

Contaminación por fosfatos en el oasis bajo riego del río Mendoza

Phosphate pollution in the oasis irrigated by the Mendoza River

Emilie Lavie ¹

José A. Morábito ^{2,3}

Santa E. Salatino ²

Adriana Bermejillo ³

María F. Filippini ³

Originales: Recepción: 21/12/2009 - Aceptación: 20/04/2010

RESUMEN

El oasis bajo riego del río Mendoza, en la provincia argentina del mismo nombre -al igual que casi todas las ciudades en la actualidad- presenta problemas de avance de la urbanización sobre las tierras agrícolas, multiplicidad de usuarios y disminución de la disponibilidad del recurso hídrico, tanto en cantidad como en calidad. Si bien se destinan esfuerzos e inversiones tendientes a asegurar la disponibilidad de agua (mejora de eficiencias, ahorro de agua) no pasa lo mismo en relación con la preservación de su calidad. La agricultura mendocina resulta víctima de la contaminación producida por la urbanización y la industria a través del vuelco (puntual y/o difuso) de sus efluentes a la red de riego. Estudios realizados en el Oasis Norte de Mendoza pusieron de manifiesto la existencia de altos niveles de contaminación fosfatada en las aguas del río Mendoza. El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar la evolución espacio-temporal y detectar las fuentes de esta contaminación. Los resultados del diagnóstico basado en una serie de muestreos realizados en 2003 - 2009 ponen de relieve la existencia de una moderada contaminación por fosfatos en las aguas

ABSTRACT

The oasis irrigated by the Mendoza River (Province of Mendoza, Argentina) -like most cities at present- is facing problems such as urban encroachment into agricultural land, multiplicity of users, and reduced availability of water resources, both in quantity and quality. Efforts and investments have been made to secure water availability (improved efficiencies, water saving); however, this is not the case as regards preservation of water quality. The agricultural sector in Mendoza has become the victim of pollution caused by urban and industrial development due to effluent discharges (point and/or diffuse) in the irrigation network. Studies conducted in Mendoza's Northern Oasis have shown high levels of phosphate pollution in the Mendoza River. The objective of this paper is to study the spatio-temporal evolution as well as the sources of this type of pollution. The study, which was based on a number of samplings carried out from 2003 to 2009, points to moderate levels of phosphate pollution in the Northern Oasis irrigated by the Mendoza River. Considerably high phosphate levels were also detected

1. Laboratoire de Géographie Physique Appliquée. Université Bordeaux 3. 9, La séguinie, 33370 - Tresses, France.
2. Instituto Nacional del Agua - Centro Regional Andino (INA-CRA). Belgrano Oeste 210. Mendoza. Argentina. M5500FIF.
3. Dpto. de Ingeniería Agrícola. Facultad de Ciencias Agrarias. UNCuyo. Alte. Brown 500. Chacras de Coria. Mendoza. Argentina. M5528AHB. jmorabito@fca.uncu.edu.ar

del río Mendoza que riegan el Oasis Norte provincial. Asimismo, se detectaron niveles considerablemente altos de fosfatos en tres sitios específicos del oasis: 1. la superficie regada por los canales Cacique Guaymallén y Jocolí -se observa un incremento de seis veces el contenido de fosfatos del agua: de 0,2 mg L⁻¹ (R I) a 1,2 mg L⁻¹ (C II)-; en este último sitio sólo se riega un pequeño sector que se aproxima a las 7.300 ha; 2. la superficie regada por el Colector Pescara aguas abajo del punto D VIII (1.250 ha), en la que los valores medios arrojaron un contenido diecisiete veces mayor (8,5 mg L⁻¹) que los del sitio D I (0,49 mg L⁻¹) que recibe desagües agrícolas y urbano pluviales; 3. la zona del Bajo río Mendoza (en esta zona se registró un aumento de dieciséis veces más fosfatos entre la parte media y la cola del sistema, con valores medios de 0,2 mg L⁻¹ en el sitio R II y de 3,25 mg L⁻¹ en R III).

at three specific sites in the oasis: 1. the area irrigated by the Cacique Guaymallén and Jocolí canals (phosphate levels were six times the phosphate content in the water: from 0.2 mg L⁻¹ at site R I to 1-2 mg L⁻¹ at site C II); downstream of this latter site only a small area of 7300 ha is irrigated; 2. the area irrigated by the Pescara Canal downstream of site DVIII (1,250 ha), with mean content values seventeen times higher (8.5 mg L⁻¹) than at site D I (0.49 mg L⁻¹), where agricultural and stormwater runoff is discharged; 3. the Lower Mendoza River area, where phosphate content increased sixteen times in the middle and tail-end sections of the system, with mean values ranging from 0.2 mg L⁻¹ at site R II to 3.25 mg L⁻¹ at R III.

Palabras clave

diagnóstico • degradación hídrica • agua de riego • efluentes domésticos e industriales • Argentina

Keywords

diagnosis • water degradation • irrigation water • domestic and industrial effluents • Argentina

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la presencia de fosfatos como contaminantes de agua ha adquirido mucha importancia debido a la escasez del recurso hídrico y a su deterioro creciente. Son sustancias solubles que las plantas necesitan para su desarrollo y que -si se encuentran en el agua en cantidades excesivas- inducen el crecimiento desmesurado de algas y otros organismos provocando procesos de polución y eutroficación. El rápido crecimiento de aquéllos reduce la velocidad de circulación del agua en la red de canales, disminuyendo su capacidad de conducción y aumentando las pérdidas en el sistema como consecuencia de un mayor perímetro mojado para un mismo caudal. Cuando estas algas y demás vegetales mueren, al ser descompuestos por los microorganismos, disminuye el oxígeno disuelto en el agua y la vida de los seres vivos se limita y/o se hace imposible.

Los fosfatos, constituyentes naturales de rocas y minerales, forman parte de fertilizantes y estiércoles, de la materia orgánica proveniente de desechos urbanos, industriales y residuos agrícolas como así también de los detergentes de uso industrial y doméstico. En muchos casos, estas fuentes de contaminación son arrastradas o arrojadas a las acequias, canales, arroyos, ríos y lagos, constituyendo un grave problema ambiental.

