

LAS AGUAS RESIDUALES COMO ALIVIO AL PROBLEMA HÍDRICO EN LAS ZONAS SEMIDESÉRTICAS. CASOS DE ESTUDIO EN LA REPÚBLICA ARGENTINA

Mario L. Perossa

Universidad de Buenos Aires. Av. Córdoba 2122 C1120AAQ. Ciudad Autónoma de Buenos Aires - Argentina

marioperossa@yahoo.com.ar

Resumen

<p>Recibido: 12/2023</p> <p>Aceptado: 5/2024</p>	<p>Este trabajo desarrolla el análisis del caso de Israel en el tratamiento de las aguas residuales, mostrando avances en el desarrollo de suelos desérticos para favorecer el mercado agrícola, obteniendo un beneficio al mercado interno logrando el abastecimiento de alimentos para la población de dicho país y aumentando sus ganancias debido a la mejora de las exportaciones en el rubro agrícola. Teniendo en cuenta el caso de éxito en Israel debido a la sinergia positiva entre el consumo y tratamiento de las aguas residuales, se analizó la gestión de estas mismas aguas en la provincia de San Juan para el aprovechamiento de los desiertos con potencial agrícola y se propuso una alternativa para mejorar la situación actual tratando el agua mediante un mecanismo similar a las plantas de tratamiento que disminuyen el impacto ambiental en Israel. También se analizan otras soluciones de menor inversión y para casos particulares.</p>
<p>Palabras clave</p> <p>Aguas residuales.</p> <p>Impacto ambiental, agrícola</p>	<p>Copyright: Facultad de Ciencias Económicas, Universidad de Buenos Aires.</p> <p>ISSN: 2250-687X - ISSN (En línea): 2250-6861</p>

WASTEWATER AS A RELIEF TO THE WATER PROBLEM IN SEMIDESERTIC AREAS. STUDY CASES IN THE ARGENTINE REPUBLIC

Mario L. Perossa

Universidad de Buenos Aires. Av. Córdoba 2122 C1120AAQ. Ciudad Autónoma de Buenos Aires - Argentina

marioperossa@yahoo.com.ar

Abstract

KEYWORDS

Wastewater
Environmental impact
agricultural

This work analyses the case of Israel in the treatment of wastewater, which shows progress in the development of desert soils in favor of the agricultural market, obtaining a benefit for the internal market, achieving food supply for the population of said country and increasing their profits due to the improvement of exports in the agricultural sector. Considering the success story in Israel due to the positive synergy between the consumption and treatment of wastewater, the management of these same waters in the province of San Juan was analyzed for the use of deserts with agricultural potential and an alternative was proposed to improve the current situation by treating water through a mechanism similar to treatment plants that reduces the environmental impact in Israel. Other solutions with lower investment and for particular cases are also being analyzed.

Copyright: Facultad de Ciencias Económicas, Universidad de Buenos Aires.

ISSN: 2250-687X - ISSN (En línea): 2250-6861

“Hoy, casi el 90 por ciento de nuestras aguas residuales se reciclan. Eso es alrededor de cuatro veces más alto que cualquier otro país del mundo”
Erdan, Ministro de Israel, 2016.

INTRODUCCIÓN

Este trabajo desarrolla el análisis del tratamiento de las aguas residuales, mostrando cómo a través del uso de agua tratada apta para riego permite importantes avances en la mejora de los suelos desérticos, favoreciendo el mercado agrícola, obteniendo un beneficio para el mercado interno logrando el abastecimiento de alimentos para la población de dicha región e incrementando sus ingresos debido a la mejora de la producción agrícola, tanto para consumo interno como para incluso la exportación.

Siguiendo a Gatto D'Andrea y otros (2014) se entiende por aguas residuales domésticas a:

“...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.

Los desiertos son áreas de tierra que reciben menos de 25 centímetros de lluvia al año. Tienen una humedad baja y pueden carecer de agua, que se evapora más rápido de lo que se repone. En Argentina, este bioma está compuesto por dos tipos de vegetación según sea el desierto frío o el desierto cálido. Su temperatura promedio que varían entre los 7 y los 11°C con grandes amplitudes térmicas que se encuentran entre el día y la noche. El clima es intensamente caluroso. Las temperaturas de día pueden superar los 40°C y por la noche las temperaturas descienden incluso por debajo de los 0°C con precipitaciones anuales entre los 130 y 340 mm, dependiendo de la zona.

