

**REUTILIZACIÓN DE AGUA RESIDUAL URBANA EN
AGRICULTURA COMO HERRAMIENTA PALIATIVA DE LOS
EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO**

Dolores Hidalgo, Rubén Irusta

División de Medio Ambiente, CARTIF. Parque Tecnológico de Boecillo, 205. 47151 Boecillo, Valladolid.
Tel: 983 546504; Fax: 983 546521; e.mail: dolhid@cartif.es

I. RESUMEN

La disminución de las lluvias, el aumento de las temperaturas y el descenso del caudal de los ríos, son efectos del cambio climático a los que España, al igual que el resto de los países de la cuenca mediterránea, deben enfrentarse hoy en día. Una de las consecuencias de la sequía ha sido el descenso de las reservas hídricas. En el conjunto de España, la reserva hídrica está al 57,1% de su capacidad total, existiendo actualmente siete comunidades con restricciones para regadíos. En lo que respecta a Castilla y León, la sequía que padece la Comunidad ha hecho estragos en el cereal, que no ha podido desarrollarse por la ausencia total de lluvias y, sobre todo, por la sequedad de un suelo que ya no tiene reserva alguna.

Pero esta situación, aunque agravada hoy, no es nueva. Los países Mediterráneos, entre ellos España, siempre han estado caracterizados por un serio desequilibrio hídrico. Este desequilibrio entre el agua demandada por la población y el agua suministrada ha sido debido principalmente a la irregular distribución de las precipitaciones, altas temperaturas y al incremento de la demanda por las necesidades de irrigación de cultivos y los impactos del turismo.

La reutilización del agua residual urbana, previo tratamiento, aparece aquí como una herramienta a considerar con el objetivo de aliviar esta escasez. Muchas zonas podrían ser abastecidas con agua reciclada, la cual también podría ser utilizada para otros propósitos diferentes, dependiendo de la demanda, las características del agua, su disponibilidad, etc. En consecuencia, hay un mayor uso potencial de agua reciclada del que se está haciendo a día de hoy.

En este trabajo se analizan distintos esquemas y buenas prácticas en relación al tratamiento de aguas residuales urbanas y a su reutilización en agricultura, haciendo especial hincapié en la situación de los países Mediterráneos y en España en particular. Este examen ha tenido en consideración las especiales características (socio-económicas, técnicas, demográficas, geográficas, etc) de cada región, e incluye el análisis de una serie de ejemplos de esquemas de tratamiento y gestión de aguas residuales urbanas, que finalizan con el uso sostenible del efluente tratado.

II. INTRODUCCIÓN

Las regiones mediterráneas y más concretamente la península Ibérica son las áreas más vulnerables al cambio climático en Europa, pues no sólo se enfrentan al previsible aumento de la temperatura, sino también a una reducción de los recursos hídricos que podría tener grandes impactos en la agricultura, el turismo y los incendios, entre otros aspectos. Esto es al menos lo que afirma un estudio internacional coordinado por el Instituto de Investigación

del Impacto Climático de Postdam (Alemania) publicado por la revista *Science* (Octubre, 2005). El estudio, que ha tenido en cuenta diversas variables de aumento de la temperatura (entre 2,1 y 4,4 grados), población, consumo y usos del suelo, calcula que España y Portugal podrían sufrir una reducción de las precipitaciones estivales de aquí al 2080 que rondaría, dependiendo del nivel de emisiones de CO₂, entre el 23%-27% (hipótesis pesimista) y el 14%-17% (hipótesis optimista).

El rendimiento de los cultivos podría descender entre un 6% y un 10% y también podrían sufrir graves regresiones especies resistentes a climas semiáridos, como las encinas, el pino carrasco y el alcornoque.

Ante esta situación de escasez que se está viviendo ya a día de hoy, la búsqueda de recursos alternativos de agua que ayuden a paliar en parte los efectos de esta situación, debería ser una de las prioridades del mundo científico. Los efluentes residuales tratados aparecen aquí como una reserva hídrica alternativa cuyo uso debería promocionarse desde todos los estamentos. Son muchas las regiones del mundo que han iniciado ya grandes proyectos que incluyen tratamiento y reutilización de aguas residuales con objeto de reducir la presión sobre sus recursos hídricos naturales, e incluso restaurar sus ecosistemas.

