

REVISTA VIRTUAL PRO ISSN 1900-6241

VIRTUALPRO

WWW.REVISTAVIRTUALPRO.COM

Revista VIRTUALPRO

ISSN 1900-6241

Bogotá, Colombia.

info@revistavirtualpro.com

www.revistavirtulpro.com

2018

Rafael Marín Galvín

Control de calidad de aguas regeneradas en España. Una revisión sobre el tema

Empresa Municipal de Aguas de Córdoba, S.A. (EMACSA)

Córdoba, España

REVISTA VIRTUAL PRO ISSN 1900-6241

VIRTUALPRO

WWW.REVISTAVIRTUALPRO.COM

ISSN 1900-6241 No 197 Junio 2018 :: Calidad ambiental

Control de calidad de aguas regeneradas en España.

Una revisión sobre el tema

(Quality control of reclaimed water in Spain. A review)

Rafael Marín Galvín¹

*¹Coordinador GT Inspección Vertidos y Laboratorio-Comisión VAEAS. Jefe Control Calidad y Gestión Sistemas Empresa Municipal Aguas Córdoba, S.A. (EMACSA), Córdoba, España
rmargal@emacsa.es*

Resumen

Se aborda el tema sobre el uso de aguas regeneradas en países con episodios de sequías frecuentes, como el caso de España, único país de la Unión Europea con una normativa de reutilización de aguas vigente desde 2007. El presente trabajo hace una aproximación a la normativa en materia de reutilización de aguas en España, con especial énfasis en la práctica del control de calidad de aguas regeneradas y una estimación económica al respecto. Lo anterior, con el fin de implantar prácticas sistemáticas similares en otras zonas geográficas.

Palabras clave: reutilización de aguas, agua regenerada, sustancias prioritarias, metales pesados, *Escherichia coli*, salmonella, *legionella*, nemátodos, helmintos.

Abstract

The use of reclaimed water in countries with frequent droughts, as in the case of Spain, the only country in the European Union with a water reuse regulation in force since 2007 is addressed. This article makes an approximation to the regulations in terms of water reuse in Spain, with special emphasis on the practice of quality control of reclaimed water and an economic estimate in this regard. The foregoing, in order to implement similar systematic practices in other geographical areas.

Keywords: reuse of water, reclaimed water, priority substances, loud metals, *Escherichia coli*, salmonella, *legionella*, nematodes, helminths.

La reutilización de aguas en España

En países como España con un régimen hidrológico limitado periódicamente, que hace del agua un recurso escaso y que mediatiza, cuando no paraliza, muchas iniciativas urbanas, agrícolas e industriales, el uso del agua regenerada es un objetivo inexcusable (Plan Nacional de Reutilización de Aguas (España), 2010; OMS, 2017). En este sentido, los últimos datos disponibles (Asociación Española de Abastecimiento de Aguas y Saneamiento) indican que el uso de agua es mayor en agricultura, 75% sobre el total, seguido del uso urbano con un 15% y el uso industrial con un 10%, con un total de 16.000 millones de m³ de agua (AEAS, 2016).

En cuanto al agua reutilizada que procede del agua residual urbana depurada, sometida posteriormente a un tratamiento de *regeneración*, se cifró en 373 millones de m³, lo que representa un 9,1% del total del agua depurada (4.100 millones de m³), del cual 41% es utilizado para agricultura y 31 % para el riego de jardines y zonas de ocio. En la zona del Levante español, varias regiones tienen tasas de uso de agua regenerada en agricultura superiores al 95% (caso de Murcia) (AEAS, 2016).

Debido a la necesidad de agua para varios usos y su periódica escasez, España cuenta desde hace varios años con una normativa para posibilitar el empleo seguro de agua regenerada y el marco legal idóneo para la reutilización de aguas usadas, el RD 1620/2007 sobre el régimen jurídico de la reutilización de las aguas regeneradas. Se entiende por reutilización la aplicación del agua depurada para un nuevo uso, antes de su devolución al medio acuático libre. Para que el agua depurada se convierta en regenerada debe someterse a tratamientos tras su depuración para alcanzar la calidad requerida en función de los usos a los que se va a destinar (Metcalf y Eddy, 2003; Marín Galvín, 2009, 2012). Debe señalarse que no se admite el uso de agua regenerada para consumo humano, salvo en situaciones de catástrofe, ni para la industria alimentaria excepto cuando se utiliza para limpieza. Tampoco se admite su uso para instalaciones hospitalarias, para cultivo de moluscos filtradores, para aguas de baño, para torres de refrigeración, condensadores evaporativos, para fuentes y láminas ornamentales en espacios públicos o interiores de edificios públicos, ni para aquellos no admitidos por la Autoridad Sanitaria o Ambiental (RD 1620/2007).

