

REUTILIZACIÓN DE AGUAS REGENERADAS EN EL MARCO DE LA PLANIFICACIÓN HIDROLÓGICA

Irene DE BUSTAMANTE*/, María Del Carmen CABRERA **/****, Mercedes ECHEGARAY****, Lucila CANDELA **/*****, Adrián PÉREZ-BARBÓN** y Virtudes MARTÍNEZ-HERNÁNDEZ****

(*) Universidad de Alcalá. Edif. Ciencias, 28871 Alcalá de Henares.
irene.bustamante@uah.es

(**) Instituto iMdea Agua. Av. Punto Com, 2, 28805 Alcalá de Henares.
adrian.perez@imdea.org, virtudes.martinez@imdea.org

(***) Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Depato. de Física. Instituto de Estudios Ambientales y Recursos Naturales (iUNAT). Campus Universitario de Tafira. 35017 Las Palmas de Gran Canaria. mcarmen.cabrera@ulpgc.es

(****) Confederación Hidrográfica del Tajo. Avenida de Portugal, 81-28071 Madrid.
mercedes.echegaray@chtajo.es

(*****) Universidad Politécnica de Cataluña. Dpto. de Ingeniería Civil y Ambiental. Jordi Girona, 1-3. 08034 Barcelona. lucila.candela@upc.edu

RESUMEN

A pesar del creciente aumento de la reutilización del agua a nivel mundial, su implementación y operación se enfrentan a grandes retos institucionales, regulatorios, económicos y sociales. Además, es un problema interdisciplinar e intersectorial que debe ser considerado mediante un enfoque integrador. Su regulación de esta práctica debe basarse en garantizar la protección de la salud y del medio ambiente, incluyendo objetivos de tratamiento y un seguimiento de la calidad del agua, adecuados y financieramente asequibles, ya que un coste alto puede ser un impedimento para su implantación. En este trabajo se revisan las características del ordenamiento jurídico comunitario y nacional y se exponen algunos casos de reutilización en España para riego y recarga de acuíferos, estudiados dentro del programa Consolider-Traguanet.

Palabras clave: *Agua regenerada, planificación, Reutilización, TRAGUANET*

INTRODUCCIÓN

Los recursos hídricos convencionales han alcanzado un grado de regulación muy elevado, y no se vislumbra en el futuro un incremento sustancial de los mismos. El incremento de las demandas (7.300 millones de habitantes), agravado por períodos de sequía (meteorológica e

hidrológica), lleva a la necesidad de utilizar otro tipo de recursos donde resulten necesarios. Además, el gran desarrollo de la depuración en las últimas décadas, permite un elevado uso potencial de agua regenerada, especialmente en zonas con escasez de agua, donde la reutilización supone un incremento de recursos, siempre y cuando ofrezca garantía de suministro y seguridad, tanto desde el punto de vista sanitario como ambiental, generando una fuente de agua alternativa para actividades que no requieran calidad de agua potable o liberando agua de fuentes naturales para destinarla al abastecimiento.

Entre las grandes líneas estratégicas de actuación en el ámbito de la Planificación Hidrológica está el fomento de la reutilización con el fin de paliar el estrés hídrico, fundamentalmente en los países de la órbita mediterránea. Así la reutilización de las aguas residuales tratadas se enmarca dentro de la política de aguas de la UE como una posible fuente alternativa de agua en regiones con escasez de agua, pudiendo ser una herramienta importante para contribuir al logro de los objetivos de la Directiva Marco del Agua (DMA) y favorecer un uso más eficiente de los recursos.

