

A. Lecumberri, M. Montes, R. Arriazu y J. Lorenzo(1)

(1) Centro Nacional de Tecnología y Seguridad Alimentaria. Ctra. Na-134 km 50. 31570 San Adrián (Navarra). [cnta@cnta.es](mailto:cnta@cnta.es)

Hoy en día no hace falta decir que el agua es uno de los recursos naturales más valiosos de los que disponemos y que hay regiones o lugares donde su déficit genera preocupación. Por ejemplo, nuestro país es pobre en recursos hídricos y se encuentran mal repartidos en general. Es por ello por lo que hay que realizar una buena gestión del recurso para fomentar el ahorro en todos los sentidos y ámbitos de aplicación, tanto el urbano como el agrario o industrial además de sacar el máximo partido a la tecnología disponible para ayudar a esa buena gestión.

Dentro de la gestión del recurso agua, se encuentra la reutilización de las aguas regeneradas. Las aguas regeneradas son aguas residuales depuradas mediante diversos tratamientos hasta que éstas alcanzan una calidad suficiente como para ser empleadas de nuevo en otros usos y no sean vertidas a los cauces receptores.

La reutilización de aguas residuales constituye una alternativa para disponer de un recurso hídrico no convencional. Con su aplicación se consigue una reducción de la carga contaminante vertida a los ríos o el mar, y permite disponer así de agua de mayor calidad para consumo humano.

Una correcta reutilización de las aguas regeneradas proporciona:

- Minimización del consumo de los recursos hídricos mediante sistemas que permitan la reutilización del agua vertida, de manera que se resuelva dificultades de abastecimiento de agua en determinadas épocas del año. Dificultades de almacenamiento e incrementar los recursos hídricos existentes en las zonas donde el efluente es vertido a cursos superficiales de agua la cual irá finalmente al mar.
- Minimización del impacto de vertido gracias a la reutilización en otro uso del agua regenerada obtenida y la alta calidad de la misma.
- En función del uso posterior al agua regenerada se mejorarán los recursos ambientales (hídricos) de la zona mediante una mejor gestión del recurso agua que suponga una disponibilidad mayor del mismo o unos caudales mínimos ambientales.

La reutilización de aguas es una práctica que ya se lleva haciendo muchos años en España, sin embargo, hasta diciembre de 2007 no se ha dispuesto de una normativa que regule tanto su obtención como su uso.

En la actualidad se regeneran y reutilizan aproximadamente 450 Hm<sup>3</sup>/año repartidas por toda la geografía española teniendo un mayor desarrollo en las zonas costeras mediterráneas, donde hay una menor disponibilidad general del recurso agua.



En la tabla y gráfico 1 se puede observar los datos recopilados según Confederaciones Hidrográficas y sus porcentajes de reutilización respectivamente.

Aunque se están haciendo grandes avances en la reutilización del agua regenerada que permiten reutilizar más del 10% del agua susceptible de reutilización, la administración es ambiciosa en este sentido y la planificación del Ministerio de Medio Ambiente para 2015 es que se alcancen los 1200 Hectómetro cúbicos al año, lo que supondría aproximadamente un 35% del agua depurada disponible. Es por ello que se debe impulsar tecnologías eficaces en regeneración de aguas depuradas que además de permitir obtener aguas de calidad, no se comprometa la salud humana.

Organismos de Cuenca	Caudal disponible (hm <sup>3</sup> /a)	Caudal de reutilización (hm <sup>3</sup> /a)	% de reutilización
CH Norte	353,89	0,00	0,00%
CH Duero	170,18	0,00	0,00%
CH Tajo	688,37	7,32	1,06%
CH Guadiana	103,57	3,63	3,51%
CH Guadalquivir	272,04	6,57	2,42%
CH Segura	139,2	139,2	100%
CH Júcar	480,99	135,89	28,25%
CH Ebro	259,18	14,48	5,59%
Galicia Costa	84,42	0,00	0,00%
Cuenca Atlántica Andaluza	88,1	9,38	10,65%
Cuenca Mediterránea Andaluza	155,02	27,35	17,64%
Cuencas Internas de Cataluña	393,7	28,75	7,30%
Baleares	94,56	28,66	30,30%
Canarias	91,91	44,43	48,34%
<b>Total Nacional</b>	<b>3375,13</b>	<b>445,66</b>	<b>13,20%</b>

