

Palacio de Congresos
de Madrid, España

del 12 al 15 noviembre de 2012

IX congreso internacional
aedyr

Martes 13 de noviembre de 2012

De Regeneración Básica a Regeneración Avanzada: Tecnología y Calidad del Agua Regenerada.

JOAN SANZ



DE REGENERACIÓN BÁSICA A REGENERACIÓN AVANZADA: TECNOLOGÍA Y CALIDAD DEL AGUA REGENERADA

Sanz Ataz, Joan
Veolia Water Solutions and Technologies
Email: joan.sanz@veoliawater.com

RESUMEN

Durante la última década, la regeneración del agua ha incorporado decididamente numerosos procesos unitarios ya empleados en otros campos del tratamiento del agua, principalmente los procesos de separación por membranas, dando así lugar al concepto de regeneración avanzada y contribuyendo de forma decisiva a que la calidad del agua regenerada obtenida mediante los procesos de regeneración básica se aproxime a la calidad del agua necesaria para su posible uso potable indirecto. La calidad del agua regenerada mediante los procesos avanzados ha llegado a equipararse a la correspondiente a las aguas prepotables empleadas para la producción de agua de consumo humano e incluso a la calidad del agua de consumo humano, debido a las exigencias introducidas para gestionar los riesgos sanitarios.

El objetivo de esta comunicación es presentar la evolución seguida por las tecnologías aplicadas para la regeneración básica y avanzada del agua, así como la calidad del agua regenerada obtenida por los procesos de regeneración utilizados en diferentes instalaciones a escala real y de otros obtenidos en proyectos de demostración, siempre desde la perspectiva de su posible reutilización potable indirecta y directa. Para ello se toma como referencia la calidad del agua obtenida en estaciones de regeneración de agua (ERA) y los límites de calidad aplicables al agua de consumo humano.

Finalmente esta comunicación plantea los retos a que ha de hacer frente el agua regenerada para ser considerada una fuente segura de recursos hídricos para la producción de agua de consumo humano, principalmente programas de información y participación pública.

ABSTRACT

During last decade a good number of single widely-used water treatment processes have been progressively applied in the water reclamation field, mainly those by membrane separation. This progress has lead to the birth of a new concept known as "advanced water reclamation", which is greatly contributing to achieve the water quality needed for indirect drinking water purposes.

The actual sanitary legal requirements for reclaimed water quality are equated to pre-treated drinking water for human consumption, even to drinking water.

This communication goes through the technology evolution from basic to advanced water reclamation as well as the reclaimed water quality achieved for indirect and direct used in full-scale and pilot installations. For its comparison the water quality obtained in Water Reclamation Plants (WRP) and drinking water quality parameters will be taken as references.

At last this paper sets out the challenges that reclaimed water will have to deal with in the future to be considered a safety resource for drinking water production. These challenges are mainly orientated on public information and participation.

PALABRAS CLAVE

Regeneración avanzada, regeneración básica, reutilización potable indirecta, reutilización potable directa.

INTRODUCCIÓN

La regeneración de agua ha estado dirigida a diferentes usos, aunque los principales han sido la agricultura, el medio ambiente, y los usos recreativos como los campos de golf. El grado de tratamiento en estas aplicaciones ha correspondido al empleo de procesos clarificación y desinfección que de forma general podemos clasificar como regeneración básica. La necesidad de reducir la salinidad en la regeneración de efluentes secundarios con alta conductividad y las exigencias sanitarias en aplicaciones como la recarga de acuíferos han dado lugar a la introducción del uso de procesos de separación por membranas (microfiltración, ultrafiltración, nanofiltración, ósmosis inversa) que forman junto con otros procesos de reducción de microcontaminantes el concepto de regeneración avanzada.

Desde 2005 el Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX, ha realizado el análisis de las diversas combinaciones de procesos de regeneración aportando la visión global, técnica y económica, de los diferentes tipos de estación de regeneración de agua (ERA) instaladas en España (Iglesias et al., 2010). Este análisis permite apuntar el rápido crecimiento de los futuros usos urbanos no potables, usos industriales con requerimientos específicos de calidad y aplicación en torres de refrigeración, lucha contra la intrusión marina en los acuíferos costeros y usos ambientales, apareciendo como un asunto crucial el aumento de la disponibilidad de agua en las zonas con pocos recursos convencionales. También el empleo de agua regenerada puede permitir la mejor gestión de los recursos superficiales empleándola como sustitución de los caudales de servidumbre de salida de los embalses a ríos (López, 2010).

