

REÚSO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS EN LA ACTIVIDAD AGROPECUARIA: EL CASO DE CAFAYATE, SALTA

M.L. Gatto D'Andrea^{1*}, V. Garcés², G. Salas Barboza², V.I. Liberal³, S. Rodríguez Álvarez⁴ y L. Seghezzo¹
Instituto de Investigaciones en Energía No Convencional (INENCO), Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Universidad Nacional de Salta (UNSa), Avda. Bolivia 5150, A4408FVY Salta, Argentina
Tel. +54-387-4255516; E-mail: mlauragatto@gmail.com

Recibido 16/08/14, aceptado 28/09/14

RESUMEN: En este trabajo se presenta una experiencia de más de 50 años en reutilización de aguas residuales domésticas para riego agrícola en una zona árida de la provincia de Salta, Argentina. Se realiza una descripción general del estudio de caso, una evaluación preliminar de la aptitud sanitaria, agronómica y ambiental del efluente tratado para riego y una apreciación del productor sobre las ventajas y desventajas de la experiencia. Los resultados indican que el efluente tratado no tendría restricciones para riego en cuanto a salinidad, permeabilidad y toxicidad. La calidad sanitaria del efluente tratado es baja, detectándose elevados niveles de bacterias coliformes fecales. El sistema de tratamiento no remueve los microorganismos debido a su escaso tiempo de retención hidráulica. Se recomienda continuar con el riego de cultivos restringidos y aplicar medidas precautorias en la manipulación del efluente.

Palabras clave: Aguas residuales domésticas, Cafayate, reúso, riego, Salta.

INTRODUCCIÓN

El aumento de la demanda de agua para la agricultura, la industria y el sustento de poblaciones urbanas y rurales ha llevado a una creciente escasez de agua en muchas partes del mundo (Hoekstra *et al.*, 2012). La escasez física de agua se puede definir como la insuficiencia para satisfacer la demanda y como el agua misma, puede fluctuar en el tiempo y en el espacio (PNUD, 2006). Es muy probable que en las regiones donde hay escasez, los recursos hídricos ya se encuentren degradados o sometidos a procesos de degradación de su calidad, lo que acentúa aún más la problemática (Pereira *et al.*, 2002). Los conflictos entre usuarios del agua se originan usualmente a raíz de la competencia entre la demanda urbana (doméstica e industrial) y agrícola (Mara y Cairncross, 1990). Se estima que la agricultura representa el mayor usuario de agua a nivel mundial, con alrededor del 70% en comparación con el uso industrial (20%) y doméstico (10%) (FAO, 2002). Además, el crecimiento poblacional implica un aumento significativo en la demanda de agua y alimento, como así también una liberación de volúmenes de aguas residuales cada vez mayores que requieren de un tratamiento y disposición final adecuados (Scott *et al.*, 2004).

Aguas residuales domésticas (ARD)

Las aguas residuales generadas por una comunidad se denominan aguas residuales urbanas. Estas incluyen: (a) aguas residuales domésticas (ARD), también llamadas “líquidos cloacales”, que son aquellas provenientes de baños, cocina, lavaderos, etc.; (b) aguas residuales industriales (crudas o tratadas) con descarga al sistema de alcantarillado; y (c) agua de lluvia y escorrentía urbana (van Haandel y Lettinga, 1994). Las aguas residuales domésticas son el componente principal de las aguas residuales y a menudo se utilizan como sinónimos. El caudal y su composición varían de un lugar a otro, en función de aspectos económicos, comportamientos sociales, industrias en la zona, condiciones climáticas, consumo de agua, entre otros factores. Los principales contaminantes en las aguas residuales son: (a) sólidos en suspensión; (b) compuestos orgánicos solubles; y (c) microorganismos patógenos fecales. Sin embargo, también se pueden detectar una gran variedad de productos químicos como metales pesados, elementos traza, detergentes y otros compuestos inusuales como productos farmacéuticos, antibióticos y hormonas.

El reúso de ARD

La necesidad de conservar y utilizar el agua dulce de manera más eficiente ha llevado a buscar distintas alternativas de abastecimiento de agua para complementar o sustituir las fuentes habituales (Pereira *et al.*, 2002). Una opción consiste en la reutilización o el reúso de las aguas residuales domésticas (en rigor se debería hablar de “uso” de ARD debido a que, como tales, nunca han sido utilizadas con anterioridad.). Esta actividad puede definirse como el “uso de aguas residuales tratadas o sin tratar para un propósito diferente de aquel para el que fueron generadas” (Jiménez y Asano, 2008).

¹ CONICET- INENCO

² Facultad de Ciencias Naturales (UNSa) – INENCO

³ Profesora Adjunta Facultad de Ingeniería - UNSa

⁴ INENCO – UNSa

* Autor a quien se debe enviar la correspondencia

Las actividades de recuperación y reutilización de agua son especialmente relevantes en regiones áridas y semiáridas debido a la escasez de agua y la variabilidad estacional de las precipitaciones. Si bien existen numerosas aplicaciones, el uso de ARD en la agricultura ha sido y es actualmente la aplicación más extendida y de mayor tradición en el mundo (Scheierling *et al.*, 2010). Las aguas residuales constituyen una fuente segura de agua durante todo el año y contienen nutrientes que pueden reemplazar parcial o totalmente los fertilizantes empleados por los agricultores (OMS, 2006). Por otra parte, el suelo representa un excelente sistema de tratamiento adicional para las aguas residuales (Friedel *et al.*, 2006). El uso de aguas residuales para riego puede ser clasificado como directo (cuando se utiliza como tal en el campo) o indirecto (cuando hubo una descarga previa en algún cuerpo de agua utilizado para riego) (Metcalf & Eddy, 2003; van der Hoek, 2004). Se estima que el área irrigada a nivel mundial con ARD crudas o tratadas asciende aproximadamente a unas 20 millones de hectáreas en más de 50 países (Scott *et al.*, 2004; Jiménez y Asano, 2008). Se pueden citar muchos ejemplos de uso de ARD para riego en todo el mundo, siendo China, México y Estados Unidos los países que más reutilizan sus aguas residuales (Jiménez y Asano, 2008). En América Latina, donde menos del 14% de las aguas residuales recolectadas reciben algún tipo de tratamiento, el riego con aguas residuales sin tratar (directo o indirecto) podría superar los dos millones y medio de hectáreas. La actividad se desarrolla en México, Perú, Colombia, Chile, Argentina y Bolivia para riego de pasturas, cultivos industriales, vegetales y frutales (Moscoso y Egocheaga, 2004). Si bien existen algunos casos documentados de reúso planificado, en general predominan las prácticas informales y sin control adecuado (Crook *et al.*, 2005). Aunque las ARD poseen un gran potencial como fuente alternativa de agua, su uso debe ser regulado para evitar o minimizar algunos riesgos que podrían afectar la salud pública y el medio ambiente. Desde el punto de vista de la protección de la salud, los contaminantes de mayor riesgo son los microorganismos patógenos (bacterias, virus, protozoos y helmintos), cuya diversidad y cantidad suelen ser mayores en las ARD de los países en desarrollo (Mara y Cairncross, 1990; OMS, 2006). Muchos de estos organismos son capaces de sobrevivir en el ambiente (agua, cultivos, suelo) lo suficiente como para transmitir infecciones a los humanos (OMS, 2006). Enfermedades como la diarrea, la fiebre tifoidea, la malaria, y la infecciones de áscaris (*Ascaris lumbricoides*), anquilostomas (*Ancylostoma duodenale*, *Necator americanus*), triquina (*Trichuris trichiura*) y otros parásitos intestinales son las más comunes en agricultores y consumidores que entran en contacto directo con las aguas residuales, incluso cuando se someten a un cierto grado de tratamiento (Siebe y Cifuentes, 1995).