**Tabla 1.** Caudal disponible y caudal reutilizado por Confederación Hidrográfica



**Gráfico 1.** Caudal disponible y caudal reutilizado por Confederación Hidrográfica

## ¿CUÁLES SON LOS REQUISITOS LEGISLATIVOS Y NORMATIVOS PARA LA REUTILIZACIÓN DE AGUAS REGENERADAS?

La ley de aguas de 1985 y el Reglamento del Dominio Público Hidráulico de 1986 ya establecían la obligación de que el Gobierno regulara las condiciones básicas para la reutilización de las aguas, precisando la calidad exigible a las aguas depuradas según los usos previsto. Sin embargo, esta necesidad impuesta no se había satisfecho hasta el año 2007 cuando se publicó el Real Decreto 1620/2007, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas y fue aprobado el 7 de diciembre de 2007. La reutilización de las aguas es, según la definición del propio Real Decreto, la aplicación antes de su devolución al dominio público hidráulico y al marítimo terrestre para un nuevo uso privativo de las aguas que, habiendo sido utilizadas por quien las derivó, se han sometido al proceso o procesos de depuración establecidos en la correspondiente autorización de vertidos y a los necesarios para alcanzar la calidad requerida en función de los que se vaya a destinar.



Dicho Real Decreto 1620/2007 se estructura en cuatro capítulos, once artículos y dos anexos en los que se tratan los siguientes puntos:

- Capítulo I: disposiciones generales relativas al objeto, definición de conceptos y régimen jurídico.
- Capítulo II: condiciones básicas para la reutilización y usos prohibidos.
- Capítulo III: dedicado a los contratos de cesión de derechos sobre las aguas regeneradas.
- Capítulo IV: procedimiento administrativo necesario para la reutilización de aguas depuradas.

Por último, en los Anexos vienen recogidos los requisitos de calidad exigibles a cada uso en la reutilización de aguas regeneradas (Anexo I) y los impresos necesarios para la solicitud de concesión o de autorización (Anexo II).

De los puntos tratados en este Real Decreto cabe destacar el Capítulo II en el que vienen detalladas las condiciones requeridas para la posibilidad de reutilización de un agua regenerada. En la tabla 2 se detallan los diferentes usos a los que se puede destinar un agua regenerada.

1. Uso urbano	1.1. Residencial: riego jardines privados, descarga de aparatos sanitarios 1.2. Servicios: riego zonas verdes, limpieza de calles, incendios, lavado industrial de vehículos
2. Uso agrícola	2.1. Riego de cultivos de productos comestibles en fresco para alimentación humana 2.2. Productos de consumo humano no fresco, pastos para consumo de animales, acuicultura 2.3. Cultivos leñosos, flores ornamentales, viveros, cultivos industriales no alimentarios
3. Uso industrial	3.1. Aguas de proceso y limpieza, otros usos industriales 3.2. Torres de refrigeración y condensadores evaporativos
4. Uso recreativo	4.1. Riego campos de golf 4.2. Estanques, caudales circulantes con acceso al público prohibido
5. Uso ambiental	5.1. Recarga de acuíferos por percolación 5.2. Recarga de acuíferos por inyección directa 5.3. Riego de bosques, zonas verdes no accesibles al público, silvicultura 5.4. Otros usos: mantenimiento de humedales, caudales mínimos

**Tabla 2.** Usos previstos para la reutilización del agua residual depurada

En función del uso los criterios de calidad del agua regenerada cambian atendiendo a los riesgos asociados a cada uso. En el caso de que un agua regenerada esté destinada a varios usos, serán de aplicación los valores más restrictivos de los usos previstos.

Por último se resaltan asimismo los usos prohibitivos que presenta la reutilización de aguas. Esta técnica no podrá aplicarse para la obtención aguas destinadas a consumo humano (salvo declaración de catástrofe) y los derivados de éste consumo, véanse instalaciones hospitalarias, cultivo de moluscos filtradores en acuicultura, fuentes, piscinas... y cualquier otro uso que sea considerado riesgo para la salud humana. En cuanto a la industria alimentaria quedará prohibida la reutilización de agua para los usos propios de dicha industria, salvo para limpieza y aguas de proceso.

