

Presencia de nitratos en agua en los oasis Norte y Centro de Mendoza, Argentina: áreas regadías de los ríos Mendoza y Tunuyán Superior

J. Morábito^{1,2}, S. Salatino¹, M. Filippini², A. Bermejillo², E. Lavie³

(1) Centro Regional Andino del Instituto Nacional del Agua (INA – CRA)

(2) Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cuyo

(3) UMR ADES 5185, France. jmorabito@ina.gov.ar

RESUMEN

Mendoza, situada en el centro oeste semiárido de Argentina (lat. 32° 30' – 33° 50' S y long. 67° 50' – 69° 30' O), posee la superficie regadía más importante del país. Su condición de aridez se ve compensada por el caudal que aportan sus cinco ríos de origen nival que corren de Oeste a Este y dan origen a los denominados “oasis” cultivados (4% de la superficie total provincial) en los que se asienta la población y se desarrolla una importante actividad agroindustrial. Los oasis más importantes son el “Norte” (conformado por los ríos Mendoza y Tunuyán inferior), que alberga al Gran Mendoza con más de 1 millón de habitantes y el “Centro” (Río Tunuyán superior) que corresponde a la región conocida como Valle de Uco. Esta descripción permite comprender la importancia que el recurso hídrico posee para sus habitantes, ya desde épocas incaicas y precoloniales. La preocupación de investigadores y administradores del agua (Departamento General de Irrigación, DGI y Organismos de usuarios) ha ido variando en el tiempo, acompañando la evolución del desarrollo provincial. Hoy, la realidad exige poner el acento en la preservación de la calidad del recurso mediante un adecuado monitoreo de parámetros físico-químico-microbiológicos.

Son *objetivos* del trabajo evaluar niveles, detectar variaciones espaciales y temporales de contaminación por nitratos de origen antrópico en el agua de riego de ambos ríos - Mendoza y Tunuyán superior- y ayudar a elaborar recomendaciones de manejo y pautas de política hídrica que aseguren la disponibilidad y preservación de la calidad. Se trabajó, en ambos ríos, con sitios de muestreo georeferenciados, considerando los diversos agentes contaminantes y los posibles lugares de vuelco. Para el **Río Mendoza** se seleccionaron dieciséis (16) puntos distribuidos a lo largo del río y de la red de canales de riego y drenaje, en los ciclos 2003/2009. Para la cuenca del **Río Tunuyán superior** los puntos elegidos fueron seis (6) y se compararon los ciclos 1999/2000 y 2007/2009, correspondientes a dos períodos de medición.

Los resultados confirman la hipótesis de contaminación nitrogenada del agua del río y de la red de riego del río Mendoza a medida que ésta se aleja de la cabecera del sistema con diferencias significativas ($\alpha=0,05$). El valor máximo promedio observado es de 6,2 mgL⁻¹. Para la cuenca del río Tunuyán Superior los resultados arrojan diferencias significativas ($\alpha = 0.05$) entre ciclos de muestreo. Si el análisis se hace espacialmente para cada ciclo puede verse que para el ciclo 99/00 sólo existen diferencias significativas entre el A° Aguanda (A) y Costa Anzorena (CA). Por el contrario, para el ciclo 07/09 no se encontraron diferencias entre sitios de muestreo. El valor máximo promedio observado es de 2,33 mg L⁻¹. El incremento de la contaminación confirma la necesidad de diseñar un adecuado monitoreo que permita coordinar el manejo de la red para preservar la calidad actual del recurso hídrico. Para ello se deberán implementar, mediante la participación de todos los actores involucrados, políticas de mitigación de los posibles impactos.

Palabras clave: contaminación hídrica, polución, impacto, calidad del agua.

INTRODUCCION

Los compuestos de nitrógeno y fósforo son nutrientes esenciales, responsables del crecimiento desmesurado de algas y otras especies sintomáticas de masas de agua eutróficas. Es sabido que -además del serio impacto sobre el uso humano del agua- la eutrofización puede provocar cambios mayores en las cadenas alimenticias acuáticas y en la productividad de los ecosistemas.

En relación al nitrógeno puede decirse que se trata de un nutriente fundamental del que depende la vida vegetal, microbiana y animal. El nitrógeno inorgánico, medido como la suma de nitrato más nitrito, es un indicador del grado de estrés trófico de los ecosistemas como resultado de las actividades del ser humano. Los caminos que sigue el nitrógeno al viajar por el medio ambiente son complejos. Por ser el gas más abundante en la atmósfera, llega a las cuencas mediante procesos naturales que incluyen la transformación química, el lavado (precipitaciones) y la fijación biológica. Hoy en día las actividades humanas normales han acelerado enormemente el transporte de nitrógeno reactivo a través de las cuencas fluviales, que en última instancia descargan este nutriente sobre las aguas costeras (Galloway et al., 2004). Globalmente, la descarga de este elemento a los océanos se ha duplicado, multiplicándose por más de diez en algunos ríos que drenan regiones industrializadas (Green et al., 2004). Estos aumentos surgen de la aplicación generalizada de fertilizantes, de las explotaciones pecuarias y de los vertidos de aguas residuales. Los fertilizantes son la fuente predominante en las principales regiones productoras de alimentos; otra fuente de importancia la constituye el ganado (caso de Europa del Este e India, por ejemplo). Además, las aguas residuales urbanas crean focos de contaminación localizados. Comprender los patrones de tales cargas es esencial para el diseño de las intervenciones de gestión dirigidas a proteger a la sociedad y a asegurar el buen funcionamiento de los ecosistemas.

Los nitratos están naturalmente presentes en el medio en valores que oscilan alrededor de los 3 mg L⁻¹; de hecho se considera contaminación antrópica cuando estos valores superan los 5 mg L⁻¹ (E. Lavie, 2009). Asimismo cuando se superan los 10 mg L⁻¹ se enciende una señal de alerta. Estimaciones realizadas en Francia (Hoffmann y Tarrise, 2000) consideran que las consecuencias para el ecosistema son irreversibles a partir de una concentración superior a 10 mg L⁻¹. En ese país la Agencia del Agua clasifica como de *muy buena calidad* aguas con 2 mg L⁻¹ y como de *buena calidad* aguas que posean hasta 10 mg L⁻¹ de nitratos (Lavie, 2009). En Mendoza, la calidad de vertidos directos e indirectos a los cuerpos receptores (red de riego y drenaje) está regida por la Resolución 778/96 del D.G.I. que establece dos (2) límites: un “*máximo permitido*” y un “*máximo tolerable*”. Para el caso del nitrato estos límites son \leq a 45 y 45 mg L⁻¹, respectivamente.