Crterios de calidad

Independientemente de su fuente, la calidad del agua es un tema fundamental en la agricultura (Ayers y Westcot, 1985) y la misma se define mediante características físicas, químicas y biológicas. Los principales parámetros que determinan la aptitud de las ARD tratadas para el riego son el contenido de patógenos, salinidad, toxicidad específica de iones, elementos traza y nutrientes (Nazari *et al.*, 2012). La FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) plantea una guía para la evaluación de la aptitud del agua para riego (Ayers y Westcot, 1985). Esta directriz recomienda algunas restricciones en el uso del agua de riego relacionadas con: (a) salinidad (afecta la disponibilidad de agua para el cultivo); (b) permeabilidad (afecta la tasa de infiltración de agua en el perfil del suelo); (c) toxicidad de iones específicos (afecta a cultivos sensibles); y (4) efectos diversos (afecta a cultivos susceptibles) (**Tabla 1**).

Problemas potenciales	Unidad	Grado de restricción		
		Ninguno	Leve a moderado	Severo
Salinidad				
CE	dS/m	<0.7	0.7-3.0	>3.0
TSD	mg/l	<450	450-2000	>2000
Infiltración				
RAS _{aj}	0-3	>0.7	0.7-0.2	<0.2
	3-6	>1.2	1.2-0.3	<0.3
	6-12	>1.9	1.9-0.5	<0.5
	12-20	>2.9	2.9-1.3	<1.3
	20-40	>5.0	5.0-2.9	<2.9
Toxicidad				
Sodio (Na)	RAS _{aj}	<3	3-9	>9
Riego superficial	mg/l	<70	>70	
Riego por aspersión				
Cloruro (Cl)	mg/l	<140	140-350	>350
Riego superficial	mg/l	<105	>105	-
Riego por aspersión	mg/l	<0.7	0.7-3.0	>3.0
Boro (B)				
Efectos diversos				
Nitrógeno (NO ₃ -N)	mg/l	<5	5-30	>30
Bicarbonato (HCO ₃)	mg/l	<90	90-500	>500
pH			6.5-8	

Tabla 1: Directrices de la calidad fisicoquímica del agua para irrigación. Adaptado de Ayers y Westcot (1985). CE: Conductividad eléctrica a 25 °C; RAS_{aj}: Relación de Absorción de Sodio ajustada.

Sin embargo, la calidad sanitaria es considerada la principal razón para el establecimiento de guías y regulaciones para el reúso seguro de estas aguas en distintas aplicaciones (Metcalf & Eddy, 2003). El reúso está muy poco regulado en países de bajos ingresos, donde además los costos y beneficios asociados a la práctica no son muy conocidos (Scott *et al.*, 2004). La provincia de Salta no cuenta con normativa oficial sobre la calidad del agua para reúso; sólo existe una norma de la ex Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable para vuelco de efluentes en cursos de agua y absorción por suelo (Resolución N° 011/01). La Organización Mundial de la Salud (OMS) propone una directriz microbiológica que puede ser alcanzada bajo tratamiento en una serie de lagunas de estabilización (**Tabla 2**)

Ambas guías se emplean como referencia para la irrigación con aguas residuales municipales tratadas, especialmente en países en desarrollo.

Categoría			Indicadores	
Tipo	Condiciones de reúso	Grupo expuesto	Nemátodos intestinales (promedio aritmético de huevos/L)	Coliformes fecales (promedio geométrico/100 mL)
A	Irrigación de cultivos consumidos crudos. Campos deportivos, parques públicos.	Trabajadores, consumidores, público.	≤ 1	≤ 1000
B	Irrigación de cereales. Cultivos industriales, forrajes, praderas y árboles	Trabajadores	≤ 1	No se recomienda ninguna norma
C	Irrigación localizada de cultivos de la categoría B si no están expuestos los trabajadores y el público.	Ninguno	No aplicable	No aplicable

Tabla 2: Directrices de calidad microbiológica para el uso de agua residual en agricultura. Adaptado de OMS (2006).

El reúso en Argentina

En Argentina, esta actividad se encuentra en expansión, aunque a nivel nacional aún no existe una normativa específica que regule la materia de manera uniforme. Entre las experiencias de reúso de agua residual tratada se destaca Mendoza, que cuenta con legislación propia y donde desde hace varias décadas se irrigan cultivos como vid, hortalizas y forrajes (Allamand, 2011). Otros casos se presentan en ciudades costeras de la Patagonia (Comodoro Rivadavia, Puerto Madryn y Rada Tilly) con fines forestales, riego de espacios públicos y producción de cereales y otros cultivos (Esteves y Gonzales, 2007). En muchas regiones de la provincia de Salta el agua es un factor limitante para la agricultura, y sus particularidades climáticas (especialmente su período de estiaje acentuado) condicionan los tipos de cultivos a implantar, la capacidad de las obras de infraestructura para acumular agua durante el período de lluvias, los turnos de riego entre productores de una misma fuente, entre otros factores (Manzanal y Villareal, 2010). Actualmente existen en la provincia unas 276 mil hectáreas bajo riego con diferentes estructuras y mecanismos de captación del recurso (DGE, 2012). Sin embargo, el reúso de ARD aún es una actividad incipiente y desarrollada de manera informal. La falta de antecedentes documentados sobre experiencias de reutilización de aguas residuales ha despertado la necesidad de investigar sobre casos concretos.

El objetivo de este trabajo es evaluar una práctica de reúso de ARD para riego de cultivos en una finca privada de la localidad de Cafayate, provincia de Salta. Esta evaluación incluye una descripción general del caso, una evaluación preliminar de la aptitud sanitaria, agronómica y ambiental del efluente tratado para riego y una apreciación del productor sobre las ventajas y desventajas de la experiencia.

