

# Factibilidad de reúso de aguas negras en edificaciones

## Feasibility of wastewater reuse in buildings

**JOHN CÉSPEDES ROMERO<sup>1</sup> - JAIRO ALBERTO ROMERO ROJAS<sup>2</sup>**

1. Ingeniero civil de la Universidad Minuto de Dios. Maestría en Ingeniería Civil con énfasis en Ingeniería Ambiental de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

2. Ingeniero civil. MEEE. Profesor titular de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

john.cespedes@escuelaing.edu.co - jairo.romero@escuelaing.edu.co

Recibido: 27/11/2015 Aceptado: 21/01/2016

Disponible en <http://www.escuelaing.edu.co/revista.htm>

### Resumen

A lo largo de este artículo se presentan los resultados de las investigaciones y ensayos de laboratorio hechos para determinar la factibilidad de reúso de aguas negras en edificaciones.

### Abstract

This article presents the results of investigations and laboratory tests to determine the feasibility of wastewater reuse in buildings.

## INTRODUCCIÓN

Entre un 60 y 80 % de las aguas de consumo per cápita son transformadas en aguas residuales. El aporte de aguas negras (aguas de sanitarios y orinales) es muy importante porque son las que contienen la carga contaminante principal, ya que mediante ellas se transportan la materia fecal y la orina con sus contaminantes principales, representados en materia orgánica (DBO), sólidos suspendidos y probables organismos patógenos.

Las aguas negras se definen como las aguas que provienen de inodoros y orinales, contaminadas por la orina y las heces humanas; el empleo más generalizado que se les da a las aguas negras tratadas es el de la irrigación de zonas verdes, jardines, etc. Sin embargo, también pueden ser tratadas para usos que requieran una mayor calidad de agua, los cuales requerirán un sistema de tratamiento más avanzado y menos económico.

Los constituyentes convencionales presentes en aguas negras son sólidos suspendidos y coloidales, materia orgánica e inorgánica medida como demanda química y bioquímica de oxígeno, carbono orgánico total, nitrógeno, fósforo, bacterias, protozoarios y virus. En general, las aguas negras presentan valores de pH alrededor de la neutralidad, con una concentración de materia orgánica variable (250-800 mg/L de DQO), se caracterizan por su alto contenido de patógenos bacterianos, sus altas cargas en materia orgánica y nutrientes, su color oscuro y un olor muy ofensivo.

Tienen como uso más conocido para reutilización el de irrigación de jardines y zonas verdes. Los tipos y aplicaciones se clasifican de acuerdo con el sector o infraestructura que recibe el beneficio, siendo uno de los principales el urbano, que incluye irrigación de parques públicos, campos de atletismo, áreas residenciales y campos de golf.

La reutilización de las aguas negras data desde muchos años atrás. Mil años antes de Cristo las aguas negras de Jerusalén desembocaban en un estanque de sedimentación y se empleaban para riego.

El reúso de las aguas negras dependerá de los parámetros y características de la normativa vigente, y la complejidad del sistema de tratamiento es, por tanto, función del objetivo de tratamiento. En las edificaciones y conjuntos residenciales, por consiguiente, es necesario contemplar un pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario y un tratamiento terciario o avanzado, dependiendo del uso propuesto.

Para ello hay que conocer las características básicas de los componentes de las aguas negras: orina y materia fecal, e incluir los resultados experimentales de la caracterización de un número determinado de muestras.

Más adelante se incluyen las opciones que generalmente se tienen de reúso de aguas negras en edificaciones, así como también algunos criterios normativos para ellos.

## ANTECEDENTES

El agua residual doméstica se ha utilizado para regar cultivos, campos, etc. (figura 1). Con el pasar del tiempo se han establecido sistemas de tratamiento que permiten el reúso de estas aguas, de manera económica y sin riesgo para la salud pública<sup>(1)</sup>.

El empleo y la importancia del agua dulce para el hombre no cesan de aumentar. Su abastecimiento se hace cada vez más difícil, por lo que el reúso del agua residual representa una interesante alternativa. Con esta práctica se han producido aspectos benéficos, como el incremento en los rendimientos agrícolas debido al aporte de nutrientes y la disminución en el uso de fertilizantes químicos. Sin embargo, se han notado efectos negativos sobre la salud pública, ya que se han incrementado las infecciones gastrointestinales por el contacto con las aguas negras y el consumo y manejo de productos agrícolas regados con ellas, debido a su contenido de microorganismos patógenos. La Organización Mundial de la Salud (OMS)<sup>(2)</sup> recomienda un estándar microbiológico para el uso del agua residual tratada en el riego de cultivos de  $\leq 0,1$  huevo de helminto/litro para cultivos que comúnmente se consumen crudos, para campos deportivos y para parques públicos, siendo el grupo expuesto los trabajadores y los consumidores.

