

# Perspectivas

## en asuntos ambientales

Revista Profesional  
de la Escuela de  
Asuntos Ambientales

volumen 5 – 2016



## En esta edición

- Guías para la reutilización de aguas residuales
- Plan de reúso de aguas residuales
- Apoyo del público en la reutilización de aguas residuales
- Impacto económico del reúso de aguas residuales
- Recarga de acuíferos con aguas residuales
- Reutilización de aguas residuales en porquerizas
- Riego de áreas verdes con aguas residuales
- Percepción de la ciudadanía sobre el reúso de aguas residuales



9

# Perspectivas

en asuntos ambientales

**UMET** | UNIVERSIDAD  
METROPOLITANA  
SISTEMA UNIVERSITARIO  
ANA G. MÉNDEZ

# Perspectivas

en asuntos ambientales

La revista *Perspectivas en Asuntos Ambientales* (PAA) es un organismo informativo de la Escuela de Asuntos Ambientales (EAA) de la Universidad Metropolitana en el que estudiantes, profesores y colaboradores diseminan sus trabajos relacionados con el tema ambiental. Publicamos trabajos originales producto de tesis, tesinas y proyectos de planificación ambiental, así como evaluaciones de programas implantados e investigaciones de profesores que aborden los asuntos ambientales. También incluye ensayos de opinión o perspectivas sobre los asuntos ambientales. Estos componentes enmarcan la tónica de lo que en principio será la función de la revista como instrumento de difusión y foro de discusión.

La EAA aporta hacia la capacitación de profesionales, el desarrollo de la conciencia ambiental y la solución de problemas ambientales que enfrenta nuestra sociedad a través de sus componentes académicos, investigativos y proyectos de impacto comunitario y educación profesional. Incluye los programas graduados de Maestría en Ciencias en Gerencia Ambiental, Maestría en Planificación Ambiental y Maestría en Artes en Estudios Ambientales. Además, contamos con centros de adiestramiento especializado, certificados profesionales e investigación como el Instituto de Educación Ambiental, Atlantic OSHA Training Center, el Centro de Estudios para el Desarrollo Sustentable, el Laboratorio de Química Ambiental y Toxicología Molecular, Estación de Investigación Las Cucharillas, y el Instituto de Fotónica de Puerto Rico.

PAA (ISSN 2167-4752 impreso; ISSN 2167-6828 en línea) se publica anualmente. Para los detalles en los gráficos y fotos, favor de remitirse al documento en PDF en línea en nuestra página: <http://www.suagm.edu/umet/perspectivas/index.asp>. Las instrucciones para autores que desean someter artículos se encuentran publicadas en la página 94 de esta edición y también están disponibles en línea bajo la misma dirección electrónica. Dirija su correspondencia a través del correo electrónico [perspectivasaa@suagm.edu](mailto:perspectivasaa@suagm.edu).

---

The *Journal of Environmental Affairs Perspectives* (JEAP) is an annual professional open access online (ISSN 2167-6828) and printed (ISSN 2167-4752) journal published by the School of Environmental Affairs of Universidad Metropolitana in Puerto Rico. For submission requirements of manuscripts, please refer to the page 94 in this issue or go to <http://www.suagm.edu/umet/perspectivas/index.asp>). JEAP aims to disseminate research-based knowledge on current environmental matters, the application of theories to environmental practices, and environmental education.

The mission of the School of Environmental Affairs is to develop professionals who are competitively equipped to address the environmental challenges of the 21<sup>st</sup> Century, support and promote scientific applied research to search for sustainable environmental solutions, and establish meaningful links with communities to work together towards the sustainability of our environmental resources.

JEAP publishes original papers, review papers, critical essays, planning projects, program evaluations, technical notes, case studies, and book reviews. Research papers may be focused on any of the following fields: environmental science, environmental planning, environmental education, climatology, water resources, coastal and marine management, biodiversity, forestry, environmental & occupational epidemiology, toxicology, and green chemistry.

ISSN 2167-4752 (Impreso)

ISSN 2167-6828 (En línea)

### **COMITÉ EDITORIAL**

María Calixta Ortiz-Rivera, Ph. D., Editora en Jefe

José Orlando García-García, MP, PPL, ABD

Christian Vélez-Gerena, MSEM

Carlos R. Morales-Agrinzoni, MSEM

Ivette Torres-Negrón, Ph. D.

Lourdes Febres-Miranda, MSEM

### **CONSEJO ASESOR**

Carlos M. Padín-Bibiloni, Ph. D., Director

José Gómez-Galán, Ph. D.

Yvonne Guadalupe-Negrón, MAC

Alex Rodríguez-Alvarez, MBA

Juan C. Musa-Wasil, Ph. D.

Molly A. Hardigree-Cancel, MTS

Universidad Metropolitana  
PO Box 21150, San Juan, PR 00928

Volumen 5, 2016

*Formato para citar artículos en esta revista:*

Apellidos, I. I. (2016). Título del artículo. *Perspectivas en Asuntos Ambientales*, 5(1), 1-95.



#### **Foto portada**

Vista aérea de la planta de tratamiento secundario de aguas residuales con capacidad para tratar hasta 1.2 millones de galones diarios, ubicada en Palmas del Mar Utility, Humacao.

© Aerofoto International Inc.

#### **Descargo de responsabilidad**

La EAA no se responsabiliza por la precisión de hechos y opiniones aquí presentadas o por omisiones en la utilización de fuentes primarias en el contenido de los artículos de los autores que colaboraron en esta edición. El lector debe hacer su propia evaluación en términos de cuán apropiado es el contenido y los métodos utilizados.

#### **Diseño gráfico**

Lorian Dávila: [loridavila@gmail.com](mailto:loridavila@gmail.com)

#### **Diseño e Impresión**

Ha sido posible gracias a fondos de la iniciativa para la competencia de propuestas de Investigación en Agricultura y Alimentos 2016-69007-25084 del Instituto Nacional de Alimentos y Agricultura de Departamento de Agricultura de los Estados Unidos.

**Derechos de Autor 2016.** Sistema Universitario Ana G. Méndez. Prohibida la reproducción total o parcial de los textos y fotografías incluidos en la revista, sin previa autorización de sus autores y la EAA.

## CONTENIDO TEMÁTICO

### Editorial

- Conferencia sobre reutilización de aguas residuales tratadas para la agricultura en Puerto Rico.....7  
*María Calixta Ortiz, Editora en Jefe*

### Reseña de Libro

- Uso seguro del agua para el reúso .....11

### Ponencias panel Retos que conlleva la reutilización de aguas residuales en la agricultura

- Guías de EPA-2012 para la reutilización de aguas residuales para la agricultura .....13  
*Ing. Carl Axel P. Soderberg, PE*

- Plan de reutilización de aguas residuales en Puerto Rico.....22  
*Aurie Lee Díaz Conde, MP, PPL*

- Desafíos de la agricultura en Puerto Rico para garantizar la seguridad alimentaria .....27  
*Agro. Carlos E. Irizarry Ruíz*

- Disponibilidad de fondos para la creación de charcas de oxidación en fincas agrícolas para la reutilización de las aguas residuales en la agricultura .....37  
*Ing. Damaris Medina*

### Conferencias magistrales

- Elementos claves para lograr el apoyo del público en la reutilización de las aguas: el caso de San Diego, California .....44  
*Ing. Peter Silva*

|   |    |
|---|----|
| El impacto económico de la reutilización de aguas residuales..... | 51 |
| <i>Juan A. Villeta Trigo</i>                                      |    |

**Ponencias panel Realidades de la reutilización de aguas residuales en proyectos agroindustriales en Puerto Rico**

|   |    |
|---|----|
| Proyecto de aguas residuales de la planta de Santa Isabel<br>para la recarga de acuíferos ..... | 57 |
| <i>Ing. Gregory H. Morris</i>   |    |

|  |    |
|--|----|
| Proyecto de reutilización de aguas residuales en porquerizas ..... | 68 |
| <i>Agro. Boris Corujo</i>  |    |

|   |    |
|---|----|
| Proyecto de riego de pastos con aguas residuales de vaquerías ..... | 73 |
| <i>Agro. Héctor Cordero</i>   |    |

|   |    |
|---|----|
| Proyecto de riego de campos de golf y áreas verdes con aguas residuales en Palmas<br>del Mar, Humacao ..... | 76 |
| <i>Ing. Daniel E. Torrellas Cruz</i>  |    |

**Artículo original**

|   |    |
|---|----|
| Percepción y preocupaciones de la comunidad sobre la reutilización de aguas<br>residuales tratadas para la agricultura en Puerto Rico ..... | 83 |
| <i>María Calixta Ortiz, Ph.D &amp; Carlos Morales-Agrinzoni, MSEM</i>   |    |

## CONFERENCIA REUTILIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES TRATADAS PARA LA AGRICULTURA EN PUERTO RICO

*María Calixta Ortiz-Rivera, Ph.D.*<sup>1</sup>  
Editora en Jefe

El 5<sup>to</sup> volumen de la revista *Perspectivas en Asuntos Ambientales* recoge los acontecimientos y ponencias presentadas en la conferencia *Reutilización de aguas residuales en la Agricultura: percepciones y preocupaciones de la Comunidad*, la cual fue llevada a cabo el 1<sup>er</sup> de junio de 2016 en San Juan, Puerto Rico (Figura 1). Esta conferencia fue auspiciada por el Departamento de Agricultura Federal (USDA-NIFA) bajo la subvención 2016-69007-25084 y es parte de los proyectos del Instituto de Agua y Salud (IDAS) de la Escuela de Asuntos Ambientales de la Universidad Metropolitana.



*Figura 1.* Participantes en la conferencia.

Debido a que el uso del agua no tradicional para la agricultura es una estrategia que apenas se utiliza en Puerto Rico, esta conferencia ofreció la primera oportunidad para difundir los usos potenciales como una alternativa a considerarse

---

<sup>1</sup> Escuela de Asuntos Ambientales, Universidad Metropolitana, PO Box 21150, San Juan, PR 00928, 787-766-1717. Email: [um\\_mortiz@suagm.edu](mailto:um_mortiz@suagm.edu)



durante eventos de sequía extrema. La conferencia estuvo dirigida a profesores, estudiantes, ingenieros, planificadores, agricultores, servidores públicos, líderes de asociaciones de base comunitaria, líderes de la comunidad y de otras organizaciones no gubernamentales y el público en general.

Al principio de la conferencia, llevamos a cabo un estudio sobre las percepciones y preocupaciones de la comunidad en cuanto a la reutilización de aguas residuales para la agricultura en Puerto Rico. Este estudio fue aprobado (01-538-16) por la Oficina de Cumplimiento del Sistema Universitario Ana G. Méndez, bajo el cual no se requirió la identidad de los participantes. Los resultados de la encuesta son presentados en esta edición. El conocimiento adquirido se utilizará para buscar soluciones que enfrenten los retos que presenta la reutilización de aguas residuales tratadas en Puerto Rico y la toma de decisiones para los cambios de política pública.

La meta de la conferencia fue proporcionar un espacio para la discusión y difusión del conocimiento sobre las prácticas y las guías federales sobre la reutilización de las aguas residuales en actividades agrícolas en Puerto Rico. La charla magistral estuvo a cargo del Ing. Pete Silva, ex administrador auxiliar de recursos de agua de la Agencia de Protección Ambiental en Washington, DC y ex vicepresidente de la Junta de Recursos de Agua de California. Los participantes catalogaron la conferencia como muy productiva en cuanto a los temas discutidos, la participación amplia de varios sectores allí representados y la discusión socializada durante el cierre.

## CONFERENCE ON TREATED WASTEWATER REUSE FOR AGRICULTURE IN PUERTO RICO

*María Calixta Ortiz-Rivera, Ph.D.*<sup>1</sup>  
Editor-in-Chief

The fifth edition of the journal *Perspectivas en Asuntos Ambientales* compiles the proceedings of the Conference *Wastewater Reuse for agriculture in Puerto Rico: Addressing Community perceptions and Concerns* that was held on June 1, 2016 in San Juan, Puerto Rico (Figure 1). The Conference was sponsored by the US Department of Agriculture (USDA-NIFA) under grant 2016-69007-25084 as part of the initiatives of the Institute of Water and Health (IWH) at the School of Environmental Affairs, Universidad Metropolitana.



*Figure 1.* Participants at the conference.

Because non-traditional use of water for agriculture is a strategy that is rarely used in Puerto Rico, this conference provided the first opportunity to spread the potential uses as an alternative during extreme drought events. This conference was aimed at academic professionals, students, public service leaders at the local

---

<sup>1</sup>School of Environmental Affairs, Universidad Metropolitana, PO Box 21150, San Juan, PR 00928, 787-766-1717. Email: [um\\_mortiz@suagm.edu](mailto:um_mortiz@suagm.edu)

level, and also state representatives; leaders from association's community leaders and from other non-governmental organizations, and the general public.

At the beginning of the conference, we administered a pre-treatment survey to study the perceptions and concerns of the community about the reuse of treated wastewater for agriculture. This study was approved (01-538-16) by Compliance Office of the Ana G. Méndez University System, without no-identifiers. Survey results are presented in this edition as part of the knowledge gathered at the conference. This information will help on how to address the challenges facing the reuse of wastewater in communities and decision-making of stakeholders.

The conference provided a space to disseminate knowledge, practices and federal standards for wastewater reuse in the United States, and projects related to the island. The keynote speaker was the engineer Pete Silva, former assistant administrator for water resources at the Environmental Protection Agency in Washington, DC and former vice chairman of California's Water Resources. Participants categorized the conference as very productive in terms of the issues discussed, broad participation of several sectors represented there, and the socialized discussion during the closure.

## USO SEGURO DEL AGUA PARA EL REÚSO

En agosto del 2016, la Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (AIDIS) presentó la publicación del libro *Uso seguro del agua para el reúso*. La presentación se llevó a cabo durante el XXV Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental celebrado en Cartagena de Indias, Colombia. El libro está editado por la Dra. Pilar Tello Espinosa, la Dra. Petia Mijailova y el Dr. Rolando Chamy.

En la redacción de este libro, participaron más de 17 especialistas de seis países de América Latina y el Caribe. Entre estos especialistas, se destacaron los puertorriqueños Ing. José Radamés Fuentes, Presidente de AIDIS-Puerto Rico y el Ing. Carl-Axel P. Soderberg, ex Presidente de AIDIS y ex Director de la División del Caribe de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos.

El contenido del libro está dividido en 17 capítulos distribuidos en temas especializados. El Ing. Fuentes es el autor del capítulo sobre análisis de residuos de fármacos y productos de uso personal. El Ing. Soderberg es el autor del capítulo que ofrece un panorama mundial sobre el reúso de aguas residuales tratadas. Además, el Ing. Soderberg es el co-autor, junto al Ing. Rafael Dautant de Venezuela del capítulo sobre pretratamiento industrial. La información contenida en los capítulos brinda información del reúso de las aguas usadas en la agricultura, industria, alimentos y el consumo humano. Además, sirve de herramienta para identificar



Portada del Libro

las tendencias sobre el tema del reúso para facilitar la toma de decisiones a distintos niveles.

AIDIS decidió publicar este libro porque el reúso de aguas residuales tratadas es una fuente no tradicional de agua que puede aprovecharse de forma segura para afrontar el aumento significativo de la demanda de este preciado líquido debido al aumento de la población y los efectos del calentamiento global en los recursos hídricos. De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) esta fuente es necesaria para lograr la seguridad alimentaria. Este libro ya se ha convertido en una referencia obligada sobre el reúso seguro de aguas residuales tratadas en América Latina y el Caribe. La Organización de las Naciones Unidas para la Ciencia y la Cultura (UNESCO) apoyó la publicación de este libro.

AIDIS es una organización sin fines de lucro que agrupa alrededor de 35,000 profesionales dedicados a la ingeniería sanitaria, la ingeniería ambiental y las ciencias ambientales. AIDIS se estableció en el 1948 y cuenta con 24 capítulos que cubren 32 países en las Américas. Su sede está ubicada en San Pablo, Brasil. Para información de cómo adquirir el libro, pueden comunicarse con AIDIS-Puerto Rico al tel. 787-793-2691 o a través de [aidispuertorico@gmail.com](mailto:aidispuertorico@gmail.com)

## **GUÍAS DE EPA-2012 PARA LA REUTILIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES PARA LA AGRICULTURA**

*Ing. Carl Axel P. Soderberg, PE<sup>1</sup>*

Transcripción y edición de ponencia ofrecida bajo el panel *Retos que conlleva la reutilización de aguas residuales en la agricultura* en la conferencia *Reutilización de Aguas Residuales para la Agricultura*: 1 de junio de 2016, San Juan, Puerto Rico.

Resumen - Los Estados Unidos reutilizan alrededor de 2,444 millones de galones diarios de aguas residuales tratadas para diferentes propósitos. El 29% de estas aguas se reutilizan en el sector agrícola. Los estados de Arizona, California, Florida y Texas son los estados que más reutilizan las aguas residuales tratadas. La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés) aprobó por primera vez las guías para la reutilización de las aguas usadas tratadas en el 1980. Las enmiendas más recientes a las guías fueron aprobadas por la EPA en el 2012. Un total de 30 estados aprobaron reglamentos para la reutilización de las aguas residuales tratadas. Otros 15 estados aprobaron guías o normas de diseño para el mismo propósito. Este artículo discute las directrices actuales de la EPA para la reutilización de aguas residuales tratadas en la agricultura, enfocado en 1) riego de cultivo de alimentos que se consumen crudos; 2) el riego de cultivo de alimentos que se procesan comercialmente antes del consumo humano; y 3) el riego de cultivos que no son para consumo humano, como hierbas y semillas. Se discuten las guías de la EPA para 18 contaminantes con el propósito de proteger los cultivos y para el riego de parques y áreas verdes, y para la reutilización de aguas residuales tratadas para establecer barreras a la intrusión de agua salada a los acuíferos.

*Palabras clave: Aguas residuales, calidad del agua, tratamiento de agua*

Abstract - The United States reuses around 2,444 million gallons per day of treated wastewater for different purposes. Twenty-nine percent of this amount is used in the agricultural sector. Currently, the states that reuse the greatest number of treated wastewaters are Arizona, California, Florida and Texas. In 1980, the US Environmental Protection Agency (EPA) first approved guidelines for the reuse of treated wastewaters. These guidelines have been updated in 1993 and 2012. A total of 30 states have adopted regulations for the reuse of treated wastewater. Another 15 states and territories have approved design guidelines or standards for the same purpose. The article discusses the current EPA guidelines for the reuse of treated wastewaters in agriculture focused on: 1) irrigation of food crops that are eaten raw; 2) irrigation of food crops that are commercially processed prior to human consumption; and 3) irrigation of crops not consumed by humans, such as grasses and seeds. It discusses EPA guidelines for 18 contaminants and for the reuse of treated wastewaters for the irrigation of green areas, and for the reuse of treated wastewaters to establish barriers to seawater intrusion in aquifers.

*Key words. Wastewater reuse, water quality, water treatment*

---

<sup>1</sup> El autor dirigió la División del Caribe de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos durante 20 años. Email: carlaxelsoderberg@gmail.com

## **Introducción**

En Puerto Rico existe confusión sobre la posición que tiene la Agencia Federal de Protección Ambiental (EPA, por sus siglas en inglés) en cuanto a la reutilización de aguas residuales tratadas para riego agrícola. En algunos foros se ha indicado que la EPA se opone a esta práctica, lo cual no es correcto. La política pública de la EPA sobre la reutilización de aguas residuales tratadas es la siguiente: “la reutilización y reciclaje de aguas residuales tratadas es un componente de mucha importancia para el manejo integral del recurso agua; siempre y cuando, el diseño y la operación de los sistemas incorporen medidas para proteger la salud pública y el ambiente”. La EPA promueve la reutilización de aguas residuales tratadas para distintos usos, tales como riego agrícola, procesos industriales, usos recreativos y reabastecimiento de acuíferos.

## **Reutilización de aguas residuales tratadas en los Estados Unidos**

En los Estados Unidos se reutilizan 2,444 millones de galones diarios (mgd) de aguas residuales tratadas. Para poner esta cifra en perspectiva, en Puerto Rico la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados (AAA) descarga 232 mgd de aguas residuales tratadas; o sea, los Estados Unidos reutilizan más de 11 veces el total de aguas residuales tratadas en Puerto Rico.

La Figura 1 muestra el uso y porcentaje de reutilización de aguas residuales tratadas en los EE.UU. Un 29% de las aguas residuales tratadas en los EE UU se reutilizan para el riego agrícola. Un 20% cae bajo el renglón de otros usos, el cual incluye, pero no se limitan al control de polvo fugitivo en proyectos de construcción, lavado de vehículos, lavado de calles, preparación de concreto, producción de nieve y mejorar el flujo de ríos y quebradas. Un 18% se reutilizan para el riego de campos de golf y áreas verdes. Un 8% de esta agua se reutiliza para establecer barreras en contra de la intrusión de agua salada en acuíferos. Un 7% se reutiliza en los sectores industriales y comerciales. Ese mismo porcentaje se reutiliza para usos recreativos. Un 7% se reutiliza para reabastecer acuíferos, entre otros.

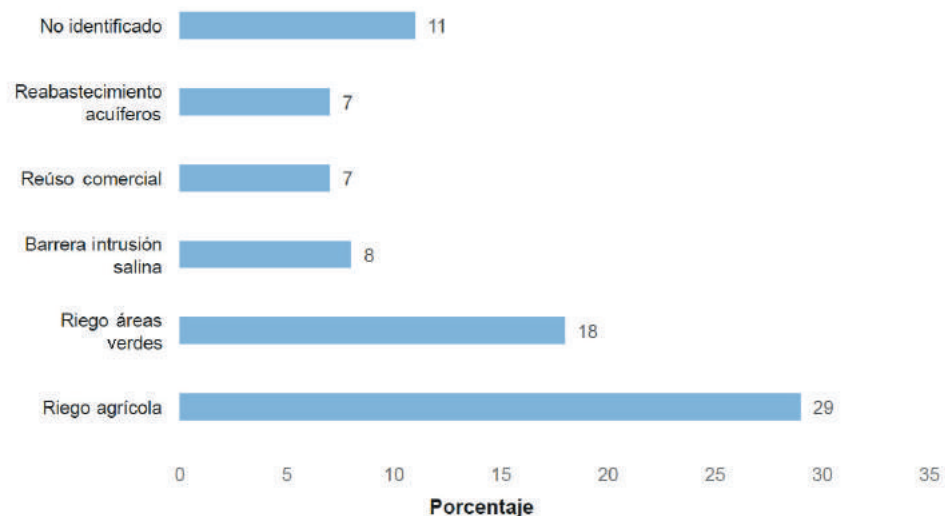


Figura 1. Distribución por usos de las aguas residuales tratadas en los Estados Unidos

Los estados que más reutilizan aguas residuales tratadas son en orden alfabético: Arizona, California, Florida y Texas. Ya dos ciudades de Texas comenzaron a operar sistemas para la reutilización de aguas residuales tratadas directamente en sistemas de agua potable.

### Guías de la EPA para el reúso de aguas residuales tratadas

La EPA desarrolló las primeras *Guías sobre la Reutilización de Aguas Residuales Tratadas* en el 1980. Estas guías se han actualizado en el 1992, 2009 y 2012. Cada estado y territorio tiene la potestad de desarrollar guías o reglamentos para la reutilización de aguas residuales tratadas. Sin embargo, no están obligados a reglamentar la reutilización de aguas residuales tratadas. Hasta el presente, 30 estados han aprobado reglamentos para la reutilización de aguas residuales tratadas y 15 estados y territorios han aprobado guías o normas de diseño para sistemas de reúso.

En la Tabla 1 se muestran los diferentes usos agrícolas, el tratamiento del agua residual y la calidad requerida por la EPA. La EPA establece guías para tres categorías: riego de cultivos que se ingieren crudos (ej. lechuga), riego de cultivos que se procesan comercialmente (ej. habichuelas enlatadas) y cultivo de cosechas que no son para consumo humano (ej. pasto para ganado). Para el primer caso, la EPA especifica un tratamiento secundario, seguido por filtración y desinfección. Para el segundo y tercer caso, la EPA especifica un tratamiento secundario y desinfección.



Tabla 1

*Guías de la EPA para la reutilización de aguas residuales tratadas en el sector agrícola*

| Uso  | Tratamiento                              | Calidad requerida   |
|--|--|---|
| En riego superficial o por asperjado de cultivos de alimentos para consumo humano se ingiere crudo | Secundario<br>Filtración<br>Desinfección | pH = 6-9<br>DBO ≤ 10 mg/L<br>Turbiedad ≤ 2 UNT<br>Coliformes fecales = no detectable<br>Cloro residual = 1 mg/L |
| Riego superficial para cultivos de alimento para consumo humano y que se procesan comercialmente   | Secundario y desinfección                | pH = 6-9<br>DBO ≤ 30 mg/L<br>SST ≤ 30 mg/L<br>Coliformes fecales ≤ 200/100mL<br>Cloro residual = 1 mg/L         |
| Riego de cosechas que no se consumen por humanos incluyendo fibras, semillas y pasto               | Igual                                    | Igual   |

Nota. pH= Potencial de Hidrógeno; DBO = Demanda Bioquímica de Oxígeno; UNT = Unidad Nefelométrica de Turbidez; SST = Sólidos Suspendidos Totales.

En la Tabla 2 se detallan los requisitos reglamentarios del estado de California para riego agrícola. California establece cuatro categorías. La primera es para cultivos que se ingieren crudos por el ser humano y que pudieran tener contacto con las aguas residuales tratadas. En este caso, California exige tratamiento terciario y desinfección. Nótese que en este caso California es más estricta que la EPA. En el segundo caso es para cultivo de cosechas ingeridas crudas por el ser humano, pero no tienen contacto con las aguas residuales tratadas (ej. tomates con riego a través de sistema de goteo). Para este caso, California exige tratamiento secundario y desinfección. Nótese que en este caso California es menos restrictivo que la EPA. La tercera instancia cubre el riego de árboles frutales, viñedos, pastos, y alimentos que serán procesados comercialmente (ej. manzanas). Para este caso, California exige tratamiento secundario sin desinfección. En esta instancia, California es menos restrictiva que la EPA. El cuarto caso concierne al cultivo de pastos para ganado que sule leche. En este caso, se exige tratamiento secundario y desinfección. Nótese que en este caso California es más restrictivo que la EPA.

Tabla 2

*Requisitos reglamentarios del estado de California para riego agrícola*

| Tipo de uso  | Tratamiento                 | Normas  |
|--|-----------------------------|---|
| Riego agrícola superficial que puede tener contacto con la porción que se come del cultivo.  | Terciario y desinfección    | Turbiedad > 2 UNT<br>Coliformes totales < x 2.2 |
| Riego agrícola superficial que no tiene contacto con la parte que se come del cultivo  | Secundario desinfección     | Coliformes totales < 2.2 MPN                    |
| Riego de árboles frutales, viñedos, pastos, plantas ornamentales, árboles que no producen alimento, cultivo de alimentos que se someterán a un proceso de destrucción de patógenos | Secundario sin desinfección | Coliformes totales < 2.3 MPN                    |
| Riego de pastos para animales que producen leche   | Secundario desinfección     | Coliformes totales < 23 MPN                     |

Nota. UNT = Unidad Nefelométrica de Turbidez; MPN por sus siglas en inglés = Most Probable Number.

La EPA también desarrolló guías para proteger los cultivos. El pH debe ser igual o mayor a 6.5 y menor o igual a 8.4. En cuanto a sólidos disueltos totales, la EPA establece que una concentración menor a 500 mg/L no tiene efectos adversos. Sin embargo, establece que una concentración igual o mayor a 500mg/L y menor a 1,000 mg/L puede afectar a cultivos sensitivos. Finalmente, establece que una concentración igual o mayor a 1,000mg/L afecta a la gran mayoría de los cultivos. La Tabla 3 muestra las concentraciones máximas permisibles de varios metales que no deben excederse en las aguas residuales tratadas que se reutilizarán para riego agrícola.

Tabla 3

*Concentraciones máximas permisibles de metales para aguas residuales tratadas de uso agrícola*

| Metal               | Concentración máxima (mg/L) |
|---------------------|-----------------------------|
| Aluminio            | 5                           |
| Arsénico            | 0.1                         |
| Berilio             | 0.1                         |
| Boro                | 0.75                        |
| Cadmio              | 0.01                        |
| Cinc                | 2.0                         |
| Cromo (hexavalente) | 0.1                         |
| Cobalto             | 0.05                        |
| Cobre               | 0.2                         |
| Fluoruro            | 1                           |
| Hierro              | 5                           |
| Litio               | 2.5                         |
| Manganeso           | 0.2                         |
| Molibdeno           | 0.01                        |
| Níquel              | 0.2                         |
| Plomo               | 5                           |
| Selenio             | 0.02                        |
| Vanadio             | 0.1                         |

### **Guías de la EPA para recarga de acuíferos**

La Tabla 4 muestra las guías de la EPA para la recarga de acuíferos. Esta información es importante porque se está considerando seriamente para recargar el acuífero del Sur con la descarga de la planta de tratamiento de aguas usadas del municipio de Santa Isabel. Estas guías establecen los requisitos para tres casos. El primer caso es cuando el agua del acuífero no será abasto de agua potable. El segundo caso es cuando el agua del acuífero se utilizará para agua potable y las aguas residuales tratadas se riegan sobre el terreno. El tercer caso aplica cuando el agua del acuífero será abasto de agua potable y las aguas residuales tratadas se inyectan al acuífero.