Los usos y actividades permitidos se clasifican en cinco grandes apartados, cada uno de ellos con varias *calidades* y distintos *valores máximos admisibles* y controles de calidad. La Tabla 1 muestra esta

información.

Tabla 1: Usos permitidos para aguas regeneradas en España (RD 1620/2007).

<u>1.-Usos urbanos</u>	<u>1.1.-Residencial</u> -Jardines privados -Aparatos sanitarios	<u>1.2.-Servicios</u> -Riego zonas verdes -Baldeo calles -Incendios -Lavado de vehículos	--	--
<u>2.-Usos agrarios</u>	<u>2.1.-</u> -Contacto directo agua- partes comestibles -Cultivos en fresco	<u>2.2.-</u> -Contacto directo agua-productos consumo, no frescos -Riego pasto animales productores leche/carne -Acuicultura	<u>2.3.-</u> -Cultivos leñosos -Flores ornamentales, invernaderos no contacto directo agua-cultivo -Cultivos industriales no alimentarios	--
<u>3.-Usos industriales</u>	<u>3.1.-</u> -Aguas proceso y limpieza industrias no alimentarias -Otros usos industriales	<u>3.2.-</u> -Aguas proceso y limpieza industria alimentaria	<u>3.3.-</u> -Torres refrigeración y condensadores evaporativos	--
<u>4.-Usos recreativos</u>	<u>4.1.-</u> -Riego campos golf	<u>4.2.-</u> -Estanques, caudales circulantes sin acceso del público	--	--
<u>5.-Usos ambientales</u>	<u>5.1.-</u> -Recarga acuíferos por percolación	<u>5.2.-</u> -Recarga acuíferos por inyección directa	<u>5.3.-</u> -Riego bosques y similares sin acceso del público -Silvicultura	<u>5.4.-</u> -Humedales, caudales ecológicos

Fuente: Boletín Oficial del Estado, (RD 1620/2007).

Control de calidad en aguas regeneradas en función de su uso

El control de calidad de aguas (con abstracción de su tipología) en general suele utilizar métodos volumétricos, gravimétricos, conductimétricos e inométricos para medidas de parámetros clásicos (dureza, sólidos, conductividad, pH.), turbidimetría, métodos de espectroscopía UV-visible y de absorción o emisión atómica para metales, cromatografía iónica para determinación de varios aniones y cationes, métodos cromatográficos de gases o líquidos para compuestos orgánicos (de síntesis o biogénicos) y, finalmente, métodos de filtración por membrana e incubación en estufa, e incluso de

observación microscópica, para análisis microbiológicos (Rodier, 1989; Marín Galvín, 1995, 2014; Dellarras, 2010; AWWA, 2017). Dicho lo anterior, la aplicación del control de calidad para aguas regeneradas según la normativa española actualmente vigente es como sigue.

Usos urbanos

Cuando el agua regenerada se destine a uso urbano (residencial o servicios) se deben tener en cuenta los parámetros de valores máximos admisibles (VMA), según se recoge a continuación (RD 1620/2007):

- Nemátodos (1 huevo/10 L), *Escherichia coli* (0 y 200 UFC/100 mL, calidad 1.1 y 1.2).
- Sólidos en suspensión (10 mg/L y 20 mg/L, calidad 1.1 y 1.2).
- Turbidez (2 UNF y 10 UNF, calidad 1.1 y 1.2).
- Legionella*, cuando el uso del agua podría llevar asociado un riesgo de aerosolización (100 UFC/L). Además, habrá que investigar las sustancias peligrosas recogidas en las normas de calidad ambiental.

A este respecto, la Tabla 2 presenta las sustancias que pueden ser objeto de determinación si la autoridad competente lo considera oportuno y que se engloban bajo la tipología de sustancias prioritarias, peligrosas prioritarias, otros contaminantes y sustancias preferentes (RD 817/2015). Esta normativa nacional traslada la normativa europea establecida en Directiva 2014/101/UE de la Comisión del 30 de octubre de 2014 sobre normas de calidad ambiental.