MATERIALES Y METODOS

Descripción del área de estudio

La localidad de Cafayate se encuentra situada en el departamento homónimo, en la zona central de los Valles Calchaquíes de la provincia de Salta, a unos 1700 m.s.n.m. Cuenta actualmente con una población cercana a los 15000 habitantes (DGE, 2012). Los suelos de la zona son de escaso desarrollo (regosol éutrico) predominantemente de textura gruesa, pudiendo tener un drenaje excesivo. El clima se caracteriza por un moderado grado de aridez, consecuencia de las deficientes precipitaciones (200 mm anuales) y gran amplitud térmica. Las precipitaciones coinciden con el período de altas temperaturas (noviembre a marzo), concentrando el 80-85% del total anual (Paoli, 2002). Las escasas precipitaciones mensuales generadas no alcanzan a cubrir las necesidades hídricas de la zona, por lo que se presentan déficits hídricos en todos los meses del año (Tabla 3).

Parámetro (mm)	Meses												Total
	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	
P	72	45	19	3	0	0	0	0	2	5	10	45	200
ETp	128	105	105	62	37	27	23	38	54	90	103	128	901
D	-56	-60	-86	-59	-37	-27	-23	-38	-52	-85	-93	-83	-701

Tabla 3. Promedio de precipitación (P), evapotranspiración potencial (ETp) y déficit (D) para el área de estudio. Período 1999-2007. Estación meteorológica bodega El Esteco (Carón, 2008).

El abastecimiento de agua, tanto para usos urbanos como agropecuarios se hace principalmente a partir de recursos superficiales (Paoli, 2003). Esta localidad sustenta su economía en la actividad agropecuaria, y las prácticas agrícolas se realizan exclusivamente bajo riego. El cultivo de vid abarca la mayor superficie cultivada de la zona (60% aproximadamente) y se destina a la producción de vinos de excelente calidad. Otros cultivos típicos de la zona son pimiento, forrajes, cereales y hortalizas como cebolla y ajo (Paoli, 2002). Debido a la escasez de agua, el riego suele ser complementado con extracción subterránea, cuyas principales captaciones se encuentran bajo dominio de establecimientos viñateros y bodegueros. En la zona existen actualmente unos 467 usuarios que irrigan casi unas 3600 ha, a partir de tomas de agua del río (86%) y pozos perforados (14%) (DGE, 2012). Durante el período 2007-2012, el área bajo riego se ha incrementado sólo en un 6%. Al igual que en la ciudad de Salta, el servicio de agua potable y saneamiento en Cafayate es brindado por la Compañía Salteña de Agua y Saneamiento S.A. (CoSAySa), entidad que realiza un control trimestral de calidad de efluentes. La cobertura de agua potable y saneamiento es de 90.9% y 78.4% respectivamente (INDEC, 2010). Según datos aportados por la compañía, existen unas 3979 cuentas cloacales activas (Julio de 2014). La procedencia de las aguas residuales corresponde a la cobertura de la

red cloacal, incluyendo usuarios domiciliarios, actividades comerciales (restaurantes, almacenes, hoteles) y cuatro establecimientos bodegueros de la zona que vuelcan sus efluentes al sistema colector.

Caso seleccionado

El caso de estudio seleccionado es una finca agropecuaria emplazada en Cafayate. Esta finca ocupa una superficie total de 120 hectáreas (**Figura 1**). El caso se seleccionó luego de un relevamiento preliminar en el que se identificaron diversas prácticas de reúso de ARD efectuadas en forma directa e indirecta para riego de cultivos. El inicio de la práctica de reúso en la finca seleccionada se remonta a la década de 1950, cuando se inaugura el sistema de tratamiento de líquidos cloacales de la localidad de Cafayate. El antiguo propietario de la finca (progenitor del actual propietario) reconoció en aquel momento el valor intrínseco de las aguas residuales en una región donde los recursos hídricos son escasos y cedió parte de su terreno a la ex Administración General de Aguas de Salta (AGAS) para la construcción del sistema de tratamiento. Por aquel entonces la población de Cafayate era significativamente inferior a la actual, como así también la cantidad de efluentes que se generaban. El caudal de las aguas residuales domésticas aumentó con el crecimiento poblacional y el desarrollo de la infraestructura urbana.

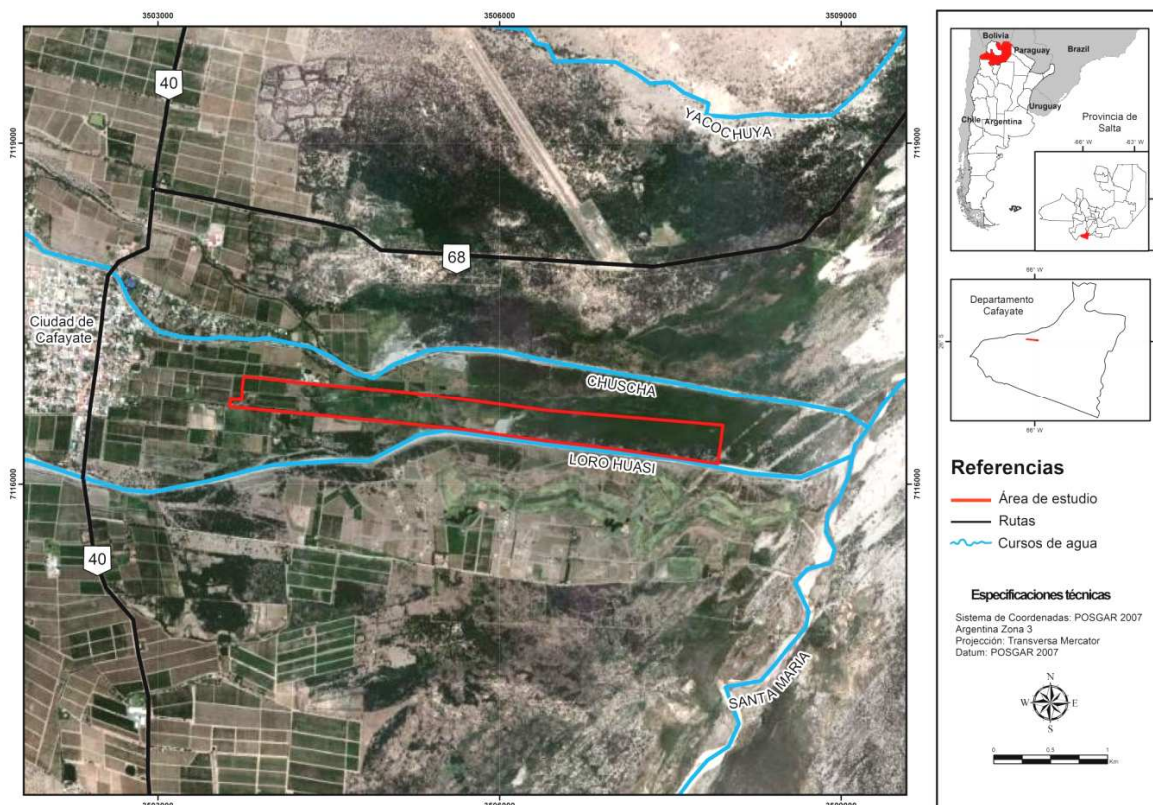


Figura 1. Ubicación del estudio de caso.