Según el índice WEI (Water Exploitation Index), España tiene unas tasas de explotación de agua (consumo anual/recursos) del 30%, lo que nos convierte en el país europeo (excluidos Chipre y Bélgica), con mayor déficit hídrico (EIONET data base). Según los últimos datos del INE para el año 2013, el volumen total de agua residual depurada es de 4.998,18 hm³ de los cuales únicamente se reutilizaron unos 530 hm³ (algo más del 10%). La gran variedad de factores que intervienen en la decisión sobre la reutilización de aguas residuales dificulta su cuantificación. No obstante, los estudios existentes indican el enorme potencial de nuestro país en ese tema, que algunos autores llegan a cifrar en 1.300 hm³. Las causas por las que no se ha realizado una apuesta decidida por la reutilización de las aguas residuales en España son muy variadas: problemas de percepción social, causas de tipo técnico, causas de tipo legal, incluso el coste que supone para los usuarios finales el agua regenerada.

LA REUTILIZACIÓN EN EL MARCO COMUNITARIO

En el conjunto de la UE, el 55% del agua se utiliza para usos industriales (de los cuales, el 44% es uso no consuntivo para refrigeración y producción de energía), el 24% para agricultura y el 21% para abastecimiento público, aunque estas cifras presentan grandes diferencias a nivel regional. Mientras que en el norte de Europa, la reutilización sólo se usa y en el sector industrial y en muy bajo porcentaje, en los países del sur puede representar una fuente de agua relevante para el sector agrícola, que alcanza el 80% de los usos consuntivos y para el sector turístico, que puede llegar a alcanzar el 6% del porcentaje anterior, utilizado en en riego de campos de golf y otros usos recreativos (RASO, 2013). A pesar de los beneficios económicos, ambientales y sociales que representa la reutilización, no hay una normativa europea común, sino que existen diversas regulaciones a nivel nacional, que contemplan diferentes usos y diferentes niveles de calidad (Tabla 1). Toda esta normativa tiene carácter legislativo excepto en el caso de Portugal, en el que la norma no es vinculante.

En 2015, la Comisión Europea estableció la adopción de una serie de medidas para facilitar la reutilización del agua, incluyendo una propuesta legislativa sobre los requisitos mínimos del agua reutilizada (CE, 2015). Las acciones señaladas para promover dicha reutilización son: 1) realizar propuestas legislativas que establezcan los requisitos mínimos de calidad del agua a reutilizar para riego y recarga de acuíferos y 2) promover una reutilización del agua segura y

rentable, incluyendo a esta en la planificación y la gestión del agua.

Posteriormente en junio de 2016, los Directores del Agua de la UE, aprueban un documento con las *Directrices sobre la integración de la reutilización del agua en la planificación y gestión del agua en el contexto de la DMA* (EC, 2016), documento que representa una posición de consenso sobre buenas prácticas.

PAÍS	NORMA	ÁMBITO DE APLICACIÓN
Chipre	Ley 106 (I) 2002 sobre el control de la contaminación del agua y del suelo y regulaciones asociadas + P.I. 263/2007Código de Buenas Prácticas Agrícolas	Regulación de las condiciones ambientales para el uso de las aguas residuales urbanas para riego agrícola, riego de parque y jardines y recarga de acuíferos. No permite ningún uso industrial o urbano.
Francia	Decreto de 2 de agosto de 2010 relativo al uso de aguas urbanas depuradas, para riego de cultivos y espacios verdes + Orden de 2014, relativa con el uso de aguas residuales urbanas tratadas para el riego de cultivos y espacios verdes.	Prescripciones sanitarias y técnicas aplicables a la utilización de agua residual tratada para riego de cultivos, espacios verdes y bosques.
Grecia	JMD 145116/11 (GG B' 354/2011)	Determina las medidas, procedimientos y procesos para la reutilización de aguas residuales urbanas e industriales para usos urbanos, agrícolas, industriales y ambientales, incluyendo la recarga de acuíferos.
Italia	DM 185/2003. Medidas técnicas para la reutilización del agua Regolamento recante norme tecniche per il riutilizzo delle acque (...)	Normativa para la reutilización de las aguas residuales domésticas, urbanas e industriales, para riegos agrícolas, industriales y urbanos.
Portugal	IPQ-NP 4434/2005. Norma Portuguesa sobre reutilización de águas residuales urbanas tratadas en riego + Guía Técnica	No legislativa. Calidad del agua en las aplicaciones propuestas: riego agrícola, riego de parque, jardines y campos de golf .
España	RD 1620/2007 de 7 de diciembre, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas. BOE de 8 de diciembre de 2007, nº 294, pp 50639-50661	Establece el régimen jurídico y los criterios de calidad para la reutilización de las aguas depuradas. Los usos admitidos son: urbano, agrícola, industrial, recreativo y ambiental, incluyendo la recarga de acuíferos.

