

# PLAN DE REUSO DE AGUAS USADAS DE PUERTO RICO

Por  
Ferdinand Quiñones, PE y Rafael Guerrero, PhD

## **Resumen Ejecutivo**

Este informe evalúa el potencial para el reuso de aguas sanitarias tratadas en Puerto Rico. El informe fue preparado por el Departamento de Recursos Naturales y Ambientales (DRNA) como parte del esfuerzo para actualizar el Plan Integral de Conservación, Desarrollo y Uso de los Recursos de Agua de Puerto Rico, preparado en 1996 (denominado de aquí en adelante como el Plan Integral de Aguas, o el Plan de Aguas). La actualización del Plan de Aguas incluye un inventario y evaluación de los recursos de agua en la isla; el uso actual doméstico, agrícola e industrial-comercial; proyecciones de demandas de agua futuras para usos domésticos y agrícolas; una evaluación de los embalses existentes y la generación de energía hidroeléctrica en estos; estimados de las demandas de los sistemas naturales; y el potencial en la isla para desalinización y el reuso de aguas sanitarias tratadas.

El informe provee estimados recientes de la cantidad, calidad y disponibilidad de las aguas usadas domésticas en la isla, así como el potencial para su reuso indirecto o directo como fuente de abasto de agua potable o para riego. Se concluye que la AAA genera aproximadamente 223 mgd de aguas sanitarias, de las cuales 149 mgd reciben tratamiento primario, 63 mgd secundario, y 11 mgd terciario. El informe concluye que el reuso indirecto de aguas sanitarias tratadas se lleva a cabo en Puerto Rico desde hace más de 50 años, con un caudal reusado de aproximadamente 28 a 30 mgd durante los periodos de flujo mínimo. Se provee un trasfondo de los elementos técnicos, ambientales y socioeconómicos del reuso de aguas sanitarias tratadas, incluyendo la ubicación de las fuentes de dichas aguas, así como alternativas para el reuso incluyendo la recarga a los acuíferos, el uso en las calderas de la AEE, la descarga en los ríos y los embalses que alimentan las tomas de la AAA y el riego agrícola. También se resumen las condiciones ambientales y de salud pública que se deben considerar en planes de reuso, así como posibles reglamentaciones necesarias para el reuso de agua en la isla. Como un trasfondo a estas oportunidades de reuso de aguas sanitarias en Puerto Rico, se presentan ejemplos de actividades similares en varios estados y en otros países, particularmente islas.

El informe recomienda implantar proyectos de reuso de las aguas usadas generadas en la isla para varios propósitos, incluyendo la recarga a los acuíferos en las regiones norte y sur de la isla, uso en las calderas de las plantas de la AEE y el uso para riego en el Valle de Lajas. El informe también recomienda que se implanten las medidas y los reglamentos necesarios para comenzar proyectos de reuso en una escala significativa, utilizando la experiencia del Estado de Washington como modelo de implantación.

## Tabla de Contenido.

|       |                                                                                                                                           |    |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.0   | Introducción y Trasfondo .....                                                                                                            | 4  |
| 2.0   | Plantas de Tratamiento de Aguas Usadas de la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados .....                                              | 6  |
| 2.1   | Tratamiento de Aguas Sanitarias Domésticas .....                                                                                          | 6  |
| 2.2   | Descripción de la Red de Plantas de Tratamiento de Aguas Usadas de la AAA y su Condición Actual .....                                     | 10 |
| 2.2.1 | Red de las Plantas de Tratamiento de la AAA:.....                                                                                         | 10 |
| 2.2.2 | Capacidad de Diseño y Producción Actual de las Plantas de Tratamiento de la AAA.....                                                      | 13 |
| 2.2.3 | Plantas de Filtración para Producir Agua Potable de la AAA.....                                                                           | 14 |
| 2.3   | Calidad del Efluente de las Plantas de Tratamiento de Puerto Rico.....                                                                    | 16 |
| 2.4   | Reglamentaciones Aplicables.....                                                                                                          | 16 |
| 2.5   | Situación Actual y Cumplimiento Ambiental.....                                                                                            | 19 |
| 3.0   | Reuso Potencial de Aguas Usadas .....                                                                                                     | 22 |
| 3.1   | Beneficios ambientales y sociales del reuso de agua.....                                                                                  | 24 |
| 3.2   | Viabilidad Económica del reuso de agua .....                                                                                              | 26 |
| 3.2.1 | Calidad del agua reusada.....                                                                                                             | 27 |
| 3.2.2 | Aceptación del reuso de agua por la población y proyecciones futuras:..                                                                   | 27 |
| 4.0   | Planificación de un Sistema de Reuso .....                                                                                                | 29 |
| 4.1   | Guías para la Implantación de Sistemas de Reuso .....                                                                                     | 29 |
| 4.2   | Participación Pública.....                                                                                                                | 29 |
| 4.3   | Beneficio de nutrientes asociados al reuso de aguas sanitaria con fines agrícolas .....                                                   | 30 |
| 4.3.1 | Guías para el reuso en la agricultura.....                                                                                                | 31 |
| 4.4   | Guías para el reuso potable indirecto y directo.....                                                                                      | 32 |
| 4.5   | Consideraciones de Salud Pública sobre el reuso de aguas sanitarias.....                                                                  | 33 |
| 4.5.1 | Componentes orgánicos e inorgánicos del agua sanitaria:.....                                                                              | 33 |
| 4.5.2 | Los constituyentes de las aguas sanitarias que pueden tener impacto en la salud de la población se pueden clasificar en tres grupos:..... | 33 |
| 4.5.3 | Micro-organismos Patógenos .....                                                                                                          | 36 |
| 4.5.4 | Métodos de desinfección del agua sanitaria .....                                                                                          | 38 |
| 5.0   | Reglamentaciones Locales y Federales Aplicables.....                                                                                      | 41 |
| 5.1   | US EPA.....                                                                                                                               | 42 |
| 5.2   | Estado de California.....                                                                                                                 | 42 |
| 5.3   | JCA.....                                                                                                                                  | 45 |
| 5.3.1 | Reglamento de Control de Inyección Subterránea .....                                                                                      | 46 |
| 5.4   | Departamento de Salud .....                                                                                                               | 47 |
| 5.5   | Estudios Históricos y Proyectos Actuales .....                                                                                            | 48 |
| 6.0   | Proyectos de reuso de aguas usadas .....                                                                                                  | 50 |
| 6.1   | Estado de California.....                                                                                                                 | 50 |
| 6.1.1 | Ejemplos de proyectos de reuso de agua en California.....                                                                                 | 51 |
| 6.2   | Estado de Florida.....                                                                                                                    | 54 |
| 6.2.1 | Ejemplos de proyectos de reuso de agua en Florida.....                                                                                    | 55 |

|       |                                                                                                                               |    |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 6.3   | Estado de Washington .....                                                                                                    | 56 |
| 6.4   | Proyectos de Reuso en otros Estados de EE. UU. ....                                                                           | 58 |
| 6.4.1 | Proyecto de Demostración de Agua Potable de Denver.....                                                                       | 58 |
| 6.5   | Resumen de la experiencia de reuso en EE. UU.....                                                                             | 60 |
| 6.6   | Reuso de aguas usadas en otros países.....                                                                                    | 60 |
| 6.7   | Reuso en islas .....                                                                                                          | 62 |
| 7.0   | Proyectos de reuso de aguas usadas en Puerto Rico .....                                                                       | 63 |
| 8.0   | Oportunidades de Reuso en las Plantas de Tratamiento de Aguas Usadas de la<br>Autoridad de Acueductos y Alcantarillados ..... | 65 |
| 8.1   | Plantas Primarias.....                                                                                                        | 65 |
| 8.2   | Plantas Secundarias .....                                                                                                     | 67 |
| 8.3   | Plantas terciarias .....                                                                                                      | 68 |
| 9.0   | Resumen, Conclusiones y Recomendaciones .....                                                                                 | 71 |
| 10.0  | Referencias .....                                                                                                             | 74 |
| 11.0  | Glosario de Reuso de Aguas.....                                                                                               | 77 |
| 12.0  | Apéndices.....                                                                                                                | 79 |

## Lista de Figuras

|          |                                                       |     |
|----------|-------------------------------------------------------|-----|
| Figura 1 | Diagrama generalizado del tratamiento primario.....   | 11  |
| Figura 2 | Diagrama generalizado del tratamiento secundario..... | 13  |
| Figura 3 | Diagrama generalizado del tratamiento terciario.....  | 14  |
| Figura 4 | Plantas de Tratamiento en PR.....                     | 22  |
| Figura 5 | Plantas de Tratamiento y Filtración en PR.....        | 23  |
| Figura 6 | Beneficios del reuso del agua sanitaria.....          | 40  |
| Figura 7 | Cono de depresión del acuífero de Santa Isabel.....   | 114 |

## Lista de Tablas

|          |                                                                    |    |
|----------|--------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1. | - Niveles de remoción de BOD y TSS en las plantas de la AAA.....   | 9  |
| Tabla 2. | - Descargas de las plantas de tratamiento de la AAA .....          | 20 |
| Tabla 3. | - Guías sugeridas para aguas tratadas en el reuso agrícola.....    | 51 |
| Tabla 4. | - Clasificación de los constituyentes de las aguas sanitarias..... | 54 |
| Tabla 5. | - Agentes infecciosos en las aguas sanitarias.....                 | 57 |
| Tabla 6. | - Resumen comparativo de guías de reuso.....                       | 65 |

## 1.0 Introducción y Trasfondo

El Departamento de Recursos Naturales y Ambientales (DRNA), con la asistencia técnica y económica de la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados (AAA), la Autoridad de Energía Eléctrica (AEE), y varias agencias del Estado Libre Asociado (ELA), actualiza el Plan Integral de Conservación, Desarrollo y Uso de los Recursos de Agua de Puerto Rico, preparado en 1996 (denominado de aquí en adelante como el Plan Integral de Aguas, o el Plan de Aguas).

La Ley de Aguas de Puerto Rico (Ley Núm. 136 del 3 de junio de 1976, o Ley de Aguas) requiere al Secretario del DRNA que desarrolle, adopte y mantenga un Plan Integral de Aguas en consulta con el Comité de Recursos de Agua, nombrado por el Secretario del DRNA. El Plan de 1996 no incluye elementos significativos para el manejo y uso adecuado de los recursos de agua superficiales y subterráneos en Puerto Rico, limitando la capacidad del DRNA de manejar más efectivamente los recursos de agua en la Isla. El reuso de las aguas en la isla no es considerado en el Plan de Aguas vigente.

Este informe sobre el reuso de aguas usadas dentro del Plan Integral de Aguas evalúa el potencial y las alternativas para el reuso de las aguas sanitarias domésticas generadas en las plantas de tratamiento de la AAA. Aunque en Puerto Rico se generan aguas usadas por las actividades agrícolas e industriales, estas actividades no se consideran en este informe. La AAA es la fuente principal de aguas usadas en el País, teniendo la ventaja de que una parte sustancial del efluente de las plantas de tratamiento está ubicado en las zonas costaneras donde existen oportunidades de reuso viables. Las actividades agrícolas e industriales están dispersas por la isla, y con la excepción de la Planta Regional de Tratamiento de Barceloneta, generan individualmente cantidades menores de aguas usadas. La planta de Barceloneta recibe una mezcla de afluentes industriales y domésticos, las que descarga al mar cerca de Manatí.

El informe de reuso también evalúa los posibles efectos en la salud y el ambiente que es necesario considerar en un plan de reuso de aguas usadas. Además, considera estrategias de reuso tales como la recarga de los acuíferos costaneros para aumentar los abastos de agua potable o para controlar la intrusión salina; el potencial para riego agrícola en productos no directamente comestibles; y el almacenamiento en embalses que se utilizan como fuente de agua potable. Finalmente, el informe de reuso presenta un marco de posibles reglamentaciones que será necesario adoptar para implantar un plan de reuso directo de aguas sanitarias tratadas en Puerto Rico.

Este informe incluye además los siguientes elementos:

1. Un inventario actualizado de las plantas de tratamiento de aguas sanitarias operada por la AAA, incluyendo su ubicación, la cantidad de efluente que producen y el punto de descarga y elementos de la calidad de dicho efluente.

2. Una recopilación de algunos de los estudios más recientes sobre el reuso de aguas sanitarias tratadas utilizando diferentes tecnologías y niveles de tratamiento.
3. Evaluación de las alternativas de reuso de aguas sanitarias tratadas tomando en consideración los efectos potenciales de dicho reuso sobre la población y el medioambiente de la isla.
4. Recomendaciones para implantar proyectos de reuso de aguas sanitarias en Puerto Rico, incluyendo las medidas y reglamentaciones necesarias para implantar efectivamente los proyectos de reuso recomendados.

## **2.0 Plantas de Tratamiento de Aguas Usadas de la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados**

En esta sección se resumen la cantidad, calidad y ubicación de las descargas sanitarias domésticas en Puerto Rico provenientes de las plantas de tratamiento operadas por la AAA. Se presenta una breve introducción sobre los niveles de tratamiento que proveen las plantas de tratamiento de aguas sanitarias, así como una descripción de la red de plantas de tratamiento de la AAA, incluyendo su localización, capacidad de diseño, caudal promedio producido, la calidad de sus efluentes y los cuerpos de agua a donde descargan las plantas. La sección también incluye una discusión de las leyes y reglamentos aplicables a las descargas de las plantas de tratamiento y el cumplimiento de las plantas de la AAA con dicha reglamentación.

### ***2.1 Tratamiento de Aguas Sanitarias Domésticas***

El tratamiento convencional de aguas sanitarias domésticas incluye una combinación de procesos y operaciones físicas, químicas y biológicas que remueven parte de los sólidos, materia orgánica, bacterias y nutrientes disueltos o suspendidos en el afluente que reciben las plantas de tratamiento de dichas aguas usadas. El objetivo fundamental del tratamiento de las aguas sanitarias es remover el máximo posible de la materia orgánica suspendida o disuelta en las aguas. La presencia o concentración de estos componentes en las aguas residuales se expresa en términos de la Demanda Bioquímica de Oxígeno de cinco días (BOD5, por sus siglas en inglés) y la concentración de sólidos suspendidos totales (TSS, por sus siglas en inglés). La eficiencia del proceso utilizado para tratar las aguas sanitarias generalmente se mide utilizando el porcentaje de remoción del BOD y los TSS originalmente presentes en las aguas sanitarias que llegan a la planta (afluente a la planta).

El tratamiento de aguas domésticas usadas puede incluir diferentes grados, incluyendo Primario, Secundario y Terciario. Dentro de estas tres categorías generales se proveen niveles de tratamiento, incluyendo procesos avanzados diseñados para mejorar la eficiencia de remoción del BOD, los TSS y los nutrientes. Los niveles de remoción de BOD y TSS aplicables a cada una de las categorías principales de tratamiento en las plantas de la AAA se incluyen en la tabla siguiente:

**Tabla 1 – Niveles de remoción de BOD y TSS en las plantas de la AAA (promedio)**

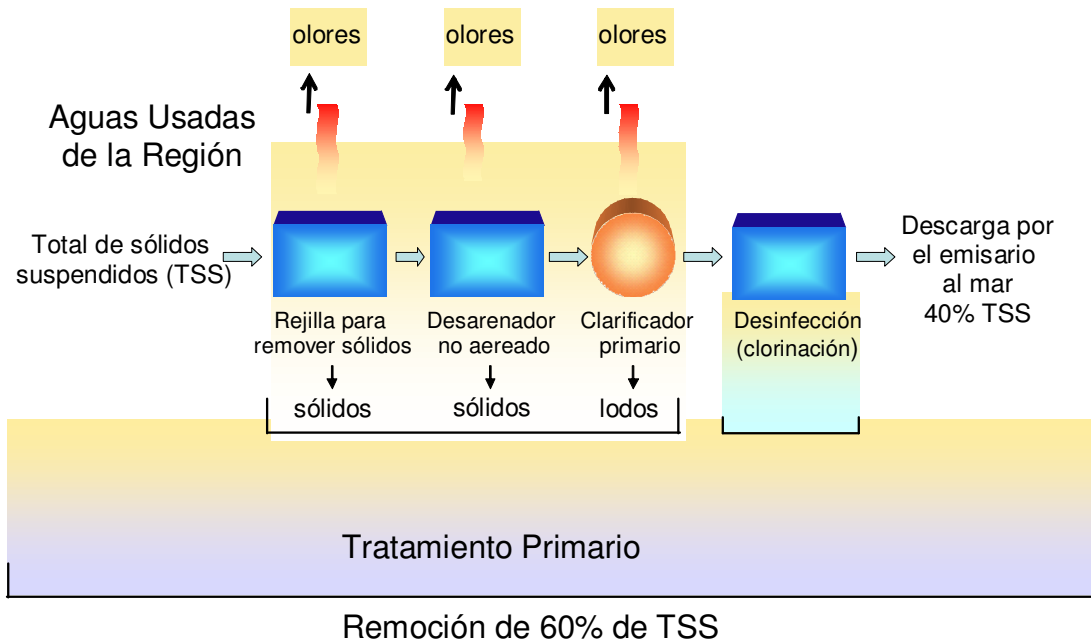
| <b>NIVEL DE TRATAMIENTO</b> | <b>BOD REMOVIDO (POR CIENTO)</b> | <b>TSS REMOVIDOS (POR CIENTO)</b> |
|-----------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| <b>Primario</b>             | 44.7%                            | 75.2%                             |
| <b>Secundario</b>           | 92.6%                            | 91.4%                             |
| <b>Terciario</b>            | 97.5%                            | 98%                               |

La Ley de Agua Limpia Federal (*Clean Water Act*) de 1972, según enmendada, requiere que, como mínimo, se provea tratamiento secundario a todas las aguas domésticas descargadas de plantas de tratamiento municipales o regionales a cuerpos de aguas bajo la jurisdicción de la Agencia de Protección Ambiental Federal (EPA, por sus siglas en inglés). Esto incluye descargas a cualquier quebrada, río, lago, laguna, embalse, humedal, estuario u océano designado como aguas jurisdiccionales de los Estados Unidos de Norteamérica (EE. UU.). La EPA ha autorizado en Puerto Rico una excepción a este requisito de tratamiento secundario, bajo la Sección 301(h) de la Ley de Agua Limpia, para una serie de plantas de tratamiento regionales que descargan el efluente al mar bajo permisos interinos y programas de monitoreo intensos. Como se detalla posteriormente, además de 54 plantas secundarias y dos plantas terciarias, la AAA opera seis (6) plantas primarias. Las plantas primarias de la AAA efectúan sus descargas al océano autorizadas por permisos interinos bajo la Sección 301(h).

Un diagrama generalizado de las alternativas de tratamientos de las aguas sanitarias se muestra en las Figuras 1, 2 y 3. Los diagramas recogen los elementos básicos de los tres tipos de tratamiento de las aguas sanitarias: Tratamiento Primario; Tratamiento Secundario; y Tratamiento Terciario.

Plantas de tratamiento primario. La Figura 1 describe el tratamiento primario. El tratamiento primario utiliza procesos físicos, como la sedimentación, para remover parte de los sólidos suspendidos y de la materia orgánica que llegan a la facilidad de tratamiento de aguas usadas. La mayoría de las plantas primarias utiliza tanques de sedimentación primaria para este propósito. En algunas plantas primarias, se desinfecta con cloro después de la sedimentación para disminuir la concentración de organismos patógenos que se descargan en el río, el mar y en ocasiones hacia el subsuelo. Los tanques de sedimentación primaria más eficaces, cuando son operados eficientemente, deben reducir la concentración de BOD<sub>5</sub> entre 25 y 40 por ciento y los TSS entre 50 y 70 por ciento.

# Tratamiento Primario

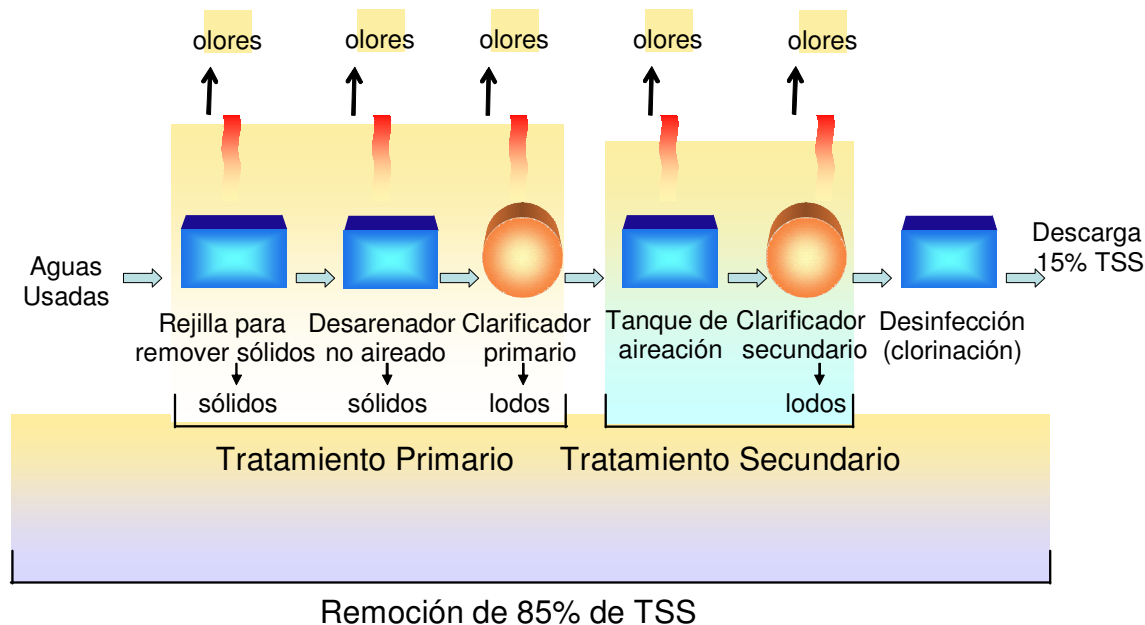


**Figura 1 Diagrama Generalizado del Tratamiento Primario**

Plantas de tratamiento secundario. La Figura 2 describe el tratamiento secundario. El tratamiento secundario consiste de procesos biológicos y de procesos químicos. El tratamiento secundario de las aguas usadas se caracteriza por la remoción de los sólidos suspendidos, la aplicación de químicos para remover organismos patógenos mediante la desinfección y por los procesos de digestión anaeróbica para reducir el BOD. El tratamiento secundario avanzado se caracteriza por la remoción de nutrientes como el nitrógeno y el fósforo. El tratamiento secundario debe reducir la concentración de BOD entre 70 y 90 por ciento y la concentración de los TSS en un 90 por ciento. El estándar típico de BOD<sub>5</sub> y de TSS para una planta secundaria es una concentración máxima de 30 mg/l y un mínimo de 85% de remoción, para ambos parámetros.