Existen soluciones con la necesidad de agua relacionados con la generación de energía, alimentación de calderas, sistemas de refrigeración, embotellado de bebidas, producción de alimentos y más.

También el reúso de efluentes tratados puede utilizarse para riego de cultivos, huertos y viñedos, campos de golf y jardines. Otros usos incluyen recarga de agua subterránea y la preservación o el aumento de humedales o hábitats ribereños, así como también para la descarga de inodoros, limpieza de calles y otros propósitos similares. Las soluciones en el uso de agua tratada pueden

volcarse para actividades agrícola-ganaderas o su uso con ciertas restricciones para ciertas actividades en las ciudades.

Teniendo en cuenta el caso de éxito logrado en experiencias internacionales debido a la sinergia positiva entre la producción, el consumo y el tratamiento de las aguas residuales para riego de cultivos en zonas semi desérticas o desérticas, se analizará la gestión de estas mismas aguas en la provincia de San Juan para el aprovechamiento de los desiertos con potencial agrícola y se propondrá como alternativa para mejorar la situación actual tratando el agua mediante un mecanismo similar a las plantas de tratamiento que además disminuyen el impacto ambiental.

Si bien hay un alto costo en infraestructura en el transporte del agua tratada desde los centros de producción -las grandes ciudades que generan cantidad de efluentes-, se han desarrollado soluciones de tratamiento de efluentes descentralizadas, más pequeñas, que son especialmente adecuadas para reutilizar agua o efluentes cerca del punto de uso, ciudades más chicas o pueblos con sistema de cloacas, que proporcionan una solución rentable, reduciendo la necesidad de invertir en grandes proyectos de infraestructura y ayudando a proteger el medio ambiente.

Las ventajas de la reutilización de agua proporcionan, entre otros, los siguientes beneficios:

1. Preservan recursos de agua dulce
2. Posponen o eliminan la necesidad de desarrollar un nuevo recurso de agua
3. Reducen los costos de disposición y de energía
4. Mejoran los costos a largo plazo del suministro de agua
5. Minimizan el impacto ambiental de la descarga de efluentes
6. Atraen nuevas industrias
7. Mejoran la sostenibilidad de las comunidades locales y la economía

2. EL PROBLEMA DEL AGUA Y DE LAS AGUAS RESIDUALES

Los trabajos efectuados en el país y la región son incipientes. Se ha realizado una investigación preliminar a fin de evaluar la factibilidad del proyecto y de disponer de los mínimos recursos para su comienzo. A estos efectos, se ha contado con antecedentes locales e internacionales referidos al impacto ambiental, social y económico que tratan el tema y hallaron alguna solución para este problema.

Con relación a la carencia de un sistema de riego y la transformación de las aguas residuales se trae a colación la gestión y el tratamiento que realiza Israel en la incorporación de las zonas áridas para la producción agrícola, este país es líder en la utilización de aguas residuales y en la utilización de la tecnología de riego por goteo que tiene un fin de ahorro y dinero principalmente también en fertilizantes, en concreto, el riego por goteo se amolda a cualquier tipo de terreno y cualquier escala es por esto que resulta aplicable a cualquier área árida. En la región del Dan, en Israel, una zona agrícola de aproximadamente 16.000 ha es regada con esta agua recuperada mediante el uso de plantas de tratamientos de aguas residuales.

Las aguas servidas provenientes de las ciudades como consecuencia del uso residencial, comercial y fabril que se desechan en los cursos de agua o penetran la tierra, significan la contaminación de efluentes y manantiales que a mediano y largo plazo atentan contra la flora y la fauna en primer lugar para luego atentar contra la salud humana.

La importancia de su tratamiento da lugar a la formación de ecosistemas más amigables con el entorno, más sanos, permitiendo que el agua tratada resultante pueda utilizarse para el riego de

nuevas áreas de cultivo, promoviendo el trabajo y el crecimiento de las comunidades en el sector agrícola, contribuyendo a la mejora en las condiciones de vida y colaborando en la construcción de una sociedad más responsable en el uso de sus recursos. Una vez tratadas, las aguas residuales pueden utilizarse para reemplazar el agua dulce para riego, procesos industriales o fines recreativos. También pueden usarse para mantener el flujo ambiental, y los productos derivados de su tratamiento pueden generar energía y nutrientes.