En los últimos años los investigadores en el campo de los recursos hídricos de Institutos (Centro Regional Andino – INA) y Universidades (Facultad de Ciencias Agrarias UNCuyo) -preocupados por la preservación de su actual calidad- vienen trabajando en el relevamiento de parámetros físico-químico-microbiológicos y en la decantación de bases de datos que, sistematizadas bajo la forma de indicadores, permiten el monitoreo espacial y temporal de la contaminación de origen antrópico en dos de los cinco ríos más importantes de la Provincia de Mendoza: Mendoza (Oasis Norte) y Tunuyán Superior (Oasis Centro). Este conocimiento del estado de la contaminación de los oasis regadíos permitirá conocer los distintos responsables y orígenes de la contaminación

(agricultura, industria, uso doméstico) facilitando a los responsables de la administración del recurso (estatales y organismos de usuarios) las acciones de remediación de los impactos negativos. En este marco conceptual se inscribe la problemática del análisis de la presencia de anión nitrato como elemento determinante de la contaminación del agua de riego tanto a nivel de río propiamente dicho como en la red de canales de riego y de drenaje superficial, el conocer la evolución de la contaminación y la respuesta de la gestión para mantenerla bajo control. En los oasis regadíos de Mendoza predominan los cultivos permanentes como vid y frutales (de carozo y de pepita) acompañados de hortalizas como ajo, cebolla, tomate, papa y verduras de hoja verde que reciben –especialmente estas últimas- abundantes y frecuentes fertilizaciones de base nitrogenada (abonos orgánicos como guano de cabra y/o gallina e inorgánicos como urea o triple 15). Estas prácticas culturales y sus implicancias en la contaminación nitrogenada del agua de riego constituyen el fundamento del presente trabajo en relación con la agricultura regadía y con la salud de los habitantes rurales y de sus animales.

El Oasis Norte de la provincia de Mendoza (2.700 km²) se ubica en la región centro-oeste de Argentina, entre las latitudes 32° 30' – 33° 50' S y longitudes 67° 50' – 69° 30' O, correspondiendo a una franja árida del país con 200 mm de precipitaciones anuales, a lo largo del costado oriental de la Cordillera de Los Andes y a sotavento de la misma (Figura 1). En el pedemonte y la llanura predominan las condiciones de aridez mientras que por el contrario en la zona cordillerana, se registra un balance hídrico positivo, constituyéndose en la única fuente de suministro de agua para las zonas habitadas (ubicadas en las zonas más bajas de la cuenca), a través de los flujos superficiales y subterráneos.

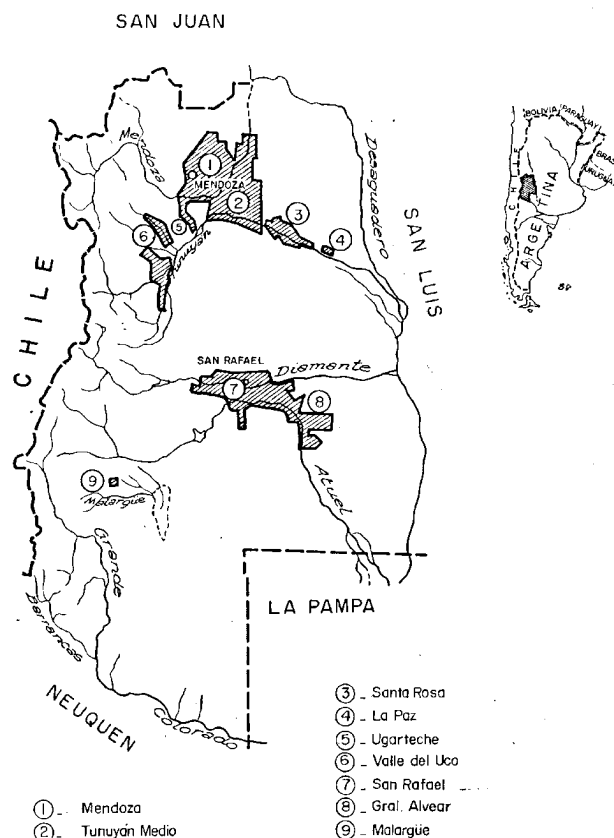


Figura 1: Localización de la provincia de Mendoza y áreas de riego: oasis norte (1 al 5) y oasis centro (6)

Como consecuencia de lo antes mencionado surge que el recurso hídrico del Oasis Norte, cuya disponibilidad es muy limitada y variable -debido tanto a las escasas precipitaciones como a las oscilaciones climáticas- constituye el factor de la producción más importante para el sector agrario, el cual representa la base del desarrollo económico de la provincia de Mendoza. En efecto, el agro (agricultura + agroindustria) ocupa un lugar destacado en la economía mendocina participando en aproximadamente el 20% del producto bruto geográfico, el 50% de las exportaciones y dando trabajo al 23% de la población económicamente activa (Gervasi, 2001).

Desde el punto de vista estructural el Oasis Norte está constituido esencialmente por dos áreas sistematizadas, cuyo suministro de agua depende de dos sistemas hidrológicos distintos: los ríos Mendoza y Tunuyán. El área regadía del río Mendoza es -sin dudas- la más importante de la provincia (aproximadamente 80.000 ha cultivadas), sobre ella está asentada gran parte de la población provincial (más de 1 millón de habitantes, concentrados en el Gran Mendoza) y cuenta con un gran desarrollo agrícola e industrial y con actividades que involucran al resto de los usos del agua (potable, recreativo, energético, etc.); desde 2001 el río está regulado mediante el Embalse Potrerillos (450 hm³).

A su vez, el río Tunuyán -situado en el centro de la provincia da origen a dos áreas regadías, la *superior* y la *inferior* separados por el dique de embalse El Carrizal, de 360 hm³ de capacidad. El río Tunuyán riega -en su subcuenca superior- 54.000 ha en el denominado Valle de Uco (Departamentos Tupungato, Tunuyán y San Carlos) que conforman el Oasis Centro y 80.000 ha más -aguas abajo- en la subcuenca inferior. La importancia económica actual del área de estudio (moderna viticultura tecnificada para exportación, variedades emblemáticas como Malbec y grandes inversiones de capitales locales y/o multinacionales asociados), obliga al conocimiento y permanente control de la calidad del agua para vigilar la sostenibilidad de los modelos productivos de ambas cuencas. Estudios anteriores (Chambouleyron et al, 2002) muestran una tendencia progresiva al aumento de la salinización del agua (1.4 dS m⁻¹) y de los suelos de la cuenca inferior.