En general, la contaminación fosfatada es considerada una consecuencia directa del uso de fertilizantes por la agricultura; la mayoría de los estudios publicados sobre el tema plantea el problema de una agricultura intensiva, no respetuosa del medio ambiente. Es por ello que los investigadores suelen interesarse por conocer las consecuencias de la contaminación por fosfatos sobre la eutrofización de cursos de agua, represas, diques, etc., o sobre la salud humana y animal. Si bien hasta ahora no ha representado -a corto plazo- un problema para la salud humana, últimamente varios científicos han observado numerosas relaciones de causa-efecto entre el consumo de aguas fosfatadas y el aumento de casos de cáncer y de enfermedades neuro-degenerativas. Esta situación guarda una cierta distancia respecto de la realidad que se observa en la provincia de Mendoza, donde la agricultura, en lugar de ser "responsable" resulta ser "víctima" de esta contaminación. Tanto la localización del denominado Oasis Norte -sobre el cono de deyección del río Mendoza- como el origen aluvial de sus suelos hacen posible que los agricultores dispongan de extensas tierras fértiles, lo que en cierta forma acota las necesidades de uso de fertilizantes. A esto se suman las frecuentes crisis económicas en las que se ha visto envuelto el país -con su lógico correlato en Mendoza- durante las cuales los agricultores se han visto obligados a reducir al mínimo los insumos de cada cultivo para poder afrontar sus costos de producción.

Investigaciones realizadas durante seis años (2003 - 2009) de muestreo mensual para estudiar el estado y la evolución de la contaminación hídrica en el Oasis Norte de la provincia de Mendoza (6, 9, 10), pusieron de manifiesto la existencia de altos niveles de contaminación fosfatada en las aguas del río Mendoza.

En función de lo dicho y analizando el sistema de uso y re-uso del agua en el oasis regadío del río Mendoza (aproximadamente un millón de habitantes, 1.156 km² regadíos), se plantea como hipótesis del presente trabajo que el origen de la contaminación fosfatada existente no es mayoritariamente agrícola sino doméstico e industrial.

Objetivos

- Evaluar la evolución espacio-temporal de la contaminación fosfatada en el oasis del río Mendoza.
- Detectar las fuentes de dicha contaminación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Durante 2003 - 2009 se llevó a cabo un proyecto de investigación conjunta entre el Centro Regional Andino del Instituto Nacional del Agua (INA-CRA) y la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cuyo (FCA-UNCuyo) para estudiar la calidad del agua del río Mendoza, uno de los dos ríos que conforman el Oasis Norte de la provincia de Mendoza, en el que se asienta la ciudad del mismo nombre.

Como resultado de esta investigación se dispone actualmente de una base de datos de parámetros físico-químico-microbiológicos entre los que se encuentra el contenido de fosfatos en las aguas de riego. El estudio se basó en dieciséis sitios o puntos de muestreo, estratégicamente seleccionados, correspondientes a distintas fuentes de agua: río (R), canales de riego (C) y canales de drenaje (D), con una frecuencia de muestreo mensual (9, 10).

Con el objeto de completar la base de datos precedentemente mencionada y en el contexto de una tesis doctoral sobre contaminación del agua en el oasis regadío del río Mendoza (6), se diseñó en la misma zona del estudio anterior un nuevo muestreo con la finalidad de estudiar con mayor detalle el comportamiento químico del agua de riego. Las muestras se obtuvieron en dos estaciones: invierno 2006 (muy poca oferta de agua y baja demanda en usos agrícola, industrial y doméstico) y primavera 2007, época en la que se incrementa la demanda. En total fueron trece salidas de campaña con una frecuencia de muestreo semanal.

Selección de sitios de muestreo

En la figura 1 (pág. 173) puede verse la ubicación de los sitios de muestreo así como la presión antrópica que soportan: tres puntos de muestreo sobre el río Mendoza (R), cinco sobre los canales de riego (C) y ocho sobre la red de drenes y desagües (D).

El punto R I es la cabecera del sistema de riego y está ubicado en el dique Cipolletti, que deriva las aguas del río Mendoza para el riego de su llanura cultivada. El punto R II está ubicado sobre el mismo río a la altura de la ciudad de Palmira y recibe aguas provenientes de los vuelcos del Parque Industrial Provincial (PIP) del Departamento Luján de Cuyo (petróleo-gas y central térmica), de los desagües de riego de la Primera, Segunda y Tercera Zonas de riego del río Mendoza (Asociaciones de Inspecciones de Cauce) y de efluentes domésticos originados en asentamientos urbanos -cada vez más numerosos- que se encuentran en las márgenes del río. El punto R III, que corresponde a la cola del río en la zona baja del oasis, está ubicado en el Distrito Gustavo André del Departamento Lavalle y recibe el agua que pasó por R II sumada a la de vuelcos provenientes de la planta Paramillos (depuradora de efluentes domésticos) y a los desagües de un área con cultivos restringidos (ACRE Paramillos) que se riega con ella.

Respecto de la red de canales, el punto C I está ubicado al final del canal Cacique Guaymallén antes de su división en dos nuevos canales: Jocolí y Auxiliar Tulumaya. El canal Cacique Guaymallén, único canal-colector de la ciudad de Mendoza -a la que recorre en su totalidad de sur a norte- tiene una doble función: transporta agua de riego desde el dique Cipolletti (R I) hasta la Cuarta Zona de Riego (C I) y colecta los desagües urbano-pluviales del Gran Mendoza (950.000 habitantes). El punto C II, ubicado sobre el canal Jocolí en el Distrito 3 de Mayo, contiene agua del punto C I más efluentes domésticos provenientes de la planta depuradora Campo Espejo y del ACRE del mismo nombre que se riega con ellas. El sitio C III, sobre el canal San Martín a la altura de Gustavo André (Departamento Lavalle) y muy próximo al R III, recibe agua del dique Cipolletti a través de un canal totalmente revestido y -teóricamente- con muy

baja presión antrópica. El punto C IV está ubicado en la margen derecha del río, sobre el Canal Flores (Agrelo, Luján de Cuyo), donde si bien la presión antrópica es mayoritariamente agrícola, la actividad petrolera del PIP podría ser una fuente de contaminación. Por último, el punto C V, ubicado sobre el canal Auxiliar Tulumaya, recibe agua de C I (Cacique Guaymallén) y del colector de efluentes industriales Pescara.