Se definen como *sustancias prioritarias peligrosas* aquellas que son tóxicas, persistentes y bioacumulables (se siguen los criterios generales europeos). Por su parte, las *sustancias prioritarias* son las que presentan un riesgo significativo para el medio acuático, incluidos los riesgos para las aguas utilizadas para captación de agua potable. En cuanto a las *sustancias preferentes* son las que presentan un riesgo significativo para las aguas superficiales específicamente españolas (no a escala europea en donde no se consideran) por su toxicidad, persistencia y bioacumulación.

Usos agrarios

El agua regenerada destinada a usos agrarios (tres tipologías al respecto) requiere la investigación de los parámetros reseñados a continuación y para los que también se establecen los VMA (RD 1620/2007):

- Nemátodos (1 huevo/10 L).
- E. coli* (100 UFC/100 mL –usos 2.1-, 1.000 UFC/100 mL –usos 2.2-, 10.000 UFC/100 mL –usos 2.3-).
- Sólidos en suspensión (20 mg/L, -usos 2.1-, 35 mg/L, -usos 2.2 y 2.3-).
- Turbidez (10 UNF –usos 2.1-, y sin límite –usos 2.2 y 2.3-).
- Legionella*, cuando el uso del agua podría llevar asociado un riesgo de aerosolización (1.000 UFC/L, -usos 2.1-) y salmonella (presencia/ausencia, -usos 2.1 y 2.2-).
- Así mismo, para calidad 2.1 y 2.2 habrá que tener en cuenta las normas de calidad ambiental (Tabla 2), para calidad 2.2 se deberá investigar *taenia saginata* y *taenia solium* (1 huevo/L), y para calidad 2.3 habrá que considerar los contaminantes recogidos en la autorización de vertidos del agua residual de partida y normas de calidad ambiental.

Además, se puntualiza que las características del agua regenerada que requieren una información adicional son (valores máximos, entre paréntesis): conductividad (3,0 dS/cm); boro (0,5 mg/L); arsénico, berilio, cromo y vanadio (0,1 mg/L); cadmio, y molibdeno (0,01 mg/L); cobalto (0,05 mg/L); cobre, manganeso y níquel (0,2 mg/L); selenio (0,02 mg/L); y relación de adsorción de sodio (RAS) (6 meq/L), calculada según la fórmula $RAS (meq/L) = \{ [Na] / ([Ca] + [Mg] / 2)^{1/2} \}$.

Usos industriales

Para los usos industriales (3 tipologías distintas) el agua regenerada será objeto de la investigación de los parámetros reseñados a continuación y para los que también se establecen los VMA siguientes (RD 1620/2007):

- Nemátodos (sin límite o 1 huevo/10 L –usos 3.2-).
- E. coli* (1.000 UFC/100 mL a 10.000 UFC/100 mL –usos 3.1-, ausencia –usos 3.2-).
- Sólidos en suspensión (35 mg/L –usos 3.1-, 5 mg/L –usos 3.2-).
- Turbidez (15 UNF o sin límite –usos 3.1-, 1 UNF –usos 3.2-).
- Legionella* cuando el uso del agua podría llevar asociado un riesgo de aerosolización (100 UFC/L –usos 3.1-, ausencia –usos 3.2-).
- Así mismo, se deberán respetar las normas de calidad ambiental (Tabla 2) para el uso 3.1, y se debe contar con el visto bueno de la Autoridad Sanitaria para torres de refrigeración, con los controles adicionales que vengan impuestos por aquella.

Usos recreativos

Para los dos usos recreativos de aguas regeneradas deberán investigarse los parámetros recogidos a continuación, para los que aplican VMA recogidos a continuación:

- Nemátodos (1 huevo/10 L –usos 4.1- o sin límite –usos 4.2-).
- E. coli* (200 UFC/100 mL –usos 4.1-, a 10.000 UFC/100 mL –usos 4.2-).
- Sólidos en suspensión (20 mg/L –usos 4.1-, 35 mg/L –usos 4.2-).
- Turbidez (10 UNF –usos 4.1- o sin límite –usos 4.2-).
 - Legionella* cuando el uso del agua podría llevar asociado un riesgo de aerosolización (100 UFC/L –usos 4.1-).
 - Otros contaminantes recogidos en la autorización de vertidos del agua residual de origen (RD 817/2015, Tabla 2) y fósforo (2 mg/L, usos 4.2).