Desde el punto de vista de la administración y la gestión del recurso hídrico provincial Mendoza cuenta -desde 1884- con una ley de aguas considerada modelo para su época y con un Departamento General de Irrigación (DGI), organismo descentralizado autónomo y autárquico. La autoridad es ejercida por un Superintendente General de Irrigación y un Consejo de cinco miembros (los Subdelegados, uno por cada uno de sus cinco ríos principales) designados por el Poder Ejecutivo con acuerdo del Senado. Los usuarios están organizados en organismos denominados Inspecciones de cauce que -a su vez- están agrupados en Asociaciones y tienen a su cargo el manejo de la red a nivel de canal secundario.

De acuerdo a los datos aportados por la estación de aforos del DGI, el caudal medio del río Mendoza es de 50,1 m³ s⁻¹ y el del río Tunuyán superior es de 30,6 m³ s⁻¹. El segundo río de importancia que integra el Oasis Centro es el río Las Tunas aunque con un caudal muy inferior al primero (su módulo es 2,5 m³ s⁻¹). Además conforman el Oasis Centro, los arroyos Aguanda -con un módulo de 4 m³ s⁻¹ medido en la estación de aforo en cabecera de dique- y Yaucha con un módulo de 6,7 m³ s⁻¹. El aporte volumétrico anual de estos ríos es el siguiente: río Mendoza 1.585 hm³, río Tunuyán

954 hm³ (sólo quedan en la cuenca superior 162 hm³ que representan el 17 %); el río Las Tunas aporta 33 hm³, el Arroyo Aguanda 49 hm³ y el Arroyo Yaucha 81 hm³.

Desde hace algún tiempo (años 99/2000), el Centro Regional Andino del INA y la Facultad de Ciencias Agrarias de la UNCuyo han incorporado la temática del análisis de calidad de las aguas de los ríos Mendoza y Tunuyán superior a sus líneas de investigación. Se dispone así de una base de datos que permite conocer la evolución de los distintos parámetros relevantes para calificar la calidad del agua de riego, entre ellos la presencia de nitratos. Esta información podrá servir de base -en el futuro- para cuantificar en términos económicos los impactos ambientales sobre el medio físico-natural y los costos de restauración, mitigación o prevención de esos impactos.

Objetivos

Los *objetivos generales* del trabajo fueron evaluar niveles y detectar variaciones espaciales y temporales de contaminación por nitratos de origen antrópico en el agua de riego de ambos ríos: Mendoza y Tunuyán superior. Como *objetivos específicos* puede citarse: confeccionar -para cada río- una base de datos que pueda ser permanentemente actualizada y ayudar a elaborar recomendaciones de manejo y pautas de política hídrica que aseguren la disponibilidad y preservación de la calidad del agua, destinadas a los administradores del recurso (DGI, Asociaciones de Inspecciones de cauce, usuarios).

Materiales y métodos

- *Sitios y frecuencia de muestreo*: para conocer la evolución de la calidad del agua se trabajó, en ambos ríos, con sitios de muestreo oportunamente georeferenciados:

Río Mendoza (Figura 2): dieciséis (16) puntos distribuidos a lo largo del río y de la red de canales de riego y drenaje, considerando los distintos agentes contaminantes y los posibles lugares de vuelco: río (3 = denominados R_I, R_II y R_III), canales de riego (5 = C_I hasta C_V) y drenes (8 = D_I hasta D_VIII):

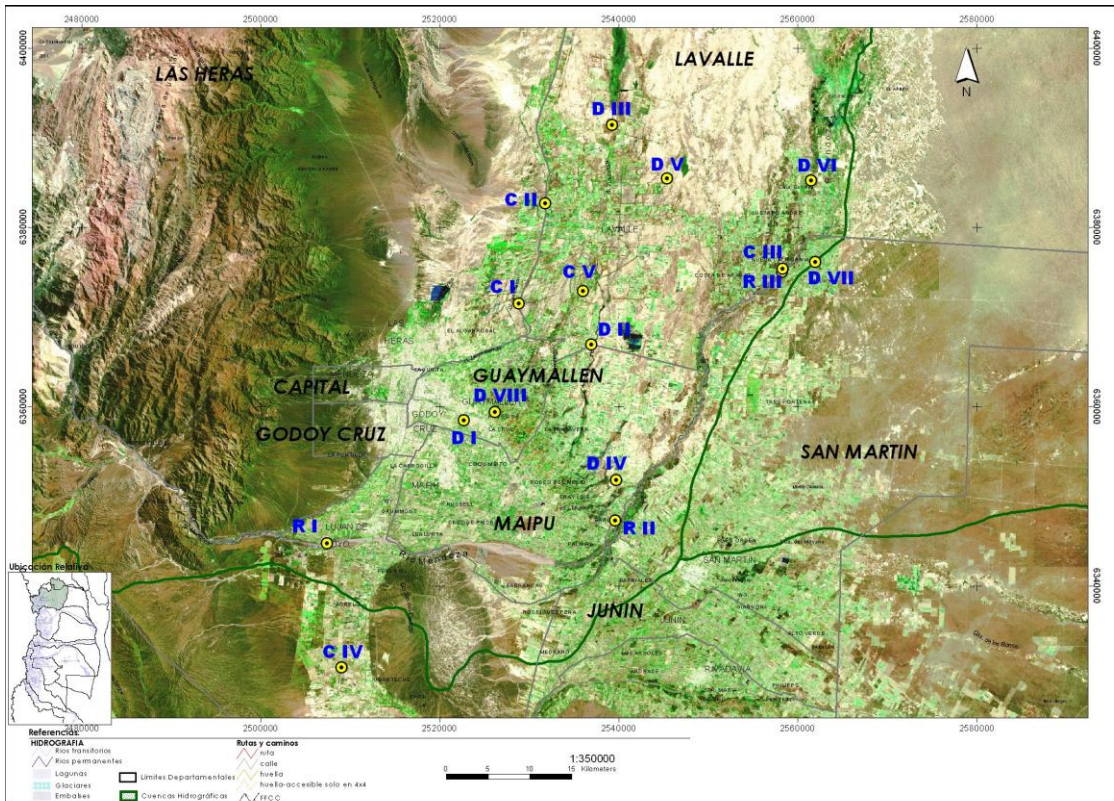


Figura 2: área regadía del río Mendoza con sitios de muestreo y zonas de riego

Río Tunuyán superior (Figura 3): seis (6) puntos (cuatro de ingreso y dos de egreso): LT (río Las Tunas), VU (dique Valle de Uco), Y (A° Yaucha), A (A° Aguanda), CA (río en Costa Anzorena) y TB (dique Tiburcio Benegas).

