa un incremento significativo en los sitios ubicados a la salida del oasis (final o “cola” de la red de riego) respecto de la cabecera del sistema (R I): este incremento es del 164 % en C I y del 241 % en C II y puede atribuirse a: (1) contaminación urbana difusa (C I) y (2) ocasionales vuelcos de efluentes domésticos de la planta Campo Espejo al Canal Jocolí (C II). Respecto de los drenes, todos están por debajo de lo medido en C I y C II (el contenido más alto de nitrógeno registrado en drenes fue un 44 % menor al registrado en C II).

En cuanto a la presencia de fosfatos no se observan diferencias en río, canales o drenes. La contaminación aparece extendida en todo el oasis; todos los valores superan los 0,1 me L-1, evidenciándose en algunos sitios la presión antrópica del sistema, originada fundamentalmente en la baja eficiencia de los tratamientos que se llevan a cabo en las plantas depuradoras de efluentes domésticos (Campo Espejo y Paramillos).

La tabla 2 resume los valores medios registrados por los distintos parámetros responsables de la calidad del agua de riego para el río Tunuyán superior. Así, en cuanto al pH se observan valores similares en todos los sitios que -además- responden a las exigencias de la normativa: 6,5 a 8,2 (máximo permitido) y 5,5 a 9,0 (máximo tolerable) y se encuentran comprendidos entre los límites máximos permitidos y tolerados (tanto de alcalinidad como de acidez).

Tabla 2: Parámetros de calidad del agua del río Tunuyán superior

<i>Sitio</i>	<i>E</i>	<i>T</i> (°C)	<i>pH</i>	<i>CE</i> (μ S/cm)	<i>RAS</i>	<i>Na</i> (meq/L)	<i>Cl</i> (meq/L)	<i>SO₄</i> (meq/L)	<i>Nitratos</i> (meq/L)	<i>Fosfatos</i> (meq/L)	<i>Colif. fecales</i> (NMP/100mL)	<i>DQO</i> (mg/L)	<i>SS 10'</i> (mL/L)
A	M	13.1	7.58	420	0.61	0.67	0.56	2.85	0.96	0.54	1022	21.2	20.84
	DE	4.5	0.36	40	0.14	0.38	0.27	0.65	0.89	0.32	3683	24.6	92.18
CA	M	12.4	7.56	1258	1.36	2.53	2.91	8.99	1.21	0.67	2313	44.8	0.17
	DE	3.1	0.43	152	0.40	1.48	0.80	1.65	0.78	0.40	5837	61.9	0.18
LT	M	11.7	7.34	503	0.43	0.56	0.57	3.97	1.43	0.46	43	29.2	0.08
	DE	5.3	0.39	90	0.16	0.38	0.30	1.17	0.89	0.57	53	27.7	0.33
TB	M	15.1	7.52	1308	1.50	2.89	3.16	9.15	1.37	0.36	967	82.5	23.04
	DE	4.8	0.42	136	0.41	1.57	0.93	1.46	0.96	0.20	3738	96.7	137.65
VU	M	9.5	7.56	1156	1.38	2.33	3.23	7.65	0.87	0.75	245	29.9	0.32
	DE	2.6	0.40	217	0.64	1.75	1.48	1.45	0.83	0.61	750	32.7	0.82
Y	M	12.0	7.70	255	0.60	0.49	0.52	1.31	1.24	0.58	244	25.5	50.31
	DE	4.1	0.37	34	0.22	0.33	0.35	0.69	0.98	0.51	544	32.8	301.66

Respecto de la salinidad, expresada como conductividad eléctrica (C.E. a 25°C), presenta valores muy bajos en las aguas de la subcuenca alta (LT, A, Y) y bastante más altos en las de la subcuenca baja (CA y TB), sitios en los que la concentración supera el límite máximo permitido (900 μ S/cm) aunque todos los sitios están por debajo del límite máximo tolerable (1800 μ S/cm). La sodicidad, otro parámetro de importancia desde el punto de vista de los cultivos -expresada como relación de adsorción de sodio (RAS)- presenta en general bajos valores. Los registros más altos corresponden a los sitios: VU, CA y TB.