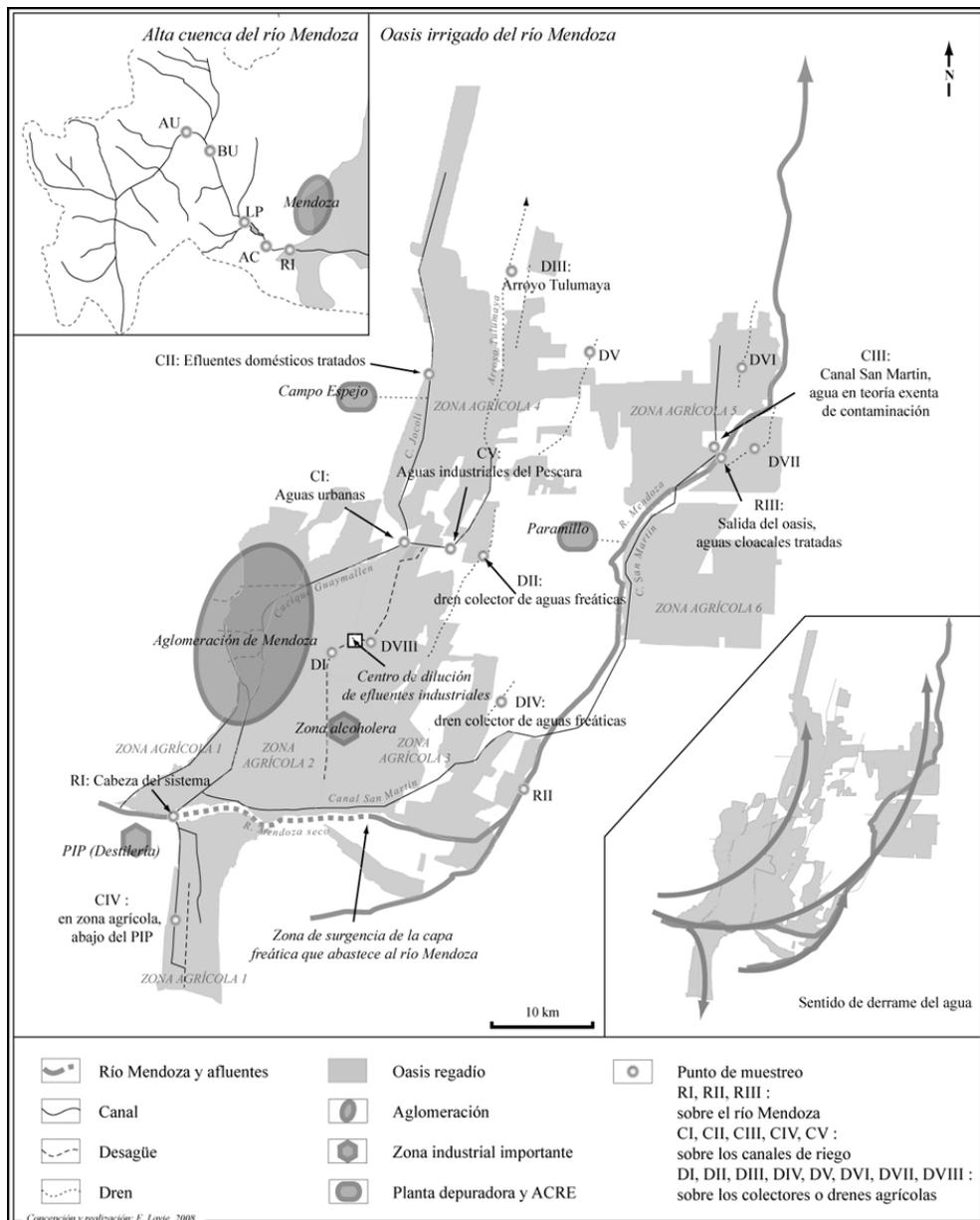


Figura 1. Ubicación de sitios de muestreo.
Figure 1. Location of sampling sites.

Fuente: Lavie (6)

Los puntos D II, D III, D IV, D V, D VI y D VII están ubicados en zonas bajas y salinas, sobre drenes agrícolas que constituyen -por contraposición a los canales de riego- el egreso de agua de la zona regadía. Los puntos D I y D VIII están localizados sobre el colector Pescara.

D I recibía (hasta mediados de 2004) aguas industriales que causaban graves problemas de contaminación a una importante zona agrícola del cinturón verde de la ciudad, muy densamente poblada. A partir de esa fecha los efluentes se incorporaron a una tubería que los conduce hasta una cámara en la que son diluidos en forma automática -con agua subterránea de buena calidad- cuando su salinidad excede los $1,2 \text{ dS m}^{-1}$. Por lo tanto, desde 2004 el punto D I recibe -mayoritariamente- desagües agrícolas. El sitio de muestreo D VIII, agregado después de la inauguración de la planta de dilución, está ubicado aguas abajo de aquélla y permite evaluar la eficiencia de su funcionamiento.

La base de datos obtenida en el marco del proyecto de investigación INA - FCA corresponde al período 2005/2009 y los sitios muestreados fueron: R I, R III, C I, C II, C V, D III, D VI. En el período 2006/2007 se incorporó al muestreo el resto de los puntos del área en estudio.

Complementariamente -con el objeto de esclarecer el origen y el mecanismo de eventuales contaminaciones antrópicas- se realizó un muestreo aguas arriba del Oasis Norte y del sitio R I (Alto río Mendoza). Para ello se programaron dos series de análisis de agua y se definieron los siguientes sitios de muestreo: AU (aguas arriba de la ciudad de Uspallata, ubicada a 100 km al oeste de la ciudad de Mendoza), BU (aguas abajo de Uspallata), LP (en la margen derecha del espejo de agua del Dique Potrerillos), AC (en Álvarez Condarco, aguas abajo de Potrerillos) y R I (Dique Cipolletti), punto común a la red del INA - FCA. El muestreo se realizó en octubre y noviembre del 2007.

La determinación de fosfatos para el Proyecto INA - FCA se llevó a cabo en la Cátedra de Química Agrícola (FCA, UNCuyo) mediante espectrofotometría HACH, método sulfo-vanado molíbdico (1). El resto de las determinaciones se efectuó en el Laboratorio del INA-CRA, según la metodología del Laboratoire de Géographie Physique Appliquée (LGPA) de la Universidad de Burdeos (3, 6), con un aparato de espectro-colorimetría WTW.

Con la finalidad de explicar la variabilidad en la frecuencia del muestreo de los distintos puntos pre-seleccionados, cabe destacar que el riego del oasis se realiza mediante la modalidad de turnado o rotación de la distribución del agua a los distintos canales (generalmente cuatro días en la zona de influencia del Canal Cacique Guaymallén y cuatro días en la zona del Canal Matriz San Martín).

Análisis estadístico

Los resultados de los distintos análisis se incorporaron a una base de datos. El análisis estadístico permitió obtener la media aritmética y la desviación estándar de las variables mencionadas para cada sitio y momento de muestreo. Se elaboraron,

además, diagramas de caja y se realizaron las siguientes comparaciones: río (inicio y final); río en cabecera del sistema y canales; río en cabecera del sistema y drenes (R I, R III; R I, C I, C II, C V; R I, D III, D VI).