# Tratamiento Secundario



**Figura 2 Diagrama Generalizado del Tratamiento Secundario**

Plantas de tratamiento terciario. La Figura 3 describe el tratamiento terciario. El tratamiento terciario consiste de procesos y sistemas adicionales para remover constituyentes particulares. El tratamiento terciario consiste en la aplicación de pasos adicionales tales como más químicos, la desinfección secundaria y la remoción de la mayoría de los TSS, de los químicos volátiles, de los nutrientes y de otros contaminantes por métodos avanzados de filtración y desinfección. El tratamiento terciario es el nivel de tratamiento preferido para proteger la sensibilidad del eco-sistema que recibe la descarga y para disminuir el riesgo ambiental. Los procesos terciarios son costosos debido a la tecnología requerida para remover los contaminantes de peso molecular pequeño y los patógenos resistentes al tratamiento previo.

# Tratamiento Terciario

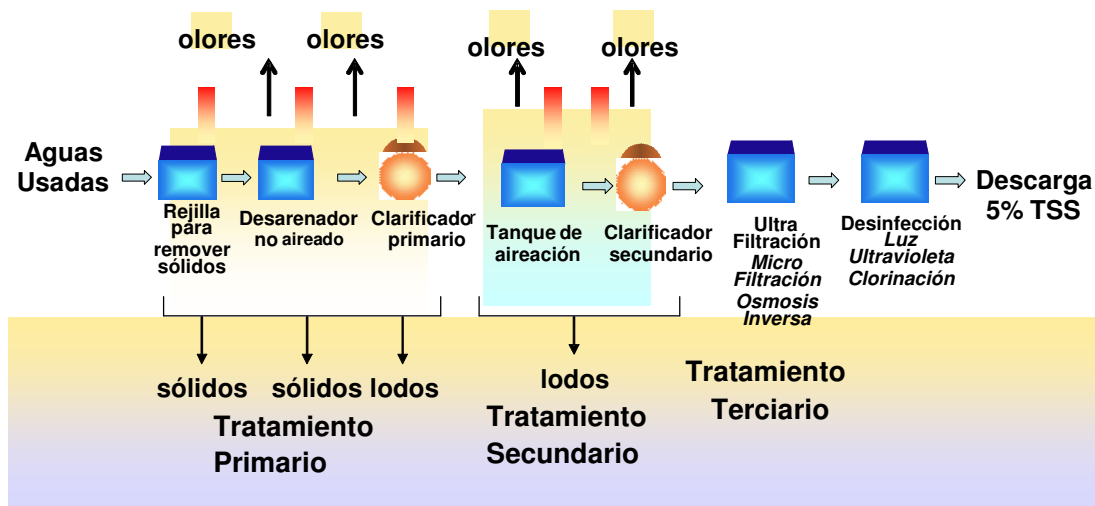


Figura 3 Diagrama Generalizado del Tratamiento Terciario

## 2.2 Descripción de la Red de Plantas de Tratamiento de Aguas Usadas de la AAA y su Condición Actual

### 2.2.1 Red de las Plantas de Tratamiento de la AAA:

La AAA operaba 62 plantas de tratamiento de aguas sanitarias a finales de octubre del 2003, sirviendo a aproximadamente el 50% de la población de Puerto Rico. Estas plantas descargaban aproximadamente 223 millones de galones por día (mgd) de aguas tratadas de diversa calidad a los cuerpos de agua superficiales de Puerto Rico (quebradas, ríos y embalses), y al océano.

El Apéndice 1 resume las características más importantes de las 62 plantas de tratamiento de aguas usadas que opera la AAA, incluyendo el nombre de la planta; ubicación; latitud y la longitud correspondientes; número del permiso de

descarga NPDES; el cuerpo de agua receptor donde descarga; la capacidad de diseño; el caudal de la planta; el tipo de tratamiento: primario, secundario y terciario; y la concentración promedio en el efluente de BOD y TSS. Estos datos analíticos corresponden a pruebas llevadas a cabo por la AAA entre el 2002 y el 2003 como parte del programa de monitoreo requerido por la EPA dentro de los permisos NPDES para cada planta.

### **2.2.1.1 Plantas de Tratamiento Primario:**

La AAA opera seis (6) plantas de tratamiento primario en Puerto Rico mediante dispensas interinas al requisito federal de que se provea, como mínimo, tratamiento secundario a las aguas usadas descargadas al medioambiente. La EPA reglamenta las descargas de estas plantas mediante el sistema de permisos NPDES (siglas en inglés para el National Pollutant Discharge Elimination System). Las dispensas al requisito de tratamiento secundario son autorizadas por el Congreso de los Estados Unidos mediante enmiendas a la Ley de Agua Limpia (LAL). Estas enmiendas, contenidas en la Sección 301(h) de dicha ley federal, permiten descargar efluentes primarios de plantas de tratamiento domésticas al océano.

La EPA autorizó dispensas interinas para que las plantas primarias de Puerto Nuevo, Bayamón, Carolina, Arecibo, Aguadilla y Ponce descarguen al Atlántico o al Mar Caribe. Estas dispensas incluyen programas intensos de monitoreo de la calidad del efluente y sus efectos en los puntos de descarga en el océano, definidos como “zonas de mezcla”.

En estas zonas, localizadas hasta 6 millas mar afuera desde la costa, el efluente primario es descargado mediante difusores en el extremo de una tubería submarina (denominada como “emisario submarino”). Las dispensas requieren que se cumpla con ciertos parámetros específicos de calidad de agua, los cuales son monitoreados como mínimo cada tres meses. La Junta de Calidad Ambiental (JCA) participa en el proceso de estos permisos mediante la emisión de un Certificado de Calidad de Agua (CCA) para autorizar la zona de mezcla de cada emisario submarino.

En el 2003, el promedio de la descarga combinada diaria de estas seis plantas primarias fue de aproximadamente 149 mgd. Las dispensas al requisito de tratamiento secundario para las plantas primarias fueron por un total de 20 años y como mínimo son revisadas periódicamente por la EPA, con el potencial de que eventualmente se requiera tratamiento secundario como mínimo en estas plantas.

### **2.2.1.2Plantas de Tratamiento Secundario:**

La AAA opera cincuenta y cuatro (54) plantas secundarias a través de Puerto Rico. Estas plantas cuentan con permisos NPDES permanentes emitidos por la EPA y con CCA emitidos por la JCA.

1. Las 54 plantas de tratamiento secundario que opera la AAA descargan un total combinado de 63 mgd. Diez de estas plantas secundarias descargan al océano y 44 descargan a ríos o quebradas.
2. El flujo promedio combinado de las 44 plantas secundarias que descargan a los ríos y las quebradas es de 26.3 mgd. Estas plantas operan mediante los permisos NPDES emitidos por la EPA y los CCA emitidos por la JCA.
3. El efluente promedio diario de las 10 plantas secundarias que descargan al mar es de 36.4 mgd. Las plantas secundarias con efluentes al océano operan mediante permisos NPDES emitidos por la EPA y CCA emitidos por la JCA. Las diez plantas secundarias participan en programas de monitoreo intensos requeridos por las agencias reguladoras para garantizar la protección de las aguas costaneras de la isla.

### **2.2.1.3Plantas de Tratamiento Terciario:**

La AAA opera una (1) planta terciaria en Caguas que sirve los municipios de Caguas y Gurabo, y eventualmente San Lorenzo, descargando al Río Bairoa un promedio de 11 mgd. La AAA también opera una (1) planta terciaria en Barraquitas con una capacidad de diseño de 0.6 mgd y una descarga promedio de 0.306 mgd al Río Barranquitas. La Autoridad para el Financiamiento de la Infraestructura (AFI) construye al presente para la AAA una nueva planta regional terciaria en Fajardo, la que servirá los municipios de Fajardo, Ceiba y Luquillo, con una capacidad de 12 mgd. La AAA propone construir una planta similar terciaria con capacidad de 14 mgd para servir la región de Dorado, incluyendo los municipios de Toa Alta, Toa Baja, Vega Baja y Dorado. Estas dos nuevas plantas terciarias eventualmente reemplazarán seis de las 54 plantas secundarias antes referidas.

## 2.2.2 Capacidad de Diseño y Producción Actual de las Plantas de Tratamiento de la AAA

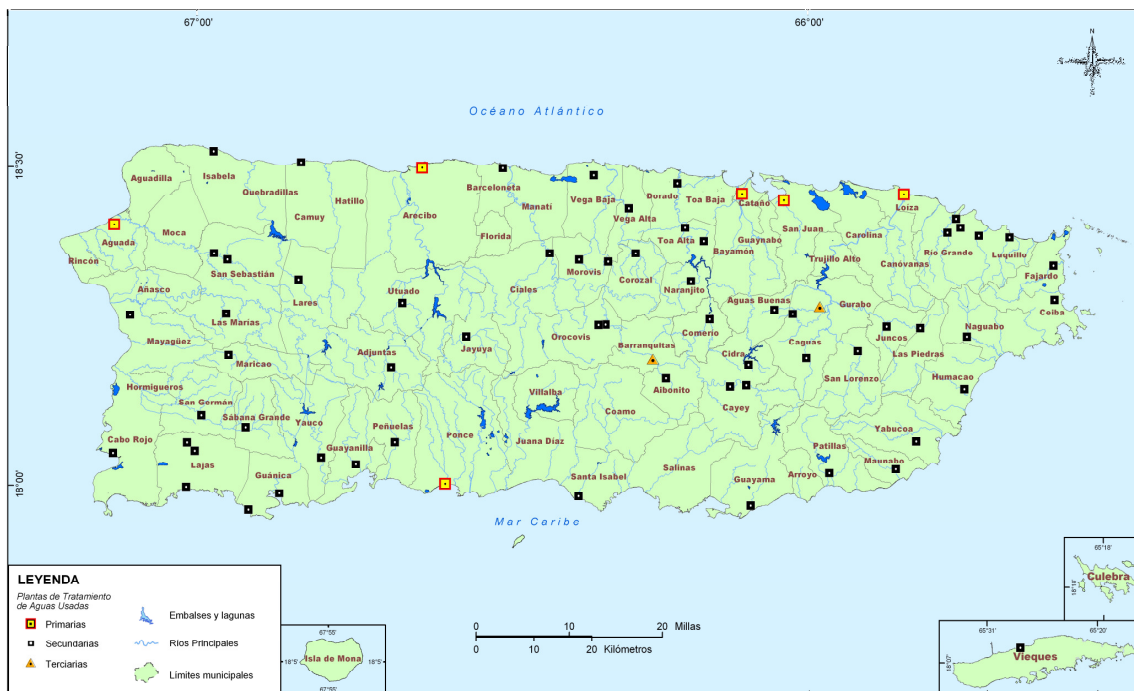
La capacidad total de diseño de las 62 plantas de tratamiento de la AAA es de aproximadamente 303 mgd, mientras que en el 2003 la descarga promedio fue de 223 mgd. La localización de las plantas y los cuerpos de agua receptores del efluente de dichas plantas se ilustra en la Figura 4. El efluente de 10 de las plantas es descargado al Océano Atlántico y el de seis (6) plantas al Mar Caribe. El caudal de descarga de las plantas de tratamiento a los cuerpos receptores se desglosa en la Tabla 2, de acuerdo al tipo de tratamiento.

**Tabla 2. Descargas de las plantas de tratamiento de aguas usadas de la AAA (Millones de galones Diario)**

| <b>Tipo de Tratamiento</b> | <b>Caudal Promedio (mgd)</b> | <b>Mar (mgd)</b> | <b>Ríos y embalses (mgd)</b> |
|----------------------------|------------------------------|------------------|------------------------------|
| Primario                   | 149                          | 149              | 0                            |
| Secundario                 | 63                           | 36               | 27                           |
| Terciario                  | 11                           | 0                | 11                           |
| <b>Totales</b>             | <b>223</b>                   | <b>185</b>       | <b>38</b>                    |

Fuente: Oficina del Plan de Agua, 2004

Los ríos y embalses de Puerto Rico reciben 27 mgd de descargas con tratamiento secundario y 11 mgd con tratamiento terciario, para un total de 38 mgd de descargas de las plantas de tratamiento. El mar recibe 149 mgd de descargas con tratamiento primario y 36 mgd con tratamiento secundario, para un total de 185 mgd de descargas de las plantas de tratamiento.

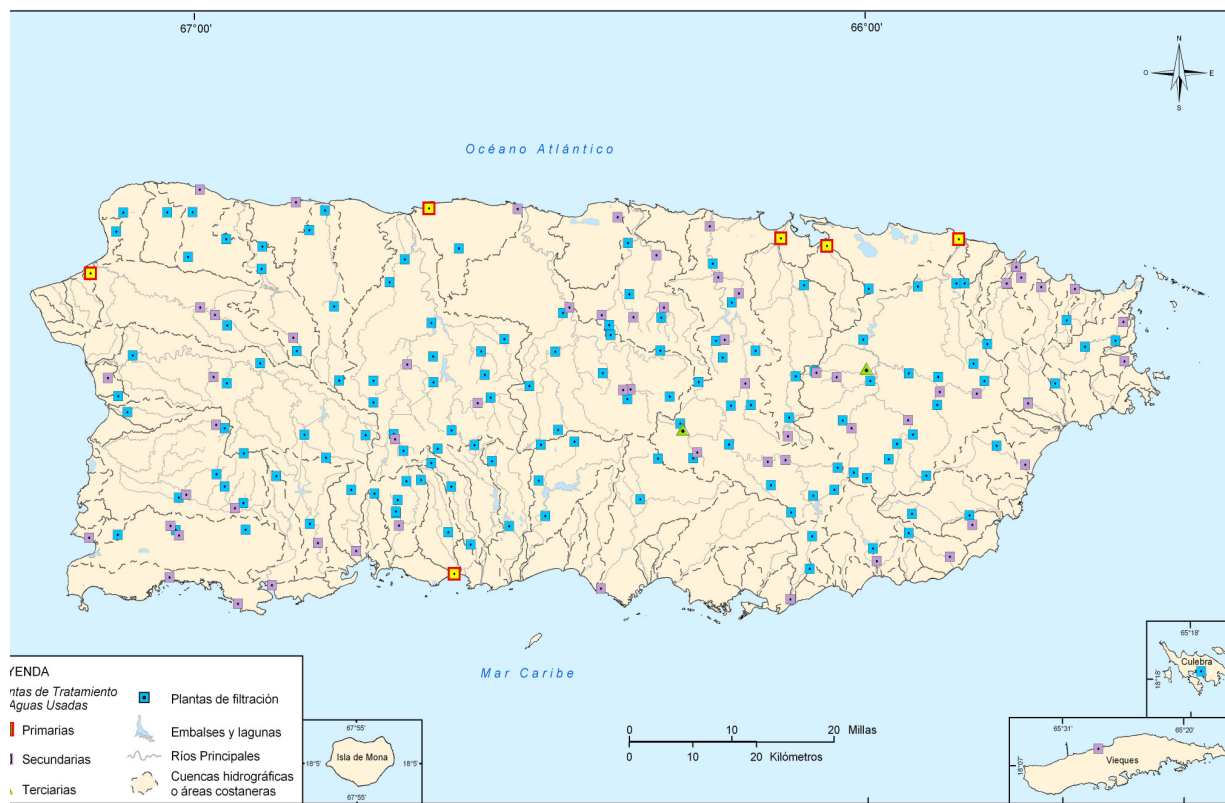


**Figura 4. Plantas de Tratamiento de Aguas Usadas en Puerto Rico**

### 2.2.3 Plantas de Filtración para Producir Agua Potable de la AAA

La AAA también opera 124 plantas de filtración para producir agua potable en Puerto Rico. La ubicación de estas plantas potabilizadoras con relación a las plantas de tratamiento se ilustra en la Figura 5. Esta figura también delimita las cuencas hidrográficas donde se extrae el agua para potabilizar, y donde al presente ocurre reuso indirecto no planificado de las aguas sanitarias para la producción de agua potable.

Las plantas potabilizadoras descargan parte del efluente del lavado de los filtros a ríos, quebradas y embalses cercanos a donde ubican. El lavado de los filtros utiliza parte del agua potable que produce la planta, variando la cantidad de un mínimo de 3 % de la producción hasta un 12 %. La AAA estima que utiliza en el lavado de los filtros un promedio de 6 % de la producción total de 600 mgd.



**Figura 5. Plantas de Tratamiento y Filtración en Puerto Rico**

La mayor parte de esta agua, cuyo flujo se estima en aproximadamente 40 mgd, es descargada al medioambiente. Esto se debe a que la Orden Administrativa 1990-XIV-A-90, aprobada por el Departamento de Salud de Puerto Rico el 23 de mayo de 1991, limita el reuso del agua de lavado de filtros en las plantas de filtración al 20% de la capacidad de diseño de la planta.

La restricción del reuso obedece a el potencial de que el reuso del lavado de los filtros pudiera resultar en la acumulación de organismos nocivos a la salud en los filtros mismos, a medida que se recircula el agua (*Cryptosporidium* y *Giardia*). Existe el potencial de reutilizar una cantidad mayor del lavado de filtros sujeto a que la AAA lleve a cabo una serie de pruebas y monitoreo individual en cada planta, que demuestre que no ocurrirá la acumulación de estos organismos patógenos en los filtros. Este tema se discute más adelante en este informe.

## **2.3 Calidad del Efluente de las Plantas de Tratamiento de Puerto Rico**

El diseño de programas de reuso requiere considerar las leyes y los reglamentos aplicables que controlan la calidad de las descargas sanitarias al medioambiente. El reuso directo de aguas sanitarias tratadas provenientes de una planta doméstica operada por la AAA constituiría una descarga al medioambiente y conllevaría modificaciones a los permisos existentes, o permisos especiales de las agencias reguladoras.

Un proyecto de reuso de aguas sanitarias constituye una acción significativa desde el punto de vista de la Ley Sobre Política Pública Ambiental de Puerto Rico (Ley # 9 de 1970, según enmendada) y conllevaría la preparación de un documento de análisis de impactos ambientales, posiblemente una Declaración de Impacto Ambiental (DIA). Por otro lado, el Departamento de Salud de Puerto Rico (DS) es responsable de certificar que la producción de agua potable, cumple con los requisitos de la Ley de Agua Potable Segura de 1974 (SDWA, por sus siglas en inglés) y el reglamento 6090 del DS el cual fue aprobado el 31 de enero de 2000. Un proyecto de reuso de aguas sanitarias con el objetivo de aumentar directa o indirectamente los abastos de agua potable en un río, embalse o acuífero, requerirá también el endoso del DS y del DRNA.

## **2.4 Reglamentaciones Aplicables**

Las siguientes reglamentaciones locales y federales serían posiblemente aplicables a un proyecto para reuso de aguas sanitarias tratadas en Puerto Rico.

1. Estándares de Calidad de Agua Ambientales Locales y Federales: Los estándares de calidad de agua son provisiones de leyes estatales y federales que determinan los usos para las aguas en los EE. UU. y en PR, y establecen los criterios de calidad de agua basada en dichos usos. Las leyes y los reglamentos que aplican al control de contaminación de agua incluyen el Reglamento de los Estándares de Calidad de Agua de Puerto Rico (Reglamento # 6616 del 14 de mayo de 2003) y la Ley Federal de Agua Limpia (*Clean Water Act*, 33 U.S.C. § 1342 ; 40 C.F.R. pts. 121 y 122 (2002).

La concentración de contaminantes en el efluente de cualquier fuente de aguas contaminadas, incluyendo las plantas de tratamiento de la AAA, es reglamentada mediante niveles máximos definidos en el Permiso NPDES y en los estándares de calidad de agua de la JCA. Estos estándares locales se refieren a las concentraciones específicas que los efluentes de cualquier fuente contaminante no pueden exceder y que son reglamentadas mediante la emisión de un Certificado de Calidad de Agua de la JCA.



- a. El Reglamento de Estándares de Calidad de Agua de Puerto Rico de la JCA (Reglamento): clasifica las aguas de Puerto Rico de acuerdo al uso que se pretende darle; establece los estándares de la calidad del agua generales y específicos, de acuerdo a la clasificación de los usos; provee para las zonas de mezcla y para las variaciones de flujo en los cuerpos de agua intermitentes; y además establece una política para el control de la degradación de los cuerpos de agua. El Reglamento también establece un mecanismo de asignación de carga de contaminantes, exenciones temporeras para las plantas de tratamiento y las plantas de agua potable, una regla que permite estándares específicos para una localización y provee para que se establezcan planes de cumplimiento. Finalmente, el Reglamento establece las definiciones de lo que es la contaminación de agua, un contaminante de agua y prohíbe la contaminación de agua en general, así como las descargas en el punto de origen de los contaminantes.
- b. Los estándares de la calidad de agua requieren que todas las aguas cumplan con características estéticas aceptables (olor, color, sabor, turbidez) y que no contengan basura, desechos flotantes, petróleo, aceite y grasas derivados del petróleo y derivados de petróleo en cantidades ofensivas a la vista o el uso designado del cuerpo de agua. El Reglamento establece estándares determinando las concentraciones máximas permitidas para ciertas sustancias como los metales pesados, los plaguicidas persistentes y los organoclorinados, los plaguicidas no-persistentes y los organofosforados, los materiales radioactivos, temperatura, asbestos, sustancias orgánicas que no sean plaguicidas y tetracloruro de carbono. Finalmente, los sólidos en las aguas usadas no deben causar sedimentación y el nivel permitido de BOD se determina por medio de un análisis casuístico.
- c. Las enmiendas a la LAL, adoptadas en 1987, requieren a los estados que revisen los estándares de calidad de agua para que adopten normas, aplicables a los efluentes, para cada uno de los 126 contaminantes tóxicos detallados bajo la sección 307 (a) (1) del Acta. En 1992 la EPA promulgó criterios tóxicos específicos aplicables a los estados que fallaron en cumplir con los estándares exigidos en la sección 303 (c) del la LAL, incluyendo 103 estándares específicos para los contaminantes tóxicos aplicables a Puerto Rico. Sin embargo, el Reglamento provee específicamente que los estándares numéricos de calidad de agua aplican al cuerpo de agua receptor y no al efluente, excepto en casos en los que es necesario proteger al ambiente.