Por tanto, la aprobación del RD 1620/2007, ha permitido disponer de un marco normativo con el que amparar el uso del agua regenerada para las más diversas aplicaciones y potenciar así la incorporación de la reutilización en los planes de gestión integrada de los recursos de las diversas cuencas.

## 3 ¿CUÁLES SON LOS TRATAMIENTOS DE REGENERACIÓN DE AGUAS MÁS USADOS?

Hoy día existen tratamientos técnicamente probados o procesos de regeneración capaces de suministrar agua de casi cualquier calidad que se desee.

No obstante, el tratamiento puede tener un coste que no puede asumirse para todos los volúmenes de agua, y debería racionalizarse el empleo de las distintas tecnologías, estableciendo sistemas de toma de decisión en los que se considere, aparte de la calidad de agua deseada el coste del sistema de tratamiento, tanto desde el punto de vista de consumo de energía como del de sostenibilidad.

Hay una gran variedad de tratamientos que se pueden emplear para la regeneración de aguas depuradas, sobre todo, atendiendo a la calidad que se quiera conseguir del efluente. Se pueden destacar:

- Tratamientos físicos. Se emplea un medio físico de retención de la contaminación. Entre ellos se encuentran tratamientos como filtraciones convencionales, filtraciones por membranas, decantaciones, radiaciones ultravioletas, etc...
- Tratamientos químicos. Se emplea un reactivo químico para eliminar o ayudar a la eliminación de los contaminantes. Entre ellos se encuentran los tratamientos de coagulación-floculación, carbón activado, cloración, ozono, etc...
- Tratamientos biológicos. Emplean agentes biológicos capaces de eliminar los contaminantes mediante sus reacciones metabólicas. Entre ellos se encuentran los reactores biológicos, etc...

No se podría decir que tratamiento es el mas empleado para regenerar aguas depuradas, ya que se emplean todo tipo de tecnologías. Hay que destacar que en España se ha apostado casi siempre por las tecnologías intensivas (duras) en depuración y regeneración y se encuentran pocos ejemplos de empleo de tecnologías extensivas (blandas), a diferencia de otros entornos europeos. Esto indica la importancia de conocer, perfeccionar y optimizar todos los tratamientos posibles para adecuar y elegir el más indicado según los criterios de calidad final requeridos para cada caso. Es por ello, que en el CNTA se ha venido desarrollando un proyecto de optimización de ciertas tecnologías de regeneración de aguas con el objetivo general de estudiar y optimizar diferentes tratamientos de regeneración para vertidos depurados generados en el sector alimentario, además de caracterizar las aguas regeneradas obtenidas y catalogar los posibles usos de las mismas en función de los tratamientos estudiados.



## 4

### ¿CUÁLES SON LOS POTENCIALES USOS DEL AGUA REGENERADA?

Con el objetivo de estudiar y optimizar diferentes tratamientos de regeneración para vertidos depurados generados en diferentes subsectores alimentarios y caracterizar las aguas regeneradas para catalogarlas según los posibles usos de las mismas en función de los tratamientos estudiados, el CNTA viene desarrollando un proyecto de investigación financiado por el Departamento de Industria, Tecnología, Comercio, Turismo y Trabajo del Gobierno de Navarra dentro del Plan Tecnológico de Navarra.

La elección de las tecnologías a optimizar varió desde tecnologías tradicionales hasta tecnologías innovadoras con el fin de aplicar la tecnología más apropiada a la calidad del agua regenerada requerida.