Tanto en el caso de regeneración básica o avanzada, la necesidad de aumentar los recursos hídricos disponibles para hacer frente al consumo humano han generado un gran interés por la reutilización potable indirecta o directa. En esta línea se han pronunciado diferentes autores (Leverenz et al., 2011) proponiendo a partir de la experiencia acumulada en el proceso de depuración y de regeneración, y en los sistemas de aseguramiento de la calidad del agua regenerada y gestión de riesgos sanitarios, el desarrollo de la reutilización potable directa como parte de los recursos

hídricos disponibles para una comunidad. Estas propuestas han dado lugar a la elaboración de un libro blanco por parte de instituciones como el National Water Research Institute de los EEUU (Schroeder et al., 2012) donde examinan los impactos de la reutilización potable directa, los proyectos de demostración en California, y los pasos a seguir para una futura implementación.

La preocupación existente en la última década por la presencia de sustancias emergentes como los compuestos farmacéuticos y de higiene personal, sustancias prioritarias, junto con la formación de subproductos en los propios procesos de regeneración ha incidido en la publicación de trabajos orientados a conocer las concentraciones y posible reducción tanto en esquemas de regeneración básica como avanzada. También otros autores han considerado la reingeniería de la propia EDAR para reducir estos compuestos y como opción a la implementación de costosos sistemas de regeneración avanzada (Jones et al., 2007). Este aspecto de rediseño de EDAR considerando la regeneración como paso siguiente también está recogido en los planteamientos ya presentados en los esquemas de reutilización potable directa (Leverenz et al., 2011).

En el campo de la reutilización potable indirecta, la recarga de acuíferos es una de las prácticas que ofrece el aumento de los recursos disponibles. Aunque no exista una posición europea al respecto, diferentes autores ya proponen la implementación de un marco europeo para la gestión de recarga de acuíferos empleando agua regenerada (Hochstrat et al., 2010), y la propuesta del establecimiento de las tecnologías disponibles.

El objetivo de esta comunicación es considerar como el proceso de regeneración del agua y la calidad del agua regenerada obtenida en diferentes ERA, tanto de regeneración básica como avanzada, pueden ser empleadas en la reutilización potable indirecta o directa como consecuencia de la aplicación de las tecnologías ya instaladas y la calidad de agua regenerada hasta ahora obtenida. La evaluación de los resultados experimentales obtenidos en los proyectos de regeneración estudiados permite valorar la capacidad de los diferentes procesos de tratamiento para producir un agua con la calidad para la que fueron diseñados así como el potencial del agua regenerada para satisfacer las exigencias reglamentarias aplicadas generalmente a la reutilización potable directa.

Los datos obtenidos durante la operación de estos proyectos han sido sometidos en todos los casos a una evaluación tanto desde el punto de vista de la reutilización para la que se diseñó cada ERA, como desde el punto de vista de su posible reutilización potable, asociándolos a cada uno de los procesos unitarios empleados.

REGENERACIÓN BÁSICA. ERA EL PRAT DE LLOBREGAT

Esta ERA ofrece datos de fiabilidad del proceso y de calidad del agua regenerada generados después de más de cuatro años de operación, suficientes para analizar la capacidad de un proceso de regeneración básica para producir un agua con la que satisfacer diferentes usos (Aguiló et al., 2011).

Esta ERA ha sido motivo de evaluación de la calidad microbiológica por el operador (EMSSA) no solo desde el punto de los parámetros de calidad microbiológica establecidos por el RD 1620/2007, si no que se han evaluado la presencia de otros microorganismos indicadores. Las Figuras 1, 2 y 3 muestran el tratamiento de los datos experimentales obtenidos en la ERA de El Prat de Llobregat en cada una de las operaciones unitarias del proceso de regeneración básica, relativos a *Escherichia coli* (Figura 1), así como los parámetros de calidad microbiológica requeridos en otros países como Australia, para los colifagos somáticos (Figura 2) y las esporas de clostridios reductores de sulfito (Figura 3).

La calidad del agua regenerada procedente de la regeneración básica ha sido objeto de interés de estudios del riesgo potencial tanto químico como microbiológico (Muñoz et al., 2010) desde el punto de vista de aplicación en agricultura, centrándose en una lista de 22 compuestos químicos (productos farmacéuticos y de higiene personal, y sustancias prioritarias) y microorganismos (enterovirus). De acuerdo con este trabajo que aplicaba modelos de evaluación cuantitativa de riesgo microbiológico (QMRA), el riesgo asociado al agua regenerada era al menos de tres órdenes de magnitud inferior a los adoptados de 1:10000.