De acuerdo a la sección 303 del la LAL, las agencias que reglamentan cada jurisdicción deben establecer reglamentos para clasificar todos los cuerpos de agua dentro de su jurisdicción, de acuerdo al uso que les sea destinado.

También se deben establecer los criterios de calidad del agua para la protección de los cuerpos de agua de acuerdo al uso permitido.

Los cuerpos de agua receptores en Puerto Rico se dividen en siete clases diferentes según el Reglamento de los Estándares de Calidad de Agua de Puerto Rico. Estas categorías se resumen en el Apéndice 2 de este informe. Cualquier proyecto de reuso de aguas sanitarias tendrá que cumplir con estos estándares, a menos que la JCA emita una variación a los mismos considerando la naturaleza del proyecto como investigativo, lo cual es provisto en los reglamentos de la agencia.

2. Programa de Pre-Tratamiento de Afluentes Industriales: Las plantas de tratamiento de la AAA también reciben aguas residuales industriales y comerciales, además de los flujos sanitarios domésticos. Estos influjos industriales y comerciales se reglamentan mediante el programa de Pre-Tratamiento requerido en la sección 307 de la LAL, la cual faculta a la EPA a requerir que los estados implanten este programa. Los requisitos de Pre-Tratamiento para las industrias establecidas en Puerto Rico se detallan en el Reglamento de la AAA # 3308 del 1 de mayo de 1986. El programa de Pre-Tratamiento regula la calidad de los influjos industriales y comerciales para que no impacten adversamente la operación de las plantas de la AAA y su cumplimiento con los permisos de la EPA y la JCA.
3. La Ley Sobre Política Pública Ambiental (Ley # 9 del 18 de junio de 1970, según enmendada): La JCA, tomando en consideración la Ley 9 y su propio Reglamento para la Preparación, Trámite y Evaluación de Documentos Ambientales (Reglamento # 6510 del 20 de septiembre de 2000) requiere que la entidad proponente de una acción que pudiera tener efectos significativos sobre los recursos naturales o la población, prepare un documento ambiental analizando los posibles impactos de dicha acción, así como alternativas razonables a la misma. Para la mayoría de los proyectos que conlleven efectos ambientales significativos, la JCA requiere que se prepare una DIA. Un proyecto de reuso de aguas sanitarias tratadas conllevaría efectos ambientales significativos, aunque generalmente positivos, por lo que conllevaría la preparación de una DIA Preliminar conducente a una DIA Final. Esta conclusión se deriva de las posibles alternativas para el reuso del efluente de una planta de la AAA, como por ejemplo:
  - a. Descargas directas a un río, quebrada o embalse para aumentar el flujo aguas abajo con el propósito de extraer parte de dicha agua para riego agrícola o para la producción de agua potable.

- b. Inyección a un acuífero mediante pozos o galerías de infiltración con el propósito de crear una barrera de agua fresca que minimice o controle la intrusión salina en acuíferos costaneros.
- c. Inyección a un acuífero para aumentar los abastos de agua en la zona saturada del acuífero, y eventualmente recobrar parte de esta agua para riego agrícola o la producción de agua potable.

Cada una de estas acciones, individualmente o en combinación, constituyen acciones significativas, requiriendo la preparación de una DIA para cumplir con los requisitos de la Ley # 9 y el Reglamento de la JCA.

## **2.5 Situación Actual y Cumplimiento Ambiental**

En la actualidad, la mayoría de las plantas de tratamiento de aguas usadas operadas por la AAA cumplen con las reglamentaciones locales y federales aplicables. Esto es de gran importancia para los posibles proyectos de reuso, ya que el proceso de los endosos o permisos requeridos pudiera complicarse si el efluente a utilizarse no cumple con estas reglamentaciones. La AAA, en coordinación con la JCA y la EPA, ha implantado durante los últimos 20 años un plan de mejoras significativas a los sistemas de tratamiento de aguas usadas. Dicho plan atiende también requerimientos de la EPA mediante una acción judicial radicada en 1978 por alegadas violaciones a la Ley de Agua Limpia Federal (US v. PRASA, CIVIL, 78-0038(cc) & 85/0150(cc) y Orden Suplementaria de 1988). La AAA ha invertido más de \$1,000 millones de dólares en el proceso de cumplir con las órdenes emitidas en este caso por el Tribunal Federal de Distrito de los Estados Unidos de América en San Juan. En 1978, mediante una estipulación ante los tribunales federales, se identificaron 92 plantas de tratamiento de aguas usadas que en ese momento estaban en violación con sus respectivos permisos de descargas. Esta estipulación dio paso a que el Tribunal emitiera “órdenes de arresto” contra 99 de las plantas de la AAA, prohibiendo que se conectaran fuentes adicionales de aguas usadas hasta que el efluente de las plantas cumpliera con los estándares de calidad de agua locales y federales especificados en los CCA y los Permisos NPDES para cada instalación.

Al presente no existen plantas en la categoría de arrestadas o con una prohibición de añadirle conexiones. La última planta con esta clasificación era la Planta de Fajardo, la cual fue liberada en junio de 2000. Solamente diez (10) plantas continúan bajo la supervisión del monitor del Tribunal, incluyendo:

1. Ponce (Primaria, 301(h))
2. Vega Baja

3. Fajardo
4. Río Grande Estates
5. Dorado
6. Toa Alta Heights
7. Utuado
8. Patillas
9. Corozal
10. San Lorenzo

La AAA labora con la JCA y la EPA para que estas plantas cumplan con la Orden de la Corte para fines de 2004. La planta primaria de Ponce recientemente recibió el Certificado de Calidad de Agua de la JCA, y lleva a cabo al presente la monitoría requerida por el Permiso NPDES interino con parte de la dispensa al requisito de tratamiento secundario bajo la sección 301(h) de la Ley Federal de Agua Limpia. Las plantas de Dorado, Vega Baja, Toa Alta Heights, Fajardo y Río Grande Estates se conectarán a Plantas Regionales y de esa forma se evaluará su salida de la Orden. Finalmente, las plantas de San Lorenzo, Patillas, Utuado y Corozal son plantas que pueden ser sacadas de la Orden si demuestran que la calidad del efluente cumple consistentemente con los parámetros de cumplimiento.

La Orden de la Corte también incluye tres aspectos adicionales, algunos de los cuales aún no se han resuelto:

- Tratamiento Avanzado: El elemento de Tratamiento Avanzado consiste de tres fases: Evaluar la necesidades inicialmente; Realizar y evaluar asignaciones de carga de contaminantes (WLA, por sus siglas en inglés); e Implantar estrategias de cumplimiento. La AAA completó la primera fase y el proyecto se encuentra detenido en espera de que se completen los siguientes documentos: Reglamento y Guías para la Asignación de Carga de Contaminantes y Reclasificación de los Cuerpos de Agua.
- El Programa de Pre-tratamiento se implantó exitosamente en todas las plantas de tratamiento de la AAA. Además, se desarrolló el *Enforcement Response Plan* que incluye un informe de todos los muestreos e inspecciones requeridos por la Orden. La AAA se encuentra en el proceso final de promulgar un nuevo reglamento.
- En 1992 el Tribunal Federal aprobó el Acuerdo de Estaciones de Bombeo, radicado por la AAA y la EPA en 1991. El objetivo de este acuerdo era eliminar la ocurrencia de desvíos no autorizados. De las 226 estaciones de bombeo que fueron incluidas en el Acuerdo originalmente, solo quedan incluidas las siguiente siete estaciones:

- Santa Rosa
- Villa del Rey IV
- Fairview
- Dr. Berríos
- Villa del Rey I
- Industrial
- Politécnica (Poli)

### 3.0 Reuso Potencial de Aguas Usadas

El reuso de aguas consiste en utilizar el agua tratada para propósitos que rindan beneficios económicos o sociales, tales como el riego agrícola u ornamental; en procesos industriales; operar sistemas sanitarios individuales o comunales (descarga de inodoros); y para recargar fuentes de aguas subterráneas o superficiales. El agua a veces se recicla y se reusa en las mismas facilidades, como por ejemplo, cuando una industria recicla el agua para sus procesos de enfriamiento. El agua que se reusa con mayor frecuencia y en mayor volumen es el efluente de las plantas de tratamiento de aguas sanitarias domésticas. La frase reuso de agua se utiliza generalmente también como sinónimo de reciclaje de agua o agua reclamada.

El planeta tierra ha reciclado y ha reusado el agua por millones de años mediante el ciclo hidrológico. El reuso de aguas usadas en el contexto de un Plan Integral de Aguas se refiere a medidas tecnológicas mediante las cuales se aceleran los procesos naturales de reciclaje del agua. El reuso de agua puede ser directo o indirecto; planificado o no-planificado. El agua reusada se puede utilizar con fines potables y no-potables.

Un ejemplo de reuso de agua indirecto no-planificado ocurre cuando una ciudad obtiene su abasto de agua potable de un río o embalse aguas abajo de un punto de descarga de una planta de tratamiento de aguas sanitarias. En Puerto Rico esto ocurre en cuencas como las del Río Grande de Loíza, que recibe descargas de aguas sanitarias tratadas de los pueblos de San Lorenzo, Las Piedras, Juncos, Gurabo y Caguas. Lo mismo ocurre en el Río de La Plata, que recibe descargas de las plantas de la AAA en Cayey, Comerío y Naranjito. Las aguas usadas tratadas que reciben estos ríos se mezclan con la escorrentía natural inducida por la lluvia, fluyendo hacia los embalses de Carraízo y La Plata. En estos embalses la AAA extrae agua cruda que alimenta las plantas de filtración en Bayamón (La Plata) y Trujillo Alto (Sergio Cuevas). Luego de purificada en cumplimiento con los estándares de calidad de agua potable establecidos por la EPA y el Departamento de Salud, el agua es distribuida a sectores de la Zona Metropolitana de San Juan.

El reuso indirecto no planificado de las aguas usadas de la AAA también ocurre en otras cuencas en la isla que reciben descargas sanitarias directas o indirectas, incluyendo las cuencas de los ríos Grande de Arecibo, Camuy, Guajataca, Culebrinas, Guanajibo, Loco, Toa Vaca y Patillas. En todas estas cuencas las plantas de tratamiento de la AAA descargan aguas sanitarias tratadas aguas arriba de embalses que suplen plantas de filtración que opera la AAA. Basado en los datos de descarga de las plantas de tratamiento de la AAA, y la producción de agua potable, se estima que el reuso indirecto de aguas sanitarias tratadas en la isla es un promedio de 28–30 mgd durante los periodos de flujo mínimo.

Este reuso indirecto de las aguas sanitarias tratadas no se limita a Puerto Rico, sino que ocurre en todo el mundo. En EE. UU. grandes ciudades como Pittsburg, San Luis,

Memphis y Cincinnati descargan las aguas sanitarias tratadas en el Río Mississippi y el Río Ohio. La ciudad de Louisville en Kentucky se abastece del Río Ohio aguas abajo de Cincinnati. New Orleans se abastece del Río Mississippi aguas abajo de San Luis y Memphis. En Europa, el Río Danubio recibe descargas sanitarias de cientos de ciudades aguas arriba de Francia, donde luego el agua se extrae en París.

Los proyectos de reuso de agua planificados son aquellos que se diseñan específicamente para reutilizar el agua reciclada. La EPA reglamenta el tratamiento de aguas usadas y su uso directo para la producción de agua potable. En 1992 la EPA publicó un documento técnico Guías para el Reuso de Agua (*Guidelines for Water Reuse*, EPA/625/R-92/004, September, 1992), que contiene guías de tratamiento para reusar el agua de forma segura para la salud de la población. La mayoría de los estados continentales han establecido guías o reglamentos locales que suplementan los de la EPA para el reuso de las aguas sanitarias tratadas.

Datos sobre el reuso de aguas sanitarias de fuentes en EE. UU. y el resto del mundo establecen que el agua reciclada se utiliza mayormente para propósitos no-potables, tales como la agricultura y el riego de los patios ornamentales, los parques públicos y los campos de golf. Otros usos no-potables incluyen agua para las torres de enfriamiento y refinerías de petróleo, procesos industriales en instalaciones que fabrican papel o que tiñen alfombras, bajar inodoros, actividades de construcción, control del polvo fugitivo, mezclar concreto y crear y mantener los lagos artificiales.

Existen decenas de proyectos que utilizan el agua reusada indirectamente para propósitos potables, ya sea descargando el agua reusada en un cuerpo de agua que nutre una planta de filtración, o recargando un acuífero de donde extraen agua para potabilizarla. Aunque en países africanos como Namibia se ha utilizado el agua reusada directamente para propósitos potables, en los EE. UU. esta práctica no es aceptable socialmente (Harhoff, 1996).

La recarga de acuíferos o aumento de flujos en ríos que suplen abastos de agua potable se lleva a cabo en varios estados de los EE. UU.. Proyectos de recarga de acuíferos o aumento de caudales en ríos, o volúmenes en embalses, operan exitosamente desde hace más de 20 años en California, Florida, Texas y Virginia, entre otros estados.

- En el Condado de Orange en California se inyectan aguas tratadas purificadas en los acuíferos para que formen barreras diseñadas para evitar la intrusión salina, donde el agua inyectada se mezcla con el agua del acuífero. Esta agua subterránea entonces es bombeada y distribuida a las casas y los negocios, luego de ser potabilizada.
- Desde el 1978, la Autoridad de Aguas Sanitarias Tratadas del Occoquan Superior (Virginia) ha descargado agua reciclada en un riachuelo aguas arriba del embalse Occoquan, el cual es la fuente de abasto de agua potable para el Condado de Fairfax en Virginia.

- En San Diego, California, mediante el Proyecto de Repurificación del Agua se está planificando aumentar anualmente el volumen de un embalse que se utiliza como abasto de agua potable con 20,000 acres pies de agua reusada.
- En Florida, el sistema de distribución dual de St. Petersburg opera desde 1977. Este es uno de los sistemas de reuso más reconocidos en todo el mundo. Este sistema reusó un promedio de aproximadamente 22 mgd en el 2000.

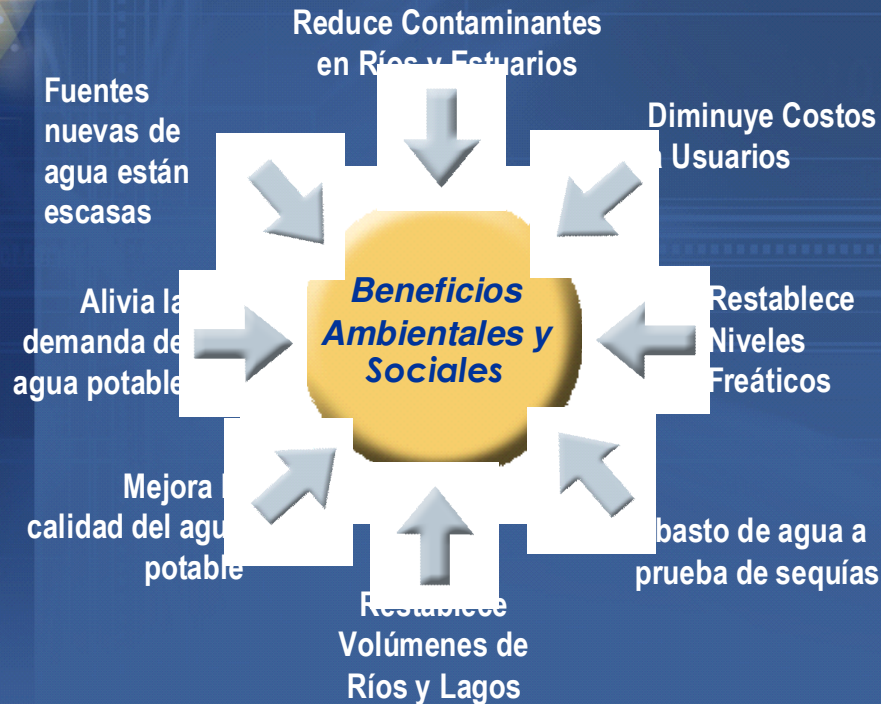
### **3.1 Beneficios ambientales y sociales del reuso de agua**

El reuso de aguas sanitarias tratadas representa beneficios ambientales y sociales significativos a corto y largo plazo. Algunos de estos beneficios se resumen en la Figura 6.

- El reuso de agua puede disminuir la extracción de agua de los ecosistemas sensitivos: La flora y la fauna silvestre, así como los peces, dependen de que el agua fluya en cantidades suficientes a través de los hábitáculos en los que viven y se reproducen. La ausencia de un flujo de agua adecuado, como resultado del desvío del agua para fines agrícolas, industriales y urbanos, puede deteriorar la calidad del agua y la salud de los ecosistemas. Los usuarios del agua pueden suplementar sus necesidades utilizando agua reusada, aumentando así la disponibilidad de agua fresca para el ambiente y para aumentar los flujos de agua hacia los ecosistemas más vitales.
- El reuso de agua disminuye las descargas a los cuerpos de agua sensitivos. Algunas veces la necesidad de reusar el agua no proviene de una escasez



# Beneficios del Reuso del Agua Sanitaria



Fuente: (M'Coy, 2003)

**Figura 6, Beneficios del Reuso del Agua Sanitaria**

del agua disponible sino de la necesidad de eliminar o reducir las descargas de agua al océano, a un estuario o a un riachuelo. Por ejemplo, el pantano de agua salada en la parte sur de la Bahía de San Francisco en California, estaba amenazado por los volúmenes de agua tratada que diariamente descargaba la Planta de Control de la Contaminación del Agua de San José/Santa Clara. Para responder a esa amenaza se construyó en 1997 un proyecto de reuso de agua cuyo costo ascendió a \$140 millones de dólares. El Programa de Reciclaje de Agua del Sur de la Bahía tiene la capacidad de proveer 21 millones de galones de agua reciclada diariamente que se utiliza para riego y para propósitos industriales. De esta manera se ha protegido el pantano de agua salada, el cual sirve como hábitat para dos especies en peligro de extinción.

- El agua puede reusarse para crear o mejorar los humedales y los hábitáculos ribereños: Los humedales proveen muchos beneficios, entre los que se incluyen servir como hábitat para la flora y la fauna silvestre, mejorar la calidad del agua, reducir las inundaciones y servir como el área de

apareamiento para algunas especies. El flujo del agua se puede aumentar con agua reusada particularmente en aquellos riachuelos que se han perjudicado o secado debido al desvío de agua de su cuenca.

- El reuso del agua puede disminuir y prevenir la contaminación: Cuando se reusan los efluentes que antes se descargaban a los océanos, los ríos y otros cuerpos de agua, se disminuyen las descargas de contaminantes permitidas para esos cuerpos de agua. Además, en algunos casos, los compuestos químicos que pudieran ser contaminantes cuando se descargan a un cuerpo de agua, pueden ser utilizados con mucho beneficio para el riego agrícola y ornamental. El riego, a su vez, puede proveer una fuente adicional de nutrientes tales como nitrógeno. Al reutilizar el agua para el riego se aumentan los nutrientes disponibles para la agricultura y se disminuye la necesidad de utilizar abonos sintéticos.

### **3.2 Viabilidad Económica del reuso de agua**

El costo del agua reusada, relativo al del agua proveniente de otras fuentes, determinará cuanta agua reusada se producirá en cada región del planeta. Los costos dependen de la cantidad disponible de agua tratada, la demanda que haya para el agua tratada, el tipo de uso que se le quiera dar al agua reusada y la cercanía de las plantas de reciclaje del agua a los consumidores del agua reusada. Por ejemplo, se estima que en California el costo del agua reusada podrá fluctuar entre los \$300 a los \$1,300 por acre-pies de agua. No existen datos comparativos en Puerto Rico del costo de reuso para contrastar directamente los costos reportados en California. La medida que se puede utilizar en Puerto Rico para efectuar una comparación indirecta es el costo de un acre-pie de agua potable. El costo de un acre-pie de agua potable en Puerto Rico fluctúa entre \$320 a \$460 dólares.

La falta del financiamiento público apropiado para planificar y construir proyectos de reuso de agua viables, puede que limite la construcción de proyectos nuevos. El financiamiento proveniente del sector público, junto a un manejo eficiente de los incentivos reglamentarios, pueden acelerar la construcción y la operación de proyectos de reuso de agua que provean beneficios locales, regionales y a través del estado.

### **3.2.1 Calidad del agua reusada**

La calidad del agua reciclada afectará su potencial para reuso. La aceptación del agua reusada por el público en general dependerá en que la población se sienta segura y confiada al utilizar el agua reciclada. Hay cuatro factores de calidad de agua que son fundamentales al manejar la percepción de riesgo sobre el reuso de agua: 1) la calidad microbiológica del agua reusada, 2) la salinidad, 3) la presencia de metales pesados tóxicos y 4) la concentración de sustancias orgánicas e inorgánicas estables. Por ejemplo, la salinidad del agua reciclada puede limitar su utilidad en los proyectos de riego de productos agrícolas para los cuales la salinidad elevada es perjudicial. De hecho, cada vez que el agua se utiliza aumenta en salinidad, al disolverse iones que permanecen en solución en cada ciclo de uso. Existe un límite en el número de veces que el agua tratada puede ser reciclada, a menos que no se utilice una tecnología de tratamiento para eliminar las sales, tal como lo es la osmosis inversa (reverse osmosis).

### **3.2.2 Aceptación del reuso de agua por la población y proyecciones futuras:**

La percepción de riesgo de la población sobre el reuso de agua, y su aceptación, son las dos barreras principales que limitan su masificación. En algunos lugares, la preocupación ciudadana sobre los riesgos potenciales a la salud de la población impide que se reuse el agua con propósitos potables indirectos o directos.

