

**UNIVERSIDAD METROPOLITANA
ESCUELA GRADUADA DE ASUNTOS AMBIENTALES
SAN JUAN, PUERTO RICO**

**EVALUACIÓN DE LOS SISTEMAS DESCENTRALIZADOS DE
TRATAMIENTO DE AGUAS DE UNA COMUNIDAD RURAL COMPACTA**

Requisito parcial para la obtención del
Grado de Maestría en Ciencias en Gerencia Ambiental
en Evaluación y Manejo de Riesgo Ambiental

Por
Jacqueline Otero Vega

2 de diciembre de 2013

DEDICATORIA

A mi Dios y mi amada familia

AGRADECIMIENTOS

Deseo agradecer en gran manera a todas las personas que me ayudaron a completar este trabajo y a la vez mi meta de obtener un grado de maestría. Debo reconocer primeramente la colaboración de mi comité de tesis que estuvo conmigo a través de todo este recorrido aportando desde ideas para mi tema hasta en la revisión del documento. A todos los empleados del Departamento de Acueducto Municipal y del Municipio Autónomo de Carolina que me facilitaron los datos necesarios para mi metodología, en especial a mis compañeros operadores de los sistemas de tratamiento de Barrazas, Ricardo Colón Fernández y Luis A. Ríos Cruz que somos los que trabajamos día a día para que los sistemas operen eficientemente. A mi familia y amigos que pudieron entender mi distanciamiento por el tiempo que tenía que dedicarle a esta investigación. Pero si hay una persona que es merecedor de este agradecimiento, lo es Luis S. Rodríguez que estuvo conmigo dándome apoyo en mis cambios de ánimos, dándome sugerencias para el desarrollo del trabajo y asistiéndome en la preparación de las tablas y figuras de este trabajo. Quiero agradecerle a papito Dios por siempre llevarme de su mano y demostrarme que nunca me abandona hasta en los momentos que parecen más difíciles.

TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE TABLAS	VI
LISTA DE FIGURAS	VII
LISTA DE APÉNDICES	VIII
RESUMEN	IX
ABSTRACT	X
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	11
Trasfondo del problema.....	11
Problema de estudio.....	13
Justificación del estudio.....	14
Preguntas de investigación	14
Meta	15
Objetivos.....	15
CAPÍTULO II: REVISIÓN DE LITERATURA.....	16
Trasfondo histórico.....	16
Marco conceptual o teórico	22
Estudios de casos	37
Marco legal	39
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA.....	42
Introducción.....	42
Área de estudio	42
Objetivo 1	43
Objetivo 2	44
Análisis de Datos	45
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	47
Objetivo 1	47
Objetivo 2	52
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	66
Limitación del Estudio.....	66
LITERATURA CITADA.....	71

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Análisis del agua cruda extraída por los 6 pozos subterráneos del SD realizado por Eqlab.....	78
Tabla 2. Análisis de agua potable del SD realizado por Eqlab.....	79
Tabla 3. Análisis mensual de la PTAU realizado por Eqlab.....	80
Tabla 4. Resultados de los parámetros del pozo subterráneo 1, muestreado anualmente.....	81
Tabla 5. Resultados de los parámetros del pozo subterráneo 2, muestreado anualmente.....	82
Tabla 6. Resultados de los parámetros del pozo subterráneo 3, muestreado anualmente.....	83
Tabla 7. Resultados de los parámetros del pozo subterráneo 4, muestreado anualmente.....	84
Tabla 8. Resultados de los parámetros del pozo subterráneo 5, muestreado anualmente.....	85
Tabla 9. Resultados de los parámetros del pozo subterráneo 6, muestreado anualmente.....	86
Tabla 10. Resultados de los parámetros de calidad del Sistema Dual (promedio anual).....	87
Tabla 11. Resultados de los parámetros de calidad del efluente de la PTAU (promedio anual) y estándares requeridos por el NPDES.....	88
Tabla 12. Agua tratada en la PTAU en el año 2012.....	89
Tabla 13. Características de las aguas domesticas usadas.....	90
Tabla 14. Resultados del muestreo más recientes realizados por el USGS de la quebrada Maracuto.....	91
Tabla 15. Resultados del muestreo más recientes realizados por el USGS del embalse Loíza.....	92
Tabla 16. Resultados del muestreo más recientes realizados por el USGS del río Canovanillas.....	93

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Flujograma del proceso de tratamiento de la PTAU.....	95
Figura 2. Flujograma del proceso de tratamiento del SD.....	96
Figura 3. Comparación de sistemas de tratamiento centralizados con los descentralizado	97
Figura 4. Distancia de Carolina pueblo hasta el área de estudio y localización de los puntos de muestreo de los cuerpos de agua superficial.....	98
Figura 5. Mapa del área de estudio.....	99
Figura 6. Reducción del parámetro de cobre en la PTAU.....	100

LISTA DE APÉNDICES

Apéndice 1. Certificado de asistencia al Simposio Infraestructura Sanitaria en PR: Retos y Oportunidades.....	102
Apéndice 2. Carta del Municipio Autónomo de Carolina de autorización para investigación de tesis.....	103
Apéndice 3. Fotografía de la Planta de Tratamiento de Aguas Usadas de Barrazas.....	105
Apéndice 4. Fotografías del Sistema Dual y el Oasis.....	106
Apéndice 5. Fotografías de los servicios que se ofrecen y el Parque Acuático Aguasol de Barrazas.....	107
Apéndice 6. Fotografías de las oficinas del Centro de Servicios Municipales.....	108

RESUMEN

El uso de sistemas de tratamiento descentralizados avanzados es parte de la solución al problema de la limitación en los servicios de agua potable y usada que ocurre en las zonas rurales de Puerto Rico. Actualmente para la solución de esos problemas se utilizan pozos sépticos y sistemas de tratamiento de agua potable rudimentarios que si no operan de manera apropiada pueden ocasionar daños al ambiente, y a la salud humana. Nuestra meta fue evaluar la operación y los beneficios de los sistemas descentralizados de un proyecto rural compacto en el barrio Barrazas de Carolina. Además, discutimos cómo la construcción compacta de ese proyecto aparte del beneficio de permitir el espacio para la construcción de los sistemas descentralizados de tratamiento de agua, resulta en beneficios ambientales adicionales cuando se compara con la construcción desparramada. El diseño de esta investigación fue un análisis de datos secundarios, análisis documental y visitas de campo. Evaluamos información relacionada a la operación de los sistemas de tratamiento que incluye muestreos y análisis que se realizan como requisito de las agencias reglamentadoras. Revisamos publicaciones científicas en las que se comparan sistemas centralizados con descentralizados y el desarrollo compacto con el desarrollo desparramado. Los resultados demostraron que en efecto los sistemas descentralizados de Barrazas operan de manera eficiente y que pueden ser más beneficiosos para el ambiente. Además, comprobamos que con proyectos de construcción compacta en la zona rural, se puede reducir el desparrame urbano y los impactos ambientales ocasionados por éste. La reducción de impactos ambientales en este proyecto compacto incluye menor presión sobre la naturaleza gracias al limitado uso de suelo, energía y agua. Concluimos que proyectos compactos como el del Bo. Barrazas de Carolina junto a sus sistemas descentralizados de tratamiento de agua podría servir de modelo para otros proyectos de viviendas rurales porque ayuda a proteger el ambiente, y la salud humana.

ABSTRACT

The use of advanced decentralized treatment systems could be the solution to the problem of the limitation in drinking and sewage water services that occur mainly in rural areas of Puerto Rico. Septic and rudimentary drinking water treatment systems are used at present. When these systems are not operated properly they cause general environmental and human health damage. Our goal was to evaluate the operation and benefits of the decentralized systems localized in Bo. Barrazas, Carolina, that were built to supply the compact housing project and the Municipal Services Center, was performed. The compact construction of this project apart from the benefit of allowing space for the construction of decentralized systems of water treatment provides additional environmental benefits when compared to rural sprawl. The design of this research was a secondary data analysis with operational documents evaluation and field visits. Treatment systems operational data and the analysis of water samples, a requirement of regulatory agencies, were evaluated. Also literature review was performed for comparison of centralized with decentralized systems and the compact with the scattered housing. The results showed that indeed Barrazas decentralized systems operate efficiently and decentralized systems may be more beneficial for the environment. Furthermore it was shown that compact construction projects can reduce urban sprawl and environmental impacts caused by scattered residential development. The reduction in environmental impacts in this compact project includes less pressure on nature due to limited land, energy and water use. We conclude that this compact housing project with its decentralized systems could serve as a model in regards the general environment and human health.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Trasfondo del problema

La Autoridad de Acueductos y Alcantarillados (AAA) en la actualidad, se encarga de proveerle agua potable al 98 % de los habitantes de Puerto Rico. Ese servicio se logra, en su mayoría, con plantas de filtración centralizadas que reciben en su mayoría agua de cuerpos de aguas superficiales. Éstas consisten en un sistema central con capacidad de tratar grandes cantidades de agua y de brindar servicios a comunidades o industrias que se encuentran distantes de ellas. La AAA, además, le provee servicios de tratamiento de aguas residuales al 55 % de la población, que se localizan en su mayoría en áreas urbanas. En el caso de las aguas residuales de las zonas rurales, el método de disposición o tratamiento de aguas usadas que se utiliza con mayor frecuencia es el pozo séptico (AAA, 2013).

Massoud, Tarhini y Nasr (2009) describieron el pozo séptico como uno de los métodos más conocidos de tratamiento descentralizado primario. Los autores mencionaron que los pozos sépticos funcionan como un digestor anaerobio donde la remoción de la mayoría de los sólidos sedimentables se logra por la digestión parcial de la materia orgánica. Un sistema descentralizado de tratamiento de aguas es instalado y operado para recibir el efluente de aguas residuales cerca del punto de generación (Cook, Tjandraatmadja, Ho & Sharma, 2009). Existen sectores rurales que han logrado conectarse al servicio de alcantarillado, pero esto no es posible muchas veces por razones de tipo topográficas o económicas (Valencia, Silva & Narváez, 2010). En esos sistemas

de alcantarillados las aguas usadas por lo general tienen que viajar largas distancias para llegar al sistema de tratamiento centralizado más cercano.

El U. S. Geological Survey (USGS, por sus siglas en inglés), en colaboración con el Municipio de Carolina, realizó un estudio entre marzo de 1998 y julio de 1999 para evaluar las aguas superficiales y subterráneas de la zona rural. Una población significativa del área rural llevaba años recibiendo un servicio de agua potable deficiente. Con este estudio se pretendía encontrar un abasto de agua apropiado y seguro para éstos (Rodríguez Martínez, Gómez Gómez, Santiago Rivera & Oliveras Feliciano, 2002). El estudio incluyó análisis de la calidad de varios cuerpos de agua en cuanto a la presencia de coliformes y otras bacterias fecales. El 79.4 % de los ríos y quebradas al Sur del Municipio de Carolina estaban contaminados con bacterias fecales.

El Municipio Autónomo de Carolina (2003) realizó otro estudio donde se identificaban fuentes de contaminación puntual y dispersas en la zona rural que incluyó recomendaciones para el manejo de las mismas. En el estudio se concluyó que una de las fuentes que pueden afectar en mayor grado los cuerpos de aguas superficiales son los pozos sépticos. Se encontró que el río Canovanillas era el más afectado por los pozos sépticos y la escorrentía suburbana.

Debido al desparrame urbano, a los problemas económicos que las familias, y a que la mayoría de los barrios del Municipio de Carolina están ubicados en áreas rurales, el fenecido alcalde Honorable José E. Aponte de la Torre tuvo la visión de crear el complejo de viviendas a bajo costo en el barrio Barrazas de Carolina. Este complejo de viviendas está compuesto de 168 apartamentos tipo walkup. El carácter compacto o construcción vertical del proyecto, le permitió al Municipio de Carolina, proveerle agua potable y tratamiento de aguas usadas. El sistema de tratamiento agua potable es conocido

como Sistema de Aguas Dual (SD) y las aguas residuales son tratadas en la Planta de Tratamiento de Aguas Usadas (PTAU). Estos sistemas de tratamiento de agua son descentralizados ya que se encuentran aledaños al complejo de apartamentos.

La operación de estos sistemas descentralizados puede ser una solución a las limitaciones que existen con relación a los servicios de agua potable y tratamiento de aguas usadas en sectores rurales. De esta forma, se pueden reducir los problemas que pueden traer los sistemas tradicionales, como los pozos sépticos, a la salud pública y al ambiente general. Estos sistemas de tratamiento de aguas han permitido que en el sector se desarrollen otros proyectos como el Centro de Servicios Municipales, una sala de urgencias, el parque acuático Aquasol, un head start y un centro de ancianos. Además, se está construyendo un supermercado que también se estará beneficiando de los sistemas descentralizados.

Problema de estudio

Es importante evaluar nuevas opciones para la solución de las limitaciones en la provisión de servicios de agua potable y tratamiento de aguas usadas en zonas rurales, con reducción de impactos ambientales. Estos problemas pueden ser reducidos con la operación de sistemas descentralizados avanzados. Los sistemas de tratamiento del complejo de viviendas rural pueden ser un modelo para solucionar los problemas que resultan del uso de métodos de disposición y tratamiento tradicionales. La construcción compacta de este proyecto permitió que los sistemas descentralizados fueran construidos. En este estudio se evaluará la operación de los sistemas descentralizados de tratamiento del proyecto rural y se comparará con los sistemas de tratamiento tradicionales. Además se realizará una comparación de la construcción compacta con la desparramada, en cuanto a los impactos ambientales que pueden ocasionar.

Justificación del estudio

Los sistemas de tratamiento que opera la AAA presentan limitaciones para suplir las áreas rurales. Debido a esto los residentes de estos sectores sufren muchas veces de servicios deficientes de agua potable y problemas con la disposición de aguas residuales. Es importante encontrar soluciones a este problema ambiental, natural y social. Las características de los sistemas de tratamiento descentralizados del complejo de viviendas rural del barrio Barrazas podría ser una solución a estas limitaciones e impactos ambientales. La operación de estos sistemas podría reducir los costos de los sistemas centralizados típicos y reducir los impactos ambientales, que incluyen la salud de las comunidades rurales (Hernández & Roviroso, 2007). Los sistemas descentralizados pueden constituir una alternativa factible para provisión de agua y servicios de tratamiento de aguas residuales en zonas suburbanas, rurales y remotas (Sharma, Tjandraatmadja, Grant, Grant & Pamminger, 2010).

Con la evaluación de estos sistemas se intenta obtener información de la eficacia de su operación para que pudiesen servir de modelo para complejos rurales o densificación de comunidades rurales existentes. Estos sistemas deben ser monitoreados de manera continua. El seguimiento periódico a la calidad de la potabilización del agua y al tratamiento de las aguas usadas del proyecto rural de viviendas se ha estado monitoreando por los últimos 6 años. Se han resuelto sobre la marcha diversos problemas que han surgido en los sistemas.

Pregunta de investigación

¿Son los sistemas descentralizados de tratamiento de aguas de una comunidad rural compacta una alternativa para la reducción de los impactos al ambiente?

Meta

Evaluar los sistemas descentralizados de tratamiento de aguas de una comunidad rural compacta, para determinar si hay reducción del impacto a la salud pública y al ambiente general.

Objetivos

- 1- Evaluar los parámetros de calidad de agua que se muestrean en los 6 pozos subterráneos que suplen el sistema de tratamiento de agua potable y en los sistemas de tratamiento de agua.
- 2- Comparar el crecimiento suburbano vertical con el desparramado y los sistemas centralizados con los descentralizados en cuanto a beneficios sociales y reducción de impactos ambientales.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

Trasfondo histórico

El acueducto del río Piedras fue el primer acueducto de Puerto Rico y fue construido por una orden de la corona española el 26 de agosto 1846 para abastecer de agua a la capital desde el Río Piedras. Antes de la construcción de ese acueducto en las casas y en los edificios se recogía el agua de lluvia con aljibes (Sepúlveda, 2013). Aún con la construcción de este y otros acueductos, la Isla seguía siendo impactada por enfermedades transmitidas por el consumo de agua contaminada, como la cólera (1855) y la tifoidea (1910). La Ley de Aguas que se aplicaba en ese tiempo tenía el fin principal de suplir agua para la agricultura, la ganadería y la minería, no agua potable (Martínez, 2010).

A principios de la década de los 40 se creó la Autoridad de Acueductos y Alcantarillado (AAA), agencia responsable de proveer los servicios de agua potable y alcantarillado sanitario en Puerto Rico. Esta corporación pública fue creada por la Ley Número 163 del 3 de mayo de 1949 para absorber los sistemas de acueductos que daban un servicio deficiente a la comunidad y para la provisión de servicios de alcantarillado sanitario, que para esas fechas estaban muy limitados (Martí, Renta & Velázquez Figueroa, 2004). En esos momentos los sistemas que predominaban para la disposición y tratamiento de las aguas residuales eran las letrinas y los pozos sépticos. Luego de la creación de la AAA la Isla continuaba teniendo problemas con la calidad del agua potable, debido principalmente al desconocimiento sobre los contaminantes que pudieran estar presentes en el agua superficial.

En 1970 se creó la Environmental Protection Agency (EPA, por sus siglas en ingles) y junto con ella el Clean Water Act (CWA, por sus siglas en ingles) y el Safe Drinking Water Act (SDWA, por sus siglas en ingles). Estas leyes fueron aprobadas para el control de las descargas de contaminantes a cuerpos de aguas y para proteger la calidad del agua potable. Para el año 1975 se designó que el Departamento de Salud de Puerto Rico (DSPR) como encargado de hacer cumplir el SDWA, esto luego que se le otorgara una subvención federal de \$65,000. Según se fueron cumpliendo los requisitos para cumplir con el SDWA fue mejorando el manejo de los cuerpos de agua y la calidad del agua potable (Martínez, 2010).

La producción de agua potable aumentó en gran manera por unos 50 años, para suplirla a la creciente población y al sector comercial. La AAA le provee servicio de agua potable al 97% de los 3.7 millones de habitantes de Puerto Rico (Quiñones, 2013). Este servicio se logra a través de 134 plantas de filtración que están conectadas a través de una red de agua potable de más de 20,000 km de tubería. Estas plantas pueden extraer agua de embalses, ríos, quebradas y acuíferos; los embalses son la fuente principal de agua cruda.

Algunos sectores rurales o con poblaciones pequeñas dependen todavía de sistemas de tratamiento operados por los vecinos o dueños de fincas en esas comunidades (Martí et al., 2004). Según Soderberg (2008), son 252 comunidades las que no reciben servicio de agua potable de la AAA. En muchos de estos sistemas el agua no pasa por procesos apropiados de filtración y desinfección ni se hacen los muestreos requeridos para el cumplimiento de la reglamentación de las agencias estatales y federales. Las principales agencias encargadas de monitorear la operación de estos sistemas de tratamiento para asegurar el cumplimiento de las leyes son la EPA y el DSPR.

En el caso de los sistemas sanitarios que opera la AAA, solo el 57% de la población recibe el servicio. Las plantas de tratamiento de aguas usadas descargan unos 228.5 millones de galones por día (MGD) en un gran número de cuerpos de agua (Soderberg, 2008). La EPA es la agencia que reglamenta la operación de las plantas sanitarias y le requiere a las mismas una serie de permisos y monitoreo constante de la calidad del efluente. Esta agencia federal se encarga de hacer cumplir el CWA y el Sistema Nacional de Eliminación de Descargas de Contaminantes (NPDES, por sus siglas en inglés).