Tabla 1. Normativas sobre reutilización en países de la UE (Fuente: ALCALDE & MANFRED, 2014)

LA REUTILIZACIÓN EN ESPAÑA

En España el principal uso consuntivo es el regadío, el cual supone un 82% frente al 2% de uso en los hogares, el 4% en el sector económico, o el 12% que supone los consumos municipales y otros (INE, 2013). La legislación española (BOE, 2007) define las aguas regeneradas como “aguas residuales depuradas que, en su caso, han sido sometidas a un proceso de tratamiento *adicional o complementario que permite adecuar su calidad al uso al que se destinan*” y su uso requiere una concesión administrativa que se otorga según la posterior utilización del agua. Los usos considerados son: urbano, agrícola, industrial, recreativo y ambiental y en su anexo I, se recogen los criterios de calidad diferenciados según estos usos, aportando límites de obligado cumplimiento. Los criterios definidos tienen la consideración de mínimos obligatorios exigibles, incluyendo parámetros físico-químicos y sanitarios. Además,

para el resto de los parámetros es necesario que las aguas depuradas cumplan con las condiciones necesarias para el vertido de aguas residuales según se recoge en la Directiva 91/271. Con este nuevo marco legislativo se espera que el volumen de agua reutilizada a partir de 2015 triplique su valor (ASERSA, 2010).

La experiencia española en la implementación de la DMA, ha demostrado que la reutilización del agua puede reducir el coste global de los Programas de Medidas empleados, contribuyendo a alcanzar el buen estado cuantitativo y cualitativo de las masas de agua (por aportes de caudales y disminución de fuentes puntuales de contaminación), a reservar las aguas de mejor calidad para los usos más sensibles, y a evitar los conflictos relacionados con los derechos del agua, lo que conllevan beneficios económicos, ambientales y sociales (EC, 2016).

A continuación, se exponen dos casos de reutilización en España para riego y recarga de acuíferos, estudiados dentro del programa CONSOLIDER-TRAGUA “*Tratamiento y Reutilización de Aguas Residuales para una Gestión Sostenible*”, cuyo objetivo fundamental fue aprovechar la experiencia de 24 grupos de investigación para abordar de una manera integrada la reutilización de aguas residuales urbanas depuradas.

REUTILIZACIÓN EN RIEGOS

En el caso de España, la reutilización del agua para riego permite, además de la recuperación parcial de los costes asumidos en el proceso de depuración, proporcionar un recurso de agua que ayude a solucionar el problema del agua en el país, que en términos cuantitativos es el regadío. Los efectos desfavorables que pudiera producir esta práctica, tanto en las masas de agua como en el sistema suelo-planta, deben ser identificados previamente a su reutilización. La Tabla 2 muestra algunas ventajas e inconvenientes de esta aplicación (CASAS et al., 2011).

VENTAJAS	LIMITACIONES
Disposición de un volumen constante de agua para riego incluso en épocas de sequía	Posibilidad de empobrecimiento de la calidad de la cobertura vegetal y del suelo por sustancias no controladas
Reducción de costes de abonado	Desequilibrio de los cultivos en determinados momentos fenológicos por aporte continuo de nutrientes
Tratamiento adicional del agua infiltrada por los procesos que se producen en el suelo y zona no saturada	Encarecimiento de las instalaciones para filtrado y desinfección y para almacenamiento especial
	Desconocimiento de la asimilabilidad de los nutrientes aportados, lo que complica la gestión del abonado y aumenta la necesidad de análisis foliares y de suelo

Tabla 2. Algunas ventajas y limitaciones del uso de aguas regeneradas para riego

Además de los aspectos de obligado cumplimiento establecidos en la legislación, una reutilización con garantías debe ser llevada a cabo realizando estudios previos y comprobaciones posteriores, tales como la caracterización climática, hidrogeológica y edáfica del medio receptor, el estudio de las interacciones del agua utilizada con el medio, la evaluación de las afecciones a las captaciones de agua subterránea y el seguimiento de parámetros agronómicos y normas de seguridad e higiene (CASAS et al., 2011).