La hipótesis para el análisis de la varianza de efectos fijos fue:

$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_t$ Todas las medias son iguales

$H_1 : \mu_i \neq \mu_k$ Al menos una de las medias es distinta del resto

Cuando el estadígrafo F resultó significativo ($\alpha = 0,05$) se aplicó la prueba de comparaciones múltiples de Tukey para el mismo nivel de significancia.

Por último, se propuso -para el río Mendoza- una escala de clasificación de aguas superficiales en función del contenido de fosfatos (tabla 1). La misma está basada en criterios internacionalmente adoptados y en la normativa vigente en la provincia de Mendoza para el vertido de efluentes a los cuerpos de agua. Como expresión de presión antrópica, la bibliografía califica con frecuencia como "natural" la presencia de $0,1 \text{ mg L}^{-1}$ de fosfatos en el agua superficial (4). En Mendoza, la norma fijada por el organismo que tiene a su cargo la gestión integral del agua (Departamento General de Irrigación, en siglas DGI) fija como nivel máximo permitido de fosfatos $0,4 \text{ mg L}^{-1}$ y como nivel máximo tolerable $0,7 \text{ mg L}^{-1}$ (2).

Tabla 1. Propuesta de clasificación de la calidad de las aguas superficiales en función del contenido de fosfatos (río Mendoza).

Table 1. Proposed classification of surface water quality based on phosphate content (Mendoza River).

| Parámetro | Unidad | Calidad | | |
|---------------------------------|--------------------|---------|-----------|-------|
| | | Buena | Media | Baja |
| Fosfatos (PO_4^{3-}) | mg L^{-1} | < 0,1 | 0,1 - 0,7 | > 0,7 |

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Fosfatos en el Alto río Mendoza

De acuerdo con la categorización propuesta precedentemente, en el tramo del río Mendoza aguas arriba del Oasis, se observan variaciones espacio-temporales que merecen su análisis. La figura 2 (pág. 176) muestra valores "medios" de contaminación obtenidos aguas arriba de la villa cordillerana de Uspallata (AU) y "muy altos" después de la confluencia del río Mendoza con el Arroyo Uspallata (BU). En el muestreo de noviembre, los valores encontrados fueron "altos" ya antes de esta confluencia. Puede verse -además- que en el punto 1 y en octubre el río sobrepasó seis veces el valor natural ($0,1 \text{ mg L}^{-1}$) mientras que en noviembre lo hizo veinticuatro veces.

Esto está señalando que en este punto del recorrido del río ya existen evidencias de contaminación posiblemente relacionadas con la ausencia de un adecuado sistema de saneamiento en los -hasta hace poco- pequeños pueblos de la alta montaña mendocina.

A nivel del sitio BU puede verse que la presión fosfatada aumenta mucho en octubre, hasta llegar a 36 veces el nivel natural máximo de concentración en fosfatos ($0,1 \text{ mg L}^{-1}$). Sin embargo, en noviembre -y aunque la concentración sigue siendo importante ($1,56 \text{ mg L}^{-1}$)- la contaminación baja. A medida que el río Mendoza sigue su curso, la concentración de fosfatos baja hasta valores de $0,06 \text{ mg L}^{-1}$ en Álvarez Condarco (AC) y $0,03 \text{ mg L}^{-1}$ en R I. Dado que se estima que la vegetación xerófila de la zona no tiene un papel depurador demasiado importante, se puede pensar que esta disminución en la concentración de fosfatos se debería a los procesos de adsorción del anión en las partículas de rocas y minerales presentes en suspensión en el agua y/o a la formación y precipitación de fosfatos de calcio. En ambos casos, los fosfatos precipitan en los sedimentos que se depositan en el fondo de la presa Potrerillos.

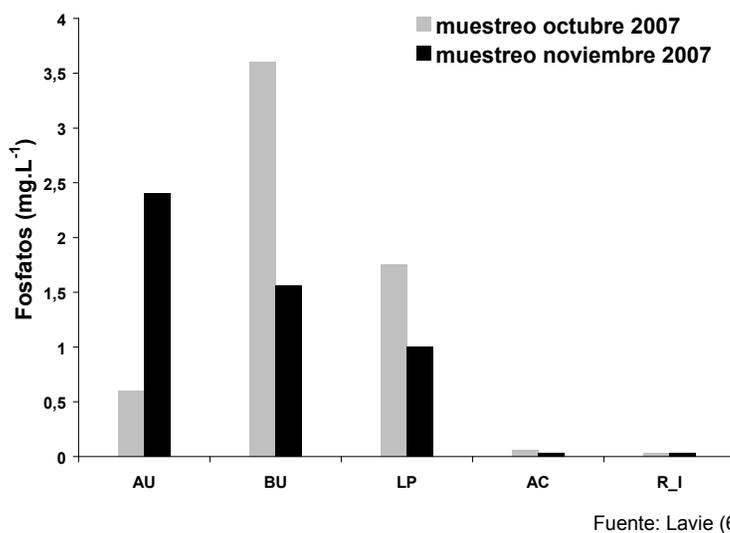
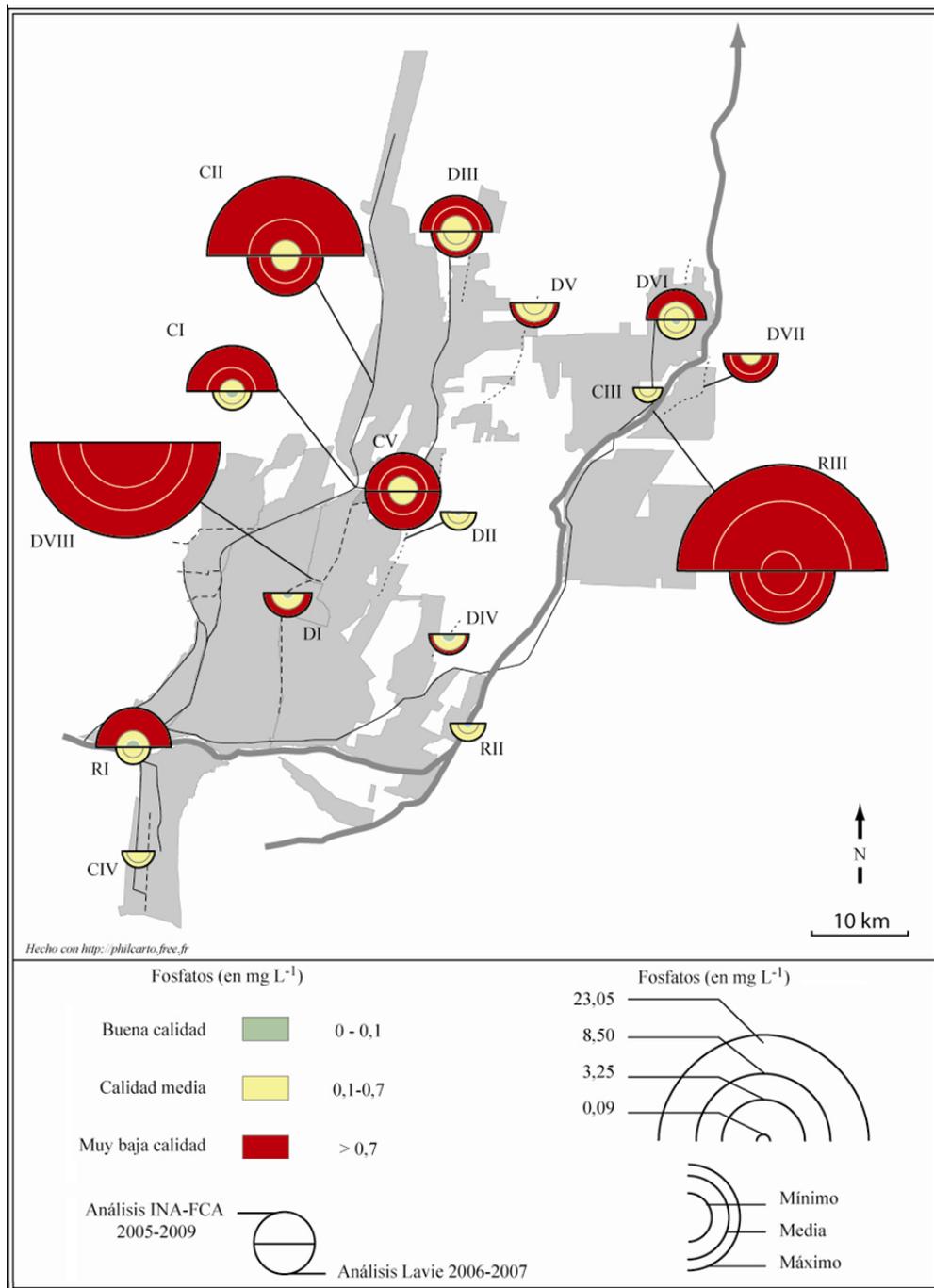