Según Quiñones (2012), casi la mitad de los habitantes, industrias, oficinas gubernamentales y comercios de la Isla descargan sus aguas residuales a los cuerpos de agua, sin ningún tratamiento o a través de pozos sépticos. Los pozos sépticos pueden proveer un tratamiento primario efectivo a las aguas residuales; el problema es que no fue hasta el año 2010 que se reglamentó su diseño y construcción. El autor menciona, que se ha estimado que los pozos sépticos suman 650,000. El 29 de noviembre del 2010 la Junta de Planificación adoptó el nuevo Reglamento Conjunto de Permisos (Reglamento JP-31). Este reglamento requiere permisos para todos los pozos sépticos y establece normas para su construcción, operación, inspección y cierre (Quiñones, 2012).

La Ley de Municipios Autónomos de Puerto Rico se creó el 30 de agosto de 1991. Con esta Ley el gobierno central limita su intervención en asuntos que competen al municipio, dándole a la administración municipal mayor autonomía. Es el gobierno municipal quien tiene a su cargo en mayor o menor grado el desarrollo urbano y económico. El Municipio de Carolina (1997b), en el ejercicio de sus facultades y deberes que le fueron concedidos por la Ley de Municipios Autónomos, creó el Acueducto Municipal. Según se menciona en la Resolución Número 40 de este Municipio, se

reconocía que se había alcanzado un desarrollo social, económico y físico extraordinario. Este municipio contaba con los fondos suficientes para continuar con su desarrollo, pero muchos de los proyectos nuevos de construcción estaban limitados por la deficiencia en el servicio de la AAA. En la Orden Ejecutiva número 97-270 se mencionó que había problemas crónicos en cuanto a escasez, poca presión y falta de agua potable (Municipio de Carolina, 1997a). La deficiencia en el servicio de agua potable iba en aumento por el crecimiento urbano, el desplazamiento a la zona rural, el desarrollo del Municipio y la incapacidad de la AAA de satisfacer la creciente demanda de agua potable.

Habían transcurrido muchos años, durante los cuales varios sectores del área rural no recibían la presión de agua potable de manera constante y la forma en que el Municipio podía resolver la situación era enviando camiones cisternas a esos sectores. Además, para la década de los 90 se habían formado varios movimientos que le exigían al gobierno el servicio de agua potable. El Movimiento Agua pa'l Campo era uno de ellos y estaba formado por residentes del barrio Cubuy de Canóvanas cansados de las deficiencias en el servicio de agua (Ruiz, 1999). Luego de pasar 45 días consecutivos sin el servicio los vecinos de la comunidad decidieron demandar a la AAA para que se mejorara la infraestructura y el servicio de agua. Los resultados de la demanda fueron positivos, ya que se le exigió a la AAA que cumplieran con los reclamos de movimiento. Algunos barrios del Municipio de Carolina reciben el servicio de agua potable del sistema de la AAA que se ubica en el Municipio de Canóvanas, así que resultaron favorecidos con los resultados de la demanda.

Rodríguez Martínez et al., (2002) en el estudio de la USGS realizado en cooperación con el Municipio Autónomo de Carolina mencionaron que en este municipio se recibe agua potable de la Planta de Filtración Sergio Cuevas. Los autores mencionan

que para el 1994 hubo una deficiencia en el suplido de agua potable debido a que los años 1993 y 1994 no produjeron la cantidad de lluvia necesaria para sustentar la reserva del embalse Loíza, que suple la planta Sergio Cuevas. Debido a la reducción en el nivel de agua en el embalse fue necesario implementar un racionamiento en las áreas servidas por la Planta de Filtración Sergio Cuevas por un periodo de 136 días, comenzando el 7 de mayo de 1994 y terminando el 19 de septiembre de 1994.

La experiencia del racionamiento llevó a las autoridades del Municipio de Carolina a desarrollar una estrategia para aumentar las fuentes de suplido de agua potable, a fin de mejorar la confiabilidad de los servicios a las comunidades rurales y aumentar la distribución durante periodos de sequia. Con la creación del Acueducto Municipal se aseguró el agua para el municipio y el desarrollo que ha podido llevarse a cabo (Municipio de Carolina, 2001). Se construyó un sistema de tratamiento de agua potable en el Bo. Trujillo Abajo que le inyecta 2 MGD de agua potable a las tuberías construidas por la AAA, luego de la demanda del Movimiento Agua pa'l Campo, para llevar agua potable al sector rural, y dos sistemas de tratamiento en el barrio Barrazas; uno de agua potable y el otro de aguas usadas. Este estudio se enfocará en los sistemas descentralizados del barrio Barrazas.

Los sistemas de tratamiento de agua potable y aguas usadas del barrio Barrazas del Municipio de Carolina pueden clasificarse como sistemas descentralizados, ya que el tratamiento de las aguas ocurre cerca de la población a servirse. Estos sistemas le sirven a un complejo de apartamentos tipo walkup. Este proyecto de vivienda compacto está compuesto de 168 apartamentos, 155 se encuentran habitados en la actualidad. Los sistemas de tratamiento han permitido además que se desarrollen otros proyectos en el área del campo. El Centro de Servicios Municipales, el parque acuático Aquasol, un

centro comunal, una sala de urgencias, un Head Start, un centro de envejecientes y un oasis, son los proyectos que se han desarrollado gracias a la existencia de los sistemas de tratamiento de Barrazas. Además, se está finalizando la construcción de un supermercado que se estará sirviendo de los sistemas. Gracias a este desarrollo rural las personas de la comunidad rural tienen accesibles servicios esenciales y actividades recreativas. Ambos sistemas son monitoreados de forma continua; son muestreados por un laboratorio certificado para su cumplimiento con los reglamentos y permisos de las agencias estatales y federales.

El Acueducto Municipal de Carolina (s.f) mencionó, que el sistema de alcantarillado en las zonas rurales de la Isla es limitado, por lo tanto al momento de desarrollar el complejo de viviendas se tenían 2 opciones, optar por el diseño de un pozo séptico o proveer al complejo con un sistema de tratamiento de aguas usadas. Se determinó que la construcción de la PTAU era lo más apropiado, ya que se estaban contemplando otros proyectos futuros para el área. La planta tiene la capacidad de tratar 99,000 galones de aguas residuales por día pero en la actualidad opera a 1/3 parte de su capacidad. Las aguas residuales del complejo de viviendas y de los otros proyectos, son recolectadas por un sistema de alcantarillado que recorre una corta distancia para llegar a la PTAU. El tratamiento comienza cuando las aguas pasan por un triturador para reducir el tamaño del material sólido que entra al sistema. Luego el agua pasa por 8 tanques de aereación (TA) acomodados de forma consecutiva, donde se reduce de manera significativa la materia orgánica por acción de microorganismos. En el TA # 8 se le inyecta alumbre al agua para el control de los parámetros fosforo total y turbidez. En el siguiente paso el agua que sale de los TA pasa por 4 clarificadores donde el lodo que se va al fondo puede recircularse al primer TA o ser bombeado al digestor. Luego del

proceso de clarificación, el agua pasa por un filtro de arena para finalmente ser clorada y descargarse en la quebrada. Los lodos se almacenan en un digester y son transportados por un camión tanque del Municipio a la planta de tratamiento primario de Puerto Nuevo (ver figura 1). Este sistema descentralizado depende de ese sistema centralizado para el manejo de los lodos.

En SD el agua es extraída por 6 pozos subterráneos, luego se pasa a través de 3 filtros de arena y clorada para pasar al tanque de distribución que tiene capacidad de almacena 200,000 galones de agua potable. Al final el agua es distribuida a la comunidad, oficinas gubernamentales y comercios que se benefician con sus servicios (ver figura 2). Este sistema incluye un oasis donde la comunidad puede llenar envases o cisternas las 24 horas del día en el oasis o recibirla de camiones cisternas del Municipio. De este oasis se benefician habitantes de ciertos barrios de los municipios limítrofes, Canóvanas, Trujillo Alto, Gurabo y Juncos.

Tratamiento de agua potable y usada

En Puerto Rico se ha despertado el interés en el tema de calidad en los servicios de agua potable y usada debido al brote de Cólera que ha estado ocurriendo en Haití desde octubre 2010. Esta enfermedad es ocasionada por la bacteria *Vibrio cholerae* y uno de sus síntomas principales es la diarrea que puede llevar a una deshidratación rápida.

Según Centers for Disease Control and Prevention (CDC, por sus siglas en ingles), (2011) este brote comenzó 10 meses después del terremoto del 2010 y ya ha ocasionado 6,631 muertes. Diferentes medios noticiosos han reportado que los responsables del brote fue un batallón procedente de Nepal que llegó al país para prestar ayuda luego del terremoto. La falta de saneamiento e infraestructura sanitaria ocasiono que la enfermedad se esparciera rápido. Se han reportado 400 casos del cólera en el país vecino República

Dominicana, 1 caso en el estado de la Florida y 300 casos en Venezuela. Los casos de Florida y Venezuela se detectaron en personas que viajaron a República Dominicana. La cercanía de la localización de Haití y República Dominicana a Puerto Rico ha levantado en alerta en la Isla, ya que muchos puertorriqueños viajan hacia allá y dominicanos entran a nuestro territorio con documentos o sin ellos.

Servicio de tratamiento de aguas residuales

Cuando se trata de las aguas residuales, varias publicaciones mencionan el problema que existe con su manejo en las zonas rurales. Aún en los países con más recursos económicos existe un número significativo de viviendas que no están conectadas a servicios de alcantarillado sanitario. En la mayoría de los casos esto ocurre debido a que las comunidades se encuentran muy distantes de los sistemas centrales de tratamiento de aguas usadas o porque la conexión a un sistema existente puede ser muy costosa y estar acompañada de serios impactos ambientales (Bourgeois, Guilleminot, Scheer, Sykora, 2009). Valencia et al. (2010) explicaron que muchas veces por razones económicas o topográficas se hace imposible la construcción de sistemas de alcantarillados sanitarios en los sectores rurales. En su artículo se menciona que muchas veces esos efluentes son dispuestos al ambiente sin ningún tratamiento, debido a la baja inversión en proyectos de saneamiento básicos, lo que resulta en problemas a la salud pública y de contaminación general. Además, los autores explican que el método de tratamiento descentralizado común que se utiliza en los sectores rurales son los pozos sépticos. Los investigadores concluyen que con la operación de sistemas descentralizados para el tratamiento de aguas residuales se reduce la contaminación de cuerpos de agua. Ellos explican que para que estos sistemas cumplan sus objetivos requieren seguimiento a la operación y mantenimiento para mantener su eficacia.

Soderberg (2008) expuso en una publicación que en Puerto Rico, aproximadamente 1,800,000 habitantes descargan las aguas residuales sin tratamiento a cuerpos de agua o a través de pozos sépticos. Menciona además que la mayoría de los pozos sépticos no tienen una ubicación o construcción adecuada, por lo tanto sus aguas terminan infiltrándose a cuerpos de agua subterráneos o desbordándose. Estas descargas en combinación con las de algunas vaquerías, porquerizas y granjas avícolas, en las que no se le da tratamiento a los desechos de animales, pueden contaminar cuerpos de aguas superficiales. Según el autor el 70% del agua que se consume se extrae de aguas superficiales y el otro 30% de aguas subterráneas.

Según Quiñones (2012) no fue hasta finales del 2010 que se reglamentó el diseño y la construcción de los pozos sépticos. Un 96 % de los pozos sépticos de Puerto Rico no están reglamentados y representan una descarga al ambiente de 165 millones de galones por día. El autor menciona que los pozos sépticos tienen un gran potencial de contaminación, dada su dispersión, su diseño y al volumen de aguas usadas que descargan al ambiente. Quiñones (2012) mencionó que los efectos adversos de los pozos sépticos a los cuerpos de agua se deben a que los servicios de alcantarillado sanitario de la AAA no se extienden a las zonas donde se encuentran las cabeceras de las cuencas hidrológicas más importantes y las que nutren los acuíferos principales. Según el autor la USGS realizó unos estudios en Manatí, Salinas e Isabela y se encontraron contaminantes provenientes de las aguas usadas de sectores rurales donde abundan pozos sépticos. Algunos de los contaminantes que se encontraron fueron nitratos, fosfatos y compuestos orgánicos que son utilizados para limpieza y mantenimiento. Además, como se mencionó en el capítulo anterior, Rodríguez Martínez et al. (2002) y el Municipio Autónomo de

Carolina (2003) publicaron resultados de unos estudios que se realizaron y se presenta una situación similar en los cuerpos de aguas superficiales de la zona rural del Municipio.

Sharma et al (2010) mencionaron en su artículo que cuando los sistemas sépticos deficientes se encuentran cercanos a cursos de aguas naturales o a reservas ambientalmente sensitivas pueden generar degradación ambiental. En el artículo también mencionó que pueden ser de riesgo para la salud pública y el ambiente. Schramm (2011) informaron que las aguas que desbordan de tanques sépticos pueden drenarse a las aguas subterráneas de manera descontrolada. En el artículo se explicó que este método de saneamiento descentralizado, ya no provee un método efectivo para la limpieza de aguas domesticas. En el caso de que se decidiera extender el sistema de alcantarillado sanitario a sectores rurales, varios autores exponen los aspectos limitantes o perjudiciales de hacerlo. Torres (2012) menciona que entre los aspectos limitantes se encuentra que las líneas de alcantarillado sanitario pueden presentar fugas de aguas sin tratar lo que puede ocasionar la contaminación del suelo y cuerpos de aguas. Este autor también menciona el problema de infiltración de agua pluvial lo que cual diluye las aguas residuales y hace que su tratamiento sea más complejo.

La EPA (2005) definió a los sistemas descentralizados como una variedad de enfoques para la recolección, tratamiento y dispersión o reutilización de aguas residuales de viviendas individuales, industrias o instituciones, agrupaciones de hogares o empresas, o de una comunidad completa. En la publicación se explica que estos sistemas pueden ir desde opciones de tratamientos simple o pasivos con dispersión al suelo, como los pozos sépticos, hasta enfoques más complejos y mecanizados como unidades de tratamiento avanzadas que recolectan y le dan tratamiento a aguas residuales procedentes de múltiples edificios y que descarga a aguas superficiales o al terreno. Además, la EPA menciona que

estos sistemas son instalados en el punto o cerca de donde se generan las aguas residuales y en los casos donde se descarga el agua tratada a alguna superficie (agua o terreno) se requiere un permiso bajo el programa NPDES. En la publicación se informa que cuando el diseño, mantenimiento y operación de estos sistemas descentralizados es hecho de manera correcta pueden ofrecer beneficios óptimos. Se explica que pueden servir en una variedad de escalas, que incluyen viviendas individuales, negocios o comunidades pequeñas. Además, el tratamiento lleva el agua residual a niveles que protegen la salud pública, la calidad del agua y que cumplen con los códigos estatales y municipales. Estos sistemas trabajan adecuadamente en sectores rurales, suburbanos y urbanos. Entre los beneficios que generan están los económicos ya que se reducen los costos de construcción, operación, mantenimiento y promueve la creación de empleos. Otro beneficio que se obtiene es que los sistemas descentralizados pueden ser sustentables, ya que benefician la calidad y disponibilidad del agua, se utilizan sabiamente la energía y los terrenos mientras se responde al crecimiento y se preserva el espacio verde. Estos sistemas pueden ser seguros en la protección ambiental, que incluye la salud pública y en la calidad del agua. La salud de la comunidad se protege al reducirse los contaminantes y nutrientes. Tchobanoglous (2003) aseveró en una publicación que no se le ha dado la atención que merecen a los sistemas descentralizados ya que estos pueden jugar un rol importante en la protección de la salud pública y el ambiente.

Servicio de tratamiento de agua potable

En nuestra Isla existen unas 240 comunidades que no reciben servicios de la AAA y según indicaron Martí et al. (2004) son servidas por sistemas de acueductos independientes. Los autores explicaron que en un principio la AAA entendió que no era viable extender sus servicios a poblaciones aisladas. Soderberg (2008) mencionó que

estos sistemas de tratamientos suelen ser rudimentarios y que son operados por las mismas comunidades. El autor indicó además que no se le da el tratamiento y el monitoreo adecuado. Según el CDC y el US Department of Housing and Urban Development (2006), el 15% de la población de Estados Unidos no está servida por sistemas públicos de agua potable aprobados por las entidades gubernamentales. En el manual se menciona que esas comunidades utilizan pozos y sistemas de agua potable pequeños que no están cubiertos por el SDWA, que no suelen ser muestreados y que pueden estar contaminados.

Según Quiñones (2013), la USGS mantiene un rastreo de la cantidad de agua que se utiliza en Puerto Rico y aproximadamente se extraen 725 MGD de agua para potabilizar incluyendo las extracciones comunales. El 80% de esta cantidad de agua se extrae de cuerpos de aguas superficiales y el otro 20% de aguas subterráneas. Según la EPA (2009), muchos sistemas de aguas subterráneas pueden cumplir con los requisitos federales sin la aplicación de algún tratamiento, mientras que en otros es necesaria la añadidura de cloro y tratamiento adicional. En esta publicación también se menciona que en el caso de las aguas superficiales, estas suelen contaminarse con facilidad, ya que están expuestas a escorrentías y la atmósfera. Es decir, que en las aguas superficiales puede ser necesario un mayor tratamiento, contrario al caso de las aguas subterráneas. La EPA explica en el documento que para la distribución del agua a su destino es necesaria una red de tubería por debajo de la tierra. Cuando se trata de sistemas de tratamiento de agua pequeños esta distribución es sencilla. En sistemas de agua potable extensos la distribución es más compleja, con tuberías que recorren largas distancias y que suplen a muchos miles de personas. En la publicación se menciona que el agua puede salir pura de la planta de tratamiento, pero es necesario asegurarse que esta no se contamine en el

sistema de distribución. Esta contaminación puede ser ocasionada por roturas en las líneas de distribución, por problemas con la presión de agua e infiltración de agua externa o por el crecimiento de microorganismos.

Según lo evaluado de estas publicaciones, el Sistema Dual puede constituir una solución a los problemas en la distribución de agua potable en la zona rural y reduce los riesgos que se enfrentan con los sistemas centralizados de tratamiento de agua. Este sistema extrae agua subterránea, que tiende a ser más limpia que las aguas superficiales, lo cual permite un tratamiento simple de la misma. Además, se reducen los riesgos de que el agua se contamine al salir de la planta, ya que el sistema de distribución recorre una corta distancia hasta la comunidad a servirse.

Desarrollo compacto y desparramado

Cuando hablamos de crecimiento desparramado nos referimos a la construcción de viviendas y comercios de manera dispersa. En Puerto Rico este tipo de uso del suelo se lleva a cabo con la construcción de urbanizaciones residenciales o de casas unifamiliares privadas. Un término que se utiliza con frecuencia relacionado al crecimiento desparramado es el de desparramamiento urbano. Al construir casas desparramadas se ocupa más cantidad de terreno y obligamos a extender la infraestructura y comercios más alejados del casco urbano.

El crecimiento compacto se refiere a la construcción de viviendas multifamiliares, walkups o condominios. En este tipo de urbanización se obtiene mayor densidad de viviendas y comercios ocupando menor espacio al que se ocuparía con el crecimiento desparramado. Molini & Salgado (2012) se refirieron a ambos tipos de crecimiento como ciudad compacta y dispersa.

Estos autores realizaron un análisis de la bibliografía científica relacionada a los impactos ambientales de ambos tipos de crecimiento y llegaron a la conclusión que en las ciudades compactas hay un menor impacto ambiental. En el estudio se evaluaron 54 artículos y los autores de la mayoría de ellos, llegaron a la conclusión de que la ciudad compacta es más favorable para el ambiente. En el documento se discute el impacto sobre el uso del suelo y se explica que con el desarrollo compacto, en la mayoría de las ocasiones, se usa menor cantidad de terreno. El menor uso del terreno reduce la presión sobre la naturaleza y los espacios agrarios, lo cual facilitará los proyectos de las generaciones futuras. Los autores plantearon que es importante ser más racional con el uso del terreno, ya que es un bien limitado, escaso, difícil y costoso de renovar.