Tabla 4

*Guías de la EPA para la recarga de acuíferos con aguas residuales*

| Uso   | Tratamiento   | Calidad requerida   |
|---|---|---|
| Uso no potable  | Depende del uso de las aguas del acuífero y condiciones locales<br>Primario (cuando el agua se riega sobre el terreno)<br>Secundario (para inyección al acuífero) | Se establecerá caso por caso  |
| Reabastecimiento de acuíferos que son fuente de agua potable (riego sobre el terreno)       | Secundario<br>Filtración<br>Desinfección  | Coliformes totales = no detectables<br>Cloro residual = 1 mg/L<br>pH = 6.5-8.5<br>Turbiedad ≤ 2 UNT<br>TOC ≤ 2 mg/L<br>La mayoría de las normas de agua potable después de la zona vadosa |
| Reabastecimiento de acuíferos que son fuente de abasto de agua potable (mediante inyección) | Secundario<br>Filtración<br>Desinfección<br>Tratamiento avanzado  | Coliformes totales = no detectables<br>Cloro residual = 1 mg/L<br>pH = 6.5-8.5<br>Turbiedad ≤ 2 UNT<br>TOC ≤ 2 mg/L<br>La mayoría de las normas de calidad de agua potable                |

Nota. pH= Potencial de Hidrógeno; UNT = Unidad Nefelométrica de Turbidez; TOC por sus siglas en inglés = Total de Carbón Orgánico.

**Guías de la EPA para riego de áreas verdes**

La EPA desarrolló guías para la reutilización de aguas residuales tratadas para el riego de áreas verdes. En Puerto Rico varios hoteles reúsan aguas residuales tratadas para el riego de campos de golf y áreas verdes. Además, el riego de áreas verdes con aguas residuales tratadas, en vez de agua potable, es una medida que se debe implantar de inmediato en los municipios para disminuir el uso de agua potable.

La EPA establece requisitos para dos casos. El primer caso es para áreas verdes donde el público tiene acceso (ej. parques o un área verde). El segundo caso es el riego de áreas verdes restringidas al público (ej. intersecciones en las carreteras).

Tabla 5

*Guías de la EPA para riego en áreas verdes*

| Uso  | Tratamiento                              | Calidad requerida  |
|--|--|--|
| Riego en áreas verdes no restringidas al público | Secundario<br>Filtración<br>Desinfección | pH = 6-9<br>DBO <sub>5</sub> < 10 mg/L<br>Turbiedad < 2 NTU<br>Coliformes fecales = no detectable<br>Cloro residual = 1 mg/L |
| Riego en áreas verdes restringidas al público    | Secundario<br>Desinfección               | pH = 6-9<br>DBO <sub>5</sub> < 30 mg/L<br>SST < 30 mg/L<br>Coliformes fecales = < 200/100mL<br>Cloro residual = 1 mg/L       |

Nota. pH= Potencial de Hidrógeno; DBO= Demanda Bioquímica de Oxígeno; UNT= Unidad Nefelométrica de Turbidez; SST= Sólidos Suspendidos Totales.

**Guías de la Organización Mundial de la Salud**

La Organización Mundial de la Salud (OMS) estableció guías para la reutilización de aguas residuales tratadas para riego agrícola desde el 1973, siete años antes que la EPA. La OMS actualizó las guías en el 1989 y el 2006.

**Panorama mundial de la reutilización de aguas residuales tratadas**

Un total de 60 países reutilizan las aguas residuales tratadas para riego agrícola. México reusa 1,180 mgd de aguas residuales tratadas para riego agrícola. Israel reutiliza el 75% de las aguas residuales tratadas para riego agrícola. La mayor parte de las frutas y vegetales de Israel se exportan a Europa que son muy exigentes con relación a la salubridad y calidad de su comida. El 44% de los proyectos de reúso de aguas residuales tratadas en el Sur de la Unión Europea están dirigidos al riego agrícola. El 47% de los proyectos de reúso de aguas residuales tratadas de Australia están dirigidos al riego agrícola. En la Provincia de Mendoza de Argentina, la zona vinícola por excelencia de ese país, se irrigan 39 mgd de aguas residuales tratadas. Por último, el 37% del riego agrícola en Colombia se lleva a cabo con aguas residuales tratadas.

### **Consideraciones finales**

El Concilio Mundial del Agua aseveró que la reutilización de aguas residuales tratadas para riego agrícola es indispensable para lograr la seguridad alimentaria en el 2050. Por su parte, la Organización de la Naciones Unidas reconoció que la reutilización de aguas residuales tratadas para el riego agrícola y la acuicultura es indispensable para lograr la seguridad alimentaria y mejorar la nutrición de la ciudadanía.

Finalmente, para varios países, la reutilización de aguas residuales tratadas es la única alternativa para afrontar la escasez de agua. España tiene que aumentar en un 150% la reutilización de aguas residuales tratadas para el 2020 si quiere satisfacer sus necesidades de agua. Australia tiene que aumentar la reutilización en un 30% para el 2020. Arabia Saudita está obligada a incrementar la reutilización en un 65% para ese mismo año. Jordania, es el caso más dramático. Para el 2020, Jordania tiene que aumentar la reutilización en un 400% para suplir la demanda de agua proyectada. Por su parte, Puerto Rico deberá explorar las vías que permitan la reutilización de aguas residuales tratadas para la agricultura.

## PLAN DE REÚSO DE AGUAS USADAS EN PUERTO RICO

*Aurielee Díaz-Conde, MP, PPL<sup>1</sup>*

Transcripción y edición de ponencia ofrecida bajo el panel *Retos que conlleva la reutilización de aguas residuales en la agricultura* en la conferencia *Reutilización de Aguas Residuales para la Agricultura*: 1 de junio de 2016, San Juan, Puerto Rico.

Resumen - El borrador del Plan de Reúso de Aguas Usadas de Puerto Rico fue el resultado de los trabajos realizados por la Oficina del Plan de Aguas en el 2004. Este plan evalúa el potencial y las alternativas para la reutilización de las aguas sanitarias domésticas generadas en las plantas de tratamiento de la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados (AAA). La AAA es la fuente principal de aguas usadas en el País, con la ventaja de que una parte sustancial del effluente de las plantas de tratamiento está ubicado en las zonas costaneras donde existen oportunidades de reutilización. También evalúa los posibles efectos en la salud y el ambiente, elementos necesarios a considerar en un plan de reutilización de aguas usadas. Además, considera estrategias de reutilización, tales como la recarga de los acuíferos costaneros para aumentar los abastos de agua potable o para controlar la intrusión salina; el potencial para riego agrícola en productos no directamente comestibles; y el almacenamiento en embalses que se utilizan como fuente de agua potable. Finalmente, el informe presenta un marco de posibles reglamentaciones que será necesario adoptar para implantar un plan de reutilización directo de aguas sanitarias tratadas en Puerto Rico.

*Palabras claves: Plan de Reúso de Aguas Usadas de Puerto Rico, Departamento de Recursos Naturales y Ambientales*

Abstract - Puerto Rico Wastewater Reuse Plan was the result of the work made by the Water Plan Office in 2004. This plan assesses the potential and alternatives for reuse of domestic sanitary water generated in the treatment plants of PR Aqueducts and Sewers Authority (PRASA). PRASA is the main source of water used in the country, with the advantage that a substantial portion of the effluent treatment plant is located in the coastal areas where there are viable opportunities for reuse. It also assesses the possible effects on health and the environment that need to be considered in a plan to reuse wastewater. Also, consider reuse strategies, such as recharging the coastal aquifers to increase the supplies of drinking water or to control saline intrusion; the potential for agricultural irrigation in areas not directly edible products; and storage in reservoirs which are used as sources of drinking water. Finally, the report presents a framework reuse of possible regulations that will be adopted to implement a plan of direct reuse of treated sanitary water in Puerto Rico.

*Key words: Puerto Rico Wastewater Reuse Plan, Department of Natural Resources and Environment*

---

<sup>1</sup>La autora es planificadora de la División de Monitoreo del Plan de Aguas de Puerto Rico, Departamento de Recursos Naturales y Ambientales, San Juan, PR. Email: damaris.medina@pr.usda.gov

## **Introducción**

La Ley Núm. 136 del 3 de junio de 1976, conocida como la Ley de Aguas de Puerto Rico faculta al Secretario del Departamento de Recursos Naturales y Ambientales (DRNA) a desarrollar, adoptar y mantener un Plan Integral de Recursos de Agua en consulta con el Comité de Recursos de Agua, nombrado a su vez por el Secretario. A tales efectos, en el 2004 el DRNA preparó el borrador del Plan Integral de Recursos de Agua de Puerto Rico (PIRA) y el borrador del Plan de Reúso de Aguas Usadas de Puerto Rico. Ambos planes fueron elaborados por la Oficina del Plan de Aguas con la asistencia técnica y económica de la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados (AAA) y la Autoridad de Energía Eléctrica (AEE).

Luego de este esfuerzo de 2004, el Plan de Aguas fue revisado y aprobado en el mes de abril de 2008 y más recientemente en el mes de junio de 2016. La actualización y revisión del PIRA incluye el marco legal y conceptual; incorporación de tema del cambio climático y sus posibles efectos sobre el recurso agua; una descripción general de las características climatológicas e hídricas de Puerto Rico; descripción de los hábitats y organismos ribereños; patrones de aprovechamiento de los puertorriqueños; análisis de demanda y oferta de agua para los diversos usuarios; estimados de proyecciones de demanda y oferta hasta el 2030; diagnóstico y proyectos costo efectivos para resolver los problemas prioritarios del recurso agua en Puerto Rico; políticas, objetivos, indicadores y fuentes de financiamiento que evalúen la implantación del PIRA.

En el Capítulo 6 del PIRA, bajo el tema de Conservación y Uso Eficiente del Recurso Agua, se establece el reúso de las aguas residuales como uno de los proyectos, siempre y cuando se consideren las condiciones ambientales y de salud pública necesarias. Para lograr este proyecto se propone actualizar y adoptar el Plan de Reúso de Aguas Usadas de Puerto Rico y establecer un módulo educativo que exponga los beneficios del uso de aguas residuales, los estándares de calidad, las normas a cumplir con la JCA y la EPA y los incentivos disponibles para aquellos que deseen desarrollar nuevas tecnologías en estos renglones.

## **Plan de reúso de aguas usadas en Puerto Rico**

En el 2004, el DRNA desarrolló un borrador del Plan de Reúso de Aguas Usadas de Puerto Rico como parte del esfuerzo en la elaboración del Plan de Integral de Aguas de Puerto Rico. El Plan de Reúso aún no ha sido adoptado debido a los cambios a niveles administrativos y de recursos que ha sufrido la Oficina del Plan de Aguas a través de los años. Esto llevó a la Oficina a enfocarse y canalizar sus recursos en áreas muy específicas tal y como la elaboración e implantación del Plan Integral de Recursos de Agua para Puerto Rico, recientemente revisado y adoptado. El DRNA reconoce la importancia del reúso de las aguas residuales en Puerto Rico, y es por esto que el PIRA establece el retomar este tema como uno prioritario.



En Puerto Rico se ha utilizado como práctica indirecta el reúso de las aguas sanitarias tratadas. El reúso indirecto ha ocurrido como consecuencia de las descargas de las aguas sanitarias tratadas a cuerpos de agua que nutren los embalses o abastos de agua de donde la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados (AAA) extrae agua para potabilizarla. En el 2016, la AAA operaba 51 plantas de tratamiento de aguas sanitarias que sirven a aproximadamente el 57% de la población de la Isla (Figura 1). De este total, existen 7 plantas que brindan tratamiento primario, 39 son de tratamiento secundario y 5 son de tratamiento terciario. Estas plantas descargan aproximadamente 232 millones de galones diarios (mgd) de aguas sanitarias tratadas de diversa calidad a los cuerpos de agua superficiales de Puerto Rico y al océano.

Los embalses Loíza, La Plata, Caonillas, Dos Bocas y Guajataca reciben 23.3 mgd (sumando todas las descargas en todos los embalses) de plantas de tratamiento. En el río Grande de Loíza que alimenta el embalse Loíza y nutre la planta de filtración Sergio Cuevas se descargan aproximadamente 15 mgd de aguas sanitarias tratadas provenientes de las plantas de tratamiento de los municipios de Caguas, San Lorenzo, Juncos y Aguas Buenas. El embalse La Plata recibe aproximadamente 6 mgd de aguas sanitarias tratadas de las plantas de tratamiento de los pueblos de Cayey, Comerío y Naranjito. Las plantas de filtración de agua potable de la AAA conectadas al Súper Acueducto reciben 1.3 mgd de aguas sanitarias tratadas de las plantas de tratamiento de los municipios de Jayuya, Adjuntas y Utuado, las cuales descargan a los embalses de Caonillas y Dos Bocas.

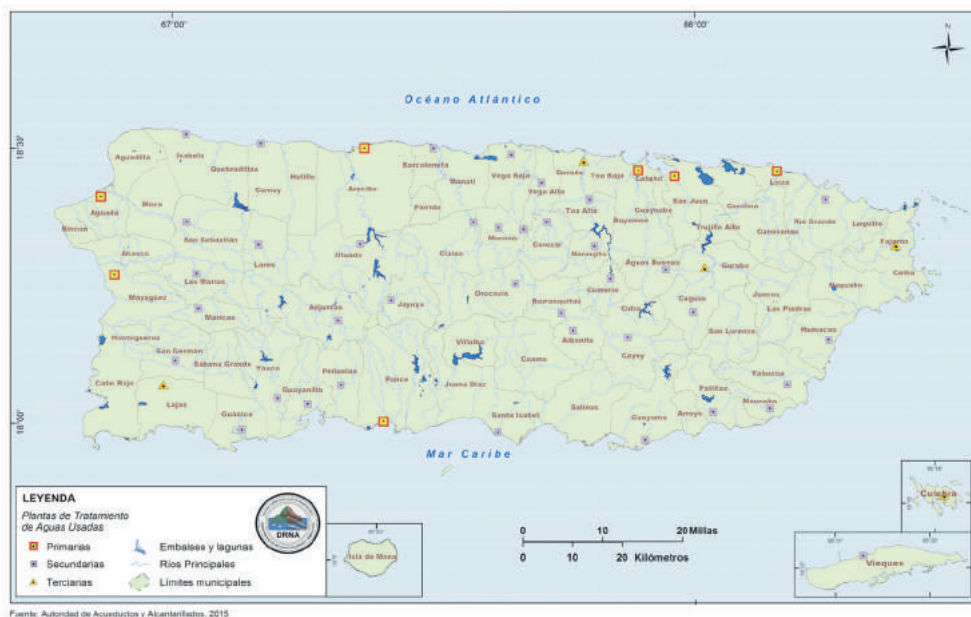


Figura 1. Red de plantas de tratamiento de la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados.

Por otro lado, el reúso directo de aguas sanitarias en Puerto Rico ha ocurrido en varios proyectos privados. En los complejos turísticos de Palmas del Mar en Humacao, el Dorado Beach, en Dorado y el Río Mar Club en Río Grande, reutilizan las aguas sanitarias tratadas en los sistemas de riego de los campos de golf y áreas verdes. En el caso de la empresa AES Puerto Rico, los sistemas de calderas de esta generadora eléctrica reutilizan aproximadamente 4 mgd de aguas sanitarias tratadas de la planta de tratamiento del municipio de Guayama.

El borrador del Plan de Reúso de Aguas Usadas de Puerto Rico (2004) destaca que en Puerto Rico existen oportunidades excelentes para desarrollar proyectos viables de reúso utilizando las aguas sanitarias que generan las plantas de la AAA. Entre los proyectos, se enfatiza la incorporación de un tratamiento más avanzado en las seis plantas de tratamiento primario que opera la AAA para reutilizar las aguas sanitarias tratadas en los sistemas de calderas de las plantas termoeléctricas de Puerto Nuevo en San Juan, Palo Seco en Cataño y Cambalache en Arecibo. Además, del uso de estas aguas en los sistemas de riego de sembradíos de yerbas y arbustos ornamentales a lo largo del valle del río de La Plata. En el caso de la zona sur, el sistema de tratamiento de la planta regional de Ponce podría servir en las plantas generatrices de AEE y Ecoeléctrica, en la rehabilitación de humedales afectados por las extracciones excesivas de agua en la región del acuífero del sur, en los sistemas de riego de cultivos del municipio de Juana Díaz y con tratamiento avanzado para aumentar los abastos de agua del embalse Toa Vaca.

En el caso de las 54 plantas de tratamiento secundario, diez de estas plantas podrían utilizarse para el desarrollo de proyectos de reúso debido a su ubicación estratégica. Los efluentes de la planta regional del municipio de Dorado pueden ser inyectados al acuífero superior del Norte y de esta manera prevenir un desfase en el balance de agua del acuífero. De igual forma, el efluente de la planta regional del municipio de Santa Isabel puede ser utilizado para recargar el acuífero del Sur y detener la intrusión salina como resultado de la sobre explotación del mismo. Las aguas producto de las plantas de tratamiento del Valle de Lajas podrían ser reutilizadas en el desarrollo de humedales estratégicamente ubicados, recargando el acuífero de la zona y funcionando como fuentes de abastos para los sistemas de riego de pastos en valle de Lajas.

Las plantas de tratamiento terciario facilitarían la reutilización de aguas sanitarias tratadas en la zona central de la Isla, así como en áreas costeras como los municipios de Fajardo, Vega Baja, Dorado y Toa Alta. En el caso de la planta terciaria del municipio de Barranquitas, las aguas sanitarias tratadas que genera la planta podrían ser reutilizadas en un proyecto piloto de reúso agrícola en la montaña. El efluente que genera la planta del municipio de Fajardo podría ser reutilizado mediante descarga directa al embalse de Fajardo o pudiera ser bombeado aguas arriba en la vecindad de la toma que suple el embalse y permitir que fluya proveyendo

un tratamiento natural al efluente. En el caso de la planta terciaria del municipio de Dorado, las aguas sanitarias tratadas podrían ser utilizadas en los sistemas de riego en proyectos agrícolas de gramas y plantas ornamentales. Además, mediante sistema de bombeo, se podrían descargar estas aguas al embalse de La Plata.

Cabe señalar que cada una de las oportunidades de reúso antes señaladas se recoge en el Plan de Reúso de Aguas Usadas de 2004; por lo tanto, las mismas deben ser reevaluadas antes de ser recomendadas e implantadas. Las señalamos en este artículo como ejemplo de lo que en ese entonces la Oficina del Plan de Aguas tenía proyectado en términos de reúso para Puerto Rico.

### **Consideraciones finales**

Actualmente como parte del Plan Integral de Recursos de Aguas de 2016, el DRNA propone dos proyectos dirigidos al reúso de aguas: 1) actualizar y adoptar el Plan de Reúso de Aguas Usadas del 2004; y 2) establecer un módulo cuyo propósito sea exponer los beneficios del uso de aguas residuales, los estándares de calidad, las normas a cumplir con la Junta de Calidad Ambiental y la EPA, e incentivos disponibles. Estos proyectos pretenden reforzar y brindar la importancia que tiene el tema del reúso en el manejo del recurso agua en la Isla.

Como parte de la actualización del Plan de Reúso de Aguas Usadas, se evaluará la necesidad de crear un Comité de Reúso de Aguas Sanitarias que sea compuesto por el Departamento de Salud, la Junta de Calidad Ambiental (JCA), la Agencia de Protección Ambiental, la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados (AAA) y el Departamento de Recursos Naturales y Ambientales (DRNA). Dicho comité, estaría evaluando las recomendaciones del Plan de Reúso de Aguas Usadas del 2004, desarrollando normas y reglamentos para la recarga de los efluentes sanitarios a los acuíferos o embalses que son fuentes de agua potable y elaborando un programa de información pública sobre las necesidades y beneficios del reúso de aguas sanitarias tratadas.

## **DESAFÍOS DE LA AGRICULTURA EN PUERTO RICO PARA GARANTIZAR LA SEGURIDAD ALIMENTARIA**

*Agro. Carlos E. Irizarry Ruíz<sup>1</sup>*

Transcripción y edición de ponencia ofrecida bajo el panel *Retos que conlleva la reutilización de aguas residuales en la agricultura* en la conferencia *Reutilización de Aguas Residuales para la Agricultura*: 1 de junio de 2016, San Juan, Puerto Rico.

Resumen – Ante la vulnerabilidad de la cadena de suministros de alimentos a causa de eventos atmosféricos, Puerto Rico podría enfrentar retos en el futuro para garantizar la seguridad alimentaria de los ciudadanos. Por tal razón, el Departamento de Agricultura de Puerto Rico desarrolló en el 2015 el Plan de Seguridad Alimentaria que busca aumentar la producción agrícola a nivel local. Este esfuerzo ha aumentado la producción de vegetales y farináceos, pimientos, tomates, ñames, plátanos, y guineos, entre otros. Se ha visto un aumento en número de empleos en el sector agrícola por año y en el ingreso bruto agrícola.

*Palabras clave: Seguridad alimentaria, sequía, impactos en la agricultura*

Abstract - Puerto Rico faces challenges to ensure food security for citizens due to drastic atmospheric events that could risk the chain food supply. For this reason, the Department of Agriculture of Puerto Rico developed in 2015 the Food Safety Plan seeking to increase agricultural production locally. This effort has increased production of starchy vegetables, peppers, tomatoes, yams, plantains, and bananas, among others. It has seen an increase in number of jobs in the agricultural sector per year and gross farm income.

*Key words: Food safety, drought, impact in agriculture*

### **Introducción**

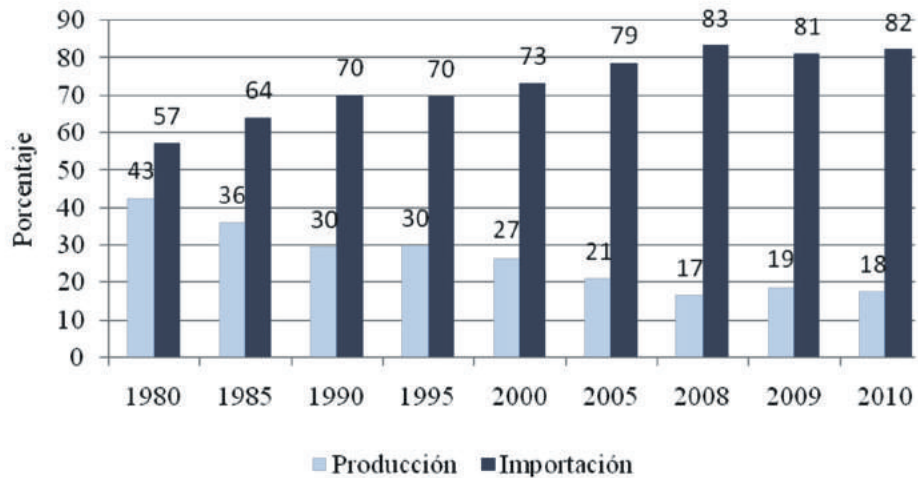
Puerto Rico enfrenta los impactos relacionados al desarrollo de fenómenos meteorológicos extremos que afectan el sector de la agricultura. Ahora más que nunca, el Departamento de Agricultura de Puerto Rico (DAPR) debe evaluar la oportunidad que nos presenta la reutilización del agua como una alternativa ante esos fenómenos. Los recursos del agua y suelos van de la mano en los procesos de la producción agrícola y la seguridad alimentaria.

El consumo de alimentos por parte de los ciudadanos tiene gran dependencia de un mercado global. Para la década del noventa, los países desarrollados negociaron lo que es la globalización de todos los productos que se producían a nivel mundial. Esta globalización nos llevó un aumento en el consumo de productos importados y una reducción en producción local. En la Figura 1 se muestra una relación sobre el consumo de alimentos en Puerto Rico, entre los producidos localmente

---

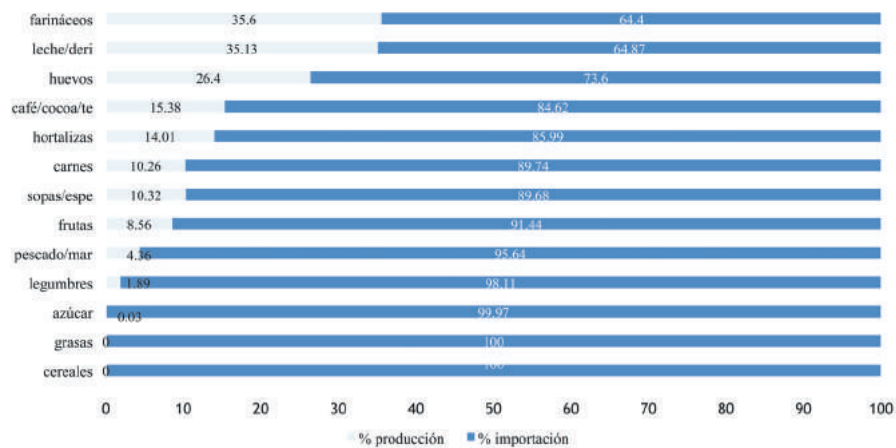
<sup>1</sup>El autor es el Director Ejecutivo de la Corporación de Seguros Agrícolas del Departamento de Agricultura de Puerto Rico. Apartado 10163, Santurce, PR 00909. Email:nvidal@agricultura.pr.gov

y los importados desde el 1980 hasta el 2010. Para el 1980, el 45% de lo que se consumía era producido localmente, y un 55% era importado. En el 2010, un 18% era producido localmente, y un 82% era importado. Esto es preocupante, ya que por nuestra condición de isla tenemos muchos factores que no están a favor.



*Figura 1.* Consumo de alimentos en Puerto Rico, según su producción local o importación (DAPR, 2015).

En la Figura 2, presentamos la producción e importación de varios tipos de alimentos para el 2010. Los farináceos y la leche con sus productos derivados se destacan por alcanzar la mayor cantidad en el renglón de producción local. A su vez destaca una relación de cómo el resto de los productos se van reduciendo hasta llegar a las azúcares, grasas y cereales.



*Figura 2.* Porcentaje de producción local e importación de alimentos en Puerto Rico (External Trade Statistics, 2010).

Por nuestra condición de isla, tenemos dos formas de que lleguen los servicios y los productos 1) vía aérea y 2) vía marítima, la cual es más utilizada. Un ejemplo de la vulnerabilidad de abastos que presenta la Isla ante eventos atmosféricos fue el caso del barco El Faro en el 2015, el cual tuvo un accidente cuando se dirigía del estado de la Florida hacia Puerto Rico. La embarcación servía a la Isla aproximadamente tres veces por semanas. Ante dicho suceso, Puerto Rico quedó desprovisto de sus mercancías.

### **Política de Seguridad Alimentaria para Puerto Rico**

El Departamento de Agricultura (DA) se compone de 1) la Autoridad de Tierras, 2) la Administración para el Desarrollo de Empresas Agropecuarias, 3) el Fondo de Innovación para el Desarrollo Agrícola, 4) la Corporación de Seguros Agrícolas, y 5) la Oficina para la Reglamentación de la Industria Lechera. Estos cinco componentes trabajan en coordinación para la producción agrícola y la asistencia a los agricultores en Puerto Rico. El DA desarrolla un plan de seguridad alimentaria para garantizar que las personas tengan en todo momento acceso físico, social y económico a suficientes alimentos inocuos y nutritivos para satisfacer sus necesidades y preferencias alimentarias a fin de llevar una vida activa y saludable.

Tenemos una producción de alimento local que no va a tono con el consumo de la ciudadanía. La meta del DA es que en algún momento determinado alcancemos los mayores números en este renglón. No necesariamente cuando satisfacemos la necesidad alimentaria, estamos haciéndolo de la forma más saludable. No es lo mismo comida que alimento. De esto se trata, de producir alimentos locales donde las costumbres alimentarias pasen a un nivel de no tan solo una satisfacción de necesidad, sino también de una alimentación de alta calidad.

El Plan de Seguridad Alimentaria comprende el área pecuaria, el área de producción de granos, la producción de arroz y la producción de vegetales. Otras iniciativas comprenden el cultivo de mangos en el área sur y la piña en el área central. La producción de café comprende 23 municipios en el centro oeste de la Isla. En el 2015 se establecieron unas 8,000 cuerdas adicionales dedicadas al cultivo del café completando unas 32 mil cuerdas de producción de café. Esto es importante destacarlo, ya que sabemos que en la zona central de la Isla, la topografía es escarpada, limitando el tipo de siembras.

La seguridad alimentaria es responsabilidad de todos y los agricultores se encuentran comprometidos con la producción local. El DA lleva el mensaje a los agricultores de que la agricultura es una fuente de ingreso y riqueza. Es una actividad de desarrollo económico viable, y los recursos de agua y suelo son esenciales para el desarrollo agrícola.