Como ejemplo en riego, se presenta el estudio detallado de la afección al medio por la reutilización en un campo de golf emplazado al NE de la isla de Gran Canaria, conducido dentro del Programa CONSOLIDER-TRAGUA. En una zona con una precipitación y temperatura media de 300 mm/año y 19°C respectivamente y una ET de 746 mm, ocupa una superficie de

unas 30 ha y se riega desde 1976 con aguas depuradas en la EDAR de la ciudad de Las Palmas de Gran Canaria (Figura 1). El campo de golf se emplaza sobre lavas y piroclastos basálticos con 2000 años de antigüedad del Pico y la Caldera de Bandama. El flujo del agua subterránea se produce de OSO a ENE y en el área del campo de golf, el nivel piezométrico se encuentra a unos 250 m de profundidad; la parte superficial de esta zona está constituida por un suelo franco-arenoso de poco espesor (0,5 - 1 m), mientras que en el resto de la zona no saturada, el agua circula preferentemente por fracturas (CABRERA et al., 2012).

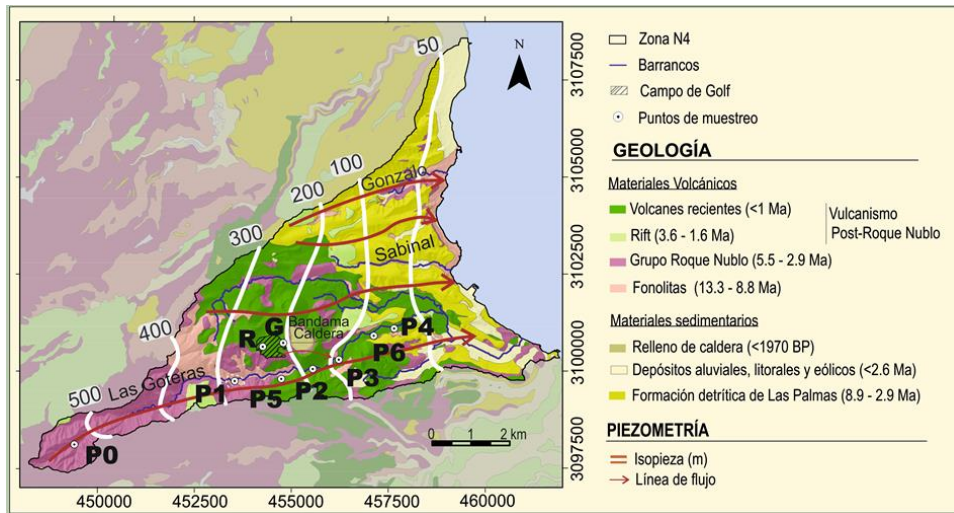


Figura 1. Situación de la zona de estudio y geología superficial de la zona de estudio.

Se llevó a cabo un muestreo periódico del agua de riego, de dos lisímetros instalados en el campo de golf, de una galería de agua situada 60 m debajo del campo de golf y de 7 pozos seleccionados. La determinación trimestral de elementos mayoritarios, metales pesados y compuestos emergentes permitió caracterizar el sistema e identificar la presencia de 42 fármacos, 20 plaguicidas, 12 hidrocarburos policíclicos aromáticos, 2 compuestos orgánicos volátiles y 2 retardantes de llama (ESTEVEZ et al., 2012). Estudios hidrogeoquímicos posteriores apuntaron a que su origen no está necesariamente ligado a la reutilización, sino que el acuífero integra aguas de diversas procedencias (ESTÉVEZ et al., 2016).