Otro impacto que se menciona en la investigación es el uso de energía. Las familias de viviendas unifamiliares consumen más energía y una de las razones que se encuentra es que muchas veces estas tienen mayor tamaño que las de un complejo compacto. Además, en el proceso de construcción de los proyectos de vivienda, la energía consumida por metro cuadrado construido es mayor en proyectos desparramados. El uso energético es mayor en el crecimiento desparramado cuando este se extiende hacia zonas rurales distantes, ya que se hace indispensable el uso de vehículos de motor. En este caso, para que el impacto al ambiente sea mucho menor con relación al consumo de energía el desarrollo compacto debe concentrarse en las áreas urbanas donde trabajan la mayoría de las personas y se encuentran los comercios.

Al problema que existe en Puerto Rico con el desparrame urbano se le suma que en muchos municipios no se ha creado un tipo de transportación colectiva eficiente y cada día más personas dependen de un vehículo privado. Resnik (2010) mencionó en su artículo que la dependencia del uso de automóviles también reduce la oportunidad de las

personas de caminar o ir en bicicleta a trabajar y estudiar, lo que puede ser beneficioso para la salud.

Molini & Salgado (2012) además discutieron los impactos sobre el consumo de agua y concluyen que en las viviendas unifamiliares desparramadas por lo general es mayor, por el consumo de agua puertas afuera de la vivienda. En resumen, los autores mencionan que las consecuencias ambientales negativas del crecimiento desparramado son: la contaminación de aire (ocasionada por una mayor dependencia de automóviles), la contaminación del agua (por el aumento en la superficie impermeable), daño a áreas ambientales sensibles, reducción de espacio libre, aumento de riesgo de inundaciones y disminución generalizada de calidad de vida.

Resnik (2010) mencionó que con el desparrame urbano se puede reducir la calidad del agua al aumentar la escorrentía que puede transportar contaminantes a los cuerpos de aguas. El autor menciona que la contaminación acuática está asociada con diversos problemas de salud en los que se incluyen enfermedades gastrointestinales, del hígado y cáncer. En el artículo además, se le añadió a la lista de impactos al ambiente, la deforestación y la perturbación del hábitat de la vida silvestre. Se señala que el crecimiento inteligente aparenta ser una alternativa al desparrame urbano que pudiera beneficiar la salud pública y al ambiente general. Este tipo de crecimiento consiste en un patrón de crecimiento urbano caracterizado por una alta densidad poblacional, vecindarios caminables o que se pueden recorrer en bicicleta, espacios verdes preservados, desarrollo de usos mixtos (proyectos que incluyen usos residenciales y comerciales), disponibilidad de transportación colectiva y construcción limitada de carreteras.

Resnik (2010) discutió que existe oposición y controversia que hacen la implantación del crecimiento inteligente difícil. Entre las objeciones que se mencionan se encuentra que el crecimiento inteligente puede reducir el valor de la propiedad, la disponibilidad de viviendas a bajo costo, restringir el uso de terreno de los dueños de propiedad, alterar comunidades existentes y que puede hasta incluso aumentar el desparrame. El autor sugirió al final del artículo, utilizar la democracia deliberativa, donde se resuelven políticas públicas controversiales con el debate y voto de los ciudadanos, como una opción eficiente para resolver asuntos de planificación urbana.

Vásquez, Romero, Fuentes, López y Sandoval (2008) realizaron un estudio del crecimiento urbano en Chile y expusieron que los efectos al ambiente de la urbanización son: Cambio climático urbano y pérdida de la calidad del aire por emanaciones descontroladas de contaminantes atmosféricos, daños a la cubierta vegetal (terrenos de cultivo, áreas naturales y humedales), pérdida de servicios naturales y de la calidad de los paisajes en el interior y en los alrededores de las ciudades, pérdida de biodiversidad y daños a hábitats, corredores y parches de vida silvestre, etc.

Es evidente que el desparrame urbano ha ocasionado impactos negativos en el ámbito mundial y local que son en su mayoría irreversibles. Soto (2009) mencionó en un artículo que el crecimiento en centros densos (compactos) resultaría en la utilización de menos recursos, en menor desplazamiento de personas y a la vez en la generación de economías para todos a la larga. Este autor discutió en su artículo los 7 fracasos del desparrame urbano en Puerto Rico y comenzó mencionando la conversión de tierras agrícolas en urbanizaciones residenciales.

En el siglo pasado la agricultura de la Isla se vio afectada por la industrialización y por la búsqueda de lo que se denominó progreso. El autor mencionó que el error

consistió en que no se guardaron esos terrenos agrícolas como zonas de bosques y se desarrollaron como comunidades esparcidas. Otros fracasos que se mencionaron son la construcción en zonas inundables y la construcción de viviendas unifamiliares en parcelas; en éstas se ocupa más espacio del planificado para albergar más personas del mismo núcleo familiar.

Además, se discutió la promoción del uso de rejas y portones. El autor lo criticó, ya que se afecta el entorno y la calidad estética y se aleja a las personas del espacio público, convirtiéndolo en un lugar carente de pertenencia. Lo que esto significa es que las personas viven sin importarles lo que pasa afuera de su área de pertenencia. El autor mencionó, al igual que los otros autores antes citados, la dependencia del automóvil. Puerto Rico, gracias al desparrame urbano, se ha hecho dependiente del uso de vehículos privados. Se mencionó además la falta de ejecución y fiscalización en la planificación y reglamentación. El artículo menciona que la reglamentación existe, pero que el problema consiste en que muchas veces se ignoran y que las agencias no se están asegurando de que se cumpla con las mismas.

El último fracaso que se discutió en el artículo es la proliferación de las urbanizaciones privadas con acceso controlado. Se mencionó que es conveniente para el gobierno que se desarrollen estas urbanizaciones, ya que internamente se encargan de todos sus asuntos (seguridad, infraestructura, etc.) de manera independiente. El autor lo criticó, ya que estas comunidades privadas viven desconectadas muchas veces del mundo exterior, reducen la convivencia vecinal y dan paso a la segregación de las clases sociales.

Se han evaluado y en algunos casos aprobado leyes y reglamentos para poder establecer un control del desparrame urbano. Un ejemplo es la Ley para el Desarrollo Inteligente de la Infraestructura de 29 de septiembre de 2012. Se aprobó buscando una

alternativa a este problema a través del crecimiento inteligente (Estado Libre Asociado de Puerto Rico, 2009). Algunos de los principios básicos de este tipo de crecimiento son: combinación del uso de terrenos, incentivos a diseños de edificación compacta, gama ampliada de viviendas, creación de comunidades peatonales, conservación de espacios abiertos, de terrenos agrícolas, de belleza natural y áreas críticas para otras especies, proveer opciones de transportación colectiva, etc.

Comparación de los sistemas de tratamiento descentralizados con los centralizados

Los sistemas descentralizados incluyen desde tratamiento in situ (pozos sépticos) hasta sistemas clúster o de racimo que le dan tratamiento a una porción de la comunidad. Cuando se trata de sistemas centralizados encontramos el sistema que le da tratamiento a aguas de una comunidad completa y los sistemas regionales que le dan tratamiento a aguas de dos o más comunidades (O' Callaghan, 2008). La Figura 3 muestra la comparación entre sistema de tratamiento centralizado y descentralizado.

Este autor mencionó en su artículo, cinco ventajas que tienen los sistemas descentralizados en comparación con los centralizados. O' Callaghan (2008) comenzó explicando que los sistemas descentralizados permiten la construcción de capacidad al momento. Con esto el autor se refirió a que los sistemas centralizados muchas veces son construidos con una capacidad disponible para acomodar el crecimiento urbano que se da con el tiempo mientras que los descentralizados, gracias a su menor tamaño, permiten una mejor adaptación de la capacidad a la demanda del crecimiento actual. Esto muchas veces resulta en sistemas centralizados que trabajan por encima o por debajo de su capacidad de diseño.

El autor mencionó que entre los beneficios están que se aplacen los costos de capital de la capacidad futura. Cada sistema descentralizado individual es un proyecto

más pequeño que puede ser planificado e implantado en tiempos de entrega mucho más cortos de los que se requieren para la expansión de sistemas regionales. La necesidad de gestión en cada área puede ser considerada de forma independiente, y los costos de los sistemas de un área en particular se pueden asignar con más facilidad a la actividad que genera la demanda.

Un sistema descentralizado puede ser ampliado mediante más centros de tratamiento, en lugar de dirigir flujos cada vez mayores a la planta centralizada, y por lo tanto la mejora de las líneas para aumentar la capacidad no es requerida. Otra ventaja que se menciona en el artículo es que se mantiene el agua dentro de las cuencas, por lo que puede ayudar a manejar el ciclo hidrológico dentro de éstas. Además se puede reducir el impacto de la extracción sobre los acuíferos a través de la infiltración a alcantarillas con fugas, proveyendo de esta forma más agua subterránea para alimentar corrientes y ríos en la cuenca.

O' Callaghan (2008) mencionó que se hace más fácil evaluar opciones para el re uso del agua ya que el agua tratada está cerca del punto de re uso. Esto es un componente de la próxima ventaja que se discute, ya que facilita la conservación y el re uso del agua. Se menciona que en los sistemas descentralizados muchas veces se utilizan líneas bombeadas de pequeño diámetro y que contrario al alcantarillado por gravedad, el sistema puede adaptarse a cualquier nivel de conservación de agua sin el problema de que las alcantarillas se bloqueen debido a un volumen de descarga inadecuado.

Los sistemas descentralizados proveen la oportunidad de re uso a menor costo del agua dentro de las cuencas individuales. Esto significa que como los sistemas están cercanos al punto de servicio lo están también cerca del punto de re uso, por ende se reducen los gastos en comparación con un sistema centralizado que para el re uso del

agua tratada se tendría que incurrir en gastos para llevar el agua al punto de uso. Además, O' Callaghan (2008) mencionó, que se conserva el agua dentro de cuencas individuales, lo que significa que se pueden recargar diversos acuíferos con el agua tratada. En los sistemas centralizados solo se beneficia un cuerpo de agua con la descarga de agua tratada que puede servir de recarga para acuíferos que puedan ser afectados ya sea por sequías o por sobre extracción de agua.

La cuarta ventaja que O' Callaghan (2008) mencionó en el documento es que los sistemas descentralizados evitan fallas catastróficas. Cuando las cosas van mal en un sistema centralizado pueden ir mal en gran manera. Por ejemplo emanaciones de sustancias con olores con mayor impacto en el medio receptor. En caso de derrames o desbordamientos y muchas veces las fallas mecánicas son a gran escala. La fundación AGUATUYA (2011) de Bolivia en una publicación mencionó que como resultado de huracanes, terremotos e inundaciones el riesgo de daño ambiental es mayor si una planta centralizada deja de funcionar, ya que es mayor la cantidad de aguas usadas sin tratamiento. Con los sistemas descentralizados el riesgo en caso de catástrofes se encuentra más distribuido

O' Callaghan (2008) como ultima ventaja mencionó que se reducen los costos y los problemas asociados con la conducción típicos de una instalación centralizada. Se concluye que los sistemas descentralizados son más económicos que los centralizados. En los sistemas centralizados el 80% o más de los costos son utilizados en los sistemas de recolección. Estos costos se reducen en los sistemas descentralizados ya que minimizan las estaciones de bombeo y se eliminan los grandes conductos principales. Debido a que las tuberías o sistemas de colección son de menor tamaño en el momento de la construcción es menor la interrupción al público, lo que constituye un beneficio social. El

autor mencionó que muchas veces los alcantarillados de sistemas centralizados sufren roturas y se descargan aguas usadas al ambiente o que el agua de los acuíferos se infiltre a las alcantarillas lo que ocasiona una sobrecarga hidráulica en los sistemas o peor aún se pierda agua de las cuencas y acuíferos. O' Callaghan (2008) para culminar este artículo mencionó que los sistemas descentralizados poseen algunas desventajas también, y que la solución correcta es tener una combinación de sistemas de tratamiento centralizados y descentralizados.

En otro artículo Kamal, Goyer, Koottatep & Amin (2008) mencionaron que los sistemas centralizados de tratamiento de agua muchas veces no son viables para áreas peri urbanas ya que es típico que las viviendas estén esparcidas, lo que resulta en altos costos de construcción de infraestructura y mantenimiento para sistemas de manejo de aguas residuales. Según el documento, además de la reducción de costos que se obtienen con los sistemas descentralizados, estos crean menor perturbación durante su instalación. Por último en el artículo se menciona el alto potencial de re uso del efluente de estos sistemas para la agricultura y acuicultura que a la misma vez crea oportunidades de empleo y de generación de ingresos.

En otro documento que fue evaluado Sharma, Tjandraatmadja, Cook & Gardner (2013), hicieron una comparación entre los sistemas centralizados y los descentralizados. En el artículo se mencionó que los sistemas centralizados otorgan beneficios a la sociedad actual por el suministro infalible de agua, la mejora de la salud pública a través de la eliminación y el tratamiento de las aguas residuales y el control de las inundaciones.

Según la investigación, los sistemas centralizados no siempre son la solución más sostenible, ya que en este modelo se realiza una transferencia masiva de agua dulce y una disposición masiva de aguas residuales. Además con los sistemas centralizados se

reducen las oportunidades de re uso de agua. Sharma et al. (2013) además hicieron una lista de las ventajas de los sistemas descentralizados en las que se incluye: Mejoran la oportunidad de recuperar agua, nutrientes y energía, reducen la demanda de recursos de agua dulce mediante el uso de agua que no es potable, alivian las restricciones de capacidad en infraestructura de agua centralizada, reducen la descarga de contaminantes a aguas receptoras, proporcionan múltiples beneficios tales como la mejora del funcionamiento ecológico y amenidad del paisaje, pueden ser configurados a las oportunidades y limitaciones del entorno en desarrollo.

Estudios de casos

En una publicación la EPA (2005) presenta varios ejemplos de sistemas descentralizados en Estados Unidos que han demostrado ser una solución a los problemas de manejo de las aguas residuales.

Loudoun County, VA

Loudoun County, Virginia es un suburbio de Washington, D.C. donde según la EPA (2005) se adoptó una medida para el manejo integrado de las aguas residuales que incluye una planta de tratamiento centralizado, una instalación satélite de reclamación de agua y varios complejos comunales pequeños. Esto le permite al condado mantener su carácter rural y la creación de un sistema en el cual el crecimiento se autofinancia. Los constructores diseñan y construyen sistemas de tratamientos que cumplen con las normas del condado y luego transfieren sin costo la propiedad a Loudoun Water para que continúe con su operación y mantenimiento. Este método es auto sustentable por medio de tarifas que cubren los gastos.

Mobile, AL

La EPA (2005) explicó que en la ciudad de Mobile, Alabama se manejan 2 plantas centralizadas y más de 15 sistemas satélites que le sirven a propiedades residenciales, comerciales y a escuelas. Además, hay un proyecto de demostración donde se provee el agua recolectada y tratada para el riego de jardines. La autoridad de aguas de la ciudad decidió usar estos sistemas para los nuevos proyectos residenciales debido al crecimiento significativo y al envejecimiento de la infraestructura. De esa manera se mejora el servicio a los residentes, se provee una nueva fuente de negocios e ingresos y se protege la calidad del agua utilizando sistemas descentralizados operados de forma apropiada mientras se ahorra dinero al evitar las extensiones costosas del alcantarillado sanitario. Se le provee sistemas de tratamiento descentralizados a las áreas en crecimiento del condado de Mobile en las cuales el servicio de aguas residuales centralizado no está disponible o no es viable por razones económicas.

Shannock Woods Cluster Subdivison, RI

Esta comunidad de Rhode Island utiliza un sistema clúster con capacidad de tratamiento de 7,200 galones por día de aguas residuales para 16 residencias (EPA, 2005). La decisión de utilizar este sistema en vez de instalar múltiples sistemas individuales permitió reducir la erosión del terreno, mantuvo la belleza escénica y protegió el agua potable que está localizada en una área de recarga de acuífero con una alta permeabilidad.

Caroline County, VA

A finales de los 90 en Virginia se detectaron problemas de salud en los residentes ocasionados por campos de drenaje con fallas o no fiables, debido a los suelos pobres de la zona. Se evaluaron opciones centralizadas, pero concluyeron que los sistemas descentralizados eran la mejor opción (EPA, 2005). Dentro de los siguientes 18 meses,

182 casas y negocios se conectaron al sistema descentralizado eliminando la dependencia a los sistemas sépticos convencionales y los riesgos a la salud de estos sistemas individuales fallidos.

Marco legal

Nuestra investigación está sustentada por un sinnúmero de leyes y reglamentos. Dentro de estas leyes, encontramos, leyes de Puerto Rico como la Ley Núm. 40 de 1 de mayo de 1945, según enmendada. Con esa ley se creó la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados de Puerto Rico (AAA). Tenemos además la Ley Núm. 142 de 1 mayo de 1950 que es la ley para el control de la contaminación del agua donde se expone que la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados forma parte de la junta consultiva para el control de la contaminación de aguas. Otra ley relacionada lo es la Ley Núm. 136 de 3 de junio de 1976, según enmendada. Esta ley es conocida como la Ley de aguas de Puerto Rico donde se indicó que la AAA formaría parte del Comité de Recursos de Aguas para asesorar o auxiliar al Secretario del DRNA. Estas leyes están relacionadas a nuestra investigación ya que los sistemas descentralizados del barrio Barrazas pueden ser utilizados como una solución al problema de pozos sépticos deficientes y a la limitación que posee la AAA para llevar los servicios de aguas a las zonas rurales de la Isla. Otra ley estatal lo es la Ley Núm. 53 de 13 de julio de 1978, según enmendada. Esta es la Ley para la Certificación de los Operadores de Plantas de Tratamiento de Agua Potable y de Aguas Usadas, relacionada a nuestro estudio ya que con la certificación de los operadores se buscaba proveer un tratamiento apropiado a las aguas para no afectar el ambiente y la salud humana. En la Ley Núm. 133 de 15 de julio de 1986, según enmendada se crea el Programa Estatal de Inspección y Reglamentación de Presas y Embalses. Esta ley aplica a nuestro estudio debido a que muchos de los sistemas centralizados de tratamiento de agua

potable que operan en Puerto Rico utilizan embalses o presas como fuentes de agua cruda para ser potabilizada. La Ley 81-1991, según enmendada es la Ley de Municipios Autónomos del Estado Libre Asociado de Puerto Rico de 1991. Gracias a esta ley el Municipio Autónomo de Carolina pudo crear el proyecto compacto del barrio Barrazas junto a sus sistemas descentralizados de tratamiento de aguas. Se encuentra además la Ley Núm. 49 de 4 de enero de 2003 donde se establece la prevención de inundaciones y la conservación de ríos y quebradas. Esa ley junto a la Ley Núm. 416 de 22 de septiembre de 2004 o Ley sobre Política Pública Ambiental están relacionadas ya que esta investigación se busca una alternativa para la protección ambiental. La Ley 550-2004, según enmendada es la Ley para el Plan de Usos de Terrenos donde se estableció que la AAA formaría parte del Comité Interagencial sobre el Plan de Usos de Terrenos de la Isla. Esa ley junto a la Ley Núm. 276 del 29 de septiembre de 2012, que es la Ley para el Desarrollo Inteligente de la Infraestructura aplican a nuestro estudio ya que se discuten los beneficios del desarrollo compacto realizado en el barrio Barrazas.