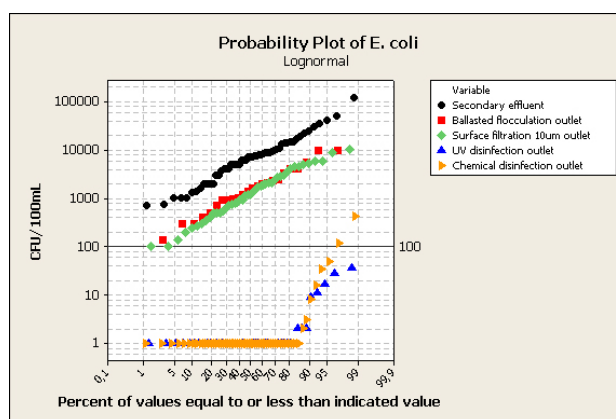


Figura 1. Inactivación de *Escherichia coli* durante el proceso de regeneración en la ERA de El Prat de Llobregat.

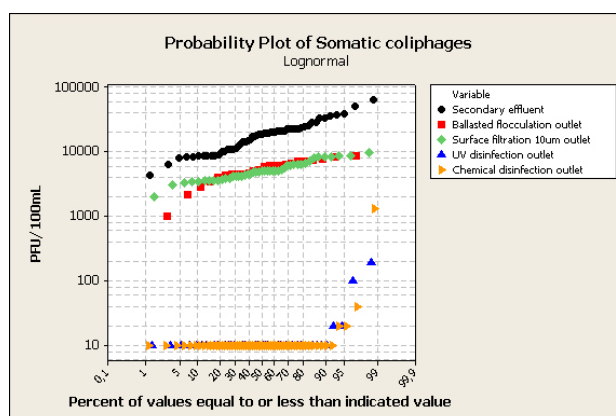


Figura 2. Inactivación de colifagos somáticos durante el proceso de regeneración en la ERA de El Prat de Llobregat.

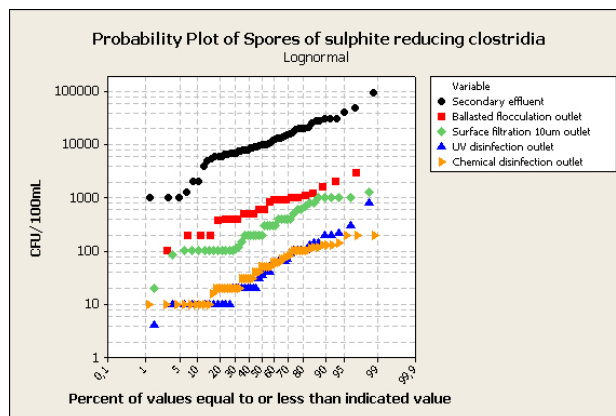


Figura 3. Inactivación de esporas de clostridios reductores de sulfito durante el proceso de regeneración en la ERA de El Prat de Llobregat.

Los estudios sobre diferentes indicadores de calidad química y microbiológica realizados con el agua regenerada de esta ERA por varios autores se han centrado en la evaluación de las posibilidades de reutilizar el agua regenerada como fuente de suministro al plantearse una posible reutilización potable indirecta, mediante la recarga superficial en el río Llobregat. Así, el episodio de severa sequía en 2008 motivó el planteamiento de la reutilización del agua regenerada procedente de la regeneración básica como recarga superficial del río Llobregat aguas arriba de la ETAP de Sant Joan Despí y por ende interrogarse sobre la posible reutilización potable indirecta al emplear este agua como fuente de agua prepotable. Diferentes investigadores en colaboración con la Agencia Catalana del Agua y la Empresa Metropolitana de Saneamiento (EMSSA) realizaron un ensayo a escala real de recarga superficial durante octubre de 2009.

La evaluación sobre la presencia de microorganismos patógenos e indicadores (Rubiano et al., 2012) mostraron que durante el periodo estudiado las densidades de patógenos e indicadores en el agua regenerada eran significativamente inferiores a las del agua de río, tanto aguas arriba como aguas abajo de la zona de recarga superficial con agua regenerada procedente de la ERA El Prat de Llobregat.