El reuso de agua para fines no-potables es una estrategia aceptada cuyo uso continuará aumentando. En muchas partes de los EE. UU., el agua reusada se está utilizando cada día más para satisfacer las necesidades ambientales, pero no necesariamente para usos potables indirectos o directos. A pesar del número cada vez mayor de solicitudes de fuentes nuevas de agua potable, el agua reusada aún no es aceptada ampliamente por la población como una fuente indirecta o directa de agua potable en EE. UU.. Sin embargo, al utilizar el agua reusada para propósitos no potables, se libera esa misma cantidad de agua fresca para ser utilizada con propósitos potables.

En África, el reuso de agua ha probado ser efectivo y exitoso en crear un abasto de agua potable nuevo y confiable, sin comprometer la salud de la población (Harhoff, 1996). A largo plazo, los adelantos en la tecnología de tratamiento de aguas sanitarias y la evidencia proveniente de estudios sistemáticos de que el reuso indirecto de aguas sanitarias no tiene efectos adversos sobre la salud humana, auguran su aplicación cada vez mayor.

Los costos iniciales de las instalaciones para reusar el agua y de los sistemas de distribución del agua reusada pueden ser muy altos si se comparan con los costos del agua subterránea y del agua importada. Sin embargo, el reuso de agua es costo-efectivo a largo plazo, a la vez que ofrece una alternativa sostenible. Las barreras institucionales, así como las diferentes prioridades de las entidades a cargo de planes de reuso, pueden añadir un grado de dificultad a la implantación de proyectos de reuso.

Es necesario que temprano en el proceso de planificación de reuso de aguas, se desarrollen campañas y actividades tales como audiencias públicas y seminarios donde los ciudadanos puedan ser informados y puedan participar en el desarrollo de proyectos pilotos y proyectos operacionales.

## **4.0 Planificación de un Sistema de Reuso**

### **4.1 Guías para la Implantación de Sistemas de Reuso**

La Guía de la EPA para el reuso de aguas sanitarias (EPA, 1992) provee elementos técnicos para la planificación efectiva de un sistema de reuso, incluyendo:

- Identificación y caracterización de las demandas potenciales del agua reclamada.
- Identificación y caracterización de las fuentes existentes de agua reclamada con el fin de determinar su potencial para el reuso.
- Requerimientos del tratamiento necesario para producir un agua tratada segura y con la calidad necesaria para reuso indirecto como fuente de agua potable.
- Facilidades de almacenamiento para un balance que considere las fluctuaciones estacionales de las demandas y las posibilidades de entrega.
- Facilidades suplementarias para la operación del sistema de reuso, tales como el transporte del agua residual tratada al lugar de reuso; las redes de distribución; las facilidades de almacenamiento operacional; y las alternativas de entrega final (sistema de riego).
- Los impactos ambientales potenciales al implementar el sistema de reuso, incluyendo la preparación de documentos ambientales pertinentes.

Un proyecto de reuso de agua es una obra de ingeniería que conlleva estudios de viabilidad técnicos y económicos, así como análisis ambientales que permitan cumplir con las leyes y reglamentos locales y federales aplicables. El desarrollo del proyecto incluye una serie de investigaciones preliminares, que la EPA ha dividido en tres fases o etapas sucesivas, incluyendo las investigaciones preliminares; la identificación de regiones o mercados potenciales mediante estudios de viabilidad; y la evaluación detallada de los mercados seleccionados mediante proyectos pilotos.

### **4.2 Participación Pública**

Un elemento de gran importancia en el desarrollo de un proyecto de reuso es el programa de participación pública. La planificación del reuso de aguas residuales requiere involucrar a la ciudadanía y a organizaciones públicas y privadas. Los procesos ambientales y de zonificación de la JCA y la JP establecen normas para proveer amplias oportunidades de participación pública en el desarrollo y aprobación del proyecto. Se requerirá la preparación de una DIA, incluyendo potencialmente vistas públicas en la comunidad donde se

desarrollará el proyecto para permitir que los vecinos y residentes se expresen sobre el mismo.

#### **4.3 *Beneficio de nutrientes asociados al reuso de aguas sanitaria con fines agrícolas***

El reuso de aguas sanitarias tratadas representa un beneficio potencial económico debido a la presencia de nutrientes en concentraciones que pueden reducir el uso de fertilizantes artificiales en cultivos donde se aplique el agua. Esta práctica puede redundar en economías en la producción de cosechas y en beneficios ambientales, al reducir la descarga de nutrientes a cuerpos de aguas tales como ríos y estuarios. Esto a su vez reduce el potencial de eutrofización de los cuerpos de agua (crecimiento excesivo de algas y plantas acuáticas). Sin embargo, debido a que gran parte de los nutrientes en las aguas usadas está asociado a partículas en suspensión, es necesario alcanzar un equilibrio en cuanto a la cantidad de materia orgánica residual en el efluente. El tratamiento de aguas para reuso agrícola debe producir un efluente que cumpla con las guías de calidad microbiológica y química, además de reducir la materia orgánica a niveles que optimicen la concentración de nutrientes.

Añadir un sistema de reuso a una planta de tratamiento de aguas residuales en operación puede no ser una opción factible dado los costos de añadir nuevas facilidades para garantizar una mejor calidad del efluente. También, la situación contraria puede pasar con los mismos resultados, por ejemplo cuando se intenta el reuso agrícola en una planta de tratamiento con un sistema extendido de remoción de nutrientes, donde se han perdido ya cantidades importantes de nitrógeno y fósforo.

Se pueden calcular los beneficios económicos de los nutrientes aportados en el reuso agrícola utilizando las aguas residuales domésticas. Esto es posible si se tienen los datos de la concentración de los nutrientes en el agua residual cruda, los porcentajes de remoción del sistema de tratamiento y la tasa anual de aplicación de aguas residuales tratadas al cultivo (volumen del agua de riego). Por ejemplo, si asumimos que la concentración de nutrientes en el agua residual doméstica cruda es: nitrógeno 40 mg/l, fósforo 10 mg/l y potasio 20 mg/l; y la remoción de nitrógeno y fósforo en el sistema de tratamiento alcanza el 30%, común en un tratamiento secundario; y el volumen de agua residual aplicada es de 5,000 m<sup>3</sup>/ha/año. La contribución de nitrógeno al suelo será:

- Contribución de nitrógeno =  $(40\text{g/ m}^3) (5\,000\text{ m}^3/\text{ha/año})(0.7) = 140$  (Kg./ha/año). Considerando el potasio como un elemento conservativo en el sistema de tratamiento los valores que se

obtienen para el (P) y (K) son los siguientes: 35 (P) Kg./ha/año y 100 (K) Kg./ha/año.

- Todo o parte del nitrógeno y del fósforo normalmente requerido para los cultivos puede ser suministrado por las aguas residuales provenientes de un sistema de tratamiento secundario. Además, otros micro-elementos y materia orgánica adicional también pueden aportar beneficios adicionales. Por lo tanto, el tratamiento secundario, como el que existe en la mayoría de las plantas de la AAA (que no tienen remoción de nutrientes) es idóneo para la agricultura.

#### **4.3.1 Guías para el reuso en la agricultura**

Los criterios de calidad para la irrigación agrícola con aguas residuales varían de acuerdo al cultivo.

- Reuso agrícola en cultivos que se consumen y no se procesan comercialmente.  
Ejemplo: Hortalizas frescas.
- Reuso agrícola en cultivos que se consumen y se procesan comercialmente.  
Ejemplo. Tomate enlatado.
- Reuso agrícola en cultivos que no se consumen  
Ejemplo. Pastos.

Internacionalmente existen guías y criterios variados sobre la calidad de las aguas residuales utilizadas para riego agrícola. El diseño e implementación de estas guías es único para cada país o región que desarrolla un proyecto de reuso. Esto se debe a que las condiciones ambientales, particularmente las climatológicas, son únicas en cada región o país.

El reuso de aguas sanitarias en cultivos para el consumo humano directo requiere que la concentración o número de patógenos sea un mínimo. Para proteger la salud de la población es necesario proveer el tratamiento adecuado que reduzca y elimine los micro-organismos patógenos presentes en las aguas crudas.

**Tabla 3 Clasificación de los constituyentes de las aguas sanitarias**

| <b>Clasificación</b> | <b>Constituyentes</b>                                                                                                                                                                                                                               |
|----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Convencional         | Sólidos Suspendidos Totales<br>Sólidos Coloidales<br>Demanda Bioquímica de Oxígeno<br>Carbón Orgánico Total<br>Amonia<br>Nitrato<br>Nitrito<br>Nitrógeno Total<br>Fósforo<br>Bacteria<br>Quistes de protozoos<br>Virus                              |
| No-Convencional      | Compuestos orgánicos refractarios<br>Compuestos orgánicos volátiles<br>Surfactantes<br>Metales<br>Sólidos Disueltos Totales                                                                                                                         |
| Emergentes           | Medicamentos recetados y sin recetas<br>Productos para el cuidado de pacientes en el hogar<br>Antibióticos para humanos y para animales<br>Productos industriales y de uso casero<br>Hormonas esteroides y sexuales<br>Otros disruptores endocrinos |

Fuente: Lee, Lesikar and Wallace, (2003)

#### **4.4 Guías para el reuso potable indirecto y directo**

En los EE. UU. no se han aprobado proyectos de reuso potable directo, aunque si se han llevado a cabo investigaciones preliminares y proyectos pilotos que demuestran que esta alternativa es factible y no representa riesgos a la salud humana. Sin embargo, existen numerosos proyectos donde se reusa el agua con propósitos potables indirectos, ya sea mediante la recarga de acuíferos o la descarga en embalses que proveen agua a sistemas de agua potable.

En general, las guías para el reuso de agua potable indirecto especifican que el agua debe cumplir con los estándares primarios y secundarios requeridos para las fuentes de agua potable especificados en la Ley de Agua Potable Segura. Las guías para proyectos de reuso requieren programas de monitoreo constante,



particularmente para los coliformes totales y fecales, así como para los niveles de turbidez.

#### **4.5 Consideraciones de Salud Pública sobre el reuso de aguas sanitarias**

##### **4.5.1 Componentes orgánicos e inorgánicos del agua sanitaria:**

A pesar de los adelantos tecnológicos en el desarrollo e implantación de nuevas tecnologías de tratamiento de aguas sanitarias que producen agua de alta calidad, todavía existen interrogantes sobre la seguridad a largo plazo del agua reusada. Estas interrogantes incluyen una definición de los contaminantes que es necesario remover del efluente y determinar la calidad del efluente aceptable para los usos propuestos.

##### **4.5.2 Los constituyentes de las aguas sanitarias que pueden tener impacto en la salud de la población se pueden clasificar en tres grupos:**

- 1) Convencionales, 2) No-convencionales y 3) Emergentes. Los constituyentes típicos de cada una de estas tres categorías se resumen en la Tabla 4
  - a. Los constituyentes convencionales pueden removerse o reducirse por medio de los procesos normales de tratamiento de aguas sanitarias. La remoción o reducción de las concentraciones de los constituyentes no-convencionales requieren tratamientos avanzados.
  - b. Los constituyentes no-convencionales y los emergentes representan el reto más importante cuando se planifica reusar el efluente de una planta de tratamiento de aguas sanitarias para propósitos potables, ya sean directos o indirectos. Las concentraciones de estos constituyentes ocurren en el rango de los microgramos o los nanogramos por litro. En algunos casos, estos constituyentes no se pueden remover efectivamente con los procesos de tratamiento avanzado. Esto requiere evaluar con rigurosidad el efecto potencial de estos constituyentes sobre la salud de la población.
  - c. Constituyentes emergentes: Los disruptores endocrinos son un ejemplo de los contaminantes emergentes que pueden incidir negativamente sobre la salud de la población. Los avances en la

producción de compuestos orgánicos sintéticos han redundado en la creación de químicos sintéticos que aparecen con mayor frecuencia en las aguas sanitarias. Algunos científicos proponen que muchos químicos sintéticos pueden estar interfiriendo con el sistema endocrino de los seres humanos, la flora y la fauna. El sistema endocrino, también conocido como el sistema hormonal, se compone de glándulas, hormonas y receptores. En los seres humanos este sistema regula una gama amplia de procesos biológicos tales como el control de la azúcar en la sangre, las funciones de los sistemas reproductivos, la regulación del metabolismo, el desarrollo del sistema nervioso y el desarrollo de un organismo, desde su concepción hasta la adultez.

Los químicos sintéticos que ocurren en las aguas sanitarias y que son sospechosos de alterar el sistema endocrino, se clasifican como compuestos orgánicos emergentes. Estos químicos son derivados de: 1) antibióticos humanos y veterinarios 2) medicamentos con o sin receta, 3) productos industriales y residenciales y 4) hormonas de esteroides y hormonas sexuales.

Como no es posible determinar la concentración de todos los compuestos orgánicos en el agua reusada, algunas jurisdicciones miden el Carbono Orgánico Total (TOC, por sus siglas en inglés) y el Halógeno Orgánico Total (TOX, por sus siglas en inglés). Por ejemplo, cuando el agua reusada se utiliza para reuso potable indirecto, como la recarga de acuíferos o la descarga a ríos que alimentan tomas o embalses utilizados como fuentes de agua potable, el estado de la Florida requiere que midan ambos parámetros (TOC y el TOX). En este caso, las concentraciones de TOC y de TOX en las aguas a reusarse no deben exceder 3 mg/l y 0.2 mg/l en promedios mensuales, y ninguna muestra puede exceder 5 mg/l y 0.3 mg/l, respectivamente.

**Tabla 4 Agentes infecciosos que pueden estar presentes en las aguas sanitarias y las enfermedades que producen**

| Patógenos                                          | Enfermedad                                                            |
|----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| <i>Protozoos</i>                                   |                                                                       |
| Entamoeba histolytica                              | Amebiasis (disentería)                                                |
| Giardia lamblia                                    | Giardiasis                                                            |
| Balantidium coli                                   | Balantisis (disentería)                                               |
| Cryptosporidium                                    | Cryptosporidiosis, diarrea, fiebre                                    |
| <i>Helminos</i>                                    |                                                                       |
| Ascaris Lumbricoides (roundworm)                   | Ascariasis                                                            |
| Ancylostoma duodenale (hookworm)                   | Ancylostomiasis                                                       |
| Necator americanus (roundworm)                     | Necatoriasis                                                          |
| Ancylostoma (spp.) (hookworm)                      | Cutaneous larva migrans                                               |
| Strongyloides stercoralis (threadworm)             | Strongyloidiasis                                                      |
| Trichuris trichiura (whipworm)                     | Trichuriasis                                                          |
| Taenia (spp) (tapeworm)                            | Taeniasis                                                             |
| Enterobius vermicularis (pinworm)                  | Enterobiasis                                                          |
| Echinococcus granulosus (spp.) (tapeworm)          | Hydatidosis                                                           |
| <i>Bacteria</i>                                    |                                                                       |
| Shigella (4 spp.)                                  | Shigellosis (dysentery)                                               |
| Salmonella typhi                                   | Fiebre tifoidea                                                       |
| Salmonella (1700 serotypes)                        | Salmonellosis                                                         |
| Vibrio cholerae                                    | Cólera                                                                |
| Escherichia coli (enteropathogenic)                | Gastroenteritis                                                       |
| Yersinia enterocolitica                            | Yersiniosis                                                           |
| Leptospira (spp.)                                  | Leptospirosis                                                         |
| Legionella                                         | Legionnaire' disease                                                  |
| Campylobacter jejune                               | Gastroenteritis                                                       |
| <i>Virus</i>                                       |                                                                       |
| Enterovirus (72 tipos: eg. polio, echo, Coxsackie) | Gastroenteritis, anomalías cardíacas, meningitis y otras enfermedades |
| Hepatitis A                                        | Hepatitis infecciosas                                                 |
| Adenovirus (47 tipos)                              | Enfermedad respiratoria, infección ocular                             |
| Rotavirus (4 tipos)                                | Gastroenteritis                                                       |
| Parvovirus (3 tipos)                               | Gastroenteritis                                                       |
| Norwalk                                            | Diarrea, vómitos, fiebre                                              |
| Reovirus (3 tipos)                                 | No se ha establecido claramente                                       |
| Astrovirus (5 tipos)                               | Gastroenteritis                                                       |
| Calicivirus (2 tipos)                              | Gastroenteritis                                                       |
| Coronavirus                                        | Gastroenteritis                                                       |

Fuente: Lee, Lesikar and Wallace, (2003)

### **4.5.3 Micro-organismos Patógenos**

Proteger a la población del potencial de propagación de enfermedades hídricas infecciosas es uno de los elementos más importantes en los programas o proyectos de reuso de aguas sanitarias. Las aguas sanitarias no-tratadas, o parcialmente tratadas, pueden contener microorganismos que pueden inducir enfermedades infecciosas, según se describe en la Tabla 5.

Estos micro-organismos causantes de las enfermedades hídricas infecciosas incluyen tres grupos: 1) bacterias, 2) parásitos (helmintos y protozoos) y 3) virus.

**Tabla 5.** Resumen comparativo de las guías de reuso en varias jurisdicciones

| Estado                   | Turbiedad                                                                                           | Coliformes Totales                                                                             | Coliformes Fecales                                                                                        | Fuente                                                                           |
|--------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| California               | 2 NTU y no exceder 5 NTU 5% del tiempo durante cualquier periodo de 24 horas y nunca exceder 10 NTU | $\leq 2.2/100$ ml y $\leq 23/100$ ml en cualquier periodo de 30 días y nunca exceder 240/100ml | Ninguno                                                                                                   | <a href="#">Title 22, California Code of Regulations Section 60301.230</a>       |
| Washington               | 2 NTU y no exceder 5 NTU                                                                            | $\leq 2.2/100$ ml y no exceder 23/100 ml                                                       | Ninguno                                                                                                   | <a href="#">Water Reclamation and Reuse Standards, Definitions</a>               |
| Oregon                   | 2 NTU y no exceder 5 NTU 5% del tiempo durante cualquier periodo de 24 horas                        | $\leq 2.2/100$ ml y no exceder 23/100ml                                                        | Ninguno                                                                                                   | <a href="#">Oregon Administrative Rules, Division 55, Table 1.</a>               |
| Idaho                    | No está reglamentado                                                                                | $\leq 2.2/100$ ml                                                                              | Ninguno                                                                                                   | <a href="#">Idaho Administrative Code, 58.01.17.07</a>                           |
| Arizona                  | $\leq 2$ NTU y no exceder 5 NTU                                                                     | No está reglamentado.                                                                          | No detectar en 57% de las muestras y no exceder 23/100 ml                                                 | <a href="#">DEQ Water Quality Standards, Chapter 11</a>                          |
| Massachusetts            | $\leq 2$ NTU y no exceder 5 NTU                                                                     | No está reglamentado.                                                                          | No detectar/100 ml y no exceder 14/100 ml                                                                 | <a href="#">Interim Guidelines on Reclaimed Water (Revised), Appendix A</a>      |
| New Jersey               | 2 NTU                                                                                               | No está reglamentado.                                                                          | $\leq 2/100$ ml y no exceder 14/100 ml                                                                    | <a href="#">Reclaimed water for Beneficial Reuse, Tech Manual, Appendix A</a>    |
| Florida                  | $\leq 5$ ml/litro TSS                                                                               | No está reglamentado.                                                                          | No detectar en el 75% de las muestras en un periodo de 30 días; no exceder 25/100 ml en cualquier muestra | <a href="#">Domestic Wastewater Facilities, Chpt. 62-600, Section 62-600.440</a> |
| Texas                    | $\leq 3$ NTU                                                                                        | No está reglamentado.                                                                          | 20/100 ml y no exceder 75/100 ml                                                                          | <a href="#">Texas Natural Resource Conservation Commission, Section 210.33</a>   |
| Colorado                 | $\leq 3$ NTU y no exceder 5 NTU en más de 5% de las muestras.                                       | No está reglamentado.                                                                          | No se utiliza; Se utiliza E. coli; $\leq 126/100$ ml y no exceder 235/100 ml.                             | <a href="#">Regulation # 84, Section 84-6</a>                                    |
| British Columbia, Canada | $\leq 2$ NTU y no exceder 5 NTU                                                                     | Presencia o ausencia semanal; si está presente, una prueba diaria de                           | $\leq 2/100$ ml y no exceder 14/100 ml coliformes fecales.                                                | <a href="#">Waste Management Act, Schedule 2</a>                                 |

Los virus y otros patógenos pueden existir en el agua que se reusa para riego agrícola. Sin embargo, dichos patógenos no penetran las frutas, ni los vegetales a menos que la cáscara sea removida. Los procesos de ósmosis para la absorción del agua elimina la posibilidad de que los patógenos emigren a través de las raíces de plantas, arbustos o árboles hasta los vegetales o las frutas. Por lo tanto, el riesgo a la salud asociado al consumo de frutas y vegetales irrigados con aguas reusadas es casi inexistente en estos casos.

#### 4.5.4 Métodos de desinfección del agua sanitaria

Para proteger la salud de la población se deben destruir los micro-organismos durante el proceso de tratamiento. En los EE. UU. el método de desinfección más utilizado para tratar las aguas sanitarias es la inyección de cloro. El ozono y la luz ultravioleta son utilizados en procesos de desinfección con mayor frecuencia en Europa. Los factores que se deben tomar en cuenta al momento de diseñar un proceso de desinfección son:

- La efectividad y la confiabilidad del proceso de desinfección
  - Los costos de capital, operación y mantenimiento
  - Cuán práctico es el proceso (eg. facilidad de transporte, de almacenamiento y de preparación, facilidad de utilización y control, flexibilidad, complejidad y seguridad)
  - Los efectos adversos potenciales (eg. toxicidad para la vida marina o la formación de sustancias tóxicas y cancerígenas).
- *Cloro:* El cloro se ha utilizado para desinfectar el agua sanitaria por mucho tiempo.
    - La eficiencia de la desinfección con cloro depende de la temperatura, el pH, el proceso de mezcla, el tiempo de contacto, la presencia de sustancias que interfieran con el proceso de desinfección, el tipo de cloro y su concentración, y la naturaleza y concentración de los micro-organismos que se quieren destruir.
    - Las bacterias son menos resistentes al cloro que los virus, los cuales a su vez son menos resistentes que los huevos o los quistes de los parásitos. La dosis requerida para desinfectar aguas sanitarias luego de cierto nivel de tratamiento dependerá de la presencia de constituyentes del agua sanitaria que interfieran con la efectividad del cloro. Los constituyentes del agua sanitaria que comúnmente interfieren con el proceso de desinfección son la materia orgánica, los sólidos suspendidos y el amoníaco.