En los países del Mediterráneo, el agua residual, según su nivel de tratamiento (sin tratar, con tratamiento secundario o con tratamiento terciario) se usa sola o mezclada con agua limpia, principalmente en el riego de forraje y cereales, pero también a veces en el riego de árboles frutales y algunos vegetales, dependiendo de la legislación nacional vigente en cada caso.

Las restricciones más importantes para la reutilización de aguas residuales vienen dadas por la preocupación por la salud humana y el medio ambiente. En algunos casos, el agua residual no es tratada adecuadamente debido al hecho de que el coste de construcción de los sistemas eficientes de tratamiento es muy alto. Naturalmente, durante los últimos años, y gracias al progreso científico y tecnológico, se han desarrollado algunas soluciones alternativas. Sin embargo, la elección de la técnica apropiada para el tratamiento se hace, habitualmente, según las necesidades de cada comunidad (*Fatta et al.*, 2004).

En los países que sufren escasez de agua, la reutilización del agua residual tratada en irrigación aparece como una estrategia adecuada de disposición final de los efluentes procedentes de una planta convencional de tratamiento.

La región del Mediterráneo se caracteriza por el bajo nivel e irregularidad de los recursos hídricos, tanto en el tiempo (veranos muy secos), como en el espacio (más seco en el Sur). Ésta región incluye el 60% de la población mundial con recursos naturales renovables de menos de 1.000 m³ agua/habitante/año. El fuerte crecimiento de factores como la urbanización, el turismo, el regadío y la población puede incrementar las tensiones en algunos países y regiones donde el consumo ha alcanzado ya la cantidad de recursos disponibles. Por otro lado, el volumen de agua residual está aumentando también en la región del Mediterráneo. Muchas zonas podrían ser abastecidas con agua reciclada, la cual también podría ser utilizada para otros propósitos diferentes, dependiendo de la demanda, las características del agua, su disponibilidad, etc. En consecuencia, hay un mayor uso potencial de agua reciclada en la región. Es, sin embargo, esencial que el desarrollo de la reutilización de agua en la agricultura y otros sectores esté basado en evidencias científicas de sus efectos sobre el medio ambiente y la salud pública (*Kamizoulis et al.*, 2003).

En el presente trabajo se ha procedido a la recolección y análisis de información relativa a tecnologías previamente implantadas, esquemas y buenas prácticas del tratamiento y reutilización de aguas residuales urbanas en países del Mediterráneo y otros de similares características climatológicas, prestando especial atención a los requisitos de desinfección

de estas aguas cuando van a ser utilizadas en el riego agrícola. Este examen se ha realizado en el marco del proyecto MEDAWARE (<http://147.102.83.100/projects/meda.htm>) financiado por la Unión Europea y más especialmente por su Programa Regional de Gestión Local de Aguas (Regional Program for Local Water Management) cuyos objetivos principales son el desarrollo de las herramientas apropiadas para el control efectivo y monitorización de la operación de las plantas para tratamiento de aguas residuales así como el desarrollo de guías de actuación para la reutilización segura del efluente tratado.

En este documento se presentarán algunos ejemplos de los beneficios potenciales de la reutilización del agua residual en España. Naturalmente, estos efectos son más obvios para zonas áridas, pero el incremento general de la presión sobre los recursos hídricos en todo el mundo, también debería hacer atractiva la reutilización de aguas residuales en otras regiones.

III. BUENAS PRÁCTICAS Y CASOS DE ÉXITO EN LA REUTILIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES URBANAS PARA USO AGRÍCOLA

El agua residual, tras su tratamiento y adecuación, se puede utilizar para un gran número de opciones, incluyendo el riego agrícola, del paisaje, la recarga de acuíferos y su reutilización en procesos industriales o domésticos. La calidad del agua requerida para su reutilización variará dependiendo de su potencial exposición al público.

La reutilización del agua es una práctica que ha registrado, en estos últimos años, indiscutibles progresos en el área Mediterránea. En concreto, existen ejemplos notables recientes que se pueden señalar en algunos países de la región, tanto a nivel nacional como local. Estos ejemplos muestran los considerables beneficios que la reutilización del agua puede producir. Estos beneficios son tanto económicos (ahorro en costosas infraestructuras), como sociales (los sistemas de depuración y reutilización de agua residual pueden por ejemplo, si son bien gestionados, incrementar los beneficios agrícolas y dar un mejor acceso al agua a las comunidades menos favorecidas) y medioambientales (reducción de la presión sobre los ecosistemas).