Desde el punto de vista químico el estudio de la presencia de contaminantes emergentes (López-Serna et al., 2012) formado por 103 contaminantes emergentes (74 productos farmacéuticos, 17 drogas ilegales, y 12 estrógenos) mostró que en general la recarga superficial en el río Llobregat con agua regenerada aunque influye en términos de concentración en la calidad del agua prepotable del río, especialmente en productos farmacéuticos y en menor extensión en drogas ilegales, no es significativa en ningún caso.

Desde el punto de vista de tratamiento en una ETAP, diferentes autores han considerado el incremento de las sustancias emergentes en el agua prepotable y su posible reducción con los tratamientos habituales dirigidos a la reducción de la materia orgánica (empleo de ozono y filtración con carbón activo granular GAC), mostrando la reducción de los mismos aprovechando la sinergia ozono-GAC (Boucherie et al., 2010).

REGENERACIÓN AVANZADA. ERA CAMP DE TARRAGONA

Este proyecto de regeneración avanzada basado en un proceso de ósmosis inversa de doble paso, tiene como objetivo generar una fuente de abastecimiento diferente de la del agua de consumo humano para refrigeración industrial en el polígono petroquímico de Tarragona (Molist et al., 2011). Los estudios realizados en el proyecto de demostración llevado a cabo en la EDAR de Tarragona durante 2008 y 2009, así como durante la puesta en marcha y las pruebas de rendimiento de la ERA ya construida en 2010 han permitido obtener datos de los procesos y de la calidad del agua regenerada (Salgado et la., 2012). La evaluación de la calidad del agua regenerada incluyó los parámetros específicos del proyecto y los aplicables de acuerdo con el RD 1620/2007 sobre reutilización de agua (Tabla 1).

Tabla 1. Especificaciones de la calidad del agua regenerada para la reutilización en industrias de Camp de Tarragona

Huevos de helmintos parásitos	<i>Escherichia coli</i>	MES	Turbidez	Amonio	Fosfato	DBO ₅
1 huevo/10L	Ausencia/100mL	5 mg/L	1 UNF	0.8 mg/L	3 mg/L	< 4mgO ₂ /L
COT	DQO	Conductividad	Cloruro	Sulfato	Dureza Ca	Alcalinidad M
15 mg/L	20 mgO ₂ /L	2000 µS/cm	< 175 mg/L	< 300 mg/L	<350 mg/L	200 mg/L

Aunque el objetivo principal de la producción de agua regenerada era la alimentación de sistemas de refrigeración, dada la calidad obtenida se consideró su evaluación desde el punto de vista de aplicaciones que pudieran precisar un nivel similar al del agua de consumo humano de acuerdo con los criterios especificados por el RD 140/2003 relativos a la calidad del agua de consumo humano. A excepción del índice de saturación de Langelier, el resto de parámetros correspondientes al análisis completo presentan valores que cumplen los valores permitidos, con valores inferiores al límite de cuantificación para todos los compuestos orgánicos.

REGENERACIÓN AVANZADA. ELIMINACIÓN DE SUBPRODUCTOS

La formación de subproductos procedentes de la desinfección de agua regenerada con el desinfectante más habitual, cloro, no solo se mide por la formación de trihalometanos. Otros subproductos están regulados en países como Australia y en otras normativas y se centra en la concentración máxima de N-nitrosaminas (especialmente la N-nitrosodimetilamina, NDMA) debidas a la reacción del cloro o cloraminas con el carbono orgánico disuelto. El proyecto de regeneración y reutilización de Western Corridor, en Australia, es un ejemplo de tratamiento de este tipo de subproductos de la desinfección imprescindible para la gestión de calidad microbiológica del agua regenerada. La aplicación de la normativa australiana a esta ERA, cuyo objetivo es producir agua para ser reutilizada como agua de refrigeración industrial, de modo similar a la ERA del Camp de Tarragona, permite obtener conclusiones sobre las posibilidades de obtener agua que pueda ser utilizada para su uso potable indirecto o directo. La tecnología aplicada para la regeneración avanzada ofrece la posibilidad de eliminar los subproductos de la desinfección en

base a la combinación de luz ultravioleta y peróxido de hidrógeno en el proceso de oxidación avanzada (Poussade et al., 2009). La aplicación del proceso de oxidación avanzada permitió cumplir en el 100% de las muestras (más de 60) con el límite máximo exigido de 10 ng/L y el 77% eran inferiores a 5 ng/L.