Usos ambientales

Para estos usos, los menos restrictivos de los considerados y que cuentan con cuatro tipologías distintas, se investigarán los parámetros reseñados a continuación y para los que se establecen VMA siguientes:

- Nemátodos (1 huevo/10 L –usos 5.2- o sin límite –el resto-).
- E. coli* (1.000 UFC/100 mL –usos 5.1-, a 0 –usos 5.2- o sin límite).
- Sólidos en suspensión (35 mg/L –usos 5.1 y 5.3-, 10 mg/L –usos 5.2-).
- Turbidez (2 UNF –usos 5.2- o sin límite –el resto-).
- Otros controles adicionales son N total (10 mg/L) y nitratos (25 mg/L) para usos 5.1 y 5.2, y otros contaminantes recogidos en la autorización de vertidos del agua residual original y normas de calidad ambiental (Tabla 2) para el uso 5.3.

Tabla 2: Normas de calidad ambiental en España (RD 817/2015).

(a) Sustancias prioritarias, peligrosas prioritarias y otros contaminantes.

Alacloro	<i>Prioritaria</i>	Nonilfenol y 4-Nonilfenol	<i>Peligrosa Prioritaria</i>
Antraceno	<i>Peligrosa Prioritaria</i>	Octilfenol	<i>Peligrosa Prioritaria</i>
Atrazina	<i>Prioritaria</i>	Pentaclorobenceno	<i>Peligrosa Prioritaria</i>
Benceno	<i>Prioritaria</i>	Pentaclorofenol	<i>Prioritaria</i>
Difeniléteres bromados	<i>Peligrosa Prioritaria</i>	Benzo(a)pireno	<i>Peligrosa Prioritaria</i>
Cadmio y sus compuestos	<i>Peligrosa Prioritaria</i>	Benzo(b)fluoranteno+ Benzo(k) fluoranteno	<i>Peligrosa Prioritaria</i>
Tetracloruro de carbón	<i>Otros contaminantes</i>	Benzo(g,h,i)perileno+ Indeno(1,2,3-cd)pireno	<i>Peligrosa Prioritaria</i>
Cloroalcanos (C ₁₀₋₁₃)	<i>Peligrosa Prioritaria</i>	Simazina	<i>Prioritaria</i>
Clorfenvinfós	<i>Prioritaria</i>	Tetracloroetileno, Tricloroetileno	<i>Otros contaminantes</i>
Clorpirifós	<i>Prioritaria</i>	Compuesto tributilestaño	<i>Peligrosa Prioritaria</i>

Aldrín, Dieldrín, Endrín, Isodrin (Suma)	Otros contaminantes	Triclorobencenos	Prioritaria
DDT total	Otros contaminantes	Triclorometano	Prioritaria
p,p'-DDT	Otros contaminantes	Trifuralina	Peligrosa Prioritaria
1,2-Dicloroetano	Prioritaria	Dicofol	Peligrosa Prioritaria
Diclorometano	Prioritaria	Ác. perfluorocetanosulfónico y derivados	Peligrosa Prioritaria
Dietilhexil-ftalato	Peligrosa Prioritaria	Quinoxifeno	Peligrosa Prioritaria
Diurón	Prioritaria	Dioxinas y compuestos similares	Peligrosa Prioritaria
Endosulfán	Peligrosa Prioritaria	Aclonifeno	Prioritaria
Fluoranteno	Prioritaria	Bifenox	Prioritaria
Hexaclorobenceno	Peligrosa Prioritaria	Cibutrina	Prioritaria
Hexaclorobutadieno	Peligrosa Prioritaria	Cipermetrina	Prioritaria
Hexaclorociclohexano	Peligrosa Prioritaria	Diclorvós	Prioritaria
Isoproturón	Prioritaria	Hexabromociclodecano	Peligrosa Prioritaria
Plomo y sus compuestos	Prioritaria	Heptacoloro y su epóxido	Peligrosa Prioritaria
Mercurio y sus compuestos	Peligrosa Prioritaria	Terbutrina	Prioritaria
Níquel y sus compuestos	Prioritaria		

(b) Sustancias preferentes

Etilbenceno	Cromo total
Tolueno	Selenio
Tricloroetano	Zinc
Xileno (suma 3 isómeros)	Cianuros totales
Terbutilazina	Fluoruros
Arsénico	Clorobenceno
Cobre	Diclorobenceno (suma 3 isómeros)
Cromo IV	Metalocloro
Cromo total	

Fuente: Boletín Oficial del Estado, RD 817/2015.