En un comienzo, las aguas tratadas eran usadas para el riego de pasturas o se insumían en el terreno, pero cuando el caudal generado tuvo un volumen significativo se dio inicio a la irrigación de vides. En el año 1990, luego de varios años de iniciada la práctica, el productor y AGAS acuerdan un convenio de reúso de las ARD. En este convenio se acuerda que el propietario, quien había cedido sus terrenos para la construcción de la planta depuradora, reciba como contraprestación el usufructo permanente y perpetuo de las aguas tratadas. La condición establecida para el reúso de estas aguas es evitar el riego de hortalizas de hojas o aquellas con frutos cercanos a la superficie del suelo. Dicho convenio fue ratificado en el año 2008 por la Secretaría de Recursos Hídricos de la provincia de Salta. El sistema de tratamiento de efluentes, que persiste actualmente, consiste una laguna de estabilización única cercada por alambrado perimetral. Se encuentra localizada en el predio de la finca, a unos 3 km del ejido urbano de Cafayate. El sistema de tratamiento posee un punto de ingreso único del efluente cloacal. Sus dimensiones son de 110 x 50 m y una profundidad de 1,5 m, lo que representa un volumen de 8250 m³. El tiempo de retención hidráulica (TRH) es de 2 días, suponiendo la completa disponibilidad del volumen de la laguna. Sin embargo, la laguna de estabilización se encuentra actualmente prácticamente colmada de barros y su superficie invadida por plantas palustres (totoras).

Las aguas residuales tratadas son empleadas en el predio de la finca durante todo el año para regar particularmente viñedos (**Figura 2**, derecha). Adicionalmente, el productor posee represas de almacenamiento del líquido tratado. Las aguas residuales también son utilizadas para bebida de ganado bovino, caprino y equino, y para riego de alfalfa y pasturas empleadas como forraje. Se complementa el riego con aguas superficiales provenientes del Río Chuscha, con un turno permitido de riego de una vez por mes. Esta fuente es utilizada para riego de otras 10 ha de vides ubicadas aguas arriba de la planta de tratamiento (**Figura 2**, izquierda).



Figura 2. Vides irrigadas con fuente de agua superficial (izquierda) y con aguas residuales tratadas (derecha).

El efluente de la salida de la laguna de estabilización se divide en dos corrientes. Una de ellas se emplea directamente para el riego de vides ubicadas aguas abajo, al Este de la laguna (S_1 , Figura 3). La otra corriente se dirige, a través de una tubería subterránea, hacia dos represas de almacenamiento situadas al Norte. A diferencia de la laguna, estas represas se encuentran bajo la administración del propietario. El ingreso a estos sistemas es regulado mediante una compuerta controlada por personal de trabajo de la finca. A partir de las represas se irriga avena (aunque en otras oportunidades se realizaron cultivos como anís y quínoa), y aguas abajo alfalfares y otras pasturas forrajeras (S_2 , Figura 3). También se produce pimiento (secado para pimentón) en el sector de los viñedos durante la época estival, propia del ciclo de este cultivo. Es decir que el efluente utilizado para riego de cultivos proviene tanto de la salida de la laguna (vides y pimiento) como de las represas (resto de los cultivos).

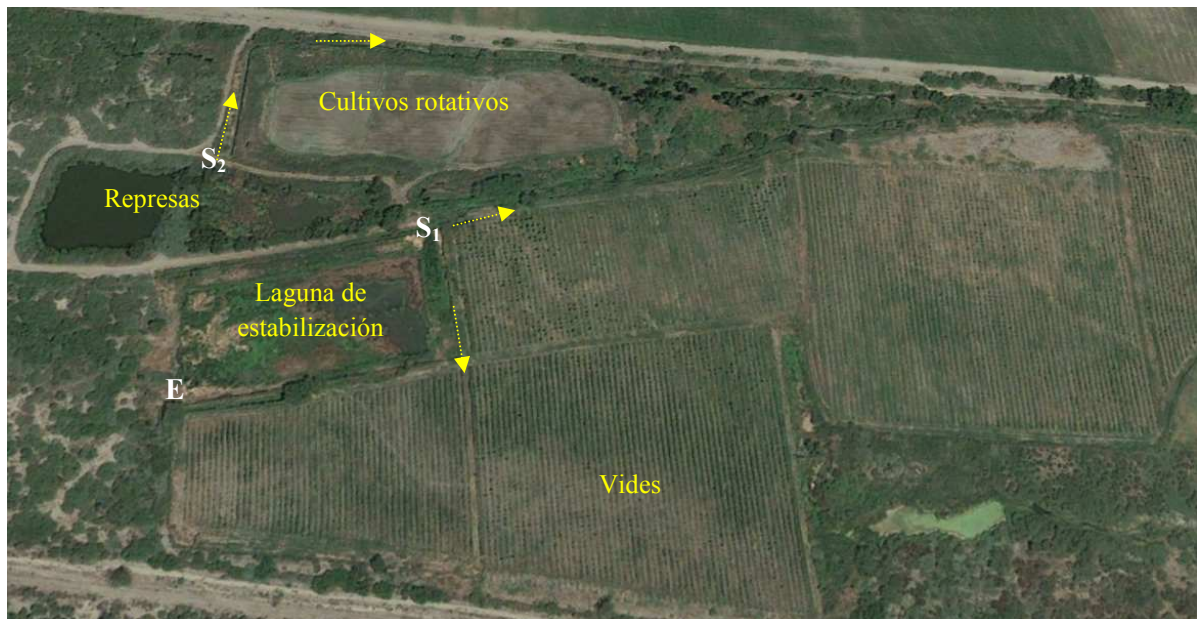


Figura 3. Imagen satelital del sistema de tratamiento y reúso de ARD para riego. E: Entrada del efluente crudo al sistema. S_1 : Salida del efluente de la laguna de estabilización. S_2 : Salida del efluente de las represas de almacenamiento.

Estimación de caudal

La estimación del caudal de la laguna de tratamiento se realizó mediante la siguiente fórmula:

$$Q = CAC * MH * E \quad (1)$$

Donde: Q = Caudal tratado ($m^3/día$); CAC = cuentas activas de cloacas; MH = módulo habitacional (habitantes/cuenta); E = efluencia ($m^3/habitante.día$). Los datos de CAC (actualizadas a julio de 2014) fueron proporcionados por CoSAySa. El MH se obtuvo del Plan Director 2009 (ENRESP, 2010). La variable E se calculó considerando las pérdidas en las redes (que la empresa estima en un 35%) y un coeficiente de retorno a la red del 80%. La dotación de agua fue aportada por CoSAySa, y

se ponderó diferenciando la dotación durante los meses de noviembre a marzo (426 litros/persona.día) y el resto del año (609 litros/persona.día).