Las concentraciones de anión cloruro al igual que la de catión sodio están por debajo de las exigencias de la normativa: los sitios con mayor presencia y mayor variabilidad son VU, CA y TB. También en estos tres sitios, ahora respecto del anión sulfato, los registros están por encima de los límites permitido y tolerado. El contenido de nitratos (así como su variabilidad) es alto en todos los sitios de muestreo a excepción de VU. En relación al contenido de anión fosfato los valores superan ambos límites máximos y los más críticos se observan en los sitios VU y CA. También puede verse un menor contenido de

fosfatos en TB respecto de CA (esto podría explicarse por un posible consumo a cargo de la biota del embalse o por la sedimentación de los fosfatos debido al arrastre del material en suspensión que decanta en el embalse El Carrizal).

Con respecto a los parámetros microbiológicos, las bacterias Coliformes fecales muestran una gran variabilidad y una ligera diferencia entre los sitios CA; A y TB y el resto, siendo los primeros los que presentan mayores recuentos. Los recuentos obtenidos superan los valores máximos permitido y tolerado.

Por último, los valores más altos de sólidos sedimentables en 10 minutos (SS10') se observan en Y, TB y A, lo que resulta coherente con las altas pendientes existentes (Y y A) y la alta velocidad de las aguas que arrastran abundante material (a posteriori este material en suspensión queda atrapado en el Embalse El Carrizal). El incremento en TB se debe a las erogaciones de la presa El Carrizal que derivan un gran caudal sobre el lecho del río.

Indicadores ambientales de desempeño

Se presentan aquí -por razones de espacio- sólo dos indicadores (Figura 2) seleccionados del conjunto elaborado para monitorear la calidad del agua del río Mendoza: Icea P e IDQO P (indicadores permitidos de salinidad y demanda química de oxígeno, respectivamente). La salinidad del agua afecta directamente a la producción y al rendimiento de los cultivos y la demanda química de oxígeno pone de manifiesto una evidente contaminación de origen antrópico que afecta esencialmente la vida animal.

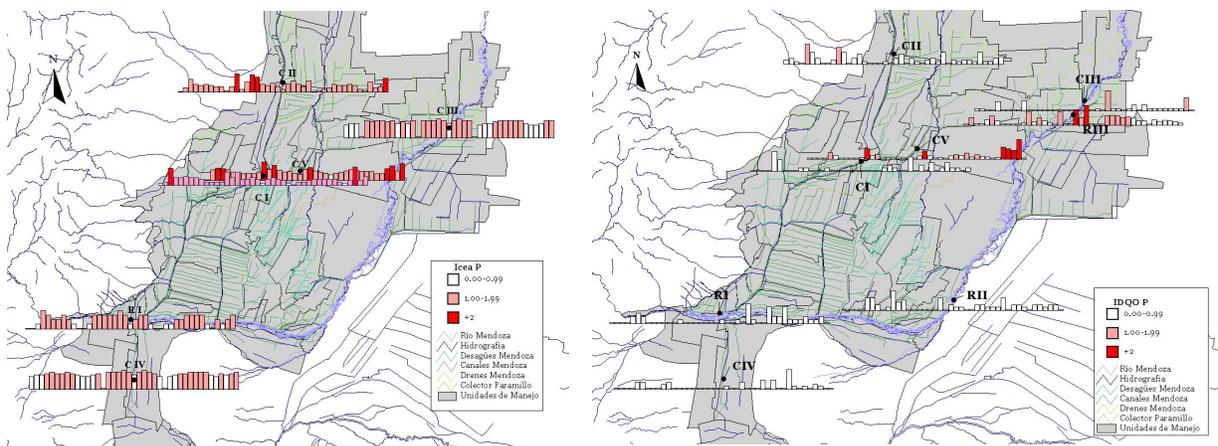


Figura 2: Salinidad en canales río Mendoza (Icea P) y Demanda Química de Oxígeno en río Mendoza (IDQO P)

Rápidamente se visualiza en cada sitio de muestreo del área de estudio, a través de un gráfico de barras coloreadas, la variación temporal del parámetro analizado y los “picos” de contaminación registrados durante el muestreo (barras color rojo intenso). A través de esta sencilla herramienta, el administrador del recurso

puede conocer las posibles causas de contaminación, decidir las medidas necesarias para solucionar (o mitigar) el problema y elaborar las recomendaciones de manejo pertinentes.