Figura 2. Los fosfatos en el Alto río Mendoza.

Figure 2. Phosphates in the Upper Mendoza River.

Si bien este estudio se realizó en primavera -cuando el caudal del río es importante (fusión de la nieve y de los glaciares) y la presión turística no es demasiado fuerte- puede pensarse que las concentraciones de fosfatos deberían ser más altas en invierno, cuando los caudales disminuyen y centenares de camiones esperan la apertura del túnel internacional Cristo Redentor, paso obligado a la República de Chile. Lo mismo podría suceder en verano, en coincidencia con el pico máximo de la temporada turística. Aunque actualmente el río Mendoza parece soportar bastante bien la contaminación (en función de su importante capacidad de dilución) nada impide pensar que en un futuro próximo -frente a un escenario de calentamiento global y en época de estiaje- la situación tienda a empeorar.

A la altura del punto R I (cabecera del sistema de riego) se determinó -respecto de la presencia de fosfatos- una mejor calidad del agua que en los otros puntos analizados. Esta afirmación se relativiza cuando se observan con mayor detalle los resultados de los análisis realizados en dicho punto (figura 3, pág. 177).



Fuente: Lavie (6).

Figura 3. Contaminación por fosfatos en el oasis de Mendoza.

Figure 3. Phosphate pollution in the oasis irrigated by the Mendoza River.

En efecto, según los valores de INA - FCA (valor mínimo 0,09 mg L⁻¹, medio 0,48 mg L⁻¹ y máximo de 2,82 mg L⁻¹) la calidad del agua estaría lindando con el nivel de la clase "media a baja". Para Lavie (6), los valores encontrados son: mínimo cero (0), medio de 0,2 mg L⁻¹ y máximo de 0,55 mg L⁻¹. Ello indica que el río sufre una contaminación de origen doméstico que puede calificarse como "media".

Fosfatos en el oasis

Las tablas 2 y 3 contienen los valores de fosfatos medidos en los puntos de muestreo para el ciclo 2003 - 2009 con las diferentes bases de datos y en la cartografía que se muestra en la figura 3 (pág. 177) puede verse claramente la contaminación del agua con fosfatos extendida en todo el oasis.

Tabla 2. Concentración de fosfatos (mg L⁻¹) y caudal circulante según sitio de muestreo en el río Mendoza (base de datos INA - FCA).

Table 2. Phosphate concentration (mg L⁻¹) and flow at different sampling sites in the Mendoza River (INA - FCA database).

| Sitio | N° observaciones | Media | Desviación estándar | Mínimo | Máximo | Caudal m ³ s ⁻¹ |
|-------|------------------|-------|---------------------|--------|--------|---------------------------------------|
| R I | 33 | 0,48 | 0,54 | 0,09 | 2,82 | 41,6 |
| R III | 31 | 8,29 | 5,67 | 0,64 | 23,05 | 3,0 |
| C I | 32 | 1,12 | 1,02 | 0,24 | 4,31 | 4,2 |
| C II | 32 | 2,68 | 2,14 | 0,54 | 9,20 | 1,8 |
| C V | 31 | 1,17 | 0,83 | 0,20 | 3,92 | 3,2 |
| D III | 32 | 1,05 | 0,53 | 0,42 | 2,54 | 1,7 |
| D VI | 31 | 0,58 | 0,39 | 0,23 | 2,07 | 0,05 |

Tabla 3. Concentración de fosfatos (mg L⁻¹) y caudal circulante según sitio de muestreo en el río Mendoza (base de datos Lavie).