A continuación se detallan las tecnologías estudiadas:

- Tratamiento de filtración convencional por filtro de arena. Su finalidad es la retención de la mayor parte de sólidos suspendidos del vertido con el fin de aumentar los rendimientos de eliminación posteriores y evitar posibles daños en los equipos de tratamiento posteriores. Según el uso posterior del agua regenerada, puede ser un tratamiento suficiente para la reutilización de la misma. Además se trata de un tratamiento con bajo coste de inversión y de mantenimiento
- Tratamiento de filtración convencional por filtro de carbón activado. Tiene una cierta capacidad adsorbente por lo que es capaz de retener materia orgánica, plaguicidas, color, ácidos,... Es un tratamiento que puede ser empleado para retener algún contaminante en particular que no haya sido eliminado en los tratamientos de depuración. Su coste de inversión o mantenimiento es algo superior al filtro de arena, aún así se trata de un tratamiento económico.
- Tratamiento físico-químico de coagulación-floculación-decantación. Consiste en la adición de reactivos químicos (coagulantes y floculantes) con el fin de precipitar o coagular partículas en suspensión que no son capaces de decantar por si mismas. De manera que se producirá una reducción de aquellos contaminantes no eliminados en los sistemas anteriores de depuración. Su coste de inversión y explotación sigue siendo relativamente económico, a pesar de necesitar reactivos de coagulación-floculación que en función del agua a tratar o los contaminantes a eliminar puede variar el gasto económico. Se trata de un tratamiento usado desde hace muchos años, por lo que se encuentra perfectamente documentado. Sin embargo, se suele emplear como tratamiento primario de los sistemas de depuración y no tanto como tratamiento terciario.
- Tratamiento de filtración por membranas presurizadas. Ultrafiltración. Tiene la capacidad de retener partículas de diámetro superior a 0,1 micras (sobre todo retiene macromoléculas coloidales). Tiene una débil retención de sales (<10%). La presión requerida abarca entre 2 y 10 bar produciendo un consumo energético menor a 1 Kwh/m<sup>3</sup>. Se trata de una tecnología relativamente novedosa, ya que se ha desarrollado para estos usos de manera extensiva en los últimos años. La reducción actual de los costes de las membranas y las optimizaciones energéticas de la tecnología están haciendo muy competitiva este tratamiento con el que se consiguen grandes rendimientos.
- Tratamiento de filtración por membranas presurizadas. Ósmosis inversa. Es el nivel de filtración más fino disponible en la actualidad. Una membrana semipermeable actúa como barrera para toda clase de sales disueltas, moléculas inorgánicas y orgánicas, materias coloidales, virus y bacterias. Se pueden eliminar entre el 90 y 99 % de los compuestos disueltos, dependiendo del diseño del sistema. Al igual que el

tratamiento de ultrafiltración, es una tecnología que ha crecido gracias a la optimización energética realizada en sus procesos y el descenso del precio de las membranas. Sin embargo, supone un mayor coste de explotación que la ultrafiltración.

Además se optimizaron también tratamientos de desinfección adicional a cada tratamiento de eliminación. Los tratamientos de desinfección estudiados fueron:

- Desinfección por hipoclorito sódico. Consiste en la destrucción microbiana mediante la adición de este reactivo químico el cual inactiva los microorganismos.
- Desinfección por ozono. Una de las vías de obtención de ozono se realiza mediante oxígeno atmosférico y una chispa eléctrica que transforma al O<sub>2</sub> en O<sub>3</sub>. Es muy inestable por lo que la producción de éste debe ser "in situ". Es un agente fuertemente oxidante con propiedades bactericidas reconocidas. La materia orgánica y las materias oxidables presentes en el agua son limitantes en su acción desinfectante, ya que el ozono reacciona primero con cualquiera de éstas. Además es capaz de eliminar (mediante oxidación) color, olor y sabor, y reducir materia orgánica y turbidez.

La ejecución del estudio consiste en la realización de tres caracterizaciones de cada tratamiento a optimizar. De manera que primero se caracteriza el agua depurada de las industrias a estudiar para conocer el agua de partida a tratar. Después se realizaron dos caracterizaciones mas, una tras el tratamiento de regeneración y otra tras el tratamiento de desinfección, con el objetivo de conocer la eficacia de cada proceso y poder optimizarlo. Para optimizar el tratamiento se fueron variando las condiciones de operación de cada proceso hasta conseguir los mejores rendimientos con el mínimo tiempo posible o mínimo uso de reactivo. En el gráfico 2 se puede observar el proceso que sigue el agua depurada de cada sector estudiado.