Dentro de las Leyes Federales podemos encontrar el Public Law 845 (33 USC 1251-1387). Este es el Clean Water Act donde se establece la estructura para reglamentar la descarga de contaminantes en las aguas de Estados Unidos y las normas de calidad para aguas superficiales. Esta ley se relaciona a nuestra investigación ya que dentro de la misma se establece el NPDES y todos los sistemas de tratamiento de aguas usadas de Puerto Rico deben cumplir con este permiso de descarga. También se encuentra el Public Law 93-523 (42 USC 3010 et seq). Este es el Safe Drinking Water Act que fue aprobado para proteger la calidad del agua potable y la salud en los Estados Unidos. Los sistemas de tratamiento de agua potable de Puerto Rico deben cumplir con esta ley.

En los reglamentos encontramos, el Reglamento de Puerto Rico sobre los Servicios de Agua y Alcantarillados que cumple con las disposiciones de la Ley de Acueductos y Alcantarillados. Dentro del mismo se exige que se facilite la provisión de los servicios públicos, que se protejan las fuentes de agua, el tratamiento del agua potable y usada, la protección de la salud pública y se establecen los derechos y obligaciones de los abonados y de la AAA. La AAA es la responsable de proveer los servicios de aguas en las zonas rurales de la isla. El Código sobre tomas o descargas clandestinas, hurto de agua, manipulación de contadores u otros accesorios propiedad de la AAA se aplica a nuestro estudio ya la descarga de aguas usadas sin el tratamiento apropiado representan una tipo de descarga clandestina. Se encuentra además, el Reglamento Conjunto de Permisos (Reglamento JP-31) de la Junta de Planificación adoptado el 7 de octubre del 2011 según enmendado. Requiere permisos para los pozos sépticos y establece normas para su construcción, operación, inspección y cierre. En este estudio se discute el problema de los pozos sépticos que operan de manera deficiente en la isla.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

En este estudio analizamos datos secundarios relacionados a los sistemas descentralizados de tratamiento de agua potable y usada de una comunidad rural compacta. La Planta de Tratamiento de Aguas Usadas (PTAU) y el Sistema Dual (SD) del barrio Barrazas de Carolina han estado en operación por 8 años y se han monitoreado de manera continua para asegurar su cumplimiento con las leyes y reglamentación de Puerto Rico y federal. Hemos estudiado la reducción de los impactos a la salud humana y resto del ambiente que se obtiene con la operación de estos sistemas de tratamiento en comparación con sistemas centralizados y pozos sépticos.

Área de estudio

Los sistemas de tratamiento de agua y el complejo de viviendas evaluados en este estudio se encuentran localizados en el área norte de Puerto Rico, en el barrio Barrazas del Municipio Autónomo de Carolina. En la Figura 4 se muestra la distancia desde Carolina pueblo hasta el complejo de viviendas. La PTAU se localiza en la carretera PR-853, km. 11.5 de dicho barrio y tiene la capacidad de tratar 99,000 galones de aguas usadas, pero opera una tercera parte de su capacidad. Este sistema descarga su efluente a una quebrada sin nombre que es tributaria al río Canovanillas. El SD se encuentra en la carretera PR-852 Int. 853 del barrio Barrazas y trata el agua cruda que proviene de 6 pozos subterráneos. Tiene la capacidad de tratar 200,000 galones de agua cruda y almacenarla como potable (Figura 5).

Objetivo 1: Evaluar los parámetros de calidad de agua que se muestrean en los 6 pozos subterráneos que suplen el sistema de tratamiento de agua potable y en los sistemas de tratamiento de agua.

Sistema de tratamiento de agua potable

- Estudiamos la calidad del agua cruda de los 6 pozos subterráneos desde el año 2009 al año 2012. Estos muestreos son realizados por el laboratorio certificado Eqlab contratado por el Municipio Autónomo de Carolina. Los parámetros que evaluamos fueron: sulfato, conductividad, calcio, hierro, magnesio, manganeso, potasio, alcalinidad, nitrato, carbono orgánico total, dureza, residuos filtrables, cloruro, sílice y pH. Estos muestreos y análisis se realizan como un requisito del permiso de extracción de agua subterránea del DRNA. La Tabla 1 incluye los parámetros junto a los métodos que se utilizan para analizarlos.
- Evaluamos los resultados de análisis de las muestras de parámetros de calidad del agua tratada en el sistema de agua potable, reglamentada por el Departamento de Salud, desde el año 2009 al año 2012. Estas muestras también fueron realizadas por el laboratorio certificado Eqlab.
- Los parámetros que evaluamos en el SD son: Bacteriología, turbiedad, trihalometanos, ácidos haloacéticos, plomo y cobre. La Tabla 2 incluye los parámetros junto a los métodos que se utilizaron para analizarlos.
- Estos datos fueron obtenidos por medio del Departamento de Acueducto Municipal de Carolina y fueron comparados con la reglamentación de la EPA, el DSPR y la JCA que son las agencias encargadas de fiscalizar los sistemas de tratamiento de agua potable.

Planta de tratamiento de aguas usadas

- Evaluamos los muestreos y análisis mensuales de parámetros del efluente de la PTAU, realizados por Eqlab, requisito del permiso de descarga NPDES, desde el año 2009 al año 2012.
- Los Parámetros que estudiamos fueron: Temperatura, turbiedad, color, oxígeno disuelto, BOD, pH, TSS, sólidos sedimentables, nitrato y nitrito, fósforo total, sulfuro total, flúor total, coliformes totales y fecales, surfactantes, cloro total, y amoníaco. En la Tabla 3 se incluyen los parámetros junto a los métodos que se utilizan en el laboratorio para analizarlos.
- Estos datos fueron obtenidos por medio del Departamento de Acueducto Municipal de Carolina. Recibimos los resultados de los análisis de laboratorio realizados por el laboratorio certificado Eqlab que son requeridos por reglamentación y el permiso de descarga de la Junta de Calidad Ambiental y la EPA, agencias encargadas de fiscalizar los sistemas de tratamiento de aguas usadas.
- Comparamos los resultados de los análisis de las muestras del agua tratada con el permiso NPDES de la EPA.

Objetivo 2: Comparar el crecimiento suburbano vertical con el desparramado y los sistemas centralizados con los descentralizados en cuanto a beneficios sociales y reducción de impactos ambientales.

- Realizamos visitas al área de estudio para evaluar el tipo de impacto que resulta con cada tipo de uso de suelos.
- Utilizamos reportes de la PTAU y la publicación de Quiñones (2012) para calcular cuánto sería la descarga a pozos sépticos, si se hubieran construido casas

individuales usando pozos sépticos como sistema de disposición de aguas residuales.

- Analizamos los datos más recientes del Departamento de Comercio de EU (2012) para saber las unidades de vivienda y la población que pueden estar haciendo descargas ilegales y por ende contaminar los cuerpos de agua y el suelo de ese sector rural.
- Evaluamos muestreos y análisis de agua realizados y revisamos publicaciones para encontrar datos referentes a la calidad de las aguas usadas que se generan en las casas. De esta manera se tendrá una idea del impacto en el ambiente del uso de pozos sépticos deficientes.
- Buscamos datos de la calidad del agua de la quebrada Maracuto, embalse Loiza y río Canovanillas, para hacer una comparación con la calidad de agua de los pozos subterráneos para determinar si el agua subterránea era una mejor opción para ser potabilizada.
- Revisamos registros del Departamento de Manejo de Emergencias y Administración de Desastres y del Departamento de Acueducto Municipal de Carolina para tener idea de los sectores y municipios limítrofes que se ven beneficiados con los servicios del Oasis del SD.
- Realizamos viajes de campo para encontrar las ventajas de los sistemas descentralizados en comparación con los centralizados.

Análisis de los datos

El diseño de este estudio es un análisis de datos secundarios, donde calculamos los promedios anuales, desde el año 2009 hasta el año 2012, de los resultados de los

muestreos del SD y la PTAU, realizados por Eqlab. Comparamos los promedios con las normas establecidas por la EPA para corroborar si los sistemas están en cumplimiento. Los seis pozos subterráneos que suplen al SD son muestreados una vez al año por Eqlab, los resultados de estos muestreos desde el año 2009 hasta el año 2012 fueron comparados con las normas establecidas por la EPA.

Realizamos cinco visitas al área de estudio para evaluar los impactos del desarrollo compacto, y desarrollo desparramado. Además se evaluaron las ventajas de los sistemas de tratamiento de aguas de Barrazas y las características de las aguas usadas domesticas. Visitamos las oficinas de la JCA para buscar los resultados de los muestreos más recientes de la USGS de río Canovanillas, quebrada Maracuto y embalse Loíza. Comparamos los resultados de los muestreos de estos cuerpos de agua superficial con los resultados de los muestreos de los seis pozos subterráneos y con las normas de la EPA. De los datos del Departamento de Comercio de EU (2012) obtuvimos la cantidad de unidades de viviendas de Barrazas y con los datos de la publicación de Quiñones (2012) calculamos la descarga a pozos sépticos del sector. Se utilizó el reporte de flujo del año 2012 de la PTAU y la publicación de Quiñones (2012) para calcular la descarga al sistema de tratamiento de aguas usadas por la comunidad rural compacta.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los sistemas descentralizados de tratamiento de agua potable y usada del barrio Barrazas fueron construidos como parte de un proyecto de desarrollo del área rural del Municipio de Carolina y han estado en operación durante 8 años. Ambos sistemas fueron evaluados para determinar si se obtiene reducción de efectos adversos a la salud y el ambiente, en comparación con otros sistemas o métodos de tratamiento de aguas que podían ser utilizados en ese tipo de proyecto.

Evaluación de parámetros de calidad de agua

En el Sistema Dual evaluamos los parámetros de calidad tanto del agua que entra al sistema, extraída por pozos subterráneos, como del agua tratada. Los datos de los seis pozos subterráneos fueron comparados con las normas de calidad establecidas por la EPA y JCA para este tipo de cuerpo de agua. Los parámetros del efluente del SD fueron comparados con la reglamentación de la EPA y el Departamento de Salud. Evaluamos los parámetros de calidad del efluente de la PTAU para compararlos con su permiso de descarga NPDES que es otorgado por la EPA. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Sistema Dual

El SD recibe su afluente de seis pozos subterráneos y el DRNA como parte de su permiso de extracción requiere que sean muestreados cada año. En ese permiso de extracción, además, se requiere el monitoreo de la cantidad de agua que es extraída; en el caso de los pozos del SD el permiso permite extraer hasta un máximo de 13,090,725

galones anuales. Es importante el monitoreo de la cantidad de extracción de agua para no afectar el nivel de saturación del acuífero.

Evaluamos los resultados de los análisis de las muestras anuales desde el 2009 hasta 2012 de los seis pozos subterráneos, los cuales se presentaron en las Tablas 4, 5, 6, 7, 8 y 9. Como podemos observar la EPA y la JCA no le han asignado un MCL a muchos de éstos parámetros del agua. Esto ocurre ya que por lo general sólo pueden ocasionar efectos cosméticos (descoloración de dientes o piel) o efectos estéticos (sabor, olor o color). Estos parámetros no presentan amenazas para la salud humana y la EPA no requiere que los sistemas cumplan con ellos (EPA, 2013b).

Si evaluamos los parámetros a los que si se le asigna un MCL podemos tener una idea de la calidad del agua extraída. Estos parámetros con MCL también son secundarios. Los resultados de los muestreos y análisis del agua de los pozos non ha excedido el MCL de 250 mg/l de sulfato en los años que se evaluaron. Otro parámetro que posee un MCL es el hierro, que es 0.3 mg/L; al evaluar la Tabla 4, solo fue superado en el pozo 1 para el año 2009. En los demás muestreos y análisis realizados para ese parámetro no se observaron excedencias si no que en la mayoría de ellos los resultados estaban por debajo del límite de detección.

En el caso de manganeso con un MCL de 0.05 mg/L si podemos observar que fue superado. El manganeso se encuentra en las aguas superficiales, pero es raro que sobrepase la concentración de 1 mg/L. En aguas subterráneas éste se puede encontrar en concentraciones más altas debido a las formaciones rocosas y la menor concentración de oxígeno. La concentración más alta 0.685 mg/L, se encontró en el pozo 1 en el año 2009, pero no es considerada dañina para la salud (Tabla 4). Los problemas principales que pueden ocasionar tanto el manganeso como el hierro es que pueden causar manchas en

ropa, platos, utensilios, accesorios de plomería y materiales o equipos que estén en contacto con el agua (National Environmental Services Center, 2010).

Al evaluar las Tablas 4,5,6,7,8 y 9 podemos observar que los pozos no han superado los parámetros de nitrato, sólidos disueltos totales y cloruro, los cuales tienen MCL's respectivos de 10 mg/L, 500 mg/L y 250 mg/L. En el caso del pH, según la EPA, las muestras deben estar entre el intervalo de 6.5 a 8.5 S.U. Sólo una muestra en el 2011 del pozo 6 estuvo por debajo de 6.5 S.U. con un pH de 6.33 S.U (Tabla 9). Este resultado no está muy por debajo del límite y no representa una amenaza para la salud, ya que los organismos vivos requieren un pH entre 6.0 y 9.0 S.U. Realizamos una comparación de los resultados por año en cada uno de los pozos y observamos que no han ocurrido cambios significativos en la calidad del agua. Ésta se ha mantenido estable. En el año 2012 el pozo 5 no fue muestreado, ya que estaba fuera de servicio (Tabla 8).

En la Tabla 10 se presentan los promedios anuales de los resultados de los muestreos del SD y los mismos cumplen en su totalidad con las normas establecidas por la EPA. Evaluamos los parámetros de los muestreos y análisis realizados por Eqlab durante los años 2009 hasta el 2012 y se encontró que ninguno de ellos excedía su MCL. El Acueducto Municipal de Carolina (2011) además reportó que en todo el año 2011 no se encontraron violaciones a nivel bacteriológico en el SD y que por lo tanto el tratamiento que se le realiza al agua es efectivo. Estos resultados se envían al Departamento de Salud, ya que es la agencia encargada de fiscalizar las operaciones de los sistemas de tratamiento de agua potable de la Isla y se asegura que estos sistemas cumplan con lo que establece la EPA para el cumplimiento con el SDWA.

En la Tabla 10 se observa que en el año 2012 no se tomaron muestras para los parámetros de plomo y cobre. Esto ocurrió debido a que el DSPR aprobó una reducción

de la frecuencia de esos muestreos y análisis ya que en 3 años no se excedieron las concentraciones para tomar acción de ambos parámetros. En el caso de coliformes totales la EPA establece que solo una muestra puede presentar coliformes totales y que cada muestra que resulte positiva para coliformes totales debe ser analizada para coliformes fecales también. Según los promedios anuales que se presentan en la Tabla 10, el SD no ha presentado en su efluente ni coliformes totales ni fecales.

Cuando evaluamos los trihalometanos y los ácidos haloacéticos totales, podemos observar que los promedios anuales cumplen con el MCL y que en ocasiones los resultados de los muestreos y análisis han estado por debajo de su límite de detección. El límite de detección de los trihalometanos totales es 0.0040 mg/L y el de ácidos haloacéticos totales es 0.0060 mg/L. Es de suma importancia que el Sistema Dual opere en óptimas condiciones y no se encuentren violaciones a los límites establecidos ya que se puede poner en riesgo la salud de la comunidad.

Planta de Tratamiento de Aguas Usadas

Al evaluar los muestreos y análisis mensuales de la PTAU desde el año 2009 hasta el año 2012, encontramos que el sistema cumplía con la mayoría de los límites del permiso NPDES de la EPA, establecidos para cumplir con el CWA. Cualquier violación a las condiciones del permiso de descarga puede conllevar penas criminales para los encargados de las instalaciones. En la Tabla 11 observamos los promedios anuales de todos los parámetros. El único parámetro que no estaba en cumplimiento con la reglamentación durante los años 2009 y 2010 fue el de cobre.

Según la Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR, por sus siglas en inglés), cuando el cobre es liberado al ambiente, se adhiere a partículas orgánicas e inorgánicas. (ATSDR, 2004). Este no se degrada si no que puede

pasar al aire, al agua y a los alimentos. La ASTDR, además, menciona que es necesario consumir pequeñas cantidades de cobre a diario, ya que es esencial para mantener la salud. El problema se produce cuando inhalamos o consumimos grandes cantidades de cobre, ya que ocasiona daños como irritación de las vías respiratorias, problemas estomacales, daños al hígado y riñones e incluso en casos extremos puede ocasionar la muerte.

Desde el año 2011 hasta el presente, el personal del Acueducto Municipal de Carolina logró controlar el parámetro de cobre cambiando el método de desinfección del efluente. La PTAU fue diseñada para utilizar tabletas de cloro para el proceso de desinfección pero se encontró que las mismas tenían altas concentraciones de cobre. El Municipio Autónomo de Carolina tomó las medidas necesarias y al presente se utiliza hipoclorito de sodio, dosificado en forma líquida y no afecta la concentración de cobre del efluente. En la Figura 6 se presenta la reducción del parámetro hasta llegar a cumplir con el nivel máximo de contaminante (MCL, por sus siglas en inglés) establecido por la EPA que es de 11 microgramos por litro (ug/L).

En el caso de los parámetros amoníaco y sólidos sedimentables, en el permiso de descarga no se le asigna ninguna limitación, pero aún así se exige que se monitoree. El amoníaco puede tener origen natural en pequeñas cantidades, pero no permanece por mucho tiempo en el ambiente ya que es incorporado bien rápido por los organismos vivos. Según la ATSDR (2004) solo altas concentraciones de amoníaco pueden ocasionar daños a estos organismos. Si observamos la Tabla 11 la cantidad de amoníaco descargada por la PTAU no supera los 20 mg/L. La EPA (2012) estableció que un humano puede consumir 30 mg/L de amoníaco en agua potable, en una exposición de por vida, sin producirse efectos adversos.

Los sólidos sedimentables son compuestos orgánicos o minerales que cuando se descargan al ambiente en cantidades excesivas pueden asentarse en el fondo de los cuerpos de agua afectando los organismos. A manera de ejemplo, pueden prevenir el desove de los peces (Foundation for Water Research, 2010). Cuando analizamos la Tabla 11 se observa que la PTAU no presenta una amenaza en relación a los sólidos sedimentables, ya que sus valores promedio siempre están por debajo del límite de detección que es 0.1 ml/L.

Cuando evaluamos el MCL de los coliformes totales y fecales se observa que es necesario calcular una media geométrica. En la PTAU esto se hace tomando 5 muestras representativas secuenciales del efluente y analizándolas. En el caso de los coliformes totales, ninguno de los promedios anuales excedía el MCL de 10,000 colonias/100 mL, y los promedios anuales de coliformes fecales no excedieron las 4,000 colonias/100 mL. Al presente la PTAU cumple con todos los estándares requeridos por el NPDES, por ende la descarga de su efluente a la quebrada tributaria del río Canovanillas no afecta de forma negativa la calidad de ese cuerpo de agua.

Comparación de los sistemas centralizados con los descentralizados

Realizamos visitas a proyectos de vivienda y evaluamos informes existentes relacionados con la operación de los sistemas de tratamiento de aguas, Recuento de unidades de vivienda 2010 y la calidad de agua de la quebrada Maracuto, río Canovanillas y embalse Loíza.