Ejemplos del aprovechamiento de las aguas negras son el riego de cultivos de:

- Silvicultura (plantaciones forestales)
- Forrajes, hierbas, alfalfas, etc.
- Maíz, trigo, cebada
- Menta, algodón, tabaco

Para el riego de cultivos de frutas y legumbres se debe disponer de un sistema de tratamiento con un mayor grado de remoción de elementos patógenos y

un programa de monitoreo regular, para controlar la presencia de patógenos (parásitos y coliformes fecales).



Riego de cultivo con aguas negras. Masaya (Nicaragua).  
Foto cortesía de Ivenne Morazon.

Entre un 60 y 80 % de las aguas de consumo per cápita son transformadas en aguas residuales. El aporte de aguas negras (aguas de sanitarios y orinales) es muy importante porque las aguas negras contienen la carga contaminante principal, ya que mediante ellas se transportan la materia fecal y la orina con sus contaminantes principales, representados en materia orgánica (DBO), sólidos suspendidos y probables organismos patógenos.

La cantidad de aguas negras que genera una persona depende de:

- Su consumo de agua potable.
- Hábitos de uso.
- Fugas y desperdicio de agua.

Aproximadamente un 30 % de las aguas residuales domésticas son aguas negras (aguas de inodoros y orinales), 30 % de la ducha, 35 % del lavado de ropa, manos y platos, y un 5 % de fugas. El promedio de agua doméstica residual está entre 100 y 200 litros por persona al día. El caudal que se produce varía a lo largo del día, siendo el más bajo a las cinco de la mañana y el más alto al mediodía.

Los principales elementos de contaminación que se encuentran en las excretas y en las aguas negras, que provocan un impacto negativo a la salud y el ambiente, son los organismos causantes de enfermedades, sólidos suspendidos, materia orgánica disuelta y nutrientes.

### Ejemplos de reúso de aguas negras

- Hotel Arabella (Alemania). Este edificio presenta reciclaje de aguas grises. En él, las aguas de regaderas y tinas de las habitaciones son tratadas con unidades de contacto biológico rotativo y reusadas en los sanitarios; el agua lluvia también se recolecta y se reutiliza para irrigación de jardines del hotel.
- Proyecto Erdos-Eco Town (Dongsheng, China). Este proyecto contará con sanitarios secos separadores de orina y con sistema de colección de aguas grises y tratamiento en un sistema descentralizado, y reúso de compost (heces y residuos orgánicos) y orina en agricultura.
- Edificio de la KfW (Alemania). Esta construcción cuenta con reciclaje de aguas grises, recolección de aguas lluvias y negras por vacío para tratamiento anaerobio desde el año 2003.
- Campo de fútbol de Vilanova I Geltru (Barcelona). Posee un depósito encerrado de 16 m<sup>3</sup> para la reutilización de aguas grises procedentes de las duchas y la recogida de las aguas
- Edificio Solaire (Manhattan). Considerado como el primer edificio verde de gran altura, ha generado atención en todo el mundo desde que en 2003 recibió la certificación LEED Oro porque, entre otras características, hace reúso de las aguas negras.

En Colombia no se reportan aún casos de reutilización de aguas negras (aguas de sanitarios y orinales) en edificaciones.

Los grandes proyectos que han adoptado en Colombia el reúso de aguas negras para actividades de aseo, riego de zonas verdes, lavado, descarga de sanitarios, etc., son en su mayoría los proyectos que han establecido políticas ambientalistas dentro de su desarrollo urbano. Uno de los caminos que toman los proyectos para optar por políticas ambientalistas es la certificación de edificios sostenibles LEED (sigla de Leadership in Energy & Environmental Design), que se compone de

un conjunto de normas sobre la utilización de estrategias encaminadas a la sostenibilidad en edificios de todo tipo. Se basa en la incorporación en el proyecto de aspectos relacionados con la eficiencia energética, el uso de energías alternativas, la mejora de la calidad ambiental interior, la eficiencia del consumo de agua, el desarrollo sostenible de los espacios libres de la parcela y la selección de materiales. El objetivo principal de la categoría “Uso eficiente del agua” es reducir el consumo de agua potable mediante la aplicación de las siguientes estrategias:

- Incrementar la eficiencia en el manejo del agua para reducir la carga requerida de los acueductos y de los sistemas de alcantarillado y drenaje municipales.
- Emplear estrategias que, en conjunto, generen un ahorro en el consumo de agua.
- Limitar o eliminar el uso de agua potable, de cualquier fuente natural o de subsuelo para labores de riego de áreas verdes (jardines, cultivos, etc.).