Frecuencias de muestreo

En relación a las frecuencias de muestreo se fijan en función del previsible riesgo sanitario del uso considerado. Pueden agruparse como sigue (RD 1620/2007):

- Nemátodos: seguimiento semanal para usos industriales y ambientales; quincenal para el resto.
- Escherichia coli*: 3 veces/semana para usos industriales (3.2) y ambientales (5.2); 2 veces/semana para usos urbanos, recreativos (4.1) y ambientales (5.1); semanal para el resto.
- Sólidos en suspensión: diaria para usos (3.2 y 5.2); semanales para el resto.
- Turbidez: diaria para usos (3.2 y 5.2); 2 veces/semana para usos urbanos y (4.1); semanales para usos (2.1 y 3.1); sin frecuencia para el resto.
- N y P total: semanal para usos (5.1 y 5.2); mensual, para usos (4.2).
- Para otros contaminantes, los Organismos de Cuenca fijarán las frecuencias de control.
- Legionella*: 3 veces/semana para usos (3.2).
- Para los otros controles específicos las frecuencias se fijarán en función del tipo de uso.

Se considera que las aguas regeneradas cumplen las exigencias de conformidad establecidas, cuando el 90% de las muestras tomadas (según la frecuencia aplicable) cumplan todos los VMA reseñados anteriormente, en función del uso previsto, o cuando no superen los límites de desviación determinados sobre el VMA (RD 1620/2007):

- 100%: nematodos, *taenia (saginata y solium)*, y turbidez.
- 1 unidad logarítmica: *Escherichia coli* y *Legionella*.
- 50% sólidos en suspensión, nitratos, N y P.
- Se respetarán las normas de calidad ambiental en el punto de entrega al usuario.

Técnicas analíticas de referencia

En la normativa ya comentada (RD 1620/2007) se recogen métodos o técnicas de referencia para las determinaciones exigidas, a las cuales se les asignan valores límite para su incertidumbre analítica, así como límites de cuantificación para contaminantes químicos (ver Tabla 3).

De este modo, en relación a los parámetros microbiológicos de calidad, se indica el método de Bailinger modificado por Bouhoum y Schwartzbrod para nemátodos (Ayres y Duncan Mara, 1997). Este método se basa en la decantación del agua, recuperación del residuo, varias re-suspensiones con reactivos químicos en medio tamponado, flotación inducida y recuento de organismos y/o huevos vía microscópica (Figura 1, izquierda).

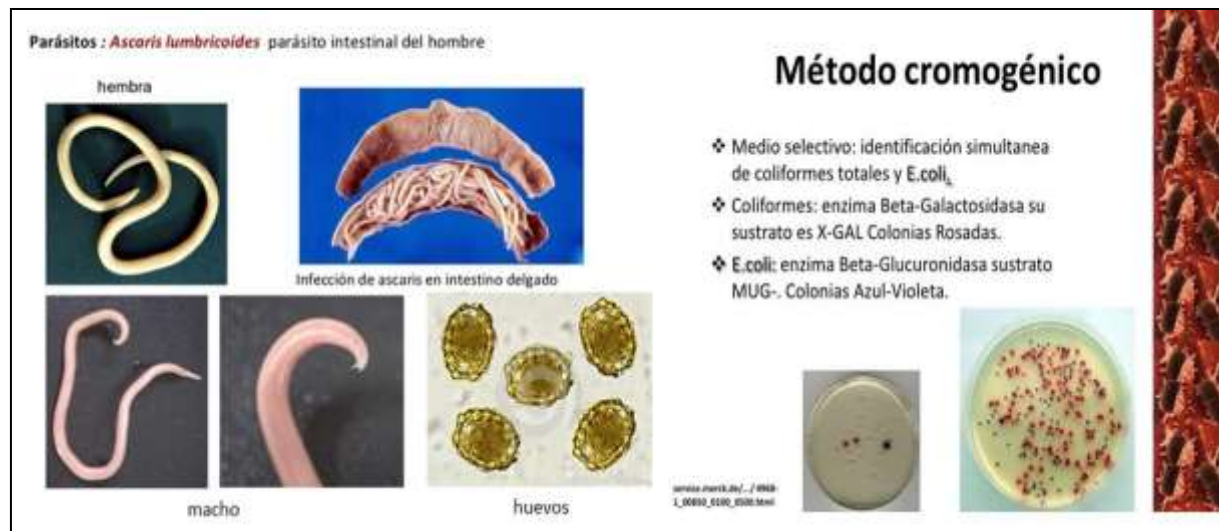


Figura 1: *Nemátodos (izquierda); método cromogénico para escherichia coli (derecha).* Fuente: *Elaboración propia del autor. Ponencia en Jornada sobre reutilización de aguas regeneradas en el País Vasco (2017).*