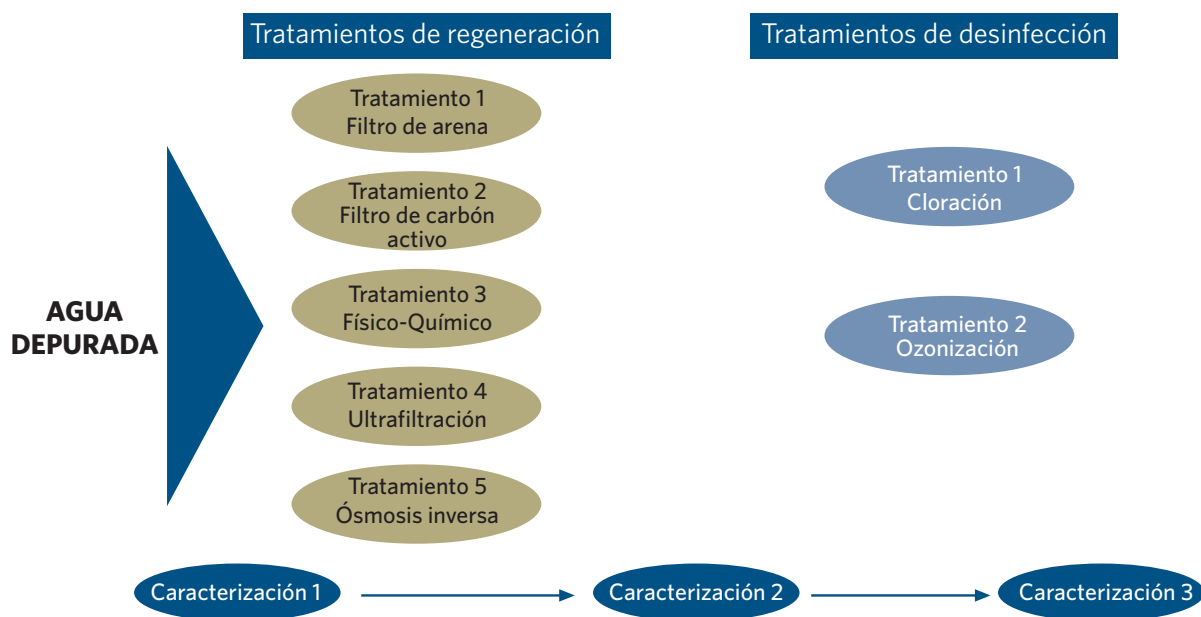


Gráfico 2. Esquema tratamientos empleados en el estudio de regeneración

En cada una de las caracterizaciones se analizaron los parámetros indicados en el Real Decreto 1620/2007 y que marcan la calidad del agua regenerada obtenida. Dichos parámetros fueron Nematodos intestinales, Escherichia Coli, sólidos en suspensión, turbidez, legionella spp., salmonella, nitrógeno total y fósforo total. Además se realizó determinación de otros parámetros indicativos de contaminación típica de aguas residuales como DQO, DBO5, pH, conductividad, cloruros, nitritos, sulfatos, etc... con el fin de comprobar que se encontraban dentro de los límites de vertido a cauce público.

Mediante la sistemática detallada anteriormente, hasta el momento se han estudiado entre otros sectores

agroalimentarios, el sector de transformados vegetales. En la tabla 4 se muestra un estudio de resultados tras la optimización de las técnicas de regeneración y se confrontan con los límites impuestos por el Real Decreto 1620/2007 para definir los posibles usos del agua regenerada obtenida en cada caso en función de la calidad obtenida en ellas. Además en la tabla 3 se recogen los valores máximos admisibles por el Real Decreto 1620/2007 de cada parámetro según los usos establecidos.



De los resultados obtenidos se puede observar las siguientes conclusiones:

- Las aguas depuradas y regeneradas de los subsectores alimentarios estudiados tienen una calidad aceptable para multitud de usos nuevos sin que estas tengan que ser vertidas a un cauce receptor.
- Empleando tecnologías de regeneración de filtración por membranas (ultrafiltración u ósmosis inversa) el agua obtenida adquiere una calidad suficiente para realizar cualquier uso de los establecidos en la legislación aplicable.
- Empleando tecnologías tradicionales como filtración convencional o tratamientos físico-químicos también se consiguen aguas regeneradas de calidad suficiente para usos como el riego agrícola o recreativo.
- Es por tanto necesario acondicionar y elegir racionalmente el tratamiento de regeneración a emplear según la calidad requerida y asegurar el estado sanitario de la misma mediante caracterización analítica de la misma.