2.1 Casos de tratamiento y reúso de efluentes en Argentina

Binchini (s/d) describe un caso en la localidad de Guaymallén, Provincia de Mendoza donde se realizó la experiencia en un domicilio particular desde 2015. El sistema elegido fue del tipo eco-máquina o *Living Machine* debido a la simplicidad de funcionamiento en la que los principales procesos de depuración lo realizan seres vivos mediante mecanismos ecológicos. Se obtuvo una alta eficiencia de remoción de contaminantes generando agua con calidad para riego y permitiendo el reúso de la totalidad de los efluentes domiciliarios, a través del desarrollo de un sistema de depuración eficiente, simple y de bajo mantenimiento. El caso es de especial importancia porque en la zona no hay acceso a la red cloacal. El sistema utilizado, ideado por *John Todd* denominado *Living Machine*, o eco-máquina, en donde la mayoría de los componentes activos no son mecánicos, sino organismos vivos. Los sistemas *living machine* o eco-máquinas son una serie de tanques conectados en serie que poseen una cubierta vegetal y se inyecta aire a través de difusores. Estos sistemas conforman complejos ecosistemas que depuran el agua a medida que circula por los tanques



Fuente: Bianchini (s/d). Depuración de efluente domiciliario con sistema Living Machine.

El resultado final es que El efluente obtenido presenta calidad de riego y una valiosa carga de nutrientes.

Por su parte, el estudio de lagunas de estabilización para el tratamiento de aguas residuales en Puerto Madryn fue estudiado por Faleschini et al (2008). El uso de lagunas de estabilización para el tratamiento de aguas residuales se ha incrementado en zonas en que se dispone de terreno para su localización. Esto se debe a que estos sistemas son capaces de lograr, con un diseño adecuado, los niveles microbiológicos necesarios para poder reutilizar el agua tratada sin desinfectar (Romero Rojas, 1999, mencionado por Faleschini y otros, 2008). Finalmente, los resultados logrados fueron que el tratamiento de aguas residuales por medio de lagunas de estabilización es un sistema apto en la región patagónica.

1. La remoción de DBO no presentó variaciones estacionales, lo que permite un manejo homogéneo del sistema. No fue el caso de la remoción de amonio, que se incrementa en los meses cálidos por consumo biológico.

2. El líquido a la salida de la laguna facultativa tuvo una concentración promedio de $3,1 \times 10^4$ NMP/100 mL de coliformes fecales, por lo que puede ser reutilizado en riego restringido.
3. Con un diseño adecuado (laguna facultativa más laguna de maduración) sería posible lograr niveles bacteriológicos para reusar el líquido, de manera irrestricta.
4. El reúso total del agua en la zona continental minimizaría los procesos de eutroficación en la zona costera.

Por su parte, Gatto D'Andrea y otros (2014) realizaron un estudio donde presentan la 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. Según la actividad agrícola, los cultivos irrigados pertenecen a la categoría B según la OMS (cereales, industriales, forrajes, praderas y árboles). 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 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.

Cremona y otros (2018) analizaron el resultado obtenido en forrajeras regadas con agua de pozo versus aguas tratadas, observando para ciertas especies una mayor producción con las aguas tratadas.

Cuadro 1 Rendimientos medios de alfalfa en la primera y segunda temporada de cortes en kg MS/ha.

		1ª Temporada	2ª Temporada
Agua pozo	Alfalfa	23182,8 ± 1616,8	46243,7 ± 1623,8
	Campo Natural	6591,8 ± 1779,1 a	16766,3 ± 5274,5 a
Agua tratada	Alfalfa	23662,0 ± 4067,9	50579,3 ± 7935,9
	Campo Natural	17314,7 ± 2403,1 b	42216,0 ± 7530,1 b

Fuente: Cremona y otros (2018). Reutilización de aguas residuales tratadas en cultivos forrajeros y forestales en Ing. Jacobacci.

Luego, llegaron a la conclusión de que con la aplicación de agua tratada. Tanto la producción de forraje como de biomasa resultan sumamente interesantes para una región con serias limitaciones para producir estos productos con otros recursos. Sin embargo, se observa que los cambios en el suelo pueden ser significativos

En 2021, Cremona, M.; Riat, M.; Velasco, V. repitieron el estudio anterior sobre los resultados obtenidos a partir del riego de forrajeras con aguas de pozo y tratadas, obteniendo resultados similares al anterior.