Y es precisamente para conseguir el cumplimiento de prerequisites necesarios para lograr la obtención de créditos en la categoría de “Eficiencia del consumo de agua” que los constructores se incentivan a utilizar el recurso hídrico de la manera más eficiente, a través de la disminución del agua de riego, con la adecuada selección de especies y la utilización de artefactos sanitarios de bajo consumo, por ejemplo. Es allí donde algunos edificios implementan la metodología del reúso de aguas grises. Para conseguirlo, los constructores contemplan la opción de recircular las aguas provenientes de duchas y bañeras, lavadoras y aguas lluvias para regresarlas a las viviendas mediante un sistema de bombeo que permite el posterior uso de éstas en sanitarios y riego de zonas verdes, así como también para aguas de lavados de patios, terrazas, zonas comunes, etc.

Las empresas constructoras colombianas están más conscientes de la importancia de la sostenibilidad. Cabe anotar que en los últimos dos años el país ha registrado un cambio profundo de sensibilidad y nivel de compromiso frente a las mejores prácticas de diseño, construcción y urbanismo sostenible. Este cambio del mercado derivó en un número creciente de proyectos que han optado por certificarse con el sistema LEED, de propiedad del Consejo de Construcción Sostenible de Estados Unidos.

En Colombia el edificio de mayor tamaño ya construido que tiene la certificación LEED es la sede de Bancolombia, en Medellín, que tiene un área construida de 135.379 metros cuadrados y una capacidad para 4.200 empleados. Esta edificación tiene la certificación LEED-EB:OM v2009, es decir, la certificación para edificios existentes: operaciones y mantenimiento, aval otorgado a principios de este año. Entre otras características, la sede permite el ahorro del 50 % de la energía eléctrica gracias al manejo del flujo del aire y de la luz natural, pues cada trabajador del edificio tiene una entrada de luz cerca.

La certificación LEED se entrega en múltiples grados (Certificado, Plata, Oro, Platino) y en distintos segmentos de construcción. En Colombia, la primera edificación en tener la certificación de “Interiores comerciales” fue la de las oficinas de Grupo Contempo en el cuarto piso del Oxo Center. La primera construcción en obtener la certificación de “Nuevas construcciones” fue el edificio de oficinas de Novartis, construidas por Terranum. Por su parte, en la sección de “Retail” los únicos establecimientos que han obtenido el reconocimiento han sido tres almacenes ancla de Falabella: en el Centro Comercial Santafé de Medellín, en el Centro Comercial Centro Mayor y en el Parque Arboleda, en Pereira.

Bogotá tiene 32 proyectos, ubicándola como la ciudad con mayor número de proyectos en busca de certificación, para lo cual es necesario que se implementen metodologías de ahorro, manejo y reutilización de las aguas negras.

## CARACTERIZACIÓN DE AGUAS NEGRAS

Las aguas negras se definen como las aguas que provienen de inodoros y orinales. Generalmente, están contaminadas por la orina y las heces humanas. Las aguas negras se caracterizan por su alto contenido de patógenos bacterianos, sus altas cargas de materia orgánica y nutrientes, su color oscuro y un olor muy ofensivo.

La utilización más generalizada que se les da a las aguas negras tratadas es el de la irrigación subterránea del jardín. Sin embargo, también pueden ser tratadas para usos que requieran una mayor calidad de agua, como llenar las cisternas del lavabo. Estos usos del agua tratada requerirán un sistema de tratamiento más avanzado y menos económico.

## Orina

Es un líquido acuoso transparente y amarillento, de olor característico, secretado por los riñones y eliminado al exterior por el aparato urinario.

A través de la orina se eliminan residuos del trabajo celular, sustancias indeseables y el exceso de agua en la sangre. Es un líquido de color más o menos amarillento, cuya densidad y cantidad dependen de cada organismo, de la cantidad de agua ingerida y de las actividades de consumo realizadas.

### CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LA ORINA<sup>3</sup>

|                           |                    |
|---------------------------|--------------------|
| Agua presente en la orina | 95 %               |
| Sólidos en dilución       | 4 %                |
| Urea por litro            | 20 g               |
| Ácido úrico               | 0,5 g              |
| Volumen                   | 750-2000mL/24h     |
| Olor                      | <i>Sui generis</i> |
| Color                     | Incoloro-amarillo  |
| Turbidez                  | Ausente            |
| Gravedad específica       | 1,003-1,035 g/MI   |
| <b>Químicas</b>           |                    |
| pH                        | 4,7-7,8            |
| Proteínas                 | Ausentes           |
| Cuerpos cetónicos         | Ausentes           |
| Hemoglobina               | Ausente            |
| Bilirrubina               | Ausente            |
| Nitritos                  | Ausente            |
| Estereasa leucocitaria    | Ausente            |
| Glucosa                   | Ausente            |

## Utilizaciones de la orina para reúso

La orina como fertilizante contiene nutrientes útiles para las plantas, como grandes cantidades de nitrógeno en forma de urea y una pequeña cantidad en forma de ácido úrico, por lo que se puede recomendar para riego de la mayoría de cultivos. Al ser especialmente rica en N, es aconsejable dar prioridad a los cultivos que tienen un gran valor y responden bien al N, como la espinaca, coliflor, plantas ornamentales y maíz. No obstante, no existe ninguna razón para no usar la orina, si existe suficiente, como fertilizante en otros cultivos, ya que las experiencias muestran buenos resultados.