- La materia orgánica en el agua sanitaria reduce la disponibilidad de cloro para desinfectar, ya que oxida los constituyentes orgánicos. En la presencia de sólidos suspendidos, los cuales protegen a los micro-organismos del efecto del cloro, se aplica una dosis de cloro mayor.
  - El amoníaco reacciona con el cloro inyectado al agua produciendo cloraminas.
  - Los ácidos orgánicos ó húmicos, al reaccionar con el cloro producen trihalometanos y ácidos haloacéticos, que son considerados carcinógenos probables por la EPA.
  - Los aspectos positivos de usar cloro para desinfectar el agua sanitaria son su disponibilidad, su costo bajo, forma soluciones homogéneas, es estable y su toxicidad es alta para los microorganismos a temperatura de ambiente.
  - Los aspectos negativos de usar cloro para desinfectar el agua es oxida la materia orgánica, es muy corrosivo, es tóxico para otras especies más evolucionadas que los microorganismos y su manejo es muy peligroso.
- *Ozono:* El ozono ( $O_3$ ) es un oxidante poderoso de compuestos orgánicos e inorgánicos. Su gran poder de oxidación puede destruir cualquier micro-organismo en tan solo minutos. Sin embargo, el ozono debe ser generado en el lugar donde se utilizará y dada su inestabilidad natural, no se debe transferir ni almacenar. Para generar ozono se requiere electricidad abundante y una operación más compleja que la de los sistemas de desinfección con cloro. Otra diferencia con el cloro, es que el ozono no mantiene una concentración residual en el agua tratada. Además de utilizarlo para la desinfección, el ozono se utiliza para aumentar las concentraciones de oxígeno disuelto y para remover el color y el olor al agua.
  - *Luz Ultravioleta:* La luz ultravioleta es un desinfectante físico con una longitud de onda de 254 nanómetros (NM), lo que le permite penetrar las paredes celulares de los microorganismos. La luz ultravioleta es absorbida por los ácidos nucleicos, interrumpiendo la reproducción celular y destruyendo como resultado al microorganismo. La luz ultravioleta se está utilizando con mayor frecuencia como el proceso de desinfección en las plantas de tratamiento debido a que no crea sub-productos y es más barata que el cloro.

El uso de luz ultravioleta para desinfectar el agua requiere reducir a un mínimo la concentración de sólidos suspendidos totales (TSS) en el agua, ya que estos pueden bloquear su efectividad. Una turbiedad máxima de 2 NTU es necesaria para maximizar el desempeño de la desinfección con luz ultravioleta. En algunas plantas de tratamiento se

utiliza el cloro luego de la desinfección con luz ultravioleta para mantener un residual de cloro en el agua tratada. El residual de cloro previene la recontaminación con microorganismos patógenos durante el almacenamiento y la distribución del efluente.



## 5.0 Reglamentaciones Locales y Federales Aplicables

Para proteger la salud pública se han establecido condiciones y reglamentos específicos para siete tipos de reuso de aguas sanitarias:

- Riego agrícola
- Riego de parques y patios
- Reuso y reciclaje industrial
- Recarga de acuíferos
- Usos ambientales o recreativos
- Usos urbanos no potables
- Reuso potable

Mediante esta estructura reglamentaria se propicia que el reuso de aguas sanitarias sea seguro para la salud de los ciudadanos y el medioambiente.

Desde las primeras guías federales hasta los criterios utilizados actualmente, la reglamentación de reuso vigente se desarrolló a partir de los parámetros controlados convencionalmente en una planta de tratamiento. Por esta razón, los criterios utilizados en la actualidad, BOD, TSS y los coliformes totales y fecales, no incluyen las bacterias patógenas como *Salmonella*, los virus entéricos como el *Hepatitis*, los constituyentes emergentes, ni los compuestos orgánicos que se detectan en concentraciones muy bajas en las aguas residuales.

Las guías federales promulgadas por la EPA en 1992 establecen la calidad del agua reusada y los niveles de pH, BOD5, turbiedad, coliformes y cloro residual para diferentes tipos de tratamiento y diferentes tipos de reuso. Las guías federales también establecen la frecuencia de monitoreo y las distancias mínimas que deben guardar las instalaciones de reuso cuando estén ubicadas cerca de pozos de agua potable o áreas accesibles al público, si es que se propone utilizar el agua reusada para riego mediante rocío.

La compilación más reciente de guías y reglamentos de reuso estatales en los EE. UU. data también de 1992, aunque en California se han actualizado las reglas vigentes. En ese año, 18 estados habían establecido reglamentaciones y guías para el reuso de aguas residuales. Los estados que reglamentan el reuso en los EE. UU. son rigurosos en el monitoreo de las aguas recicladas de acuerdo al uso que se les vaya a dar. Debido a que la desinfección es la última barrera de protección que protege a la población de los patógenos en el agua, muchos estados especifican claramente los requisitos de desinfección para cada uno de los diferentes propósitos de reuso del agua. Los requisitos usualmente especifican los números de coliformes máximos, fecales o totales permitidos.

Además de los coliformes, también se especifican los niveles de turbiedad máxima permitida en el efluente. En algunos casos también se especifican los niveles de cloro

residual y el tiempo de contacto mínimos entre el agua y el cloro requeridos para el reuso del agua. Una comparación entre algunas jurisdicciones de los EE. UU. y Canadá se resume en la Tabla 6.

Los estados que han desarrollado la reglamentación de reuso más abarcadora incluyen a California, Florida, Arizona y Texas. En estos estados se estimula el reuso de aguas sanitarias como un recurso de agua alternativo y una estrategia de conservación. Estos cuatro estados han desarrollado reglamentación que cubre todo el espectro de aplicaciones de reuso de aguas sanitarias. Para cada aplicación de agua reusada las reglamentaciones definen la calidad del agua y los procesos de tratamiento, de monitoreo y de informes que deben ser radicados. Las reglamentaciones de California se consideran el estándar para otros programas de reuso de aguas sanitarias en los EE. UU.

## **5.1 US EPA**

En 1992 la EPA publicó las Guías para Reuso del Agua en las que resume las reglamentaciones existentes a niveles locales y estatales, así como las reglamentaciones necesarias en caso de que no existan reglas en el nivel estatal, para facilitar la implantación de los proyectos de reuso. Las reglamentaciones desarrolladas por los estados tienen que cumplir con la Ley de Aguas Limpias (*Clean Water Act*, 33 U.S.C. §1251 et seq.).

Debido a que el Estado Libre Asociado de Puerto Rico no ha promulgado un reglamento local equivalente a la reglamentación de los permisos NPDES, la EPA no le ha delegado el manejo de dicho programa a la JCA. Sin embargo la

EPA y la JCA han suscrito un acuerdo para hacer valer las reglamentaciones de contaminación de las aguas, bajo cuyos términos la JCA tiene la responsabilidad primaria por las violaciones al Reglamento de Estándares de Calidad de Agua del 2003. El acuerdo también provee para que sea la EPA la que haga valer la reglamentación en aquellos casos donde ocurren violaciones a los itinerarios de cumplimiento, a los límites de los efluentes y a otras condiciones de los permisos NPDES.

## **5.2 Estado de California**

La reglamentación de reuso del estado de California se ha desarrollado progresivamente a partir de 1918, constituyendo la más abarcadora en los EE. UU. en términos de la protección de la salud de la población. En diciembre de

2000, la Legislatura de California revisó los *Criterios para Reciclar el Agua*, declarando que el estado debe llevar a cabo todos los pasos que sean necesarios para desarrollar plantas de reuso de aguas sanitarias como una medida para satisfacer la demanda creciente de agua.

California ha compilado las leyes y los reglamentos relacionados al agua reusada en un solo volumen conocido como el *Libro Violeta* (Apéndice 3), actualizado en el 2001. Esta guía incluye citas del Código Estatal de Salud y Seguridad de California, el Código de Agua, y los Títulos 17 y 22 del *California Code of Regulations* (CCR).

Los requisitos para la producción, descarga, distribución y uso del agua reciclada en California se incluyen en los siguientes documentos:

- Código de Agua de California (*California Water Code*), División 7 - Calidad de Agua, Secciones 13000 – 13999.19
- Título 22 del Código de Reglamentos de California (CCR, por sus siglas en inglés). División de Seguridad Social, División 4, Salud Ambiental, Capítulo 3 – Criterios de Reclamación del Agua, Secciones 60301 - 60475
- Título 17 del Código de Reglamentos de California (CCR, por sus siglas en inglés). División I de Salud Pública, Departamento de Salud Estatal, Capítulo 5 – Sanidad (Ambiental), Sub- Capítulo 1 – Ingeniería (sanitaria), Grupo 4 – Abastos de Agua Potable, Secciones 7583 – 7630

La reglamentación de reuso en California define las categorías y las clasificaciones que se utilizan para reciclar las aguas usadas. Esta reglamentación es sumamente estricta y detallada en cuanto a los usos que se le pueden dar al agua reciclada y los lugares donde estos usos se pueden efectuar.

- El Título 22 de California establece tres categorías de aguas sanitarias tratadas:
  - Efluente primario;
  - Efluente secundario oxidado
  - Efluente terciario oxidado, coagulado, clarificado y filtrado.
- La División 4 del Título 22 clasifica el agua reciclada, o el agua para reuso, de acuerdo a tres tipos de reusos diferentes:
  - Agua reciclada terciaria desinfectada,
  - Agua reciclada secundaria - desinfectada,
  - Agua reciclada secundaria sin desinfección.
- EL riego agrícola con agua reusada se reglamenta tomando en consideración el tipo de cultivo que puede ser regado y la distancia mínima que debe existir entre las áreas de riego y los abastos de agua potable.

- En California el agua secundaria desinfectada se puede utilizar para regar el pasto y otros cultivos que sirvan de alimento para animales que no producen leche para consumo humano.
  - La reglamentación permite el riego con agua terciaria tratada y reciclada a más de 50 pies de distancia de un abasto de agua potable para uso doméstico, a cien pies cuando se utiliza agua reciclada desinfectada y a 150 pies cuando se utiliza agua secundaria sin desinfección.
  - El riego solo se puede efectuar en las áreas aprobadas por el Estado y la escorrentía es usualmente restringida. La reglamentación prohíbe incluso que la escorrentía, sean las gotas que salpiquen o incluso los aerosoles del agua reciclada, lleguen hasta las áreas residenciales, los comedores al aire libre o los establecimientos que empaquen o vendan alimentos.
- El artículo 7 del Título 22 del CCR especifica el contenido de los informes de ingeniería y los requisitos operacionales para las plantas de reuso de aguas sanitarias.
  - El artículo 8 describe los requisitos de diseño para estas plantas, incluyendo el diseño de las tuberías, los requisitos de alarmas para diferentes procesos y el requisito de tener una fuente alterna de energía eléctrica para cuando ocurran interrupciones en el suministro de la electricidad a las plantas.
  - El artículo 9 discute los requisitos de confiabilidad para el efluente primario.
  - El Título 17 del CCR detalla requisitos adicionales para proteger la salud de la población mediante el uso de dispositivos que impidan el retroflujo (*backflow*) y la implantación de un programa para controlar las conexiones cruzadas.
  - Aunque los *Criterios de Reciclaje del Agua en California* carecen de evidencia epidemiológica explícita para determinar categóricamente los riesgos a la salud asociados a la implantación de proyectos de reuso de aguas sanitarias, desde 1978 los criterios se han mantenido como metas asequibles que se pueden hacer valer.
  - Estudios efectuados utilizando los datos de monitoreo de virus entéricos en California y la metodología cuantitativa de evaluación de riesgo microbiológico, aparentemente confirman la validez y la efectividad de los *Criterios de Reciclaje del Agua en California* para proteger la salud de la población.

### 5.3 JCA

La JCA promulgó el Reglamento de los Estándares de Calidad de Agua (Reglamento # 6616 del 14 de mayo de 2003) para cumplir con su deber ministerial de controlar las descargas de contaminantes a los cuerpos de agua, según el mandato de la Ley 9. Utilizando como referencia los requisitos de la Ley 9, es lógico concluir que los proyectos de reuso de aguas sanitarias en Puerto Rico requerirán someter a la JCA una Declaración de Impacto Ambiental.

La revisión ambiental requerida bajo el artículo 4 (c) de la Ley 9 exige un análisis detallado de todos los impactos ambientales que una acción propuesta pueda tener en este caso, sobre el medioambiente en general y los recursos naturales, incluyendo los cuerpos de agua. Sin embargo, estos requisitos no atañen a los permisos, ni a la consideración de las tecnologías disponibles para controlar los niveles de contaminación. La JCA requiere que se solicite un permiso de descarga NPDES, el cual ya ha sido descrito con anterioridad en este documento, cuando el efluente que se va a reusar se descargaría a un cuerpo de agua considerado como aguas navegables de los Estados Unidos.

- En el caso en que el cuerpo de agua receptor de un efluente que será reusado no sea considerado como aguas navegables de los Estados Unidos, entonces el proponente debe solicitar una Consulta de Agua (CAG) para obtener un CCA según se describe en el artículo 6.11 del Reglamento de la JCA.
- Además, si el agua reusada va a ser inyectada a un acuífero entonces aplicarían las leyes y los reglamentos siguientes mediante los cuales se regulan los pozos de inyección:
  - Ley de Agua Potable Segura de 1974 (Safe Drinking Water Act 42 U.S.C. §§ 300(f) et seq).
  - Ley 9 de 1970, Ley Sobre Política Pública Ambiental de Puerto Rico, enmendada.
  - Reglamento de Control de Inyección Subterránea (Reglamento del Departamento de Estado número 3029 del 14 de septiembre de 1983, según enmendado por el Reglamento del Departamento de Estado número 3637 del 2 de agosto de 1988).
  - Reglamento de Control de Inyección Subterránea federal (40 C.F.R. §§ 144 et seq).
- La Ley de Agua Potable Segura además de establecer los estándares nacionales de pureza del agua potable y disponer para su cumplimiento, regula los pozos de inyección subterránea. El 29 de julio de 1992 la EPA aprobó el Reglamento de Control de Inyección Subterránea (CIS) local y delegó la implantación del programa de CIS a la JCA, agencia autorizada para estos propósitos por la Ley 9 de 1970.

### 5.3.1 Reglamento de Control de Inyección Subterránea

El Reglamento de CIS de Puerto Rico es esencialmente equivalente al reglamento federal. Sin embargo, le ofrece atención especial a las cavidades de drenaje natural.

- El Reglamento establece las clasificaciones de las facilidades de inyección subterránea, las prohibiciones, un sistema de permisos, los requisitos de monitoreo y de informes y los requisitos de clausura.
- El término inyección se define como la colocación de fluidos bajo la superficie a través de un pozo donde la profundidad del mismo es mayor que la dimensión más grande de la superficie, o el depósito de fluidos por gravedad o el flujo de presión a través de una cavidad natural o hecha por el hombre, un sistema séptico o una facilidad subterránea para el almacenamiento o disposición de fluidos.
- El Reglamento de CIS aplica a las siguientes facilidades:
  - Las facilidades de inyección localizadas (*on a drilling platform*) dentro del territorio de las aguas de Puerto Rico;
  - Las facilidades de inyección subterránea independientemente de la calidad del agua subterránea;
  - Los pozos utilizados para la colocación o disposición de fluidos bajo la superficie;
  - Los tanques sépticos utilizados por los generadores de o dueños de facilidades de desperdicios peligrosos para disponer de fluidos que contienen desperdicios peligrosos;
  - Los tanques sépticos o pozos utilizados por múltiples viviendas, industria, comercio u otros establecimientos privados o de gobierno, la comunidad o el sistema regional para la inyección subterránea de desperdicios;
  - Los sumideros o cavidades de drenaje natural utilizadas para la colocación o inyección de fluidos;
  - Las facilidades de inyección privadas o gubernamentales.
- El Reglamento de CIS de Puerto Rico establece siete clases de Facilidades de Inyección Subterránea. Las primero cinco clases son equivalentes a las Clases del I al V del Reglamento de CIS federal.
  - Clase I – las facilidades que inyectan (a) desperdicios peligrosos o (b) fluidos dentro de pozos industriales o municipales debajo de la formación más baja que contiene una fuente o abasto subterráneo de agua potable en un radio de un cuarto de milla del hueco del pozo.
  - Clase II – las facilidades que inyectan fluidos los cuales son traídos a la superficie para la producción o recuperación de aceite o gas natural y para el almacenamiento de hidrocarburos que son líquidos a temperatura y presión estándar.

- Clase III – las facilidades que inyectan fluidos para la extracción de minerales o energía.
  - Clase IV – (a) las facilidades que inyectan desperdicios radioactivos o peligrosos dentro o sobre una formación que contiene una fuente o abasto subterráneo de agua potable en un radio de un cuarto de milla del pozo, y (b) los pozos de inyección utilizados para disponer de desperdicios peligrosos, los cuales no pueden ser clasificados como pozos Clase I(a) ó IV(a).
  - Clase V – las facilidades no incluidas bajo las clases I, II, III, IV o VI. Se sub-clasifican como pozos tipo A, B, y C. hay seis tipos de pozos A, siete tipos de pozos B y dos tipos de pozos C.
  - Clase VI – los sumideros o depresiones donde drenan naturalmente las aguas de escorrentía y superficiales.
  - Clase VII – los tanques soterrados de almacenamiento para cualquier líquido o fluido excepto aquellos que se encuentran bajo la Clase II.
- El Reglamento de CIS prohíbe: la inyección subterránea de desperdicios peligrosos, la construcción u operación de facilidades de inyección Clase I o IV y la construcción u operación de facilidades de inyección subterránea Clase V, tipos A2, A3 y C2.
  - El Reglamento además prohíbe la inyección de fluidos a través de facilidades Clase V tipos B1, B2, B3 y B4, los cuales no son aguas de igual o mejor calidad que aquellas del acuífero recipiente en su estado natural, excepto cuando la JCA determina que la calidad de los fluidos a ser inyectados es superior al acuífero.
  - La inyección de fluidos a través de pozos de inyección Clase VI está prohibida, excepto para las aguas de escorrentía, de enfriamiento o las tratadas, que no contienen contaminantes en exceso de los estándares establecidos por el Reglamento de Calidad de Agua para aguas clasificadas como SD. Las aguas SD son aquellas superficiales para uso como fuente de agua potable y para la propagación y preservación de las especies. La inyección subterránea de aguas de escorrentía que contienen contaminantes en exceso de los estándares es permitida si dichos contaminantes se originan de fuentes naturales luego de la implantación de la mejor práctica de manejo aprobada por la JCA.

## **5.4 Departamento de Salud**

El Departamento de Salud de Puerto Rico (DS) no ha promulgado reglamentación para el reuso de aguas sanitarias. El DS no ha desarrollado guías específicas esbozando la calidad del agua reusada de acuerdo al uso que se le da al agua. Las normas, guías y reglamentos existentes en EE. UU. y

otros países pueden ser utilizadas como modelos para elaborar los diferentes tipos de reuso que se reglamentaran en Puerto Rico, así como de los requisitos en términos de calidad de agua, monitoreo y redacción de informes para cada tipo de reuso contemplado.

## **5.5 Estudios Históricos y Proyectos Actuales**

Los estudios históricos de reciente publicación sobre el reuso de agua sanitaria ofrecen una perspectiva global sobre las ventajas y los retos de reclamar, reciclar y reutilizar las aguas residuales. A continuación se mencionan brevemente algunos artículos publicados en revistas científicas especializadas.

Históricamente, el reuso de aguas sanitarias se remonta a la época en la cual se eliminaban las aguas residuales mediante el método de esparcirlas o descargarlas en los terrenos designados para estos propósitos. Con la aparición de las plantas de tratamiento de aguas usadas en el siglo 19 surgen las fincas de aguas usadas (*sewage farms*). Estas fincas eran mayormente lugares a donde se transportaban los efluentes de las plantas de tratamiento. Alguna que otra vez, se utilizaba el agua residual para cultivar productos agrícolas o para otros usos benéficos (Asano, 1996).

El desarrollo económico fundamentado en la actividad industrial causó una gran migración desde el campo a la ciudad, y desde el continente europeo hacia el hemisferio americano. El crecimiento poblacional asociado a las grandes migraciones de finales del siglo 19 y de todo el siglo 20, así como las reformas sanitarias que han alargado la expectativa de vida, ambos, han creado una gran demanda de fuentes de agua fresca a principios del siglo 21. Bajo estas circunstancias de escasez selectiva de fuentes de agua fresca, es que se comienzan a considerar la redacción e implantación de normas y guías internacionales para el reuso de aguas sanitarias que protejan la salud de la población y los ecosistemas, a la vez que se crea un recurso de agua alterno (Anderson, 2001).

Japón es uno de los países que proyecta la escasez de abastos de agua fresca durante las próximas décadas debido al crecimiento económico y demográfico observado en este archipiélago durante la segunda mitad del siglo 20. Japón ha estado experimentando con el reuso de agua desde la década de 1950. En los Juegos Olímpicos de Tokio en 1964, Japón comenzó a reusar el agua sanitaria. La estrategia de reuso que Japón ha desarrollado desde entonces es diversa. Esta estrategia incluye circuitos de reuso cerrados en un solo edificio o en un solo bloque residencial. Además, Japón ha impulsado grandes proyectos de reuso de los efluentes de las plantas de tratamiento municipales (Ogoshi, 2001).



Algunos países sufren mayor escasez que otros, por ejemplo Namibia usa el agua sanitaria como fuente directa de agua potable. Otros países han elaborado sistemas de evaluación y experimentación que les permite identificar y manejar las variables de riesgo asociadas a reusar el agua con propósitos potables.

En Bélgica, un acuífero no confinado que sirve como abasto de agua potable ha sido comprometido por extracciones de agua excesivas. Las autoridades belgas han evaluado la posibilidad de utilizar el efluente de una planta de tratamiento para recargar el acuífero. La recarga de aguas sanitarias al acuífero representa riesgos potenciales a la salud de la población y posibles efectos ambientales adversos. Para lidiar con este escenario, un equipo de investigadores de Bélgica propone adaptar la metodología conocida como el Hazard Analysis Critical Control (HACC) para garantizar que la recarga del acuífero contribuya a la producción de agua potable higiénica y fresca (Dewettinck, 2001).