Cuadro 2 Rendimiento promedio en materia seca (MS) por hectárea (ha) en cuatro temporadas de riego para los tratamientos del ensayo de forrajeras

		Promedio kg MS/ha
Campo Natural	Agua de Perforación	12876 ± 1987
	Agua residual tratada	26469 ± 3389
Alfalfa	Agua de Perforación	29070 ± 1392
	Agua residual tratada	31876 ± 1562

Fuente: Cremona, M.; Riat, M.; Velasco, V. (2021)

La aplicación de agua tratada aumentó significativamente los rendimientos, o sea que gran cantidad de nutrientes que de otro modo se perderían o acumularían en el suelo, son retenidos y aprovechados para la producción de forraje (Cremona y otros, 2021).

3. EL CASO DE LA PLANTA DE SHAFDAN, EN ISRAEL

En Israel se recicla más del 75% de las aguas servidas obteniendo agua potable apta para riego; la planta de Shafdan recicla anualmente más de 130 millones de metros cúbicos de agua residual por año. El efluente secundario de esa planta se utiliza para infiltrarlo en los campos en Rishon, Letzion y Yavne. A partir de estos campos, el efluente se recarga en los acuíferos, donde se somete a los procesos naturales físicos, biológicos y químicos que mejoran su calidad. El agua de los acuíferos se bombea hacia el desierto del Negev, a unos 90 km de distancia, donde se utiliza para el riego de cítricos, zanahorias, patatas, lechugas, trigo y cultivo de flores.

El proyecto de reutilización de la región Dan, en Israel, parece ser el mayor de este país. Con una capacidad para 120 Mm³/año, incluye el postratamiento del agua y la gestión de las actividades de reutilización (recarga del acuífero, almacenamiento en embalse, riego directo, etc.). Los efluentes de tratamientos biológicos que incluyen la eliminación de nutrientes son empleados en la recarga de acuíferos tras su paso por un lecho de arena. Los productos cultivados en las zonas irrigadas son algodón, cereales, girasol, árboles frutales y flores para exportación.

La experiencia internacional indica que la árida Israel y todo el medio oriente ha sufrido históricamente de escasez de agua. Mientras que el uso de la desalinización en Israel es conocido, no es tan conocido que el país también haya revolucionado su sistema de reciclaje de agua para proporcionar el 25% de su consumo de agua.

Sistema de reutilización de agua de Israel

El agua tratada para su reutilización se utiliza predominantemente para el riego agrícola. Aproximadamente el 10% se utiliza para fines ambientales, como el aumento del volumen del caudal del río y la extinción de incendios. Solo el 5% finalmente se descarga en el mar.

4. EL CASO DE LA PROVINCIA DE SAN JUAN

La provincia de San Juan presenta un aspecto espacial de baja rentabilidad económica, puesto que carece en cantidad y calidad del recurso suelo, ya que predomina la presencia de afloramiento rocoso y del recurso agua, ya que la escasez de precipitaciones, - no superan en forma general los 100 mm- y escasez de cursos fluviales permanentes a nivel superficial determinan a su superficie como desértica o semi desértica.

La modificación en el uso de la tierra traerá aparejado más áreas de cultivo, movilizándolo la inversión en plantas de tratamiento de aguas residuales, transformación de zonas desérticas en zonas aptas para la explotación agrícola, permitiendo desarrollar el trabajo entre las comunidades existentes, llevando innovación para el desarrollo.

En relación con la situación actual de la provincia de San Juan según un documento de la Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura, y desde un punto de vista geoeconómico, la provincia de San Juan presenta un aspecto espacial de baja rentabilidad económica, puesto que carece en cantidad y calidad de los recursos: suelo (ya que predomina la presencia de afloramiento rocoso) y agua (escasez de precipitaciones, puesto que no superan en forma general los 100 mm y escasez de cursos fluviales permanentes a nivel superficial). De esta manera el clima también influye en los sistemas de modelado, en los regímenes fluviales, en los tipos de suelos y en las formaciones vegetales.