En España, según datos del Libro Blanco del Agua, ya en el año 2000 se detectaron 125 actuaciones de reutilización directa (Figura 1), fundamentalmente en las islas y en el litoral mediterráneo, aunque probablemente existieran muchas más que no estuvieran identificadas. Con las actuaciones detectadas se aprovechaban 230 hm³/año, aunque las previsiones llegaban a medio plazo a 1.100 hm³/año. Pero para que estos volúmenes previstos fueran susceptibles de ser generados, el propio Libro Blanco indicaba la necesidad de una normativa de ámbito estatal que regulara las condiciones básicas para la reutilización directa de las aguas residuales regeneradas, así como la adopción de incentivos financieros para el establecimiento de programas de sustitución en ciertos usos de aguas potables por aguas residuales regeneradas.

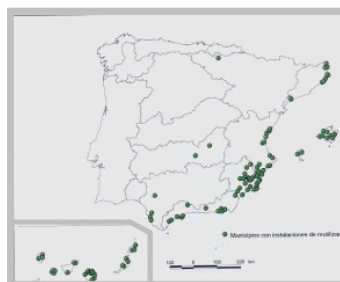


Figura 1. Actuaciones planificadas de reutilización en España en el año 2000.

Un caso muy interesante en España, por la extensión que ocupa, es el sistema de recuperación de aguas residuales de Santa Cruz de Tenerife (Figura 2). La planta de tratamiento de aguas residuales de Santa Cruz trata los efluentes domésticos del área metropolitana de la ciudad (350.000 habitantes). El tratamiento de agua residual incluye un pre-tratamiento, un tratamiento primario y un sistema de lodos activos (Marrero *et al.*, 2002). El efluente de la planta de tratamiento es transportado por gravedad a una estación de bombeo donde es almacenado en un depósito. Desde allí, una tubería de 61 km de longitud, transporta el agua residual tratada al sur de la isla, una zona eminentemente agrícola, para la irrigación de cultivos (principalmente bananeras). Con objeto de mejorar la calidad del agua residual, a 10 km de su entrada en la tubería se realiza una inyección de agua dulce saturada de oxígeno, después de lo cual, normalmente aparece un rápido proceso de nitrificación (menos de 2 horas de tiempo de retención). Como el agua se reutiliza bastante lejos de la ciudad de Santa Cruz, es necesario almacenarla en tres balsas intermedias de 50.000, 457.000 y 250.000 m³, respectivamente. Antes de su utilización en el riego de cultivos, el agua sufrirá un último tratamiento de electrodiálisis con objeto de reducir su salinidad. También existe una red de distribución de aguas depuradas y filtradas comprendida entre la última de las balsas y la costa. La red consta de 42 km de tuberías que van dejando en cada finca un hidrante con funciones de contador y limitador de caudal y de presión, que es telemandado por un centro de control. Del precio del metro cúbico de agua recuperada (0,45 €/m³) que se suministra a los cultivos, el 25% corresponde al agua depurada y a la energía de bombeo y el 35% a la mejora de la calidad química del producto (agua blanca + desalación), el resto se atribuye a mantenimiento de infraestructura, seguimiento técnico, personal, etc.

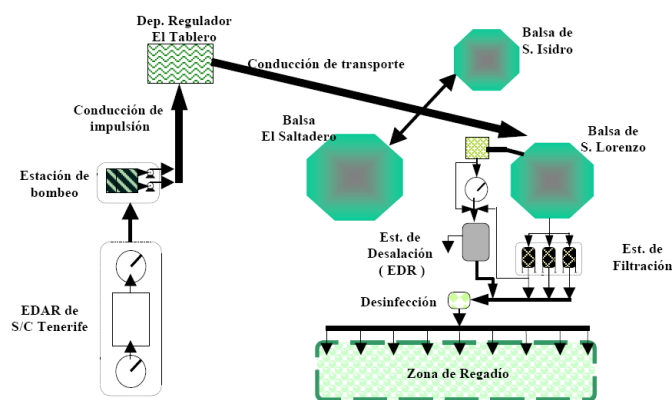


Figura 2. Sistema de reutilización de las aguas residuales depuradas en Tenerife (Marrero *et al.*, 2002).