REUTILIZACIÓN PARA RECARGA DE ACUÍFEROS

La recarga de acuíferos con aguas regeneradas es una aplicación cada vez más usual, cuyas ventajas e inconvenientes se recogen en la Tabla 3.

VENTAJAS	LIMITACIONES
Aumento de los recursos hídricos disponibles	Existencia de formaciones geológicas aptas para recargar y disponibilidad de terreno para aplicación de métodos de recarga superficiales
Ausencia de evaporación, algas y tratamiento adicional del agua a través del continuo suelo-acuífero	Complejidad de los dispositivos para inyección directa
Menor coste como embalse natural y sistema de distribución respecto a otras obras de ingeniería	Control exhaustivo de la calidad del agua encarece las instalaciones de tratamiento
Control de la intrusión marina	Interacciones no deseadas con el medio receptor: suelo y acuíferos

Tabla 3. Algunas ventajas y limitaciones del uso de aguas regeneradas para recarga de acuíferos

Dentro del Programa CONSOLIDER-TRAGUA, se llevó a cabo un estudio de afección por recarga con agua regenerada en el delta del río Llobregat (CANDELA et al., 2012). El delta del río Llobregat es una formación sedimentaria de 97 km² de extensión situada en las proximidades de Barcelona, que está formado por materiales detríticos cuaternarios depositados sobre materiales pliocenos, a excepción de las zonas de borde donde descansa sobre materiales más antiguos. Hidrogeológicamente son dos acuíferos separados entre sí por un paquete de limos grises en forma de cuña, que confina al acuífero inferior excepto en los márgenes del delta, donde esta cuña va adelgazándose hasta desaparecer y los dos acuíferos quedan conectados. El acuífero constituye una reserva estratégica de agua para la ciudad de Barcelona.

Con el objeto de controlar dicha intrusión marina, se diseñó una barrera hidráulica positiva consistente en la inyección de agua depurada procedente de la planta Depurbaix (ORTUÑO et al., 2008). El agua de inyección corresponde al efluente procedente del tratamiento terciario de una EDAR (planta Depurbaix) que recibe un tratamiento adicional a partir de ultrafiltración, ósmosis inversa y desinfección ultravioleta. En la figura 2 (CANDELA et al., 2012) se puede observar la situación geográfica del delta y de los pozos de la red local definida por la Agencia Catalana del Agua (ACA) y se muestra un corte geológico del delta del Llobregat en el que se pueden diferenciar 4 unidades que, de base a techo, son (1) margas y arcillas pliocenas; (2) arenas y gravas pliocenas que conforman el acuífero inferior; (3) limos arcillosos marinos holocenos que separan los dos acuíferos confinando el inferior y (4) arenas limpias con acumulaciones locales de gravas y arcillas, recientes que dan lugar al acuífero superior (CANDELA et al., 2012).

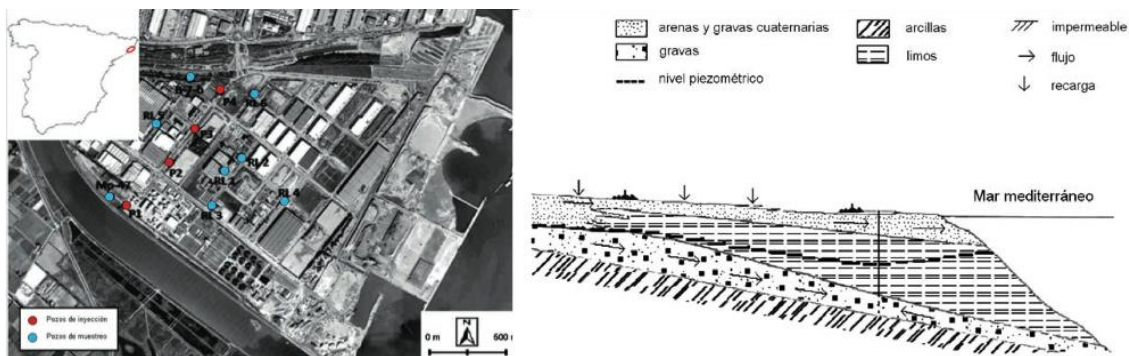


Figura 2. Situación del delta del Llobregat y de los pozos de monitoreo de la red local de la barrera hidráulica y corte geológico.