Las muestras de agua fueron tomadas con una frecuencia mensual –aproximadamente– entre las 8 y las 20 horas desde 2003 hasta la fecha en el caso del río Mendoza y desde agosto de 2007 hasta marzo de 2009 en el río Tunuyán superior. *En los meses de invierno se realiza la corta anual de agua para limpieza de los cauces mientras que en enero la falta de muestras respondió a razones operativas.* En el caso del río Tunuyán superior se dispuso –además– de una base de datos obtenidos en la campaña agrícola 1999/2000 que permitió realizar una comparación de la evolución de la calidad del agua en los últimos diez años.

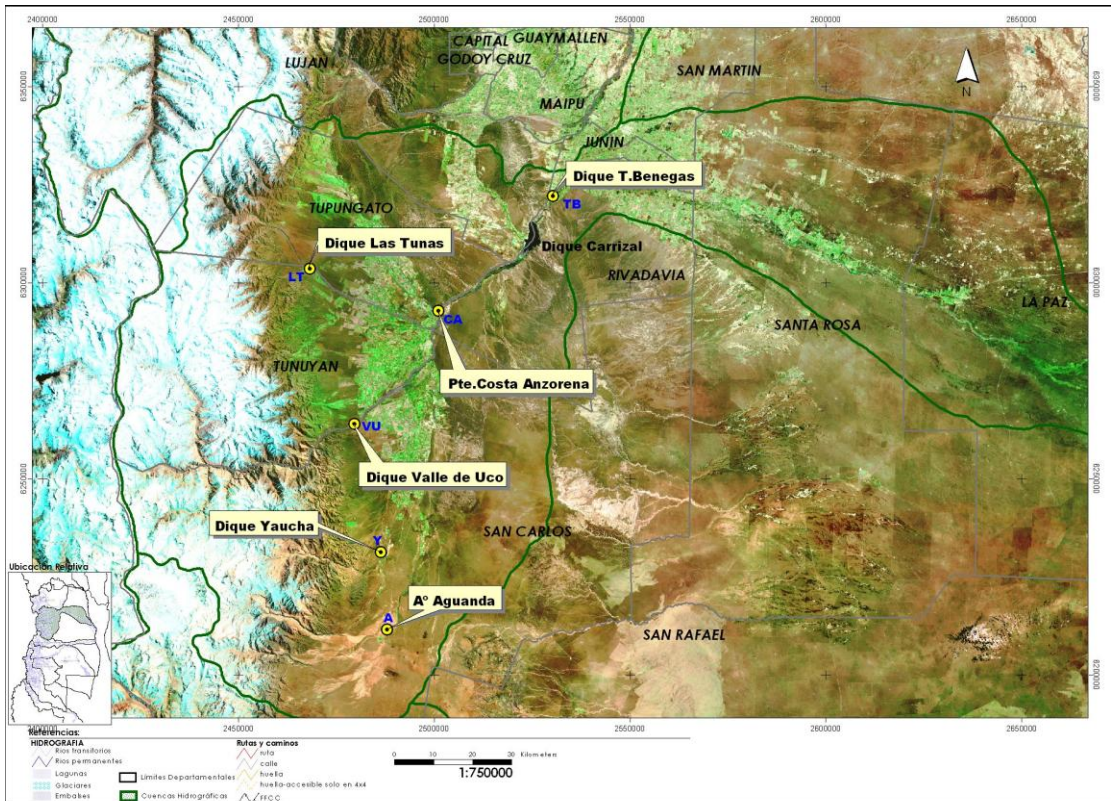


Figura 3: cuenca del río Tunuyán y puntos de muestreo (en azul)

- Parámetros analizados

Para el análisis químico de los nitratos se utilizó un espectrofotómetro HACH (DR/2400) utilizando la técnica Nitrate - Method 8171 Cadmium Reduction Method MR (0.1 to 10.0 mg/L $\text{NO}_3^- - \text{N}$). Cada muestra se acompañó con los registros de la temperatura del agua y del caudal pasante. Este último fue determinado por aforo directo (sección y velocidad) en la mayoría de los sitios o suministrado por el DGI en el caso de los diques. En los sitios DII y DVII (drenes de difícil acceso) los caudales fueron *estimados*.

Con los resultados de todos los análisis se confeccionó -para cada río- una base de datos y con ellas se realizó el análisis estadístico de los mismos: *media aritmética, desviación estándar y diagramas de caja y bigote para la variable respuesta y para cada sitio de muestreo*. Para comprobar la existencia o no de diferencias estadísticamente significativas en el contenido de nitratos entre los distintos sitios de muestreo se utilizó el Test de Fisher. Se graficaron -además- las variables observadas respecto al tiempo (análisis temporal) y se analizó el comportamiento espacial de la contaminación considerando la ubicación de los sitios de muestreo, comparando los valores registrados entre sí. En ambos ríos se comparó la variación temporal-espacial de los nitratos desde la cabeza a la cola del sistema. En el río Tunuyán superior se compararon -además- los valores medidos en el ciclo 99/2000 y 2007/2009.

Resultados

1- Caudal circulante y temperatura del agua medidos en el Río Mendoza

La tabla 1 presenta los valores de caudal y temperatura del río Mendoza con sus valores medios y la desviación estándar (D.E.) obtenidos en los distintos sitios de muestreo:

Tabla 1: Caudal y temperatura en los distintos sitios de muestreo

Sitio	Temperatura (° C)		Caudal (m ³ /s)	
	Media	DE	Media	DE
RI	14.8	3.2	41.56	23.70
RII	19.3	5.6	0.51	0.39
RIII	17.0	6.1	4.00	4.13
CI	14.9	4.3	4.32	1.07
CII	14.7	4.2	1.82	0.50
CIII	15.0	4.1	3.20	0.91
CIV	14.6	3.9	0.88	0.60
CV	14.9	3.6	3.37	1.12
DI	17.4	5.3	0.75	0.57
DII	18.7	6.2	1.34	0.96
DIII	15.4	4.8	1.84	1.04
DIV	18.6	6.4	0.002	0.002
DV	15.2	4.6	0.18	0.19
DVI	16.4	4.4	0.05	0.04
DVII	15.7	5.6	0.06	0.11
DVIII	19.1	3.7	0.85	0.70