Interesante también es el caso de Vitoria. Hablar de reutilización de aguas residuales en un lugar como Vitoria, situada en lo que se viene en llamar la España húmeda, puede parecer, a primera vista una extravagancia técnica. Sin embargo, no ha sido el capricho el motivo por el que se ha puesto en marcha un plan de reutilización, sino la necesidad acuciante de resolver un problema doble de agua para abastecimiento y para riegos de 10.000 hectáreas de tierras de labor (López, *et al.*, 2002). La solución propuesta en Vitoria ha consistido en aprovechar la existencia de una E.D.A.R. municipal secundaria para utilizar las aguas efluentes, previo tratamiento terciario, en el riego de cualquier tipo de cultivo. En 1995 entró en funcionamiento la Estación de Tratamiento Terciario de 400 l/s, gestionada por la propia comunidad de regantes, con objeto de utilizar el agua tratada en el riego de cultivos sin restricción, incluso de cultivos de consumo en crudo. El tratamiento utilizado es coagulación-floculación seguido de sedimentación, filtración en filtros de arena abiertos y

desinfección con hipoclorito sódico y dos horas de tiempo de contacto. El agua floculada es transferida a unas piscinas de sedimentación donde sufre una clarificación hasta turbidez menor de 6 NTU. Los excelentes resultados obtenidos tanto en el aspecto físico- químico, como en el microbiológico, han ampliado las perspectivas de la reutilización en sí misma, instalándose una planta de ósmosis inversa y nanofiltración de 12 m³/día con la que se obtiene agua potable de baja mineralización para el funcionamiento de los servicios generales de la planta.

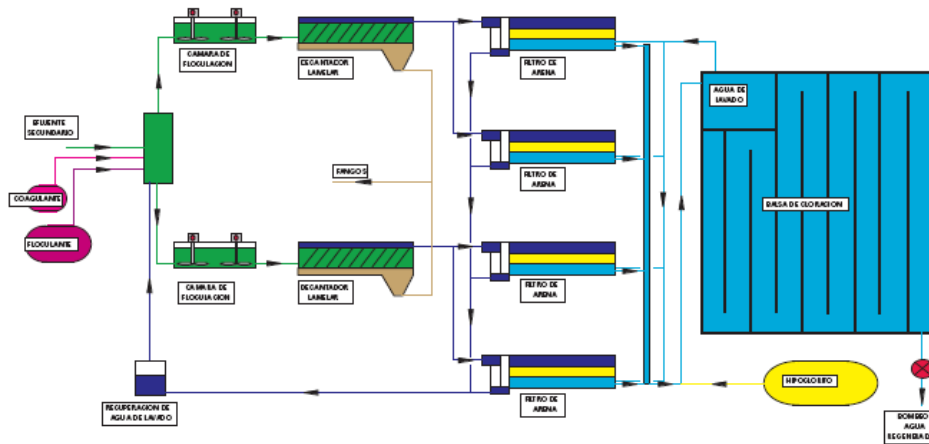


Figura 3. Planta de tratamiento terciario de la comunidad de regantes de Vitoria (López, et al., 2002).

Respecto a los costes, el tratamiento terciario cuesta 0,03 €/m³ incluyendo productos químicos (0,02 €/m³), energía (0,002 €/m³), personal (0,006 €/m³) y mantenimiento (0,002 €/m³). Añadiendo el coste total de la amortización para la Estación de Tratamiento Terciario, estimado en 0,03 €/m³, el precio final del agua es 0,06 €/m³.

El agua residual municipal de la ciudad de Almería (165.000 habitantes) es empleada para riego sin restricciones de 3.000 ha de cultivos comestibles en crudo. El tratamiento del agua antes de la reutilización conlleva un sistema de fangos activos, filtración de alta velocidad y ozonización, lo que hace que el coste final sea algo más elevado que la media (0,65 €/m³).

En la Costa Brava cabe destacar el caso de Castell-Platja d'Aro, donde la irrigación de campos de golf (Figura 4) se realiza con agua procedente del sistema de tratamiento que recoge efluentes residuales de tres poblaciones cercanas de la zona. El carácter residencial y turístico del área produce marcadas variaciones de flujo entre invierno (<10.000 m³/d) y verano (>30.000 m³/d). En este caso en particular, se han conseguido grandes ahorros en costes de fertilizantes al regar con agua reciclada (0,05-0,10 €/m³).



Figura 4. Irrigación de campos de golf en la Costa Brava.

Otras muchas iniciativas de reutilización se están llevando a cabo en la actualidad en España y en el resto del mundo, lo que demuestra que los efluentes residuales están pasando a ser considerados como una fuente alternativa de agua que puede solventar muchas situaciones críticas de estrés hídrico.