Debido a la intensa explotación a la que se ha visto sometido desde los años 60, el acuífero profundo está afectado por intrusión marina. En marzo de 2007 se inició la inyección de 650 m³/día mezcla de agua regenerada y agua de la planta de abastecimiento; en marzo de 2008 se comenzó a inyectar 2.500 m³/día sólo de agua regenerada y el total de agua inyectada a finales del mismo año se estimó en 244.000 m³. La inyección se realizó en cuatro pozos totalmente penetrantes en el acuífero. Las campañas mensuales de muestreo y medida de niveles en pozos de la red local (situados en un radio inferior a 1 km de los pozos de inyección) y de la red regional (situados a una distancia de hasta 2,5 km), los realizó la UPC en coordinación con el ACA y la Comunitat d'Usuaris del Delta del Llobregat. Se llevaron a cabo análisis de elementos mayoritarios, contaminantes emergentes y sustancias prioritarias, análisis microbiológicos y metales pesados.

El agua del acuífero es del tipo clorurado-sódico. Respecto a presencia de los compuestos emergentes analizados (170), no todos los compuestos detectados en el influente de la

depuradora eran eliminados completamente en el tratamiento terciario, y algunos de ellos presentan concentración superior de 0,1µg/L (TEIJÓN et al., 2008). Sin embargo, una vez sometidas las muestras a ultrafiltración, ósmosis inversa y desinfección ultravioleta la mayoría se eliminaban y tan sólo 11 compuestos se detectaban en concentración superior a 0,1 µg/L. En las aguas subterráneas se detectaron un total de 26 fármacos, 4 productos de higiene personal y 3 plaguicidas, superando tan solo el Gemfibrozilo (compuesto para reducir el nivel de triglicéridos en sangre) concentraciones de 0,8 µg/L (TEIJÓN et al., 2011). La presencia de 10 plaguicidas y 10 fármacos, sólo detectados en las aguas subterráneas confirma un origen diferente (infiltración de pozos rotos o agua no tratada) a la inyección efectuada. Los resultados obtenidos evidenciaron que el tratamiento final al que se somete al agua procedente del terciario produce un agua regenerada cuya calidad cumple con las normativas existentes, reduciéndose paulatinamente la intrusión marina después de la inyección y mejorando la calidad del agua del acuífero