## 6.0 Proyectos de reuso de aguas usadas

El reuso de aguas usadas se ha convertido en un elemento fundamental del manejo de los recursos de agua en muchos países alrededor del mundo. Numerosos proyectos de reuso de aguas sanitarias tratadas operan exitosamente en los EE. UU. y otros países actualmente. Australia, Singapur, Israel, Alemania, los Países Bajos, Inglaterra, China, Tailandia, Japón, España, Colombia, México, Cuba, Brasil, Argentina y Perú son algunos de los países que han implantado proyectos de reuso. Estas experiencias internacionales proveen modelos y procedimientos que pueden utilizarse en Puerto Rico para el desarrollo de proyectos de reuso. En este informe se le da mayor énfasis a la experiencia de reuso en los EE. UU. debido a que en Puerto Rico la reglamentación ambiental local tiene el campo ocupado por la reglamentación ambiental federal.

### 6.1 Estado de California

California es el estado que más experiencia tiene en la reglamentación e implantación de proyectos de reuso de aguas sanitarias. California tiene una agencia para manejar los recursos de agua adscrita a la sombrilla de las Agencias Ambientales y de Recursos Naturales del Estado (*California Environment and Natural Resources Agencies*). Esta agencia promueve el reuso de aguas sanitarias como un recurso de agua alternativo y como una estrategia de conservación del agua.

- El Departamento de los Recursos de Agua del Estado de California (*WRD*, por sus siglas en inglés) tiene la misión de manejar los recursos de agua cooperando con otras agencias en beneficio de los residentes del Estado, así como, proteger, restaurar y realzar los ambientes humanos y naturales.
- Una de las tareas principales del *WRD* es manejar eficientemente el agua mediante el reciclaje y su conservación. Para este propósito se estableció una Oficina de Eficiencia en la Utilización del Agua (*OWUE*, por sus siglas en inglés). La *OWUE* provee el apoyo institucional para el manejo de los recursos de agua de California y para el uso del agua con eficiencia energética. Sus servicios incluyen proveer asistencia técnica y financiera, diseminar y recopilar la información pertinente al uso eficiente del agua, evaluar los recursos existentes e implementar proyectos y estrategias para el uso eficiente del recurso agua en California.
- En California se ha reusado el agua desde los fines del siglo 19. Al principio del siglo 20 comenzaron los esfuerzos para proteger la salud

pública siempre que se utilizara agua reusada. En la actualidad, California reusa aproximadamente unos 500,000 acres-pies cada año.

- Según las estadísticas del año 2000 California ha reutilizado el agua de la siguiente manera:
  - Riego Agrícola: 193,000 acres-pie al año (48% del total)
  - Riego de áreas verdes: 78,000 acres-pie al año (19.5% del total)
  - Recarga de agua subterránea: 48,000 acres-pie al año (12% del total)
  - Embellecimiento ambiental misceláneo: 26,000 acres-pie al año (6.5% del total)
  - Uso Industrial: 20,000 acres-pie al año (5% del total)
  - Uso Recreativo: 18,000 acres-pie al año (4.5% del total)
  - Barrera al Agua Salada: 10,000 acres-pie al año (2.5% del total)
  - Otros: 7,000 acres-pie al año (1.7% del total).
- La meta para el año 2010 es reutilizar 1 millón de acres-pies al año, y 1.5 millones de acres-pies para el 2030. (Un acre-pie es equivalente a 326,000 galones o a 42,560 pies cúbicos.)
- El monto de las mejoras capitales necesarias para producir 1.5 millones de acres-pies de agua reciclada es aproximadamente \$11 mil millones de dólares. El costo final dependerá de la calidad del agua tratada, el nivel de tratamiento requerido para cumplir con la reglamentación de reuso vigente y la disponibilidad de una red de distribución.
- Algunas cosechas agrícolas y ornamentales se pueden beneficiar de los nutrientes que existen en el agua reciclada, disminuyendo el uso del abono. Sin embargo, reusar agua para regar sin un manejo adecuado del suelo y del agua puede causar una acumulación de sales o iones específicos en el suelo y en el agua subterránea.
- Algunos usos, tales como los procesos industriales en facilidades alejadas de las plantas de tratamiento, puede que tengan que pagar costos más elevados de tratamiento y de distribución.
- El costo para la mayoría de los proyectos de reuso en California debe fluctuar entre \$300 y \$1,300 por acre-pie de agua reusada debido a la gran variedad de condiciones locales que pueden afectar el costo. Aquellos usos que requieran mayor calidad del agua y mayor protección a la salud de la población, tendrán costos más elevados.

### **6.1.1 Ejemplos de proyectos de reuso de agua en California**

- *Sistema para Reabastecer el Agua Subterránea (Groundwater Replenishment System, GRS)*

- El *Groundwater Replenishment System* (GRS) es un proyecto novel que creará un abasto de agua seguro y confiable para el Condado de Orange (Condado). El Condado, localizado en la parte central de California, necesita aumentar sus abastos de agua de alta calidad en el futuro cercano. La mayoría del agua potable que utiliza la parte norte y central del Condado es agua subterránea. Los datos disponibles proyectan un aumento poblacional en esta parte del condado. La población actual de 2.3 millones de habitantes aumentará a 2.8 millones en el 2020. Esta área del Condado, la cual mide 350 millas cuadradas, utiliza aproximadamente 500,000 acres-pies de agua al año. Se estima que en el 2020 harán falta otros 120,000 acres-pies al año.
- La primera fase del GRS debe producir aproximadamente 70,000 acres-pies al año, a un costo de \$450 millones de dólares. El GRS debe comenzar a producir agua purificada en el 2007. Una vez que el proyecto comience operaciones, se llevará a cabo un programa continuo de determinación de la calidad del agua purificada.
- El GRS se alimentará del efluente tratado que se descarga al océano actualmente, brindándole tratamiento adicional antes de recargarlo al acuífero mediante pozos de inyección y lagunas de percolación.
- El eje central del GRS es una de las plantas de tratamiento de aguas usadas más avanzadas en el mundo que produce agua purificada de alta calidad. El agua que llega a la planta recibe tratamientos avanzados, incluyendo micro filtración, osmosis inversa y desinfección con luz ultravioleta y agua oxigenada. Parte del agua que se trata en esta planta se bombeará, por medio de una tubería de 13 millas de longitud, a lagunas de percolación localizadas cerca de Anaheim, en una de las áreas de recarga del acuífero profundo del que se supe al Condado. El volumen restante será inyectado al acuífero mediante pozos profundos creando una barrera a la intrusión salina del Océano Pacífico. El agua producida por el sistema de purificación propuesto en el GRS es de mayor calidad que la que se utiliza actualmente para recargar el acuífero y ayudará a prevenir la escasez de agua en el Condado.
- La última etapa del proceso de tratamiento del agua en el GRS consiste en desinfección con luz ultravioleta y agua oxigenada. La luz ultravioleta combinada con el agua oxigenada es la manera más efectiva de eliminar cualquier compuesto que pueda quedar en el agua, descomponiéndolos a sus elementos básicos tales como bióxido de carbono y agua. La luz ultravioleta y el agua oxigenada desencadenan un proceso de oxidación que desinfecta el agua. Este proceso destruye los compuestos orgánicos de bajo

peso molecular o con carga iónica especial que le hayan permitido pasar a través de las membranas de osmosis inversa.

### *Sistema Sub-regional de Reclamación de Agua en Santa Rosa*

El Sistema Sub-regional de Reclamación de Agua en Santa Rosa ha estado operando por más de 20 años con varias expansiones exitosas. La más reciente fue un esfuerzo colectivo entre la ciudad de Santa Rosa y *Gallo Wineries*, ambas con necesidades similares. El Sistema Sub-regional de Reclamación produce agua tratada mediante un sistema terciario y reusa 3.8 billones de galones de agua reciclada cada año mediante riego a más de 5,700 acres en Santa Rosa.

- *Programa de Reciclaje en South Bay, California:*

El programa de Reciclaje de Agua en South Bay, California, es parte de un esfuerzo regional innovador para reducir las descargas de agua dulce de la Planta de Control de Contaminación de Agua en José/Santa Clara en los humedales de agua salada de la bahía de San Francisco. Este proyecto, completado en 1997, incluye un sistema de reciclaje de agua que promedia 200 mgd. Este efluente se utiliza para propósitos industriales, para riego y para otros usos.

- *Proyecto de Reciclaje de Agua en West Basin-El Segundo, California:*

El distrito de agua municipal en West Basin, California, ha iniciado un programa de reciclaje de agua para aumentar los recursos locales de agua. Este nuevo programa reciclará 100,000 acres-pies por año: 37.5 mgd de agua reciclada (30 mgd de proceso terciario, 7.5 mgd de osmosis inversa), dos plantas de nitrificación y aproximadamente 48 millas de tubería de distribución.

- *Proyectos de Reciclaje de Aguas en el Condado de Monterrey, Valle de Salinas, California*

La agencia de Control de Contaminación de Aguas en la región de Monterrey, en California, y la agencia de Recursos de Agua del Condado de Monterrey operan un proyecto de reuso con una inversión de \$75 millones de dólares. Este proyecto producirá 19,500 acres-pies de agua anualmente, permitiendo el riego de 12,000 acres de terrenos agrícolas.

- *Factory 21 en Orange County, California:*

Desde 1976 el Distrito del Condado de Orange opera el proyecto *Factory 21*, que recarga el acuífero mediante la inyección de una mezcla de aguas sanitarias tratadas y de agua de pozo. Este esfuerzo fue iniciado

para proteger al acuífero de la intrusión salina, el cual es utilizado como abasto de agua en el condado.

- El proyecto, construido a un costo de \$21 millones, incluye la utilización de aproximadamente 15 mgd de una planta de tratamiento de aguas sanitarias tratadas. El proceso de tratamiento de esta planta consiste de clarificación química, re-carbonización, filtración con carbón activado y mediante osmosis inversa, así como la desinfección con cloro. El agua tratada luego se mezcla con agua proveniente de un pozo profundo.
  - *Factory 21* produce una mezcla diaria de 5 mgd de agua tratada mediante osmosis inversa, 9 mgd de agua tratada con adsorción de carbono y 8.6 mgd de agua de un pozo profundo. Esta mezcla, que tiene un contenido de 500 mg/l de sólidos disueltos totales o menos, cumple con todos los estándares primarios y secundarios como fuente para producir agua potable del Departamento de Salud de California.
  - El agua producida por *Factory 21* también cumple con los requisitos de inyección de la Junta Regional de Calidad de Agua de California, región de Santa Ana. El uso de agua reusada por *Factory 21*, a un costo similar al del agua importada, ha convertido este proyecto en un esfuerzo a prueba de sequías.
- *Proyecto de Mejoras a Marsh-Hayward en la zona de San Francisco, California*

Desde 1988 se ha reusado el efluente de una planta de tratamiento secundario para el proyecto de la restauración de la zona pantanosa en la costa de Hayward, a lo largo de la Bahía de San Francisco. Este proyecto es el primero en su clase. El agua proveniente del sistema de efluente tratado de la Autoridad de Descarga de la Bahía del Este es el único recurso de agua fresca en la zona pantanosa.

- *Proyecto de Recarga de Agua Subterránea en Forebay Montebel, Condado de Los Ángeles, California.*

Desde 1962 el Departamento de Salud y el Departamento de Obras Públicas del Condado de Los Ángeles, junto al Distrito de Reuso de Agua de Baja California, están colaborando en un proyecto para recargar el acuífero local con aguas reusadas.

## **6.2 Estado de Florida**

El Estado de Florida, al igual que el de California, es reconocido como un líder en el reuso de aguas tratadas. El reuso de agua se ha convertido en una parte integral

del manejo de las aguas tratadas, del manejo de los recursos de agua y de la restauración de ecosistemas durante los pasados 17 años en Florida.

La capacidad total de reuso de aguas tratadas en Florida ha aumentado de 362 mgd en 1986 a 1,162 mgd en el 2002, de los cuales aproximadamente 584 mgd fueron reusados. Esto representa un aumento de 221 por ciento. La capacidad de reuso actual es 52 por ciento de la capacidad total de diseño de las plantas de tratamiento de aguas domésticas en Florida. A continuación se resumen algunos de los proyectos de reuso de aguas sanitarias en el estado de Florida.

### 6.2.1 Ejemplos de proyectos de reuso de agua en Florida

- *Sistema de Distribución Dual en St. Petersburg*

El sistema de distribución dual de St. Petersburg opera desde el 1977. Este es uno de los sistemas de reuso más conocidos en el mundo. Un promedio de 21.6 mgd de agua fue reusada en el 2000 para regar los terrenos de entrenamiento de un equipo de pelota y las torres de enfriamiento en el Domo de Tropicana. Esta agua tratada está disponible para el riego de áreas verdes incluyendo los patios de 9,340 de residencias y de 51 escuelas, así como 86 parques y 6 campos de golf.

- *CONSERV II*: Este proyecto le sirve tanto al Condado de Orange y a la ciudad de Orlando. Aguas sanitarias tratadas al nivel terciario son enviadas por tuberías a través de 20 millas al oeste de Orlando y utilizadas para regar aproximadamente 8,611 acres de terrenos agrícolas y el Centro Nacional de Golf en el Condado de Orange. La capacidad de este sistema es de 55 mgd.
- *El Proyecto APRICOT*: Este proyecto provee agua para la irrigación de patios residenciales y áreas verdes en Altamonte Springs. El agua también es utilizada para un centro de lavado de carros, los equipos de limpieza de carreteras y para apagar fuegos. La capacidad de este sistema de reuso es de 12.5 mgd y aproximadamente 7.2 mgd fueron reusados en el 2000.
- *Humedales en Orlando*: Orlando creó un sistema de 1,220 acres de humedales utilizando aguas reusadas de la planta de tratamiento de Iron Bridge. En el año 2000, aproximadamente 20 mgd fueron reusados para suplir y reabastecer el humedal.
- *Sistema de Irrigación en Tallahassee*: La capital de Florida riega sobre 2,200 acres con aguas reusadas. Desde el 1966 Tallahassee ha utilizado

estas aguas para propósitos de riego agrícola. La capacidad de este sistema es de 27.4 mgd, de los cuales 17.7 mgd se utilizaron en el 2000.

- *Gainesville*: Esta ciudad utiliza 10 mgd de aguas reusadas provenientes de la planta de tratamiento de Kanapaha. La misma es utilizada para regar patios residenciales, campos de golf y otras áreas de recreación. Esta agua cumple con los estándares como fuente de agua potable, por lo que también son utilizadas para recargar un acuífero. Aproximadamente 0.78 mgd son utilizados para regar las áreas verdes y 7.8 mgd para recargar el acuífero.
- *Reedy Creek Utilities*: Esta planta provee agua para regar áreas verdes en el complejo de Walt Disney World Resort. Cinco campos de golf, áreas verdes en 5 hoteles, 110 acres en una finca de árboles, y el parque acuático son regados con aguas reusadas. Un sistema de 85 estaciones de infiltración rápida son utilizadas para la recarga del agua subterránea. La capacidad permitida para el sistema es de 15 mgd. En el 2000, alrededor de 4.8 mgd de agua fueron utilizados para riego y 5.9 mgd se utilizaron para recargar el acuífero.

### **6.3 Estado de Washington**

El proceso para desarrollar proyectos de reuso en Washington ha sido planificado y evaluado sistemáticamente.

- En 1992 la Legislatura estatal aprobó La Ley de Agua Recuperada (*Chapter 90.46 RCW*), que provee la estructura y la metodología para utilizar los recursos de agua del estado con mayor prudencia. La Ley de Agua Recuperada (LAR) reconoce que las aguas tratadas son un activo que debe ser reusado en una variedad de actividades.
- La Legislatura de Washington le solicitó a los Departamentos de Ecología y de Salud que desarrollaran conjuntamente los estándares y los procesos de implantación necesarios para fomentar el reuso del agua lo antes posible. Los Estándares de Reuso y de Recuperación de Agua (ERRA) fueron finalizados en 1997 y se consideran como unos los más detallados en los EE. UU..
- Los ERRA proveen los elementos de diseño, de tratamiento y de usos para reclamar el agua tratada asegurando la protección ambiental, así como la seguridad y la salud de la población. El agua reusada que cumple con los ERRA puede utilizarse para riego, para usos comerciales e industriales, para recargar acuíferos, para mejorar la calidad del agua en los ríos y los riachuelos, para mejorar el hábitat de los humedales y para mantener el flujo de los riachuelos, beneficiando así a los peces y a la fauna silvestre.



- La legislatura estatal aprobó una asignación de \$10 millones de dólares en 1997 para establecer y administrar cinco programas pilotos de agua reusada. Los fondos fueron asignados con el requisito de que al terminar los proyectos se le presentara a la legislatura una evaluación de los mismos. Los proyectos pilotos seleccionados fueron un estudio de viabilidad en el Condado de Lincoln y cuatro plantas de reuso en las ciudades de Ephrata, Royal City, Yelm y Sequim (Vea Apéndice 4). Estos cuatro proyectos proveen agua reusada para una variedad de usos no potables tales como para regar patios, limpiar calles, controlar el polvo fugitivo, realzar humedales, recargar de acuíferos y aumentar el flujo de algunos riachuelos.
- Los cinco proyectos creados raíz de la legislación estatal han estimulado la construcción de otros diez proyectos de aguas reusadas financiados por la empresa privada. Además, catorce proyectos adicionales están en las etapas de planificación para ser implantados a corto plazo. La evaluación de los quince proyectos de reuso implantados en el estado de Washington durante los últimos cinco años identifica las fortalezas y las debilidades del proceso, las cuales pueden ser de mucha utilidad para desarrollar la estrategia de reuso de aguas en Puerto Rico.
- La experiencia de Washington demuestra que la planificación temprana y coordinada es esencial. Una de las barreras de planificación más importantes que han superado los oficiales de reuso de Washington ha sido la creación de plazas para atender las tareas de supervisión y asistencia técnica en el área de reuso y conservación del agua. Otra barrera considerable ha sido persuadir efectivamente a los negocios y a las comunidades a que consideren la gama de opciones disponibles para reusar el agua. En estos momentos se considera la posibilidad de legislar para que se requiera el reuso de agua en algunas actividades específicas como el riego de los patios y los campos de golf.
- El financiamiento de los proyectos de reuso ha retado las estructuras gubernamentales desarrolladas para apoyar el desempeño seguro de las plantas de tratamiento de aguas sanitarias tradicionales. El reto ha impactado tanto a los recursos humanos como a los recursos fiscales del estado. De hecho, una de las razones que justificó el apoyo económico de la legislatura del estado de Washington para los proyectos de demostración, fue que los proyectos de reuso no podían competir favorablemente contra los proyectos de las plantas de tratamiento tradicionales al momento de solicitar ayuda económica del Departamento de Ecología.
- Los elementos más difíciles de sopesar al momento de estructurar el financiamiento siguen siendo los costos de construir las plantas de tratamiento nuevas diseñadas para el reuso, los de añadirle capacidad a las plantas existentes y los de construir tuberías de transmisión o de distribución para el agua reusada.
- Para impulsar los proyectos de reuso en Washington los funcionarios estatales sugieren desarrollar incentivos que fomenten la construcción de más plantas de reuso. Por ejemplo, incentivos como el financiamiento exclusivo, un paquete de exenciones contributivas, o tarifas más elevadas

para el manejo del efluente de las plantas de tratamiento de aguas sanitarias tratadas que para reusar el agua. Algunos estados en EE. UU. están cobrando un cargo adicional cuando una entidad prefiere utilizar el agua de un abasto superficial o profundo, en lugar de utilizar agua reusada.

*Asuntos técnicos en la implantación de los proyectos de reuso en el Estado de Washington.*

Las cuatro plantas de reuso que forman parte del programa de demostración en el estado de Washington son instalaciones Clase A. El nivel Clase A requiere el tratamiento más estricto ya que permite el reuso de agua en áreas a las que la población tiene acceso sin restricciones. Por lo tanto, este nivel de tratamiento requiere de unas garantías adicionales de confiabilidad en el proceso para proteger la salud de la población. Cada proyecto de demostración ha tenido que cumplir con el requisito de reportarle al Departamento de Ecología los retos fundamentales que han encontrado durante la planificación, el diseño, la construcción, el comienzo y el monitoreo del proyecto.

#### **6.4 Proyectos de Reuso en otros Estados de EE. UU.**

Se han documentado muchos ejemplos de reuso de aguas sanitarias tratadas en otros estados de EE. UU.. De acuerdo al último sondeo disponible sobre el uso de agua en EE. UU., en 1995 se reusaron 1,018 mgd ( $3.85 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{d}$ ), lo que representó un aumento de 36% en cinco años. La mayoría del agua reusada en EE. UU. en 1995 (70%) se destinó para el riego. Además de California, Florida y Washington, los estados de Colorado, Arizona, Nevada, Texas, Utah, Nuevo México, Maryland, Virginia, Nueva York y Missouri han implantado proyectos de reuso de diferentes tipos y para diferentes propósitos. Entre estos proyectos, se reseña un proyecto de demostración de agua potable que se llevó a cabo en Denver, Colorado.

##### **6.4.1 Proyecto de Demostración de Agua Potable de Denver**

El reuso de aguas usadas se identificó a finales de la década de los 1960 como una fuente potencial para satisfacer las demandas de agua para la región metropolitana de Denver, Colorado. El Proyecto de Demostración de Agua Potable (PDAP) de Denver comenzó en 1985 con la operación de una planta de demostración de reuso directo para producir agua potable. Esta instalación fue diseñada para evaluar la viabilidad de utilizar agua sanitaria municipal, tratada mediante un proceso de tratamiento secundario, como fuente de agua potable. El PDAP de Denver evaluó la efectividad de un

proceso de tratamiento de barreras múltiples diseñado para remover una gran cantidad de contaminantes.