La provincia de San Juan tiene una superficie de 92.789 Km² y sólo el 2,36% de las tierras son aptas para el desarrollo agrícola, Esto significa que solamente en 218.649 Hectáreas es posible desarrollar alguna actividad agrícola. De éstas están empadronadas con derecho a riego aproximadamente 160.000 has, que representan el 72% del área factible de cultivar

La dificultad para conseguir un elemento vital como el agua (no solo para beber sino para riego) tiene implícito el concepto del uso medido de la misma provocando una producción y un consumo responsable, un mayor respeto por la naturaleza y mayor autonomía de las comunidades y desarrollo de las personas.

Analizar por parte de las autoridades la viabilidad de la instalación de una planta para el tratamiento de aguas residuales en la provincia de San Juan para aportar agua de riego en zonas desérticas y su transformación en tierras de cultivo se transforma en un tema crítico, que debe incluir.

1. Análisis de los casos exitosos de plantas de tratamiento de aguas residuales para uso agrícola a nivel internacional.
2. Analizar y establecer las zonas aptas para la instalación de una planta para el tratamiento de aguas residuales en la provincia de San Juan.
3. Análisis del impacto ambiental, económico, social, productivo, cultural en la tierra y las comunidades involucradas.

El informe del Banco Mundial del año 2000, Gestión de los recursos hídricos de Argentina: elementos de política para el desarrollo sostenible en el siglo XXI, constituyó un hito clave en el avance de la agenda del agua de Argentina al informar los Principios Rectores de la Política Hídrica, que se aprobaron en 2003. Con el mismo espíritu, este último informe ayuda a desarrollar aún más la agenda del agua en Argentina al identificar una serie de inversiones y políticas necesarias para incrementar la resiliencia del país y contribuir al logro de la agenda de los Objetivos de Desarrollo Sostenible para el 2030.

Resultados esperados:

1. Recupero de aguas servidas para su uso en agricultura.
2. Expansión de la frontera agrícola a través de la provisión de agua para riego.
3. Proveer de nuevas fuentes de trabajo productivo.
4. Incrementar la producción, el comercio, el bienestar y el crecimiento de las comunidades afectadas.
5. Contribuir a la construcción de una comunidad autosustentable y ecoeficiente.
6. Si bien el agua reciclada se utiliza para el riego, es de calidad potable.

7. Contribuye a preservar el medio mediante la disminución de los daños ecológicos que pueden ser causados por aguas residuales no tratadas.

La planta Shafdan, en Israel, es un modelo y ejemplo de los resultados esperados, ya que mide con precisión el volumen de agua reutilizada y que mediante un mecanismo eficiente de riego -y en función del volumen de agua que podría reciclar y regar en la provincia-, se infiere que el uso de agua residual aplicado al valle de Bermejo podría aplicar en hasta un 100% de las aguas a tratar de la provincia.

Valencia (2014) define a los proyectos sociales como “Desde una perspectiva de Desarrollo Social, el proyecto es un conjunto de acciones dirigidas a producir cambios, a transformar la realidad, la situación o condición de un grupo social determinado. Para lograr el desarrollo social en una región es necesario que se realicen intervenciones en forma directa (proyectos de inversión y proyectos sociales) e indirecta (proyectos complementarios).

Entonces, se entiende a los proyectos sociales como a aquellas inversiones que se orientan a la resolución de problemas que afectan a una sociedad -o parte de ella-, con el fin de intentar satisfacer las necesidades básicas de un grupo determinado de la población afectado por problemas determinados. Es posible trazar una correlación positiva entre la fragilidad social y la carencia y la responsabilidad social con acciones positivas por parte del Estado o los particulares, por otro lado.

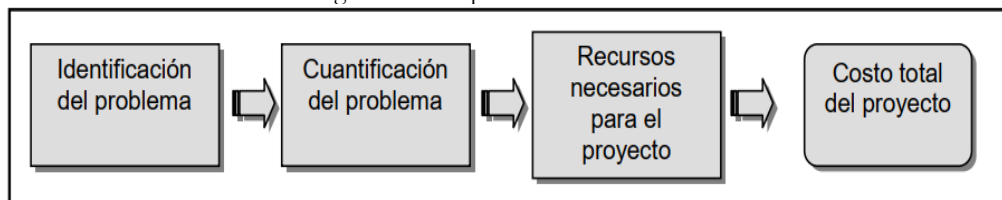
Un proyecto social intenta siempre resolver una carencia, un problema concreto y definido y apunta al grupo social que pretende mejorar.