CONSIDERACIONES FINALES

La reutilización de aguas regeneradas es una práctica recomendada en un país como España para usos como el riego o la recarga artificial, aun cuando no se conocen suficientemente los efectos que pudieran producirse en el sistema agua-suelo y en los sistemas hídricos en su conjunto. Esta práctica está sometida a la legislación vigente, tanto en el marco comunitario europeo como en el marco español. Los ejemplos expuestos permiten identificar la complejidad de los casos, que exigen estudios detallados para identificar las afecciones al medio en su conjunto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALCALDE SANZ, L. & MANFRED GAWLIK, B. (2014). *Water Reuse in Europe Relevant guidelines, needs for and barriers to innovation*. European Commission. Joint Research Centre. Institute for Environment and Sustainability. <https://ec.europa.eu/jrc>
- ASERSA (2010). *Conferencia Internacional de regeneración y Reutilización Sostenible del Agua*. URL: <http://www.iagua.es/2010/09/19-y-20-de-octubre>. de-2010-1.-conferencia-internacional-de-regeneracion-y-reutilizacion-sostenible-del-agua/. Octubre, 2010.
- BOE (2007). *Real Decreto 1620/2007, de 7 de diciembre, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas*. BOE de 8 de diciembre de 2007, nº 294, pp 50639-50661.
- CABRERA, M.C.; PALACIOS-DÍAZ, M.P.; ESTÉVEZ, E.; HERNÁNDEZ MORENO, J.M.; SANTANA, J.J.; CRUZ, T. y MORANT, M.T. (2012). *Campo de Golf de Bandama (Gran Canaria)*. En: Experiencias prácticas de reutilización en el marco del programa Consolider-tragua. Edit. Consolider-tragua. pp56-81.
- CANDELA, L.; TEIJÓN, G.; TAMOH, K.; JIMÉNEZ, J.; HIDALGO, M.; ALFRANCA, O. y VALDÉS, J. (2012). *Acuífero profundo del delta del río Llobregat*. En: Experiencias prácticas de reutilización en el marco del programa Consolider-Tragua. Edit. Consolider-tragua. pp 46-54.
- CASAS, A.; TAPIAS, J.; DE BUSTAMANTE, I.; IGLESIAS, J.A.; DE MIGUEL, A.; LILLO, J.; LEAL, M.; CANDELA, L.; CABRERA, M.C.; PALACIOS, M.P.; SALAS, J.J. y MARTÍNEZ, I. (2011). *Guía Metodológica para el uso de aguas regeneradas y recarga de acuíferos*. Edit. Consolider-Tragua.48 pp.de acuíferos. Edit. Consolider-Tragua.48 pp.
- COMISIÓN EUROPEA (1991). *Directiva del Consejo 91/676/CEE, de 12 de diciembre de 1991, relativa a la protección de las aguas contra la contaminación producida por nitratos procedentes de fuentes agrarias*.

DOCE de 31 de diciembre de 1991, nº L 375.

COMISIÓN EUROPEA (2015). *Cerrar el círculo: un plan de acción de la UE para la economía circular*. Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones. COM (2015) 614. Bruselas, 2.12.2015

EIONET database. European Environment Agency. <https://www.eionet.europa.eu>

ESTÉVEZ, E.; CABRERA, M.C.; MOLINA-DÍAZ, A.; ROBLES-MOLINA, J. & PALACIOS-DÍAZ, M.P. (2012). *Screening of emerging contaminants and priority substances (20085/105/EC) in reclaimed water for irrigation and groundwater in a volcanic aquifer (Gran Canaria, Canary Islands, Spain)*. Science of the Total Environment, 433: 538-546.

ESTÉVEZ, E.; CABRERA, M.C.; FERNÁNDEZ-VERA, J.R.; MOLINA-DÍAZ, ROBLES-MOLINA, J. & PALACIOS-DÍAZ, M.P. (2016). *Monitoring priority substances, other organic contaminants and heavy metals in a volcanic aquifer from different sources and hydrological processes*. Science of the Total Environment, 551-552: 186-196.

EUROPEAN COMMISSION (2016). *Guidelines on Integrating Water Reuse into Water Planning and Management in the context of the WFD*. In: Common Implementation Strategy for The Water Framework Directive and the Floods Directive.

INE (2016). *Estadística sobre el suministro y saneamiento del agua*. Últimos datos: año 2013. URL: http://www.ine.es/dyngs/INEbase/es/categoria.htm?c=Estadistica_P&cid=1254735976602

ORTUÑO GOBERN F.; NIÑEROLA PLA J.M.; TEIJÓN ÁVILA G. y CANDELA, L. (2008). *Desarrollo de la primera fase de la barrera hidráulica contra la intrusión marina en el acuífero principal del Delta del Llobregat*. Hidrogeol. RecurHidrául; Vol. XXVIII:503–9.

RASO, J. (2013). *Updated report on wastewater reuse in the European Union*. Service contract for the support to the follow-up of the Communication on Water scarcity and Droughts Task A-03, April, 2013.

TEIJÓN, G.; CABEZA, Y.; TAMOH, K. y CANDELA, L. (2011). *Impacto de la reutilización de agua procedente de depuradora urbana sobre suelo y agua subterránea para el riego de un campo de golf*. Congreso Agricultura, Agua y Energía, Madrid 11 y 12 de Mayo, 2011.