IV. SELECCIÓN DE LA TECNOLOGÍA DE RECUPERACIÓN DE AGUAS RESIDUALES MÁS APROPIADA

Lo adecuado de una tecnología para el tratamiento de un efluente residual, dependerá de la calidad que se desee para ese efluente tras el proceso. El sistema más simple de tratamiento incluye procesos de separación sólido-líquido y desinfección. Sistemas de tratamientos más complejos incluyen combinaciones de procesos físicos, químicos y biológicos. El destino geográfico del efluente tratado condiciona técnica y económicamente las infraestructuras de reutilización que se acometan. La eficacia de la depuración inicial condicionará la gestión del sistema de reutilización. En la tabla 1 se muestra un resumen de las tecnologías más apropiadas para la recuperación de aguas residuales.

Tabla 1. Procesos utilizados en la recuperación de aguas residuales (Asano, 1998).

Procesos	Descripción	Aplicación
Separación sólido/líquido		
Sedimentación	Sedimentación por gravedad de la materia en suspensión y partículas	Eliminación de partículas mayores de 30 μm . Técnica normalmente utilizada como tratamiento primario y aguas abajo de procesos biológicos secundarios
Filtración	Eliminación de partículas por el paso del agua a través de arena u otros medios porosos	Eliminación de partículas mayores de 3 μm . Técnica normalmente utilizada aguas abajo de la sedimentación (tratamiento convencional), o seguido de una coagulación/floculación
Sedimentación	Sedimentación por gravedad de la materia en suspensión y partículas	Eliminación de partículas mayores de 30 μm . Técnica normalmente utilizada como tratamiento primario y aguas abajo de procesos biológicos secundarios
Tratamiento biológico		
Tratamiento biológico aerobio	Tratamiento biológico de aguas residuales mediante microorganismos en lagunas aireadas o procesos de biopelícula	Eliminación de materia orgánica disuelta en el agua residual y materia coloidal
Lagunas de oxidación	Lagunas de 50 a 100 cm de profundidad de agua para la mezcla y penetración de la luz solar	Reducción del contenido en sólidos en suspensión, DBO, bacterias patógenas y amoníaco de las aguas residuales
Eliminación biológica de nutrientes	Combinación de procesos aerobios, anóxicos y anaerobios para optimizar la conversión del nitrógeno orgánico y amoniacal a nitrógeno molecular (N_2) y la eliminación del fósforo	Reducción del contenido de nutrientes del agua residual recuperada

Tratamiento físico avanzado		
Carbón activo	Procesos en los cuales los contaminantes son absorbidos sobre la superficie del carbón activo	Eliminación de compuestos orgánicos hidrofóbicos
Stripping con aire	Transferencia de amoníaco y otros componentes volátiles del agua al aire	Eliminación de nitrógeno amoniacal y otros compuestos orgánicos volátiles del agua residual
Intercambio iónico	Intercambio iónico entre una resina intercambiadora y un flujo de agua a través de un reactor	Eficaz para la eliminación de cationes como calcio, magnesio, hierro, amonio y aniones como nitrato
Coagulación y precipitación química	Uso de sales de aluminio o hierro, polielectrolitos, y/o ozono para promover la desestabilización de partículas coloidales del agua residual recuperada y precipitación de fósforo	Formación de precipitados de fósforo y floculación de partículas para su eliminación por sedimentación y filtración
Tratamiento con cal	Uso de cal para precipitar cationes y metales en disolución	Se usa para precipitar fósforo y modificar el pH
Filtración por membrana	Microfiltración, nanofiltración y ultrafiltración	Eliminación de partículas y microorganismos del agua

Los usos más interesantes de agua recuperada incluyen, como ya se ha visto en el apartado anterior, el riego de cultivos comestibles o campos de golf, pero estos usos requieren la desinfección del agua residual así como cumplir con las normativas vigentes. El propósito de la desinfección es reducir la población de organismos en aguas residuales a niveles lo bastante bajos como para asegurar que no habrá organismos patógenos en cantidades suficientes para causar enfermedades. Sin embargo, a los patrones de calidad les afecta también la opción de riego escogida.