Para poder utilizar la orina en los cultivos, los usos y aplicaciones, hay que tomar en cuenta las recomendaciones locales para la fertilización de cultivos. Las dosis

de aplicación para fertilizantes minerales nitrogenados (urea o amonio) pueden usarse como base para las recomendaciones del empleo de la orina. Antes de traducir dichas recomendaciones a la orina, hay que analizar su concentración de nitrógeno (N); de otro modo, se puede estimar una concentración de nitrógeno de 3-7 g por litro. De no ser posible la obtención de recomendaciones locales, una regla general es aplicar la orina producida por una persona durante un día (24 horas) a un metro cuadrado de terreno. Si se recolecta toda la orina, ésta alcanzará para fertilizar de 300 a 400 m<sup>2</sup> de cultivos por persona por año, con N a una dosis razonable.

La orina contiene también una gran cantidad de fósforo, suficiente para fertilizar hasta 600 m<sup>2</sup> de cultivo por persona y temporada de crecimiento, si la dosis de aplicación se escoge para sustituir el fósforo removido.



## Heces fecales<sup>(4)</sup>

Las heces son los desperdicios sólidos producidos por los seres vivos como producto final de la digestión. Son los restos de los alimentos no absorbidos por el tubo digestivo, así como células del epitelio intestinal que son descamadas en el proceso de absorción de nutrientes y microorganismos, al igual que otras sustancias que no son capaces de atravesar el epitelio intestinal.

## Contenido de macronutrientes en la excreta

Existen pocas mediciones de las cantidades y la composición de la excreta humana, por lo que es necesario contar con un método para calcular la composición de la excreta a partir de una información que sea fácil de obtener. Un método, que usa las estadísticas de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) sobre el suministro de alimentos disponible en varios países, ha sido desarrollado por Jönsson y Vinnerås (2004)<sup>(5)</sup>. Este método utiliza ecuaciones derivadas de las estadísticas de la FAO y una estimación de la excreción media de la población sueca, donde se han hecho extensas mediciones en la excreta.

El contenido de metales pesados y otras sustancias contaminantes, como los residuos de plaguicidas, son generalmente bajos o muy bajos en la excreta, y dependen de las cantidades presentes en los productos

consumidos. Los niveles de metales pesados en la orina son muy bajos (Jönsson et al., 1997; Jönsson et al., 1999; Johansson et al., 2001; Vinnerås, 2002; Palmquist et al., 2004)<sup>(6)</sup>. El contenido de estas sustancias es mayor en las heces en comparación con la orina. La causa principal de esto es que las heces consisten básicamente en materiales no metabolizados, combinados con algunos materiales metabolizados. La proporción principal de micronutrientes y otros metales pesados pasa a través del intestino, sin ser afectada (Fraústo da Silva y Williams, 1997)<sup>(7)</sup>. Aun así, las concentraciones de sustancias contaminantes en las heces son usualmente más bajas que en los fertilizantes químicos (por ejemplo, el cadmio) y en el estiércol de aves de corral (por ejemplo, el cromo y el plomo)<sup>(8)</sup>.

CONTENIDOS PRINCIPALES EN AGUAS NEGRAS

|                  | Heces     | Orina     |
|------------------|-----------|-----------|
| HUMEDAD          | 66 - 80 % | 93 - 96 % |
| MATERIA ORGÁNICA | 88 - 97 % | 65 - 85 % |
| NITRÓGENO        | 5 - 7 %   | 15 - 19 % |
| FÓSFORO          | 3 - 5,4 % | 2,5 - 5 % |
| POTASIO          | 1 - 2,5 % | 3 - 4,5 % |
| CARBONO          | 44 - 55 % | 11 - 17 % |
| CALCIO           | 4,5 %     | 4,5 - 6 % |

En la anterior tabla se muestran las características principales de las aguas negras (heces fecales y orina). Generalmente las aguas negras tienen una relación aproximada de  $DBO_5 / DQO = 0,5$  y de  $DBOU / DBO_5 = 1,5$ .