### Protección y desarrollo de nuestras tierras agrícolas

Para garantizar la seguridad alimentaria, debemos combinar una serie de estrategias para la protección y el desarrollo de nuestras tierras agrícolas que incluya el aumento de reservas agrícolas, y las fincas familiares. Además, es importante la intervención de agencias de apoyo como el Departamento de Transportación y Obras Públicas para que las vías de acceso estén disponibles para que pueda fluir el trabajo de los agricultores en sus fincas privadas.

La Tabla 1 presenta las tierras de gran productividad agrícola o reservas agrícolas en la Isla en el 2012 y 2015, las cuales para el año 2015 tuvieron un aumento. Estas reservas agrícolas le dan un aumento a los terrenos cultivables o separados para la agricultura de un 20%, y suman unas 26,977 cuerdas adicionales en los últimos tres años.

Tabla 1

#### *Reservas agrícolas en Puerto Rico*

| Reserva agrícola  | Ley        | Fecha      | Cuerdas 2012 | Cuerdas 2015 |
|---|------------|------------|--------------|--------------|
| Valle de Lajas  | 277        | 20/08/1999 | 43,337       | 48,036       |
| Valle del Coloso  | 142        | 08/04/2000 | 3,183        | 3,182        |
| Valle de Guanajibo  | 184        | 17/08/2002 | 9,610        | 9,804        |
| Valle de Vega Baja  | 398        | 22/09/2004 | 3,390        | 3,391        |
| Valle Cibuco  | OE 2004/65 | —          | 1,646        | 1,646        |
| Maunabo   | 18         | 23/01/2006 | 1,116        | 1,116        |
| Corredor Agrícola del Sur   | 242        | 08/09/2008 | 65,000       | 75,240       |
| Valle de Yabucoa  | 49         | 08/03/2009 | 7,177        | 7,178        |
| Estación Experimental Agrícola Gurabo UPR-RUM                                 | 25         | 30/05/2013 | 0            | 528          |
| Reserva Agrícola y Agroecológica de la Estación Experimental Agrícola UPR-RUM | 99         | 08/11/2013 | 0            | 3,316        |
| Valle de Añasco   | N/A        | 02/12/2014 | 0            | 7,089        |
| Hacienda La Hermosura - Las Piedras   | 94         | 25/06/2015 | 0            | 910          |
| Total   |            |            | 134,459      | 161,436      |

(DAPR, 2015)

### Plan de usos de terreno

El Plan de Usos de Terrenos de Puerto Rico (PUT) establece los terrenos que comprenden las reservas agrícolas y las áreas que están especialmente protegidas provistas para el desarrollo agrícola alcanzando un total de unas 636,847 cuerdas para uso agrícola (Figura 3). Esto comprende los valles costeros, las fincas familiares del centro de la isla o del área de la cordillera y fincas privadas.

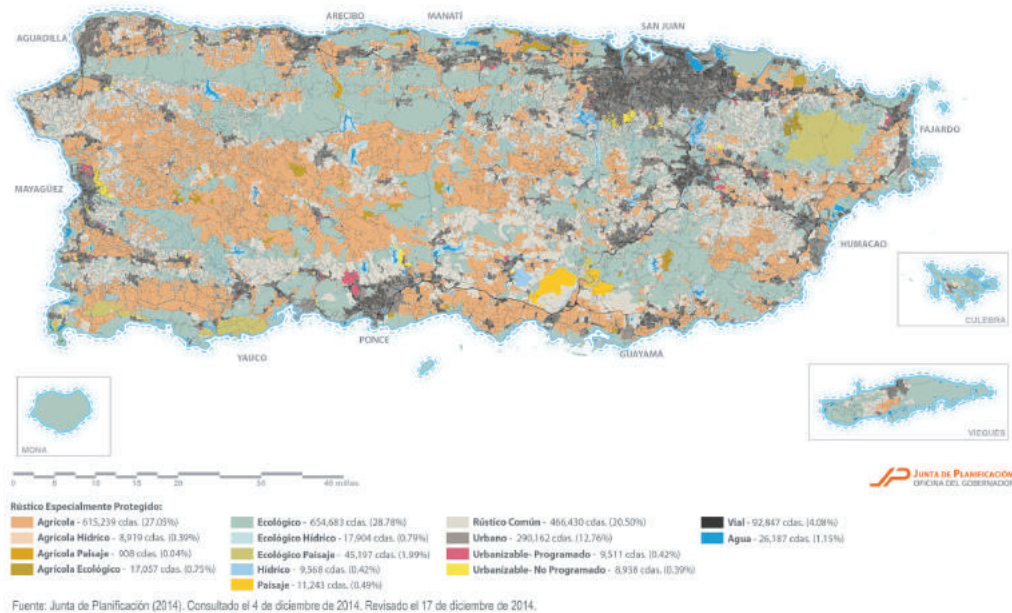


Figura 3. Mapa del Plan de Usos de Terreno de Puerto Rico (Junta de Planificación de Puerto Rico, 2015).

### Sistemas de riego

Por décadas, los sistemas de riego de agua para la agricultura provienen de los embalses de los municipios de Isabela, Juana Díaz, Patillas y Lajas, los cuales tienen aproximadamente entre 90 a 100 años. El embalse Guajataca lleva agua a través del canal de riego hasta los municipios de Isabela y Aguadilla. Los embalses de Toa Vaca y Guayabal del municipio de Villalba llevan agua a los municipios de Juana Díaz y Santa Isabel. El canal Guamaní lleva agua desde el embalse del municipio de Patillas hasta el área del municipio de Salinas. El sistema de riego del municipio de Lajas es uno de los sistemas más extensos que tiene Puerto Rico, el cual tiene aproximadamente entre 90 a 100 años de haberse construido, pero es totalmente funcional.

El sistema del municipio de Lajas comienza con los lagos que se encuentran en el municipio de Adjuntas, pasando al lado del lago Luchetti del municipio de



Yauco con el movimiento de agua hacia los valles costeros del Sur, específicamente al Valle de Lajas. Luego, por el canal natural pasa a otro lago que existe en el barrio Susúa del municipio de Yauco. Por un canal de agua natural pasa al río Loco, donde se inserta al canal de riego y llega hasta el área del municipio de Lajas. Durante el año de sequía 2015, hubo que hacer ajustes a este sistema de riego. Este canal de agua se mantuvo con la cantidad y capacidad mínima necesaria, ya que en los pueblos del centro hacia el oeste (centro-oeste) de la Isla, el impacto de la sequía no fue tan marcado. Estos embalses no tuvieron problemas en sus abastos de agua durante la sequía. Los lagos Caonillas y Dos Bocas del municipio de Utuado que son los que abastecen el Supertubo para traer agua hasta el área metropolitana, se comportaron igual. Estos embalses no tuvieron una caída en sus niveles de capacidad.

### **Planes de conservación de recursos agrícolas**

La ruta para trabajar los planes de conservación de recursos agrícolas comienza con los distritos de conservación. Estos distritos de conservación se protegen y trabajan a través de la Ley 211 del 1946, titulada como Ley de Distritos de Conservación de Suelo. Esta ley establece el uso y manejo de los recursos agua y suelo. Estos distritos se crearon en Puerto Rico en los años 30 y 40 porque se estaba perdiendo un 60% de la capa superficial del suelo. Bajo esta ley, se establecieron 17 distritos de conservación compuestos por agricultores y junta de agricultores en carácter voluntario y una coordinación entre el Departamento de Agricultura de Estados Unidos y el Departamento de Agricultura de Puerto Rico. En el caso del Departamento de Agricultura Federal, se creó el *National Resources Conservation Service* (NRCS). En el año 2015, se aprobó la Ley Núm. 117, la cual enmienda los artículos 3 y 4, elimina el artículo 12, y reenumera los artículos 13 al 17 como 12 al 16 de la Ley 211 del 1946. Estas enmiendas redujeron a seis distritos de los 17 distritos originales conforme a las regiones agrícolas del Departamento de Agricultura, pero contemplando todos los municipios. Los distritos activos actualmente son:

- 1) Distrito Norte: se compone por los municipios de Barceloneta, Manatí, Florida y Vega Baja
- 2) Distrito Caribe: está compuesto por los municipios de Juana Díaz, Villalba, Santa Isabel y Coamo
- 3) Distrito Sureste: se compone de los municipios de Salinas, Guayama, Arroyo, Patillas y Maunabo
- 4) Distrito Este: se compone del Valle de Yabucoa, Las Piedras, Naguabo, Humacao y Gurabo
- 5) Distrito Suroeste: compuesto por los municipios de Yauco, Guánica, Lajas, Sabana Grande, Cabo Rojo, San German y Hormiguero
- 6) Distrito Noroeste: compuesto por los municipios de Quebradillas, Aguada, Aguadilla, Añasco, Rincón e Isabela.

Los distritos del Sur, Sureste y del Suroeste realizan proyectos de estructuras de charcas para riego y vasijas de infiltración que están conformadas en las áreas donde se utilizan todos los recursos que trabajan específicamente en las fincas de la Autoridad de Tierras. Las mismas son para darles acceso a los agricultores y, brindarle el beneficio y el servicio de sistema de riego por bombeo.

Las charcas de riego (retención de agua) se mantienen en lugares donde los estudios de suelo indican que las arcillas por su naturaleza y sus partículas del suelo sellan las mismas y no deja que se filtren. Por el contrario, hacemos estructuras parecidas que denominamos como vasijas de infiltración en lugares con características de suelo diferente, donde hay más cantidad de gravilla y de arena. Esto es para darle abastos a las aguas de escorrentía en un momento determinado para infiltrarle agua a los acuíferos del área. Posterior a la construcción de las estructuras, se va a una etapa de tubería y bombeo donde los agricultores cuando utilizan estas aguas las sustituyen por las aguas de los pozos profundos de los acuíferos que están en la zona. Hay unas 18 estructuras desde el municipio de Guánica hasta el municipio de Santa Isabel, actualmente funcionales. Estas 18 estructuras tienen una capacidad de contener 120 millones de galones de agua, la cual está disponible para los agricultores. En el periodo de sequía en el 2015, los agricultores redujeron en un 50% el uso del agua del acuífero, utilizando la capacidad de estas estructuras que ya están funcionales entre los municipios que comprenden desde Guánica hasta Santa Isabel.

Es importante recalcar que estas estructuras también requieren un mantenimiento donde el Departamento de Agricultura junto al Departamento de Agricultura Federal le dan la responsabilidad al agricultor. A través de un documento escrito, el agricultor asume el compromiso de mantener estos sistemas operando de forma apropiada y costean el combustible diésel del sistema de bombas para provecho de los agricultores que se sirven de estos proyectos.

Enfocamos esfuerzos para planes de conservación para los recursos agrícolas en la planta de tratamiento terciario del área de Santa Isabel. En cuanto al Distrito de conservación, evaluamos fincas para identificar áreas donde se puedan establecer estas vasijas de infiltración y el agua que sale de la planta pueda inyectarse. Estas iniciativas pudieran ser favorable para reabastecer los niveles y evitar la intrusión salina en el acuífero del área de Santa Isabel, sustituidas por estas estructuras. Éstas son el suministro de agua que viene desde los lagos del centro de la Isla.

La mano de obra agrícola ha sido sustituida por equipo y maquinaria. La adopción de tecnologías agrícolas se da por medio de los Programas de Inversión Agrícola del Departamento de Agricultura donde se incentivan los ambientes protegidos hidropónicos y maquinaria agrícola. En el caso de los ambientes protegidos e hidropónicos, tenemos controles del uso del agua donde se maximiza el recurso para una producción mayor dentro de estos ambientes controlados.

### **Proyectos piloto**

El Departamento de Agricultura posee varios proyectos pilotos. La reactivación del proyecto de semillas del Departamento de Agricultura tiene dos fincas en Puerto Rico: finca Monterey en el barrio Higuillar en Dorado y finca Enseñat en el barrio Bucarabones del municipio de Las Marías. La finca de Las Marías se dedica específicamente para la producción de semilla de café.

Cuando hablamos de semillas de café, los agricultores usan este término porque son los árboles que se producen a nivel de vivero. Los árboles, desde el momento que se pone a germinar el grano de café hasta que el árbol está disponible para la siembra en las fincas, se toma nueve meses. Esta producción de semillas alcanzó en los últimos años unos 8 millones de árboles para establecer las 8 mil cuerdas nuevas; en diferentes etapas, por los últimos tres años. Estas plantaciones de café son a largo plazo. Estos árboles tienen una longevidad bastante aceptable. Depende del manejo que le den los agricultores. Esperemos que en los próximos años la producción de café adquiera un giro diferente ya que conocemos que ya ha ido tomando otra forma con los *coffee shop* y este tipo de turismo interno donde se le brinda al consumidor marcas de café que le llaman café especiales. Estos cafés especiales tienen ciertas características donde el consumidor a través del turismo interno puede degustarlos y, de esta forma se genera una actividad económica.

El Programa de Rescate del Café, ubica en el centro-oeste de la Isla y cuenta con 23 municipios, lo cual se le reconoce como el cinturón cafetalero. Los pueblos que comprenden esta zona cafetalera tienen una capacidad, en términos del recurso de suelo y agua, excelentes para la producción de café. Uno de los mercados que se contempla exportar es el europeo, el cual es exigente y el café de Puerto Rico cumple con estas exigencias.

En el proyecto de caña, ubicado en el Valle de Coloso en Aguada, se establecieron 500 cuerdas de caña originalmente. Ya se sobrepasan las 1,000 cuerdas para establecer siembras adicionales. Las mismas son para semillas y poder conservar lo que para Puerto Rico ha sido muy importante: las mieles para el procesamiento de los rones. Puerto Rico, por años, ha recibido un arancel o un incentivo por la producción de mieles para la confección de rones.

Con el desarrollo de estas iniciativas el Departamento de Agricultura ha logrado un aumento de empleos en el sector agrícola (Figura 4). Del mismo modo, en los últimos años ha habido un incremento de casi 200 millones de dólares en el ingreso bruto agrícola, el cual alcanzó unos 900 millones de dólares (Figura 5).

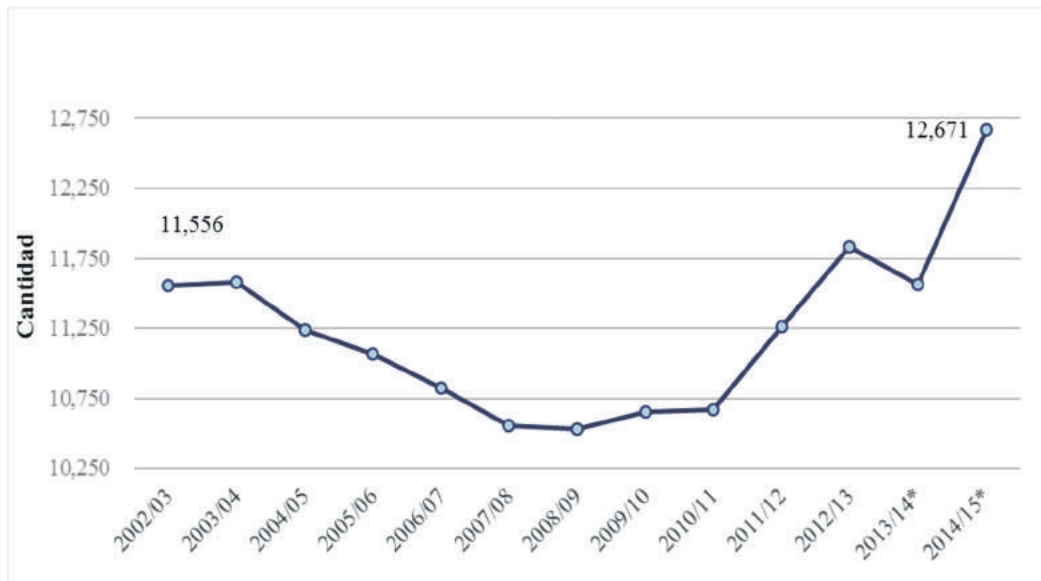


Figura 4. Cantidad de empleos agrícolas por año en Puerto Rico (DAPR, 2015).

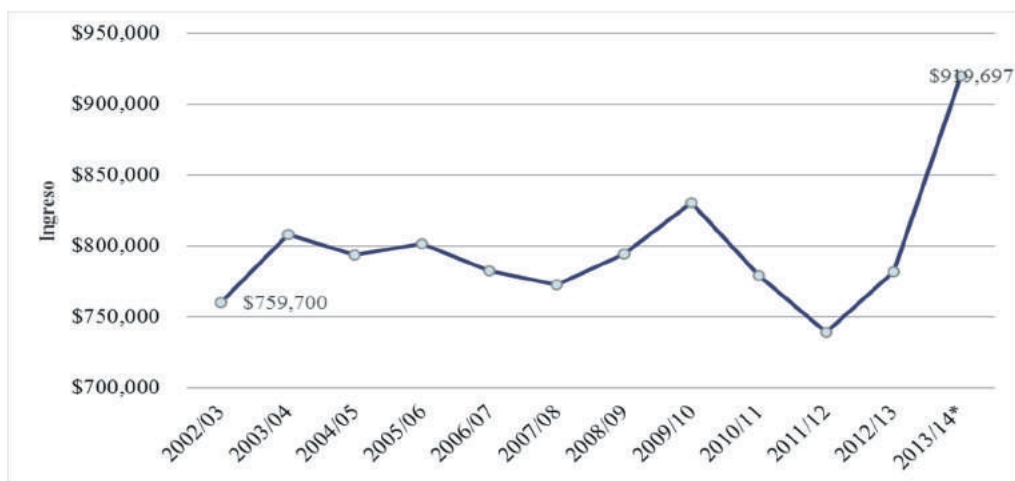


Figura 5. Ingreso bruto agrícola en Puerto Rico (DAPR, 2015).

### Consideraciones finales

El Departamento de Agricultura en colaboración con otras agencias de gobierno han encaminado una serie de acciones para minimizar los efectos de la sequía y trabajar con la seguridad alimentaria en Puerto Rico. Una de estas acciones contempla la utilización de las aguas usadas de la planta de tratamiento de Santa Isabel para abastecer los sistemas de riego. Aunque aún esta acción se encuentra

en análisis, la misma es un alternativa que contempla la reutilización de las aguas tratadas ya sea para la recarga del acuífero o para alimentar pozos de infiltración que abastecen los sistemas de riego. Este tipo de proyecto es consultado con los agricultores para atender las necesidades que estos presentan. Actualmente existen varias compañías en el área sur que están de acuerdo con que se establezca este tipo de proyecto, tanto para uso agrícola, como para el reabastecimiento del acuífero.

## **Referencias**

- Departamento de Agricultura de Puerto Rico. (2015). *Plan de seguridad alimentaria para Puerto Rico*. Oficina del Secretario del Departamento de Agricultura del Estado Libre Asociado de Puerto Rico. Recuperado de <https://www2.pr.gov/agencias/Agricultura/Documents/Temas%20de%20interes/PLAN%20SEGURIDAD%20ALIMENTARIA.pdf>
- External Trade Statistics. (2010). *Shipments of merchandise to Puerto Rico by commodity*. Junta de Planificación de Puerto Rico.
- Junta de Planificación de Puerto Rico. (2015). *Plan de usos de terrenos de Puerto Rico*. Oficina del Gobernador. Recuperado de <http://www.camarapr.org/presvazquez/PUT-2016.pdf>

## DISPONIBILIDAD DE FONDOS PARA LA CREACIÓN DE CHARCAS DE OXIDACIÓN EN FINCAS AGRÍCOLAS PARA LA REUTILIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES EN LA AGRICULTURA

*Ing. Damaris Medina<sup>1</sup>*

Transcripción y edición de ponencia ofrecida bajo el panel *Retos que conlleva la reutilización de aguas residuales en la agricultura* en la conferencia *Reutilización de Aguas Residuales para la Agricultura*: 1 de junio de 2016, San Juan, Puerto Rico.

Resumen - El Servicio de Conservación de Recursos Naturales (NRCS, por sus siglas en inglés) ofrece incentivos y programas voluntarios a los dueños de terrenos y productores agrícolas con el fin de ayudarlos a manejar los recursos naturales de sus fincas de manera sustentable. Como parte del manejo de estos recursos, el NRCS promueve los planes de manejo de residuos en fincas agrícolas en los cuales se reutilizan las aguas residuales en los sistemas de riego para mejorar los nutrientes en los suelos. Además, bajo la Ley Agrícola Federal del 7 de febrero del 2014, el NRCS brinda programas de asistencia técnica y económica a productores agrícolas, con el fin de atender recursos naturales afectados y proveer beneficios ambientales como la calidad del agua y del aire, conservar el agua superficial y subterránea, reducir la erosión y sedimentación del suelo, y crear o mejorar hábitat para la vida silvestre.

*Palabras claves: Servicio de Conservación de Recursos Naturales, programa de incentivo a agricultores, plan de manejo de residuos para fincas agrícolas*

Abstract - Natural Resource Conservation Services (NRCS) offers incentives and voluntary programs to landowners and agricultural producers to assist them in handling the natural resources of their farms sustainably. As part of management the NRCS promotes waste management plans on farms in which the wastewater is reused in the irrigation systems of the farms to improve soil nutrient. In addition, under the Federal Law: 2014 Farm Bill of February 7, 2014, NRCS provides programs of technical and financial assistance to agricultural producers, in order to address affected natural resources and provide environmental benefits as; water quality and air pollution, conserve surface and ground water, reduce soil erosion and sedimentation, and create or improve habitat for wildlife.

*Key words: Natural Resource Conservation Service, agriculture incentive programs, waste management plan on farms*

### Introducción

El Servicio de Conservación de Recursos Naturales (NRCS, por sus siglas en inglés) del Departamento de Agricultura Federal ofrece programas voluntarios a dueños de terrenos y productores agrícolas, elegibles a asistencia técnica y financiera,

---

<sup>1</sup> La autora es gerente del programa de rehabilitación de cuencas del Servicio de Conservación de Recursos Naturales, Caribbean Area State Office, 654 Plaza, Suite 604, 654 Muñoz Rivera Ave. Hato Rey, PR 00918-4123, San Juan, PR. Email: damaris.medina@pr.usda.gov

con el propósito de ayudarlos a manejar los recursos naturales de manera sustentable. A través de estos programas, la Agencia aprueba contratos que ayuden a planificar e implementar prácticas de conservación para el ahorro de energía, mejorar la salud de los suelos, agua, plantas, aire, animales y otros recursos relacionados en terrenos agrícolas, bosques privados y terrenos no-industriales.

NRCS provee a agricultores, rancheros y manejadores de bosques asistencia técnica gratuita para sus terrenos. Las asistencias técnicas comunes incluyen: inventario de recursos, diseño de prácticas de conservación y vigilancia de los recursos. Un conservacionista de suelos de la agencia es el encargado de proveerle la ayuda necesaria para determinar elegibilidad y solicitar la asistencia financiera que requiere. Esta asistencia puede ser solicitada a través del portal cibernético *Conservation Client Gateway* a través de <https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/main/national/cgate/>

### **Planes de manejo de residuos en fincas agrícolas**

Entre los servicios que ofrece, el NRCS brinda asistencia técnica y financiera a agricultores en el desarrollo de sistemas para el manejo de los residuos que generan sus compañías, a través del diseño de un plan de manejo. Este plan tiene el propósito de establecer las acciones requeridas o necesarias sobre el recogido, almacenamiento y tratamiento de los residuos/desperdicios agrícolas para prevenir la contaminación de las fuentes de agua en el área. Las compañías que más asistencia reciben para la elaboración de estos planes son las industrias pecuarias: vaquerías, porquerizas, crianza de cabras, y caballos, entre otros animales.

La asistencia técnica y financiera para el desarrollo de los planes de manejo de residuos incluye el diseño y construcción de zanjas de desviación de aguas limpias, charcas y otras estructuras de almacenamiento de los residuos/desperdicios, instalaciones para el tratamiento de los residuos y métodos para manejar la mortalidad animal. Además, incluye asistencia para desarrollar un plan para utilizar los nutrientes de estos residuos como abono, aplicándolos a los terrenos de acuerdo a las necesidades de las plantas y la cantidad de nutrientes existentes en el suelo.

La Figura 1 muestra un dibujo esquemático de un sistema de manejo de desperdicios para empresas pecuarias. Este sistema inicialmente comienza en las salas de esperas donde se encuentran los animales y donde se produce la mayor cantidad de los residuos o desperdicios. Estas áreas se diseñan de forma tal que, durante el proceso de limpieza, los desperdicios se van almacenando en una estructura en donde se separen los sólidos de los líquidos. Los sólidos se pueden reutilizar como abonos dentro de la finca, mientras que los líquidos se desvían a tanques o charcas de oxidación. Estos líquidos pueden ser reutilizados en los sistemas de riego para las mismas siembras de la finca o para las áreas en donde pastorean los animales. El NRCS brinda la asesoría, tanto en la parte de ingeniería para el diseño de estos

sistemas, como en la parte agronómica que tiene que ver con la reutilización de los nutrientes de los residuos de forma efectiva.

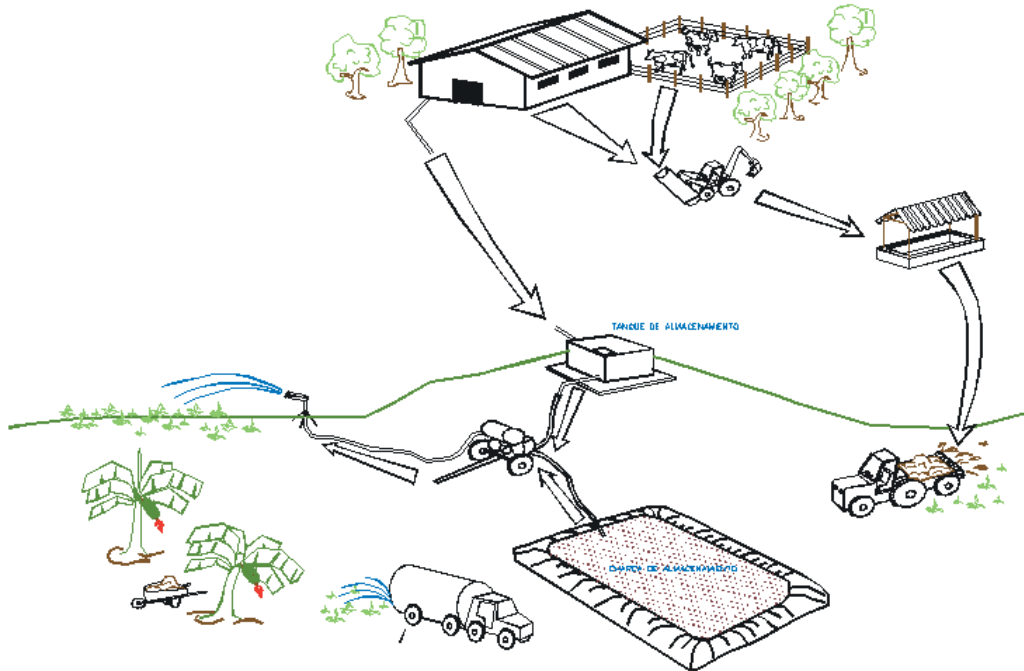


Figura 1. Sistemas de manejo de desperdicios de empresas pecuarias.

Para determinar el diseño de estos sistemas, el NRCS lleva a cabo un inventario de recursos en la finca. Este inventario incluye conocer el tipo de animales en la finca, cantidad y peso de los animales; el tiempo que van a estar confinados en las llamadas salas de espera; la lluvia promedio en el área, los eventos de precipitación de 25 años/24 horas; el nivel de evaporación en el área; niveles freáticos; tipo de suelo, incluyendo los parámetros de textura, profundidad e inclinación; dimensiones de las estructuras y sus características; cantidad de acres disponibles para la aplicación de desperdicios; usos de la finca (tipo de cosecha); volumen que se genera durante el periodo de lavado de las áreas de espera; y la localización y descripción de las áreas sensibles dentro de la finca, como lo son cuerpos de agua, sumideros, acuíferos, y viviendas, entre otros. Toda esta información es analizada con el propósito de determinar un sistema efectivo para la finca y que a su vez cumpla con la reglamentación federal y estatal que establecen la Agencia Federal de Protección Ambiental (EPA, por sus siglas en inglés) y la Junta de Calidad Ambiental (JCA), en particular con el Reglamento Número 7656, Reglamento para el Control de los Desperdicios Fecales de Animales de Empresas Pecuarias.



El NRCS promueve la reutilización de estos desperdicios o residuos de una forma ambientalmente aceptable para regarlas sobre los terrenos y mejorar la calidad de los suelos, el agua, las plantas, el aire, los animales, lo cual mejora el ambiente y la calidad de vida. Además de la reutilización en la finca, estos residuos pueden ser utilizados para la venta como composta, alimentos para animales y para la generación de energía a través del uso de biodigestores. Aunque en Estado Unidos, el NRCS lleva mucho tiempo promoviendo el uso de los residuos para generar energía, en Puerto Rico no se ha impulsado tanto debido a los costos de este tipo de sistemas.