Hay un gran número de procesos químicos que sirven para desinfectar el agua residual, pero ninguno es universalmente aplicable. Generalmente, los métodos de desinfección que se puedan utilizar consisten en métodos químicos (cloro, dióxido de cloro, ácido peracético y ozono), métodos físicos (radiación UV y microfiltración por membrana) y biológicos. Se sabe que los sistemas de desinfección son muy sensibles a la calidad del agua residual. La concentración de sólidos en suspensión en el efluente es un parámetro crítico y los efluentes se pueden clasificar de acuerdo a ese parámetro en un primer planteamiento, en orden a elegir el mejor sistema de desinfección en cada situación. Una buena práctica en este caso es, como ocurre en Tenerife, la inyección de agua limpia saturada de oxígeno disuelto (OD) que mejore la calidad del agua residual recuperada durante el transporte (reducción de la salinidad y contenido de la materia orgánica). El OD inyectado con agua dulce provoca un proceso de nitrificación-desnitrificación y tiene como resultado una disminución de la cantidad de productos requeridos para la desinfección.

Hasta ahora la cloración-decloración ha sido la técnica de desinfección más ampliamente utilizada, pero viendo los productos dañinos que puede producir el cloro, se están considerando desinfectantes alternativos que permitan alcanzar los estándares sanitarios requeridos para la descarga y reutilización del agua residual. La radiación UV se está convirtiendo en la alternativa más aceptada frente a la desinfección química convencional. Se ha probado la alta relación coste-eficacia de la luz UV como desinfectante y su comportamiento medioambientalmente amigable, pero hay casos en los que también la ozonización debe ser considerada como una alternativa competitiva (eliminación de compuestos orgánicos, color, etc.).

V. CONCLUSIONES

El aumento de la escasez de agua en el mundo junto con el rápido incremento de la población urbana son razones suficientes para la precaución y para plantearse la necesidad de una gestión apropiada del agua. Muy pequeña ha sido la inversión hecha en el pasado en instalaciones de tratamiento y reutilización de efluentes residuales; a menudo el suministro y tratamiento de agua potable ha recibido más prioridad que la recogida, tratamiento y reutilización de agua residual, aunque está claro que, debido a las tendencias del desarrollo urbano, este aspecto debe tener mayor énfasis.

Según el Banco Mundial (World Bank), “el mayor desafío en el sector del agua en las próximas dos décadas será la implantación de tratamientos de bajo coste que permitan, al mismo tiempo, una reutilización selectiva de los efluentes tratados para propósitos agrícolas e industriales”. Es, por otro lado, crucial que los sistemas de saneamiento sigan estrictos patrones higiénicos para prevenir la propagación de enfermedades.

La reutilización de las aguas residuales permite el incremento de los recursos disponibles y minimiza el impacto de su disposición ambiental, pero es esencial que el desarrollo de las prácticas de reutilización de agua en la agricultura y otros sectores esté basado en evidencias científicas de sus “efectos sobre el medio ambiente y la salud pública”.

VI. AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a los socios del proyecto MEDAWARE su colaboración en la elaboración de éste documento. Del mismo modo, los autores agradecen la financiación de este proyecto al partenariado Euro-Mediterráneo (Euro-Mediterranean partnership), y más específicamente a su Programa Regional de Gestión Local de Aguas (Regional Program for Local Water Management).

VII. REFERENCIAS

- Asano, T. (Ed.) (1998). Water quality management library: Wastewater reclamation and reuse. Vol. 10. CRC Press LLC, Florida, USA.
- Fatta, D., Papadopoulos, A., Mentzis, A., Loizidou, M., Irusta, R., Sandovar, A., Hidalgo Barrio D. (2004) “The Urgent Need for Sustainable Urban Wastewater Treatment and Reuse in the Agricultural Production in the Mediterranean Countries - The MEDAWARE Project”, 4th IWA World Water Congress and Exhibition, Septiembre, 2004, Marrakech, Marruecos.
- Kamizoulis, G., Bahri, A., Brissaud, F., Angelakis, A. (2003) “Wastewater recycling and reuse practices in Mediterranean region: Recommended Guidelines”, www.med-reunet.com/docs_upload/med_recom_guidelines.pdf, (último acceso: 15 de noviembre de 2005).
- Libro Blanco del Agua en España (2000). Ministerio de Medio ambiente. Secretaría de Estado de Agua y Costas, Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad de las Aguas. Centro de Publicaciones.
- López, J., de Juana, I, del Río, F.J. (2002). La reutilización integral de las aguas residuales urbanas en Vitoria. ww.us.es/ciberico/archivos_acrobat/zaraponenlopezg.pdf, (último acceso: 15 de noviembre de 2005).
- Marrero, M.C., Delgado, S., Aguiar, E. (2001). Reutilización de aguas residuales para la agricultura en Canarias. International Conference “Spanish Hydrologic plan and sustainable water management”, Zaragoza, Spain.