Visitas de campo, toma de muestras y técnicas analíticas

El presente estudio está basado en visitas de campo realizadas en diversas oportunidades entre los años 2012 a 2014. La información referente al sistema de tratamiento de efluentes se complementó con entrevistas a personal de CoSAySa. Se realizó una encuesta semi-estructurada al productor agropecuario y otras entrevistas posteriores, a fin de recopilar información y antecedentes sobre su actividad. La caracterización preliminar del efluente fue realizada mediante análisis de parámetros físico-químicos y microbiológicos en muestras simples y compuestas. Para los análisis bacteriológicos se tomaron muestras puntuales en envases estériles. La muestra compuesta del líquido tratado se obtuvo a partir de la mezcla de muestras puntuales recolectadas cada dos horas durante 24 horas en el mismo punto de muestreo. Para los análisis físico-químicos se emplearon técnicas estandarizadas (APHA *et al.*, 1995) y micro métodos HACH®. Se recopilaron además los análisis de efluentes efectuados por CoSAySa durante la campaña de muestreo 2012-2013. Los análisis bacteriológicos para determinar la concentración de coliformes totales (CT) y coliformes fecales (CF) se realizaron utilizando la Técnica de Tubos Múltiples. La determinación de parásitos se realizó aplicando dos métodos: (a) método de concentración: sedimentación, centrifugación, flotación; y (b) método de cuantificación: conteo directo por microscopía con cámaras de McMaster y cuando correspondiese Número Más Probable (NMP) aplicado a microscopía. Los análisis fueron realizados en el Laboratorio de Estudios Ambientales (LEA) del INENCO. Los análisis de sodio y potasio se realizaron mediante fotometría de llama (Modelo Metrolab 305) en el laboratorio de la empresa Bórax Argentina.

A partir de la caracterización de la calidad del agua residual doméstica utilizada fue posible identificar si la práctica de reúso agrícola se efectúa conforme a los lineamientos internacionales y la normatividad local para vuelco de efluentes para absorción en suelo (Resolución N°011/01). Se tomaron como referencia internacional las directrices de la OMS para la calidad microbiológica (OMS, 2006) y directrices de la FAO (1985) para los criterios de calidad fisicoquímica de agua para riego. Se considera particularmente importante la salinidad, ya que las escasas precipitaciones y la alta evaporación en la zona de estudio, son factores que favorecen la acumulación de sales en los suelos. Se empleó además la clasificación propuesta por Richards en el Laboratorio de Salinidad Riverside, USDA (Richards, 1951). Este sistema se basa en la medida de la Conductividad Eléctrica (CE) del agua para determinar el riesgo de salinización del suelo y en el cálculo de la RAS (Relación de Absorción de Sodio) para determinar el riesgo de sodificación o alcalinización, según la siguiente fórmula:

$$RAS = \frac{Na}{\sqrt{(Ca+Mg)^2}} \quad (2)$$

Donde Na, Ca y Mg expresan concentraciones de sodio, calcio y magnesio en meq/L. Para emplear las directrices para evaluación de aguas de riego según la FAO (Ayer y Westcot, 1985), se emplea el RAS_{aj} (Relación de Absorción de Sodio ajustado), que tiene en cuenta la variación de la concentración de calcio en el agua del suelo debido a la disolución o precipitación de minerales carbonatados. Por lo tanto, para este cálculo, también se emplea la fórmula (2) con la salvedad de corregir la concentración de calcio del agua de riego.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caudales, requerimientos hídricos y excedentes de aguas residuales

Los cultivos irrigados en detalle se muestran en la **Tabla 4**. Las variedades implantadas de vid incluyen *Malbec*, *Cabernet*, *Torrontés* y *Riesling*. El método de riego en todos los casos es por surcos, con una pendiente mínima y la conducción hacia los distintos puntos de la finca se realiza mediante canales no impermeabilizados (acequias). Las estimaciones basadas en los requerimientos hídricos de los ciclos de aquellos cultivos más importantes en producción (vides, alfalfa y pasturas) apuntan a más de 500000 m³/año, cifra que sería considerablemente mayor si se consideran las pérdidas por eficiencia de conducción y aplicación del agua. La dotación promedio anual se estimó en unos 530 litros/persona.día y el caudal medio diario que ingresa al sistema de tratamiento en unos 4600 m³/día (53 L/s) (ambos presentarían variaciones según la época del año). Por lo tanto, con un volumen actual de aguas residuales de 1.7 millones de metros cúbicos anuales, existirían excedentes importantes que pueden tener distintos destinos: se insumen en otros sectores del terreno, infiltran hacia el agua subterránea, escurren hacia el bosque de algarrobos (situado en el tramo final de la finca) y finalmente hacia el cuerpo de agua (río Santa María).

Cultivo	Superficie (ha)	Rendimiento (kg/ha)	Destino	Necesidades de agua (mm/ciclo)	Volumen total (m ³ /año)
Vides (<i>Vitis vinifera</i>)	10	8000-10000	Venta para vitivinicultura	620	62000
Alfalfa (<i>Medicago sativa</i>)	10	8 cortes al año	Forraje	1500	150000
Pasturas (<i>Lotus corniculatus</i> , <i>Trifolium pratense</i> , <i>Agropyron elongatum</i>)	20	SD	Forraje	1500 ²	300000
Cultivos rotativos (avena)	2	SD	Forraje	-	-
Pimiento para pimentón	1	2000-3000	Venta (en seco)	575	17250
Frutales, zapallo	-	-	Consumo propio	-	-
TOTALES	43	-	-	-	529250

Tabla 4. Cultivos irrigados con aguas residuales. SD: Sin datos. A los fines de este trabajo, los requerimientos hídricos de las pasturas se asimilan a los de la alfalfa. Algunos datos tomados de Yáñez (2002), para una localidad con similares condiciones climáticas.

Calidad del efluente empleado para riego

Los resultados de algunos parámetros físico-químicos analizados en una muestra compuesta del efluente tratado tomada a la salida de la laguna se muestran en la **Tabla 5**.

Parámetro	Unidad	Valor	LMP	FAO
pH	-	7.2	6.5-10	6.5-8
Conductividad a 25 °C	mS/cm	0.66	-	< 0.7
Sól.Sed. 10'	ml/L	0.1	Ausente	-
Sól.Sed. 2 h	ml/L	0.2	≤ 5.0	-
DQO	mg/L	183	≤ 500	-
Nitrógeno (NH ₃ -N)	mg/L	31.5	≤ 75	-
Nitrógeno (NO ₃ -N)	mg/L	4.2	-	<5
Fósforo Total	mg/L	3.48	≤ 10	-
Sulfatos	mg/L	41	≤ 1000	-
Surfactantes aniónicos	mg/L	0.38	≤ 2.0	-
Boro	mg/L	0.3	≤ 1.0	< 0.7
Cloruros	mg/L	39.6	-	< 140
Calcio	mg/L	35	-	-
Magnesio	mg/L	19.5	-	-
Sodio	mg/L	47	-	-
Potasio	mg/L	13.6	-	-
Bicarbonatos	mg/L	293	-	<90
RAS – RASaj	-	1.6 - 1.8	-	< 3

Tabla 5. Parámetros físico-químicos de muestra compuesta del efluente tratado empleado para riego de vides. LMP = Límite máximo permitido según Resolución N° 011/01 para absorción por suelo. La columna FAO indica valores sugeridos para riego superficial sin restricciones.