Para *Escherichia coli*, tras filtración por membrana se aplica el método cromogénico que permite la discriminación en una sola placa de *E. coli*, así como del resto de coliformes totales usando la enzima β -glucuronidasa y sustrato MUG para la primera (con desarrollo de colonias azules-violetas), y de la enzima β -galactosidasa y sustrato X-GAL para los segundos (con desarrollo de colonias rojizas-rosadas). Los dos tipos de colonias se desarrollan paralelamente en una misma placa y el cultivo se lleva a cabo en estufa a $36\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 21 ± 3 horas para obtener el resultado (Orden SCO/778/2009).

En el caso de *Legionella* se establece como método de referencia la norma ISO 11731, parte 1:1998 (AENOR, UNE-ISO 11731:2007). Aquí se aplica también la filtración por membrana típica con incubación de las placas a $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 10 días e identificación ayudada mediante inmunofluorescencia. De los medios de cultivo viables para este microorganismo, el más empleado es el ácido N-2-acetamido-2-aminoetanol sulfónico tamponada a $\text{pH} = 6,9$ con extracto de levadura y agar suplementado con cisteína, pirofosfato férrico y α -cetoglutarato el cual puede emplearse como medio base suplementado con varios antibióticos: mezcla de glicina, anisomicina, vancomicina y polymixina-B, o de polimixina-B, cefalotina, vancomicina y cicloheximida.

La determinación de salmonella no cuenta con método de referencia pero puede abordarse mediante filtración por membrana e incubación en un medio nutritivo de agar-sulfito de bismuto (medio de Wilson-Blair) altamente

selectivo, a 37 °C durante 48 horas (Dellarras, 2010; AWWA, 2017). Las colonias de la bacteria son negras con la presencia de un «halo» típico de brillo metálico que se extiende más allá de la propia colonia (Figura 2, izquierda). Por su parte, la determinación de helmintos *Taenia saginata* y *Taenia solium* se lleva a cabo mediante observación y cuantificación microscópica (Ayres y Duncan Mara, 1997) (Figura 2, derecha).

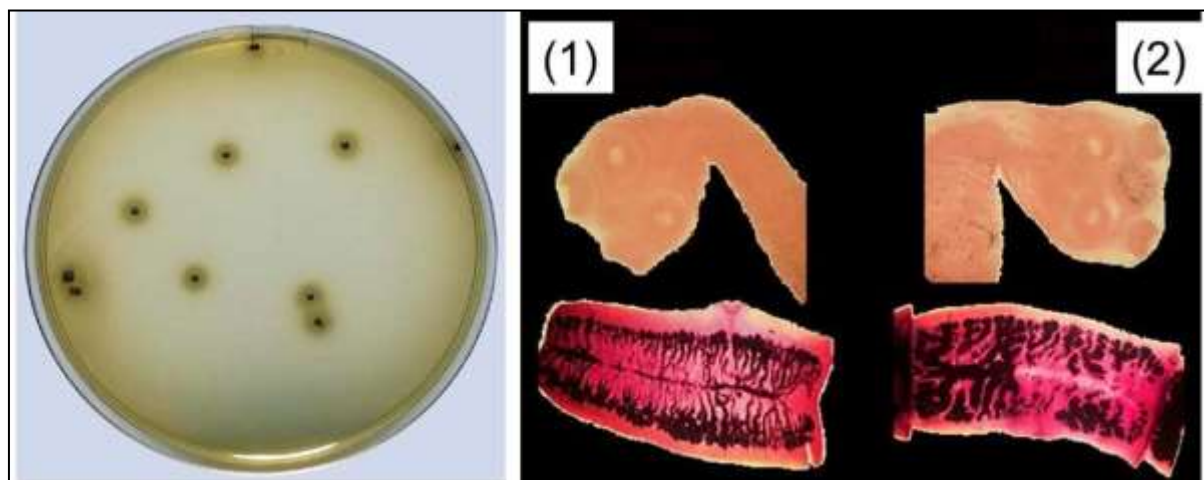


Figura 2: Colonias de salmonella (izquierda); *Taenia saginata* (1) y *Taenia solium* (2) (derecha) observadas al microscopio. Fuente: Elaboración propia del Autor. Ponencia en Jornada sobre reutilización de aguas regeneradas en el País Vasco (2017).