- ◇ Antecedentes del Proyecto: La ciudad de Denver comenzó a investigar el concepto de reuso del agua sanitaria como abasto de agua potable durante la negociación de un acuerdo por consentimiento con la EPA en 1968. El PDAP de Denver fue una de muchas alternativas investigadas como parte de los esfuerzos para redactar un Plan de Agua para la ciudad. Como parte de este Plan de Agua se operó una planta piloto entre 1970 y 1979 para evaluar diferentes alternativas de abastos de agua para Denver. Al concluir este proyecto de viabilidad, conocido como el Proyecto de Usos Sucesivos, se llegó a la conclusión que el reuso directo para agua potable era una alternativa viable para Denver. En 1979 se desarrollaron los planes para construir una facilidad de demostración en la cual se podrían estudiar los costos y la confiabilidad del reuso directo para agua potable. El PDAP de Denver estuvo operando desde 1985 hasta 1992, año en el cual concluyó la demostración.
- ◇ Procesos de Tratamiento en el PDAP de Denver: La planta de demostración de reuso recibía el efluente de las aguas sanitarias tratadas en la Planta Regional de Tratamiento de la Zona Metropolitana de Denver. El sistema de tratamiento de esta planta regional consistía de rejillas, sedimentación primaria, lodos activados y sedimentación secundaria. La planta de demostración de reuso utilizaba varios procesos de tratamiento para lograr remover los constituyentes del afluente. Estos procesos incluían tratamiento con cal, sedimentación, re-carbonificación, filtración, desinfección con luz ultravioleta, adsorción de carbono, ósmosis inversa, aireación, desinfección con ozono, cloraminación y ultra filtración.
- ◇ Resultados: El enfoque de barreras múltiples se utilizó para crear un tren de procesos bien confiable en el cual la remoción de un contaminante en particular no dependía de un solo proceso. El sistema tenía redundancia para la remoción de virus, bacteria, protozoos, metales y compuestos orgánicos e inorgánicos.

El efluente final de la planta de demostración de reuso de agua de Denver igualaba o excedía en calidad, los estándares de agua potable de Denver para casi todos los contaminantes. Solo algunos de los contaminantes que se supone fueran removidos por las membranas de ósmosis inversa no cumplieron con los estándares de agua potable. Sin embargo, el efluente cumplió con todos los parámetros microbiológicos de agua potable.

Para probar la efectividad de la remoción del sistema de barreras múltiples, se llevó a cabo un estudio en el cual 15 compuestos orgánicos fueron añadidos en dosis aproximadamente 100 veces

mayores a las concentraciones encontradas normalmente para estos contaminantes en el afluente de la planta de demostración de reuso. Los resultados de este estudio demostraron que el proceso de barreras múltiples puede remover los contaminantes a niveles bajo el límite de detección, aún cuando los contaminantes se administraron en dosis 100 veces mayores a la concentración normal.

## ***6.5 Resumen de la experiencia de reuso en EE. UU.***

La experiencia de reuso en los Estados de California, Florida y Washington puede ser de mucha ayuda para implantar el reuso de aguas usadas en Puerto Rico. El análisis detallado de la experiencia de los cinco proyectos de demostración de reuso de agua en Washington, por ejemplo, puede ser utilizado para conceptualizar, diseñar, implantar y evaluar la política pública de reuso de aguas usadas. De los proyectos en Florida se puede evaluar la eficiencia de las tuberías duales y el reuso de agua para riego. La experiencia de reuso en el Estado de California permite: asimilar la armonización de intereses encontrados, sobreponiendo ante todo, la participación de la comunidad informada; proteger la salud de la población mediante la planificación estratégica; y manejar el agua reusada como un recurso de agua alterno que promueve la conservación del recurso.

## ***6.6 Reuso de aguas usadas en otros países***

En esta sub-sección del informe se mencionan algunos elementos de la experiencia de reuso en Australia y en Perú porque sus enfoques y resultados pueden informar la toma de decisiones en Puerto Rico.

- Australia: En Australia se ha propuesto una estrategia nacional para manejar el recurso agua que incorpora al reuso como uno de sus elementos esenciales. El Plan de Agua de Australia reconoce el valor estratégico del recurso agua para la nación australiana en el contexto de la globalización. El agua se vislumbra como el recurso natural no renovable de mayor valor estratégico en el siglo 21. Aquellas jurisdicciones que sean pro-activas en valorar, proteger, conservar y maximizar el recurso agua, como un recurso estratégico, mejorarán su posicionamiento competitivo en el mercado globalizado, permitiendo un desarrollo económico sustentable y protegiendo la calidad de vida y la salud de la población.

La globalización se fundamenta en la apertura de los mercados financieros, los mercados de servicios y los mercados de las comodidades esenciales como el agua. El Plan de Agua de Australia descansa sobre cuatro consideraciones que le dan la significación estratégica al recurso agua en el

contexto de la globalización. Estas cuatro consideraciones son las siguientes:

- El agua es la médula de la salud y de los asentamientos de los seres humanos.
- El agua es un barómetro de la salud ambiental.
- El agua es un insumo fundamental para las industrias estratégicas de exportación en Australia.
- El agua ya es una industria transnacional en pleno desarrollo.

La dirección estratégica propuesta en el Plan de Agua de Australia requiere velar porque el sector público y el sector privado cumplan con los estándares nacionales de calidad de agua. Además, el Plan establece que Australia debe desarrollar y diseminar tecnología costo-efectiva para el reuso de agua con propósitos potables y no-potables; utilizar consistentemente los principios de desarrollo ecológico sustentable en las zonas de captación de agua, en los ríos y en los humedales, incluyendo su aplicación en la venta de los derechos sobre el agua; identificar las zonas de mayor problema, lidiar con los problemas a través de planes de acción intergubernamentales y aportar soluciones en el lugar del problema; incluir a los consumidores en estrategias nacionales de conservación del recurso y protección de la calidad del agua, incluyendo estrategias para reducir el consumo del agua.

- Perú: El tratamiento y reuso de las aguas residuales se iniciaron en el Perú en la década de 1960, con la implementación de las lagunas de estabilización de San Juan en Lima. Este sistema, considerado como la opción tecnológica más viable para alcanzar el objetivo "no patógenos", se ha venido aplicando al 78% de las plantas existentes en el país. Sin embargo, la cobertura de tratamiento sólo llega al 17.6% de las aguas residuales generadas, ya que la crisis económica ha limitado las inversiones para este propósito.

El Perú es la sede del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS) de la Organización Panamericana de la Salud (OPS). Algunas instituciones del gobierno peruano, en colaboración con CEPIS, comenzaron en 1977 a estudiar el reuso de las aguas producidas en el sistema de lagunas de estabilización para diversas actividades agropecuarias. Las lagunas de estabilización son lagunas localizadas en el tren de tratamiento luego de la remoción de constituyentes por procesos físicos. Estas lagunas proveen aireación y tratamiento biológico al caudal de las plantas de tratamiento en Perú. Entre los principales resultados obtenidos se pueden mencionar los siguientes:

- El sistema de lagunas de estabilización tiene gran capacidad para remover patógenos, lo cual asegura el uso de sus efluentes en la agricultura, garantizando la calidad sanitaria de los productos.

- Los efluentes tratados con niveles de 10,000 coliformes fecales/100 ml permiten obtener productos agrícolas y piscícolas libres de patógenos.
- Las aguas residuales tratadas aportan los nutrientes necesarios para los cultivos agrícolas, evitando los costos de fertilización.
- Se ha implementado la tecnología del cultivo de peces (Tilapia) con aguas residuales tratadas, obteniéndose 4,400 kg/ha sin añadir alimentos artificiales.
- Es posible desarrollar empresas agropecuarias de reuso de aguas residuales tratadas, que incluya los componentes agricultura, acuicultura y forestales. Sus altos índices de rentabilidad pueden incentivar la iniciativa privada. Estos sistemas integrados son más rentables en zonas tropicales.
- Se ha desarrollado un programa de evaluación económica para sistemas integrados de tratamiento y reuso de aguas residuales.

Las experiencias mencionadas han motivado al Gobierno del Perú a desarrollar un Programa Nacional de Riego con Aguas Residuales, que proyecta incorporar 18,000 hectáreas a la agricultura de la costa. Paralelamente, las universidades peruanas están implementando unidades pilotos de tratamiento y reuso de aguas residuales en agricultura, piscicultura y forestales, que permitan demostrar la viabilidad económica y sustenten un Programa de Capacitación.

## **6.7 Reuso en islas**

La experiencia en el reuso del agua en islas puede ser de gran utilidad para conceptualizar, diseñar e implantar proyectos de reuso de aguas en Puerto Rico. La experiencia en el reuso o reciclaje de las aguas residuales en Japón, Singapur y en Hawaii refleja un balance positivo desde perspectivas económicas, sociales y ambientales.

- Japón, a pesar de ser un país densamente poblado, no ha avanzado mucho en la reutilización de las aguas residuales. La baja prioridad que tiene el reuso en Japón se debe principalmente a que tan sólo el 40% de la población está cubierta por la red de troncales sanitarias, situación similar a la de Puerto Rico. Los principales destinos del agua reusada en Japón son los inodoros, los sistemas de enfriamiento, los sistemas de irrigación, los equipos de lavado de carros, la limpieza y el aumento de caudal de ciertos cuerpos de agua. Se estima que el crecimiento económico y poblacional de Japón obligará a que sus ciudades más grandes aumenten la implantación de proyectos de reuso de agua.
- Singapur, una ciudad-estado situada en una isla, tiene un proyecto de reuso que recoge los efluentes en un caño colector para luego filtrarlos y tratarlos con cloro. Originalmente se utilizó el caudal del producto reciclado para abastecer un parque industrial. La red fue luego extendida a través de un

sistema dual, para inodoros en edificios, satisfaciendo las necesidades de unas 25,000 personas.

- Hawaii ha establecido reglamentos de calidad de agua para el reuso de tres diferentes categorías de aguas recicladas. La clasificación indica los niveles de pureza del agua reciclada y determina como se debe utilizar el recurso reciclado según se detalla a continuación:
  - **R1** – El agua reciclada de mayor calidad. Requiere un proceso de filtración y desinfección para que el agua se pueda utilizar en patios, campos de golf, parques, y otros lugares frecuentados por el público.
  - **R2** – Agua reciclada de menor calidad que la R1. Requiere de tratamiento secundario (biológico) y de desinfección. Se usa con mucha más cautela y restricción que el agua R1.
  - **R3** – Es el agua reciclada de menor calidad. Requiere tratamiento secundario y solo puede ser utilizada para irrigar lugares que no son frecuentados por el público.

## 7.0 Proyectos de reuso de aguas usadas en Puerto Rico

En Puerto Rico se reusan indirectamente parte de las aguas sanitarias desde hace aproximadamente 50 años. Varias plantas de filtración de la AAA se alimentan de cuerpos de agua donde aguas arriba han descargado plantas de tratamiento, actividad que se clasifica como reuso potable indirecto. Esto incluye los siguientes sistemas de la AAA:

- Sergio Cuevas: La planta de filtración de Sergio Cuevas se alimenta del Embalse de Loíza y produce hasta 100 mgd de agua potable para la Zona Metropolitana de San Juan. Este embalse a su vez recibe aproximadamente 15 mgd de aguas sanitarias tratadas en las plantas sanitarias de San Lorenzo, Juncos, Aguas Buenas y Caguas. Durante sequías intensas, la mitad del flujo que entra al embalse proviene de las descargas de estas plantas.
- El sistema de La Plata produce hasta 70 mgd de agua potable para la Zona Metropolitana utilizando el Embalse de La Plata. Este embalse recibe aproximadamente 6 mgd de las aguas usadas en los pueblos de Cayey, Comerío y Naranjito.
- Los embalses de Caonillas y Dos Bocas reciben las descargas de las plantas de tratamiento de Jayuya, Adjuntas y Utuado (aproximadamente 1.3 mgd). Estos embalses suplen el Superacueducto de la Costa Norte que suple hasta 100 mgd a la Región Norte de la isla.
- El Embalse de Guajataca, que suple hasta 25 mgd a las plantas de filtración de la AAA en Isabela y Ramey, recibe hasta 1 mgd de la planta de aguas sanitarias de Lares.
- La AAA opera tomas de agua para sus plantas de producción de agua potable en varios ríos que reciben descargas de las plantas sanitarias, incluyendo las

tomas del Río Culebrinas (San Sebastián); el Río Guaynabo (Cidra); el Río Grande de Manatí en Morovis (Orocovis), entre los principales.

- Además, todos los ríos en la isla donde la AAA opera plantas de filtración reciben descargas sanitarias de fuentes dispersas, particularmente de pozos sépticos en sus inmediaciones, así como de descargas sanitarias agrícolas.

Esto significa que todo el caudal descargado por estas plantas de tratamiento durante los periodos de flujo mínimo, aproximadamente un promedio de 28-30 mgd, es reusado aguas abajo por las plantas de filtración que producen agua potable. Durante los periodos en los que los embalses están llenos se estima que, por dilución, se reusan indirectamente con fines potables aproximadamente 14-15 mgd, o el 50% de las descargas de las plantas de tratamiento.

La única actividad de reuso directo de aguas sanitarias en la isla ocurre en la planta de generar electricidad de la empresa AES en Guayama. Esta planta utiliza el efluente de la planta de tratamiento regional de aguas usadas de Guayama, con un caudal promedio de 4 mgd. La AAA provee esta agua a la AES para uso en sus calderas, consumiendo la misma.

Varios proyectos privados también reusan aguas usadas en Puerto Rico principalmente para el riego de campos de golf. Entre estos se incluyen los siguientes:

- *Proyecto de Reuso de las Aguas Sanitarias en Palmas del Mar*: El complejo turístico residencial de Palmas del Mar, localizado en la costa este de Puerto Rico, utiliza el efluente de su planta de tratamiento de aguas sanitarias para regar los campos de golf ubicados en su propiedad. El flujo reusado se estima en 1 mgd.
- *Dorado*: En el municipio de Dorado, los hoteles Dorado Beach y Hyatt Cerromar también reutilizan el efluente de una planta de tratamiento privada para regar sus campos de golf.
- *Río Grande*: El complejo de Río Mar completa al momento negociaciones con la AAA para utilizar el efluente de la planta de tratamientos de Palmer para el riego en los dos campos de golf que opera.
- Pfizer, Vega Baja: facilidad “*state of the art*”, reciclan 100% del agua.



## **8.0 Oportunidades de Reuso en las Plantas de Tratamiento de Aguas Usadas de la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados**

En Puerto Rico existen oportunidades excelentes para desarrollar proyectos viables de reuso de parte de las aguas sanitarias que genera la AAA. Estas oportunidades incluyen, entre otras:

### **8.1 Plantas Primarias**

Las seis plantas de tratamiento primario operadas por la AAA (Figura 4) descargan aproximadamente 149 mgd al mar (Apéndice 1). Las oportunidades de reuso de parte de esta agua es excelente, aún tomando en cuenta los siguientes factores:

- Las plantas de Puerto Nuevo y Bayamón descargan un caudal promedio combinado de aproximadamente 97 mgd al mar mediante un emisario submarino a una distancia de aproximadamente una milla mar afuera. El potencial de reuso de esta agua es limitado debido a los siguientes factores:
  - La probabilidad de mejorar el tratamiento a secundario o más avanzado, lo que permitiría a su vez mejores oportunidades de reuso, son limitadas al momento por limitaciones económicas. El costo promedio de proveer tratamiento secundario es del orden de \$1 millón por mgd. Estas dos plantas tienen el mayor caudal en Puerto Rico. La capacidad de diseño combinada de ambas plantas es de 112 mgd. Por lo tanto, mejorar el nivel de tratamiento en estas plantas conllevaría una inversión de aproximadamente \$100 millones de dólares para proveer tratamiento secundario.
- Si el efluente de estas plantas se eleva a un tratamiento más avanzado, el potencial de reuso pudiera incluir:
  - Reuso parcial en las calderas de las plantas generatrices de la AEE en Puerto Nuevo y Cataño.
  - Riego en sectores del Valle del Río de la Plata en Toa Alta donde se siembra hierba y arbustos ornamentales.
  - Asperjación en el vertedero municipal de San Juan como una medida para mantener la cubierta vegetal sobre el mismo, minimizando la erosión de la cubierta de tierra y plástica.
- Planta Regional de Carolina: Esta planta primaria es la tercera en caudal en la isla, con una descarga promedio de 27 mgd al mar. Su ubicación en la zona de Loíza, donde abundan humedales y terrenos anegados, limita la oportunidad de reuso. En la zona no existen industrias o actividades que pudieran reusar el agua, excepto por dos campos de golf en construcción (Coco Beach) y dos en operación (Bahía Beach y Berwind). En estos campos de golf se utiliza agua salobre de lagunas artificiales que resultan

más prácticas y económicas que la inversión en mejorar el tratamiento en Loíza para promover el reuso de su efluente.

- Planta Regional de Arecibo: Esta planta primaria descarga un promedio de 6 mgd al mar cerca de Arecibo. Parte de este efluente pudiera ser utilizado por la AEE en sus procesos, reduciendo la cantidad de agua que esa entidad extrae de los acuíferos de la zona de Cambalache. No existen otras actividades potenciales de reuso en esta zona, ya que la lluvia abundante hace innecesario el riego de los sembradíos de hierba y vegetales en el área.
- Planta Regional de Aguadilla: Esta planta descarga un promedio de 4 mgd al mar cerca de Aguada. Al presente, no existen oportunidades reales de reusar el efluente, pues en la zona la agricultura es limitada y la lluvia relativamente abundante. La AEE estudia al momento ubicar una nueva planta generadora de electricidad en la zona oeste y debe considerar este elemento de reuso del agua en sus planes si el lugar seleccionado es cercano a Aguada.
- Planta Regional de Ponce: Esta planta descarga un promedio de 14 mgd al Mar Caribe aguas afuera del Puerto de Ponce. La ubicación de esta planta ofrece varias oportunidades de reuso, incluyendo:
  - Uso potencial de parte del efluente en las plantas generatrices de la AEE y Ecoeléctrica en Guayanilla, ubicadas a aproximadamente 8 millas al oeste del emisario de la planta. Esto requeriría una tubería que llevara el efluente hacia esas plantas.
  - Uso potencial para la rehabilitación de humedales afectados por las extracciones de agua excesivas en la Finca la Esperanza y predios cercanos. Existe el potencial de restaurar humedales en la zona, los que proveerían tratamiento adicional al efluente, además de contribuir a recargar el acuífero.
  - Tratamiento avanzado para permitir el reuso de agua como fuente para aumentar los abastos al Embalse de Toa Vaca. Este embalse fue diseñado para recibir agua de las laderas del norte mediante un túnel, el cual nunca fue desarrollado. El embalse apenas se ha llenado en dos ocasiones desde su inauguración en 1972, lo que limita su capacidad de proveer agua a la Región de Ponce, para lo cual fue diseñado. Si el agua de la Planta Regional de Ponce cumpliera con las normas del DS como fuente de agua potable, la misma pudiera bombearse a Toa Vaca y así aumentar los abastos en la región.
  - Tratamiento avanzado en el efluente de la planta Regional de Ponce permitiría también utilizar el agua para riego en cultivos en la zona de Juana Díaz, donde actualmente se extrae del acuífero.

## **8.2 Plantas Secundarias**

La AAA opera cincuenta y cuatro plantas de tratamiento secundario, diez de las cuales descargan aproximadamente 36.4 mgd al mar. Estas plantas ofrecen oportunidades variadas de reuso del efluente dependiendo de su ubicación.