Se observa que el efluente cumple con los límites de descarga establecidos por la legislación provincial para absorción por suelo, a excepción del límite establecido para nitrógeno total, que sería levemente superior a 30 mg/L debido a los aportes de nitrógeno amoniacal y nitratos. El efluente se encontraría dentro de la categoría sin restricciones para su uso en riego según las directrices propuestas por la FAO en cuanto a salinidad, infiltración y toxicidad. En relación a efectos diversos, habría una restricción moderada en cuanto al contenido de bicarbonatos (293 mg/L), pero que sólo afectaría a cultivos sensibles. Siguiendo la clasificación de Riverside, a partir de los valores de CE (0.66 mS/cm) y RAS (1.6) estas aguas corresponden a la clase C2, lo que indica una peligrosidad salina moderada. Esto implica que sólo se deberían adoptar precauciones especiales con aquellos cultivos muy sensibles a las sales. En este caso, la vid es un cultivo considerado moderadamente sensible a la salinidad (Maas y Hoffman, 1977). En cuanto al contenido de sodio se clasifica como clase S1, por lo que el peligro de sodificación es bajo, es decir que no habría problemas de permeabilidad. Estos resultados permiten inferir de forma preliminar que las aguas tratadas pueden ser usadas para riego de los cultivos actuales sin producir efectos negativos.

La empresa prestadora del servicio realiza monitoreo de la entrada y la salida de la laguna de tratamiento, pero no así de las represas de almacenamiento. Debido a la importancia de los parámetros biológicos para el desarrollo de esta práctica, se realizaron muestreos y análisis del efluente crudo y tratado, tanto por la laguna como por las represas, donde en estas últimas cabría esperar una mejora de su calidad. En la **Figura 4** se muestran los resultados de los análisis bacteriológicos correspondientes a bacterias coliformes fecales efectuados en tres ocasiones en los tres puntos de muestreo. Se observa que el NMP de CF del efluente tratado es superior al del efluente crudo. La salida del efluente de las represas muestra una leve mejora en los valores de CF de los dos primeros muestreos, mientras que en el tercer caso resultan bastante similares. El valor de CF de las aguas residuales empleadas para riego de vides y otros cultivos (S₁ y S₂) son muy superiores al valor recomendado por la OMS para riego de cultivos restringidos, es decir que estas aguas no serían aptas para riego de cultivos de consumo crudo como hortalizas, pero sí para los de categoría B (ver **Tabla 2**). Esto coincide con los requerimientos del convenio de reúso que prohíbe el riego de este tipo de cultivos. Por lo tanto, en cuanto a su calidad bacteriológica el efluente puede ser empleado para la irrigación de los cultivos actuales (vides, pimentón, forrajes) tomando las precauciones pertinentes.

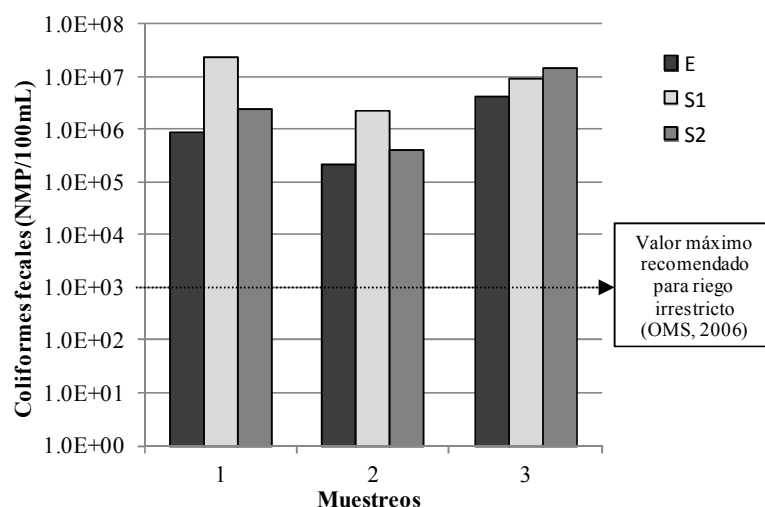


Figura 4. Bacterias coliformes fecales en efluentes crudos y tratados. E: Entrada a la laguna; S₁: Salida de la laguna; S₂: Salida de represas.

En la **Tabla 6** se muestran los resultados correspondientes al conteo de huevos de parásitos. Las especies de huevos de helmintos encontradas corresponden a *Uncinaria sp.*, *Fasciola hepática*, *Ascaris lumbricoides*, *Hymenolepsis sp.* Se observa que la cantidad de huevos de parásitos tiende a disminuir luego del tratamiento del efluente. Existe una mejora en los valores obtenidos a la salida de las represas, que puede atribuirse a una mayor sedimentación de los huevos. Sin embargo, las guías OMS son estrictas respecto a este parámetro (≤ 1 huevo/L) para las categorías de cultivos A y B, donde existen personas expuestas. Se observa que S₂ cumple con esta directriz y S₁ supera este valor en el segundo muestreo (3 huevos/L). En el efluente crudo se han detectado una mayor cantidad de huevos de helmintos, la cifra elevada en el primer muestreo puede atribuirse a la toma de la muestra del efluente crudo con gran contenido de barros.

Sector	E			S1			S2		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Muestreo	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Huevos/L	97	1	7	1	3	0,5	1	ND	ND

Tabla 6. Recuento de huevos de helmintos en efluente crudo y tratado. ND: No detectado; E: Entrada a la laguna; S₁: Salida de la laguna; S₂: Salida de represas.

El grupo de personas más vulnerable a las prácticas de reúso en la finca estaría conformado por los trabajadores permanentes o temporarios. La OMS no recomienda ninguna norma específica para la calidad bacteriológica de las aguas para riego de cultivos de categoría B, ya que son pocas las pruebas de que estos trabajadores estén expuestos a riesgo de infección por bacterias. Sin embargo, se sugiere que para la protección de los agricultores conviene reducir la concentración bacteriana en las aguas residuales empleadas para cualquier fin. En el caso de los árboles frutales que se emplean para consumo propio, es recomendable que las frutas no sean recogidas del suelo. Los resultados preliminares en cuanto a la calidad sanitaria permiten anticipar que el sistema de tratamiento de aguas residuales no está operando correctamente. Aunque se observa una disminución en los huevos de helmintos detectados en el efluente tratado, no se observa remoción de bacterias coliformes fecales en el sistema. El escaso tiempo de retención real en el sistema de tratamiento sería insuficiente para remover los microorganismos patógenos. La presencia de malos olores podría atribuirse al funcionamiento anaeróbico de algunos sectores de la laguna. Por otra parte, en relación a la normativa provincial, el valor límite de bacterias CF para vuelco de efluentes para absorción por suelo es 2000 NMP/1000 mL, valor que no se cumple en ninguno de los casos, reiterando la necesidad de disponer de un tratamiento adicional. La normativa no establece valores límites para parásitos.