Impactos ambientales por desarrollo desparramado

Luego de realizar las visitas al área de estudio y comparar los impactos al ambiente obtenidos con ese tipo de desarrollo con los impactos del desarrollo desparramado, podemos comprobar lo mencionado en la revisión de publicaciones de esta

investigación. Autores como Molini & Salgado (2012), Resnik (2010) y Vásquez et al. (2008) concluyeron que en los desarrollos compactos hay menor impacto ambiental. Algunas de las razones que se presentan en sus publicaciones son el menor uso de suelo, energía y agua, lo que reduce la presión sobre la naturaleza y el uso de combustibles fósiles.

El desparrame urbano es ocasionado, muchas veces, porque las personas deciden alejarse de los centros urbanos para buscar la tranquilidad del campo. Cuando se construyen viviendas en las áreas rurales de Puerto Rico, a los impactos ambientales que se han mencionado se le añade la necesidad de proveer los servicios de agua potable y sanitario. Con el desparrame urbano se hace más difícil la provisión de esos servicios de agua a las zonas rurales. La solución común para el caso del agua potable es la instalación de cisternas con sistemas de bombeo para el suplido de agua en los momentos en que la presión de agua potable de la AAA no es suficiente. El servicio de alcantarillado sanitario, es en la práctica casi inexistente en el área rural. Al momento de construir las viviendas el método que se utiliza para la disposición de las aguas usadas es mediante el uso de pozos sépticos.

El problema de las cisternas es que si no se le da el mantenimiento correcto y se consume como si fuera potable el agua almacenada en ellas, puede ocasionar efectos adversos a la salud. Mientras que con los pozos sépticos, como ya hemos mencionado, el riesgo principal es la descarga de aguas usadas sin tratar al ambiente que contaminan cuerpos de aguas que puede ser utilizados para uso recreativo o como abasto de agua para su potabilización. Además del potencial de contaminación ambiental, se pone en riesgo la salud de la comunidad.

La construcción compacta del proyecto permitió reducir el impacto al ambiente típico ocasionado por el crecimiento desparramado. Este complejo encaja en la definición de crecimiento inteligente que fue descrita por Resnik (2010) y Soto (2009). Se solucionaron los problemas con las aguas usadas y de agua potable que existen en la mayoría de las viviendas rurales. Se extendieron hacia ese sector los servicios del SITRAC lo que redujo la dependencia de la comunidad del uso de automóviles y a la misma vez se redujo el consumo de energía y de emanaciones de contaminantes al aire.

Cálculo de cantidad de aguas usadas en proyecto de Barrazas

La AAA ha estimado que una familia de 4 personas puede generar unos 300 galones por día (GPD) de aguas usadas (Quiñones, 2012). Para calcular la cantidad aproximada que se generaría en el proyecto de viviendas rural se tendría que multiplicar los 300 GPD por los 168 apartamentos que componen el complejo de viviendas: $300 \text{ GPD} \times 168 \text{ apartamentos} = 50,400 \text{ GPD}$ de aguas usadas en la comunidad rural compacta.

En este cálculo no se toma en cuenta las aguas usadas generadas por el Centro de Servicios Municipales y las otras oficinas o comercios aledaños al complejo que también dirigen sus aguas a la PTAU. Si evaluamos la cantidad de agua que es tratada por la PTAU se puede tener una idea más específica de la cantidad de aguas usadas generadas por toda la comunidad que se beneficia de sus servicios. El problema es que además de las aguas usadas también a esta carga diaria se añade la lluvia que pueda caer. Cada semana se extraen alrededor de 5,000 galones de lodo de la planta, que proviene de las aguas usadas que entran al sistema.

La PTAU descarga un promedio mensual de 596, 218 galones de efluente (Tabla 12); si le añadimos los que se extraen del digestor en forma de lodo serian alrededor de 25,000 galones adicionales dando un total de 621,218 galones mensuales tratados en el

sistema. Si dividimos esta cantidad entre 30 días en un mes, esto resultaría en 20,707 galones diarios tratados en la PTAU.

Este resultado es menor al que se calculó antes ya que hay familias que pueden ser más pequeñas y apartamentos que están deshabitados. Habíamos mencionado que en los complejos compactos muchas veces es menor la cantidad de agua que es utilizada, ya que no hay un uso de agua puertas afuera de las viviendas. El desarrollo compacto realizado en Barrazas con el proyecto de viviendas, el Centro de Servicios Municipales y los otros comercios le permitió al municipio construir la PTAU. Se pudo realizar un desarrollo que no afectara el carácter rural del sector y que no representara un nuevo riesgo a la contaminación de los cuerpos de agua por pozos sépticos deficientes.

De otra manera, si se hubiera realizado un proyecto unifamiliar que dependiera de pozos sépticos se hubiera afectado en mayor escala el carácter rural de Barrazas y se añadiría el riesgo a la construcción de pozos sépticos deficientes que pudieran descargar unos 20,707 galones de aguas usadas al ambiente. Como hemos mencionado los pozos sépticos construidos y operados de manera correcta representan un tipo de tratamiento descentralizado eficiente.

No fue hasta el año 2010, que se comenzó a reglamentar e inspeccionarse los pozos sépticos, y es muy probable que los que fueron construidos antes del 2010 no estén operando de manera correcta. Con la construcción de la PTAU el Municipio se aseguró que el tratamiento que se le da a esa agua se haga con mayor eficiencia y a su vez de menor riesgo al ambiente. La evaluación que se hizo de los muestreos y análisis del efluente de la PTAU nos permite concluir que el agua recibe el tratamiento correcto.

Limitaciones en el servicio de alcantarillado sanitario y agua potable en el sector rural

La AAA provee sus servicios a través de sistemas centralizados que no han logrado llevar su servicio a toda la población. El brote de cólera en Haití ha provocado que en los últimos meses la AAA realice gestiones para prevenir que surjan brotes en nuestra Isla. El 21 de septiembre de 2013 el periódico *El Nuevo Día* publicó varios reportajes sobre los problemas con los servicios de agua potable y de alcantarillado sanitario en las áreas rurales de la Isla. En uno de estos artículos Alberto Lázaro, presidente de la AAA, menciona que los abastos de agua potable en Puerto Rico son suficientes para suplir a todo los habitantes, pero que existen condiciones, como las características topográficas y los salideros, que dificultan el servicio. En la noticia se mencionó una comunidad en Naranjito, que es rural, que depende de un sistema de 5 bombas y si una de ellas falla se quedan sin servicio. Lázaro además mencionó que el 60% del agua que se potabiliza en la Isla se pierde o no es contabilizada entre las plantas de tratamiento y las viviendas. Un 2% (20,000 familias) de la población no recibe el servicio de agua potable de la AAA; utilizan acueductos comunitarios o pozos privados (sistemas descentralizados). En el caso del servicio de alcantarillado sanitario, la AAA estableció, que el 54 % de los habitantes no están conectados al sistema sanitario de la corporación.

En *El Nuevo Día* de 21 de septiembre de 2013, Carl Soderberg, ex director de la EPA, explicó que algunas comunidades descargan sus aguas usadas directo al terreno o poseen pozos sépticos deficientes. Lázaro, director de la AAA mencionó en ese artículo que la AAA no tiene la capacidad de proveerle el servicio sanitario a 45% de los habitantes, que solo un 9% de ellos podrían recibir el servicio con un gran esfuerzo. Se menciona que para el 45% de los habitantes que nunca podrán recibir el servicio la opción

es recurrir a sistemas descentralizados, como los pozos sépticos eficientes para el tratamiento y disposición de las aguas usadas. No existen estudios que demuestren cuales están operando bien. La noticia menciona que existe un estudio interagencial de 2009 que reveló que el 90% de los pozos sépticos ubicados más arriba de los embalses Carraízo y la Plata no operan con eficiencia. Estos son los embalses principales, ya que abastecen el 70% de la población.

Dentro del 54% de los habitantes sin servicio de alcantarillado sanitario se encuentra el barrio Barrazas de Carolina. Si evaluamos los datos del Departamento de Comercio de EU en el año 2010 en Carolina habitaban 176,762 personas; 4,301 personas vivían en Barrazas. Según la publicación, esos residentes están acomodados en 1,731 unidades de vivienda. En esa cantidad de unidades de vivienda deben estar incluidos los 168 apartamentos del complejo de viviendas, si los restamos resulta a un total de 1,563 unidades de vivienda, fuera del proyecto, que utilizan pozos sépticos para la disposición de las aguas usadas. Al realizar el cálculo de la cantidad aproximada de galones de aguas usadas generados en estas viviendas el resultado sería: $1,563 \text{ viviendas} \times 300 \text{ GPD} = 468,900 \text{ GPD}$.

Entonces a diario se descargan en Barrazas esa cantidad de aguas usadas a pozos sépticos. Si presumimos que el 90 % de estos pozos no están operando con eficiencia, basándonos en el estudio interagencial de 2009, serían 422,010 GPD de aguas usadas descargados al terreno sin tratamiento apropiado. Además, la información que evaluamos fue del 2010, y como ya hemos discutido no fue hasta ese año que se mejoró la reglamentación de pozos sépticos.

Estas descargas pueden tener un impacto negativo sobre los cuerpos de agua. En ese sector hay varias quebradas que son tributarias de los ríos Canovanillas y Río Grande

de Loíza. Aguas arriba el Río Grande de Loíza provee el abasto de agua cruda para la planta de tratamiento de Sergio Cuevas que sule agua potable al Municipio de Carolina. Cerca del puente de la carretera 3 se extraen dos millones de galones de agua diarios del lecho de este río. Además, se pueden afectar las áreas de recarga del acuífero que sule el SD.

Características de las aguas usadas domésticas

Para tener una idea del impacto que puede tener la deficiencia en la recolección y tratamiento de las aguas usadas domésticas es necesario conocer su composición típica. Encontramos un estudio donde se tabulan las características de las aguas crudas domésticas (Gross, 2004). La Tabla 13 presenta las concentraciones típicas de los componentes principales de esas aguas. En la Tabla 8 observamos que con una descarga de aguas usadas sin el tratamiento apropiado se contaminan cuerpos de agua con altas concentraciones de sólidos, coliformes fecales y compuestos de nitrógeno y fósforo.

Según la información de esta tabla, podemos asumir que la contaminación de las aguas con estos componentes podría generar enfermedades por organismos patógenos y resultar además en la eutroficación. Con la eutroficación ocurre un crecimiento excesivo de vegetación acuática por exceso de nutrientes, lo que termina agotando el oxígeno disuelto y afectando la vida aerobia (USGS, 2013). Se puede observar una alta concentración de coliformes fecales, representados por la bacteria *E. Coli*, utilizada para indicar si hay contaminación por aguas usadas domésticas. Por lo general, los coliformes fecales no son patógenos, pero su presencia sugiere que otros patógenos que habitan en el tracto digestivo de humanos y otros animales pudieran estar presentes (EPA, 2013a).

Comparación calidad de aguas subterráneas con la calidad de aguas superficiales

En las Tablas 14,15 y 16 presentamos los últimos muestreos y análisis químicos y físicos realizados por el USGS para la quebrada Maracuto, tributaria del Rio Grande de Loíza, para el río Canovanillas y para el embalse Loíza, de donde se supe la planta de tratamiento Sergio Cuevas. Seleccionamos para evaluar la quebrada Maracuto y el río Canovanillas ya que los puntos de muestreo utilizados por el USGS son los más cercanos al Sistema Dual y a Barrazas (Figura 4). Si se hubiera utilizado fuentes de aguas superficiales para suplir al SD estos cuerpos de agua hubieran sido las opciones más viables. Añadimos el embalse Loíza a modo de comparación del agua que recibe gran parte de la población de un sistema centralizado, con la que reciben los que se benefician del SD, un sistema descentralizado (Tabla 15).

Para realizar la evaluación se compararon los parámetros que se muestrearon y analizaron en ambos tipos de cuerpos de agua. En el caso del pH podemos observar que tanto la quebrada Maracuto como el río Canovanillas poseen un valor por encima de 8.0 S.U (Tablas 14 y 16). En las Tablas 4, 5, 6, 7 8 y 9 vemos que en los pozos subterráneos el valor de pH más alto encontrado fue de 7.74 S.U. Aunque el valor de pH es mayor en las aguas superficiales eso no significa que represente una amenaza para el ambiente; según las agencias reglamentadoras es aceptable un pH entre 6.5 y 8.5 S.U.

En el caso de la conductividad y la dureza los valores en los pozos subterráneos y en las aguas superficiales tienen similitud. Cuando evaluamos el embalse Loíza podemos observar que los resultados de la muestras tienen una diferencia marcada en comparación con el río Canovanillas y la quebrada Maracuto. Esta agua no está en movimiento por lo tanto la influencia del terreno es menor que en los ríos y quebradas. Ocurre lo mismo

cuando comparamos el embalse Loíza con los pozos subterráneos, todos los resultados de los muestreos y análisis están por debajo de los resultados de los de los pozos.

Una de las diferencias más marcadas se da en el oxígeno disuelto lo que puede significar un desarrollo de vida aerobia mínimo en el embalse (Tabla 15). Además se observa la diferencia en la dureza de las aguas, con una mayor concentración de iones de calcio y magnesio en los pozos subterráneos. El parámetro nitrógeno en la mayoría de los muestreos y análisis de agua de los pozos está por debajo de 1 mg/L, pero hay algunos en los que se sobrepasa 1 mg/L. En el embalse Loíza el resultado fue 1.14 mg/L; ambos cuerpos de agua cumplen con el MCL de 10 mg/L. Según la ATSDR (2011), el nitrógeno es el contaminante inorgánico más conocido y uno de los que genera más preocupación; puede generarse en diferentes fuentes y ser peligroso para los infantes. A pesar de que se presentan algunas muestras que no están en cumplimiento tanto en las aguas superficiales como en las subterráneas, esto no representa una gran amenaza al ambiente ya que son de los parámetros secundarios.

Si evaluamos los demás parámetros que se muestrearon y analizaron para las aguas superficiales y no para las aguas subterráneas se puede tener una idea más clara de la diferencia en calidad de estos cuerpos de agua. El parámetro de coliformes fecales es uno de los que presenta más riesgo ambiental. Vemos en las Tablas 14, 15 y 16 que todos los cuerpos de agua están violando el MCL de 200 colonias/100 mL. Pero es la concentración en el río Canovanillas la más preocupante ya que sobrepasa en gran manera de las del embalse Loíza y la quebrada Maracuto (Tabla 16).

En el caso de los pozos subterráneos no se han tomado muestras de coliformes totales ni fecales presumimos que el valor debe estar por debajo del de la quebrada Maracuto ya que es el cuerpo de agua, que según lo que hemos evaluado, alimenta ese

acuífero. El punto de muestreo que se está analizando del río Canovanillas está ubicado en el Bo. Cedros, que colinda con el Bo. Barrazas. Debido a la alta concentración de coliformes fecales, se puede desprender que este cuerpo de agua está recibiendo influencia de pozos sépticos. Esto refuerza la conclusión de que muchos pozos sépticos del área rural de Carolina no están operando con eficiencia y contaminan los cuerpos de agua superficiales.

Según el Safe Drinking Water Foundation (SDWF por sus siglas en inglés) (2009) los cuerpos de aguas superficiales y subterráneas pueden proveer agua potable segura, siempre y cuando las fuentes no estén contaminadas y que el tratamiento sea apropiado. La SDWF menciona además algunas razones por las cuales las aguas subterráneas son preferibles antes que las superficiales, a saber:

- El agua subterránea es fiable en tiempos de sequías mientras que el agua superficial se puede agotar rápido.
- Debido a su menor contaminación, el tratamiento del agua subterránea es, por lo general más sencillo y más económico que el del agua superficial.
- A través de pozos, el agua subterránea puede utilizarse donde se necesite, mientras que las aguas superficiales están concentradas en lagos y arroyos.

Si nos dejamos llevar por el hecho de que las aguas superficiales están más propensas a ser contaminadas debido a que están en mayor contacto con las fuentes puntuales podemos decir que en la práctica las aguas subterráneas son más seguras para ser potabilizadas. Estas aguas superficiales son las que recargan el acuífero, pero el agua pasa lento a través de un proceso de filtración natural.

Según la investigación de Rodríguez-Martínez et al. (2002), los cuerpos de aguas superficiales del Municipio de Carolina tienen condiciones sanitarias pobres. Los autores concluyeron que si se instalan pozos subterráneos adyacentes a esos cuerpos de aguas pueden resultar contaminados. La realidad es que las aguas subterráneas no están exentas de ser contaminadas, y más en los tiempos actuales que la presión sobre los recursos acuáticos es mayor.

Sectores y municipios limítrofes que se benefician del Sistema Dual

Para encontrar esta información visitamos el Departamento de Manejo de Emergencias ubicado en el Centro de Servicios Municipales de Barrazas y nos reunimos con su director José Calderón. Él nos asistió en la búsqueda en los registros de servicios de transporte de agua a los hogares con los camiones cisternas. El proyecto comenzó en el año 1996 y debido a la sequía se llegó a entregar hasta 72,000 galones diarios de agua potable a los hogares del área rural. Luego de las mejoras a los sistemas de tratamiento de Canóvanas provocadas por el movimiento Agua pa'l campo y de la creación del SD y el oasis el problema de insuficiencia de agua potable se redujo y así mismo los viajes de los camiones cisterna. Existen algunos sectores que reciben los servicios de transporte de agua potable, entre ellos: Los Orta (Bo. Barrazas), sector Los Nieves y Los Café (Bo. Cedros), sector Flor Carrasquillo (Bo. Carruzo), sector Los Castro y Lago (Bo. Cacao). Muchos de estos sectores se encuentran en montañas elevadas lo que ocasiona problemas de presión baja de agua potable. Además, se ha recibido información que personas residentes de ciertos barrios de los municipios de Trujillo Alto, Juncos y Canóvanas se benefician del oasis del SD. El oasis está abierto los 7 días, 24 horas por día. Personas de Carolina y de municipios limítrofes llegan allí con envases y cisternas vacías para llenarlos. Según los registros del Acueducto Municipal de Carolina en lo que va del año

2013, se ha suplido un promedio de 93,100 galones mensuales por medio del oasis del Sistema Dual. El SD junto al oasis ofrece una alternativa para reducir la limitación en el servicio de agua potable en muchos de los sectores rurales cercanos.

Ventajas de los sistemas descentralizados de Barrazas

Según las publicaciones que fueron evaluadas en la revisión de literatura, los sistemas descentralizados resultan ser la solución más sostenible y costo efectiva para el manejo del agua en comparación con los sistemas centralizados. En el proyecto de vivienda compacto, la descentralización de los servicios de agua potable y usada fue la solución más viable. Tanto el Sistema Dual como la PTAU poseen las ventajas generales que ya han sido discutidas. A continuación haremos mención de las ventajas ambientales específicas que provee cada sistema.

Planta de Tratamiento de Aguas Usadas

- Al ser un sistema pequeño y simple el espacio que ocupa es mucho menor en comparación con un sistema centralizado. Al momento de su construcción el impacto al carácter rural por acondicionamiento de terreno fue de menor escala.
- Permitió la creación de empleos tanto en la PTAU como en los demás proyectos municipales o comercios que pudieron ser creados mientras se eliminó el problema de la falta de alcantarillado sanitario.
- Se redujo el desparrame en ese barrio, ya que los negocios nuevos buscan localizarse cerca de la PTAU o en los locales del Centro de Servicios Municipales. Con esto se reduce la dependencia de nuevos pozos sépticos que pudieran presentar deficiencias y el daño al carácter rural que implicaría el

acondicionamiento de mayor cantidad de terreno para la construcción de nuevos proyectos.