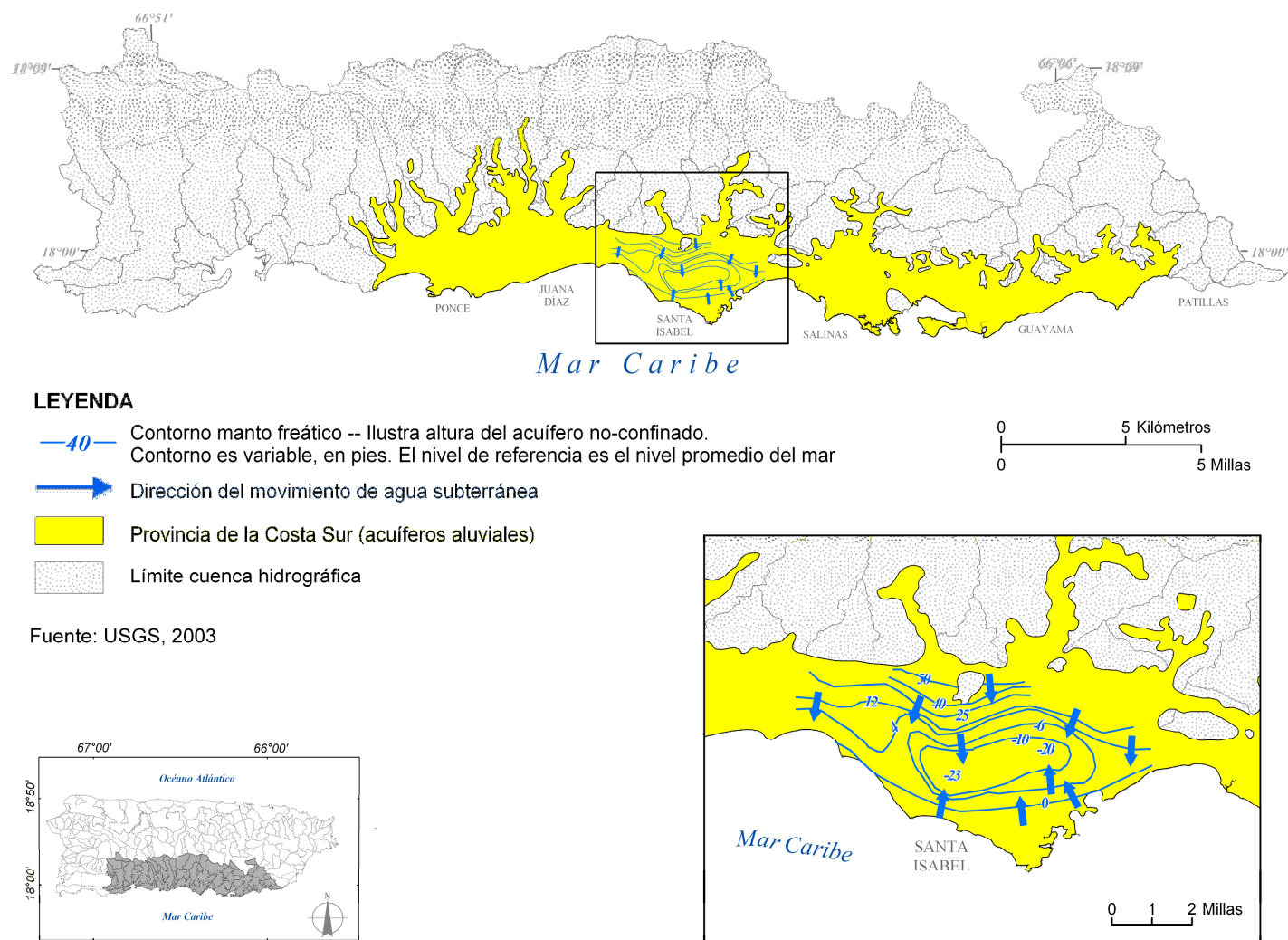
- Como se indicara anteriormente, el efluente de la Planta Regional de Guayama (4 mgd) se reusa en la planta generatriz de energía eléctrica de la AES en Guayama.
- La Planta Regional de Barceloneta provee tratamiento secundario a afluentes industriales y domésticos, con un efluente promedio de 5mgd. El afluente industrial recibe pre-tratamiento en cada actividad industrial que lo genera de acuerdo a las normas de la AAA y la EPA. El efluente de la planta cumple con los requisitos en el permiso NPDES de la EPA y el CCA de la JCA. El efluente de esta planta pudiera utilizarse para crear una barrera hidráulica limitando la intrusión salina, inyectando el agua tratada al acuífero superior en la zona desde Manatí hasta Vega Alta. En esta zona, la sobre-explotación del acuífero ha resultado en una intrusión salina extensa. La inyección del efluente de la planta contribuiría a minimizar o bloquear avances futuros de la cuña de agua salada en la zona indicada.
- Planta Regional de Santa Isabel: Esta planta recibe el afluente de los municipios de Santa Isabel, Juana Díaz y Coamo, descargando 1.7 mgd al Mar Caribe, utilizando la tecnología de biofiltro. Para el periodo comprendido entre los meses de noviembre de 2002 y septiembre de 2003 el efluente de esta planta de tratamiento promedió una concentración de BOD5 de 22 mg/l con un 90% de remoción; una concentración de TSS de 17 mg/l con un 98% de remoción y el pH fluctuó entre un mínimo de 7.26 y un máximo de 7.96. Su ubicación al sur del acuífero aluvial de Santa Isabel-Coamo ofrece una oportunidad excelente para reusar el efluente. El acuífero en esta zona ha sido sobre-explotado durante años, resultando en una merma sustancial en los niveles freáticos en un área de aproximadamente 6 millas cuadradas (Figura 7). Esto a su vez ha resultado en que el agua salada emigre verticalmente como resultado del bombeo excesivo, afectando pozos en la zona. Esta condición no mejorará a menos que se reduzca la extracción de agua para usos domésticos y agrícolas. El efluente de la planta podría utilizarse para recargar el acuífero, mejorando su condición y los abastos de agua de la región.
- La planta regional de Mayagüez tienen una capacidad de diseño de 2.5 mgd y descarga aproximadamente 10.7 mgd al océano. El efluente podría utilizarse para suplir la planta termoeléctrica propuesta para que estará localizada físicamente muy cerca de la planta de tratamiento de Mayagüez.
- Plantas en el Valle de Lajas: La AAA opera tres plantas en el Valle de Lajas, incluyendo las de Sabana Grande, Cabo Rojo y Lajas. Estas plantas descargan un promedio de 1.5 mgd al Mar Caribe. El efluente podría utilizarse para desarrollar humedales ubicados estratégicamente en el Valle de Lajas que llevaría a cabo varias funciones, incluyendo:
  - Fuente de agua para restaurar la Laguna de Guánica.

- Recarga a los acuíferos de la zona de Guánica.
- Fuente de agua para riego de pastos en el Valle de Lajas.

### **8.3 Plantas terciarias**

La AAA opera dos plantas de tratamiento a nivel terciario en Puerto Rico y diseña o construye otras dos.

- La planta terciaria de Caguas descarga 11 mgd al Río Bairoa de una calidad que podría ser reutilizada para riego de productos no comestibles sin necesitar tratamiento adicional. Durante el periodo de noviembre de 2002 a septiembre de 2003 el efluente de esta planta de tratamiento promedió una concentración de BOD5 de 4 mg/l con un 97% de remoción; una concentración de TSS de 4 mg/l con un 98% de remoción y una concentración de coliformes fecales de 69 MPN/100ml.
- La planta terciaria de Barranquitas tiene una capacidad de diseño de 0.6 mgd y descarga 0.306 mgd al Río Barranquitas. Durante el periodo de noviembre de 2002 a septiembre de 2003 el efluente de esta planta de tratamiento promedió una concentración de BOD5 de 5 mg/l con un 98% de remoción, una concentración de TSS de 4 mg/l con un 98% de remoción y una concentración de coliformes fecales de 593 MPN/100ml. El tamaño compacto de esta planta y la buena calidad de su efluente brindan la oportunidad de establecer un proyecto piloto de reuso agrícola en la montaña.
- La AFI construye al momento para la AAA en Fajardo una planta terciaria con capacidad de hasta 12 mgd para servir a Fajardo, Luquillo y Ceiba. El efluente de la planta se descargará al Río Fajardo como una medida para mantener flujos mínimos. Esta planta ofrece dos oportunidades de reuso:
  - El efluente pudiera recibir tratamiento adicional que permitiera su descarga directa al Embalse de Fajardo, también en construcción a media milla de la planta de tratamiento de aguas sanitarias. Este embalse alimenta la Planta de Filtración Regional de Fajardo, que suplirá hasta 12 mgd de agua potable a la misma región.
  - Alternativamente, el efluente pudiera ser bombeado aguas arriba en la vecindad de la toma que sule al embalse y permitir que fluya aguas abajo hasta un punto donde en una toma adicional pudiera extraerse parte del flujo para alimentar el Embalse de Fajardo. Esta alternativa proveería tratamiento adicional natural al efluente, promoviendo su reuso directo como fuente de agua potable.
  - Además, el efluente puede reusarse para regar gramas ornamentales y los campos de golf en la zona de Fajardo, alternativa que requeriría su bombeo a otras áreas.



**Figura 7 Cono de depresión del acuífero de Santa Isabel**

- La AFI diseña al momento para la AAA la planta terciaria regional de Dorado. Esta planta tendrá una capacidad de hasta 14 mgd para servir a Dorado, Toa Baja, Toa Alta y Vega Baja. El efluente de esta planta pudiera reusarse de varias maneras:
  - Recarga al acuífero de la zona, inyectándolo en sumideros cerca de Hijilla. En la zona de Dorado el acuífero sufre de intrusión salina debido a extracciones excesivas. Esta inyección del efluente al acuífero reduciría el impacto de la intrusión salina y pudiera impedir el avance hacia la costa de una zona de agua contaminada con compuestos orgánicos proveniente del pozo Ponderosa en Vega Alta, plumacho que amenaza otros pozos en Dorado.
  - Reuso para riego en proyectos agrícolas de gramas y plantas ornamentales, o campos de golf. La desventaja de esta alternativa es que la zona experimenta períodos de lluvia abundante, durante los cuales el efluente tendría que ser descargado al mar. Los hoteles de la cadena Hyatt, Cerromar y Dorado Beach, ya reusan aguas de su planta de tratamiento para regar sus campos de golf.
- Reuso mediante bombeo al Embalse de La Plata como fuente directa de abasto para agua potable. Esto requeriría bombear el efluente aproximadamente 9 millas aguas arriba y a un nivel estático de 150 pies.

## 9.0 Resumen, Conclusiones y Recomendaciones

En Puerto Rico se generan aproximadamente 223 mgd de aguas usadas domésticas de plantas de la AAA tratadas a niveles primarios (149 mgd), secundarios (63 mgd) y terciarios (11 mgd). Estos efluentes son descargados a quebradas, ríos, embalses, estuarios y al océano. Este volumen de agua constituye un recurso significativo con el potencial de reuso para actividades diversas, incluyendo fuentes de abasto de agua potable, riego agrícola y recarga a los acuíferos para su restauración y como barreras hidráulicas para minimizar la intrusión salina, entre otros. Los efluentes de las plantas de tratamiento de la AAA se deben utilizar para proteger los cuerpos de agua que reciben las descargas sanitarias actualmente y para liberar el agua potabilizada para otro uso diferente al que actualmente se le está dando.

Al presente no existen programas de reuso directo o reuso planificado de estos efluentes, aunque indirectamente se reusan como fuentes de agua potable aproximadamente entre 28 y 30 mgd. Este reuso potable indirecto surge de la descarga de efluentes de plantas secundarias y terciarias de la AAA a ríos y embalses donde operan tomas de agua que la misma AAA utiliza en sus plantas de filtración. En algunos sistemas, tales como el Embalse de Carraízo, hasta el 50% del flujo al embalse durante sequías severas surge de descargas de aguas tratadas en las plantas sanitarias de la AAA.

Existen oportunidades para reusar parte del caudal de aguas sanitarias generadas en las plantas de la AAA. Estas oportunidades incluyen:

- Reuso en las plantas generatrices de la AEE de parte del efluente generado en las plantas primarias que descargan al océano. Las plantas de Bayamón, Puerto Nuevo, Arecibo y Ponce están ubicadas cerca de plantas de la AEE donde parte del efluente pudiera usarse en sus calderas. Esta estrategia se practica al momento en la planta generatriz privada operada por la AES en Guayama, la cual utiliza el efluente de la Planta Regional de Guayama. Los efluentes primarios a utilizarse pudieran requerir tratamiento secundario para cumplir con las especificaciones de la AEE.
- Reuso del efluente de la planta primaria de Ponce aumentar los abastos al Embalse de Toa Vaca.
- Reuso de parte del efluente de las plantas de tratamiento secundario que opera la AAA en varios sectores de la Región Sur y en la Región Oeste con los objetivos siguientes:
  - Fuente de agua industrial para la planta que utilizará gas para generar electricidad, la cual será ubicada cerca de la planta de tratamiento secundario de Mayagüez.
  - Fuente para recargar los acuíferos de la Región, los cuales sufren de sobre-explotación lo que a su vez causa intrusión salina. El reuso del

efluente de la Planta Regional de Santa Isabel representa la mejor oportunidad para un estudio piloto que redundaría en ayudar a restaurar el acuífero de esa zona.

- Fuente para riego agrícola de productos indirectos tales como heno. El reuso del efluente de las plantas de tratamiento que sirven el Valle de Lajas (Sabana Grande, Lajas y Guánica) representa la mejor oportunidad para un proyecto piloto de reuso agrícola.
- Reuso del efluente de las plantas de tratamiento terciarias que se construyen o diseñan en Fajardo y Dorado, como fuentes de agua potable directamente en embalses (Fajardo) o recargada a acuíferos (Dorado), o para riego agrícola (Boquerón).

Previo al inicio de proyectos operacionales de reuso directo de los efluentes sanitarios, según anteriormente indicado, será necesario desarrollar un plan detallado que incluya los siguientes elementos:

- Coordinación efectiva mediante la creación de un Comité de Reuso de Aguas Sanitarias que incluya al DS, la JCA, la USEPA, la AAA y el DRNA, así como un consultor especializado en reuso de aguas sanitarias.
- En coordinación con la AEE, evaluar la viabilidad técnica y económica del reuso de parte de los efluentes primarios generados en las plantas de Bayamón, Puerto Nuevo, Arecibo y Ponce.
- Evaluar la viabilidad técnica y económica de proveer tratamiento secundario, o más avanzado, al efluente de la Planta Regional de Ponce para evaluar su posible reuso como fuente de agua potable recargando el acuífero en la zona, o bombeando el agua al Embalse de Toa Vaca cerca de Villalba.
- Evaluar la viabilidad técnica y económica de proveer tratamiento avanzado a la planta de Mayagüez para utilizar el efluente en la planta la planta termoeléctrica propuesta para esa región.
- Desarrollar normas y reglamentos para la recarga de los efluentes sanitarios a acuíferos o embalses que son fuente de agua potable, tomando en cuenta las experiencias y guías federales y de otros estados, de modo que se garantice la protección de la salud de los ciudadanos que consumirían eventualmente el agua reusada. Este esfuerzo requerirá asistencia de consultores especializados en el tema, y la participación activa del DS y los centros educativos superiores, tales como la Escuela de Salud Pública del Recinto de Ciencias Médicas, la Universidad Metropolitana y el Recinto Universitario de Mayagüez.
- Desarrollar un Programa de Información Pública sobre las necesidades y beneficio del reuso de aguas sanitarias tratadas. Los proyectos pilotos u operacionales que se desarrollen requerirán la preparación de Declaraciones de Impacto Ambiental para cumplir con las normas de la JCA. Esto proveerá oportunidades para dar a conocer los programas de reuso a las comunidades donde se desarrollarán.
- Proveer un incentivo económico industrial para reuso de agua.

El reuso de aguas en Puerto Rico es una alternativa que no se debe limitar al sector público. El gobierno debe ofrecer incentivos para que la empresa privada continúe



implantando proyectos de reuso, como ha estado haciendo desde la década de 1980. La experiencia del Estado de Washington sugiere que la inversión gubernamental en proyectos de reuso tiene un efecto multiplicador que fomenta la implantación de proyectos de reuso por el sector privado. La implantación de una estrategia de reuso proactiva en Puerto Rico mitigará algunas de las consecuencias ambientales de descargar aguas sanitarias al ambiente, además de ser una medida de conservación del recurso agua.

## 10.0 Referencias

- Anderson, J., Adin, A., Crook, J., Hultquist, R., Jiménez-Cisneros, B., Kennedy, W., Sheikh, B., van der Merwe, B. (2001). "Climbing the ladder: A step by step approach to international guidelines for water recycling." Water Science and Technology **43**(10): 1-8.
- Asano, T., and R.A. Mills (1996). "Wastewater reclamation, recycling and reuse: Past, present, and Future." Water, Science and Technology **33**(10-11): 1-14.
- Asano, T., and R.A. Mills (2002). "Water from (waste)water--the dependable water resource." Water Science and Technology **45**(8)(24-33).
- Barbagallo, S., Cirelli, GL., Indelicato, S. (2001). "Wastewater reuse in Italy." Water Science and Technology **43**(10): 43-50.
- Caretti, C., Lubello, C. (2003). "Wastewater disinfection with PAA and UV combined treatment: a pilot plant study." Water Research **37**(10): 2365-2371.
- Chu, W., Wang, JY., Kao, CM. (2003). "A simplified risk-based approach for process screening in municipal wastewater reclamation and reuse." Water Science and Technology **47**(1): 257-262.
- Crook, J. (1999). "Water reuse in the United States." Journal of New England Environmental Association **33**(2): 106-125.
- Delgado, S., Álvarez, M., Rodríguez-Gómez, LE, Elmaleh, S., Aguiar, E. (2001). "How partial nitrification could improve reclaimed wastewater transport in long pipes." Water Science and Technology **43**(10): 133-138.
- Dewettinck, T., Van Houtte, E., Geenens, D. Van Hege, K., Verstraete, W. (2001). "HACCP (Hazard analysis and critical control points) to guarantee safe water reuse and drinking water production." Water Science and Technology **43**(12): 31-38.
- Drewes, J., Heberer, T., Redderses, K. (2002). "Fate of pharmaceuticals during indirect potable reuse." Water Science and Technology **46**(3): 73-80.
- Eisenberg, D., Soller, J., Sakaji, R., Olivieri, A. (2001). "A methodology to evaluate water and wastewater treatment plant reliability." Water Science and Technology **43**(10): 91-99.
- Environmental Protection Agency, (1992). Guidelines for Water Reuse. EPA/625/R-92/004

- Fane, S., Ashbolt, N.J., White, S.B. (2002). "Decentralized urban water reuse: the implications of system scale for cost and pathogen risk." Water Science and Technology **46**(6-7): 273-280.
- Fox, P. (2001). "Monitoring requirements for groundwaters under the influence of reclaimed water." Environmental Monitoring Assessment **70**(1-2): 117-133.
- Greenway, M., Simpson, J.S. (1996). "Artificial wetlands for wastewater treatment, water reuse and wildlife in Queensland, Australia." Water Science and Technology **33**(10-11): 221-229.
- Harhoff, J., van der Merwe, B. (1996). "Twenty-five years of Wastewater Reclamation in Windhoek, Namibia." Water Science and Technology **33**(10-11): 25-35.
- Hermanowicz, S., Sanchez-Diaz, E., Coe, J. (2001). "Prospects, problems and pitfalls of urban water reuse: a case study." Water Science and Technology **43**(10): 9-16.
- Higgins, J., Warnken, J., Sherman, P.P., Teasdale, P.R. (2002). "Survey of users and providers of recycled water: quality and directions for applied research." Water Research **36**(20): 5045-5056.
- Jolis, D., Lam, C. Pitt, P. (2001). "Particle effects on ultraviolet disinfection of coliform bacteria in recycled water." Water Environment Research **73**(2): 233-235.
- Kindzierski, W. (1997). "Health effects associated with wastewater treatment, disposal, and reuse." Water Environment Research **69**(4): 915-925.
- Lee, B., Lesikar, B., Wallace, D. (2003) Wastewater Reuse. Copiado del World Wide Web el 22 de noviembre de 2003.
- Lozier, J., Fernández, A. (2001). "Using a membrane bioreactor/reverse osmosis system for indirect potable reuse." Water Science and Technology: Water supply **1**(5): 303-313.
- M'Coy, W., (2003). " Cost Effective water reuse." Presentación a la Conferencia Anual de Municipios del Estado de Virginia. Copiado del World Wide Web el 22 de noviembre de 2003
- Ogoshi, M., Suzuki, Y., Asano, T. (2001). "Water reuse in Japan." Water Science and Technology **43**(10): 17-23.
- Okun, D. (1997). "Distributing reclaimed water through dual systems." Journal of American Waterworks Association **89**(11): 52-64.
- Okun, D. (2002). "Water reuse introduces the need to integrate both water supply and wastewater management at local and regulatory levels." Water Science and Technology **46**(6-7): 273-280.

- Patterson, R. (2001). "Wastewater quality relationships with reuse options." Water Science and Technology **43**(10): 147-154.
- Peng, J., Stevens, DK., Yiang, X. (1995). "Pioneer project of wastewater reuse in China." Water Research **29**(1): 357-363.
- Pescod. M.B. (1992). Wastewater treatment and use in agriculture. FAO Irrigation and agriculture drainage paper 47. Food and Agriculture Organization of the United Nations: Rome
- Sakamoto, G., Schwartzel, D., Tomowich, D. (2001). "UV disinfection for reuse applications in North America." Water Science and Technology **43**(10): 173-178.
- Tchobanoglous, G., Burton, F. y Stensel, HD, 2003. "Wastewater engineering: Treatment and reuse". Boston:McGraw Hill
- Xu, P., Valette, F., Brissaud, F., Fazio, A., Lazarova, V. (2001). "Technical-economic modeling of integrated water management: wastewater reuse in a French island." Water Science and Technology **43**(10): 67-74.

## 11.0 Glosario de Reuso de Aguas

|                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Aguas Grises         | Aguas usadas que no han recibido tratamiento proveniente de bañeras, duchas, lavamanos, piletas y máquinas de lavar. No incluye aguas usadas provenientes de inodoros, urinales, fregaderos, lavaplatos o agua utilizada para limpiar pañales.                                                                  |
| Agua No-Potable      | Cualquier agua, incluyendo agua recuperada, que no cumpla con los estándares federales, estatales y locales establecidos en la reglamentación del agua potable.                                                                                                                                                 |
| Agua Potable         | Agua que cumple con los parámetros establecidos en los estándares federales, estatales y locales establecidos en la reglamentación del agua potable.                                                                                                                                                            |
| Agua Reciclada       | Agua producida mediante un proceso de tratamiento de aguas usadas, domésticas, municipales o industriales, de tal calidad que puede ser utilizada para uso directo controlado o beneficioso, que de otra manera no sería posible. Se excluye explícitamente de esta definición el término <i>aguas grises</i> . |
| Agua Reclamada       | Sinónimo de agua reciclada.                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Agua Recuperada      | Sinónimo de agua reciclada.                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Agua Reusada         | Sinónimo de agua reciclada.                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Beneficios del reuso | Los diferentes beneficios que se obtienen al reusar el agua sanitaria.                                                                                                                                                                                                                                          |
| Conexión cruzada     | Una conexión actual o potencial entre un sistema de agua potable o una red de distribución de agua potable y un sistema o una fuente de agua recuperada. Cualquier tipo de dispositivo a través del cual puede ocurrir un flujo en retroceso ( <i>back-flow</i> ) se considera una conexión cruzada.            |
| EPA                  | Siglas en inglés para la Agencia Federal de Protección Ambiental.                                                                                                                                                                                                                                               |
| Tasa de infiltración | Medida del tiempo en que el terreno percola el agua.                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Reuso                | Uso del agua recuperada para un uso beneficioso directo o un uso controlado que cumpla con los requisitos estatales y locales establecidos.                                                                                                                                                                     |

|                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Reuso Directo                | Distribución de agua recuperada mediante una red o sistema de distribución para uno o varios usuarios que le darán un uso beneficioso.                                                                                                                                                                                     |
| Reuso Indirecto              | El agua recuperada se descarga al ambiente antes de ser reusada con propósitos beneficiosos.                                                                                                                                                                                                                               |
| Reuso no planificado         | Reuso de aguas sanitarias tratadas que han sido descargadas a un cuerpo de agua desde donde, aguas abajo, se extrae agua para diferentes propósitos que no han sido anticipados.                                                                                                                                           |
| Sistema de Agua Potable      | Un sistema que provee agua potable.                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Sistema dual de Distribución | Dos sistemas de tuberías para llevar el agua a los destinatarios, uno para el agua potable y otro para el agua reusada.                                                                                                                                                                                                    |
| Uso Potable Directo          | El tratamiento de aguas usadas que produce agua de una calidad que la haría aceptable para beberla y para descargarla directamente en un sistema de distribución de agua potable. (Esta práctica se ha investigado en los EE. UU., pero no se ha adoptado o aprobado para ningún sistema de distribución de agua potable). |
| Uso Potable Indirecto        | La descarga de aguas sanitarias tratadas a aguas superficiales o subterráneas desde donde se extrae agua para una toma de una planta de filtración que producirá y distribuirá agua potable.                                                                                                                               |

## 12.0 Apéndice