Table 3. Phosphate concentration (mg L⁻¹) and flow at different sampling sites in the Mendoza River (Lavie database).

| Sitio | N° observaciones | Media | Desviación estándar | Mínimo | Máximo | Caudal m ³ s ⁻¹ |
|--------|------------------|-------|---------------------|--------|--------|---------------------------------------|
| R I | 15 | 0,20 | 0,26 | 0,00 | 0,55 | 41,6 |
| R II | 15 | 0,20 | 0,25 | 0,03 | 0,60 | |
| R III | 15 | 3,25 | 1,88 | 1,10 | 5,20 | 3,0 |
| C I | 15 | 0,33 | 0,28 | 0,09 | 0,70 | 4,2 |
| C II | 17 | 1,20 | 0,88 | 0,34 | 2,70 | 1,8 |
| C III | 15 | 0,14 | 0,24 | 0,01 | 0,40 | |
| C IV | 15 | 0,25 | 0,26 | 0,00 | 0,50 | |
| C V | 17 | 1,00 | 0,94 | 0,33 | 2,70 | 3,2 |
| D I | 17 | 0,49 | 0,39 | 0,07 | 1,10 | |
| D II | 17 | 0,24 | 0,27 | 0,03 | 0,60 | |
| D III | 17 | 0,70 | 0,35 | 0,30 | 1,20 | 1,7 |
| D IV | 10 | 0,50 | 0,30 | 0,10 | 0,75 | |
| D V | 13 | 0,70 | 0,34 | 0,25 | 1,11 | |
| D VI | 14 | 0,30 | 0,29 | 0,05 | 0,70 | 0,05 |
| D VII | 15 | 0,75 | 0,49 | 0,20 | 1,43 | |
| D VIII | 17 | 8,50 | 4,73 | 3,80 | 16,9 | |

Si bien las aguas de los puntos R I, R II, C III y C IV pueden calificarse como de calidad "media" los restantes doce puntos muestreados pertenecen a la clase "baja" calidad. No hay distinción entre los contenidos encontrados en el río, los canales o los drenes.

Los resultados del análisis estadístico inferencial para $\alpha = 0,05$ indican que la concentración de fosfatos en R III es significativamente mayor que la de R I; en C II significativamente mayor que en R I, C I y C V, y en D III significativamente mayor que en R I y D VI (tabla 4).

Tabla 4. Contenidos medios de fosfato y diferencias significativas ($\alpha = 0,05$) entre sitios de muestreo.

Table 4. Mean phosphate contents and significant differences ($\alpha = 0.05$) between sampling sites.

| Sitio | Fosfatos (mg L ⁻¹) | | |
|-------|--------------------------------|--------|--------|
| RI | 0,48 a | 0,48 a | 0,48 a |
| RIII | 8,29 b | - | - |
| CI | - | 1,12 a | - |
| CII | - | 2,68 b | - |
| CV | - | 1,17 a | - |
| DIII | - | - | 1,05 b |
| DVI | - | - | 0,58 a |

Letras distintas indican diferencias significativas ($\alpha = 0,05$) según test de Fischer.

La figura 4a y la 4b (pág. 180) presentan diagramas de caja de concentración de fosfatos (mg L⁻¹) en los sitios de muestreo (base de datos INA - CRA), incluyendo o no el sitio R III, respectivamente.

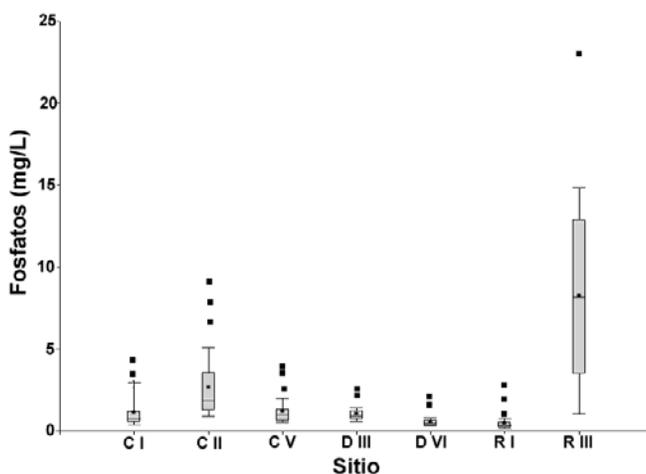


Figura 4a. Diagrama de caja que representa la concentración de fosfatos (mg.L⁻¹) según sitio de muestreo en río Mendoza (base de datos INA - FCA).

Figure 4a. Box-plot of phosphate concentration (mg L⁻¹) at different sampling sites in the Mendoza River (INA - FCA database).

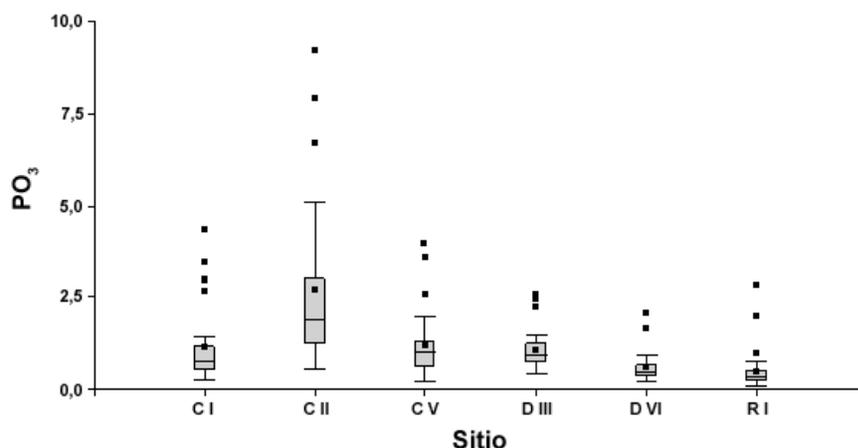


Figura 4b. Diagrama de caja que representa la concentración de fosfatos ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) según sitio de muestreo (sin R III) en río Mendoza (base de datos INA - FCA).

Figure 4b. Box-plot of phosphate concentration (mg L^{-1}) at different sampling sites (except R III) in the Mendoza River (INA - FCA database).