- La construcción de estos proyectos que reciben servicio de la PTAU añadió a ese sector mayor accesibilidad a servicios esenciales gubernamentales, como Head Start, sala de urgencias, áreas para actividades recreativas, centros de ancianos, supermercados y otros.
- Recibe menor carga hidráulica, aumentando el tiempo de retención del agua en el sistema asegurándose el tratamiento apropiado.
- La distancia de las tuberías que transportan el agua residual desde su origen hasta la PTAU son cortas así que hay menor probabilidad de roturas que conllevarían la descarga de aguas usadas sin tratar al ambiente.
- Con menor flujo de entrada al sistema se usa una menor cantidad de sustancias químicas para su tratamiento. Esto produce beneficios económicos con el ahorro en la compra de estas sustancias. Hay beneficios ambientales, ya que aunque se utilizan sustancias químicas que en teoría son seguras, pueden cambiar las características físicas y químicas del cuerpo de agua receptor.
- Al ser menor la cantidad de agua descargada se diluye en mayor grado y se reduce el impacto al cuerpo de agua receptor.
- Al ser un sistema simple y pequeño el costo de su operación y mantenimiento es accesible para el consumidor.
- El sistema puede ser preparado para reusar su efluente para riego. En el Municipio de Carolina se ha contemplado la idea de dirigir el efluente para riego de una reserva forestal que hay en Barrazas. Otra opción es que los

camiones de riego de los jardines del Municipio recolecten el efluente de la PTAU para cumplir con su función. Esto permitiría el reciclaje de agua y nutrientes. Se reduciría la dosis de compuestos químicos en el tratamiento de las aguas para reducir los nutrientes presentes, lográndose un tratamiento más económico y sostenible.

Sistema Dual

- Utiliza aguas subterráneas de buena calidad, por lo tanto se requiere un tratamiento simple sin adición de sustancias químicas, más allá de hipoclorito de sodio para la desinfección.
- Provee el oasis que reduce la limitación en el servicio de agua potable en Barrazas, otros barrios de Carolina y de municipios limítrofes.
- El promedio de extracción del acuífero es menor que en un sistema centralizado. Es más viable distribuir la demanda a diferentes cuerpos de agua que dejarle la demanda a una sola. Se le da mayor oportunidad al cuerpo de agua a recuperarse.
- La línea de distribución es corta ocasionando que sea menor la cantidad de cloro necesario para que se cumpla con la reglamentación que exigen una cantidad mínima en el punto más lejano que recibe agua potable del sistema.
- La corta distancia de las líneas de distribución reduce la posibilidad de roturas y daños a las tuberías lo que ocasionaría pérdidas económicas y en el recurso agua. Además al ser menor el camino a recorrer desde el SD hasta los consumidores se reduce también la posibilidad de que el agua se contamine.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La construcción de viviendas en los sectores rurales de Puerto Rico se caracteriza por ser desparrramada y dependiente de pozos sépticos para el manejo de las aguas residuales. A esto se suma que todavía existen comunidades donde no llega el servicio de agua potable o llega de forma intermitente debido a los problemas de presión. Además de impactar el ambiente y el carácter rural en todo el proceso de construcción, pueden llevar al consumo de agua potable sin el tratamiento apropiado y a la construcción de pozos sépticos deficientes, lo que puede provocar daños adicionales al ambiente y a la salud humana.

Basándonos en esta investigación, podemos concluir lo siguiente:

- La construcción compacta del proyecto rural de Barrazas dio la oportunidad de desarrollar más fácilmente sus sistemas descentralizados que le ofrecen un tratamiento efectivo a sus efluentes, evitando de esta manera impactos al ambiente que y a la salud humana.
- El proyecto de viviendas junto al Centro de Servicios Municipales y los sistemas descentralizados de Carolina son un ejemplo de concentración de población, que no afectó el carácter rural del Bo. Barrazas.
- La construcción compacta de este proyecto y sus sistemas descentralizados de tratamiento de aguas, además de la reducción de impactos al ambiente ocasionados por los complejos de vivienda desparrramados, permitió la solución de varios problemas de disposición de aguas usadas y disponibilidad de agua potable que

existen en la mayoría de las viviendas rurales y añadió beneficios de protección ambiental y económicos para ese sector.

- Gracias a la Planta de Tratamiento de Aguas Usadas se pudieron desarrollar nuevas viviendas y comercios que benefician toda la comunidad sin que represente un nuevo peligro de contaminación de los cuerpos de agua por el uso de pozos sépticos deficientes.
- El Sistema Dual y el oasis aseguran el acceso a agua potable segura a las personas que se benefician de sus servicios.
- El Sistema Dual utiliza agua cruda de pozos subterráneos, que tiene mejor calidad que los cuerpos de aguas superficiales y por ende es más fácil y más seguro su tratamiento.
- El sistema descentralizado de tratamiento de aguas usadas del barrio Barrazas redujo el riesgo a que se descargaran al ambiente 20,707 GPD de aguas usadas sin el tratamiento apropiado.
- En el barrio Barrazas del Municipio de Carolina se descargan aproximadamente 422,010 GPD de aguas usadas a través de pozos sépticos deficientes.

Limitaciones del estudio

No hayamos documentación reciente sobre las características de las aguas domésticas. Realizamos revisión de publicaciones científicas y la información más reciente que encontramos fue de 2004. Otra limitación fue que no se ha realizado muestreo de coliformes fecales y totales a los 6 pozos subterráneos que suplen al Sistema Dual. Esto impidió que pudiéramos evaluar más en detalle el alcance de la contaminación por pozos sépticos en el barrio Barrazas. Además necesitamos esa información para poder

realizar una mejor comparación de la calidad de los cuerpos de agua superficial y subterránea.

Recomendaciones

A partir de las conclusiones, ofrecemos las siguientes recomendaciones:

- En el año 2010 la Junta de Planificación adoptó el nuevo Reglamento Conjunto de Permisos (Reglamento JP-31) para la construcción, operación, inspección y cierre de pozos sépticos. Es importante preparar trabajadores para que se realicen las inspecciones de los pozos sépticos y poder mejorar o cerrar los que estén operando de forma deficiente.
- Se deber educar al pueblo con relación al consumo de agua potable segura y el tratamiento adecuado de las aguas residuales. Hay que adiestrar personas para que lleven información a las escuelas y las comunidades con insuficiencias de agua potable y alcantarillado sanitario.
- La Universidad Metropolitana en el mes de septiembre realizó un simposio sobre la insuficiencia de los sistemas de alcantarillado sanitario y la búsqueda de alternativas. Ese tipo esfuerzo se debe expandir, con la participación de las agencias pertinentes como la JCA, el DRNA, la AAA y otras para encontrar soluciones al problema.
- Se debe adoptar tipos de desarrollo inteligente, reducir la construcción de urbanizaciones residenciales horizontales y tratar de concentrar la construcción de viviendas en los sectores urbanos y rurales. Promover la construcción y compra de complejos verticales como el del Bo. Barrazas del Municipio Autónomo de Carolina y ofrecer incentivos a las personas para obtener viviendas que tengan menor impacto ambiental.

- En caso de haber una demanda de viviendas que no pueda ser cubierta con los proyectos existentes, el proyecto compacto podría ser un modelo a seguir por las administraciones municipales.
- El gobierno debe trabajar en un plan eficiente para crear más métodos de transporte colectivo para reducir la dependencia del uso de automóviles y los consabidos tapones.
- Los sistemas descentralizados de Barrazas pueden proveer mayor utilidad. En el Acueducto Municipal de Carolina se ha evaluado la idea de utilizar el efluente de la PTAU para riego ya sea de la Reserva Forestal que se encuentra en el mismo barrio o de los jardines del Municipio. El Municipio de Carolina ofrece el servicio de vaciado de pozos sépticos a las viviendas pero el agua que se recoge es transportada hacia Puerto Nuevo. Se pudiera preparar la PTAU para que las aguas usadas recolectadas se reciban allí en tanques, lo cual reduciría la distancia recorrida por los camiones y los gastos en combustible y así ofrecer más vaciados diarios. Además se puede instalar en la PTAU algún sistema para el tratamiento y secado de los lodos. En un digestor se podría producir biogás. Los residuos podrían ser utilizados como abono para plantas.
- Al momento de realizar la evaluación de la calidad de las aguas subterráneas no encontramos una reglamentación para coliformes fecales y totales. El DRNA es quien se encarga de rastrear el uso de los acuíferos, pero no requiere que se muestreen muchos parámetros de calidad de agua. Entendemos que se debería añadir ciertos parámetros a los requisitos de uso de agua subterránea ya que de esa manera podríamos tener una idea del alcance de la contaminación por pozos sépticos deficientes. Existe la posibilidad de que existan acuíferos que no estén contaminados

por lo tanto es importante evitar que sean impactados, por lo difícil que es realizar su limpieza.

- La JCA y el Municipio Autónomo de Carolina deberían realizar muestreos en las quebradas cercanas a los sistemas descentralizados de tratamiento de Barrazas para tener una idea de la calidad de esos cuerpos de agua y el alcance de la contaminación por pozos sépticos deficientes en ese barrio.

Es importante que se tomen medidas para el buen uso de los espacios verdes. Además se puede utilizar el caso de Haití como una voz de alerta para que se busquen alternativas para los problemas existentes con los servicios de agua potable y de alcantarillado sanitario en la isla. Lo ideal sería que se encuentren las comunidades que presenten problemas con los servicios de agua para poder desarrollar soluciones específicas. Se deberían evaluar los diferentes sistemas de tratamientos de aguas descentralizados que existen al presente, para encontrar el que mejor se ajuste a las necesidades de Puerto Rico. En fin, la intención principal de este estudio es presentar una opción para desarrollar proyectos más seguros para el ambiente. Que los municipios que tengan en mente desarrollar los sectores rurales y para que otros proyectos futuros de vivienda utilicen el del barrio Barrazas de modelo.

LITERATURA CITADA

- Acueducto Municipal de Carolina. (s.f). Comprendiendo la planta de tratamiento de aguas usadas de mi comunidad. [folleto]. Municipio Autónomo de Carolina, Carolina, PR.
- Acueducto Municipal de Carolina. (2009- 2012a). [Eqlab's laboratory test report]. Planta de Tratamiento de Aguas Usadas, Carolina, PR. Datos no publicados.
- Acueducto Municipal de Carolina. (2009- 2012b). [Eqlab's laboratory test report]. Pozos Subterráneos, Carolina, PR. Datos no publicados.
- Acueducto Municipal de Carolina. (2009- 2012c). [Eqlab's laboratory test report]. Sistema Dual, Carolina, PR. Datos no publicados.
- Acueducto Municipal de Carolina. (2011). Informe de confianza al consumidor; sistema de aguas dual barrio Barrazas. [folleto]. Municipio Autónomo de Carolina, Carolina, PR.
- Acueducto Municipal de Carolina. (2012). Reportes de flujo mensual de la PTAU. Plantade Tratamiento de Aguas Usadas, Carolina, PR. Datos no publicados.
- Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (2004a). Amoníaco. Recuperado de: http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs126.pdf
- Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (2004b). Cobre. Recuperado de: http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts132.pdf
- Agency for Toxic Substances & Disease Registry. (2011). Nitrates and Nitrites. Recuperado de: <http://www.atsdr.cdc.gov/toxfaqs/tf.asp?id=1186&tid=258>
- Autoridad de Acueductos y Alcantarillados. (1945). Ley de Acueductos y Alcantarillados de Puerto Rico. LPRÁ 22. § 141 et seq.

Autoridad de Acueductos y Alcantarillados. (1994). Código sobre tomas o descargas clandestinas, hurto de agua, manipulación de contadores u otros accesorios propiedad de la AAA. RPR 5129

Autoridad de Acueductos y Alcantarillados. (2003). Reglamento de Puerto Rico sobre los Servicios de Agua y Alcantarillados.

Autoridad de Acueductos y Alcantarillados. (2013). Visión y metas. Recuperado de: <http://www.acueductospr.com/NUESTRAAUTORIDAD/vision.htm>

Bourgeois, C., Guillemint, J., Scheer, C. & Sykora, J. (2009). Decentralization of waste water systems. Recuperado de: <http://eau3e.hypotheses.org/files/2009/11/Bourgeois-Guillemint-Scheer-Sykora.pdf>

Centers for Disease Control and Prevention. (2011). Cholera in Haiti: One year later. Recuperado de: http://www.cdc.gov/haiticholera/haiti_cholera.htm

Centers for Disease Control and Prevention & U.S. Department of Housing and Urban Development. (2006). Rural water supplies and water- quality issues. Healthy housing reference manual. Atlanta: US Department of Health and Human Services, 8.

Cook, S., Tjandraatmadja, G., Ho, A. & Sharma, A. (2009). Definition of decentralized systems in the South East Queensland context. *12. Urban Water Security Research Alliance*

Departamento de Comercio de EE.UU. (2012). Puerto Rico: 2010 Recuento de población y unidades de vivienda. Recuperado de: <http://www.elnuevodia.com/urgenciadealianzaambiental-1597199.html>

Departamento de Estado de Puerto Rico. (1978). Ley para la Certificación de los Operadores de Plantas de Tratamiento de Agua Potable y de Aguas Usadas. LPRA 20 § 2801 et seq.

Departamento de Recursos Naturales y Ambientales. (2003). Ley para Establecer la Política Pública sobre la Prevención de Inundaciones y Conservación de Ríos y Quebradas. P.de la C. 1515

Departamento de Recursos Naturales. (1976). Ley para la Conservación, el Desarrollo y Uso de los Recursos de Agua. LPRA 12 § 1115 et seq.

Environmental Protection Agency. (2005). Decentralized wastewater treatment: A sensible solution. Recuperado de: <http://water.epa.gov/infrastructure/septic/upload/MOU-Intro-Paper-081712-pdf-Adobe-Acrobat-Pro.pdf>

Environmental Protection Agency. (2009). Drinking water treatment. Recuperado de: http://water.epa.gov/lawsregs/guidance/sdwa/upload/2009_08_28_sdwa_fs_30ann_treatment_web.pdf

Environmental Protection Agency. (2012). 2012 Edition of the drinking water standards and Health Advisories. Recuperado de: <http://water.epa.gov/action/advisories/drinking/upload/dwstandards2012.pdf>

Environmental Protection Agency. (2013a). Fecal bacteria. Recuperado de: <http://water.epa.gov/type/rsl/monitoring/vms511.cfm>

Environmental Protection Agency. (2013b). Secondary drinking water regulations: Guidance for nuisance chemicals. Recuperado de: <http://water.epa.gov/drink/contaminants/secondarystandards.cfm>

- Estado Libre Asociado de Puerto Rico. (1986). Programa Estatal de Inspección y Reglamentación de Represas y Embalses. LPRA 22. § 401 et seq.
- Estado Libre Asociado de Puerto Rico. (1991). Ley de Municipios Autónomos del Estado Libre Asociado de Puerto Rico de 1991. LPRA 21. § 4001 et seq.
- Estado Libre Asociado de Puerto Rico. (2004). Ley para el Plan de Usos de Terrenos del Estado Libre Asociado. LPRA 23 § 227 et seq.
- Estado Libre Asociado de Puerto Rico. (2009). P. del S. 1066. Recuperado de: http://www.suagm.edu/umet/pdf/cedes/p_del_s_1066.pdf
- Foundation for Water Research. (2010). Source of pollution. Recuperado de: http://www.euwfd.com/html/sources_of_pollution.html
- Fundación AGUATUYA. (2011). Tratamiento descentralizado de aguas servidas domésticas y estudio de caso. Recuperado de: <http://aguatuya.org/?p=749>
- Gross, M. A. (2004). Wastewater characterization text. *University Curriculum Development for Decentralized Wastewater Management*. National Decentralized Water Resources Capacity Development Project. University of Arkansas, Fayetteville, AR.
- Hernández Hernández, H. & Rovirosa Morell, N. F. (2007). Tratamiento descentralizado de aguas residuales domésticas en una comunidad costera de Ciudad de La Habana. *Ingeniería Hidráulica Y Ambiental*, 28(3), 33-40.
- Junta de Calidad Ambiental. (1950). Ley para el Control de la Contaminación de Aguas. LPRA 24. § 591 et seq.
- Junta de Calidad Ambiental. (2004). Ley Sobre Política Pública Ambiental. L.P.R.A 12 § 8001 et seq.

- Junta de Calidad Ambiental. (2005a). [Resultados de muestreo de la quebrada Maracuto realizado por la USGS]. Datos no publicados.
- Junta de Calidad Ambiental. (2005b). [Resultados de muestreo del río Canovanillas realizado por la USGS]. Datos no publicados.
- Junta de Calidad Ambiental. (2012). [Resultados de muestreo del embalse Loíza realizado por la USGS]. Datos no publicados.
- Junta de Planificación. (2010). Reglamento conjunto de permisos para obras de construcción y uso de Terrenos. JP-RP-31
- Junta de Planificación. (2012). Ley para el Desarrollo Inteligente de la Infraestructura. P. del S. 1066
- Kamal, A. S. M., Goyer, K., Koottatep, T., & Amin, A. T. M. N. (2008). Domestic wastewater management in South and Southeast Asia: the potential benefits of a decentralized approach. *Urban Water Journal*, 5(4), 345-354.
- López, K. & Caquíás, S. (2013, septiembre 21). Mucha agua, pero no siempre llega. *El Nuevo Día*. Recuperado de: <http://www.elnuevodia.com/muchaaguaperonosiemprellega-1600994.html>
- Martí, J. A., Renta, R. E., & Figueroa Velázquez, C. (2004). Actualización del inventario sistemas de acueductos independientes en Puerto Rico (“Non-PRASA”). Recuperado de: www.bvsde.paho.org/bvsAIDIS/PuertoRico29/martir.pdf
- Martínez, J. (2010). Historia de la fiscalización del agua potable en Puerto Rico [diapositivas de PowerPoint]. Recuperado de: http://cohemis.uprm.edu/planetatierra/pres/11_jmartinez.pdf

- Massoud, M. A., Tarhini, A., & Nasr, J. A. (2009). Decentralized approaches to wastewater treatment and management: Applicability in developing countries. *Journal of environmental management*, 90(1), 652-659.
- Molini, F. & Salgado, M. (2012). Los impactos ambientales de la ciudad de baja densidad en relación con los de la ciudad compacta. *Revista bibliográfica de geografía y ciencias sociales*, 17(958).
- Municipio de Carolina. (1997a). Orden ejecutiva num.97-270. Agencia para el Desarrollo Económico de Carolina, Carolina, PR.
- Municipio de Carolina. (1997b). Resolución Núm. 40; Serie 1997-98-51. Asamblea Municipal, Carolina, PR.
- Municipio de Carolina. (2001). Ordenanza 17; Serie 2001-2002-15. Asamblea Municipal, Carolina PR.
- Municipio Autónomo de Carolina. (2003). Identificación y recomendaciones en torno al manejo de fuentes de contaminación puntuales y dispersas en la zona rural del municipio de Carolina. Geosistemas.
- National Environmental Services Center. (2010). Retiro del hierro y manganeso. Recuperado de: http://www.nesc.wvu.edu/pdf/dw/publications/ontap/2010_tb/spanish/iron_manganese_DWFSOM148.pdf
- O'Callaghan, P. (2008). Decentralized wastewater management. *Engineers Journal*, 62(7), 448-450.