2- Nitratos en agua en el Río Mendoza

El análisis se realizó comparando: a) los contenidos de anión nitrato en el río propiamente dicho (cabecera (R I), punto medio (R II) y cola (R III) del sistema); b) entre la cabecera del sistema (R I), ubicada en el Dique distribuidor Cipolletti (Luján de Cuyo) y los puntos de muestreo correspondientes a la red de canales de riego (C I al C III y C V en la margen izquierda y C IV en la margen derecha) y c) en la red de drenaje superficial (D I, D III, D IV, DV, D VI y D VII). *El canal C III y los drenes D II, D VII y D VIII no reunieron -por motivos presupuestarios- un número suficiente de muestras, por lo cual no se han analizado estadísticamente.*

La Tabla 2 presenta los valores medios y la desviación estándar de nitratos (mg L⁻¹) según sitio de muestreo y la Figura 4 los valores *medios, mínimos y máximos*, medidos en cada uno de ellos. En la misma puede observarse que la contaminación nitrogenada del agua aumenta en la red de riego del río Mendoza a medida que éste se aleja de la cabecera del sistema. Asimismo puede verse algunos *outliers* (R I, C I, C II, CIV y D VI) y una gran variabilidad en R III, C II y D III, en ese orden.

Tabla 2: nitratos (mg L⁻¹) según sitio de muestreo

Muestra	Media	D.E.	n	LSD Fisher
R_I	1.81	1.09	33	a
R_II	2.66	0.63	2	ab
R_III	5.03	3.89	31	b

Muestra	Media	D.E.	N	LSD Fisher
R_I	1.81	1.09	33	a
C_I	4.49	3.91	32	b
C_II	6.20	4.77	32	c
C_III	1.55	0.31	2	-
C_IV	2.13	1.10	5	ab
C_V	2.11	0.97	31	a

Muestra	Media	D.E.	N	LSD Fisher
D_I	2.36	1.42	3	ab
D_II	0.44	0.00	1	-
D_III	3.25	2.25	32	b
D_IV	2.22	0.44	3	ab
D_V	2.95	2.23	3	ab
D_VI	1.26	1.40	30	a
D_VII	0.66	0.31	2	-
D_VIII	1.77	0.00	1	-

Letras diferentes indican diferencias significativas ($\alpha=0.05$) según test de Fischer

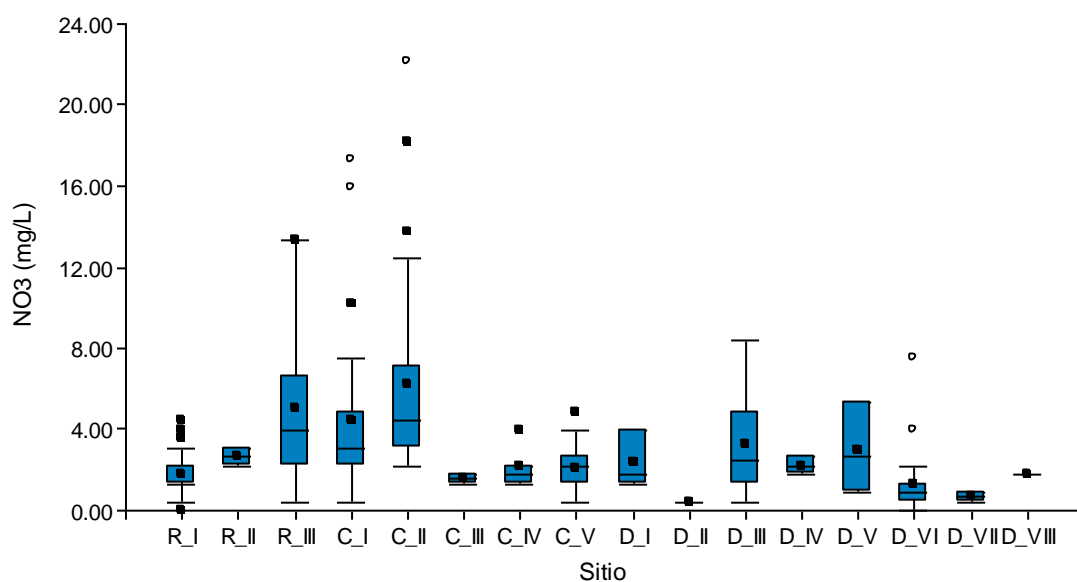


Figura 4: contenidos de anión nitrato en río, canales y drenes del río Mendoza

La variabilidad del sitio R I podría ser atribuida al desarrollo de diversos asentamientos turísticos aguas abajo de la reciente presa Potrerillos y/o a la actividad de diversas industrias ubicadas inmediatamente aguas arriba del mismo. Los sitios C II (Canal Jocolí aguas abajo de la planta depuradora de efluentes domésticos Campo Espejo) y C I (punto final del Canal Cacique Guaymallén que concentra la contaminación de origen urbano de la red) -en ese orden- acompañan al sitio R III en el contenido de nitratos. Los sitios C III, C IV y C V presentan contenidos similares pero con diferente variabilidad y a su vez C III presenta contenidos similares a R I. En la red de drenaje se destacan por su contenido de nitratos los sitios D I, DIII y D V (los dos últimos recogen desagües superficiales de riego), con valores comprendidos entre los de los canales C II - C I y la cola del sistema (R III).

En la Tabla 4 se observa que: a nivel del río existen diferencias significativas ($\alpha = 0.05$) entre R I (1.81 mg L^{-1}) y R III (5.03 mg L^{-1}). Si la comparación se realiza entre la cabecera del sistema (R I) y la red de canales de riego existen diferencias significativas entre R I y C I (4.49 mg L^{-1}) y entre R I y CII (6.02 mg L^{-1}). Asimismo se registra significancia entre C V y C I y entre C V y C II y -finalmente- entre C IV y C II y entre C I y C II. Si el análisis se hace en la red de drenaje superficial se observan diferencias significativas sólo entre D VI y D III.