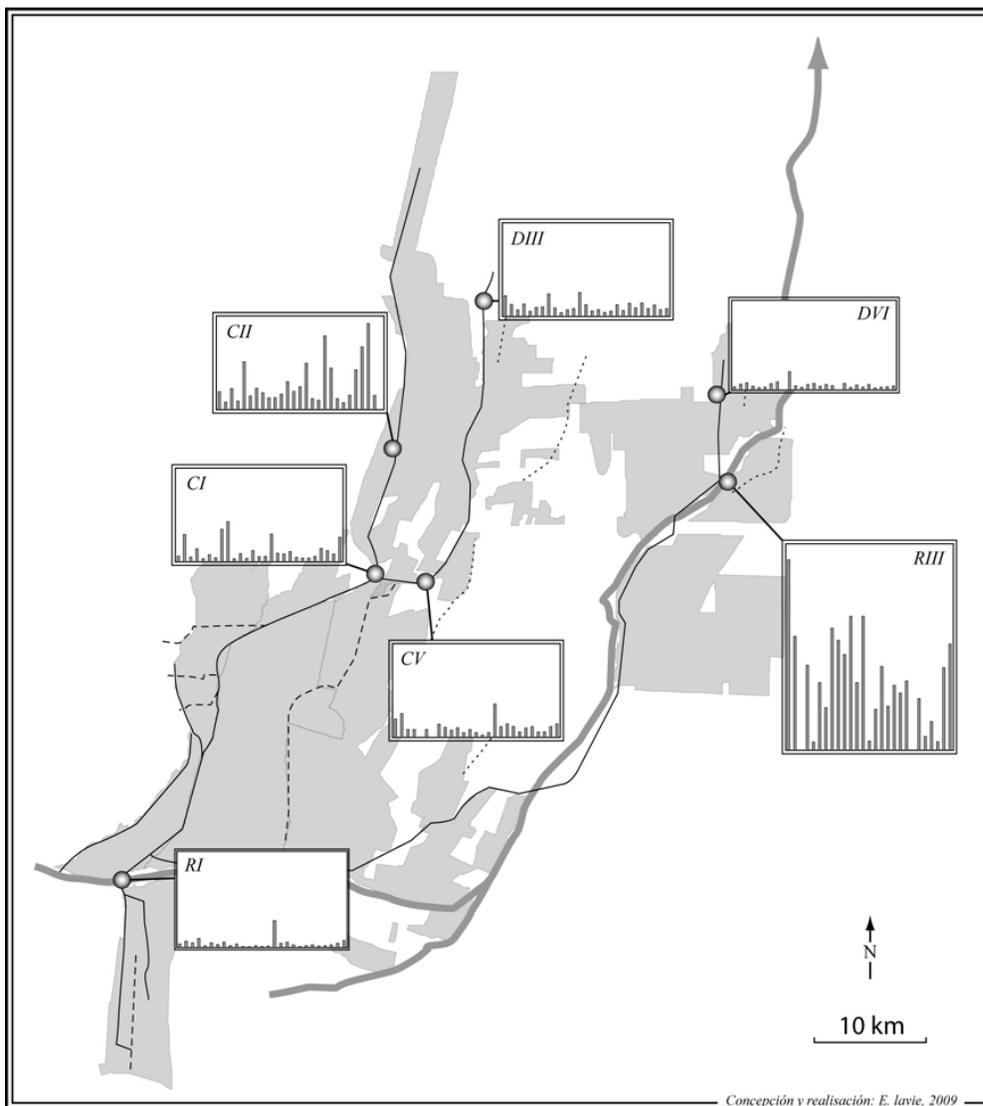
A excepción de algunos puntos problemáticos que presentan variaciones temporales particulares (figura 5, pág. 181), la mayoría de los sitios analizados presenta un perfil temporal-estacional con fluctuaciones cíclicas (7), idéntico al de los registros de nitratos y conductividad eléctrica determinados complementariamente en estas investigaciones: las concentraciones bajan en primavera y vuelven a aumentar en otoño.

El carácter "difuso" de la contaminación fosfatada también fue observado por el LGPA de Burdeos en numerosos estudios y ha sido generalmente vinculado al deficiente mantenimiento de los pozos sépticos privados.

Por el contrario, cuando la contaminación es "localizada", la hipótesis más probable es el vuelco de plantas depuradoras de efluentes domésticos a la red de riego. En efecto, los efluentes (tratados de manera colectiva o privada) están cargados con fosfatos siendo las deyecciones (humanas, de mascotas o de animales sueltos), algunos polvos o jabones de limpieza (para lavarropas o lavavajillas) y los detergentes, los mayores responsables de este tipo de contaminación.

Como Mendoza no es una provincia ganadera, la contaminación debiera adjudicarse a sólo tres actores: los efluentes domésticos, algunas industrias y aquellos agricultores que usan fertilizantes tipo NPK.

Aquí aparece como importante el rol de la vegetación: los cultivos y la vegetación de las márgenes de los canales ayudan a la depuración de los cauces durante su crecimiento y desarrollo (primavera - verano) y entregan sus nutrientes al suelo y al agua, al ser eliminados en la época obligada de limpieza de cauces (invierno).



Fuente: Lavie (6).

Figura 5. Variaciones temporales de fosfatos en el oasis.
Figure 5. Temporal variations of phosphates in the oasis.

Contaminación localizada

Se analiza aquí, en detalle, el contenido de fosfatos en tres grandes sectores del Oasis Norte:

Canales Cacique Guaymallén-Jocolí

Los valores medios obtenidos por INA - FCA durante los ciclos de muestreo de 2005 - 2008 muestran aumentos extraordinarios en el tramo de la red de riego

comprendido entre la cabecera del sistema (R I) y el sitio C II. Los contenidos se quintuplican desde aguas arriba del Canal Cacique Guaymallén ($0,48 \text{ mg L}^{-1}$) hasta aguas abajo ($2,68 \text{ mg L}^{-1}$). Si se compara los contenidos medidos entre los sitios C I ($1,12 \text{ mg L}^{-1}$) y C II ($2,68 \text{ mg L}^{-1}$) se observa una duplicación en la cantidad de fosfatos (tabla 4, pág. 179). Si bien los resultados obtenidos por Lavie en el invierno de 2006 y la primavera de 2007 (5) son algo más bajos, igualmente se observa un incremento en el contenido de fosfatos del agua que va desde $0,2 \text{ mg L}^{-1}$ (R I) a $0,33 \text{ mg L}^{-1}$ (C I) y a $1,2 \text{ mg L}^{-1}$ (C II); la presencia de fosfatos -según esta base de datos- se ha sextuplicado. Es importante aclarar que el agua que pasa por C II con un caudal medio anual de $1,8 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ riega un pequeño sector que se aproxima a las 7300 ha.

Colector Pescara

Dado que para este sector de la cuenca en la base de datos INA - FCA sólo se contaba con las mediciones del sitio C V, se decidió utilizar los resultados obtenidos por Lavie (6). Los sitios de muestreo que se comparan distan no más de 1 km uno del otro y son: D I (aguas arriba con un caudal medio de $0,75 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) y D VIII (aguas abajo de la cámara de mezclas destinada a la dilución de los efluentes industriales del Sistema Pescara). Los valores medios obtenidos en los dos ciclos de muestreo oportunamente realizados arrojaron un contenido diecisiete veces mayor aguas abajo de la cámara de mezclas ($0,49 \text{ mg L}^{-1}$ en D I versus $8,5 \text{ mg L}^{-1}$ en D VIII). Con esta agua se riega el área dominada por la Higuera Sánchez (aproximadamente 1.250 ha) y, una vez mezclada con aguas del canal Cacique Guaymallén a través del Canal Auxiliar Tulumaya, se riegan 9.150 ha pertenecientes a la 4^{ta} Zona de Riego del río Mendoza.