REGENERACIÓN AVANZADA. RECARGA DE ACUÍFERO

La recarga de acuíferos con agua regenerada, mediante la filtración en el terreno a la orilla del río (bank filtration), ha sido estudiada ampliamente en relación con la calidad microbiológica y química del agua en el caso de Aguas de Berlín (Jekel et al., 2008) y en especial el área de filtración en el terreno de Berlín-Tegel. Los resultados obtenidos bajo el proyecto NASRI sobre la eficiencia del proceso de reducción de los compuestos químicos presentes a nivel de trazas, confirma la función de barrera múltiple del paso por la zona no saturada en la reutilización potable indirecta sin emplear procesos de separación por membranas (nanofiltración, ósmosis inversa) siempre y cuando se respeten distancias y tiempos de residencia en la filtración.

REGENERACIÓN AVANZADA. REUTILIZACIÓN POTABLE DIRECTA

El caso único de reutilización potable directa se da en la ERA de Goreangab en Windhoek, Namibia (Van der Merwe et al., 2008). Esta ERA permite la reutilización potable directa mediante la utilización de múltiples procesos de regeneración como forma de asegurar que la calidad del agua regenerada cumple con los requisitos aplicables al agua de consumo humano (Menge et al., 2007), bajo el concepto de múltiples barreras que permiten alcanzar los niveles de reducción de inactivación de microorganismos (Theron-Beukes et al., 2007) y reducción de las concentraciones de microcontaminantes. Los resultados de este proyecto permiten evaluar la calidad del agua desde el punto de vista de su contenido de materia orgánica natural, a medida que el agua progresa por cada uno de los procesos de tratamiento de la ERA (Jacquemet et al., 2007).

PERCEPCIÓN PÚBLICA

La experiencia acumulada en proyectos de regeneración de agua evidencian que la calidad del agua obtenida mediante las diversas combinaciones de procesos, incluido el de naturalización del agua a su paso por el medio natural, no es una garantía suficiente para obtener su aceptación final por parte de la población. Para que esta aceptación llegue a producirse es necesario establecer y llevar a cabo un amplio programa de información y participación pública que contribuyan a su aceptación por parte del público dando a conocer el nivel de seguridad del empleo de agua regenerada (ASERSA, 2012), y muy especialmente con proyectos de demostración cuando la reutilización planteada es la potable directa (Schroeder et al., 2012). En el caso de la reutilización potable directa el proyecto de Windhoek ofrece una perspectiva singular y destacada, en razón a las décadas de implantación progresiva con las que cuenta y su amplio esfuerzo de divulgación e investigación en

los aspectos relativos a la calidad del agua regenerada producida. Y como indican los pioneros de este proyecto: "Water should be judged by its quality; not its history".

CONCLUSIONES

La incorporación de diferentes procesos unitarios en el diseño de la ERA, ya empleados en esquemas de tratamiento de otros tipos de plantas de tratamiento de agua potable y de desalación ha llevado a ofrecer una calidad de agua regenerada con posibilidades de empleo en la reutilización potable indirecta o incluso directa.

La experiencia acumulada en diferentes casos de regeneración básica y avanzada, y los estudios de la última década sobre los microcontaminantes orgánicos y los microorganismos, ofrecen datos para valorar la seguridad del agua regenerada y obtener un nivel similar al del agua prepotable o incluso a la propia agua potable.

El aspecto de la seguridad del agua regenerada debe ser motivo de la mejora de los procesos de comunicación para alcanzar la percepción, conocimiento y aceptación por parte del público en todos los proyectos de reutilización y aun mas en los de reutilización potable indirecta o directa.

REFERENCIAS

Aguiló, P., Sanz, J., Curto, J., Martínez, B., Gullón, M. 2011. El Prat de Llobregat water reclamation plant: reclaimed water quality and reliability. 8th IWA International Conference on Water Reclamation and Reuse, Barcelona, Spain, September 26-29, 2011.

ASERSA 2012. Los riesgos del agua regenerada en perspectiva (traducción del documento original de la WaterReuse Association. (consulta 24.09.2012) <http://www.asersagua.es/index.html>

Boucherie, C., Lecarpentier, C., Fauchon, N., Djafer, M., Heim, V. 2010. Ozone and GAC filtration synergy for removal of emerging micropollutants in a drinking water treatment plant? Water Science & Technology: Water Supply 10.5, 860-868.

Hochstrat, R., Wintgens, T., Kazner, P., Jeffrey, P., Jefferson, B., Melin, T. 2010. Managed aquifer recharge with reclaimed water: approaches to a European guidance framework. Water Science & Technology 62.6, 1265-1273.