Estos sistemas de biodigestores requieren de una charca cubierta con unas membranas plásticas que permiten recoger los gases que emanan de los residuos en un sistema de generación de energía. La energía generada en estos sistemas se convierte en electricidad y puede ser utilizada en las edificaciones de las fincas. Los líquidos remanentes también pueden ser reutilizados en los sistemas de riego de la finca.

### **Ley Agrícola Federal 2014 y programas de incentivos para la conservación**

Bajo la Ley Agrícola, el NRCS provee asistencia técnica y financiera a agricultores con problemas ambientales en sus empresas, tales como la contaminación de aguas superficiales y subterráneas con desperdicios o residuos agrícolas resultantes de la operación de la empresa. Esta asistencia tiene el propósito de incentivar al agricultor para establecer las acciones requeridas o necesarias sobre el recogido, almacenamiento y tratamiento de los residuos/desperdicios agrícolas para prevenir la contaminación de las fuentes de agua en el área. La asistencia técnica envuelve el desarrollo de los planes de manejo de residuos y el diseño de las prácticas de conservación necesarias para evitar la contaminación. La asistencia financiera es para incentivar la construcción de las prácticas recomendadas, tales como zanjas de desviación de aguas limpias, charcas y otras estructuras de almacenamiento de los residuos/desperdicios, instalaciones para el tratamiento de los residuos y métodos para manejar la mortalidad animal. Además, incluye asistencia para implementar el plan para utilizar los nutrientes de estos residuos como abono, aplicándolos a los terrenos de acuerdo a las necesidades de las plantas y la cantidad de nutrientes existentes en el suelo.

Cada cinco años, el Departamento de Agricultura Federal (USDA, por sus siglas en inglés) establece una nueva ley agrícola, la cual actualiza los programas de incentivos para la conservación. La ley actual, Ley Agrícola Federal del 7 de febrero del 2014 (2014 Farm Bill en inglés), limita los beneficios de conservación a personas o entidades legales con un promedio de ingreso bruto ajustado de hasta \$900,000.

Para solicitar estos programas de incentivos, los agricultores deben auto certificarse, entrando al portar electrónico del NRCS o visitando sus oficinas locales. Los agricultores pueden registrarse como productor históricamente desatendido

(*historically undeserved producer* en inglés). Esta clasificación es para productores que pueden ser individuos o entidades legales como corporaciones y fideicomisos: donde el agricultor es nuevo, con recursos limitados, desventaja social o es veterano de guerra. Bajo esta clasificación, estos pueden recibir hasta el 90% del costo total estimado de las prácticas de conservación. En muchas ocasiones, el agricultor puede parear esta ayuda con otros proyectos especiales del Departamento de Agricultura de Puerto Rico.

De acuerdo a las definiciones establecidas bajo la Ley Agrícola Federal del 2014, un *agricultor nuevo* es una persona o entidad legal que nunca ha operado una finca o lleva menos de 10 años consecutivos operando una finca. Un *agricultor de recursos limitados* es definido como una persona o entidad legal que tiene un ingreso bruto anual por ventas agrícolas (*gross farm sale*) directas o indirectas menores de \$176,800; y un ingreso anual neto (*total household income*) menor de \$23,850. En este caso, el agricultor tiene que cumplir con ambas condiciones para que pueda cualificarse como un agricultor de recursos limitados. En el caso de un *agricultor en desventaja social*, la ley lo define como un agricultor que ha sido víctima de discriminación racial y/o étnico por su identidad como miembro de un grupo sin tener en cuenta sus cualidades individuales. Bajo este grupo, se clasifican todos los hispanos, por lo que la gran mayoría de los agricultores de Puerto Rico cualifican. En el caso de los agricultores veteranos, estos tienen que cumplir con los requisitos que establece la definición de agricultor nuevo, no estar en el servicio militar, naval o aéreo, y no haber sido inactivado del servicio militar por alguna deshonra. Para las entidades locales u operaciones conjuntas que desean acogerse a los programas, todos los miembros de la misma tienen que cumplir con los requisitos previamente discutidos para poder cualificar y recibir el 90% de la asistencia.

*Programa de Incentivos para la Calidad Ambiental.* El Programa de Incentivos para la Calidad Ambiental (EQIP, por sus siglas en inglés) es el principal programa utilizado por NRCS en el área del Caribe. El mismo brinda asistencia técnica y económica a los productores agrícolas y dueños o usuarios de terrenos agrícolas para atender los recursos naturales afectados y proveer beneficios ambientales. Bajo este programa un agricultor que está empezando una empresa no cualifica para incentivos financieros, pero sí para asistencia técnica. Esta asistencia técnica consiste en ayuda para preparar planes de conservación y brindarle recomendaciones de diferentes formas de manejo y prácticas que puede implementar en la empresa.

En el caso de la asistencia financiera para empresas ya establecidas, el programa brinda financiamiento para establecer prácticas con el fin de resolver problemas que estén afectando alguno de los recursos naturales en el área. Por ejemplo, problemas como contaminación, erosión, y calidad de agua, entre otros. A través de esta asistencia, el agricultor puede solicitar un anticipo de hasta un 50% para la compra de materiales o contratación de servicios necesarios para establecer

prácticas de conservación elegibles bajo el programa. El programa EQIP fija un límite de pago de incentivos económicos para individuos o entidades legales hasta \$450,000 por una vigencia de 5 años. Bajo el programa EQIP el NRCS promueve incentivos para la agricultura orgánica, el establecimiento de invernaderos, ahorro energético, siembra de café bajo sombra. Los fondos para cada iniciativa se otorgan de forma separada. En el 2016, el Programa de Incentivos para la Vida Silvestre quedó integrado bajo EQIP. A través de este programa, se ayuda al agricultor a separar ciertas áreas para el desarrollo de la vida silvestre.

*Concesiones para Innovaciones en la Conservación.* El programa de Concesiones para Innovaciones en la Conservación (CIG, por sus siglas en inglés), promueve el desarrollo y adopción de técnicas y tecnologías innovadores para la conservación en terrenos agrícolas. A través de este programa el NRCS puede aportar hasta un 50% del costo total de las iniciativas o del proyecto a implantarse. La solicitud de estos fondos se hace mediante un proceso de competencias, ya sea a nivel nacional o local. Para participar de estas competencias los individuos, gobiernos estatales y locales, así como organizaciones sin fines de lucro o instituciones de educación superior pueden someter propuestas. En el caso de las competencias a nivel nacional las mismas son evaluadas por un comité en Washington. Las fechas límites para someter estas propuestas se anuncian en el portal cibernético del NRCS.

*Programa de Proveedores de Servicios Técnicos.* El programa de Proveedores de Servicios Técnicos (TSP, por sus siglas en inglés) es para individuos, empresas privadas, organizaciones sin fines de lucro o agencias públicas que deseen ser certificadas por el NRCS para dar asistencia a los agricultores en el desarrollo de planes de conservación para manejar bosques, nutrientes en el suelo, pastos, energía y otras prácticas de conservación. Las prácticas de conservación que requieren el trabajo especializado de los TSP, incluye el manejo de nutrientes, uso de energía, sistemas de irrigación, agricultura orgánica, restauración de hábitat para la vida silvestre, entre otros.

*Programa de Administración en la Conservación.* El programa de Administración en la Conservación (CSP, por sus siglas en inglés) incentiva a los productores agrícolas a mantener y mejorar los sistemas de conservación en sus terrenos y a desarrollar actividades de conservación adicionales dirigidas a atender recursos prioritarios afectados. Para participar de este programa son elegibles todos los productores agrícolas y terrenos agrícolas sin importar el tipo de cultivo o tamaño de la producción. El programa otorga incentivos monetarios anuales y suplementarios. Los incentivos anuales son para mantener las prácticas de conservación existentes en óptimas condiciones. Los incentivos suplementarios van dirigidos a realizar prácticas adicionales que favorezcan la conservación de los recursos naturales.

*Programa de Servidumbre de Conservación en Terrenos Agrícolas.* El Programa de Servidumbre de Conservación en Terrenos Agrícolas (ACEP, por sus siglas en inglés) provee asistencia técnica y financiera a colaboradores de la agencia para que adquieran servidumbres de conservación en terrenos agrícolas. Las entidades elegibles para participar de este programa son los gobiernos estatales y municipales; organizaciones no gubernamentales que cuenten con un programa de protección de terrenos agrícolas. Para la Servidumbre de Conservación Agrícola (SCA), los terrenos deben ser para cultivo, pasto o tierras dedicadas al pastoreo. En el caso de la Servidumbre de Reserva de Humedales, los terrenos deben ser humedales cultivados. En cualquiera de los dos programas, el NRCS cubre hasta el 50% del valor de las servidumbres de conservación del terreno y en el caso de los humedales un 50% de los costos de la restauración.

*Programa para la Asociación Regional para la Conservación.* El Programa para la Asociación Regional para la Conservación (RCP, por sus siglas en inglés) promueve acuerdos entre el NRCS y colaboradores para seleccionar áreas de conservación y dar asistencia a productores agrícolas. A través de este programa se facilita la colaboración para la atención de áreas a nivel regional y de cuenca hidrográfica y se promueve la identificación de áreas críticas de conservación. Bajo este programa son elegibles como colaboradores los gobiernos estatales, municipales, asociaciones de agricultores, distritos de conservación de suelo y agua, organizaciones sin fines de lucro, corporaciones agrícolas u otros grupos de agricultores. Las propuestas sometidas bajo este programa deben incluir la planificación, difusión, implementación y evaluación de proyectos. Los proyectos deben realizarse mediante acuerdos de colaboración como contratos de programas o acuerdos de servidumbre de conservación.

### **Consideraciones finales**

A través de los programas aquí descritos, el NRCS ofrece a los agricultores y dueños de empresas pecuarias asistencia para evaluar sus fincas y establecer un manejo adecuado de sus recursos en cumplimiento con los requisitos establecidos por las leyes de Puerto Rico y las leyes federales. El NRCS promueve los planes de manejo de residuos en fincas agrícolas porque proveen beneficios al ambiente al aportar nutrientes al suelo, conservar el agua superficial y subterránea, y crear un hábitat para la vida silvestre. Para recibir información adicional, pueden comunicarse con las oficinas de NRCS en PR o a través del portal [www.pr.nrcs.usda.gov](http://www.pr.nrcs.usda.gov).

## ELEMENTOS CLAVES PARA LOGRAR EL APOYO DEL PÚBLICO PARA LA REUTILIZACIÓN DE LAS AGUAS: EL CASO DE SAN DIEGO, CALIFORNIA

*Ing. Peter Silva<sup>1</sup>*

Transcripción y edición de ponencia magistral de la conferencia *Reutilización de Aguas Residuales para la Agricultura*: 1 de junio de 2016, San Juan, Puerto Rico.

Resumen - La ciudad de San Diego se encuentra en el suroeste de California, en una zona árida y con suministros de agua locales limitados. La ciudad depende de fuentes externas de agua para suplir entre el 85% al 90% de sus necesidades de agua potable. Entre estas fuentes externas se encuentra el río Colorado y el delta de la bahía de San Francisco. San Diego se está convirtiendo en un líder mundial en tecnologías innovadoras de abastecimiento de agua para llegar a ser menos dependientes de fuentes externas. Sólo en los últimos 6 meses, la Autoridad de Aguas del Condado de San Diego inauguró una planta de desalinización de agua de mar 50 mgd en Carlsbad, CA. Por otro lado, la ciudad de San Diego se está moviendo hacia un programa por fases, de varios años, para utilizar la tecnología de purificación de agua probada para reciclar las aguas residuales locales, con el propósito de producir un suministro de agua seguro y sostenible. Esta iniciativa requirió un trabajo intenso de educación a la ciudadanía para cambiar la percepción del público sobre la confiabilidad en la reutilización de aguas residuales para convertirla en agua potable. Se espera que para el año 2021 entre en funcionamiento la primera planta de purificación de aguas residuales proveyendo 30 mgd de agua potable.

*Palabras claves: Reutilización de aguas residuales, percepción, agua potable, San Diego*

Abstract -The city of San Diego is located in southwestern California in an arid area with limited local water resources. The city depends on external sources of water to supply the 85% to 90% of its drinking water. Those external sources are the Among Colorado River Delta and San Francisco Bay. To become less dependent on external sources, San Diego is becoming a world leader in innovative technologies for water supply. Only in the last 6 months, the Water Authority San Diego County opened a desalination plant of 50 mgd seawater in Carlsbad, CA. On the other hand, the city of San Diego is moving forward in a phased program of several years, to use technology water purification proven to recycle local waste water in order to produce a safe water supply and sustainable. This initiative required an intense educational program to change citizen's perception on wastewater reuse for drinking purposes. It is expected that by 2021 into the first plant wastewater purification 30 mgd providing drinking water.

*Key words: Wastewater reuse, drinking water, perception, San Diego*

---

<sup>1</sup> El autor es presidente de Silva-Silva International, San Diego, California. Email: psilvape@yahoo.com

## Introducción

San Diego es la ciudad más al sureste de California de los Estados Unidos e importa el 85% del agua potable que sufre a casi 1.4 millones de clientes. Para importar esta agua cruda y tratada, la ciudad de San Diego ha invertido más de \$209 millones por año en distintas iniciativas. Este sistema compuesto por 12 agencias también sirve a las áreas metropolitanas compuestas por las ciudades de Chula Vista, Santee, y el Cajón, entre otras. El sistema de drenaje brinda servicios a un total de 2.5 millones de usuarios de la región, el cual descarga 240 millones de galones diarios (mgd).

La ciudad importa el agua cruda y tratada de dos sistemas grandes que provienen del norte de California (Figura 1). El primer sistema, el *State Water Project* trae agua del delta de los ríos San Joaquín y Sacramento que llegan a la bahía de San Francisco. Este sistema es el que provee la mayor cantidad de agua. El otro sistema es el que proviene de la cuenca del río Colorado, el cual sufre agua a Los Ángeles y luego a San Diego. Históricamente, cuando existía sequía en el río Colorado, el sistema que proviene de la Sierra Nevada de California suplía bastante agua. Hoy día los cambios climáticos asociados al calentamiento global han provocado serios efectos de sequía en ambas cuencas, provocando que ambos sistemas no sean confiables para la ciudad de San Diego.

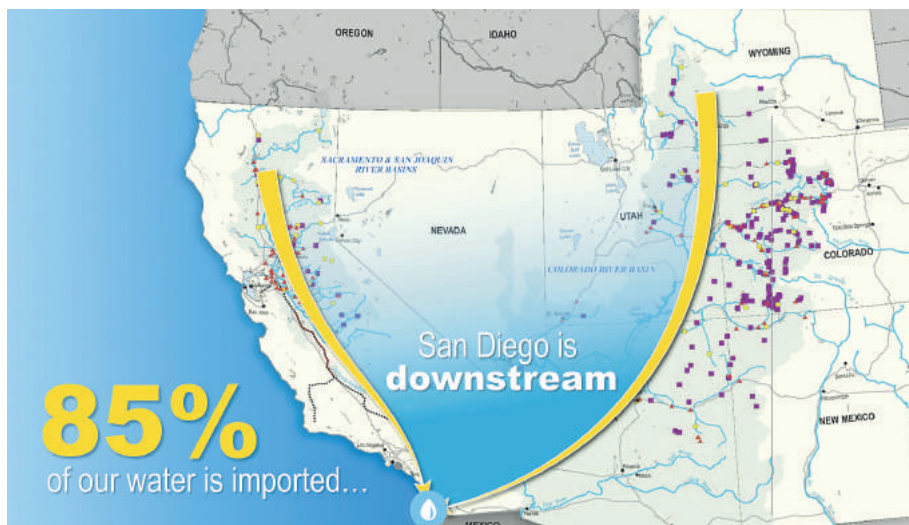


Figura 1. Importe de agua cruda y tratada en la ciudad de San Diego.

Desde el 2014, la situación de la sequía se ha agravado al punto de que la parte del valle central, el área de Fresno y Bakersfield, una de las áreas agrícolas más grandes de la región no ha recibido lluvia (Figura 2). Desde hace 15 años, la cuenca del río Colorado se encuentra en sequía, lo que ha ocasionado que en el 2016 la

represa de Lake Mead esté en los niveles más bajos de su historia. Se prevé que para el año 2018, se declare una sequía en la cuenca del río Colorado. Este panorama proyecta una situación crítica para el sistema de agua potable de la ciudad de San Diego y plantea grandes retos atados a los precios para poder importar el agua de fuentes externas que necesita la ciudad.

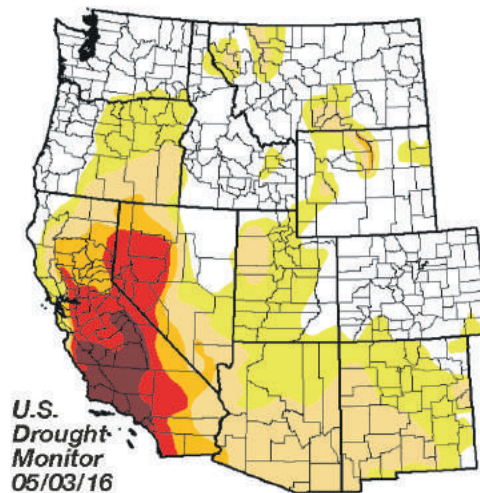


Figura 2. Monitor de sequía para la zona de San Diego California (US Drought Monitor) (5/3/2016) .

Para mitigar estos retos, la ciudad de San Diego ha trabajado una serie de iniciativas que envuelven desde la conservación de los recursos hídricos hasta el establecimiento de un programa para la reutilización de las aguas tratadas como fuente de agua potable. Durante los últimos 20 años, todo el Sur de California desde los Ángeles a San Diego ha reducido el uso del agua a través de un programa de conservación, aunque la población ha aumentado significativamente. En el diciembre 2015, comenzó en operaciones una planta de desalinización, la planta de Carlsbad, la cual genera 56 mgd, equivalente al 15% del uso del agua local. Actualmente, la ciudad recicla un 8% de las aguas residuales para usos urbanos y se contempla aumentar ese porcentaje a través del programa *PureWater San Diego*.

### **Sistema de agua pura de San Diego, California**

El *PureWater San Diego* es un sistema innovador que usa el agua residual tratada no solo para usos urbanos en áreas verdes, sino que también la reutiliza de forma indirecta como agua potable. El sistema es uno confiable, de acuerdo a las pruebas realizadas por la agencias del Estado y la Agencia de Protección Ambiental (EPA, por sus siglas en inglés), que asegura una fuente de abasto de agua local que a

diferencia de las fuentes externas no se ve impactado por las sequías y otros eventos ambientales. A pesar de ser un sistema que ha tenido una inversión muy grande y que proyecta más de 2 billones de inversión en los siguientes 15 años, el sistema es costo efectivo al compararlo con los costos que invierte la ciudad por importar el agua de fuentes externas.

El programa *PureWater San Diego* comenzó en el 1994, y ya tiene más de 20 años en desarrollo. Para el 1994, el programa pasó por una controversia pública reseñada como *Toilet to tap*, provocada por la preocupación del público por el uso del agua residual tratada como fuente de agua potable. Esta controversia hizo que el programa quedara en suspenso hasta el 2004, cuando se trabajó con la educación pública con el propósito de cambiar la percepción del público sobre la confiabilidad en el sistema.

Los sistemas de acueductos en la ciudad de San Diego funcionan como cualquier otro sistema normal (Figura 3). El agua, ya sea importada o local, llega a los embalses locales y luego se transfieren a las plantas potabilizadoras. De las plantas potabilizadoras, pasan a las casas y los negocios, los cuales descargan las aguas residuales a las plantas de tratamiento. Solo un 8% de esa descarga se reutiliza en las zonas urbanas de San Diego para sistemas de riego y el resto era descargado al mar. Actualmente, con el sistema *PureWater*, el agua residual tratada que antes se desechaba al mar, ahora pasa por un sistema avanzado de purificación de agua con el propósito de darle un tratamiento efectivo y abastecer los embalses y las reservas de agua que nutren las plantas potabilizadoras de la ciudad. En el 2012, la Junta Regional de Aguas de la EPA y la División de Aguas de California aprobó que las aguas tratadas por el sistema *PureWater* abastecieran el embalse San Vicente, ubicado al norte de la ciudad de San Diego.



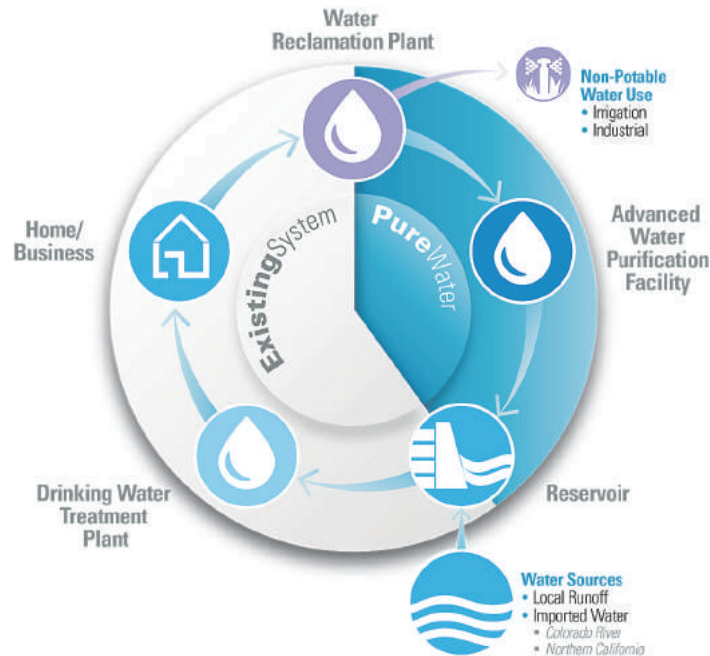


Figura 3. Sistema de acueductos de la ciudad de San Diego.

Este sistema utiliza la combinación de diversas tecnologías que permiten un tratamiento de alta calidad a las aguas residuales, haciendo su consumo seguro y confiable. El sistema utiliza membranas de filtración, osmosis inversa y tratamiento de oxidación mediante la aplicación de luz ultravioleta para tratar las aguas residuales previamente tratadas y descargarlas a los embalses y a las reservas de agua. Con el fin de mejorar la percepción de las comunidades con respecto a este tipo de sistemas y su confiabilidad en reutilizar y potabilizar el agua residual tratada, el Estado instaló una planta modelo en el área de North City en la ciudad de San Diego. Además de la planta demostrativa, la ciudad de San Diego creó una junta asesora independiente compuesta por expertos locales y nacionales con grados doctorales en calidad de agua y salud pública, los cuales han certificado la confiabilidad del sistema en las pruebas realizadas. Esta planta modelo ha realizado 28 mil pruebas de agua, cuyos resultados han sido excepcionales. Además, ha servido de herramienta educativa para enseñar a las personas cómo funciona el sistema, el tipo de tecnología que se utiliza y lo seguro que es el reutilizar el agua para consumo luego de este tratamiento.

La reutilización de aguas residuales tratadas para nutrir las reservas de agua y los embalses no es una práctica nueva en el estado de California. Desde hace más de 37 años en Orange County al norte de San Diego, el agua residual tratada se inyecta en los acuíferos que son utilizados por las plantas potabilizadoras. En el estado de Virginia en Fairfax existe una planta similar al sistema de *PureWater San*

Diego que ha estado en funcionamiento por más de 30 años y no ha habido ningún problema de salubridad en la zona relacionado con la reutilización de las aguas residuales tratadas.

El programa *PureWater* de la ciudad de San Digo posee unas metas ambiciosas y de alto costo, pero han sido diseñadas por fase, con el propósito de cumplir con las necesidades de la ciudad y proveer un sistema confiable y seguro. Inicialmente, el programa constaba de tres fases, las cuales se han trabajado mediante un programa acelerado de solo dos fases con el propósito de generar un total de 83 mgd para el año 2035. La primera fase en el área de North City es tener para el 2021 la cantidad 30 mgd. La segunda fase para el 2035 (Figura 4) es suplir 53 mgd en el área de South Bay y en el área central de San Diego. Aún la primera fase está en proceso de investigación para determinar si es más factible enviar los 53 mgd al embalse San Vicente con 250 acres/pies de capacidad o enviarlo directamente a Miramar que solo tiene unos 3 mil acres/pies de capacidad. La investigación está centrada en los costos que conllevaría los sistemas de bombeo por tubería para llevar el agua hasta San Vicente.

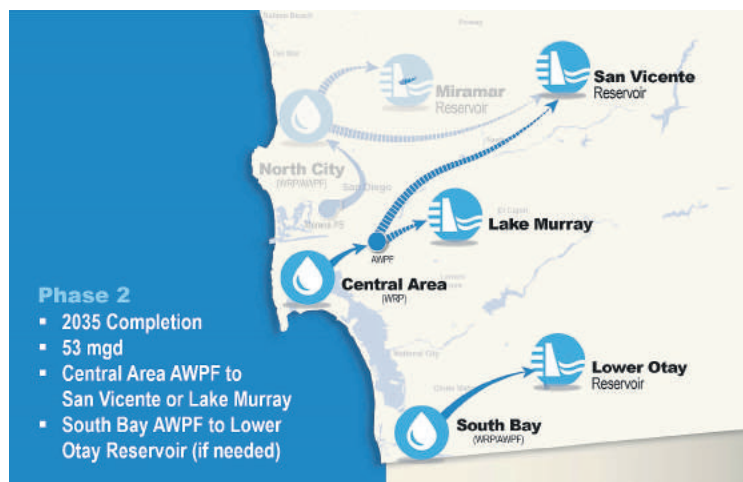


Figura 4. Fase 2 del programa *PureWater* de la ciudad de San Diego.

La segunda fase requerirá de la construcción de una planta cerca del aeropuerto de San Diego para abastecer el lago Murray, el cual suple las tres plantas potabilizadoras en el sur de San Diego. Actualmente, la ciudad de San Diego sigue investigando cómo mejorar el sistema y convertirlo en uno de reutilización directa. El problema es que aún no existen normas del Estado ni de la EPA para llevar el agua directamente a las plantas potabilizadoras.

**Consideraciones finales**

El establecer un programa de reutilización de aguas residuales tratadas no es un asunto fácil ni sencillo. Es un programa que requiere de una investigación pública con un plan bien detallado, fondos asignados, estrategias y personas que lo saben hacer y lo pueden hacer. El programa de *PureWater San Diego* en los últimos 5 años ha realizado más de 400 presentaciones públicas. Sobre 10 mil personas han visitado la planta de demostración y se han realizado sobre 120 eventos comunitarios, incluyendo entrevistas a los usuarios y a la junta asesora independiente. El programa de los recorridos demostrativos en la planta ha sido muy efectivo en cambiar la percepción de la gente con respecto a la confiabilidad del sistema. También ha sido efectivo el tener panfletos y hojas informativas en diferentes idiomas. El uso de los medios y redes sociales han servido como herramientas educativas, atrayendo a los jóvenes quienes a su vez informan a los padres sobre este programa.

## **EL IMPACTO ECONÓMICO DE LA REUTILIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES**

*Juan A. Villeta Trigo<sup>1</sup>*

Transcripción y edición de ponencia dictada en la conferencia *Reutilización de Aguas Residuales para la Agricultura*: 1 de junio de 2016, San Juan, Puerto Rico.

Resumen - El recurso agua toma mayor relevancia en el siglo XXI dada la escasez a nivel global. La situación en el Caribe es similar a la economía global, particularmente Puerto Rico. Diversas experiencias internacionales discuten cómo medir los costos que pudiesen ser incorporados en el proceso de producción de aguas residuales tratadas para la agricultura, industria, servicios hoteleros y ganadería. En este artículo, se presentan proyectos de reutilización de aguas en España e Israel, y se discute la realidad de Puerto Rico ante esos avances.

*Palabras clave: Aguas residuales tratadas, costos de producción, agricultura, Puerto Rico*

Abstract - Water resource becomes more relevant in the 21st century given the shortage globally. The Caribbean reality is similar to the global economy, particularly Puerto Rico. Various international experiences are discussed to measure the costs of treated used water that could be incorporated into the production process for agriculture, industry, hotel services and livestock. This article discusses treated wastewater reuse projects in Spain and Israel and the reality of Puerto Rico, as a reference of this two experiences.

*Key words: Treated wastewater, production costs, agriculture, Puerto Rico*

### **Introducción**

A nivel mundial, el 70% del agua es utilizada para la industria agrícola. En el caso de Puerto Rico, el renglón de la agricultura usa menos de un 10% del total de agua per cápita comparado con los países de América, pues importa el 85% de los alimentos que consume. El 90% del agua se utiliza en el consumo de actividades urbanas, domésticas, industriales, agricultura y servicios públicos.

De acuerdo a los datos de la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados (AAA), Puerto Rico genera sobre 232 millones de galones por día (mgd) de aguas usadas con algún tratamiento que son descargadas a algún cuerpo de agua o al mar a través de las diferentes plantas de tratamiento de la AAA. Ante esta realidad, y los acontecimientos consecuentes del cambio climático, es imperativo que Puerto Rico analice la alternativa de la reutilización de las aguas residuales tratadas como parte de sus planes de desarrollo socioeconómico.