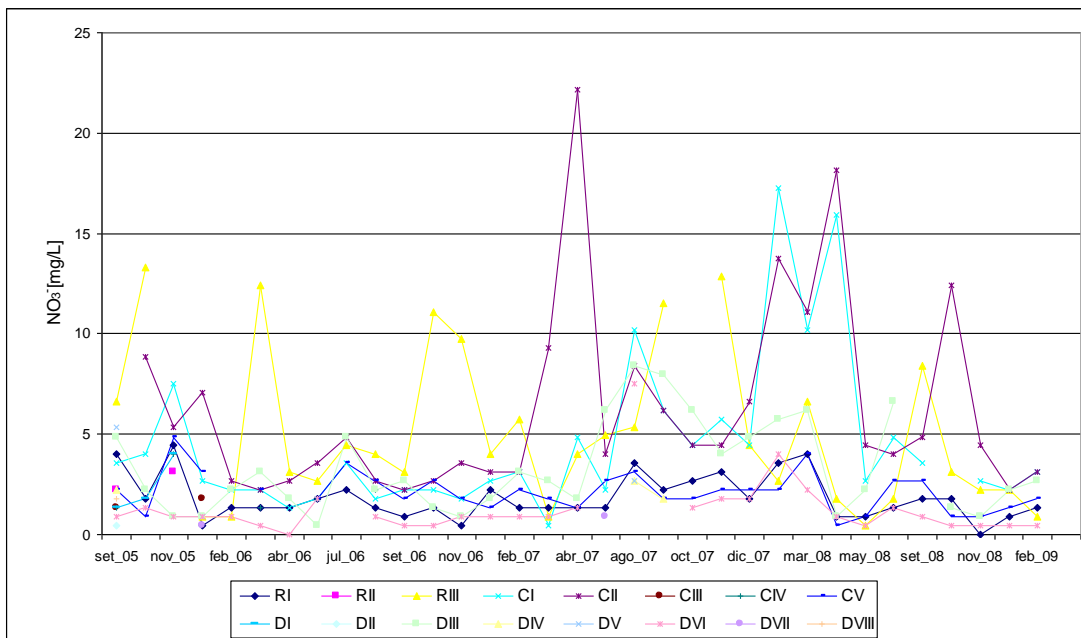


Figura 5 Variación temporal de la concentración de anión nitrato (mg L^{-1})

La Figura 5 muestra la variación temporal de la concentración de anión nitrato en cada punto de muestreo. La contaminación aparece como más sectorizada materializándose en dos grupos: a)- R I, C V y D VI con contenidos más bajos y regulares y b)- R III, CII y C I con mayores contenidos y con “picos” que muestran -en general- una tendencia al incremento. A partir del segundo semestre del 2007, se visualiza un acompañamiento del contenido de nitratos en los sitios C I y CII aunque este último presenta un pico muy importante en abril del mismo año.

3- Caudal circulante y temperatura del agua medidos en río Tunuyán Superior

La Tabla 3 presenta los valores de caudal y temperatura del río Tunuyán Superior con sus valores medios y la desviación estándar (D.E.) para los dos ciclos de medición antes mencionados:

Tabla 3: Caudal y temperatura según sitio y época de muestreo

Sitio	Caudal (m ³ s ⁻¹)				Temperatura (°C)*	
	Feb. 99-May 00		Ago. 07-Feb09		Ago. 07-Feb09	
	Media	D.E.	Media	D.E.	Media	D.E.
LT	2.0	1.4	1.6	0.9	12.5	4.8
VU	14.7	12.5	8.9	3.5	9.4	2.1
Y	1.8	0.2	3.0	1.8	12.3	4.3
A	1.0	0.3	1.3	0.6	13.6	5.0
CA	25.4	13.6	43.0	38.3	12.3	3.6
TB	23.6	17.4	sd	sd	15.4	5.1

Ref.: los caudales fueron suministrados por la Subdelegación del Río Tunuyán Superior (DGI).

(*) No se dispone de datos de temperatura del ciclo 99-00.

Si se observan los registros de caudal circulante en cada uno de los sitios de muestreo puede verse que –a excepción del sitio CA- no hay diferencias relevantes entre los caudales medios registrados en los ciclos 99/00 – 2007/09. Con respecto a la temperatura si bien se observa una estrecha relación entre todos los puntos de muestreo, el Dique Valle de Uco es el que presenta la media más baja; le siguen el Dique Yaucha, Costa Anzorena y el río Las Tunas, con temperaturas muy parecidas y un poco más elevadas; luego el Arroyo Aguanda y –por último- el Dique Tiburcio Benegas (Departamento de Junín).

4- Nitratos en agua - Río Tunuyán Superior

Tabla 4: nitratos (mg L⁻¹) según sitio y época de muestreo

Sitio	Ciclo	Media	DE	N	LSD Fisher
LT	Feb 99/ May 00	1.17	0.810	8	abc
VU		0.71	0.502	8	ab
Y		0.56	0.731	8	ab
A		0.35	0.487	8	a
CA		1.68	0.933	7	bcd
TB		0.58	0.454	7	ab
LT	Ago 07/ Feb 09	1.86	0.753	15	cd
VU		1.92	1.854	15	cd
Y		2.27	1.108	16	d
A		1.80	1.539	16	cd
CA		1.50	1.071	16	bcd
TB		2.33	1.695	15	d

Letras diferentes indican diferencias significativas ($\alpha=0.05$) según test de Fischer

La Tabla 4 presenta valores medios y desviación estándar de anión nitrato (mg L^{-1}) según sitio de muestreo y época de medición. La Figura 6 muestra los valores *medios*, *mínimos* y *máximos*, medidos en cada punto de muestreo en los ciclos 99/00 (verde) y 07/09 (azul). En este último período se observa un incremento del contenido de nitratos en todos los sitios de muestreo, a excepción de Costa Anzorena (CA).

También se observan diferencias significativas entre ciclos de muestreo, en los sitios: VU, Y, A y TB. Si el análisis se hace ahora espacialmente para cada ciclo puede verse que para el período 99/00 sólo existen diferencias significativas entre el Arroyo Aguanda (A) y la entrada al Dique El Carrizal en Costa Anzorena (CA). Para el ciclo 2007/09, en cambio, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre sitios de muestreo. No obstante -en función de la normativa vigente- los valores medidos resultan todavía muy bajos y están bastante lejos de los 45 mg L^{-1} del límite máximo permitido.