Bajo río Mendoza

En esta zona se registró (durante el ciclo 2006 - 2007) un aumento de dieciséis veces más fosfatos entre la parte media y la cola del sistema (con valores medios de $0,2 \text{ mg L}^{-1}$ en el sitio R II y de $3,25 \text{ mg L}^{-1}$ en R III; el valor medio obtenido por INA - FCA para este último punto fue $8,29 \text{ mg L}^{-1}$). El caudal medio del río en este punto se aproxima a $3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ y de ahí en adelante el agua ya no es usada para riego.

Del análisis de los valores obtenidos en los tres sectores antes mencionados (Canales Cacique Guaymallén-Jocolí, Colector Pescara y Bajo río Mendoza) se desprende que la contaminación fosfatada -aunque extendida en todo el Oasis Norte- está concentrada en algunas zonas específicas. Como puede verse en la figura 5 (pág. 181) estos tres sectores tienen en común un perfil temporal multimodal de contaminación de origen no agrícola que no se corresponde con el perfil de "olas" de los otros sitios en los que se registra una contaminación más moderada. En efecto, en los tres sectores de referencia se observan picos muy fuertes de concentración de fosfatos provenientes de vuelcos puntuales, signos de polución antrópica. (Las olas de los puntos restantes disminuyen en primavera (despertar vegetal) y aumentan en otoño en coincidencia con la limpieza de los cauces (*cf. supra*)).

Respecto de las "fuentes de contaminación" se plantea como responsables -en el caso del Colector Pescara- los efluentes industriales sumados a eventuales vuelcos domésticos y en lo que concierne al Canal Cacique Guaymallén (entre sitios R I y C I) a los

desagües urbano pluviales sumados a vuelcos domésticos. En el caso del Canal Jocolí (C II) y del Bajo río Mendoza (R III) el origen de la contaminación debe adjudicarse -respectivamente- a la ineficiencia de los tratamientos de saneamiento realizados por las plantas depuradoras de Campo Espejo y Paramillos.

Los sitios D VIII, C II y R III se encuentran entre los más contaminados por fosfatos y bacterias aerobias y poseen -además- altos contenidos de sólidos en suspensión (6). Asimismo, se detectó presencia de fosfatos y boro en la freática de las zonas de cultivos restringidos (ACRE) de Campo Espejo y Paramillo (8). Esto confirma la hipótesis sobre el origen doméstico de la contaminación fosfatada en el Oasis Norte (a excepción de la contaminación del agua del Colector Pescara causada por efluentes industriales).

Por último, la baja de concentración en fosfatos observada en el tramo de la red de riego comprendido entre los sitios C I y C V (6) podría atribuirse a la depuración debida a la vegetación que crece naturalmente en ambas márgenes de los cauces de riego y en los drenes.

CONCLUSIONES

Los resultados del presente trabajo ponen de relieve la existencia de una moderada contaminación por fosfatos en las aguas del río Mendoza que riegan el Oasis Norte de la provincia de Mendoza.

Se detectaron niveles considerablemente altos de fosfatos en tres sitios específicos: la superficie regadía servida por los canales Cacique Guaymallén y Jocolí, el tramo Colector Pescara-Auxiliar Tulumaya y la zona del Bajo río Mendoza.

Las principales fuentes de contaminación por fosfatos en el río Mendoza estarían relacionadas esencialmente a efluentes domésticos e industriales. Por su parte, aguas abajo de las zonas de cultivo, la presencia de estos aniones puede atribuirse al riego con aguas de re-uso (proveniente de los efluentes domésticos e industriales).

Futuros estudios debieran considerar una identificación y categorización de las fuentes de contaminación industrial, agrícola y doméstica (las primeras entre las numerosas industrias de base agrícola existentes en la zona de influencia del Colector Pescara y las últimas derivadas de las deficientes redes cloacales colectivas y/o pozos sépticos individuales que se encuentran en el Oasis).

Por último, una adecuada articulación entre la generación del conocimiento científico y la gestión integral del agua (superficial y subterránea) a través de la definición de indicadores de calidad, constituiría una meta sugerida con miras al desarrollo sustentable de la zona de estudio.

BIBLIOGRAFÍA

1. APHA, AWWA, WPCF. 1992 Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. Ed. Díaz de Santos S. A. 17^{ed.} Madrid, España. 1715 p.
2. Departamento General de Irrigación (DGI). 1996. Reglamento general para el control de contaminación hídrica. Resolución 778. Mendoza. Argentina.
3. Hoffmann, F. ; Pellegrin, J-C. 1996. Méthodologies hydrochimiques. In : Travaux du LGPA n° 14. p. 13-79.
4. _____; Tarrisse, A. 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. p. 63-97.
5. Lavie, E. 2007. Deux exemples d'aménagements pour l'amélioration de la qualité de l'eau d'irrigation dans l'oasis de Mendoza (Argentine). Le Système Pescara et l'imperméabilisation du canal Matriz San Martín. In : Travaux du Laboratoire de Géographie Physique Appliquée n° 25. Pessac, Marzo 2007. p. 83-106.
6. _____. 2009. Impact anthropiques et qualité des eaux dans l'oasis de Mendoza (Argentine): diagnostic, enjeux et durabilité. Tesis doctoral de la Universidad de Burdeos. 385 p.
7. _____; Morábito, J. A.; Salatino, S. 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. In : Actes du World Water Congres IWRA, Montpellier, 01-04 Septiembre 2008. p. 38-39.
8. Mastrantonio, L. 2006. Reúso agrícola de efluentes industriales y domésticos: efecto en la calidad de agua y suelo. Publicación de los Estados ibérico-americanos por la educación, la ciencia y la cultura. Departamento General de Irrigación. 95 p.
9. Morábito, J. A.; Salatino, S.; Medina, R.; Zimmermann, M.; Filippini, M. F.; Bermejillo, A.; Nacif, N.; Campos, S.; Dediol, C.; Pizzuolo, P.; Genovese, D.; Mastrantonio, L. 2005. Calidad del agua en el área regadía del río Mendoza (Argentina). Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina. 37(1): 1-23.
10. _____; Salatino, S.; Lavie, E.; Filippini, M. F.; Bermejillo, A.; Medina, R.; Zimmermann, M.; Campos, S.; Nacif, N.; Dediol, C.; Genovese, D.; Pizzuolo, P.; Mastrantonio, L. 2007. Impactos de las obras humanas sobre la mejora de la calidad del agua en el oasis regadío del río Mendoza: impermeabilización del canal Matriz San Martín. Actas del CONAGUA, mayo 2007. 9 p.

Agradecimiento

A la Prof. Isabelle Fauquet, por su ayuda en las correcciones del presente trabajo.