Hay cierto consenso en que los proyectos sociales pueden clasificarse en (solo enumerativa, no taxativa):

1. aquellos que intentan satisfacer en forma directa una determinada carencia en base a estándares aceptados a ciertos grupos sociales,
2. a los que apuntan a introducir tecnologías organizativas para producir cambios en las situaciones sociales.
3. a los que facilitan en forma indirecta la satisfacción de una necesidad específica,
4. a los que introducen nuevas tecnologías para mejorar situaciones ambientales o sociales.

La elaboración de proyectos implica sistematizar un sistema para lograr una jerarquía y articular una serie de acciones que permitan alcanzar el éxito. En el siguiente cuadro es posible observar una primera aproximación al problema.

Figura 2 Pasos para el análisis de casos



Fuente: Elaboración propia.

Para el caso de análisis el problema planteado es la escasez de agua potable disponible para realizar las actividades básicas humanas indispensables para asentar y acrecentar una población en áreas desérticas o semi desérticas, por lo cual las variables del problema son:

1. Identificación del problema: falta de agua en cantidad suficiente para consumo, riego y otros usos menores.
2. Cuantificación del problema: La provincia de San Juan tiene una superficie de 92.789 Km² y sólo el 2,36% de las tierras son aptas para el desarrollo agrícola, Esto significa que solamente en 218.649 Hectáreas es posible desarrollar alguna actividad agrícola en las condiciones actuales. En particular, en el valle del Bermejo se evidencia la problemática de la falta de agua suficiente para la agricultura, de acuerdo con un documento publicado por la FAO, este valle cuenta con una extensión de 6.360 km² y cumple una función ambiental importante, pero carece de suficiente agua para tener significación agrícola.
3. Recursos necesarios para el proyecto: se propone utilizar sistemas biológicos naturales para la purificación y mejoramiento de agua en la Provincia de San Juan, especialmente en el valle de Bermejo, que incluyan efluentes de granjas lecheras, granjas avícolas y mataderos, así como otras empresas agrícolas. Adicionalmente se propone la adopción de sistemas de riego por goteo con el fin de generar un ciclo sustentable en la producción agrícola.
4. Costo total del proyecto: debido al alto costo de transporte de agua, las soluciones de tratamiento de efluentes descentralizadas son especialmente adecuadas para reutilizar agua o efluentes cerca del punto de uso. Proporcionan una solución rentable, a medida de las necesidades, reduciendo la necesidad de invertir en grandes proyectos de infraestructura y ayudando a proteger el medio ambiente, aportando no sólo a la necesidad del obtener agua sino también a minimizar la huella ambiental.

En el caso de la solución propuesta, se pueden replicar modelos a pequeña escala como los domiciliarios presentados por Bianchini (s/d), que obtuvo una alta eficiencia de remoción de contaminantes generando agua con calidad suficiente para riego y permitiendo el reúso de la totalidad de los efluentes domiciliarios, a través del desarrollo de un sistema de depuración eficiente, simple y de bajo mantenimiento. El caso resulta de especial importancia porque en la zona donde se realizó el ensayo no hay acceso a la red cloacal.

Por su parte, Faleschini y otros (2008) estudiaron para la zona de Puerto Madryn el uso de lagunas de estabilización para el tratamiento de aguas residuales en zonas con servicio de cloacas y que se dispone de terreno suficiente para su localización. Esto se debe a que estos sistemas son capaces de lograr, con un diseño adecuado, los niveles microbiológicos necesarios para poder reutilizar el agua tratada sin desinfectar. Finalmente, los resultados logrados fueron que el tratamiento de aguas residuales por medio de lagunas de estabilización es un sistema apto en la región patagónica, cabría realizar el estudio para la zona de San Juan debido a las diferencias climáticas.

Por su parte, Gatto D'Andrea y otros (2014) realizaron un estudio donde presentan la 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. El sistema de tratamiento de efluentes, que persiste actualmente, consiste una laguna de estabilización única cercada por alambrado perimetral. 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.

Cremona y otros en 2018 primero y luego en 2021 Cremona, M.; Riat, M.; Velasco, V. repitieron el estudio sobre los resultados obtenidos a partir del riego de forrajeras con aguas de pozo y aguas tratadas, obteniendo resultados similares en ambos casos observando para ciertas especies una mayor producción con las aguas tratadas.