En el caso de los parámetros químicos, la Tabla 3 recopila las técnicas de referencia recogidas en la normativa (RD 1620/2007), así como la incertidumbre máxima admisible y el límite de cuantificación establecido para cada una. Estas técnicas de referencia se encuentran recogidas en el *Standard Methods for the examination of water and wastewaters* (AWWA, 2017) y son las usualmente empleadas en análisis de aguas (la Figura 3 recoge algunos equipos empleados en las técnicas instrumentales aludidas).

Tabla 3: Técnicas de referencia para parámetros químicos (RD 1620/2007).

Parámetro	Técnica de referencia	Incertidumbre	Límite Cuantificación
Sólidos en suspensión	Gravimetría	30%	5 mg/L
Turbidez	Nefelometría	30%	0,5 UNF
Nitrato	Espectroscopía UV Cromatografía	30%	10 mg/L NO ₃ ⁻

	iónica		
Nitrógeno total	(N-K+NO ₃ ⁻ + NO ₂ ⁻) Autoanalizador	30%	3 mg/L N
Fósforo total	Espectroscopía UV ICP	30%	0,5 mg/L P
Sustancias peligrosas y metales (normas de calidad ambiental RD 817/2015)	Cromatografía Espectroscopía	Metales: 30% Orgánicos: 50%	30% normas calidad ambiental

Fuente: Boletín Oficial del Estado RD 1620/2007.



Figura 3: Izda. arriba, espectrofotómetro UV-visible; dcha. arriba, cromatógrafo iónico; izda. debajo, equipo de inducción acoplada de plasma (ICP); dcha. debajo, cromatógrafo de gases. Fuente: *Elaboración propia del Autor. Ponencia en Jornada sobre reutilización de aguas regeneradas en el País Vasco (2017).*

El coste del control de calidad en aguas regeneradas

Para finalizar esta revisión, se puede hacer una estimación del coste económico que puede representar el agua regenerada, la aplicación de los controles analíticos y de las frecuencias aplicables

según el uso llevado a cabo. Esta información se recoge en la Tabla 4, aplicando una valoración a coste real actual (año 2017) (Agencia Vasca del Agua, 2017).

En el cálculo se ha considerado una aplicación razonable de las determinaciones de sustancias peligrosas y metales, los análisis más costosos. No se han tenido en cuenta todas las sustancias recogidas en las normas de calidad ambiental, sino aquellas que previsiblemente serían de más interés por parte de las administraciones competentes en la materia.

Tabla 4: Estimación del coste de controlar analíticamente el agua regenerada.

Tipo de uso		Coste €/año (mínimo)
Uso urbano	1.1	≈16.000
	1.2	≈16.000
Uso agrario	2.1	≈15.000
	2.2	≈26.000
	2.3	≈3.500
Uso industrial	3.1	≈14.000
	3.2	≈23.000
Uso recreativo	4.1	≈3.000
	4.2	≈3.300
Uso ambiental	5.1	≈4.200
	5.2	≈60.000
	5.3	≈500

Fuente: elaboración propia del autor

De los datos aportados se comprueba que el uso ambiental de recarga de acuíferos por inyección directa (uso 5.2) sería el más costoso, lo cual es lógico para garantizar la calidad del agua ante su captación para aprovechamiento humano, por una cuestión de garantía sanitaria del agua. Costes también muy importantes supondrían el uso agrario que implican el contacto directo entre agua y productos de consumo, así como el riego de pastos para animales productores de leche y carne y la acuicultura (usos 2.2). También habría un coste importante en el uso industrial de aguas para limpieza de industrias alimentarias (uso 3.2).

En el extremo contrario se encuentra el uso ambiental para riego de bosques y silvicultura (uso 5.3), el uso recreativo para riego de campos de golf, y estanques y caudales sin acceso del público (usos 4.1 y 4.2) y, finalmente, el uso agrario para cultivos leñosos, ornamentales y cultivos no alimentarios (uso 2.3).