## CARACTERIZACIÓN DE AGUAS NEGRAS

### Preparación de muestras

Se prepararon siete muestras con el producto de una deposición y una descarga de orina diaria, recogidas en la semana del 21 de diciembre del año 2012; una muestra diaria tomada en una hora promedio de 6:00 a 6:30 a.m. Para la toma de las muestras se usó un recipiente plástico (clínicamente conocido como “pato”) lo cual permitió separar la muestra de todo contacto con agua residual, detergente, etc. Una vez que la muestra estaba en el recipiente plástico, se guardó en otro recipiente plástico, que tenía una capacidad de seis litros. Después,

en este mismo recipiente, se agregaba una descarga de orina y por último se llenaba el recipiente plástico con agua de la llave hasta completar los seis litros. Se tomó la decisión de completar seis litros, ya que esa es la capacidad de los tanques de los sanitarios comunes.

### Análisis de resultados

Las aguas negras analizadas se pueden clasificar como aguas residuales fuertes, muy turbias, de alcalinidad alta, relativamente duras, con alta concentración de hierro, manganeso, materia orgánica y coliformes fecales. Exhiben una relación promedio de  $DBO/DQO$  de 0,78, que confirma su composición por materia orgánica biodegradable. En general, dependiendo del uso requerido, son aguas que responden al tratamiento biológico y que hace necesario removerles turbiedad, hierro y manganeso, así como coliformes fecales.

### OPCIONES DE REÚSO DE AGUAS NEGRAS EN EDIFICACIONES

Las aguas negras domésticas son aprovechadas en muchas partes del mundo, especialmente para:

- Riego agrícola (a veces en forma directa y a veces al extraerla de los ríos donde esas aguas se habían descargado).
- Riego de árboles y plantas en “corredores de transporte” o corredores biológicos.
- Riego de césped, por ejemplo en campos de golf, en jardines de hoteles, escuelas, etc.
- Procesos industriales (enfriamiento de equipos).
- Funcionamiento de inodoros.
- Recarga de acuíferos.
- Mitigación de impactos ambientales (creación de humedales artificiales).
- Usos estéticos/paisajísticos.

En general, con adecuados tratamientos, el uso de aguas negras domésticas en riego no ocasiona deterioro de los suelos ni de las aguas subterráneas, se obtienen productos de calidad, no se ha observado acumulación de metales en los cultivos, no incrementa la salinidad de los suelos, etc.

En edificaciones y conjuntos residenciales las posibles formas de reúso de aguas negras serían:

- Riego de parques, jardines, zonas viales, campos deportivos de recreación.
- Mantenimiento de lagos, estanques, ríos.
- Usos domésticos (no potable).
- Abastecimiento de sanitarios.

El reúso de las aguas negras dependerá de los parámetros y características de la normativa vigente, pero como se ha mencionado la utilización de las aguas negras domésticas tratadas no ha demostrado problemas posteriores al reúso.

En muchos países existen diferentes regulaciones para la reutilización de aguas

En general, los países que tienen una normativa sobre el reúso de las aguas negras han tomado como referencia lo establecido por la EPA, en términos de la clasificación por tipos de la reutilización, y las directrices de la OMS y de la FAO en lo relacionado con límites máximos permisibles de algunas sustancias.

En Colombia, el Decreto 1594 de 1984 del Ministerio de Salud reglamenta los usos del agua y establece los criterios admisibles para la destinación del recurso (capítulo IV, artículo 40).

#### CRITERIOS ADMISIBLES PARA DESTINACIÓN DE AGUAS NEGRAS EN ZONAS VERDES

|                  |           |
|------------------|-----------|
| Aluminio (Al)    | 5         |
| Arsénico (As)    | 0,1       |
| Berilio (Be)     | 0,1       |
| Cadmio (Cd) 0,01 | 2         |
| Cinc (Zn)        | 2         |
| Cobalto (Co)     | 0,05      |
| Cobre (Cu)       | 0,2       |
| Cromo (Cr + 6)   | 0,1       |
| Flúor (F)        | 1         |
| Hierro (Fe)      | 5         |
| Litio (Li)       | 2,5       |
| Manganeso (Mn)   | 0,2       |
| Molibdeno (Mo)   | 0,01      |
| Níquel (Ni)      | 0,2       |
| pH (unidades)    | 4,5 - 9,0 |

En resumen, la reutilización de aguas negras en edificaciones y conjuntos residenciales está limitada a riego de parques, jardines, zonas verdes, vías, campos deportivos, mantenimiento de lagos y abastecimiento de acuíferos. Los usos anteriores requieren que las aguas

negras sean tratadas y cumplan una norma como la expuesta en los artículos 40 y 43 del Decreto 1594 de 1984 del Ministerio de Salud, los cuales establecen los siguientes criterios de calidad:

#### CRITERIOS ADMISIBLES PARA USO AGRÍCOLA (DECRETO 1594 DE 1984)

|                  |           |
|------------------|-----------|
| Aluminio (Al)    | 5         |
| Arsénico (As)    | 0,1       |
| Berilio (Be)     | 0,1       |
| Cadmio (Cd) 0,01 | 2         |
| Cinc (Zn)        | 2         |
| Cobalto (Co)     | 0,05      |
| Cobre (Cu)       | 0,2       |
| Cromo (Cr + 6)   | 0,1       |
| Flúor (F)        | 1         |
| Hierro (Fe)      | 5         |
| Litio (Li)       | 2,5       |
| Manganeso (Mn)   | 0,2       |
| Molibdeno (Mo)   | 0,01      |
| Níquel (Ni)      | 0,2       |
| pH (unidades)    | 4,5 - 9,0 |

#### PARÁMETROS MÍNIMOS EXIGIDOS PARA REÚSO DE AGUAS NEGRAS EN RIEGO DE ZONAS VERDES

| Parámetro           | Unidad              | Valor obtenido de muestras propias | Valor exigido por la normativa colombiana |
|---------------------|---------------------|------------------------------------|---|
| pH                  | Unidad              | 8                                  | 5-9                                       |
| Coliformes fecales  | UFC/100 mL          | >2x10 <sup>11</sup>                | 1000 microorganismos/100 ml               |
| DBO                 | Mg/L-O <sub>2</sub> | 1449                               | 200                                       |
| Sólidos suspendidos | Mg/L                | 679                                | <100                                      |
| Hierro              | Mg/L                | 53                                 | <5  |

Como se observa en la tabla, una exigencia básica es que las zonas verdes, parques o jardines se rieguen con aguas negras tratadas que tengan menos de 1000 coliformes fecales por 100 mL. Esto significa que los sistemas de tratamiento implementados por las edificaciones y conjuntos residenciales deben lograr remover de cuatro a cinco unidades logarítmicas de coliformes fecales, empleando sistemas de tratamiento adecuados.

De igual manera, la normativa exige unos estándares químicos muy exigentes para el reúso de aguas negras en riego de zonas verdes. Teniendo en cuenta los va-

lores promedios obtenidos en este estudio (tabla 7), se concluye que las aguas negras requieren por lo menos tratamiento secundario y desinfección para cumplir con el estándar para riego de zonas verdes.

## TRATAMIENTO DE AGUAS NEGRAS EN EDIFICACIONES

### Contaminantes de las aguas residuales y formas de tratamiento y remoción

#### *Sólidos suspendidos*

- Sedimentación
- Tamizado y desintegración
- Filtración
- Flotación
- Adición de polímeros
- Coagulación/sedimentación

#### *Orgánicos biodegradables*

- Lodos activados
- Filtros biológicos
- Discos rotatorios
- Lagunas de aireación
- Filtración en grava y arena
- Filtración en membrana

#### *Patógenos*

- Cloración
- Ozonización
- Radiación UV
- Desinfección por calor

#### *Nutrientes*

##### Nitrógeno

- Nitrificación y desnitrificación en lechos suspendidos
- Nitrificación y desnitrificación en lechos fijos
- Intercambio iónico
- Cloración a punto de ruptura

##### Fósforo

- Adición de coagulantes
- Coagulación y sedimentación con cal
- Remoción por procesos biológicos

#### *Orgánicos refractarios*

- Adsorción con carbón activado
- Ozonización

#### *Metales pesados*

- Precipitación química
- Intercambio iónico

#### *Sólidos inorgánicos disueltos*

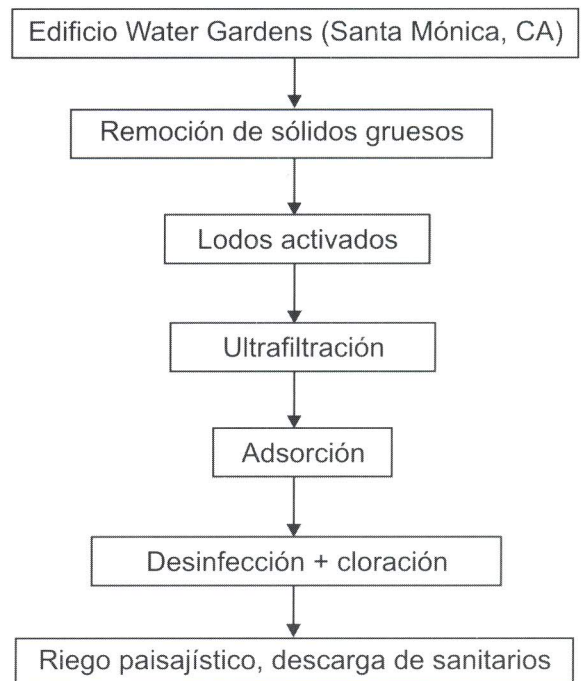
- Intercambio iónico
- Ósmosis inversa
- Electrodialisis

En los siguientes ejemplos se ilustran metodologías utilizadas para reúso de aguas negras en edificios.