- Quiñones, F. (2012). Impacto ambiental de pozos sépticos en Puerto Rico y su diseño y control. Recuperado de: http://www.recursosaguapuertorico.com/Pozos_Septicos_en_PR_por_Ferdinand_Qui_ones__Abril_2012.pdf
- Quiñones, F. (2013a). Autoridad de Acueductos y Alcantarillados. Recuperado de: <http://www.recursosaguapuertorico.com/AAA.html>
- Quiñones, F. (2013b). Uso de agua en Puerto Rico. Recuperado de: <http://www.recursosaguapuertorico.com/Uso-de-Agua.html>
- Resnik, D. B. (2010). Urban sprawl, smart growth, and deliberative democracy. *American Journal of Public Health, 100*(10), 1852-1856.
- Rodríguez Martínez, J., Gómez Gómez, F., Santiago Rivera, L. & Oliveras Feliciano, M.L. (2002). Surface-water, water-quality, and ground-water assessment of the Municipio of Carolina, Puerto Rico, 1997-9. U.S. Geological Survey & Municipio Autónomo de Carolina. Water Resources Investigations Report 01-4267
- Ruiz, C. (1999). Rights-Puerto Rico: The thirst for water and justice. Inter Press Service. Recuperado de: <http://www.ipsnews.net/1999/09/rights-puerto-rico-the-thirst-for-water-and-justice/>
- Ruiz Kuilan, G. (2013, septiembre 23). Urgencia de alianza ambiental. *El Nuevo Día*. Recuperado de: <http://www.elnuevodia.com/urgenciadealianzaambiental-1597199.html>
- Safe Drinking Water Foundation. (2009). Groundwater. Recuperado de: <http://safewater.org/images/Groundwater.pdf>

- Sepúlveda Rivera, A. (2013). Antiguo acueducto del río Piedras. *Revista Oficial de la Oficina Estatal de Conservación Histórica de Puerto Rico*. Recuperado de: <http://spp-pr.org/wp-content/uploads/downloads/2013/10/Antiguo-acueducto-del-r%C3%ADo-Piedras.pdf>
- Schramm, S. (2011). Semicentralised water supply and treatment: options for the dynamic urban area of Hanoi, Vietnam. *Journal of Environmental Assessment Policy and Management*, 13(02), 285-314.
- Sharma, A. K., Tjandraatmadja, G., Cook, S., & Gardner, T. (2013). Decentralised systems—definition and drivers in the current context. *Water Science & Technology*, 67(9), 2091-2101.
- Sharma, A. K., Tjandraatmadja, G. G., Grant, A. L., Grant, T. T., & Pamminer, F. F. (2010). Sustainable sewerage servicing options for peri-urban areas with failing septic systems. *Water Science & Technology*, 62(3), 570-585. doi:10.2166/wst.2010.205
- Soderberg, C. A. P. (2008). Agua potable y saneamiento para comunidades aisladas: un imperativo social y ambiental para Puerto Rico. *Revista Internacional de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil*. 8(1), 1-3.
- Soto, D. (2009). 7 Fracasos: Desparrame Urbano en Puerto Rico. Recuperado de: <http://www.miprv.com/7-fracasos-desparrame-urbano-en-puerto-rico/>
- Tchobanoglous, G. (2003). The Importance of decentralized wastewater management in the twenty-first century. The 2003 Clarke Lecture. Recuperado de: <http://nwri-usa.org/pdfs/2003%20CP%20Lecture%20by%20Tchobanoglous.pdf>

- Torres Lozada, P. (2012). Tratamientos anaerobios. Su importancia en sistemas descentralizados para el manejo de aguas residuales. Recuperado de: <http://aguaysaneamientoutp.info/conferenciaen/keylecture/torres.pdf>
- U.S. Environmental Protection Agency. (1972). Federal Water Pollution Control Act. USC 33 § 1251 et seq.
- U.S. Environmental Protection Agency. (1974). Safe Drinking Water Act, USC 42 § 3010 et seq.
- U.S. Geological Survey. (2013). Eutrophication. Recuperado de: <http://toxics.usgs.gov/definitions/eutrophication.html>
- Valencia G., E., Silva G., I. J. & Narváz R., C. P. (2010). Sistemas descentralizados integrados y sostenibles para el tratamiento de aguas residuales domesticas. *Revista Ingeniería y Región*, 7.
- Vásquez, A. E., Romero, H., Fuentes, C., López, C. & Sandoval, G. (2008). Evaluación y simulación de los efectos ambientales del crecimiento urbano observado y propuesto en Santiago de Chile. *Actas del Congreso Nacional de Desarrollo Rural*. Santiago, Chile

TABLAS

Tabla 1

Análisis del agua cruda extraída por los seis pozos subterráneos del SD realizado por Eqlab

Parameter	Description	Method
Filterable Residue (TDS)	Grab	SM 2540 C
Specific Conductance	Grab	EPA 120.1
Total Organic Carbon	Grab	EPA 415.1
Calcium - Iron - Magnesium - Manganese - Potassium - Sodium - Silica (Total)	Grab	EPA 200.7
Nitrate as N	Grab	EPA 353.2
Alkalinity – Total	Grab	EPA 310.2
Hardness – Total	Grab	SM 2340B
Chloride – Sulfate	Grab	EPA 300.1
pH	Grab	SM 4500 H-B

Nota. Fuente: Acueducto Municipal de Carolina. (2009-2012b). Eqlab’s laboratory test report, Pozos Subterráneos.

Tabla 2

Análisis de agua potable del SD realizado por Eqlab

Parameter	Description	Frequency	Method
pH	Grab	2/Month	SM 4500 H-B
Coliforms – Total	Grab	2/Month	SM 9223 B
Escherichia coli	Grab	2/Month	SM 9223 B
Heterotrophic Plate Count	Grab	2/Month	SM 9215 B
Turbidity	Grab	2/Month	EPA 180.1
CL2R	Grab	2/Month	SM 4500CL G
Nitrate as N	Grab	Yearly	EPA 353.2
Volátiles (VOC's)	Grab	Yearly	EPA 524.2
Copper – Total	Grab	Yearly	SM 3111B
Lead – Total	Grab	Yearly	EPA 200.9
Nitrate and Nitrite – Total	Grab	Yearly	EPA 353.2
THM's	Grab	Yearly	EPA 524.2
HAA – 5	Grab	Yearly	EPA 552.2

Nota. Fuente: Acueducto Municipal de Carolina. (2009-2012c). Eqlab's laboratory test report. Sistema Dual.

Tabla 3

Análisis mensual del efluente de la PTAU realizado por Eqlab

Parameter	Description	Method
Temperature	Grab	SM 2550 B
pH	Grab	SM 4500 H-B
Non-Filterable Residue (TSS)	Composite	SM 2540 D
Biochemical Oxygen Demand	Composite	SM 5210 B
Coliforms (Totals and Fecals)	Grab	SM 9221 B/E
Oil and Grease	Grab	EPA 1664 A
Color	Grab	SM 2120 B
Turbidity	Grab	EPA 180.1
Hydrogen Sulfide Undissociated	Grab	SM 4500 S F
Copper and Manganese - Total	Grab	EPA 200.7
Nitrate and Nitrite - Total	Grab	EPA 353.2
Fluoride	Grab	SM 4500 F C
Surfactants	Grab	SM 5540 C
Total Phosphorus	Grab	SM 4500 - P A,B,E
Arsenic – Total	Grab	EPA 200.9
Phenolics – Total	Grab	EPA 420.4
Settleable Solids Volumetric	Grab	SM 2540 F
Ammonia	Grab	SM 4500 - NH3 D
CL2R	Grab	SM 4500CL G
D.O.	Grab	EPA 360.1

Nota. Fuente: Acueducto Municipal de Carolina. (2009-2012a). Eqlab’s laboratory test report. Planta de Tratamiento de Aguas Usadas.

Tabla 4

Resultados de los parámetros del pozo subterráneo 1, muestreado anualmente

Parámetros	Pozo 1				Estándares EPA
	2009	2010	2011	2012	MCL
Sulfate (mg/L)	11.1	16.1	15.5	14.3	250
Specific Conductance (umhos/cm)	546	567	522	560	none
Calcium Total (mg/L)	55.1	55.4	52.1	48.2	none
Iron-Total (mg/L)	2.66	BDL	0.03	0.02	0.3
Magnesium-Total (mg/L)	18.4	18.6	15.2	17.8	none
Manganese-Total (mg/L)	0.685	0.006	0.073	BDL	0.05
Potassium-Total (mg/L)	0.70	0.86	0.78	0.58	none
Sodium-Total (mg/L)	BDL	33.9	27	31.5	none
Alkalinity-Total (mg/L)	261	252	237	232	none
Nitrate as N (mg/L)	0.06	0.57	0.35	0.27	10
Total Organic Carbon (mg/L)	0.468	0.295	0.357	0.492	none
Hardness (mg/L)	214	215	193	194	none
Filterable Residue (TDS) (mg/L)	290	359	328	330	500
Chloride (mg/L)	22.7	27.5	25.7	25	250
Silica (mg/L)	49.4	56.3	48.1	49.2	none
pH (S.U.)	7.52	7.74	7.02	6.73	6.5-8.5

Nota. Fuente: Acueducto Municipal de Carolina. (2009 -2012b). Eqlab's laboratory test report. Pozo Subterráneo 1.

Tabla 5

Resultados de los parámetros del pozo subterráneo 2, muestreado anualmente

Parámetros	Pozo 2				Estándares EPA
	2009	2010	2011	2012	MCL
Sulfate (mg/L)	15.9	15.6	16.1	15.5	250
Specific Conductance (umhos/cm)	601	593	600	609	none
Calcium Total (mg/L)	71.7	72.7	68.8	65.9	none
Iron-Total (mg/L)	BDL	BDL	BDL	BDL	0.3
Magnesium-Total (mg/L)	19.9	19.2	16.3	17	none
Manganese-Total (mg/L)	0.015	BDL	0.037	0.017	0.05
Potassium-Total (mg/L)	0.75	0.75	0.91	0.73	none
Sodium-Total (mg/L)	26.1	32.5	29	30	none
Alkalinity-Total (mg/L)	277	272	281	267	none
Nitrate as N (mg/L)	0.47	0.57	0.5	0.42	10
Total Organic Carbon (mg/L)	0.316	0.253	0.313	0.291	none
Hardness (mg/L)	261	261	239	235	none
Filterable Residue (TDS) (mg/L)	378	385	392	600	500
Chloride (mg/L)	26.6	29	28	24	250
Silica (mg/L)	54.4	56.7	48.8	51.3	none
pH (S.U.)	7.48	7.68	6.90	7.16	6.5-8.5

Nota. Fuente: Acueducto Municipal de Carolina. (2009 -2012b). Eqlab's laboratory test report. Pozo Subterráneo 2.

Tabla 6

Resultados de los parámetros del pozo subterráneo 3, muestreado anualmente

Parámetros	Pozo 3				Estándares EPA
	2009	2010	2011	2012	MCL
Sulfate (mg/L)	21.7	18.1	19.6	22.6	250
Specific Conductance (umhos/cm)	513	505	494	523	none
Calcium Total (mg/L)	58.5	52.2	53	56.5	none
Iron-Total (mg/L)	BDL	BDL	BDL	BDL	0.3
Magnesium-Total (mg/L)	16.2	14.6	14.2	14.8	none
Manganese-Total (mg/L)	0.049	0.049	0.061	0.111	0.05
Potassium-Total (mg/L)	0.87	0.86	1.03	0.86	none
Sodium-Total (mg/L)	23.8	24.6	24.8	24.5	none
Alkalinity-Total (mg/L)	221	213	218	207	none
Nitrate as N (mg/L)	0.46	0.4	0.24	0.5	10
Total Organic Carbon (mg/L)	0.364	0.436	0.468	0.481	none
Hardness (mg/L)	213	190	191	202	none
Filterable Residue (TDS) (mg/L)	327	349	310	130	500
Chloride (mg/L)	26.8	28.6	23.4	22.1	250
Silica (mg/L)	48.5	46.9	44.1	48.1	none
pH (S.U.)	7.29	7.46	6.98	6.79	6.5-8.5

Nota. Fuente: Acueducto Municipal de Carolina. (2009 -2012b). Eqlab's laboratory test report. Pozo Subterráneo 3.

Tabla 7

Resultados de los parámetros del pozo subterráneo 4, muestreado anualmente

Parámetros	Pozo 4				Estándares EPA
	2009	2010	2011	2012	MCL
Sulfate (mg/L)	22.2	20.3	15.6	19	250
Specific Conductance (umhos/cm)	447	460	540	506	none
Calcium Total (mg/L)	52.2	55.6	53.2	53.1	none
Iron-Total (mg/L)	BDL	BDL	0.1	BDL	0.3
Magnesium-Total (mg/L)	14.0	15.2	16.4	14.2	none
Manganese-Total (mg/L)	0.137	0.115	0.031	0.392	0.05
Potassium-Total (mg/L)	0.90	0.90	0.81	0.77	none
Sodium-Total (mg/L)	19.8	24	28.6	20.7	none
Alkalinity-Total (mg/L)	187	202	247	194	none
Nitrate as N (mg/L)	0.19	0.25	0.92	0.89	10
Total Organic Carbon (mg/L)	0.458	0.426	0.368	0.465	none
Hardness (mg/L)	188	201	200	191	none
Filterable Residue (TDS) (mg/L)	280	300	336	143	500
Chloride (mg/L)	21.7	24.7	26.3	24.8	250
Silica (mg/L)	45.4	48.6	55	41.7	none
pH (S.U.)	7.18	7.27	6.79	6.76	6.5-8.5

Nota. Fuente: Acueducto Municipal de Carolina. (2009 -2012b). Eqlab's laboratory test report. Pozo Subterráneo 4.

Tabla 8

Resultados de los parámetros del pozos subterráneo 5, muestreado anualmente

Parámetros	Pozo 5				Estándares EPA
	2009	2010	2011	2012	MCL
Sulfate (mg/L)	22.3	15.7	24.9	-	250
Specific Conductance (umhos/cm)	727	669	668	-	none
Calcium Total (mg/L)	70.8	64.8	60.2	-	none
Iron-Total (mg/L)	0.23	BDL	BDL	-	0.3
Magnesium-Total (mg/L)	34.4	32.5	29.1	-	none
Manganese-Total (mg/L)	BDL	BDL	BDL	-	0.05
Potassium-Total (mg/L)	0.46	BDL	BDL	-	none
Sodium-Total (mg/L)	25.1	35.4	33.7	-	none
Alkalinity-Total (mg/L)	358	305	302	-	none
Nitrate as N (mg/L)	1.43	2	1.44	-	10
Total Organic Carbon (mg/L)	0.579	0.354	0.397	-	none
Hardness (mg/L)	318	296	270	-	none
Filterable Residue (TDS) (mg/L)	469	418	438	-	500
Chloride (mg/L)	32.8	27.8	32.9	-	250
Silica (mg/L)	57.9	63.3	57.8	-	none
pH (S.U.)	6.97	6.85	6.45	-	6.5-8.5

Nota. Fuente: Acueducto Municipal de Carolina. (2009 -2012b). Eqlab's laboratory test report. Pozo Subterráneo 5.

Tabla 9

Resultados de los parámetros del pozo subterráneo 6, muestreado anualmente

Parámetros	Pozo 6				Estándares EPA
	2009	2010	2011	2012	MCL
Sulfate (mg/L)	13.9	17.9	14.8	13	250
Specific Conductance (umhos/cm)	511	556	540	534	none
Calcium Total (mg/L)	58.4	57.2	55	52.9	none
Iron-Total (mg/L)	BDL	BDL	0.02	BDL	0.3
Magnesium-Total (mg/L)	17.7	18.6	17.2	17.2	none
Manganese-Total (mg/L)	0.005	BDL	BDL	BDL	0.05
Potassium-Total (mg/L)	0.74	0.65	0.84	0.57	none
Sodium-Total (mg/L)	25.5	29.8	30.1	26.2	none
Alkalinity-Total (mg/L)	227	243	243	221	none
Nitrate as N (mg/L)	0.73	1.04	0.91	1.17	10
Total Organic Carbon (mg/L)	0.342	0.347	0.326	0.291	none
Hardness (mg/L)	219	219	208	203	none
Filterable Residue (TDS) (mg/L)	337	351	311	322	500
Chloride (mg/L)	24.7	28	26.1	23.9	250
Silica (mg/L)	61.1	64	58.6	61.4	none
pH (S.U.)	7.07	6.75	6.33	6.57	6.5-8.5

Nota. Fuente: Acueducto Municipal de Carolina. (2009 -2012b). Eqlab's laboratory test report. Pozo Subterráneo 6.

Tabla 10

Resultados de los parámetros de calidad del Sistema Dual (promedio anual)

Parameter	2009	2010	2011	2012	EPA Standard
pH (S.U.)	7.3	7.4	7.2	7.3	6.5-8.5
Coliforms - Total	0	0	0	0	1 sample max positive in a month.
Escherichia coli	0	0	0	0	No fecal coliforms are allowed
Heterotrophic Plate Count (CFU/mL)	1.3	5.5	1.3	1.2	500 max
Turbidity (NTU)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.5 max
CL2R (mg/L)	1.7	1.4	1.4	1.3	4 max
Nitrate as N (mg/L)	0.81	0.81	1.02	0.91	10 max
Copper - Total (mg/L)	1.11	1.27	1.01	N/A	1.3 max
Lead - Total (mg/L)	0.0034	0.0046	0.0037	N/A	.015 max
Total Trihalomethanes (mg/L)	0.0094	0.0104	<0.0040	0.0066	0.080 max
Total Haloacetic Acids (mg/L)	0.004	<0.0060	<0.0060	<0.0060	0.060 max

Nota. Fuente: Acueducto Municipal de Carolina. (2009 -2012c). Eqlab's laboratory test report. Sistema Dual.

Tabla 11

Resultados de los parámetros de calidad del efluente de la PTAU (promedio anual) y estándares requeridos por el NPDES

Parameter	2009	2010	2011	2012	EPA standard NPDES
Temperature (°C)	29.5	30.3	30.0	29.9	32.2 daily max
pH (SU)	7.3	7.1	7.0	7.0	6 min / 9 max
Non-Filterable Residue [TSS](mg/L)	6.4	6.5	8.7	5.7	45 daily max
Biochemical Oxygen Demand (mg/L)	5.8	4.7	3.0	2.3	30 daily avg / 15 daily max
Oil and Grease (mg/L)	2.4	1.6	2.2	2.3	15 daily max
Color (Pt-CO)	10.4	13.8	11.7	11.3	15 daily max
Turbidity (NTU)	2.0	3.1	2.7	2.5	50 daily max
Hydrogen Sulfide Undissociated	<2.0	2.0	1.2	1.2	2 daily max
Copper (ug/L)	18.2	27.9	10.7	5.9	11 daily max
Manganese (ug/L)	19.0	13.0	32.0	32.0	50 daily max
Nitrate and Nitrite (ug/L)	3168.3	5772.4	7720.8	3755.8	10,000 daily max
Fluoride (ug/L)	101.2	85.9	98.1	92.3	700 daily max
Surfactants (ug/L)	51.7	44.0	56.1	58.8	100 daily max
Total Phosphorus (mg/L)	0.2	0.2	0.1	0.1	1 daily max
Arsenic - Total (ug/L)	<0.005	0.5	<0.18	<0.18	18 daily max
Settleable Solids Volumetric (ml/L)	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	daily max
Ammonia (mg/L)	10.9	20.9	17.8	20.7	daily max
Total Residual Chlorine (mg/L)	0.3	0.3	0.2	0.2	.5 daily max
Dissolved Oxygen (mg/L)	5.3	5.4	5.5	5.6	5 inst min
Totals Coliforms (#/100 mL)	134.0	162.0	591.9	1234.6	10000 geo mean
Fecal Coliforms (#/100 mL)	6.2	153.3	448.8	288.1	2000 geo mean

Nota. Fuente: Acueducto Municipal de Carolina. (2009 -2012a). Eqlab's laboratory test report. Planta de Tratamiento de Aguas Usadas.