La reutilización de las aguas residuales tratadas no es un asunto nuevo. Desde la década del 1970, la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentos (FAO, por sus siglas en inglés), la Organización Mundial de la Salud

---

<sup>1</sup> El autor es economista y miembro de la Asociación de Economistas de Puerto Rico. Email: [jvilltri@gmail.com](mailto:jvilltri@gmail.com)

(OMS) y tan reciente como en la década de los 80's, la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América (EPA, por sus siglas en inglés) han establecido una serie de guías y lineamientos para la reutilización de las aguas residuales tratadas en diversos usos. Es importante estudiar las alternativas de reutilización de aguas residuales tratadas para usos tradicionales como la irrigación, y para usos no tradicionales como el uso urbano y como agua potable.

### **Experiencias agrícolas de reutilización de aguas residuales tratadas en España e Israel**

Un estudio realizado por Alfranca, García y Varela (2011) sobre la evaluación de los beneficios externos e internos de la reutilización de las aguas residuales tratadas en 13 proyectos agrícolas de la región de Valencia, España, reveló que el precio del agua residual tratada es de aproximadamente  $.9\text{€}/\text{m}^3$  equivalente a  $\$1.37/\text{m}^3$ . De acuerdo a este estudio, los beneficios totales del uso de estas aguas fluctúan entre  $.023\text{€}/\text{m}^3$  a  $4.01\text{€}/\text{m}^3$  equivalente a  $\$.030/\text{m}^3$  a  $\$5.41/\text{m}^3$ . El promedio ponderado para los proyectos estudiados, dependiendo del volumen de aguas usadas tratadas fue de  $1.22\text{€}/\text{m}^3$  o en  $\$1.65/\text{m}^3$  (Molinos-Senante, Hernández-Sancho, & Sala-Garrido, 2011).

En el caso de Israel, el estudio realizado por Friedler (2001) destacó que ese país reutiliza más de un 60% del total de la producción de aguas residuales domésticas, y planifica aumentar a un 90% en la próxima década. Esta estrategia ha hecho que Israel obtenga múltiples beneficios económicos tomando en consideración su realidad geográfica al poseer limitados recursos acuíferos. Debido a su composición geográfica, el aumento en la demanda de agua urbana se cumple mediante la reducción de agua que se suministra para el riego, causando un estrés económico y cultural en los sectores rurales.

Los beneficios económicos de la reutilización del agua residual tratada en Israel para la agricultura son notables porque la fuente principal para este sector es el agua, y la producción de aguas residuales se mantiene de manera constante durante el año. Esto hace que sea una fuente fiable que permita inversiones intensas en la agricultura, particularmente en regiones semiáridas. Esta fuente íntegra presenta un nuevo componente económico en donde los agricultores pueden comprar el agua residual tratada desde el sector urbano, invertir en plantas de tratamiento de aguas residuales o en los costos de operaciones y mantenimientos de estas plantas. De esta manera, los costos totales de tratamiento de aguas residuales tratadas pueden ser compartidos entre los sectores urbanos y rurales.

En cuanto al sector urbano, éste se beneficia de una reducción en los costos de tratamiento, mientras que el sector rural se beneficia de una fuente confiable de agua a un costo menor que el agua convencional importada desde una fuente distante. En términos de costo-beneficio, Friedler señaló que los depósitos de

almacenamiento de aguas residuales tratadas y unidades similares tienen un tiempo de vida de aproximadamente 40 años, en comparación con depósitos tradicionales, lo que hace que el pago anual para la recuperación del capital, sea más bajo que la que habitualmente se calcula. Friedler expuso además que las aguas tratadas para el año 1995 representaban el 65%, y para el año 2010 se esperaba llegaran al 90%.

Tabla 1

*Suministro y demanda de agua por sectores en Israel*

| Recursos de agua | 1995 | Demanda de agua                        | 1995 | 2010 |
|------------------|------|--|------|------|
| Agua dulce       | 1600 | Urbana e industrial                    | 700  | 900  |
| Agua salobre     | 180  | Irrigación con agua potable            | 900  | 650  |
| Agua residual    | 220  | Irrigación con agua salobre o residual | 400  | 600  |
| Total            | 2000 |  | 2000 | 2150 |

(Friedler, 2001)

Otro estudio sobre el análisis económico basado en la ciudad metropolitana de Tel Aviv, en Israel realizado en el año 2005, resaltó que los beneficios económicos del proyecto de reutilización de aguas residuales de Yarqon sobrepasan los \$4.83 millones al año, sin incluir los beneficios ambientales. En el caso de la producción agrícola, el valor en el mercado de las aguas residuales tratadas se encuentra entre \$.24 y \$.31/m<sup>3</sup>, mientras que el costo estimado de operación y mantenimiento para la producción de aguas residuales tratadas de alta calidad del Proyecto de Reciclaje Yarqon se encuentra en \$.16/m<sup>3</sup>.

Entre los múltiples beneficios de este proyecto se destacan la reutilización directa en actividades de irrigación agrícola y de parques urbanos, fincas de producción de peces, actividades industriales y sistemas de enfriamiento. Esta reutilización genera un beneficio ambiental adicional, al reducir la disposición de aguas reusadas tratadas en los cuerpos de agua; además de mejorar el caudal de éstos.

**Realidad de Puerto Rico**

Puerto Rico genera sobre 232 mgd de aguas usadas que son descargadas al mar o algún cuerpo de agua. Por tanto, se puede decir que en Puerto Rico se reutilizan las aguas residuales tratadas de forma indirecta, que en ocasiones son descargadas a cuerpos de agua que son tributarios de los embalses que suplen agua a las plantas potabilizadoras de la AAA. Esto ha sido lo que nos ha mantenido a flote en los últimos eventos de sequía en las pasadas décadas. Sin embargo, es muy poco lo que se ha hecho para impulsar la reutilización de las aguas residuales como parte del desarrollo económico de la Isla.

De la totalidad de las aguas “negras” generadas en Puerto Rico, el 93% proviene del consumo residencial y el restante por el consumo industrial y comercial. La AAA se enfrenta ante esta realidad inescapable de las aguas “negras” con un sistema de plantas de tratamiento y plantas sanitarias conjunto con un receptor de 232 mgd de aguas usadas que son descargadas.

Un excelente ejemplo de la reutilización de las aguas residuales en Puerto Rico es el complejo residencial Palmas del Mar en Humacao. Palmas del Mar utiliza un sistema de riego de los campos de golf y áreas verdes para reutilizar las aguas residuales. Dicho sistema cuenta con un sistema de una planta y cuatro estaciones de bombeo que tiene una producción anual de 146,000,000 de galones de agua y una producción diaria de 400,000 galones de agua. Esto conlleva un costo anual para la producción de aguas tratadas de \$894,404.00. El costo anual por galón es \$0.006.

El análisis económico de los beneficios de este sistema representa \$.006 del costo anual por galón de agua residual en comparación con \$.011 del costo anual por galón que le tendría que pagar a la AAA por el uso de agua potable para los sistemas de riego y área verdes. Este sistema le produce a *Palmas del Mar Utility* un beneficio neto anual de \$257,516.00, y un ahorro por galón de \$.005. De acuerdo a la AAA, se riegan unos 400,000 galones de agua diarios para los campos de golf y áreas verdes; este tipo de riego se realiza 22 días al mes.

La tarifa comercial por bloque (agua en metro cúbico) es la siguiente: 0-100m<sup>3</sup>: \$1.74/m<sup>3</sup>; 100-200m<sup>3</sup>: \$2.16/m<sup>3</sup>; y mayor de 200m<sup>3</sup>: \$2.84/m<sup>3</sup>. El cargo mensual base es de \$725.75 por la operación realizada en Palmas del Mar. En contraste, el cargo mensual base por el cumplimiento ambiental (CCAR) es de \$839.50. Por consiguiente, el gasto mensual es \$95,993.00 y el gasto anual es de \$1,151,920.00.

En resumen, el costo anual para la producción de aguas tratadas por las plantas del propio complejo de Palmas del Mar es de \$894,404.00, lo cual significa un gasto anual por galón de \$0.006. Ahora, el gasto anual para la producción de las aguas tratadas por la AAA de Puerto Rico es de \$1,151,920.00, lo cual equivale a un costo anual por galón de \$0.011. Entiéndase, el beneficio de no tener que incurrir en el pago a la AAA es de \$257,516.00, lo cual resulta en un ahorro por galón de \$0.005.

Otro ejemplo de beneficios económicos de la reutilización de las aguas residuales tratadas lo vemos en el sector industrial. Bajo la insignia de su compromiso como empresa, “[our business can only be as healthy as the local communities where we operate; Access to clean water is one of the most important barometers of a community’s health]”, “Nuestra empresa sólo puede ser tan saludable como las comunidades locales donde operamos. El acceso al agua limpia es uno de los barómetros más importantes

de la salud de una comunidad”.

En el año 2000, la Coca-Cola Bottling Company of Puerto Rico (CCPRB) realizó una inversión inicial de \$1 millón en infraestructura para la reutilización de aguas residuales tratadas. Esta inversión fue realizada tomando en cuenta las realidades que enfrentaba como empresa al depender del suministro del AAA. Entre estas realidades están las siguientes: 1) el acarreo de la descarga de CCPRB a la Planta de Tratamiento de Aguas Sanitarias (PAS) en Guayama, PAS en Barcelona y la PAS de Bacardí; 2) las limitaciones de la AAA para recibir descarga, ya que tiene una carga orgánica de máximo 70,000 galones por día; 3) la descarga era un factor limitante en la producción; y 4) el espacio limitado.

Esta inversión se analizó bajo el indicador clase de relación de uso de agua: volumen de agua utilizada en las instalaciones (galones) dividido entre volumen de producto terminado (galones). Como resultado de dicha inversión entre los años 2009 al 2012, se produjo un ahorro de \$2,865,362.00. Si miramos los ahorros por año, en el 2009 fue de \$605,031.00; en el 2010 fue de \$658,983.00; en el 2011 fue \$761,755.00; y en el año 2012 fue de \$839,362.00.

Esta inversión inicial de \$1 millón facilitó la reutilización de las aguas que genera la planta en los sistemas de enfriamiento (70%), compresores (10%), calderas (8%), sanitarios (7%) e irrigación (5%). La reutilización de aguas produjo un ahorro, de \$2,421,569.00, tomando como base el periodo del 2005 al 2011. La cifra de ahorros por año fue de \$188,580.30 para el 2005; de \$233,920.73 para el 2006; de \$280,153.80 para el 2007; de \$311,531.15 para el 2008; \$442,805.37 para el 2009; de \$492,521.44 para el 2010; y de \$472,056.14 en el año 2011.

### **Consideraciones finales**

Si las aguas tratadas son el nuevo recurso del agua, la reutilización de las aguas residuales tratadas en Puerto Rico puede servir de motor para el desarrollo económico de varios sectores. Los ejemplos de España e Israel muestran claramente cómo la economía del País puede verse beneficiada, especialmente el sector agrícola e industrial. La irrigación y reutilización de aguas residuales tratadas presenta un nuevo componente en la educación. El análisis de beneficio y costos requiere que los economistas, financieros y contadores tengan que trabajar con los ingenieros, estudiantes e investigadores debido a que se necesita agua que sea confiable y constante por ser elemento indispensable para el sostenimiento de la agricultura. De esta manera, la expansión del desarrollo agrícola puertorriqueño sería posible.

Al análisis de costo-beneficio de aguas tratadas y proyectos de reutilización se le deben incorporar tres factores. Primero, la expansión del desarrollo agrícola no sería posible sin una oferta constante y confiable de agua. Segundo, la protección



de la salud pública y ambiental. Por último, se le debe agregar el periodo de análisis de 20 años, en contraste con la vida útil de almacenamiento de aguas tratadas de 40 años.

### **Referencias**

- Alfranca, O., García, J., & Varela, H. (2011). Economic valuation of a created wetland fed with treated wastewater located in a peri-urban park in Catalonia, Spain. *Water Science & Technology*, 635, 891-898.
- Friedler, E. (2001). Water reuse —An integral part of water resources management: Israel as a case study. *Water Policy*, 3, 29-39.
- Garcia, X., & Pargament, D. (2015). Reusing wastewater to cope with water scarcity: Economic, social and environmental considerations for decision-making. *Resources, Conservation and Recycling*, 101, 154 - 166. doi. 10.1016.

## **PROYECTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA PLANTA DE SANTA ISABEL PARA LA RECARGA DE ACUÍFEROS**

*Gregory L. Morris, P.E., Ph.D.<sup>1</sup>*

Transcripción y edición de ponencia ofrecida bajo el panel *Realidades de la reutilización de aguas residuales para proyectos agroindustriales en PR* en la conferencia *Reutilización de Aguas Residuales para la Agricultura: 1 de junio de 2016, San Juan, Puerto Rico.*

Resumen - El acuífero aluvial en la costa sur de Puerto Rico se extiende desde Ponce hasta Guayama. Las fuentes naturales de recarga de este acuífero incluyen la infiltración por el lecho de los ríos y la lluvia. Además, se complementan por la infiltración de agua en los canales de riego en tierra y la percolación profunda por el exceso de riego aplicado a las siembras en la planicie aluvial a lo largo de la costa. Sin embargo, cambios en el patrón de utilización de agua durante los últimos 40 años han afectado el acuífero, lo cual ocasiona un balance de agua no favorable. Este impacto ha sido el resultado de una reducción en recarga por consecuencia del aumento en la eficiencia en las prácticas de riego, lo cual reduce la percolación profunda, la reducción en el volumen total de riego, junto con el aumento en la utilización del agua para usos municipales, agua que se descarga hacia el mar luego de su utilización y tratamiento. El rendimiento de los embalses también está disminuyendo a consecuencia de la reducción en su capacidad por la sedimentación, y en el embalse Patillas por la reducción en el nivel operacional debido a consideraciones de seguridad del embalse. Además, debido al balance de hidráulica desfavorable, la calidad del agua en el acuífero también está amenazada por la intrusión salina y por niveles elevados de nitratos, principalmente derivados de actividades agrícolas. El balance de agua desfavorable junto con las amenazas a la calidad del agua ha impulsado al Departamento de Recursos Naturales y Ambientales a evaluar alternativas para la recarga del acuífero. Uno de estas alternativas incluye la utilización del efluente de la planta de tratamiento de Santa Isabel que actualmente se descarga al mar luego de recibir tratamiento secundario. Esto podría proveer una fuente confiable de agua para la recarga, aún durante periodos de sequía que podría afectar la disponibilidad de agua de otras fuentes de recarga. La técnica de recarga considerada más factible envuelve la aplicación de agua directamente a la superficie de terrenos con suelos con alta permeabilidad, aplicando un exceso de riego a una cosecha no comestibles, como es el heno. Un humedal artificial podría ser utilizada como un proceso de tratamiento adicional del efluente previo a su aplicación en la zona de infiltración, reduciendo la concentración de nitrato previo a su recarga.

*Palabras claves: Recarga de acuífero, acuífero del Sur, Puerto Rico, reutilización de aguas residuales tratadas*

---

<sup>1</sup> El autor es socio de GLM Engineering COOP, 742 Calle Prolongación Paz, Santurce, PR 00907, Email: gmorris@glmengineers.com

Abstract - Puerto Rico's south coastal alluvial aquifer extends from Ponce to Guayama. It is recharged naturally by infiltrating streamflow and rainfall, and is complemented by artificial recharge derived from infiltrating water in earthen irrigation canals and the deep percolation of excess irrigation water applied to crops on the coastal alluvial plain. However, changes in the water use pattern over the past 40 years have created an unfavorable water balance, a result of declining recharge due to increased irrigation efficiency, which minimizes deep percolation, decreased volumes of irrigation flows, and the increased extraction of water to supply municipal uses, water which is discharged to the sea following treatment. The yield from reservoirs is also being diminished by volume due to sedimentation, and at Patillas reservoir the additional requirement to reduce the operating level due to dam safety considerations. Beyond the unfavorable hydraulic balance, the quality of the water is also threatened by saline intrusion and high nitrate levels, derived primarily from agricultural activities. This combination of unfavorable water balance and water quality concerns led the Department of Natural and Environmental Resources to evaluate alternatives for aquifer recharge, including the utilization of effluent from the Santa Isabel treatment plant, water which is currently discharged to the sea following secondary treatment. This could provide a reliable source of recharge water, even during drought periods which can affect other potential sources of recharge water. The most feasible recharge mechanism is probably a land-spreading system which provides excess irrigation of non-food crops on permeable soils, such as hay production. A constructed wetland may be used to break the cycle of "direct" application of wastewater effluent to crops, as well as to reduce nitrate levels prior to recharge.

*Key words: Aquifer recharge, South aquifer, Puerto Rico, wastewater reuse*

## **Introducción**

La costa sur de Puerto Rico cuenta con un acuífero aluvial continuo entre los municipios de Ponce y Guayama, formado por depósitos de arena, piedra y grava transportados por los ríos, con zonas de rocas calizas en ciertas áreas en la cercanía del municipio de Ponce (DRNA, 2003). Este acuífero almacena agua, similar a un embalse grande, pero con algunos aspectos muy diferentes. El volumen de agua en un embalse se puede medir directamente, mientras que el volumen dentro de un acuífero se puede estimar solamente de manera indirecta. Por ende, requiere de múltiples pozos de observación para estimar su volumen. Como la reducción en el agua dulce en el acuífero no es visible, por décadas ha habido una tendencia a no prestarle tanta atención a este asunto.

El agua dulce dentro de los acuíferos costeros existe como una lámina en equilibrio con el agua salada del mar. El agua salada penetra tierra adentro en el material aluvial, y el agua dulce reside como una lámina sobre esta agua salada. La extracción de un volumen en exceso de agua disminuye el nivel dentro del acuífero, y a la misma vez permite el avance de agua salada adentro de la zona del acuífero. Mantener el volumen de agua dulce requiere sostener sus fuentes de recarga para mantener el balance entre el agua dulce y el agua salada dentro del acuífero. Mientras

más agua dulce se extrae del acuífero, la lámina del agua dulce disminuye, permitiendo el avance de agua salada hacia los pozos, un proceso denominado intrusión salina, según ilustrado en la Figura 1. Es por tal razón que el uso de esos acuíferos como fuente de agua debe ser un proceso medible para no alterar demasiado el equilibrio del sistema. Este equilibrio se puede preservar limitando la tasa de extracción, al proveer recarga adicional (recarga artificial), o utilizando ambas estrategias. Para mantener esa utilización de agua en la costa sur de modo que apoye las actividades económicas de la zona, el Departamento de Recursos Naturales y Ambientales (DRNA) favorece el enfoque de maximizar la recarga.

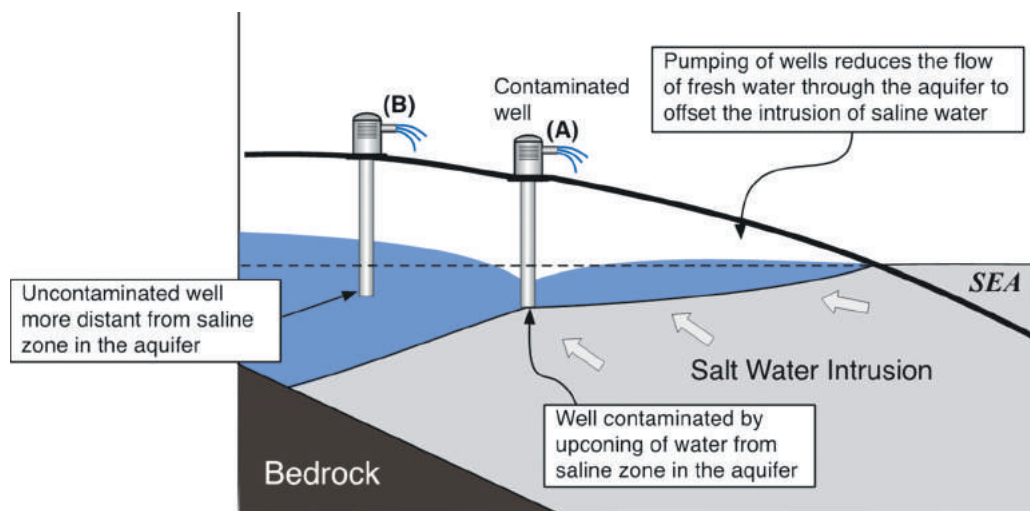


Figura 1. Proceso de la intrusión salina en un acuífero que señala el avance del agua salada dentro del acuífero cuando la tasa de bombeo excede la recarga y desplaza el agua dulce.

Durante el 2015, la región del acuífero del sur entre los municipios de Santa Isabel y Salinas fue declarado en un estado crítico por la DRNA debido al deceso en sus niveles. Pero el problema es aún más crítico ya que no hay información referente a la posición y avance de la cuña de agua salada en el acuífero hacia los pozos de producción a consecuencia del desequilibrio entre la tasa recarga y extracción. El espesor del agua dulce en el acuífero disminuye en la medida en que el acuífero se acerca a la costa (Figura 1), haciendo los pozos más cercanos a la costa los más afectados. Según la relación Ghyben-Herzberg que describe el balance entre el agua dulce y salada en un acuífero costero, cada pie de reducción en el nivel de la superficie del acuífero permite un ascenso de 40 pies de la interface con el agua salada.

### La recarga natural y artificial del acuífero

La recarga del acuífero proviene de fuentes naturales, de la percolación a través de los lechos de los ríos y de los eventos de un exceso de lluvia sobre la

superficie de la tierra, y principalmente por la percolación profunda de agua de riego, como producto de la actividad agrícola en la zona. En este tipo de acuífero, los eventos de lluvia extrema son particularmente importantes como fuente de recarga (Jasecko & Taylor, 2015). Por ende, el acuífero puede experimentar varios años de extracción neta, previo a un evento importante de recarga.

A lo largo del tiempo, la recarga del acuífero del Sur se ha visto afectada por varios factores. Entre estos factores se destacan la reducción en la utilización de agua por riego, junto con el aumento en la eficiencia del riego que ha disminuido sustancialmente la percolación profunda de agua producto de la actividad agrícola de la zona. En la época de producción de caña de azúcar aproximadamente el 30% del agua de riego regresaba al acuífero como recarga, lo cual representa más o menos la tercera parte del agua que entraba al acuífero, debido a que el sistema de riego era mediante surcos en la tierra.

Por otro lado, el patrón de extracción por la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados (AAA) también ha aumentado la utilización de agua del acuífero. Cabe señalar que una parte del agua que la AAA extrae de los embalses que pertenecen al sistema de riego y de sus pozos, percola y regresa al acuífero debido a las pérdidas en los sistemas de distribución. Sin embargo, las aguas usadas se llevan a las plantas de tratamiento en los municipios de Santa Isabel y Guayama y son descargadas al mar o utilizadas para sistemas de enfriamiento de las plantas generatrices de electricidad. O sea, la modernización de la costa sur ha resultado en un patrón de utilización de su recurso hídrico que ha resultado ser desfavorable para el acuífero, lo que ha provocado un problema en el balance del agua. Por encima de este patrón de modernización, hay una reducción en la oferta de agua en los embalses debido al proceso de sedimentación. En el caso de Coamo hace décadas que la sedimentación provocó la pérdida de este embalse. El embalse Patillas ha perdido casi el 50% de su capacidad original debido a la sedimentación. Además, la AAA ha tenido que reducir la capacidad de este embalse debido al potencial de rotura durante un terremoto; esto representa una reducción de 30% en su volumen operacional actual. De todos los embalses de la región, el embalse de Carite es el único que presenta poca sedimentación.

¿Cuán serio es el problema en este acuífero? La Figura 2 muestra el historial del pozo Alomar-1 en el área de Santa Isabel, uno de los pozos de observación del US Geological Survey. Ese historial muestra el descenso dramático que ocurrió a consecuencia de la sequía de 1967-68, el más fuerte en más de 100 años de record, pero también demuestra que a partir de 1993 los niveles en el acuífero se han mantenido inferior al nivel del mar por periodos prolongados, una situación que impulsa la intrusión salina.

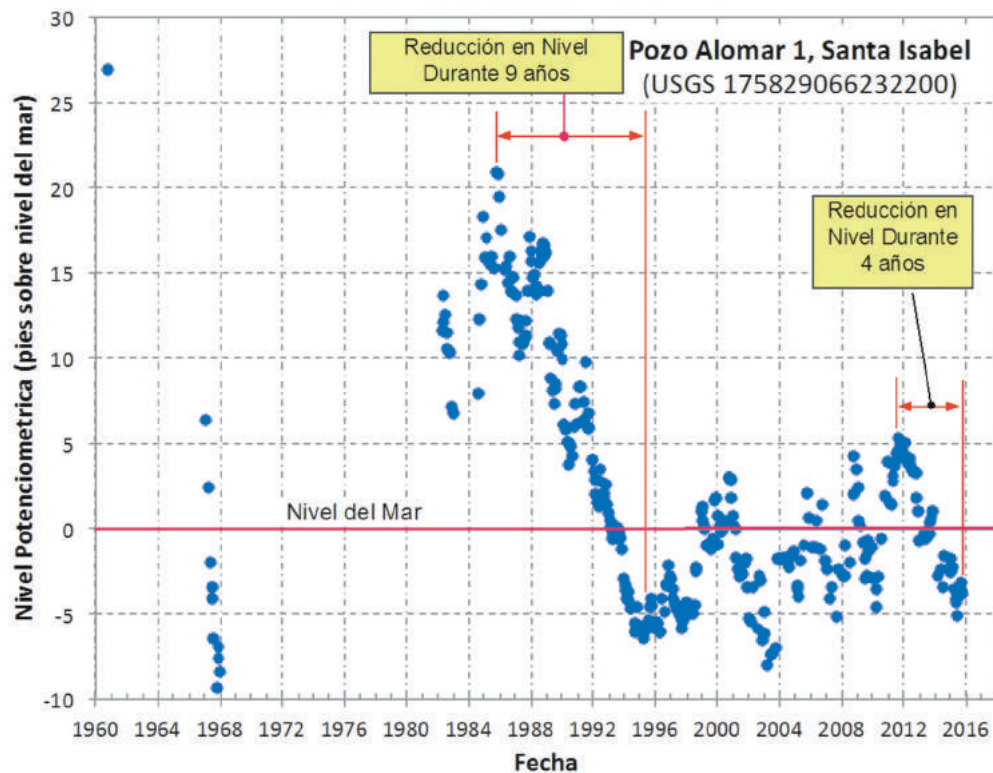


Figura 2. Nivel de agua dulce en el pozo Alomar 1, Santa Isabel.

### Disponibilidad de aguas residuales tratadas

Una de las opciones que ha sido considerada para manejar el estado crítico en que se encuentra el acuífero en la zona de Santa Isabel es la reutilización de las aguas residuales tratadas de la planta de Santa Isabel como fuente de recarga para el acuífero. El efluente de la planta de tratamiento secundario de agua de Santa Isabel se descarga al mar. Esta planta produce aproximadamente 1.4 mgd, pero en días con lluvia la descarga puede subir a 2.0 mgd debido a la influencia de aguas pluviales hacia el sistema sanitario (Figura 3).

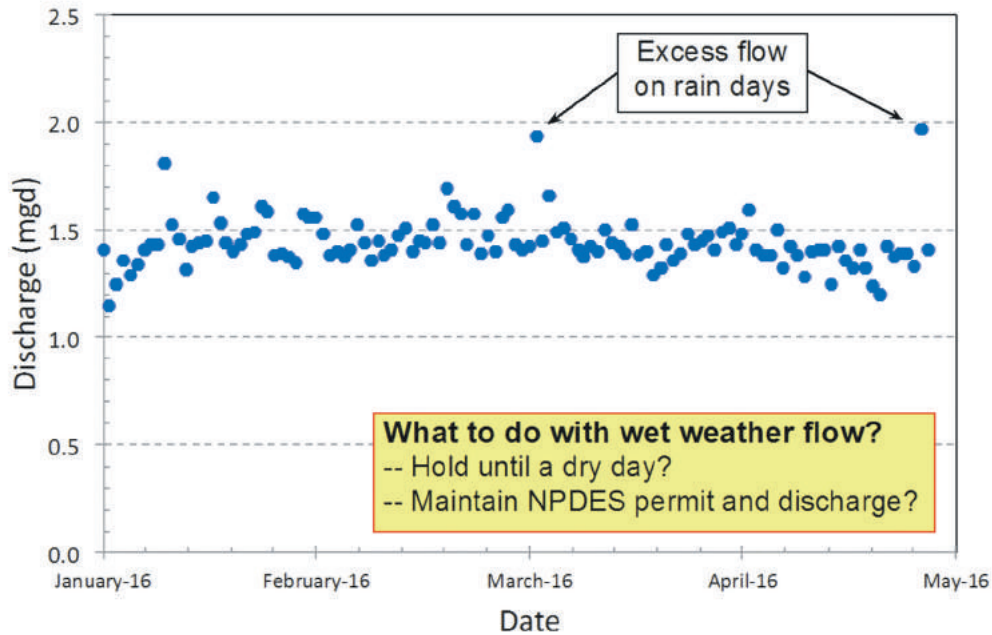


Figura 3. Descargas diarias de la planta de tratamiento de Santa Isabel (datos de la AAA).