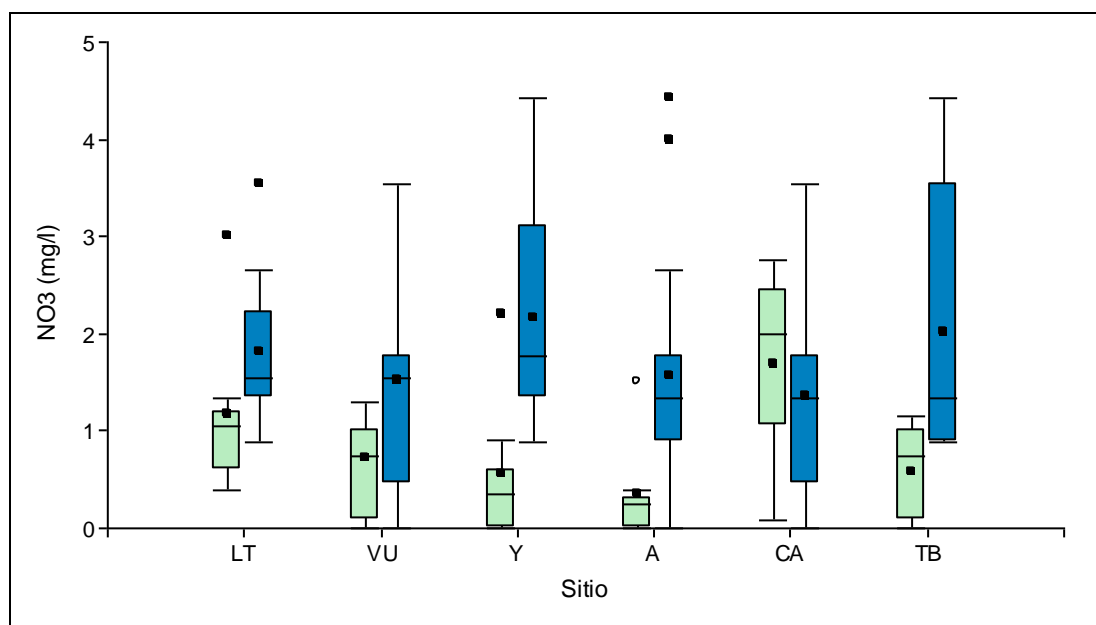


Figura 6: contenido de anión nitrato (mg L^{-1}). Ciclos 99/00 (verde) y 07/09 (azul)

La Figura 7 muestra la variación temporal de la concentración de anión nitrato en cada punto de muestreo en los dos ciclos. En general se observa un incremento que se debería a una mayor contaminación agrícola difusa a través del uso de fertilizantes. La excepción de Costa Anzorena (CA) puede explicarse por el aumento del caudal observado en ese punto en los dos períodos estudiados.

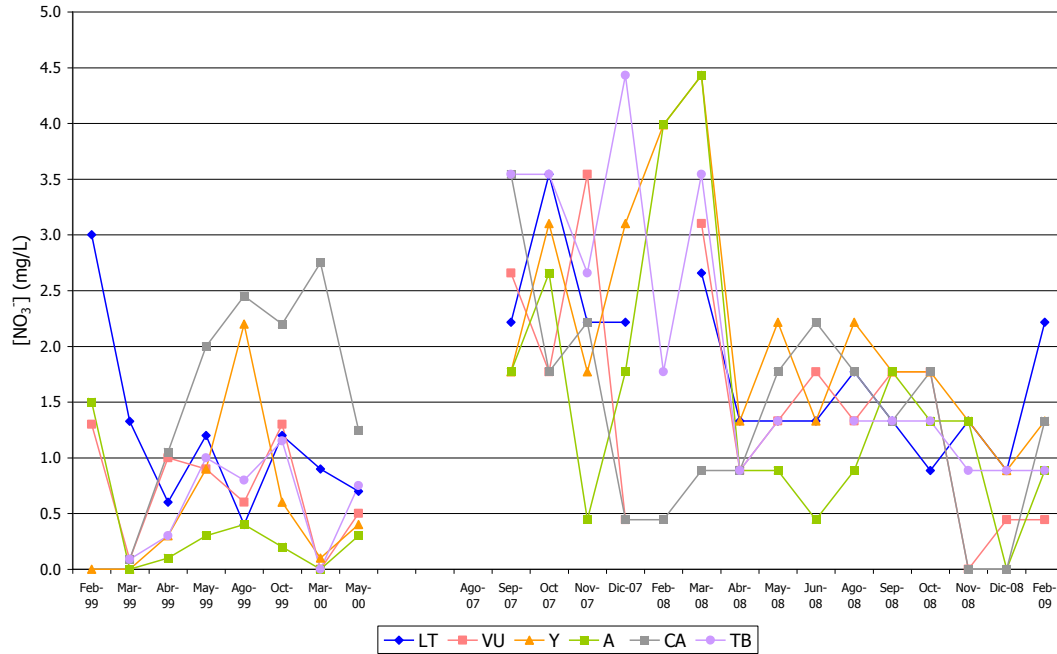


Figura 7: Variación temporal de la concentración de anión nitrato (mg L^{-1})

Discusión de resultados y conclusiones

En el caso del Río Tunuyán superior se observa -en los diez años analizados- un incremento significativo del contenido de nitratos en sus aguas. En el sitio TB (cabecera del sistema de la cuenca del Tunuyán inferior) el incremento resultó del 250 %, reflejando no solamente contaminación difusa sino también antrópica (impacto de las actividades recreativas alrededor del embalse El Carrizal). La excepción la constituye el sitio CA (aguas arriba de la entrada al dique El Carrizal) ya que no presenta variaciones significativas e incluso registra una reducción del 19 % que podría ser atribuida al incremento de los caudales ($25.4 - 43.0 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) registrados en los días de muestreo de dicho período.

Los mayores valores de contaminación se alcanzan entre noviembre y marzo, lo que estaría coincidiendo con la época de fertilización de la mayoría de los cultivos y con una mayor afluencia de turistas al dique El Carrizal.

En el río Mendoza se observa un incremento significativo en el contenido de nitratos (178 %) entre la cola y la cabecera del sistema, los sitios R III y R I, respectivamente. Esto es producto de la suma de contaminación de origen antrópico (agrícola, urbana e industrial) que está impactando sobre el sistema. No obstante, es importante resaltar que los caudales medios medidos en R III son un 10% de los medidos en R I antes de su incorporación a la red de distribución de riego. Comparando la cabecera del sistema (R I) con la red de canales de riego se verifica también un incremento significativo del contenido de nitratos en C I (148%) y C II (243 %) respecto de RI. En este caso el mismo puede atribuirse a la contaminación urbana difusa (C I) y a ocasionales vuelcos de efluentes domésticos de la planta Campo Espejo al Canal Jocolí (C II). Sin embargo en esta afirmación no debe dejarse de lado el hecho de que los caudales medios medidos en CI ($4.32 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) y CII ($1.82 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) son mucho menores que los de R_I ($49.5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$).