Finamente, y con una inversión superior a las antes mencionadas, la solución integral aportada por la experiencia israelí en el proyecto de reutilización de aguas residuales desarrollado en la región del Dan, el mayor de este país. Con una capacidad para 120 Mm³/año, incluye el postratamiento del agua y la gestión de las actividades de reutilización (recarga del acuífero, almacenamiento en embalse, riego directo, etc.). Los efluentes de tratamientos biológicos que incluyen la eliminación de nutrientes son empleados en la recarga de acuíferos tras su paso por un lecho de arena. Los productos cultivados en las zonas irrigadas son algodón, cereales, girasol, árboles frutales y flores para exportación. Para este caso particular, es necesario la infraestructura necesaria para llevar las aguas tratadas hasta las zonas de su utilización.

CONCLUSIONES

La aplicación de modelos de tratamientos de aguas residuales domésticas, cloacales, provenientes de establecimientos agropecuarios o de fábricas, pueden ser tratadas para su uso posterior (de acuerdo con su nivel de tratamiento, para el riego de forrajeras, de plantaciones como cereales y frutales, consumo animal e incluso apta para el consumo humano).

La reutilización cumple dos fines bien identificados: por un lado, un fin ecológico que se encuentra enmarcado en los Objetivos de Desarrollo Sostenible, identificados en: 6. Agua limpia y saneamiento; 8. Trabajo decente y crecimiento económico; 9. Industria, innovación e infraestructura; 11. Ciudades y comunidades sustentables; 12- Producción y consumo responsable; 15. Vida de ecosistemas terrestres. Y en segundo lugar apoyando a las comunidades con necesidades específicas con soluciones que permitan modificar su presente y aseguren el futuro de nuevos asentamientos agrícolas productivos en las regiones hoy no aptas para una economía de crecimiento.

Fue posible identificar distintos tipos de soluciones para cada caso en particular:

1. Solución para unidades particulares sin acceso a la red de servicios de cloacas.
2. Solución de baja inversión que a través de lagunas de estabilización utilizan medios naturales y adicionalmente en algún caso particular una desinfección adicional.
3. Soluciones integrales a gran escala que trata las aguas servidas de ciudades completas (normalmente transportan las aguas residuales a kilómetros de la zona de tratamiento) para luego trasladarla -nuevamente mediante otras cañerías- hacia las zonas desprovistas de agua. En este último caso se observa que el agua reciclada es apta hasta para consumo humano.

Implementar soluciones de esta índole permite ofrecer soluciones a los grupos de interés social, brindando la oportunidad de construir crecimiento económico efectivo en zonas deprimidas que ayuden al arraigo de las nuevas generaciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bianchini, L. (s/d). Depuración de efluente domiciliario con sistema *Living Machine*. Depura Sistemas Biológicos De Depuración Y Reuso De Aguas). Recuperado de: <https://bdu.siu.edu.ar/bdu/Record/I11-R89753/Description>
- Cremona, M.; Riat, M.; Velasco, V. (2021). De desecho a recurso el uso de agua residual tratada para riego en zonas áridas. Presencia N° 75, pp 15-19. Recuperado de <https://rid.unrn.edu.ar/handle/20.500.12049/9500>
- Cremona, M.; Riat, M.; Magnin, S.; Velasco, V. Sánchez, M. y Tanzer, L. (2017). Reutilización de aguas residuales tratadas en cultivos forrajeros y forestales en Ing. Jacobacci. Recuperado de: <http://rid.unrn.edu.ar/handle/20.500.12049/3868>
- Faleschini, M; Estéves, M; Fuhr H y Estéves, J (2008). Tratamiento y reúso de aguas residuales en la Patagonia coterá. Estudio de Puerto Madryn, Argentina. Recuperado de: <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/101502>
- Gatto D'Andrea, M; Garcés, G; Salas Barboza, V; Liberal, S; Rodríguez Álvarez y L. Seghezzi (2014). Reúso de aguas residuales domésticas en la actividad agropecuaria: el caso de Cafayate, Salta. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 18, pp.01.09-01.18. Recuperado de: <https://portalderevistas.unsa.edu.ar/index.php/averma/article/view/1918>
- Valencia, W. (2011). Inversión social: Enfoque para clasificar los proyectos. Revista de la Facultad de Ingeniería Industrial 14(1): 09-14 (2011) UNMSM. Recuperado de: https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/indata/v14_n1/pdf/a02.pdf