Iglesias, R., Ortega, E., Batanero, G., Quintas, L. 2010. Water reuse in Spain: Data overview and costs estimation of suitable treatment trains. Desalination 263, 1-10.

Jacquemet, V., Gherman, E.C., Konig, E., Theron-Beukes, T. 2007. Organic matter evolution in the treatment process of the New Goreangab Water Reclamation Plant at Windhoek, Namibia. . 6th IWA Specialist Conference on Wastewater Reclamation and Reuse for Sustainability, Antwerp, Belgium, October 9-12, 2007.

Jekel, M., Gruenheid, S. 2008. Indirect water reuse for human consumption in Germany: the case of Berlin. En: Water Reuse, An International Survey of current practice, issues and needs. Scientific and technical Report No.20 IWA Publishing, 401-413.

Jones, O., Green, P., Voulvoulis, N., Lester, J. 2007. Questioning the excessive use of advanced treatment to remove organic micropollutants from wastewater. Environ. Sci. Technol. 41, 5085-5089.

- Leverenz, H., Tchobanoglous, G., Asano, T. 2011. Direct potable reuse: a future imperative. *Journal of Water Reuse and Desalination*, 01.1, 2-10.
- López, J. 2010. Gestión integrada de los recursos: el caso de Vitoria_Gasteiz. En: I Conferencia Internacional de ASERSA, Madrid.
- López-Serna, R., Postigo, C., Blanco, J., Pérez, S., Ginebreda, A., López de Alda, M., Petrovic, M., Munné, A., Barceló, D. 2012. Assessing the effects of tertiary treated wastewater reuse on the presence emerging contaminants in a Mediterranean river (Llobregat, NE Spain). *Environ Sci Pollut* 19, 1000-1012.
- Menge, J.G., du Pisani, P., van der Merwe, B. 2007. Water quality control in a Third World Country : challenges to ensure good quality reclaimed water in Windhoek, Namibia. 6th IWA Specialist Conference on Wastewater Reclamation and Reuse for Sustainability, Antwerp, Belgium, October 9-12, 2007.
- Molist, J., Gómez, J.M., Sanz, J. 2011. Water reclamation for industrial reuse in Tarragona. 8th IWA International Conference on Water Reclamation and Reuse, Barcelona, Spain, September 26-29, 2011.
- Muñoz, I., Tomàs, N., Mas, J., García-Reyes, J., Molina-Díaz, A., Fernández-Alba, A. 2010. Potential chemical and microbiological risks on human Health from urban wastewater reuse in agriculture. Case study of wastewater effluents in Spain. *Journal of Environmental Science and Health Part B* 45, 300-309.
- Poussade, Y., Roux, A., Walker, T., Zavlanos, V. 2009. Advanced oxidation for indirect potable reuse: a practical application in Australia. *Water Science & Technology*, 60.9, 2419-2424.
- Rubiano, M., Agulló-Barceló, M., Casa-Mangas, R., Jofre, J., Lucena, F. 2012. Assessing the effects of tertiary treated wastewater reuse on a Mediterranean river (Llobregat, NE Spain), part III: pathogens and indicators. *Environ Sci Pollut Res* 19, 1026-1032.
- Salgado B., Majamaa, K., Sanz, J., Molist, J. 2012. Design and start-up experiences of 19,000 m³/d Camp de Tarragona-Vilaseca Water Reclamation Plant. *Desalination and Water Treatment*. iFirst 1-8.
- Schroeder, E., Tchobanoglous, G., Leverenz, H., Asano, T. 2012. Direct potable reuse: benefits for public water supplies, agriculture, the environment, and energy conservation. National Water Research Institute. Publication NWRSI-2012-01.
- Theron-Beukes, T.M., Konig, E.H. 2007. Ultrafiltration membrane plant performance in direct water reclamation at the New Goreangab water reclamation plant, Windhoek, Namibia. . 6th IWA Specialist Conference on Wastewater Reclamation and Reuse for Sustainability, Antwerp, Belgium, October 9-12, 2007.
- Van der Merwe, B., du Pisani, P., Menge, J., Köning, E. 2008. Water reuse in Windhoek, Namibia: 40 years and still the only case of direct water reuse for human consumption. En: *Water Reuse, An International Survey of current practice, issues and needs*. Scientific and technical Report No.20 IWA Publishing, 434-454.