### Edificio Water Gardens (Santa Mónica, California)

En este edificio se contempló la construcción de una planta de tratamiento para reúso de aguas negras con fines de riego paisajístico y descarga de sanitarios, se ilustran las condiciones del proyecto.

#### TRATAMIENTO DE AGUAS NEGRAS EN EL EDIFICIO WATER GARDENS (SANTA MÓNICA, CALIFORNIA)



**Fay School.** Ésta es una escuela privada y un internado para estudiantes de primaria y secundaria en Southbo-



rough (Massachusetts), que consta de 22 edificios que albergan 552 estudiantes y profesores. El 30 % de los cuales reside en el campus como parte del internado. En 2011, la escuela estaba produciendo 7900 gpd (30 m<sup>3</sup>/d) de aguas residuales y proyecta un crecimiento del 20 % de estudiantes y profesores, lo cual resulta en una producción de aguas residuales en el futuro de 10.500 gpd (40 m<sup>3</sup>/d). En esta escuela, se identificaron las oportunidades más significativas para la reutilización del agua, incluidos el ahorro y la reducción del uso del agua innecesaria, la conciencia ambiental y las oportunidades de enseñanza sostenible, y el potencial para la certificación LEED de oro.

El sistema está diseñado para producir concentraciones de nitrógeno total en el efluente por debajo de 10 mg/L. Las membranas están diseñadas para producir efluente filtrado con menos de 2 UNT, como se requiere para su reutilización en el estado de Massachusetts. La desinfección ultravioleta está diseñada para cumplir con los límites de reúso de menos de 14 UFC/100 ml como concentración de coliformes fecales media mensual.

**Corporación EMC.** Fabrica sistemas electrónicos de almacenamiento de datos y cuenta con un plantel de un millón de pies cuadrados (92.903 m<sup>2</sup>), ubicado en Hopkinton (Massachusetts). La empresa tiene principios verdes destinados para instalaciones de ingeniería y producción, los cuales se encuentran en las cuencas hidrográficas de Charles, Concord y el río Blackstone.

La planta incluye un reactor discontinuo secuencial de lodos activados (proceso sludge), seguido de tela de filtración y desinfección UV antes de su almacenamiento en un depósito de agua tratada. La planta entró en servicio en el año 2000 y tiene una capacidad de aproximadamente 83.000 gpd (314 m<sup>3</sup>/d), y tiene la capacidad de recuperar 100 % de las aguas residuales. Cerca del 25 % se utiliza para el lavado higiénico y el 75 % restante se usa para la recarga de los acuíferos y en riego. Aproximadamente cuatro millones de galones (18.000 m<sup>3</sup> de agua) se regeneran por año.

**Inodoro en el Gillette Stadium.** Se prevé que el nuevo estadio Gillette aumente la demanda de agua potable hasta en 600.000 galones por día (2300 m<sup>3</sup>/d), durante los partidos en casa, en gran parte debido a la descarga de inodoros.

Se construyó una planta de regeneración de aguas residuales que trata 0,25 mgd 11 L/s, ampliable a 1,3 mgd (57 L/s), junto con un sistema de percolación de una parte del agua reciclada. La planta incluye un biorreactor de membrana, ozono y desinfección UV.

El agua recuperada se bombea a un tanque de 1900 m<sup>3</sup> al sistema de eliminación subterránea. En promedio, un 60 % del agua residual se reutiliza para aseo en el estadio. El agua recuperada restante se bombea al sistema de eliminación de subsuelo, donde se recarga a las aguas subterráneas.

La instalación vuelve a utilizar unos diez millones de galones (38.000 m<sup>3</sup>) de aguas residuales regeneradas por año.

**Fallingwater Conservation. Descarga Cero.** En 1999, el Pennsylvania Conservancy Western (WPC) puso en marcha un plan de reutilización de agua en cascada para promover los principios de diseño sostenible y reducir el uso de agua potable a través de un sistema de reutilización de aguas residuales de descarga cero. Fallingwater, la famosa “casa de la cascada”, fue diseñada y construida por Frank Lloyd Wright, una de las obras arquitectónicas más importantes de diseño del siglo XX. Las principales mansiones se construyeron en la década de los treinta y la casa principal fue construida en voladizo sobre una cascada situada en Bear Run, una corriente de “valor excepcional”, según la clasificación por el estado de Pensilvania.

El centro de visitantes e instalaciones *in situ* produce aproximadamente 8000 galones por día (30 m<sup>3</sup>/d) de aguas residuales. El agua residual es bombeada a la planta de tratamiento, estructura de 1800 pies cuadrados, 194 m<sup>2</sup> separada de la casa principal. El sistema recicla el 100 % de las aguas residuales que se producen por 140.000 visitantes anuales de la instalación.