Respecto de los drenes, sólo hay diferencias significativas en el contenido de nitratos entre DIII respecto de D_VI; el primero presenta un incremento del 158 % por encima del D VI pero todos están por debajo de lo medido en C_I y de C_II (el contenido más alto de nitrógeno registrado en los drenes es un 48 % menor que lo registrado en C_II). Esta disminución en los drenes respecto a los canales podría deberse a que el nitrato ha sido utilizado por las plantas o -a través de algún proceso químico- se ha transformado en formas retenidas por el suelo o bien aportadas a la atmósfera. Puede verse que D III y C II tienen caudales medios prácticamente iguales mientras que D VI presenta valores mucho más bajos ($0.05 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$); el caudal medio en C I fue de $4.32 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Respecto del origen del agua de los drenes estadísticamente analizados puede decirse que -a excepción de D I- todos son drenes agrícolas que recogen en su gran mayoría desagües de riego superficial. El sitio D I presenta una mezcla de desagües agrícolas con efluentes domésticos, aunque estos últimos en mucha menor proporción.

Afortunadamente, al igual que en el río Tunuyán superior, los valores de anión nitrato registrados en el río y en ambas redes (de riego y de drenaje) están muy por debajo del límite máximo permitido por la legislación (45 mg L^{-1}). Esta afirmación coincide con lo encontrado en el río Blanco (Zuluaga, J. et al, 2006), perteneciente a la cuenca del río Mendoza que vuelca sus aguas al embalse Potrerillos. Por el contrario, en el denominado cinturón verde del Gran Mendoza, según Bermejillo et al, 2008) se encontraron valores de nitratos que oscilaron entre $0,88$ y $70,88 \text{ mg.L}^{-1}$ y podrían deberse a los aportes de los lixiviados de agroquímicos utilizados en los cultivos hortícolas de la zona (*Los mayores registros en canales de riego se obtuvieron en el canal Chachingo a la altura de la Villa de Corralitos con 20 mg L^{-1} y en drenes en el Dren Fuster con $70,88 \text{ mg.L}^{-1}$, medidos en octubre de 2007. Este último recibe agua de propiedades con riego presurizado en las que se hace fertirrigación*).

Por ahora los resultados encontrados marcan una tendencia no demasiado preocupante en lo que a contaminación nitrogenada de las aguas de sus dos ríos principales se refiere. Sin embargo el paulatino incremento de la contaminación confirma la necesidad de diseñar para cada área de influencia un adecuado monitoreo que permita coordinar el manejo de la red para preservar la calidad actual del recurso hídrico e implementar políticas de mitigación de los posibles impactos mediante la participación de todos los actores involucrados (usuarios particulares, organismos de usuarios, organismos gubernamentales y empresarios industriales). Dependerá de ello la futura sustentabilidad de la agricultura de los oasis regadíos de la provincia de Mendoza.

Bibliografía

APHA-AWWA-WPCF. 1992. Métodos normalizados para el análisis de agua potables y residuales. Ediciones Días de Santos, SA. XVII edición.

Bermejillo, A.; Zuluaga, J.; Drovandi, A.; Filippini, M.; Marti, L.; Cónsoli, D.; Valdes, A. y Morsucci, A. Modificación de la calidad del agua de riego y riesgo freático en el cinturón verde de Mendoza. IV Jornadas de Actualización en Riego y Fertiriego. INA – CIAM - INTA – Fac. Cas. Agrarias UNCUYO) – DGI – FONCYT. Mendoza, 2008.

Chambouleyron et al, 2002. Conflictos ambientales en tierras regadías. Evaluación de impactos en la cuenca del río Tunuyán, Mendoza, Argentina. UNCuyo-FONCYT-INA. ISBN 987 – 1024 – 17 – 7. Ed. Eón Argentina, Mendoza, Argentina

DGI (Departamento General De Irrigación). 1996. Reglamento general para el control de contaminación hídrica – resolución 778. Mendoza – Argentina.

EPA METHOD 8141 A. 1994. Organophosphorus compounds by gas chromatography: capillary column technique. [Http://www.epa.gov/sw-846/8000b.pdf](http://www.epa.gov/sw-846/8000b.pdf).

EPA, METHOD 608. 1979. Organ chlorine pesticides and PCB 'S. Federal register. Volume 44, # 233.

EPA. 1992. Agencia de Protección Ambiental de EEUU. Oficina del Agua. Estándares del reglamento nacional primario de agua potable. USA.

EPAS (Ente Provincial Del Agua Y Del Saneamiento). 2001. Normas de calidad de aguas y efluentes. Anexos I y II. Mendoza – Argentina.

Galloway et al., 2004. Nitrogen cycles: past, present, and future. *Biogeochemistry* 70: 153–226, 2004. 2004 Kluwer Academic Publishers. The Netherlands.

Gervasi, 2001. Jornadas de Salicáceas Mendoza 2009. El manejo del recurso agua en Mendoza. Experiencias en salicáceas. FCA-UNCuyo – INA, Mendoza, Argentina.

Green et al., 2004. Pre-industrial and contemporary fluxes of nitrogen through rivers: a global assessment based on typology. *Biogeochemistry* 68(1): 71–105. Kluwer Academic Publishers. The Netherlands.

Hoffmann y Tarrisse, 2000. Influences climatiques et pression anthropique sur l'hydrologie des bassins karstiques des vallées de la Dordogne et du Lot ». *In Travaux du LGPA* n° 18. pp. 63-97.

Lavie, E. 2009. Une minéralisation progressive (Chapitre 6). Activités anthropiques et qualité de l'eau dans l'oasis de Mendoza (Argentine) : diagnostic, enjeux et durabilité. Tesis de doctorado, Universidad de Burdeos 3, Pessac, Francia.

Morábito J.; Salatino S.; Filippini, M.; Bermejillo, A.; Medina, R.; Zimmermann, M; Nacif ,N.; Campos, S.; Dediol, C.; Mastrantonio, L.; Hernández, R.; Genovese, G y Stocco, A. . 2009. Eficiencia de riego (río Tunuyán) y evaluación de la calidad del agua en áreas regadías (ríos Mendoza y Tunuyán). Recomendaciones para un aprovechamiento sustentable. INA-CRA Informe Técnico 119, 20 de julio, 2009.

Zuluaga J.; Filippini, M.; Drovandi A.; Bermejillo, A.; Morsucci A. Y Valdes A. 2006. Monitoreo de los contaminantes del agua en la 3ª zona de riego del río Mendoza con el nuevo escenario de operación del dique Potrerillos. III Jornadas de actualización en Riego y Fertirriego. INA –CIAM - INTA – Fac. Cas. Agrarias (UNCUYO) – DGI. Mendoza.