Por tanto, la regeneración y reutilización del agua puede y debe ser una herramienta de la gestión integrada de los recursos hídricos en España y deberá contribuir a disminuir los déficits de agua, especialmente durante los años de sequía meteorológica. Dentro de esta gestión integrada deberá tenerse en cuenta la fracción de agua industrial que puede ser reutilizada, especialmente la industria alimentaria la cual es una gran consumidora de agua en general debido a sus procesos productivos.

# BOLETIN MEDIO AMBIENTE

Julio

2010

## VALOR MÁXIMO ADMISIBLE (VMA)

	NEMATODOS INTESTINALES	E. COLI	SOLIDOS EN SUSPENSIÓN	TURBIDEZ	OTROS CRITERIOS
1. Uso urbano	1.1	1 huevo/10 l	0 UFC/100 ml	10 mg/l	2 UNT
	1.2	1 huevo/10 l	200 UFC/100 ml	20 mg/l	10 UNT
2. Uso agrícola	2.1	1 huevo/10 l	100 UFC/100 ml	20 mg/l	10 UNT
	2.2	1 huevo/10 l	1000 UFC/100 ml	35 mg/l	No se fija límite
	2.3	1 huevo/10 l	10000 UFC/100 ml	35 mg/l	No se fija límite
	3.1.1	No se fija límite	10000 UFC/100 ml	35 mg/l	15 UNT
	3.1.2	1 huevo/10 l	1000 UFC/100 ml	35 mg/l	No se fija límite
3. Uso industrial	3.2	1 huevo/10 l	Ausencia UFC/100 ml	5 mg/l	1 UNT
4. Uso recreativo	4.1	1 huevo/10 l	200 UFC/100 ml	20 mg/l	10 UNT
	4.2	No se fija límite	10000 UFC/100 ml	35 mg/l	No se fija límite
	5.1	No se fija límite	1000 UFC/100 ml	35 mg/l	No se fija límite
5. Uso ambiental	5.2	1 huevo/10 l	0 UFC/100 ml	10 mg/l	2 UNT
	5.3	No se fija límite	No se fija límite	35 mg/l	No se fija límite
	5.4	La calidad mínima requerida se estudiará caso por caso			

**Tabla 3.** Valores máximos admisibles según el uso del agua regenerada (R.D.1620/2007)



# BOLETIN MEDIO AMBIENTE

Julio

2010

	cloración	ozonización	Filtro arena + cloro	Filtro arena +ozono	Filtro Carbón activo +cloro	Filtro Carbón activo+ozono	Tratamiento FQ + cloro	Tratamiento FQ + ozono	Ultrafiltración +cloro	Ultrafiltración +ozono	Osmosis inversa+ cloro	Osmosis Inversa + ozono
<b>1 USOS URBANOS</b>												
Calidad 1.1	NO	NO	NO	SI	NO	NO	SI	NO	SI	SI	SI	SI
Calidad 1.2	NO	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
<b>2 USOS AGRICOLAS</b>												
Calidad 2.1	NO	NO	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Calidad 2.2	NO	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Calidad 2.3	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
<b>3 USO INDUSTRIAL</b>												
Calidad 3.1	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Calidad 3.1 c)	NO	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Calidad 3.2	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SI	SI	SI	SI
<b>4 USOS RECREATIVOS</b>												
Calidad 4.1	NO	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Calidad 4.2	SI	SI*	SI*	SI*	SI*	SI*	SI	SI	SI*	SI*	SI	SI
<b>5 USOS AMBIENTALES</b>												
Calidad 5.1	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SI	SI
Calidad 5.2	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SI	SI
Calidad 5.3	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI

NO: Algún resultado obtenido en la caracterización del vertido NO cumple con el R.D. 1620/2007 por el que se aprueba el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas.

SI: TODOS los resultados obtenidos en la caracterización del vertido cumple con el R.D. 1620/2007 por el que se aprueba el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas.

\*No cumple para el supuesto de agua estancada ya que se superan los límites de fósforo total.

**Tabla 4.** Posibles usos del agua regenerada en el sector de transformados vegetales