La planta actualmente descarga hacia el mar mediante un permiso federal del Sistema Nacional de Eliminación de Descargas de Contaminantes (NPDES, según sus siglas en inglés). Si el sistema de reutilización que se propone no puede manejar los caudales mayores que provienen de periodos lluviosos, será necesario mantener el permiso de descarga. La otra opción sería proveer un volumen de almacenaje para evitar la descarga del efluente en días que no se puede practicar la recarga debido al exceso de lluvia, convirtiéndolo así en un sistema de cero descargas. Para esta opción, se podría utilizar un humedal rodeado por una berma o utilizar charcas de almacenaje, de lo cual existen muchos en la costa sur.

Con respecto a la calidad de agua del efluente, hay que considerar varios parámetros, pero particularmente dos parámetros importantes: los organismos patógenos y la concentración de nitrato. A pesar de que el agua tratada recibe desinfección, el proceso no es perfecto, y hay que proveer barreras adicionales entre el agua tratada y el ser humano. Sin tratamiento adicional al secundario que ya posee, se puede reusar el agua tratada para irrigar forrajes y cosechas similares, pero no debe ser utilizada para riego de cosechas de consumo directo como son los vegetales. De proveer filtración adicional al efluente, esto mejoraría sustancialmente su calidad, y ampliaría las oportunidades de reutilización. Sin embargo, este proceso de filtración puede subir el costo de reutilización del agua de manera significativa.

El acuífero en la zona de Santa Isabel tiene niveles elevados de nitrato ( $\text{NO}_3$ ), un contaminante que puede ocasionar hasta la mortalidad de infantes al ingerirse en

concentraciones elevadas, debido a que interfiere con la transferencia de oxígeno en la sangre. Las regulaciones federales de la Agencia de Protección Ambiental (EPA, por sus siglas en inglés) establecen como límite para nitratos solo 10 mg/L, mientras que el Departamento de Salud de Puerto Rico solo permite 7 mg/L. El Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS, por sus siglas en inglés) ha documentado un aumento en nitrato en varios pozos en Santa Isabel desde un rango de 0.9 a 5.9 mg/L durante 1967, al rango de 1.3 a 23.6 mg/L durante 2008 (Rodríguez, 2008). El nitrato en el acuífero proviene de actividades agrícolas, principalmente aquellas que utilizan abono y estiércol como fertilizante, pues ambos contienen nitrógeno en forma de amoníaco o nitrato. La infiltración de pozos sépticos también puede ser una fuente importante en las comunidades sin alcantarillado sanitario.

### Técnicas alternas para recargar el acuífero

Otras opciones de recarga al acuífero incluyen un sistema de infiltración o pozos de inyección, ambas ilustradas de manera esquemática en la Figura 4. Los pozos de inyección tienen la limitación de que pueden taparse debido al crecimiento de bacterias y acumulación de sólidos entre los granos de arena en el acuífero.

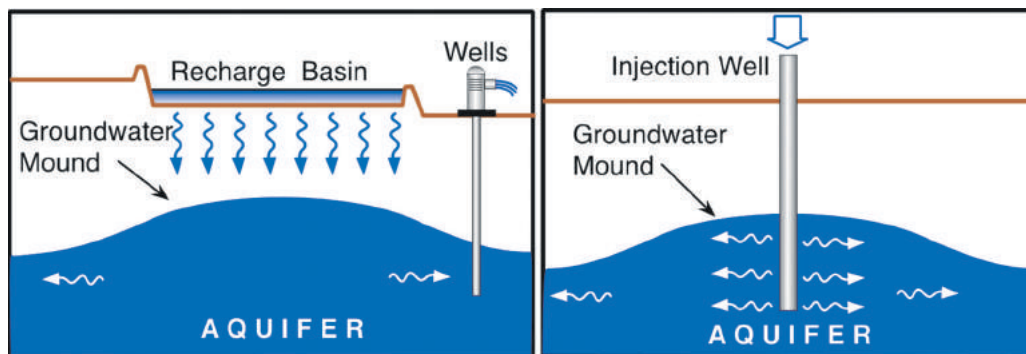


Figura 4. Opciones de recarga de acuíferos.

Considerando el tipo de suelo en la costa sur, la mejor estrategia sería el aplicar el agua a la superficie del suelo en zonas con suelos de alta permeabilidad. En la Figura 5 se muestra un mapa de Santa Isabel que señala la permeabilidad del suelo. Las zonas en rojo tienen la mejor tasa de percolación, las cuales son favorables para la ubicación de un sistema de recarga.

Esta aplicación no debe ser mediante un sistema de inundación continuo por el problema del crecimiento de bacterias que puede sellar el fondo de la laguna de recarga. Por ende, en estos casos para mantener la permeabilidad del suelo se utiliza aplicación intermitente junto con el crecimiento de vegetación, ya que la vegetación es importante para mantener la permeabilidad. El estudio realizado por González-Merchan et al. (2014) demostró que la presencia de vegetación aumenta



la tasa de infiltración de 2 a 4 veces la tasa en suelo sin vegetación. Esto implica que el sitio de aplicación podría utilizarse para la producción de forraje, con la aplicación de un volumen excesivo de riego para maximizar la percolación profunda hacia el acuífero. La vegetación también tiene el beneficio de remover una fracción del nitrato, pero habría que establecer un balance entre la tasa de aplicación y la utilización de nitrógeno por cosecha para minimizar la percolación de nitrógeno hacia el acuífero. También se puede bajar la concentración de nitrógeno en el agua mediante un proceso de remoción o por dilución con agua de los canales de riego.

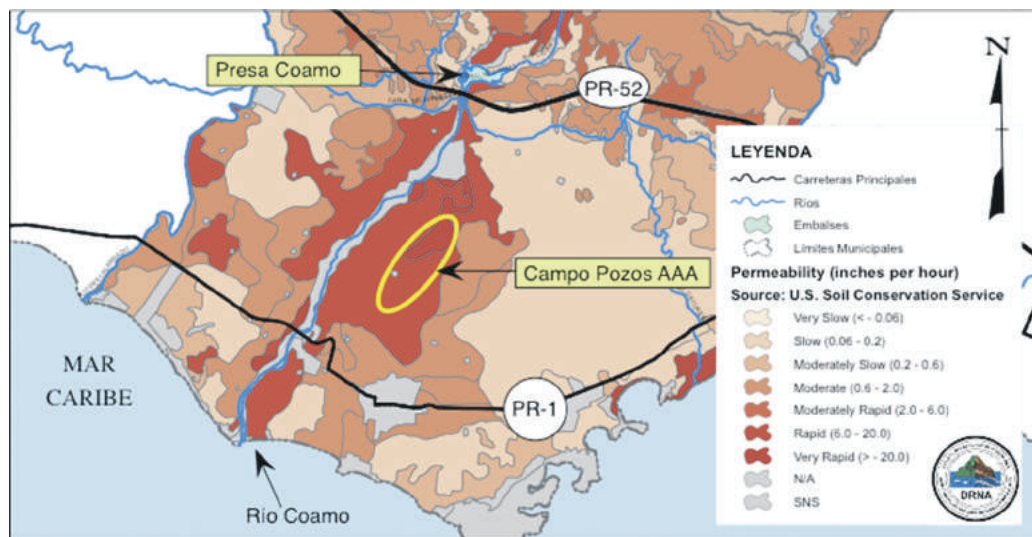


Figura 5. Mapa de permeabilidad del suelo para Santa Isabel (DRNA).

### Utilización del agua para el riego del cultivo de guineo

Otra posibilidad puede ser la utilización del agua para el riego, por ejemplo, de una cosecha de guineo. Para maximizar la recarga, podría aplicarse un volumen de riego mucho mayor a la necesidad de la cosecha. En una plantación de guineo se puede aplicar de 4 a 5 pies de profundidad de agua de riego durante un año, dependiendo de cuánto llueve y la permeabilidad del suelo. Sin embargo, la tasa de utilización del agua por la cosecha no es constante. La Figura 6 muestra la variación mensual en la tasa de utilización de agua en una plantación de guineo en la estación de Fortuna en la costa sur. Algunos meses utilizan 135% de la utilización promedio, y en otros meses la utilización del riego se reduce a la mitad del promedio anual.

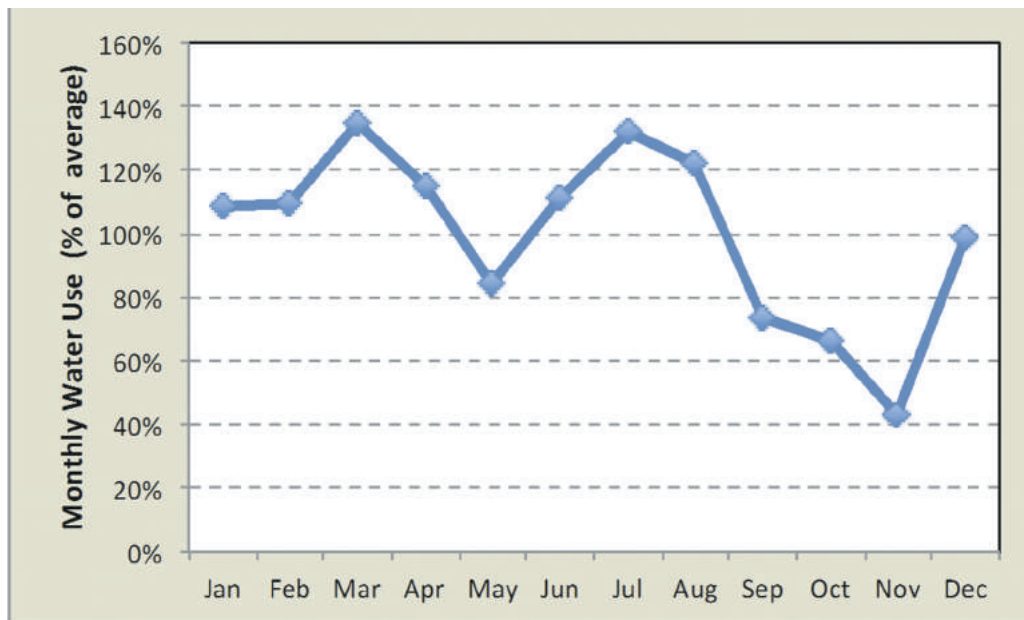


Figura 6. Uso de agua mensual en una plantación de guineo en la estación de Fortuna en la costa sur de Puerto Rico (preparado con datos de Goenaga et al.,1995).

Con aproximadamente 1.4 mgd de aguas residuales tratadas, el efluente de la planta de Santa Isabel podría proveer riego para aproximadamente 300 a 325 acres de las plantaciones de guineo. Sin embargo, al aplicar este mismo volumen a la mitad del total de cuerdas, podría considerarse que aproximadamente la mitad del agua (0.7 mgd) contribuiría a la recarga del acuífero. Otra alternativa sería utilizar el agua tratada para el riego, y aplicar un volumen equivalente de agua del canal de riego a un sistema de recarga en otro lugar. Esta opción aumenta la recarga sin reducir la cantidad de agua utilizada en el riego. Para ser viable esta opción, habrá que ajustar la tasa de aplicación de acuerdo a la tasa de utilización de nitrógeno por la cosecha. La tasa de fertilización con nitrógeno recomendada en Puerto Rico es de 240 kg/ha/año (Irizarry et al., 2002) a 530 kg/ha/año (Goenaga et al., 1995), dependiendo del suelo y método de producción.

### Opciones indirectas de la reutilización de aguas residuales tratadas

Otra de las alternativas analizadas es la descarga de las aguas residuales tratadas hacia un canal de riego. En este caso, estas aguas podrían descargarse al canal de Juana Díaz, el cual se nutre del embalse Guayabal. Sin embargo, para que el agua del canal se pueda aplicar en cualquier cosecha, incluyendo vegetales, requeriría la necesidad de asegurar una mayor calidad del agua descargada, en comparación a la opción de aplicar el efluente a una zona de recarga con una siembra de forraje.

Otra alternativa sería descargar el efluente al río Coamo para permitir que se filtre hacia el acuífero a través del lecho del río, el cual es seco durante una buena parte del año. Sin embargo, esto implica un permiso NPDES, y sin agua de dilución debe requerir una mayor calidad de efluente en comparación a la opción de descarga hacia el sistema de infiltración mediante el riego de forraje.

### **Utilización de humedales para la remoción de nitrato en aguas residuales**

El alto nivel de nitrato es un problema en el acuífero de Santa Isabel. Por lo tanto, el agua de recarga no debe empeorar este problema. La concentración de nitrato en el agua tratada se puede reducir dentro de la planta de tratamiento, o se puede utilizar un humedal para tratar las aguas a un mayor grado luego de salir de la planta de tratamiento. El tratamiento con humedales tiene la ventaja de utilizar procesos naturales en vez de tecnología costosa e intensiva que requieren equipos y energía. Por ejemplo, el sistema de tratamiento por humedales en Riverside, California (Prado Wetlands) recibe y remueve el nitrógeno de las aguas residuales tratadas de las plantas de tratamiento secundario ubicadas aguas arriba a lo largo del río Santa Ana. El humedal reduce sustancialmente la concentración de nitrato y otros contaminantes.

En el caso de Salinas y Santa Isabel, una opción muy interesante sería descargar las aguas de la planta al humedal antes de destinarlo para otro uso, sea infiltración o combinar con las aguas del canal de riego. Se requiere aproximadamente 4 días de tiempo de detención en el humedal para bajar la concentración de nitrato y otros contaminantes como los residuos de productos farmacéuticos.

### **Consideraciones finales**

Todas las opciones de reutilización envuelven un sistema de bombeo y tubería de varios kilómetros de largo para llevar el agua tratada desde la localización de la planta de tratamiento en la costa hacia la zona de aplicación. Esto hace que las alternativas tengan un costo significativo. Además, dado la calidad del agua y las necesidades de proteger contra patógeno y niveles elevados de nitratos, hay que considerar la posibilidad de requerir un nivel de tratamiento adicional previo a la reutilización. Bajo este escenario, el tratamiento dentro de un humedal artificial es, probablemente, la opción más costo-efectiva. La aplicación de un exceso de riego a una cosecha de forraje en suelos de alta permeabilidad puede ser factible sin un cambio significativo en el sistema de tratamiento, y probablemente representa la opción de menor costo.

Sin embargo, existen otras alternativas. Para eliminar el costo de construir y operar una estación de bombas y línea de tubería, y eliminar interrogantes relacionados a la calidad del agua y el tiempo que requiere la modificación de los permisos de la planta de tratamiento para la disposición del efluente, el DRNA

prefiere utilizar el agua del río Coamo como fuente de recarga sobre terrenos de alta permeabilidad (con cosecha de forraje, por ejemplo). O sea, se utiliza la misma técnica de recarga, pero con una fuente de agua de mayor calidad, así elimina el problema de patógenos y del nitrato. Un flujo de hasta 10 pies cúbicos por segundo se puede desviar desde la cresta del vertedero del embalse Coamo, y por gravedad distribuirlo a las zonas de recarga, durante periodos de flujo adecuado en el río. Se considera favorable la reutilización del agua de la planta de tratamiento de Santa Isabel, pero como segunda opción, debido a los costos de transmisión y tratamiento envuelto, y el tiempo prolongado necesario para el proceso de estudios y permisos.

## Referencias

- Departamento de Recursos Naturales y Ambientales. (2003). *Condición hidrogeológica de los acuíferos de la región sur de Puerto Rico y estrategias para su restauración*. Oficina del Plan de Aguas, Departamento de Recursos Naturales y Ambientales. Recuperado de [http://www.recursosaguapuertorico.com/Acu\\_\\_feros\\_del\\_Sur\\_DRNA\\_2005.pdf](http://www.recursosaguapuertorico.com/Acu__feros_del_Sur_DRNA_2005.pdf)
- Goenaga, R., Irizarry, H., Coleman, B., & Ortiz, E. (1995). Drip irrigation recommendations for plantain and banana grown on the semiarid southern coast of Puerto Rico. *Journal of Agriculture Univ. Puerto Rico*, 79 (1-2), 13-27.
- Gonzalez-Merchan, C., Barraud, S., & Bedell, J-P. (2014). Influence of spontaneous vegetation in stormwater infiltration system clogging. *Environmental Science and Pollution Research*, 21 (8), 5419-26. doi:10.1007/s11356-013-2398-y.
- Irizarry, H., Goenaga, R., & Chardón, U. (2002). Nitrogen fertilization in banana grown on a highly weathered soil of the humid mountain region of Puerto Rico. *Journal of Agriculture Univ. Puerto Rico*, 86 (1-2), 15-26.
- Jasechko, S., & Taylor, R. G. (2015). Intensive rainfall recharges tropical groundwater. *Environmental Research Letters*, 10 (12), 124015. doi:10.1088/1748-9326/10/12/124015.
- Rodríguez, J. M. (2013). Evaluation of groundwater quality and selected hydrologic conditions in the south coast aquifer, Santa Isabel area, Puerto Rico, 2008-09. USGS Scientific Investigations Report 2012-5254, San Juan.

## PROYECTO DE REUTILIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES EN PORQUERIZAS

*Agro. Boris Corujo<sup>1</sup>*

Transcripción y edición de ponencia ofrecida bajo el panel *Realidades de la reutilización de aguas residuales para proyectos agroindustriales en PR* en la conferencia *Reutilización de Aguas Residuales para la Agricultura: 1 de junio de 2016, San Juan, Puerto Rico.*

Resumen - La granja porcina de Empresas La Ceba, ubicada en el municipio de Corozal, contribuye a la producción de más de 4,500 cerdos al año. En una granja porcina se utiliza el agua para diferentes usos. El primer uso es agua limpia para la hidratación de los animales. Como resultado, se produce una cantidad considerable de desechos biológicos. La alternativa moderna utiliza un sistema de rejillas en cemento donde los animales quedan en un piso elevado y el excremento va pasando a una fosa inferior. Un torrente de agua, limpia la fosa y lleva estos desechos a un tanque de separación por decantación donde los sólidos se van al fondo y el agua usada pasa a una charca. Los sólidos pasan por una máquina que le extrae el remanente del agua y este material entonces puede ser usado como abono para las siembras. El agua de la charca que ya tiene un tratamiento primario puede ser reutilizada para limpiar las fosas o es regada mediante pisteros en las áreas de la finca dedicadas a la siembra o a los pastos donde luego se alimenta el ganado. Este sistema de rejillas conlleva una reducción en la cantidad de aguas residuales que se genera en comparación a las operaciones tradicionales. Al generar menos agua, se dispone de un menor volumen de aguas residuales; y por lo tanto, es una fuente reducida de riesgo de contaminación.

*Palabras clave: Aguas residuales, finca porcina, rejillas de cemento, Puerto Rico*

Abstract - The swine operation of Empresas La Ceba, located in the Municipality of Corozal, produces more than 4,500 pigs a year. A swine farm uses water in several ways. The first use is clean water for hydration of animals. As a result, a considerable amount of biological waste occurs. The modern alternative is to use a cement slats system, where the animals are in a raised floor and excrement passes to a lower pit. A stream of clean water pit and carries these wastes to be processed. This mixture of water and waste passes to a separation tank where the solids settling to the bottom and wastewater passes to a pond. The solids passed through a machine that removes the remaining water and this material then can be used as fertilizer for crops. The pond water can be reused to clean the pits or is watered by sniffer in the farm areas dedicated to planting or pasture where cattle are feeding. This system involves a reduction in the amount of wastewater that is generated compared to traditional operations. By generating less water there is less volume of residual water, and therefore it is a reduced risk of contamination source.

*Key words: Wastewater reuse, swine farm, cement slats, Puerto Rico*

---

<sup>1</sup> El autor es agrónomo de la empresa Agroservicios. Email: [bjcorujopr@gmail.com](mailto:bjcorujopr@gmail.com)

**Introducción**

La Ceba es una de las granjas de cerdos más grandes en Puerto Rico, la cual lleva operando cerca de 10 años. Sus dueños Néstor Maldonado y Horacio Calero han implantado varias innovaciones en su granja en Corozal. La instalación alberga 225 cerdas madres, lo cual se traduce en cerca de 5,000 cerdos al año que se llevan al mercado.

La granja posee seis sistemas o programas de manejo implantados para obtener alta eficiencia y efectividad. La producción de cerdos moderna es diferente a la que estábamos acostumbrados años atrás. Aunque todavía existe el método tradicional en Puerto Rico, en esta granja no se les dan sobras de comida a los cerdos y todas las operaciones de mantenimiento están bien reglamentadas. El primero de los sistemas es un programa de bioseguridad, en el cual los visitantes a la granja deben ducharse y vestirse con una ropa especializada como método de control de enfermedades. En la entrada, hay un letrero que dice "Personal autorizado solamente". Lo primero que encuentra el visitante son unas duchas para bañarse antes de pasar al interior de la granja.

El segundo programa es el de vacunación de cerdos para prevenir enfermedades, y así minimizan el uso de antibióticos. El tercer programa es el de inseminación artificial. El cuarto programa consiste en documentar todas sus actividades a través del uso de computadoras, lo que permite las métricas sobre los niveles de eficiencia, tanto en los datos de producción, como en los datos financieros. Hay parámetros para computar cuántos cerdos se destetan al año por cerda. Esta información documenta cuánto es la eficiencia de la alimentación de los cerdos. El quinto programa establece la alimentación especializada a través del sistema denominado Ralco, operado por etapas, dependiendo de la edad de los cerdos.

Por último, poseen un programa de reutilización de agua residual con todos los permisos de la Junta de Calidad Ambiental y agencias reguladoras que son requeridos en las operaciones agrícolas modernas. Su plan de manejo incluye dos sitios donde almacenan agua: uno es una charca de las aguas usadas de más de medio millón de galones (555,752) de agua. El otro es un sistema de recolección de agua de lluvia con capacidad de 18 mil galones.

### **Sistema de recolección de lluvia**

La recolección de lluvia en una granja porcina es uno de las medidas más efectivas. En Puerto Rico cuando no hay sequía, llueve mucho. Esa es agua que tiene mucho potencial de uso. La granja tiene sobre 50 mil pies de techo que facilitan la recolección de lluvia en una gran cisterna. Cuando no hay agua en el municipio de Corozal, la granja puede seguir operando. En el 2015, la granja continuó con su operación sin afectarse por la sequía que hubo en la Isla.

### **Sistema de recolección y reutilización de aguas residuales**

En el sistema de corral tradicional existe un piso con unas parrillas con un poco de declive. Durante la limpieza de estos pisos, un empleado con una manguera limpia los animales, los excrementos y la orina. Todo eso cae por las parrillas y va por unas tuberías subterráneas hasta llegar a una charca de recolección de aguas.

En esta granja se construyó un sistema moderno denominado *Slats* o rejillas de cemento (Figura 1). Estas son como unas losetas de tres pies por pie y medio de ancho que tienen unas rejillas y que se eleva a unos dos pies del piso. Debajo de la rejilla, hay un piso pulido con un poco de declive y con unos tubos (Figura 2). Los cerdos en este sistema están mucho más limpios que en el sistema tradicional porque todos los excrementos pasan debajo de ese piso falso o rejilla.



*Figura 1 y 2.* Corrales de cerdos con el sistema de rejillas, y el sistema de recogido de aguas residuales.

En estos edificios hay ventiladores y tienen comida 24 horas; hay bebederos con una mamadera común que es activado por el animal. Los cerdos son curiosos y empiezan a jugar con la mamadera, y se dan cuenta que ahí sale agua. El cerdo bebe lo que necesita y se disminuye el malgasto de agua.

La granja posee datos de las conversiones alimentarias y de la ganancia de peso. Los animales que están en el sistema moderno dejan más dinero que los que están en el sistema tradicional. Si calculamos 5 mil animales, con 2 a 3 libras de alimento por día, serían 15 mil libras. La suma de la cantidad de dinero que eso representa en alimento es uno de los costos más altos en la producción de cerdos.

En estos corrales hay dos tanques de agua de 800 galones cada uno. Estos tanques tienen seis tubos de 6 pulgadas cada uno que van por debajo de donde están los corrales de los cerdos. Puede ser diariamente o cada dos días. Con un botón se abren las compuertas. Salen los 800 galones de agua y limpian completamente esa área. En este sistema, en solo un minuto, el empleado aprieta un botón, sale toda esa agua y se economiza el tenerlo toda la mañana con una manguera lavando. El consumo de agua es muchísimo menor que en el sistema anterior.

En una granja tradicional, esas aguas van a una charca de recolección, pero en esta granja existe un proceso adicional. Aquí, esas aguas usadas pasan por una tubería a unos tanques de recolección (Figura 3) donde por gravedad los sólidos caen al fondo. El líquido queda arriba que es el único que pasa hacia la charca de recolección. La máquina es una prensa que a nivel de tornillo exprime esas heces, deja el agua salir, un agua mucho más clara y limpia. Los sólidos se acumulan aquí para ser utilizados como abonos. Ellos tienen productores del área que los recogen. Corozal es área de producción de plátanos y otros farináceos que utilizan este abono, como dicen en el campo, “lo echan en el hoyo de la mata”.

La charca que recolecta las aguas usadas tiene un sistema de bombeo para utilizar esas aguas como riego en el área de los pastos (Figura 4). La finca cubre unas 70 cuerdas. Hay cerca de 50 cuerdas de pasto para el ganado que se van alternando según el consumo de yerba. El 2015, con la sequía, la granja pudo utilizar esa agua para regar esos pastos y asegurarse de tener suficiente forraje o comida para su ganado. El agua de la charca puede ser también bombeada a los tanques de 800 galones para ser utilizada en el proceso de limpieza de los corrales.





*Figuras 3 y 4.* Charca de recolección de aguas residuales, y máquina de bombeo para riego en pastos y reutilización del agua.

### **Beneficios del sistema**

Como ven es un proceso de reciclaje del agua. El tanque de limpiado se vacía y va a los tanques de recolección donde se separa. Producen el abono que es sólido y elimina en gran cantidad los olores. Incluso, hay operaciones en Estados Unidos donde eso se convierte en otra fuente de ingreso para la granja. Así que la granja además de vender cerdos, vende abono. Hay procesos más sofisticados de dividir ese abono en sus elementos: nitrógeno, fósforo y potasio.

Los sistemas utilizados en esta granja reducen en un 50% el consumo del agua. Primero porque poseen un sistema de recolección de agua de lluvia y segundo por el sistema de reciclaje de aguas usadas. Aunque en la granja se usa agua potable para hidratar a los animales, en la limpieza de los corrales, se puede usar agua reciclada. No hay porque desperdiciar agua potable. Además, la capacidad del agua de la charca de recolección, la cual ya no tiene muchos sólidos, puede ser reutilizada a través de bombeo para riego y prácticamente reducir su consumo de agua en gran cantidad. Esto le ha representado a la granja una gran eficiencia y la reducción del impacto al ecosistema.

## **PROYECTO DE RIEGO DE PASTOS CON AGUAS RESIDUALES DE VAQUERÍAS**

*Agro. Héctor Cordero<sup>1</sup>*

Transcripción y edición de ponencia ofrecida bajo el panel *Realidades de la reutilización de aguas residuales para proyectos agroindustriales en PR* en la conferencia *Reutilización de Aguas Residuales para la Agricultura: 1 de junio de 2016, San Juan, Puerto Rico.*

Resumen - La industria lechera es el primer sector agrícola en Puerto Rico, el cual representa sobre el 40% del ingreso bruto agrícola de la Isla. De la totalidad de agua utilizada en una vaquería, el 60% está destinado a tareas de limpieza diarias. Esta actividad produce una cantidad considerable de agua residual, la cual debe ser manejada acorde con un plan aprobado por el Servicio Nacional de Conservación de Recursos del Departamento de Agricultura Federal. El agua residual es recogida en charcas de oxidación donde se almacenan para luego ser utilizada como fertilizante orgánico de los pastos en la finca a través de un sistema de riego. De este modo, se establece un proceso de reciclaje del agua creando un sistema de sustentabilidad agrícola, donde los desperdicios de las operaciones son intercalados en la producción de pastos que contribuyen a la alimentación del ganado lechero.

*Palabras clave. Industria lechera, sistema de aguas residuales, charcas de oxidación, vaquerías, riego de pastos*

Abstract - The dairy industry is the leading agricultural sector in Puerto Rico, which represents over 40% of the agricultural gross income of the island. Of all water used in a dairy industry, 60% is issued for daily cleaning duties. This activity produces a considerable amount of wastewater that need to be managed following a plan approved by the National Resources Conservation Service under the United States Department of Agriculture. The wastewater is collected in oxidation ponds and stored to be used as an organic source to fertilize pasture through an irrigation system. Thus, we establish a water recycling process by creating a system of agricultural sustainability, where waste operations are interleaved in pasture production that contribute to dairy cattle feeding is established.