Índice integrado de calidad (WQI)

Siguiendo la metodología propuesta, en la tabla 3 puede verse el listado oportunamente utilizado para la construcción del índice integrado de calidad WQI-DGI, así denominado por haber incluido en él sólo aquellos parámetros físico-químico-biológicos con límites máximos permitidos por la normativa provincial vigente (Resolución 778/96 - DGI). Los mismos fueron obtenidos de las bases de datos antes citadas (tablas 1 y 2). La tabla 4 hace referencia a la calificación de calidad de las aguas (definida en función de rangos de WQI) propuesta por el CCME en función de la frecuencia con que la misma se acerque o aleje de los valores naturales o deseables. El índice permite distinguir entre sitios con pocos parámetros problemáticos y otros con muchos problemas de calidad.

Tabla 3: Parámetros considerados para la construcción del WQI

Parámetro	Unidad	Valor límite elegido
Temperatura	°C	30
pH	-	6,5 a 8,2
Conductividad eléctrica (CE)	µS/cm a 25°C	900
Relación de Adsorción de Sodio (RAS)	-	6
Sodio (Na)	meq/L	6,52
Cloruros (Cl)	meq/L	5,65
Sulfatos (SO ₄)	meq/L	5,21
Nitratos (NO ₃)	meq/L	45
Fosfatos (PO ₄)	meq/L	0,4
Coliformes fecales	unidades/100mL	200
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L O ₂	75
Sólidos sedimentables 10'	mL/L	0,5

Ref.: la resolución 778/96 del DGI posee dos límites máximos: *permitido y tolerado*.
Para el WQI-DGI se utilizó el primero.

Tabla 4: Categorías de calidad de aguas en función del WQI (CCME, 1999)

Calificación	Rango de WQI	Definición de calidad del agua
Excelente	95-100	Muy cercana a los niveles naturales o deseables
Buena	80-94	Rara vez se aparta de los niveles naturales o deseables
Aceptable	65-79	Algunas veces se aparta de los niveles naturales o deseables
Marginal	45-64	Frecuentemente se aparta de los niveles naturales o deseables
Pobre	0-44	Casi siempre se aparta de los niveles naturales o deseables

La Figura 3 muestra el índice WQI-DGI obtenido para las aguas de los ríos Mendoza y Tunuyán superior en cada uno de los sitios de muestreo, en función de los rangos de WQI del CCME (tabla 4). En la misma se puede ver claramente que de cinco (5) sitios de muestreo -pertenecientes a ambos ríos- ubicados aguas arriba del impacto de la actividad antrópica (RI, LT, VU, A, Y) sólo uno (VU) recibe la calificación de aceptable

mientras el resto posee aguas de buena calidad. Analizándolos en detalle surge que LT sólo exhibe un (1) parámetro por encima del límite máximo permitido (fosfatos) mientras que en R I (origen del sistema del río Mendoza), A e Y (arroyos afluentes del río Tunuyán superior), estos parámetros fueron dos (2). Por su parte, la calificación del agua en el Dique Valle de Uco (cabecera de la red de distribución de agua de riego del Tunuyán superior) es causada por la presión antrópica de ganadería extensiva, frecuente en la zona.

A excepción de lo dicho para VU, el impacto de las actividades antrópicas sobre la calidad del agua (calificada como aceptable) queda evidenciado en los sitios CI, CII (río Mendoza) y CA, TB en el río Tunuyán superior, producto de registrar cinco (5) parámetros (fosfatos, coliformes fecales, sulfatos, RAS y CE) por encima de límite máximo permitido por la normativa del DGI.