Conclusiones

España ha sido consciente de la necesidad de la reutilización de aguas, para lo cual ya desde 2007 cuenta con una normativa vigente al respecto que establece cinco usos permitidos de aguas regeneradas: urbanos, agrarios, industriales, recreativos y ambientales. La tasa de reutilización de aguas en España alcanza el 9,1% del total del agua depurada (4.100 millones de m³) siendo el uso para agricultura (41%) y el riego de jardines y zonas de ocio (31%) los preferentes. Es previsible un aumento a corto plazo de estas prácticas de reutilización.

El control de calidad de aguas abarca parámetros químicos y microbiológicos y las frecuencias establecidas vienen marcadas por el uso considerado. Así, el uso para aguas de proceso en industrias alimentarias y la recarga de acuíferos por inyección directa, serían los sometidos a un control más exigente.

En cuanto al coste del control aplicable, el uso ambiental de recarga de acuíferos por inyección directa, así como el uso agrario que suponga el contacto directo entre agua y producto de consumo, el riego de pastos para animales productores de leche y carne y la acuicultura son los más costosos, mientras el uso ambiental para riego de bosques y similares, el riego de campos de golf y, finalmente, el riego de cultivos leñosos y similares, serían los menos costosos.

Bibliografía

- Agencia Vasca del Agua (2017). Jornada sobre Reutilización de Aguas Regeneradas en el País Vasco (2017). Ponencias. Bilbao.
- AENOR (Asociación Española de Normalización) (2007). Norma UNE-ISO 11731:2007, Calidad del agua. Detección y recuento de Legionella. (ISO 11731:1998).
- AEAS (Asociación Española de Abastecimiento de Aguas y Saneamiento) (2016). *Encuesta sobre Suministro de Agua Potable y Saneamiento en España*. Madrid.
- AQUA-España y AEAS (2013). Jornada Técnica Nuevas tecnologías y Avances en el control e

instrumentación de la calidad en aguas residuales y regeneradas. Ponencias. Barcelona.

- AWWA (2017). *Standard Methods for the examination of water and wastewaters*, 23.^a ed. Washington.
- Ayres, R. M., Duncan, D. (1997). *Análisis de aguas residuales para su uso en agricultura (ed. Español)*, y ref. citadas aquí. Organización Mundial de la Salud, Ginebra.
- Dellarras, C (2010). *Surveillance sanitaire et microbiologique des eaux*, 2^a ed. París, Ed. Lavoisier.
- Directiva 2014/101/UE de la Comisión, de 30 de octubre de 2014, sobre normas de calidad ambiental, modificando parcialmente la Directiva 2008/105/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 diciembre de 2008.
- Marín Galvín, R. (1995). *Análisis de aguas y ensayos de tratamiento*. Ed. GPESA (Barcelona).
- Marín Galvín, R. (2009). El reto de la reutilización de aguas usadas: tratamiento intensivo de aguas residuales. *Tecnología del Agua*, 309, 28-42 y ref. citadas aquí.
- Marín Galvín, R. (2014). Control de calidad en las aguas residuales y regeneradas: parámetros a controlar en función de las normativas aplicables y nuevas tendencias. *Tecnoagua*, 5, 50-63 y ref. citadas aquí.
- Marín Galvín, R. (2012). Procesos fisicoquímicos en depuración de aguas. Ed. Díaz de Santos, Madrid.
- Metcalf y Eddy Inco. (2003). *Wastewater Engineering. Treatment and reuse* (4th ed.) Ed. McGraw Hill, New York.
- Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (España) (2015). Real Decreto 817/2015 sobre normas de calidad ambiental, BOE nº 219 de 12-9-2015.
- Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino (España) (2010). *Plan Nacional de Reutilización de Aguas*.
- Ministerio de la Presidencia (España) (2007). Real Decreto 1620/2007 sobre reutilización de aguas regeneradas, BOE nº 294 de 8-12-2007.
- Ministerio de Sanidad y Consumo (España) (2009). Orden SCO/778/2009, de 17 de marzo, BOE 78 de 31-3-2009, sobre métodos alternativos para el análisis microbiológico del agua de consumo humano.
- Organización Mundial de la Salud (WHO) (2017). *Potable reuse. Guidance for producing safe drinking-water*, y ref. citadas aquí. Ginebra.
- Parlamento Europeo (2014). Directiva 2014/101/UE de la Comisión, de 30 de octubre de 2014, sobre normas de calidad ambiental, modificando parcialmente la Directiva 2008/105/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 diciembre de 2008.
- Rodier, J. (1989). *Análisis de aguas*. Barcelona, Ed. Omega S. A.