Tabla 12

Agua tratada en la PTAU en el Año 2012

Mes	Flujo Total (galones)
Enero	583,366
Febrero	506,513
Marzo	557,786
Abril	502,308
Mayo	703,789
Junio	704,487
Julio	678,828
Agosto	660,100
Septiembre	550,045
Octubre	600,778
Noviembre	533,883
Diciembre	572,731
Total Anual	7154,614
Promedio Mensual	596,218

Nota. Fuente: Acueducto Municipal de Carolina. (2012). Reportes de flujo mensual de la PTAU.

Tabla 13

Características de las aguas usadas domesticas

Componente	Concentración Típica
Total suspended solids	250 mg/L
5-Day BOD	250 mg/L
pH	6.5 S.U.
Total Coliforms	10 ⁹ CFU/100mL
Fecal Coliforms	10 ⁷ CFU/100mL
Ammonium-Nitrogen (NH ₄ -N)	10 mg/L
Nitrate-Nitrogen (NO ₃ -N)	Less than 1 mg/L
Total Nitrogen	60 mg/L
Total Phophorus	10 mg/L

Nota. Fuente: Gross, M. A. (2004). Wastewater characterization text. *University Curriculum Development for Decentralized Wastewater Management*. National Decentralized Water Resources Capacity Development Project. University of Arkansas, Fayetteville, AR.

Tabla 14

Resultados del muestreo más recientes realizado por el USGS de la quebrada Maracuto

Parámetro	3 de agosto de 2005 quebrada Maracuto (Bo. Trujillo Bajo)	Reglamentación EPA
Oxígeno Disuelto (mg/L)	7.54	> 5.0
pH (S.U.)	8.02	6.0-9.0
Conductividad (ms/cm)	531	-
Temperatura (°C)	29.9	-
Turbidez (NTU)	22.5	50
Calcio (mg/L)	-	-
Magnesio (mg/L)	-	-
Dureza	197	100
Amoníaco (mg/L)	0.028	1
NO ₂ +NO ₃ (mg/L)	0.959	10
Nitrito (mg/L)	-	0.0027
Fosforo (mg/L)	0.096	1
Nitrógeno (mg/L)	-	10
Coliformes Fecales (Colonias/100 mL)	210	200
Coliformes Totales (Colonias/100 mL)	530	10000
Cadmio (ug/L)	0.031	2
Cromio (ug/L)	2.025	50
Cobre (ug/L)	10.596	7
Plomo (ug/L)	0.263	25
Mercurio (ug/L)	<.01	0.05
Zinc (ug/L)	4.596	50
Arsénico (ug/L)	<1.9	50
Cianuro (mg/L)	<0.008	5.2
Selenio (ug/L)	0.698	5

Nota. Fuente: Junta de Calidad Ambiental. (2005a). Resultados de muestreo de la quebrada Maracuto realizado por la USGS

Tabla 15

Resultados del muestreo más recientes realizados por el USGS del embalse Loiza

Parámetro	29 de agosto de 2012 embalse Loiza	Reglamentación EPA
Oxígeno Disuelto (mg/L)	1.36	> 5.0
pH (S.U.)	6.71	6.0-9.0
Conductividad (ms/cm)	162	-
Temperatura (°C)	26.5	-
Turbidez (NTU)	75.6	50
Calcio (mg/L)	12.74	-
Magnesio (mg/L)	4.68	-
Dureza	47.88	100
Amoniaco (mg/L)	0.149	1
NO ₂ +NO ₃ (mg/L)	0.434	10
Nitrito (mg/L)	0.0812	0.0027
Fosforo (mg/L)	0.1441	1
Nitrógeno (mg/L)	1.142	10
Coliformes Fecales (Colonias/100 mL)	290	200
Coliformes Totales (Colonias/100 mL)	2100	10000
Cadmio (ug/L)	0.016	2
Cromio (ug/L)	2.312	50
Cobre (ug/L)	6.711	7
Plomo (ug/L)	0.9359	25
Mercurio (ug/L)	0.00799	0.05
Zinc (ug/L)	1.574	50
Arsénico (ug/L)	0.7328	50
Cianuro (mg/L)	0.0024	5.2
Selenio (ug/L)	0.1468	5

Nota. Fuente: Junta de Calidad Ambiental. (2012). Resultados de muestreo del embalse Loíza realizado por la USGS.

Tabla 16

Resultados del muestreo más reciente realizados por el USGS del río Canovanillas

Parámetro	2 de agosto de 2005 río Canovanillas (Bo. Cedros)	Reglamentación EPA
Oxígeno Disuelto (mg/L)	7.53	> 5.0
pH (S.U.)	8.09	6.0-9.0
Conductividad (ms/cm)	461	-
Temperatura (°C)	25.7	-
Turbidez (NTU)	21.9	50
Calcio (mg/L)	-	-
Magnesio (mg/L)	-	-
Dureza	193	100
Amoniaco (mg/L)	0.048	1
NO ₂ +NO ₃ (mg/L)	0.682	10
Nitrito (mg/L)	-	0.0027
Fosforo (mg/L)	0.094	1
Nitrógeno (mg/L)	-	10
Coliformes Fecales (Colonias/100 mL)	3200	200
Coliformes Totales (Colonias/100 mL)	8636	10000
Cadmio (ug/L)	0.047	2
Cromio (ug/L)	2.185	50
Cobre (ug/L)	5.801	7
Plomo (ug/L)	0.274	25
Mercurio (ug/L)	<0.01	0.05
Zinc (ug/L)	7.101	50
Arsénico (ug/L)	<1.9	50
Cianuro (mg/L)	<0.008	5.2
Selenio (ug/L)	0.408	5

Nota. Fuente: Junta de Calidad Ambiental. (2005b). Resultados de muestreo del río Canovanillas realizado por la USGS.

FIGURAS

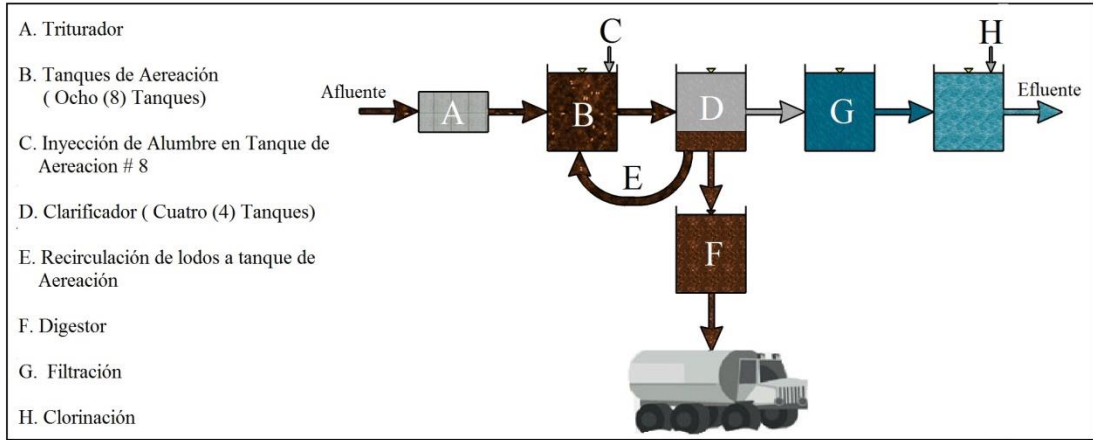


Figura 1. Flujograma del proceso de tratamiento de la PTAU

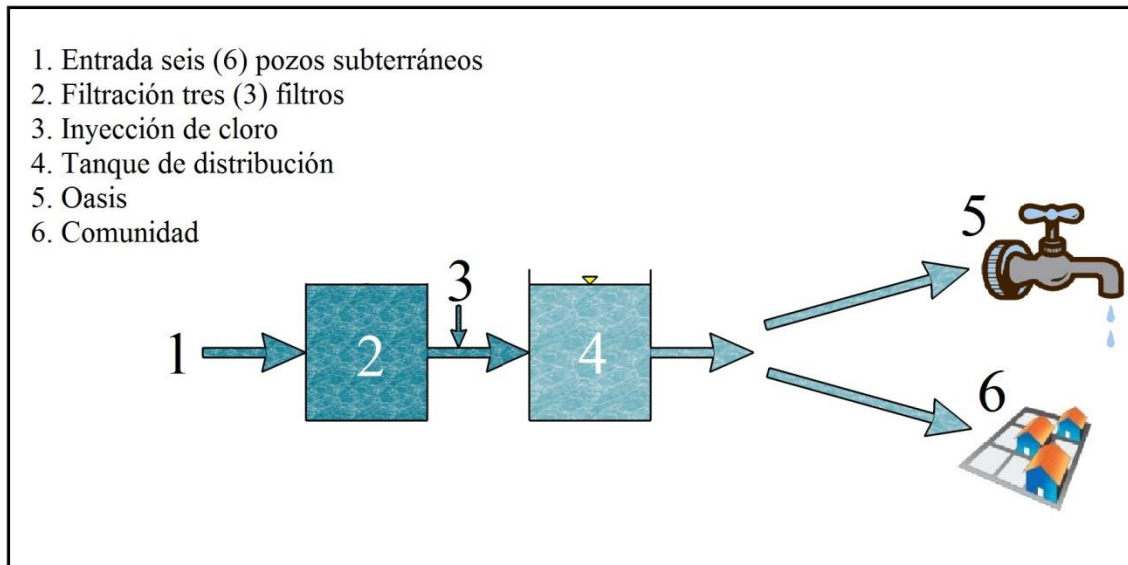


Figura 2. Flujo del proceso de tratamiento del Sistema Dual

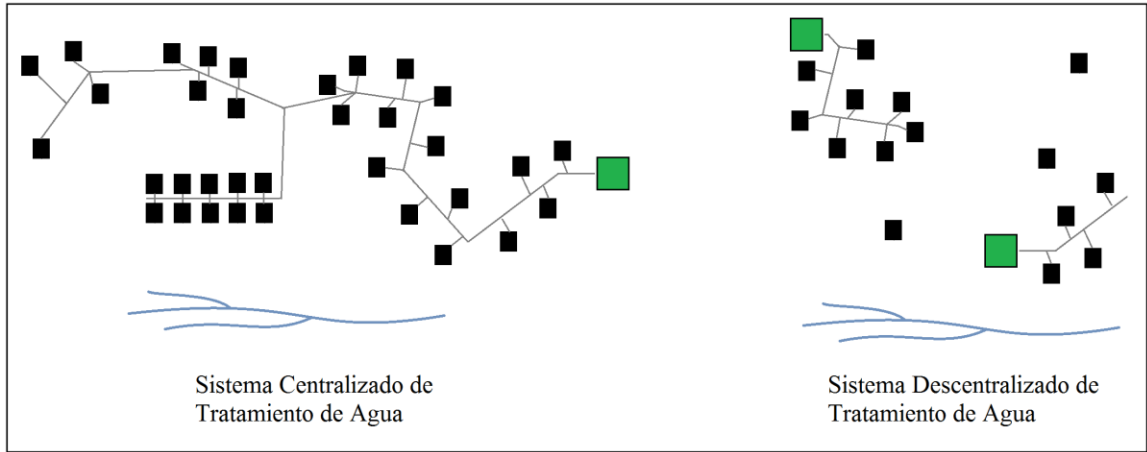


Figura 3. Comparación de sistemas de tratamiento centralizados con los descentralizados

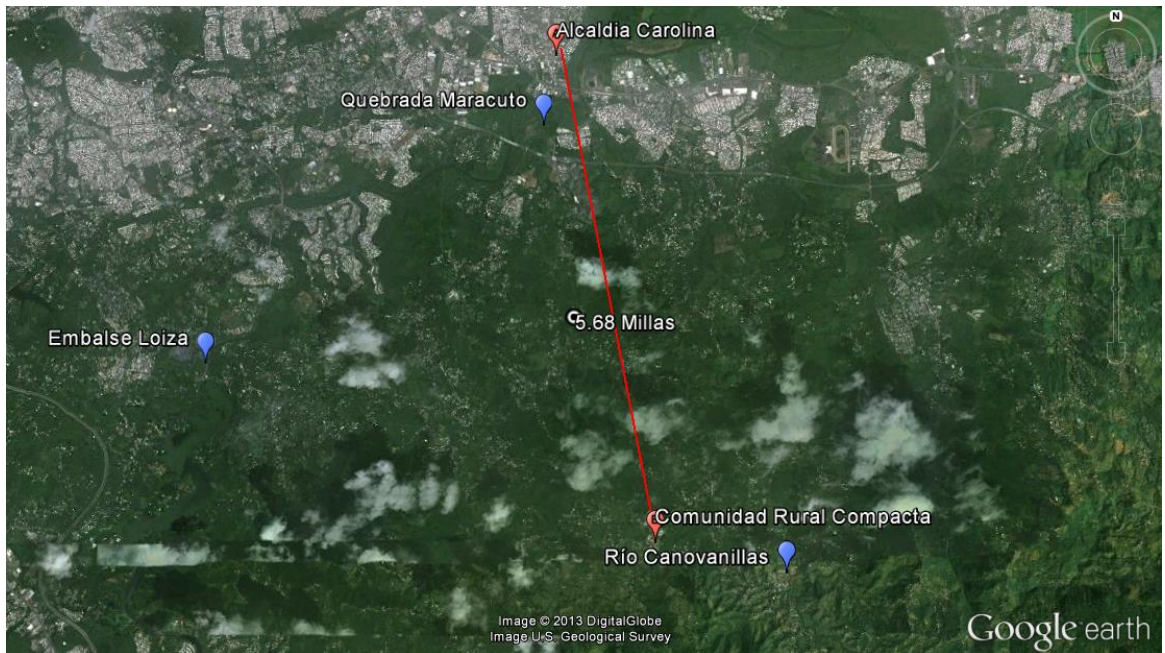


Figura 4. Distancia de Carolina pueblo hasta el área de estudio y localización de los puntos de muestreo de los cuerpos de agua superficial



Figura 5. Mapa del área de estudio

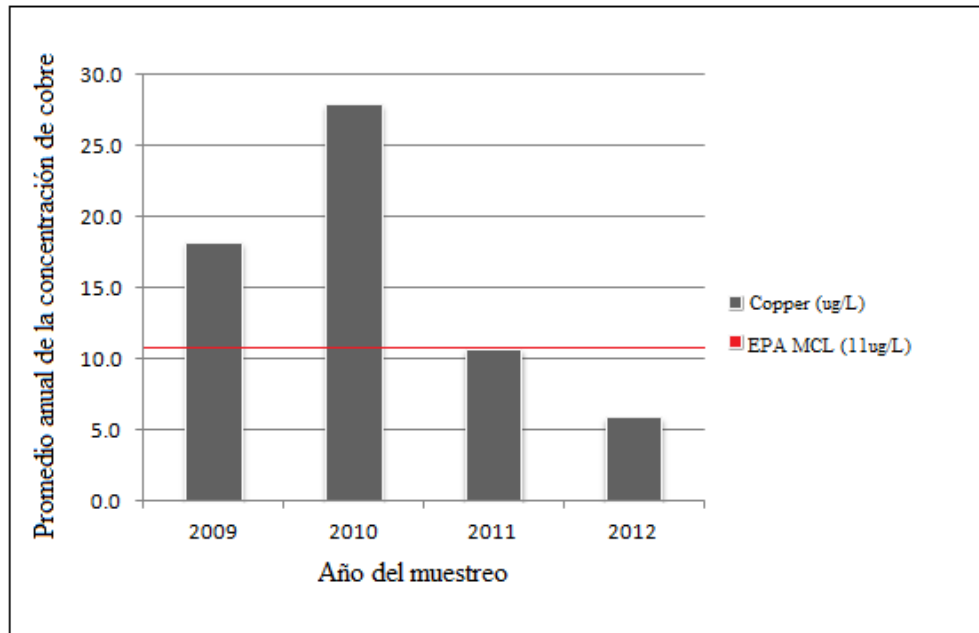


Figura 6. Reducción de parámetro de cobre en la PTAU

APÉNDICES

UNIVERSIDAD METROPOLITANA
Escuela de Educación Continua



Otorga

el presente certificado a

Jacqueline Otero Vega

como constancia de su asistencia a la actividad educativa

**Simposio Infraestructura Sanitaria en PR:
Retos y Oportunidades**

Horas contacto: 7
CEU: 1.0

Dado hoy, 19 de septiembre de 2013, en San Juan, Puerto Rico


Lorna Martínez Toledo
Decana Asociada

ESTADO LIBRE ASOCIADO DE PUERTO RICO
GOBIERNO MUNICIPAL AUTÓNOMO DE CAROLINA

8 de marzo de 2013

Srta. Jacqueline Otero Vega
Estudiante Post-Graduado Universidad Metropolitana
Recinto de Cupey



**RE: AUTORIZACION PARA INVESTIGACION DE TESIS
EVALUACIÓN DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS DE
UNA COMUNIDAD RURAL COMPACTA Y LOS RIESGOS QUE SE
REDUCEN CON LA OPERACIÓN DE LOS MISMOS**

Estimada señorita Otero Vega:

Acusamos recibo de carta que nos remitiera con fecha del 23 de febrero de 2013 y mediante la cual solicitó autorización del Gobierno Municipal Autónomo de Carolina (GMAC) para realizar su investigación de tesis graduada en la Planta de Tratamiento de Aguas Usadas (PTAU) de Barrazas sobre *Evaluación de los Sistemas de Tratamiento de Aguas de una Comunidad Rural Compacta y los Riesgos que se Reducen con la Operación*. Le informamos que su solicitud ha sido aprobada sujeto a las siguientes condiciones:

1. No podrá dedicar tiempo facturado al GMAC en calidad de operadora de la PTAU para el desarrollo de su tesis de investigación, las horas para fines académicos deberán ser coordinadas fuera de su horario de servicios profesionales.
2. Deberá permitir al GMAC la revisión del borrador final de tesis previo a su publicación y a su sometimiento ante la institución académica en la cual cursa estudios.
3. Deberá incluir un relevo en su Tesis de Investigación a los efectos de que la información de operación de la PTAU que pueda ser incluida en el documento es propiedad del GMAC y no puede ser compartida más allá de usos académicos ni publicada sin el consentimiento del GMAC.
4. No podrá incluir información de operación/seguridad que pueda ser utilizada para atentar contra la seguridad de las operaciones de la PTAU.
5. La información incluida en la Tesis será para uso académico exclusivamente.
6. Proveerá una copia de la Tesis final, debidamente aprobada, para los archivos del GMAC.
7. Relevará al GMAC de cualquier reclamación futura (por daños o cualquier otra materia) relacionada a la información provista, su uso y su presencia física en las facilidades del GMAC.
8. No se autoriza la entrada de otro personal académico a la PTAU sin previa coordinación y evaluación del GMAC.

www.teleserviciogigante.com



P.O. Box 8, Carolina, Puerto Rico 00986-0008 • (787) 757-2626 • Teleservicios: 641-2000 • 641-0958

Carta a J. Otero Vega
Autorización Tesis de Investigación
8 de marzo de 2013
Pág. 2 de 2

Le deseamos éxito en su investigación esperando poder contribuir a la consecución de sus metas académicas. De necesitar cualquier información adicional puede comunicarse con quien suscribe al número de teléfono (787) 757-2626 extensión 8201.

Cordialmente,



Ing. Angel Serrano Sierra
Director
Acueducto Municipal



Planta de Tratamiento de Aguas Usadas



Sistema Dual



Oasis



Servicios ofrecidos



Parque Acuático Aquasol de Barrazas



Oficinas del Centro de Servicios Municipales de Barrazas



Oficinas del Centro de Servicios Municipales de Barrazas