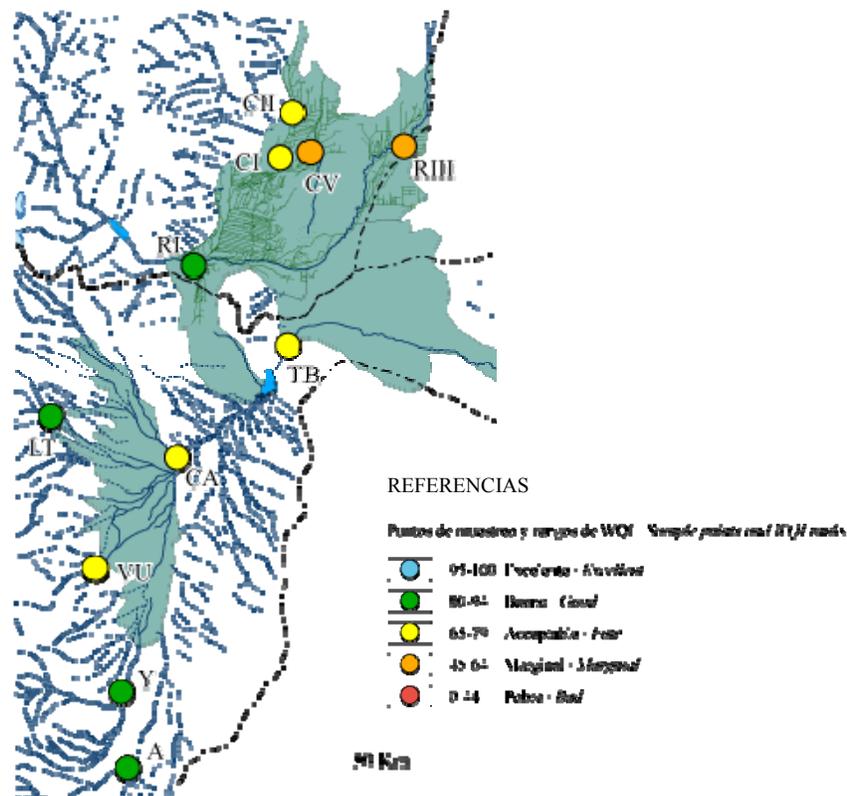


Figura 3: Índice WQI (ríos Mendoza y Tunuyán superior) para los distintos sitios de muestreo

El agua de los sitios CV y RIII (río Mendoza), calificada como pobre exhibe altos registros de contaminación, presentando de cinco (5) a siete (7) parámetros (fosfatos, coliformes fecales, sulfatos, RAS, CE, DQO y SS10') con fuerte variabilidad. (Vale aclarar que no se han incluido en el análisis los sitios RII, CIII, CIV, ni ningún dren, por no contar en ellos con registros de coliformes fecales, DQO y SS10', lo que los hace no comparables).

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En el río Mendoza los resultados muestran un aumento de las variables CE, fosfatos y bacteriología en el sentido aguas arriba-aguas abajo, que puede ser atribuido a las actividades industriales, agrícolas y urbanas que se concentran en el oasis Norte. Por su parte, en el río Tunuyán el índice de calidad WQI-DGI no alcanza a reflejar la importante mejora en la calidad del agua entre los sitios CA (Costa Anzorena, inmediatamente antes del embalse) y TB (Tiburcio Benegas, dique derivador de la subcuenca inferior), atribuibles a los procesos de decantación y dilución que permanentemente se llevan a cabo en el embalse El Carrizal.

Con excepción de VU, sitio que tiene en su cuenca presencia de ganadería extensiva (responsable de los recuentos de coliformes fecales) y salinidad (aporte natural de sulfatos provenientes del yeso existente en los suelos), el WQI-DGI resultó capaz de evidenciar el impacto de las actividades antrópicas sobre la calidad del agua, definida como aceptable, en los sitios CI, CII, (río Mendoza), CA y TB (río Tunuyán) y marginal en CV y RIII, estos últimos sitios receptores de ocasionales vuelcos de efluentes domésticos e industriales fuertemente contaminantes a la red de riego.

Los valores del índice WQI-DGI presentados a nivel espacial coinciden con lo afirmado por Morábito et al (2005, 2007 y 2009) y Lavie et al (2008, 2009 y 2010) respecto del aumento de contaminación aguas arriba-aguas abajo producto del impacto de las distintas actividades de origen antrópico.