En cuanto a las ARD que son empleadas para bebida de los animales existen escasos estudios. Entre los casos reportados, Shuval *et al.* (1985) ha detectado evidencias de transmisión de enfermedades al ganado que se alimenta de campos recién regados con agua residual cruda o que ha bebido de estas aguas, aunque la transferencia de enfermedades a la población que consume carne proveniente de estos animales no está totalmente comprobada. En el caso estudiado, los animales parecen gozar de buena salud a juzgar por las reiteradas visitas de campo.

Durante la experiencia de trabajo se han realizado una cantidad relativamente baja de muestreos y análisis de los parámetros físico-químicos y biológicos de las aguas residuales, lo que limita un análisis profundo de los resultados. Cabe destacar, sin embargo, que los resultados obtenidos son similares a los del monitoreo realizado por la empresa prestadora del servicio de agua potable y saneamiento.

Percepción del productor sobre las ventajas y desventajas de la experiencia

Las ventajas y desventajas presentadas en esta sección sintetizan la información recopilada a campo y las entrevistas efectuadas al productor agropecuario sobre esta experiencia de reúso. La finalidad es que más allá de exponer los resultados del estudio, se conozca la percepción del usuario de las ARD y su visión sobre el tema. Un elemento importante a mencionar son los incentivos para la realización de esta práctica. La motivación más destacada del productor en relación al reúso de las aguas residuales en su actividad agropecuaria es la escasez de agua propia de la zona. Al respecto, menciona que su actividad no sería factible sin el aporte de este recurso. Como motivación secundaria, recalca el aporte de nutrientes contenido en el efluente, que permite fertilizar naturalmente el suelo para los cultivos. Contrariamente, las vides regadas con aguas superficiales en un sector de la finca son abonadas con productos químicos. El productor destaca además que esta actividad debería ser aplicada en otras zonas marginales. Como principal desventaja, menciona los detergentes presentes en las aguas residuales producto de los usos domésticos, para lo cual tuvo que diseñar un “sistema de golpe” a la salida de la laguna para retirar la espuma del efluente. Otra dificultad concierne al gran desarrollo de malezas debido al exceso de nutrientes y materia orgánica, por lo que debe aplicar productos químicos para combatirlos. En cuanto al sistema de tratamiento de efluentes, considera que podría mejorar, y que ha cedido terreno para la construcción de un sistema de lagunas de estabilización en su finca, que actualmente estaría considerado en proyecto.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El presente trabajo muestra una experiencia en la provincia de Salta en relación a la reutilización de aguas residuales domésticas para irrigación de cultivos. El área de estudio tiene déficit hídrico durante todo el año, por lo que el efluente tratado representa un recurso necesario para la actividad agropecuaria.
- Según la actividad agrícola, los cultivos irrigados pertenecen a la categoría B según la OMS (cereales, industriales, forrajes, praderas y árboles).
- Los elevados contenidos de bacterias coliformes fecales en el efluente tratado exigen la toma de precauciones en la manipulación de las aguas residuales para minimizar los riesgos en la salud de los trabajadores expuestos, particularmente por el tipo de riego utilizado.

- En cuanto a la aptitud agronómica para riego, una evaluación preliminar sugiere que las aguas residuales no presentarían restricciones para ser empleadas en riego de vides. Según la clasificación de Riverside, pertenece a la clase C2-S1, siendo de peligrosidad salina moderada y de sodicidad baja.
- Los análisis efectuados son preliminares y se hizo hincapié en determinados parámetros, pero debe tenerse en cuenta que una evaluación completa del sistema de tratamiento y reúso de aguas residuales deberá perfeccionarse con análisis posteriores y con la consideración de otros elementos, por ejemplo, metales pesados.
- Se sugiere evaluar el impacto en el ambiente debido a esta práctica, como ser mediante estudios de vulnerabilidad del acuífero, posible afectación de suelos o cuerpos de agua. Este trabajo está enfocado en la actividad agrícola, pero sería interesante evaluar el riesgo inherente al consumo del líquido tratado en los animales.
- Aunque se ha demostrado baja eficiencia en el tratamiento del efluente, el sistema de tratamiento y reúso cuenta con una trayectoria de muchos años, sin efectos adversos detectables para la salud del productor, los trabajadores y los animales del predio.
- La visión del productor es positiva respecto a esta práctica.

Del estudio realizado se desprenden una serie de recomendaciones para la optimización del sistema de tratamiento y reúso por parte de la empresa prestataria del servicio de agua potable y saneamiento:

- Realizar un control más exhaustivo de las aguas residuales, aumentando la frecuencia de muestreo (incluso a diferentes horas del día) y en las distintas estaciones del año.
- Realizar una limpieza de los barros de la laguna.
- Incluir la toma de muestras compuestas y la determinación de parásitos en el monitoreo de efluentes.
- Aumentar la capacidad de depuración del sistema de tratamiento del efluente incorporando otras unidades al mismo.
- Mejorar la distribución del ingreso de los efluentes a la laguna.
- Incorporar elementos al sistema de tratamiento, como ser un sistema de rejillas a la entrada del mismo y una canaleta Parshall para medir sistemáticamente los caudales.

Finalmente, se destaca que la ausencia de un marco legal específico y las deficiencias existentes en los servicios de saneamiento en el estudio de caso (y en muchas localidades de la provincia) son desafíos importantes para promover y formalizar el uso de las aguas residuales. Aunque existen numerosos antecedentes y trabajos científicos en el tema a nivel mundial, este estudio permite conocer la situación local y circunscripta a las características propias de la región. También se establecen las bases para el planteo de escenarios futuros (como ser crecimiento poblacional, nuevos usuarios, mejoras en el servicio). En las condiciones actuales, el aprovechamiento seguro de este recurso debería disponer de un tratamiento eficiente de las aguas residuales como así también incluir medidas preventivas en la práctica. Por otra parte, se hace hincapié en el cumplimiento de normas internacionales para reúso agrícola hasta que se disponga de una normativa provincial concreta.