*Keywords. Dairy industry, wastewater reuse, oxidation ponds, pasture irrigation*

### **Introducción**

La industria lechera es la principal industria agrícola en Puerto Rico. Existen 266 vaquerías en la Isla de acuerdo a la Oficina de Reglamentación de la Industria Lechera al 31 de diciembre del 2015. La industria total tiene aproximadamente 65,000 vacas lecheras. Esto representa una población de aproximadamente 244 vacas por vaquería. La industria aporta sobre el 40% del ingreso bruto agrícola en Puerto Rico. Estamos hablando que es una industria que aporta más o menos

---

<sup>1</sup>El autor es presidente de la Asociación de Agricultores de Puerto Rico. Email: vanudezdairy@yahoo.com

entre \$375 millones a \$400 millones al año en el sector agrícola. Cerca del 60% del consumo del agua en las vaquerías se va en los procesos relacionados a la limpieza de las vaquerías. La industria lleva a cabo ciertas actividades que suponen el uso diario de agua para la limpieza de áreas como los ranchos de espera, donde se agrupan las vacas a la hora del ordeño. El tiempo de ordeño puede tardar aproximadamente entre dos a cuatro horas, dependiendo de las instalaciones, el equipo y el número de vacas, pero el lugar queda sucio luego de esta actividad.

### **Sistema de almacenamiento de aguas residuales**

Posterior a la actividad de ordeño, es necesario lavar las áreas con agua limpia mediante un sistema tradicional de un hombre con una manga lo que puede tomar entre 45 minutos a una hora dependiendo del tamaño y la presión del agua disponible. Todas las aguas que se generan producto de la limpieza de las vaquerías se recogen en una charca de almacenamiento o charca de oxidación, las cuales tienen una capacidad de almacenamiento de entre los 90 a 120 días equivalente a unos 840,000 galones de agua.

En el caso de las vaquerías, no existe una pre charca o un área de recolección de sólidos. Estas tecnologías nuevas no son comunes en las vaquerías en Puerto Rico pues las mismas rondan entre los 40 a 50 años de construidas. Lo que se ha hecho es modificar un poco lo que ya existía.

Este sistema de recolección de aguas residuales requiere un plan de uso y de manejo de desperdicios preparado por el Servicio Nacional de Conservación de Recursos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. El documento detalla e instruye al ganadero en cómo utilizar las aguas una vez las recoge en la charca. La estructura para almacenar los desperdicios líquidos consiste de una charca de 100 pies de largo por 75 pies de ancho y una profundidad de 15 pies. En esta estructura se encuentra una unidad de bombeo con una red de tuberías subterráneas construida en tubos PVC-SCH-40 con una serie de terminales donde se instala la unidad de riego.

Además, se prepara un diseño para la finca para identificar las áreas de riego. El sistema de riego cubre aproximadamente unas 40 cuerdas de terreno. La Figura 2 muestra las líneas rojas que representan las áreas de riego. Así corren la unidad de riego (*travel*), el cual consiste de una manga de cerca de mil pies montada en un carrusel y que da acceso a los predios donde se lleva el agua utilizada en la vaquería. Se muestra también las áreas que no tienen riego, que es donde se tira el desperdicio sólido (aproximadamente unas 50 cuerdas).

El *travel* envía el chorro de aguas residuales producto de la limpieza del área de la sala de espera para irrigar las áreas de pasto. El carrusel del *travel* trabaja con un sistema de transmisión hidráulica, donde la misma presión del agua va moviendo y va recogiendo la manga. Según va pasando el tiempo, esta manga se va a ir moviendo

hasta que termina montada en el carrusel. Ya una vez está montado, el personal lo puede mover de un predio a otro, según la necesidad que se tenga.

En este caso en particular, utilizamos la tecnología de los *drones* (vehículo aéreo de control remoto con cámara integrada) para hacer inspección del funcionamiento del equipo para ver cómo se está moviendo. Podemos saber, si está de forma pareja, si está corriendo normal o si hay algún tipo de desperfecto. Si hay necesidad de parar el equipo, se detiene el sistema y se hacen los ajustes necesarios. Una vez esto ocurre, se le da un tiempo de descanso a los predios, de aproximadamente entre 27 a 45 días, para que toda esa materia orgánica repose en el suelo. Así la vegetación alcanza su nivel óptimo para que el ganado pueda pastar.

### **Consideraciones finales**

Las charcas de oxidación son una alternativa para la reutilización de aguas residuales producto de vaquerías en Puerto Rico. Entre sus beneficios está el reciclaje de nutrientes para el cultivo y crecimiento nuevo de hierba en las áreas de pastoreo. Este sistema reduce la dependencia de agua para riego y fertilizantes químicos para el crecimiento de pasto. Por último, reduce la carga de nutrientes que entran a los cuerpos de agua por ser reutilizados en las áreas circundantes de la finca.

## PROYECTO DE RIEGO DE CAMPOS DE GOLF Y ÁREAS VERDES CON AGUAS RESIDUALES EN PALMAS DEL MAR

*Ing. Daniel E. Torrellas Cruz*<sup>1</sup>

Transcripción y edición de ponencia ofrecida bajo el panel *Realidades de la reutilización de aguas residuales para proyectos agroindustriales en PR* en la conferencia *Reutilización de Aguas Residuales para la Agricultura: 1 de junio de 2016, San Juan, Puerto Rico.*

Resumen - Desde hace 30 años, los sistemas de riego de los campos de golf y varias de las áreas verdes del complejo residencial turístico de Palmas del Mar en Humacao utilizan aguas residuales tratadas de la planta de tratamiento de aguas usadas del complejo. Esta planta es operada por PDM Utility Corp. Esta práctica ha sido muy exitosa, ya que ha reducido a cero el uso de agua potable para estos fines. El complejo turístico-residencial Palmas del Mar maneja independientemente de la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados (AAA) la distribución del agua potable para todos sus subscriptores. Esto ocurre bajo la otorgación de una franquicia por parte de la Comisión de Servicio Público que permite a PDM Utility comprar el agua potable a la AAA y distribuirla dentro del complejo. La franquicia provee también para la operación de una planta de tratamiento para el sistema de alcantarillado sanitario y tratamiento de aguas residuales. El sistema de tratamiento de las aguas usadas es uno secundario con desinfección, usando la tecnología alemana conocida como *Stählermatic*. Los efluentes que pasan este sistema son desinfectados utilizando un sistema conocido como MIOX, punto donde se verifica que el efluente que descarga a las charcas de retención para riego cumplan con los parámetros establecidos por la Junta de Calidad Ambiental. El artículo presenta las lecciones aprendidas durante estos 30 años.

*Palabras clave: Campos de golf, irrigación, Palmas del Mar, aguas residuales tratadas, MIOX*

Abstract - During the past 30 years, the golf courses and several green areas irrigation on the Palmas del Mar Community in Humacao, a tourist residential complex, have been supplied from treated wastewater of their own Wastewater treatment plant. This facility is operated by PDM Utility Corp. This practice has been very successful, as it has reduced to zero the use of potable water for these purposes. The tourist-residential Palmas del Mar community manages independently from the Puerto Rico Aqueducts and Sewers Authority (PRASA) the potable water distribution for all of their subscribers. They operate under a Public Service Commission franchise agreement that allows PDM Utility to buy potable water from PRASA and distribute it inside the Complex. The franchise also provides for the operation of a sanitary sewer and wastewater treatment plant. This treatment plant provides a secondary treatment stage with disinfection, using a German technology known as *Stählermatic*. Effluent passing this system is

---

<sup>1</sup> El autor es gerente de ingeniería de *Palmas del Mar Utility*, Humacao, Puerto Rico. Email: pdmutorrellas@coqui.net; danieltorrellasacruz@yahoo.com

disinfected using a system known as MIOX, where is tested to meet the standards set by the Puerto Rico Environmental Quality Board, before discharging the effluent into retention ponds This article presents the lessons learned during these 30 years.

*Key words: Golf course, irrigation, Palmas del Mar, treated wastewater, MIOX*

## **Introducción**

Durante la década del 60, se diseñó el complejo residencial-turístico Palmas del Mar en el municipio de Humacao. Dicho complejo es regido por un Plan Maestro que se desarrolló en el 1968, el cual fue adoptado y aprobado por la Junta de Planificación de Puerto Rico. Este Plan ha sido ejecutado a través de los años debido a que se continúan desarrollando las áreas que ya estaban destinadas para construcción. Dentro del Plan Maestro, se consideraba que había áreas de conservación, las cuales no se iban a desarrollar; y que todo el crecimiento que se fuera dando paulatinamente tenía que estar ajustado al sistema de infraestructura que ya se había conceptualizado en la creación de la corporación Palmas del Mar Utility.

Palmas del Mar Utility es una corporación independiente y sin fines de lucro que surgió para la década de los 70 con el propósito de desarrollar la infraestructura necesaria para el complejo de Palmas de Mar. Como parte de su creación, esta corporación obtuvo una franquicia de la Comisión de Servicio Público para que se permitiera operar un sistema de acueducto y alcantarillado para el desarrollo total de las 2,800 cuerdas que componen lo que es hoy la propiedad de Palmas del Mar. Hoy día, Palmas del Mar tiene un 68% de su extensión territorial desarrollada en una comunidad combinada: recreativa, turística y residencial. Posee 3,400 unidades de vivienda, hoteles, marinas, un complejo de cancha de tenis, dos campos de golf, una escuela, 20 restaurantes, y un centro ecuestre, entre otras instalaciones.

Todas estas instalaciones cuentan con una infraestructura de agua potable y un sistema de alcantarillado sanitario desarrollado por la corporación *Palmas del Mar Utility*. Esta corporación opera dos sistemas principales: 1) un sistema de distribución de agua potable, el cual recibe agua potabilizada de la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados, y 2) una planta de tratamiento con 5 estaciones de bombas que colectan y transportan todo el efluente de las casas, hotel, comunidades, club de golf, centro ecuestre, y de todas las propiedades y actividades que se realizan dentro de Palmas hasta la planta de tratamiento. Esta planta de tratamiento desde sus inicios fue conceptualizada como una de cero descargas, lo que significa que la planta no descarga en ningún cuerpo de agua del país, sino que toda el agua que se produce es reutilizada.

### **Diseño del Sistema de tratamiento de aguas residuales e infraestructura**

La planta de tratamiento de Palmas de Mar consta de una planta central y un total de cinco estaciones de bombeo que colectan y traen el efluente de todas las instalaciones que alberga el complejo residencial turístico (Figura 1). Desde sus inicios, la planta opera con un permiso de cero descargas de la Junta de Calidad Ambiental. La primera planta de tratamiento fue desarrollada para 1981; luego tuvo sus mejoras para el 1986, y en el 2011 se construyó un tanque de equalización. El modelo de la planta de tratamiento renovada en 1986 es para una planta de operación completamente aeróbica con reactores biológicos, digestores de lodos y clarificadores. Este sistema trata y produce todo el efluente que llega a las lagunas de retención identificadas dentro del permiso para entonces ser usado en el riego.



*Figura 1.* Planta de tratamiento secundario ubicada en Palmas de Mar, Humacao, Puerto Rico.

Este sistema de tratamiento tiene capacidad para manejar 1.2 mgd y fue diseñado considerando que en un periodo de 10 a 15 años Palmas del Mar podría alcanzar aproximadamente el 80% de su Plan Maestro, con un 10% a 20% de remanente de expansión. Actualmente, la planta maneja entre 400 a 500 mil galones diarios de descargas. En temporadas turísticas altas (durante los meses de noviembre a febrero y entre mayo y agosto), se producen dos puntos altos en el año

donde los flujos pueden llegar a unos 700 a 750 mil galones de agua diarios.

El diseño de la planta es uno anaeróbico con un sistema de pre-tratamiento y otro de tratamiento base utilizando la tecnología alemana conocida como *Stählermatic* (Figura 2). El sistema de pre-tratamiento es uno que consiste de un desarenador en donde se recibe todo el efluente y se hace una remoción de un alto porcentaje de los sedimentos que llegan a través de las tuberías. Una vez son removidos los sólidos, este efluente llega a un tanque de equalización. El tanque de equalización transfiere a la planta de tratamiento el agua residual mediante un sistema de niveles, lo cual mantiene un flujo igualado. Una vez el agua residual llega a la planta modular con tecnología *Stählermatic*, se comienza un proceso de sedimentación, mezcla y aireación. Para la oxigenación del agua en el tanque de equalización, el sistema utiliza un componente externo que contiene un aereador que inyecta aire introduciendo burbujas en el agua. Una vez en los tanques de tratamiento, los rotores de los reactores biológicos poseen barras de discos internos. Estas pueden moverse a la velocidad de los rotores, y mantiene un burbujeo constante en el agua que facilita la mezcla y la digestión de los sedimentos orgánicos por parte de las bacterias mediante el uso de los *biofilm*. Ese sistema permite una aireación constante que facilita dos cosas: 1) oxigenar el agua, y 2) mantener una velocidad variable dentro del sistema que permite mantener un nivel de oxígeno disuelto en el agua que automáticamente acelera o desacelera los motores para una mejor eficiencia eléctrica. De esta forma, el sistema opera 24/7 sin la necesidad de un motor en cadena y de aireación. En términos de kilovatio hora por galón de agua, este consumo energético es ínfimo para la producción de unos 450 mil galones diarios necesarios para el riego de los campos de golf y áreas verdes.





**Figura 2.** Planta modular Stählermatic.

Una vez el agua pasa, el sistema de pre-tratamiento llega a los tanques de clarificación en donde se separa el agua clara de los lodos. En este punto, el agua clara pasa a los tanques de desinfección para recibir como parte del tratamiento secundario la inyección de Cloro, mientras que los lodos son tratados mediante un sistema de digestión. Los lodos digeridos y desaguados son el elemento principal para generar la composta que se utiliza en las áreas de jardines dentro del complejo. En la mayoría de los tanques de desinfección que se utilizan las aguas claras, son desinfectadas utilizando cloro gas. Sin embargo, desde el 2009 *Palmas del Mar Utility* utiliza el sistema conocido como MIOX. Éste es un sistema donde una solución de agua con sal pasa a través de unas placas y por electrolisis hay una separación de sodio y cloro. El cloro se inyecta en el agua y en solución acuosa de sodio se devuelve a la planta. Con esta tecnología, se produce suficiente cloro residual para descargar y consistentemente inyectar cloro para que el efluente salga con un parámetro de cloro residual de 1.0 miligramos por litro. En términos de seguridad, el sistema MIOX en comparación con el cloro gas es mucho más seguro y manejable. El cloro gas puede ser nocivo a la salud y su manejo es extremadamente riesgoso; requiere entrenamientos y equipos especiales para su manejo.

Cuando el agua ya es desinfectada, ese efluente es descargado a unas charcas de sedimentación o de pulimiento. En estas charcas ocurre una etapa final de evaporación y de sedimentación de algún material que pueda quedar suspendido. De estas charcas, pasa a través de tuberías por niveles al sistema de riego de los campos de golf.

**Riego de aguas residuales tratadas en los campos de golf**

Palmas del Mar tiene dos campos de golf de 18 hoyos cada uno. El *Flamboyán Golf Course* fue construido entre el 1996 y 1997. Es un campo que bajo condiciones normales de riego consume entre 500 y 700 mil galones al día. El otro campo, el *Palm Golf Course*, es el más antiguo y en condiciones ya maduras. Este campo consume unos 375 mil galones diarios. Desde hace más de 25 años, los sistemas de riego de los campos de golf y algunas de las áreas verdes del complejo residencial turístico utilizan las aguas residuales tratadas de la planta de tratamiento del complejo, manejada por *Palmas del Mar Utility*. Debido a que la planta de tratamiento produce unos 400 mil galones diarios, se determinan las áreas que se van a regar a fin de que, lo que la planta produce, sea suficiente para ellos y que las charcas no bajen a niveles críticos. Además, los campos de golf cuentan con charcas de recolección de escorrentías del perímetro, las cuales mediante un manejo adecuado compensan la cantidad de galones adicionales que se necesitan para mantener el riego en los campos y las áreas verdes.

En la actualidad, *Palmas del Mar Utility* produce lo suficiente para riego de los campos de golf y tenerlos en condiciones óptimas. Esto se conoce en el argot del juego como *playability*, lo que significa que el campo de golf sea suficientemente bueno para jugar, donde la bola rueda y la superficie del *green* sea óptima. Por otro lado, si no se produjera la cantidad de agua que se necesitaría para los campos de golf, se verían obligados a comprar agua potable a PDM Utility que aumentaría los costos operacionales. Bajo esta infraestructura, la corporación administradora de las instalaciones puede: (1) manejar la parte del costo para los campos de golf, y (2) dejar disponible el agua potable para ser reutilizada en la comunidad de Palmas.

En términos de impacto al ambiente y la salud, el uso de estas aguas residuales tratadas cumple con los parámetros y estándares que establece la JCA. En la Tabla 1 se muestra la lista de parámetros que exige la JCA y los resultados de las pruebas de calidad del agua realizadas hasta febrero del 2016, y los flujos mensuales promedio que descarga la planta de tratamiento. En verano, se descargaron cerca de 400 mil galones; en septiembre se descargaron 500 mil galones; y en febrero, como es temporada baja, se redujo a 350 mil, pero todos consistentemente con valores por debajo de los que pide la JCA. Para PDM Utility como operador de la planta, cumplir con estos parámetros de permiso es primordial.

Tabla 1

*Parámetros de calidad de agua de la Junta de Calidad Ambiental y resultados del efluente de la planta de tratamiento en 2015 y 2016*

| Parámetros              | Concentraciones Permisibles Permiso JCA CAG-73-36-0019 | PDMU efluente 06/2015 | PDMU efluente 09/2015 | PDMU efluente 02/2016 |
|-------------------------|--|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Coliformes fecales      | 200MpN/100 ML  | 4.5                   | <1.8                  | < 1.8                 |
| Coliformes totales      | 1000MpN/100 ML   | 79                    | <1.8                  | < 1.8                 |
| BOD 5                   | 45 mg/L  | 5.47                  | < 5                   | < 5                   |
| Sólidos suspendidos     | 45 mg/L  | 60                    | 14.9                  | 4                     |
| Remoción BOD5 y Sólidos | > 85 %   | 96%                   | 91.3%                 | 96%                   |
| Aceites y grasas        | < 15 mg/L  | 4.8%                  | 10.4 %                | < 1.2%                |
| pH                      | 6<pH<9   | 7.1                   | 7.18                  | 6.72                  |
| Flujo max irrigado/día  | 1.3MMgal   | 420,625 gal           | 500,150 gal           | 357,800 gal           |

Nota. Muestreo por Beckton Environmental laboratories, Ponce, PR

**Beneficios colaterales del sistema de tratamiento**

Otro beneficio que obtiene *Palmas del Mar Utility* de la operación de la planta de tratamiento de las instalaciones de Palmas de Mar, es el uso de lodos para la manufactura de composta. Los lodos pasan por un sistema de digestión y el material resultante de este proceso es desaguado en los lechos de secado, primeramente, y luego mezclado con los desechos de jardinería molidos que se recogen dentro del complejo. Esta mezcla es dejada en los lechos de secado para que continúe desaguando, y luego es sacada al patio, colocada en pilas y clasificadas por mes, monitoreando su temperatura. Al término de 90 días es cernida. En todo este proceso, se utiliza un sistema mecánico que cada 4 o 5 días mueve las pilas para que el material pueda oxigenarse y airearse. El producto final de este sistema es una composta útil para acondicionar los jardines y áreas verdes del complejo.

Los resultados de esta composta han sido útiles para Palmas del Mar. Actualmente, como parte de la creación del producto y mediante diseño del Ing. Carlos Pacheco, se han incorporado los desechos de caballo del centro ecuestre. Además, durante el reciente suceso de la llegada de sargazo a las costas de Puerto Rico, el material que llegaba a la zona costera de Palmas del Mar fue igualmente incorporado a la mezcla de composta, solucionando así el problema de salubridad que crea la acumulación de sargazo en la costa. La incorporación de sargazo como materia para la composta aporta más nutrientes sin afectar la calidad ni los parámetros a monitorear del producto final.

**Consideraciones finales**

Los 30 años que Palmas de Mar lleva utilizando las aguas residuales tratadas para el riego de los campos de golf, son un ejemplo claro de que la reutilización de estas aguas es viable y confiable para proyectos de carácter agroindustrial. La correcta reutilización de aguas residuales para riego en campos de golf cumpliendo con unos estándares de calidad permite que el uso de aguas disponible para irrigación de cultivos agrícolas sea igualmente atractivo y creativo ante las situaciones de alta necesidad de este tan preciado recurso. Además, se comprueba que contribuyen a mejorar las condiciones ambientales de las áreas verdes. Como ejemplo, las áreas de retención de efluente tratado en Palmas del Mar sirven de hábitat para pelícanos, tortugas y especies de peces, entre otros tipos de vida animal.

## PERCEPCIÓN SOBRE LA REUTILIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES TRATADAS EN LA AGRICULTURA EN PUERTO RICO

María Calixta Ortiz, Ph.D.<sup>1</sup> & Carlos R. Morales-Agrinzoni, MSEM<sup>1</sup>

Resumen - Llevamos a cabo un estudio transversal para conocer las percepciones de la comunidad sobre la reutilización de aguas residuales tratadas en la agricultura en Puerto Rico. La encuesta se distribuyó entre los asistentes de la conferencia *Reutilización de Aguas Residuales para la Agricultura* realizada durante el mes de junio de 2016. El cuestionario incluyó preguntas sobre el conocimiento previo en los conceptos de tratamiento de agua, la percepción de la reutilización de aguas residuales para la agricultura, y la voluntad para apoyar proyectos que reutilicen aguas residuales. El análisis de resultados incluyó la prueba de distribución ( $\chi^2$ ) y regresión logística multinomial. La muestra estaba compuesta mayormente por individuos de nivel educativo avanzado (56%). La mayoría de los encuestados (45%) perciben que están parcialmente informados sobre el tratamiento de aguas residuales, y el 68% no conoce sobre proyectos de aguas residuales en Puerto Rico. Resultó significativo que el género femenino percibe estar menos informado sobre los conceptos de tratamiento de aguas que el género masculino ( $p \leq 0.05$ ). Los participantes perciben estar más relacionados con el significado de los conceptos *agua potable* y *sistema de alcantarillado*, y menos con el concepto *aguas grises*. Los participantes estuvieron altamente de acuerdo en la reutilización de aguas residuales para usos de contacto indirecto, tales como riego en cultivos de flores y campos de golf y gramíneas, y hubo menor apoyo para usos de contacto directo como riego de árboles frutales y de frutos que serían procesados posteriormente. *Palabras clave: Percepción pública, proyectos de aguas residuales, estudio transversal*

Abstract - We conducted a cross-sectional study to evaluate perceptions on wastewater reuse for agriculture in Puerto Rico among the audience attending the conference on *Wastewater Reuse for Agriculture* during June 2016. The questionnaire included questions grouped by previous knowledge on wastewater concepts; perception to wastewater reuse for agriculture, confidence in agencies, and willingness to support wastewater reuse. Analysis of results included the distribution test ( $\chi^2$ ) and multinomial logistic regression. The sample was composed mainly by participants of high educational level (56%). Most respondents perceived that they are partially informed on wastewater treatment (45%), nor do they know (68%) about wastewater projects in Puerto Rico. It was significant that female gender perceived to be less informed than male gender ( $p \leq 0.05$ ). Participants perceived to be more related to the concepts of potable water and sewage system, and less to *gray water* concept. Participants strongly agreed on reuse of wastewater for indirect contact agricultural uses, such as flower grow and irrigation of golf courses and grasses, rather than for high contact uses, such as irrigation of fruit trees or fruits that would be further processed.

*Key words: Public perception, wastewater reuse, cross-sectional study*

---

<sup>1</sup>Escuela de Asuntos Ambientales, Universidad Metropolitana. PO Box 21150, San Juan PR 00928.  
Email: um\_mortiz@suagm.edu

## Introducción

Puerto Rico, al igual que el resto de las islas del Caribe, ha experimentado los efectos asociados a la variabilidad climática relacionados con eventos alternos extremos de precipitación en algunas áreas y eventos de sequía en otras áreas de la Isla. Estas variaciones en el clima se observaron durante el 2015 cuando ocurrieron lluvias subnormales continuas en la parte este de Puerto Rico y corrientes de bajo flujo, lo que clasificó esta región bajo sequía severa y extrema (Miskus, 2015). Estas clasificaciones se dieron principalmente para la parte central y región este de la Isla (Figura 1). De acuerdo a los datos para el 2015 de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) solo cayeron un promedio de 38.5 pulgadas de lluvia comparado con el promedio de 45 pulgadas para el periodo de 1994-1997.

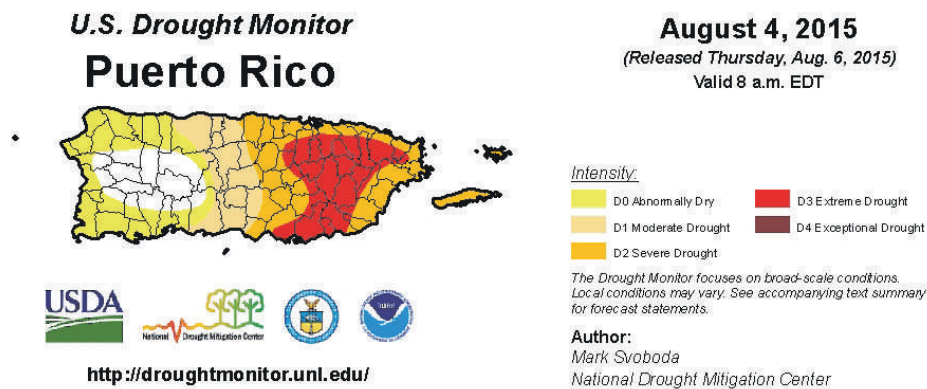


Figura 1. Mapa del monitor de sequía durante agosto del 2015.

Durante el evento de sequía, el sector agrícola tuvo pérdidas de casi \$12 millones. Como consecuencia, el Departamento de Agricultura Federal declaró una zona de desastre natural el 15 de julio de 2015. Las pérdidas en la agricultura fueron asociadas con el estrés térmico por las altas temperaturas y desecación de los suelos por falta de agua, lo cual disminuyó los rendimientos de los cultivos y el ganado, y aumentó la mortalidad de ambos (Vera, 2015).

Factores como la deforestación, la erosión, la sedimentación de los embalses, la contaminación de los acuíferos, y la reducción del caudal por extracción de agua, afectan la disponibilidad de los recursos hídricos en Puerto Rico. Durante el 2010, en Puerto Rico se extrajeron un promedio de 724 millones de galones diarios (mgd) de los diferentes abastos de agua dulce alrededor de la isla, de los cuales 38.2 mgd fueron utilizados para el riego de cultivos (Quiñones, 2015). Esta cantidad de millones de galones diarios varía dependiendo de la reducción o aumento de la actividad agrícola en Puerto Rico (Quiñones, 2015). Aunque el uso del agua para riego solo representa cerca del 5% del consumo, los eventos de sequía y otros factores asociados pueden

impactar en el futuro la disponibilidad de los recursos para garantizar la seguridad alimentaria. Se estima que para el 2030, el sector agrícola necesite un promedio de 84.2 mgd de agua para los sistemas de riego (Departamento de Recursos Naturales y Ambientales, 2015).

Por su parte, la generación de aguas residuales tratadas en la Isla se estima en 228 millones de galones por día, incluyendo 161 mgd tratadas a niveles primarios, 51 mgd a nivel secundario, y 16 mgd a nivel terciario pero en su mayoría se descargan al océano y ríos (Quiñones, 2015). Este volumen de agua es un recurso significativo que podría ser reutilizado para el riego agrícola y la recarga del acuífero como estrategia para minimizar el impacto de la intrusión salina. Actualmente, el Plan Estatal de Reutilización de Aguas Residuales incluye el riego de campos de golf (Quiñones & Guerrero, 2004). Existe la oportunidad de reutilizar este recurso, pero aún no existe la política pública y los recursos fiscales en las agencias concernientes para desarrollar e implantar otras alternativas que se traduzcan en más proyectos reales de reutilización de aguas residuales tratadas para la agricultura.

Con respecto al uso no tradicional del agua, la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 2003) reconoce la reutilización de aguas residuales urbanas o industriales, con o sin tratamiento para aumentar la eficiencia del agua extraída de fuentes primarias. Estas fuentes no tradicionales de agua son fuentes complementarias de abastecimiento en tiempos de extrema escasez de recursos hídricos superficiales o subterráneos. La reutilización de aguas residuales es una de las muchas soluciones para reducir la demanda de agua dulce.

Para aumentar la comprensión de cómo el público apoyaría la estrategia de reutilizar las aguas residuales tratadas para la agricultura en Puerto Rico, propusimos un estudio transversal para recoger información base sobre la percepción de riesgo en la comunidad. Además, desarrollamos la primera conferencia sobre la reutilización de aguas residuales tratadas en la agricultura para aumentar el conocimiento del tema entre los asistentes. La encuesta y la conferencia se desarrollaron basadas en el modelo de Investigación Participativa con la Comunidad (Figura 2). Este enfoque requiere un proceso de colaboración entre el investigador y la comunidad donde se desarrollen alianzas, exista la cooperación, la negociación entre las partes, y el compromiso de abordar los problemas de salud locales (Ahmed & Palermo, 2010).