Por último, desde lo conceptual y en coincidencia con lo oportunamente analizado por otros investigadores, se percibe en el cálculo del WQI-DGI una posible sobrevaloración del Factor 1 y se adhiere a la teoría de redefinir este factor como un promedio de los valores de F1 y F2. Otro inconveniente que podría plantear el uso de este índice sería el no permitir comparaciones con sus similares obtenidos en otras cuencas. No obstante, es posible proponer sub-índices sintéticos en función del objetivo elegido (Hébert, 2005 y Khan et al., 2005).

REFERENCIAS

- APHA-AWWA-WPCF. (1992). Métodos normalizados para el análisis de agua potables y residuales. Ediciones Días de Santos, sa. XVII edición.
- CCME. *Recommandations canadiennes pour la qualité de l'eau*. 1999. [en línea] <http://www.ec.gc.ca/ceqgrcqe/English/ceqg/water/default.cfm#agr>. 19/09/2008
- DGI (Departamento General de Irrigación). (1996). Reglamento general para el control de contaminación hídrica – Resolución 778. Mendoza – Argentina.
- Guzmán-Colis, g.; Thalasso, F.; et al., (2011). “Evaluación espacio-temporal de la calidad del agua del río San Pedro en el Estado de Aguascalientes, México”. In *Revista internacional de contaminación ambiental*.1991. 89-102
- Hébert, S. (2005). “Comparaison entre l'indice de la qualité générale de l'eau du Québec (IQBP) et l'indice de qualité des eaux du CCME (IQE) pour la protection de la vie aquatique”. Québec, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Direction du suivi de l'état de l'environnement. ISBN 2-550-45900-8, Envirodoq no ENV/2005/0265, collection n°QE/170.. 11 p.

http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/eco_aqua/vieaqua/Comparaison.pdf

- Khan, A-A.; Tobin, A.; et al. (2005). "Application of CCME procedures for deriving site-specific water quality guidelines for the CCME Water Quality Index". *Water Quality Research Journal of Canada*. Vol. 40-4. p. 448-456
- Lavie, E.; Morábito, J.; et al. (2008). "Problèmes de pollution phosphatée de l'eau d'irrigation en zones aval d'oasis : le cas de la quatrième zone agricole irriguée de l'oasis du río Mendoza, Argentine". XIII^o World Water Congress of the IWRA (International Water Resource Association). 01-04 Sept. 2008. Montpellier – Francia
- Lavie, E. (2009) "Activités anthropiques et qualité de l'eau dans l'oasis de Mendoza (Argentine): diagnostic, enjeux et durabilité". Tesis de doctorado en geografía. Universidad de Burdeos, 385 p.
- Lavie E.; Morábito, J.; et al. (2010). "Contaminación por fosfatos en el oasis bajo riego del río Mendoza". *Rev. FCA UNCuyo*. Tomo 42, n° 1, Pág. 169-184. Mendoza – Argentina.
- Lavie, E.; Morábito, J.; et al. (2012). "Aplicación de índices integradores de calidad hídrica al pedemonte andino argentino" (aceptado para su publicación en la Revista Tecnología y Ciencias del Agua, MTA, México)
- Lumb, A.; Halliwell, D.; et al. (2006). "Application of CCME Water Quality Index to monitor water quality: a case study of the Mackenzie river basin, Canada". *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 113-1-3. 2006. 411-429
- Morábito J.; Salatino S. ; et al. (2005). "Calidad del agua en el área regadía del río Mendoza (Argentina)" *Revista de La Facultad de Ciencias Agrarias, Centro de Ediciones Académicas*, v. XXXVII, n. 1, pp. 1-23.
- Morábito J.; Salatino, S.; et al (2007) "Calidad del agua en el área regadía del río Mendoza: temperatura, pH, iones solubles y sólidos". *Revista de La Facultad de Ciencias Agrarias UNCuyo*. Tomo XXXIX # 1. pp 9-20.
- Morábito J.; Salatino S.; et al. (2009). "Evaluación de la calidad del agua en áreas de regadío del río Tunuyán Superior (Prov. de Mendoza) para un aprovechamiento racional y sustentable (1era parte)". Conagua Trelew, Chubut, Argentina.
- Morábito J.; Salatino S.; et al (2011). "Indicadores físico químicos de desempeño ambiental: área regadía del río Mendoza, Argentina" (1era parte).