REFERENCIAS

- Allamand M. (2011). Reúso de efluentes cloacales para riego agrícola en la provincia de Mendoza: Una propuesta económica para cambiar de dirección. En *Actas del VI Congreso Iberoamericano: Regulación, Gestión y Control de los Servicios Públicos*. Mendoza, Argentina.
- APHA, AWWA, WEF. (1995). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 19th ed., Eaton, A.D., Clesceri, L.S., y Greenberg, A.E., eds., American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation, Washington DC, USA.
- Ayers R.S. y Westcot D.W. (1985). *Water quality for agriculture*. Irrig. Drain. FAO, Roma, pp. 174.
- Carón M. (2008). *Análisis de las posibilidades de recuperación del Bosque de Algarrobos afectados por incendios* Tesina de Grado. Universidad Nacional de Salta. Facultad de Ciencias Naturales.
- CoSaYSa (Compañía Salteña de agua y saneamiento- Aguas del Norte) (2013). Respuesta a la nota elevada N°34462.
- Crook J., Mosher J.J., Casteline J.M. (2005). Status and role of water reuse. An international view. Global Water Research Coalition. United Kingdom, London.
- DGE (Dirección General de Estadísticas) (2012). *Anuario Estadístico*. Año 2012 – avance 2013. Provincia de Salta.
- ENRESP (Ente Regulador de los Servicios Públicos) (2010). *Plan Director de agua potable y saneamiento*. Período 2010 - 2025. Bases para el Plan Director de la provincia de Salta.
- Esteves J.L. y Gonzales P. (2007). Relevamiento de la situación ambiental urbana en la zona costera patagónica. Informe Técnico del Proyecto “Consolidación e Implementación del Plan de manejo de la Zona Costera Patagónica para la Conservación de la Biodiversidad” GEF-PNUD ARG/02/G31. Fundación Patagonia Natural.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) (2002). *Crops and Drops: Making the Best Use for Agriculture*. Rome, Italy.
- Friedler E., Lahav O., Jizhaki H., Lahav T. (2006). Study of urban population attitudes towards various wastewater reuse options: Israel as a case study. *Journal of Environmental Management* 81, 360–370.
- Hoekstra A.Y., Mekonnen M.M., Chapagain A.K., Mathews R.E., Richter B.D. (2012). Global Monthly Water Scarcity: Blue Water Footprints versus Blue Water Availability. *PLoS ONE* 7, 2: e32688.
- INDEC (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos) (2010). Datos estadísticos disponibles en: <http://www.indec.com.ar>
- Jiménez B. y Asano T. (2008). *Water Reuse: an international survey of current practice, issues and needs*.-Scientific and Technical report No.20. IWA Publishing, Londres, Inglaterra.
- Manzanal M. y Villarreal F. (2010). *El desarrollo y sus lógicas en disputa en territorios del norte argentino*. 1ª Edición. Ediciones CICCUS. Buenos Aires, Argentina.

- Mara D. y Cairncross S. (1990). Directrices para el uso sin riesgos de aguas residuales y excretas en agricultura y acuicultura. Medidas de protección de la salud pública. OMS (Organización Mundial de la Salud). Ginebra, Suiza.
- Mass E. V. y Hofman G. J. (1977). Crop salt tolerance. Current assessment. ASCE Journal of Irrigation and Drainage Division. 103: 116-134.
- Metcalf & Eddy (2003). Wastewater Engineering: Treatment and Reuse. 4th Edition, McGraw Hill, New York, EE.UU.
- Moscoco J.C. y Egocheaga L.Y. (2004). Avances del Inventario Regional de la Situación de las Aguas Residuales Domésticas en América Latina. Proyecto Regional: Sistemas Integrados de Tratamiento y Uso de Aguas Residuales en América Latina: Realidad y Potencial Convenio IDRC – OPS/HEP/CEPIS, 2000 – 2002. Lima, Perú.
- Nazari R., Eslamian S., Khanbilvardi R. (2012). Water Reuse and Sustainability. Ecological water quality - Water treatment and reuse, 241-254.
- OMS (Organización Mundial de la Salud) (2006). Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater. Volume II. Wastewater use in agriculture. Ginebra. Suiza.
- Paoli H.P. (2002). Recursos Hídricos de la Puna, Valles y Bolsones Áridos del Noroeste Argentino. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA)- Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Salta.
- Paoli H.P. (2003). Aprovechamiento de los Recursos Hídricos y Tecnología de Riego en el Altiplano Argentino. Recursos Hídricos de la Puna, Valles y Bolsones Áridos del Noroeste Argentino. EEA- INTA Salta.
- Pereira L.S., Oweis T., Zairi A. (2002). Irrigation management under water scarcity. Agricultural water management 57, 175 – 206.
- PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo) (2006). Informe sobre Desarrollo Humano. Más allá de la escasez: Poder, pobreza y la crisis mundial del agua. Nueva York, EEUU.
- Richards L.A. (1951), Laboratorio de Riverside, USDA. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. Manual de Agricultura N° 60. Departamento de Agricultura de EE.UU.
- Scheierling S.M., Bartone C., Mara D.D., Drechsel P. (2010). Improving Wastewater Use in Agriculture: An Emerging Priority. The World Bank Policy Research Working Paper 5412.
- Scott C.A., Faruqi N.I., Raschid-Sally L. (2004). Wastewater use in irrigated agriculture: management challenges in developing countries. In: Wastewater Use in Irrigated Agriculture. Confronting the Livelihood and Environmental Realities. Chapter 1, 1-10. CABI Publishing, Wallingford, UK.
- Shuval H. I., Yekutieli P., Fattal B. (1985). Epidemiological evidence for Helminth and Cholera Transmission by vegetables irrigated with wastewater: Jerusalem- A case study. Water Science and Technology 17, 433-442
- Siebe C. y Cifuentes E. (1995). Environmental impact of wastewater irrigation in central Mexico: An overview. International Journal of Environmental Health Research 5, 161-173.
- van der Hoek W. (2004). A framework for a global assessment of the extent of wastewater irrigation: the need for a common wastewater typology. In: Scott C.A., Faruqi N.I., Raschid-Sally L., editors. Wastewater reuse in irrigated agriculture. Confronting the livelihoods and environmental realities. Chapter 2, 11-24. CABI Publishing. Wallingford, U.K.
- van Haandel A.C. y Lettinga G. (1994). Anaerobic sewage treatment. A practical guide for regions with a hot climate. Chichester, England. John Wiley & Sons Ltd. 226 p.
- Yáñez, C. (2002). Necesidades de agua y riego para 20 localidades de Salta y Jujuy. EEA Salta. Prosusnoa. INTA. Disponible en: http://anterior.inta.gov.ar/proreñoa/info/resultados/nec_agualluvia/index.htm.

ABSTRACT

This article describes a 50-year long experience of irrigation with domestic wastewater in an arid region of the province of Salta, Argentina. We provide a general description of the case study, a preliminary assessment of the sanitary, agricultural, and environmental quality of the wastewater, and an overview of the perception of the producer on this activity. Results show that the wastewater can be safely used for irrigation in terms of its salinity and toxicity. Sanitary quality is low, with high levels of fecal coliforms. The wastewater treatment system does not efficiently remove pathogens due to its short hydraulic retention time. Application of this wastewater must be avoided for vegetables that are consumed raw, and some precautionary measures should be taken to reduce manipulation risks.

Keywords: irrigation, Cafayate, Salta, wastewater reuse.