Los procesos de tratamiento incluyen un biorreactor de membrana, seguido por adsorción con carbón y desinfección UV. El proceso produce una adecuada reutilización de efluentes de acceso público. Después del tratamiento, el agua regenerada se recicla para su uso como agua en el pabellón de los visitantes, y en otros edificios del sitio, el sistema también incluye sistema de irrigación para proporcionar capacidad de reutilización redundante durante los meses de invierno y los periodos húmedos.

### Reúso de aguas negras en edificio privado en Japón.

En Japón existen alrededor de 2500 edificios con reutilización de aguas residuales urbanas y con techo cosecha para diversos fines. En varias grandes ciudades, como Tokio, las regulaciones requieren un sistema de reutilización de aguas residuales o un sistema de recolección de escorrentía. Las aguas residuales recuperadas y agua de lluvia recolectada se emplean para una variedad de propósitos. El agua se utiliza más comúnmente para la descarga de inodoros, pero también se puede usar para el riego de jardines, enfriamiento, limpieza de vehículos y protección contra incendios.

### Caso de tecnología sostenible apropiada en las Filipinas (mercado).

Las aguas residuales generadas en el mercado público contienen niveles altos de materia orgánica (más de 600 mg/L de demanda bioquímica de oxígeno) y de sólidos, clasificándola como agua residual fuerte. El sistema de tratamiento que se diseñó para la planta de tratamiento de aguas residuales del mercado público Muntulupa es una combinación innovadora de tratamiento anaeróbico y aeróbico, junto con filtración para cumplir con los estándares locales de descarga.

### CONCLUSIONES

- Las aguas negras (aguas de orinales y sanitarios) contienen una alta concentración de hierro, manganeso, materia orgánica y coliformes fecales. Son aguas residuales fuertes que contienen un alto porcentaje de turbiedad y una alcalinidad relativamente alta. Cualquier edificación que plantee un reúso de éstas para algún propósito benéfico deberá contemplar, como mínimo, un sistema de tratamiento secundario que incluya remoción de su turbiedad, hierro y manganeso, así como la eliminación de coliformes fecales y de materia orgánica.

- Las opciones de reúso más viables para una edificación o urbanización son aquellas que no requieran un tratamiento terciario avanzado, por ejemplo:
  - Riego de zonas verdes.
  - Riego de jardines, materas, campos deportivos, etc.
  - Lavado de zonas comunes, patios, *balls*, terrazas.
  - Recirculación y reúso en descarga de sanitarios.
- En todos los casos de reúso se deben tener en cuenta las normas pertinentes de calidad de la entidad reguladora.
- El reúso de aguas negras tratadas requiere aceptabilidad del usuario y beneficio económico.

### REFERENCIAS

1. Tomado de M.A., Pérez, R., Caranto & J.R., Caicedo (2003). El reúso de aguas residuales domesticas como bien económico. Seminario Internacional sobre Métodos Naturales para el Tratamiento de Aguas Residuales. Cali: Universidad del Valle.
2. OMS (Organización Mundial de la Salud) (1989). Directrices sanitarias sobre el uso de aguas residuales en agricultura y acuicultura. Serie Informes técnicos, 778. Ginebra: Organización Mundial de la Salud (OMS), 93 p.
3. Johnson, H., Richert Stintzing, A. & Salomon, E. (2004). Lineamientos para el uso de la orina y heces en la producción de cultivos. Reporte 2004-2. Universidad de Ciencias Agrícolas de Suecia, SLU.
4. Salazar (2003). Guía para el manejo de excretas y aguas residuales municipales. Hakan Johnson, Anna Richert Stintzing & Eva Salomon. Lineamientos para el uso de la orina y heces en la producción de cultivos. Reporte 2004-2. Universidad de Ciencias Agrícolas de Suecia, SLU. [www.ecosanres.org](http://www.ecosanres.org).
5. Johnson, H., Richert Stintzing, A. & Salomon, E. (2004). Lineamientos para el uso de la orina y heces en la producción de cultivos. Reporte 2004-2. Universidad de Ciencias Agrícolas de Suecia, SLU. [www.ecosanres.org](http://www.ecosanres.org).
6. Vinnerås, B., Björklund, A. & Jönsson, H. (2003a). Disinfection of faecal matter by thermal composting – laboratory scale and pilot scale studies. *Bioresource Technology*, 88(1): 47-54.
7. Fraústo da Silva, J.J.R. & Williams, R.J.P. (1997). *The Biological Chemistry of the Elements -The Inorganic Chemistry of Life*. Oxford, UK.
8. Metcalf & Eddy (2003). *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*. McGraw-Hill.