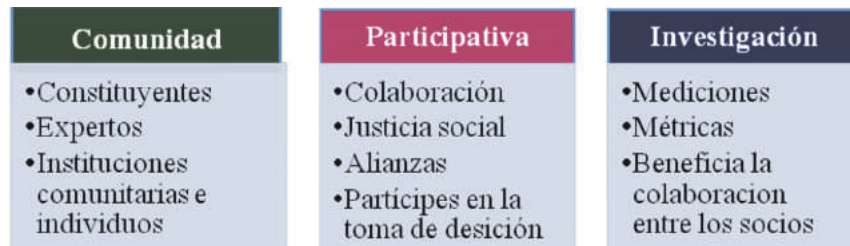


Figura 2. Modelo de Investigación Participativa con la Comunidad (CEnR, por sus siglas en inglés).

### Método

Para cumplir con los indicadores del modelo de investigación, todos los trabajos fueron desarrollados en consulta con expertos e individuos de la sociedad a través de la Junta Asesora del Instituto de Agua y Salud. Los miembros ofrecieron recomendaciones en sesiones de trabajo para mejorar la comprensión de la encuesta, la inclusión de temas y expertos en la conferencia y proveyeron los contactos directos. La oficina de relaciones públicas de la Universidad Metropolitana ofreció la asesoría y desarrolló un plan de medios durante la planificación y lanzamiento de la conferencia.

El evento de la conferencia fue anunciado públicamente en la plataforma Eventbrite, Microjuris, Ciencia PR, páginas de Facebook, programas de Radio y Televisión, y el envío de invitaciones a través de las listas de correos electrónicos de los diferentes gremios de profesionales de ingenieros, planificadores, agrónomos, y facultades universitarias. El registro de la actividad fue a través de la plataforma Eventbrite por la confiabilidad en brindar información uniforme al interesado y el almacenaje de datos de las personas registradas.

Diseñamos una encuesta transversal para ser administrada a una muestra de conveniencia de forma voluntaria y anónima. La encuesta se administró entre los participantes de la conferencia sobre *Reutilización de aguas residuales tratadas para la agricultura en Puerto Rico* llevada a cabo el 1 de junio de 2016 en San Juan, Puerto Rico. El protocolo del estudio fue aprobado (01-538-16) por la Junta de Revisión Institucional del Sistema Universitario Ana G. Méndez, como una pre-prueba, el cual ocurre antes de cualquier actividad o proceso de aprendizaje (conferencia). El instrumento incluyó premisas de selección múltiple y tres preguntas de escala Likert agrupadas por cuánta información previa percibe que tiene sobre conceptos de aguas residuales, la percepción sobre la reutilización de aguas residuales para la agricultura, la confianza en las agencias locales y federales, la voluntad de apoyar la reutilización de aguas residuales y el perfil sociodemográfico.

Por su parte, la conferencia se coordinó con dos paneles de expertos y una plenaria. El primer panel estuvo dedicado a las agencias gubernamentales locales y federales para discutir las guías federales de reutilización de aguas residuales, los programas y fondos disponibles en proyectos de reutilización de aguas residuales. La plenaria discutió los elementos claves para el apoyo público a la reutilización de aguas residuales en el caso de San Diego, California. Por último, el panel de expertos locales discutió las realidades de Puerto Rico en la reutilización de aguas residuales para proyectos agroindustriales, como la inyección de acuíferos, el riego de pastos para cerdos o ganado; así como el riego de campos de golf. Finalmente, tuvimos una sesión abierta para compartir preguntas, preocupaciones y recomendaciones entre los asistentes y participantes de la conferencia.

Las encuestas fueron entradas en una base de datos SPSS para el análisis de resultados. Las respuestas fueron codificadas y estandarizadas. La base de datos se limpió de posibles errores y datos en blanco. Llevamos a cabo un análisis descriptivo de frecuencia para todas las premisas en la encuesta. Además, llevamos a cabo un análisis de tablas cruzadas y chi-cuadrado ( $X^2$ ) en premisas con respuestas binomiales para establecer asociaciones significativas entre las preguntas y los factores sociodemográficos (género, grupo de edad, educación, ocupación y sector). Las premisas con respuestas multinomiales fueron analizadas con un análisis de regresión logística para establecer posibles asociaciones con los mismos factores sociodemográficos.

### **Resultados y discusión**

Esta fue la primera conferencia sobre reutilización de aguas residuales en Puerto Rico y el primer estudio para intentar establecer una información base de las percepciones de la comunidad hispana sobre este tema en Puerto Rico. El registro total a través del sistema Eventbrite fue de 266 personas, lo cual se convirtió en un 66% de la asistencia final. La conferencia generó mucho interés y tuvo una cobertura de medios abarcadora en la radio local, estaciones de televisión y periódicos. Como resultado no esperado, GeoAmbiente de Puerto Rico filmó las actividades en la conferencia y entrevistó a los conferenciantes para producir un documental impactante sobre el tema, el cual fue difundido a través del sistema de radiotransmisión pública (PBS TV Station) del Sistema Universitario Ana G. Mendez, el cual está disponible en la página web de la Escuela de Asuntos Ambientales, Instituto de Agua y Salud, así como bajo la plataforma YouTube.

La asistencia total a la conferencia fue de 177 participantes, con representación del 54% de los municipios de la Isla, principalmente (51%) del área metropolitana (Figura 3).



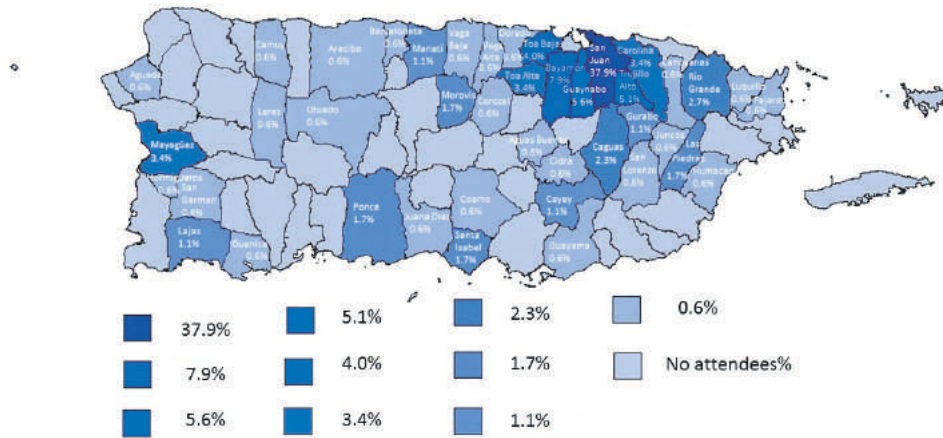


Figura 3. Mapa de distribución por municipio de los asistentes a la conferencia.

El nivel de respuesta de la encuesta fue de 88% (156/177). La muestra de participación estuvo mayormente representada por el sexo masculino (55%) y por niveles educativos avanzados (maestría y doctorado = 56%) si comparamos con la población general de Puerto Rico. La mayor parte de la audiencia estuvo compuesta por el sector privado (60%). El grupo de edad más representado fue 45-54 años (26.2%) y el de mayores de 55 años de edad (24.1%). La ocupación de los participantes más documentada fue ingeniero (18%), consultor ambiental (17%), agrónomo (17%), profesor universitario (12%) y planificador (10%).

La mayoría (45%) de los encuestados perciben que están poco actualizados en el tratamiento de aguas residuales, y solo el 35% dialoga con frecuencia sobre situaciones de aguas residuales en su comunidad. Solo el 32% conoce sobre proyectos de reutilización de aguas residuales en Puerto Rico. Sin embargo, esto no les desanima en cuanto a sentir que tienen mucho o moderado (75%) impacto en la toma de decisiones del manejo del agua en el país. Por su parte, la mayoría de los participantes perciben conocer bien el significado de los conceptos *agua potable*, *sistema alcantarillado*, *agua reciclada*, *aguas residuales*, pero menos el significado del concepto *aguas grises* (Figura 4). Entre los que conocen su significado, el género femenino se percibe menos informado que el género masculino ( $p \leq 0.05$ ). También fue significativo que el sector privado percibe conocer muy bien el significado del concepto *aguas grises* ( $p \leq 0.05$ ).

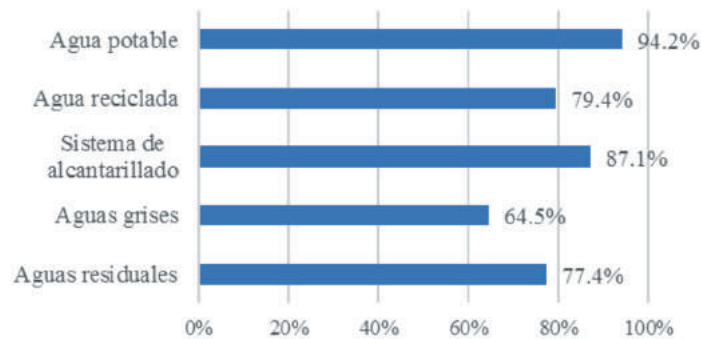


Figura 4. Percepción de los participantes sobre su conocimiento de los conceptos relacionados a aguas residuales.

Cuando preguntamos sobre si estaban de acuerdo con la reutilización de aguas tratadas, los participantes estuvieron altamente de acuerdo (sobre 75%) en los usos de riego en campos de golf, parques, grama, árboles, pastos, flores, suplido de hidratantes, sistemas de enfriamiento, usos industriales, bajado de inodoros y lavado de autos (Figura 5). Menos participantes estuvieron de acuerdo con usos de aguas residuales tratadas para el riego de frutos comestibles que serían procesados posteriormente (49%) y el riego de árboles frutales (62%).

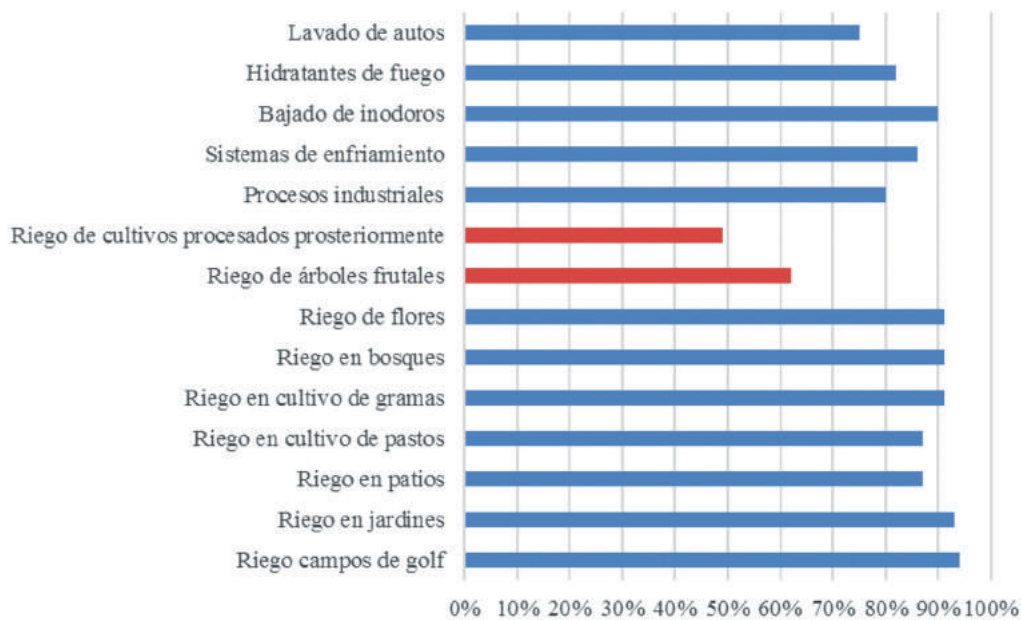


Figura 5. Porcentaje de participantes de acuerdo con la reutilización de aguas residuales para diferentes usos.

En cuanto al apoyo de proyectos en general, cerca del 95% apoyó los proyectos de reutilización de aguas residuales. Sin embargo, cuando se les preguntó sobre si apoyaban usos particulares, las opiniones variaron y el apoyo total disminuyó a medida que el uso se relacionaba con usos de contacto directo (Figura 6).

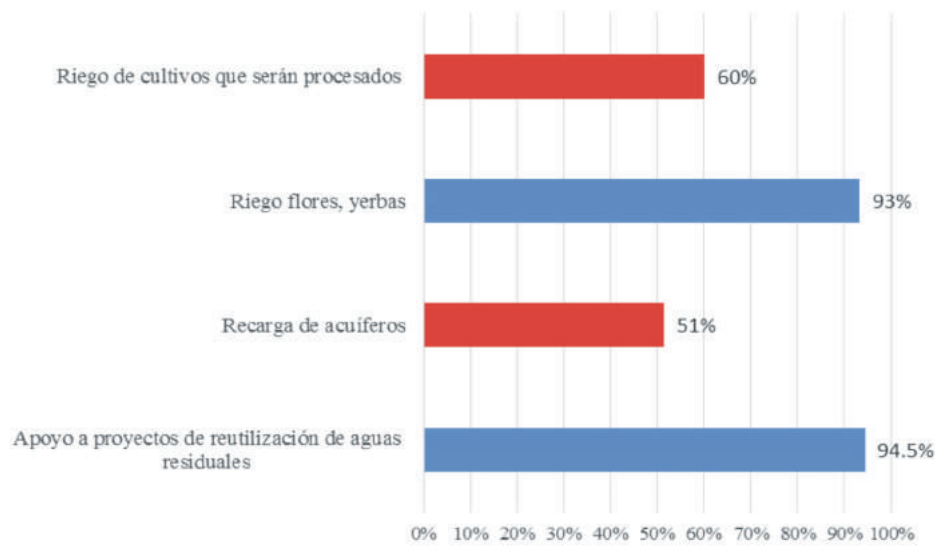


Figura 6. Apoyo a proyectos de reutilización de aguas residuales tratadas para diferentes usos.

Los estudios demuestran que la percepción sobre el apoyo al reúso de aguas residuales está directamente relacionada con el nivel de contacto físico y el tipo de agua (Brown & Davies, 2007). En nuestro estudio, el apoyo a usos de contacto indirecto (riego de flores, césped, campos de golf) fue mucho más alto que para el riego en frutos que serían procesados posteriormente (ej. granos), y mucho menos para la recarga de acuíferos. Esto demuestra que, aunque están de acuerdo con la reutilización de aguas residuales tratadas, no necesariamente apoyarían algunos tipos de reutilización. Entre los riesgos que la comunidad percibe están las dudas sobre los contaminantes químicos en las aguas residuales y cómo afectarán a la salud humana (Vedachalami & Mancl, 2010). Cabe destacar que la recarga de acuíferos no es considerado un uso directo y aun así nuestros resultados demuestran menos apoyo que el riego en flores y grama.

En cuanto a los métodos que prefieren los participantes para recibir información sobre este tipo de temas, la opción más seleccionada fueron las conferencias, seguida por el Internet y la prensa (Figura 7). Entre los métodos de divulgación menos favorecidos están el correo postal, las reuniones y la radio. La confiabilidad que tienen los participantes en las agencias se mostró inclinada

mayormente hacia la Agencia de Protección Ambiental (EPA, por sus siglas en inglés), la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Junta de Calidad Ambiental (JCA), en ese orden de prioridad (Figura 8).

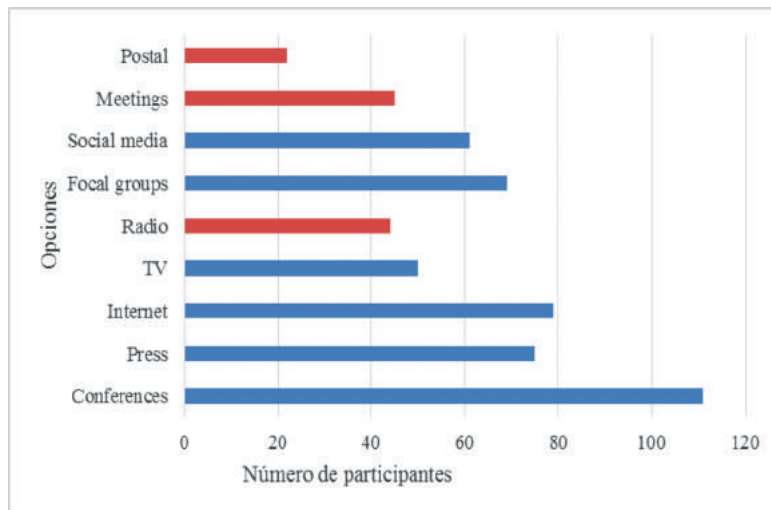


Figura 7. Opciones preferidas de los participantes para recibir información.

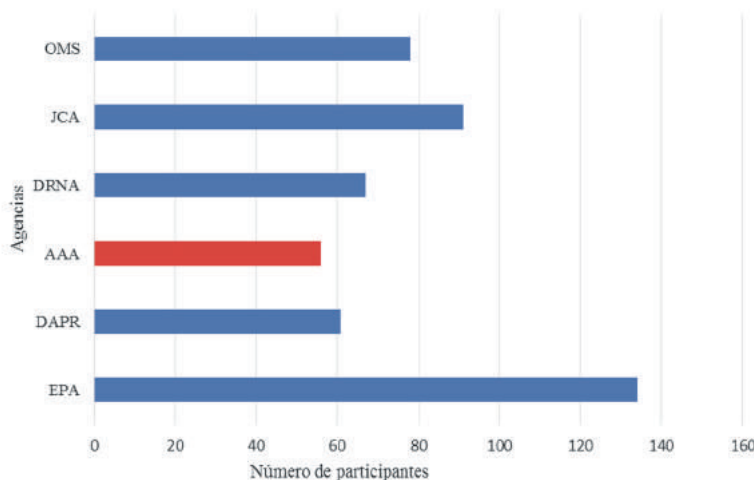


Figura 8. Número de participantes que seleccionaron la agencia como una de alta confiabilidad.

Al final de la conferencia, los participantes evaluaron la actividad con alta satisfacción en cuanto a la duración de la conferencia (82.8%), el lugar (87%), la tecnología utilizada (77%), y la productividad de la misma (90.2%). Además,

opinaron que estaban totalmente de acuerdo o de acuerdo con la claridad de los objetivos de la encuesta (82%), el propósito de la misma (96.8%), y de la oportunidad de participación en la sección de preguntas y comentarios (95.2%). Opinaron que los temas de la conferencia fueron interesantes (78.6%). Un 78.7% de los participantes pudieron clarificar información sobre las guías de reúso de aguas residuales de la EPA, sobre la percepción pública de la reutilización de aguas (73%), sobre los retos de la agricultura en Puerto Rico (72.4%), sobre proyectos en los Estados Unidos y Puerto Rico y los aspectos económicos asociados al reúso de aguas residuales. Entre las recomendaciones de los participantes, se mencionó la preferencia de que tanto la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados, como el Departamento de Salud estuvieran representados en actividades futuras. Desean conocer más sobre otros estudios de percepción, usos de agroquímicos en el suelo, y el uso potencial del agua de tanques sépticos. Recomendaron además, tener una sesión para interactuar con los expertos y establecer relaciones profesionales.

Las limitaciones de este estudio están relacionados con la muestra de conveniencia utilizada. Los resultados no pueden ser generalizados a la población general. Un próximo acercamiento debe considerar una muestra representativa de la población. Además, debe considerar premisas relacionadas con los aspectos de calidad del agua y el impacto a la salud.

## **Conclusiones**

Los resultados del estudio sobre la percepción de la comunidad en cuanto a la reutilización de las aguas residuales para la agricultura en Puerto Rico muestran que los participantes de la conferencia cuentan con alguna información para la toma de decisiones en cuanto al manejo del agua, pero no necesariamente tienen toda la información requerida para contestar sus preocupaciones sobre los riesgos que implican. Es necesario diseminar mejor la información al público y crear una mayor conciencia de las oportunidades, beneficios y riesgos de la reutilización de aguas residuales para este tipo de proyectos.

Una recomendación para transmitir confianza a los usuarios es difundir los resultados y lecciones aprendidas de proyectos pilotos que reutilicen aguas residuales tratadas. Entre el grupo de mayor nivel educativo y los del sector privado existe una percepción favorable para la reutilización de aguas residuales tratadas en actividades agrícolas, pero mayormente para aquellas de contacto indirecto. Este grupo de profesionales deben ser los primeros en adoptar nuevas estrategias sobre la reutilización de las aguas residuales y difundir la información a otros grupos. Un elemento clave podría ser desarrollar intercambios profesionales con planificadores, encargados de formular políticas en las agencias, así como ingenieros, y profesionales de la salud que estén familiarizados con las tecnologías de reutilización de aguas para el desarrollo de estrategias puntuales.

## Reconocimiento

Este proyecto (Grant #2016-69007-25084) fue subvencionado con fondos del Instituto Nacional de Alimentos y Agricultura del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos.

## Literatura citada

- Ahmed, S. M. & Palermo, A-G. S. (2010). Community engagement in research: Frameworks for education and peer review. *American Journal of Public Health*, 100(8), 1380-1387. doi: 10.2105/AJPH.2009.178137
- Brown, R. R., & Davies, P. (2007). Understanding community receptivity to water re-use: Ku-ring-gai Council case study. *Water Science & Technology*, 55(4), 283-290.
- Departamento de Recursos Naturales y Ambientales. (2015). Plan de recursos de agua de Puerto Rico. [Revisión]. Vista Pública, Edificio de Agencias Ambientales, San Juan, Puerto Rico.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2003). Concepts and definitions: Types of water resources. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/005/y4473e/y4473e06.htm/>
- Quiñones, F. & Guerrero, R. (2004). Plan de reuso de aguas usadas de Puerto Rico. Recuperado de [http://www.recursosaguapuertorico.com/InformeReuso\\_Plan\\_Aguas\\_22nov\\_04.pdf](http://www.recursosaguapuertorico.com/InformeReuso_Plan_Aguas_22nov_04.pdf)
- Quiñones, F. (2015). Recursos de agua en Puerto Rico. Recuperado de <http://www.recursosaguapuertorico.com/index.html>
- Miskus, D. (2015). National drought summary for June 2, 2015. Recuperado de <http://droughtmonitor.unl.edu/Home/Narrative.aspx>
- Molina-Rivera, W. L., & Gómez-Gómez, F. (2008). Estimados del uso del agua en Puerto Rico, 2005: U.S. Geological Survey Open-File Report 2008-1286, 37p. Recuperado de <http://pubs.usgs.gov/of/2008/1286/>
- National Oceanic Atmospheric Administration. (2015). Tablas del promedio de lluvias en Puerto Rico. Recuperado de <http://water.weather.gov/precip/>
- Vedachalami, S., & Mancl, K. M. (2010). Water resources and wastewater reuse: Perceptions of students at the Ohio State University Campus. *Ohio Journal of Science*, 110(5), 104-113.
- Vera Rosado, I. (9 de junio de 2015). Sequía propicia duro golpe económico. *El Vocero de Puerto Rico*, pp 6-8.

**Publication Date:** Every December

**Requirements for submitting manuscripts to JEAP are the following:**

- Must be original, scientifically accurate, and related to environmental issues.
- Must not have been published previously.
- May be submitted in either in Spanish or English.
- Should be based on an investigation (or contribution) conducted or carried out during the last five (5) years, at the most.
- Must include information on the affiliations of all authors and the e-mail and phone number(s) of the primary author.
- May be submitted to the School of Environmental Affairs via email (perspectivasaa@suagm.edu), through Dropbox, on a CD sent via regular mail to the School or delivered in person, or on other media delivered directly to the School.

**Format**

- Length: 15 pages maximum, including tables, figures, equations and references
- Line spacing: Single spaced
- Font: Times New Roman, size 12 points
- Margins: one (1) inch margin on all sides
- Language: Manuscript may be in Spanish or English; Abstract must be in both Spanish and English.

**Style**

- Manuscript should be written avoiding technical jargon and all acronyms and technical terms must be spelled out or briefly defined.
- Manuscript must follow the **American Psychological Association (APA) style**
  - Figures and photos must be originals, black & white or color, with a resolution of 300 dpi in JPG.
  - Figures and tables should be separated from the text, and appropriately referenced in the text.
  - Captions should be placed below each figure and include appropriate and accurate descriptions.
  - Tables should include an explanation above each one, as well as notes and relevant information below each table.
  - Cited literature or References must be according to APA style and references should be limited to the primary 25 sources.

**Editorial Committee Process**

- Upon receipt of the manuscript, an acknowledgement receipt is sent to primary author identified in submission materials and the Editorial Committee begins the review process.
- Documents that do not meet the requirements of the call are not considered by the Editorial Committee for publication and are returned for proper corrections.
- Manuscripts are edited according to the rules of publication.
- If approved for publication, the Editorial Committee sends the primary author its recommendations and the final edition to obtain his/her approval to formally include the manuscript in the journal.
- The receipt and final approval dates are acknowledged in the published manuscript

**Fecha de publicación:** Cada diciembre

**Requisitos para la presentación de manuscritos a la revista PAA son los siguientes:**

- Debe ser original, científicamente exacta, y en relación a las cuestiones ambientales.
- No debe haber sido publicado anteriormente.
- Podrán presentarse en cualquiera de los dos en español o inglés.
- Debe basarse en una investigación (o contribución) realizado o llevado a cabo durante los últimos cinco (5) años, a lo sumo.
- Debe incluir información sobre las afiliaciones de los autores y la dirección de correo y número de teléfono (s) del autor principal.
- Puede ser enviado a la Escuela de Asuntos Ambientales a través de correo electrónico (perspectivasaa@suagm.edu), a través de Dropbox, en un CD enviado por correo regular a la escuela o con otros medios de comunicación entregados directamente a la escuela.

**Formato**

- Longitud: 15 páginas máximo, incluyendo tablas, figuras, ecuaciones y referencias
- Interlineado: espacio sencillo
- Tipo de letra: Times New Roman, tamaño 12 puntos
- Márgenes: Margen de 1 pulgada en todos los lados
- Idioma: Manuscrito puede ser en español o en inglés; Resumen debe estar en español y en inglés.

**Estilo**

- Manuscrito debe escribirse evitando la jerga técnica, y todos los acrónimos y términos técnicos debe ser explicado o brevemente definidos.
- Manuscrito debe seguir las normas de la American Psychological Association (APA)
  - Las figuras y fotografías deben ser originales, blanco y negro o en color, con una resolución de 300 dpi en formato JPG
  - Las figuras y tablas deben ser separadas del texto, y adecuadamente referenciadas en el texto.
  - Los subtítulos deben ser colocados debajo de cada figura y incluyen descripciones adecuadas y precisas.
  - Las tablas deben incluir una explicación sobre cada uno, así como las notas y la información pertinente a continuación cada mesa.
  - Referencias o literatura citada deben ser de acuerdo al estilo de la APA y limitarse a las 25 fuentes primarias.

**Proceso del Comité Editorial**

- Una vez recibido el manuscrito, un acuse de recibo es enviado al autor principal y el Comité Editorial se inicia el proceso de revisión.
- Los documentos que no cumplan con los requisitos de la convocatoria no son considerados por el Comité Editorial para su publicación y se devuelven para las correcciones adecuadas.
- Los manuscritos son editados de acuerdo a las reglas de publicación.
- Si es aprobado para su publicación, el Comité Editorial envía sus recomendaciones al principal autor y la versión final para obtener su aprobación del manuscrito final a ser incluido en la revista.
- Las fechas de recepción y aprobación definitiva son reconocidos en el manuscrito publicado





# Perspectivas

en asuntos ambientales

Este volumen desarrolla el tema de la reutilización de aguas residuales para la agricultura en Puerto Rico. El objetivo es diseminar información que ayude a cambiar la percepción de los ciudadanos sobre la utilidad de este recurso. En los pasados años, hemos visto que las amenazas de sequías son más extensas y recurrentes debido a la variabilidad climática. La utilidad de las aguas residuales tratadas es una alternativa viable ante eventos de sequía extrema.

En Puerto Rico contamos con la infraestructura de la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados, la cual es suficiente para tratar las aguas residuales. Las agencias concernientes cuentan con algunos programas e iniciativas para la reutilización de las aguas residuales como alternativa para la optimización del recurso agua. La reutilización del agua residual es también una alternativa altamente recomendada para la conservación de los recursos, además de ser una fuente de ahorro. Se han establecido incentivos para los agricultores que lleven a cabo estas prácticas. Existen guías a nivel federal y mundial que explican cómo se debe conducir un proyecto que reutilice aguas residuales.

Es responsabilidad de todos crear conciencia sobre esta problemática. Debemos unirnos para buscar alternativas y soluciones al problema. La reutilización de aguas residuales representa una de esas alternativas.

Carlos M. Padín Bibiloni, Ph.D.  
Rector Universidad Metropolitana

**UMET**

UNIVERSIDAD  
METROPOLITANA  
SISTEMA UNIVERSITARIO  
ANA G. MÉNDEZ