



# **REUTILIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES. APLICACIÓN AL RIEGO DE CAMPOS DE GOLF.**

**Marina Robles García**

**Tutora: Dra. Carmen Arnáiz**

**2013**

## ÍNDICE

RESUMEN.....	2
1 ANTECEDENTES.....	3
2 INTRODUCCIÓN. ASPECTOS GENERALES .....	4
2.1 PROBLEMÁTICA DEL AGUA.....	4
2.2 REGENERACIÓN Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES .....	4
2.3 APLICACIONES DE LAS AGUAS REGENERADAS .....	6
2.4 ASPECTOS DE SALUD PÚBLICA .....	7
2.4.1 INDICADORES DE CONTAMINACIÓN FECAL .....	8
2.4.2 CALIDAD DEL AGUA PARA LA REUTILIZACIÓN .....	12
2.5 ASPECTOS LEGALES .....	23
3 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	30
3.1 PLAN GENERAL DE ACCIONES.....	30
3.1.1 SELECCIÓN DE PLANTAS DEPURADORAS.....	31
3.1.2 SELECCIÓN DE PARÁMETROS CONTROL .....	31
3.1.3 SELECCIÓN DE CONSUMIDORES DE AGUA REGENERADA.....	31
3.2 PLAN DE ENSAYO.....	32
4 MATERIALES Y MÉTODOS .....	34
4.1 FUENTES DE AGUA RESIDUAL.....	34
4.1.1 DESCRIPCIÓN EDAR DE AYAMONTE.....	35
4.1.2 DESCRIPCIÓN EDAR DE EL ROMPIDO.....	38
4.1.3 CALIDAD DE LAS AGUAS RESIDUALES DEPURADAS.....	39
4.2 CONSUMIDORES DEL AGUA REGENERADA .....	46
4.2.1 CALIDAD NECESARIA PARA RIEGO DE CAMPOS DE GOLF.....	46
4.2.2 NECESIDADES DE RIEGO PARA CAMPOS DE GOLF DE AYAMONTE Y EL ROMPIDO.....	47
4.3 MÉTODOS AVANZADOS PARA LA OBTENCIÓN DE LAS CALIDADES MÍNIMAS PARA LA REUTILIZACIÓN .....	49
5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	56
6 CONCLUSIONES .....	60
7 BIBLIOGRAFÍA.....	61

## **RESUMEN**

El presente trabajo plantea el tema de la reutilización de agua residual como forma de minimizar la contaminación medioambiental y como una manera de aumentar la disponibilidad de agua sin necesidad de seguir explotando las fuentes convencionales para el suministro de la misma.

Investiga los diferentes usos de las aguas regeneradas, los riesgos sanitarios inherentes y la calidad necesaria para cada uso.

Enfatiza el empleo del agua residual depurada para regar campos de golf, teniendo en cuenta que en España, y sobre todo en Andalucía, es una actividad cada vez más demandada debido al clima y al turismo. La reutilización para este fin no potable jugará un importante papel ya que el consumo de agua que se realiza suele ser el aspecto más polémico de todo campo de golf, que a veces es reconocido como excesivo. Conviene decir a favor de esta actividad «turístico-deportiva» el elevado ingreso económico que supone este deporte para la zona en la que se lleva a cabo.

Esta investigación tiene también como objetivo fundamental determinar la viabilidad de implantar un sistema de reutilización en Huelva para regar los campos de golf de la zona, que comprende: los requerimientos de calidad para dicho uso, la caracterización de los efluentes secundarios de dos plantas depuradoras de tratamiento biológico ubicadas en El Rompido y Ayamonte, la disponibilidad y demanda de agua regenerada y los tratamientos avanzados necesarios para que se cumpla los criterios de calidad requeridos.

## **1 ANTECEDENTES**

La reutilización es una práctica que viene desarrollándose desde hace más de 2.000 años, bien sea de modo espontáneo, directo o indirecto.

Actualmente, son cada vez más los países que consideran la reutilización de las aguas residuales un elemento fundamental de sus políticas hídricas. Cabe citar a los Estados Unidos, Japón o Israel, como ejemplos de vanguardia en el aprovechamiento de agua regenerada.

El primer sistema de reutilización de aguas residuales se instaló, en 1926, en Grand Canyon Village (Arizona), donde la escasa agua potable disponible debía bombearse desde un manantial situado en el fondo del Gran Cañón, salvando un desnivel de 1.000 m. El agua regenerada así distribuida, se emplea en la mayoría de los usos urbanos no potables, incluyendo riego de parques, extinción de incendios y uso en cisternas de servicios sanitarios.

El mayor sistema de distribución de aguas regeneradas en operación hoy día, comenzó a instalarse en 1977 en la ciudad de St.Petersburg (Florida). Su desarrollo fue motivado por las elevadas exigencias impuestas por las autoridades para el vertido de efluentes a la Bahía de Tampa y la fuerte sobreexplotación sufrida por los acuíferos regionales. El establecimiento de un programa eficaz de reutilización, es hoy en Florida un requisito obligatorio para el otorgamiento de concesiones de gestión de aguas residuales.

Actualmente, la experiencia internacional sobre la regeneración y reutilización de las aguas residuales es muy amplia; existe una veintena de países que realizan de alguna manera esta práctica. Esta evolución se ha dado particularmente en los países desarrollados.

En este momento, la regeneración y reutilización de las aguas residuales cobran un papel de gran importancia, pues además de solucionar el problema de contaminación, permiten aumentar la disponibilidad de agua.

## **2 INTRODUCCIÓN. ASPECTOS GENERALES**

### **2.1 PROBLEMÁTICA DEL AGUA**

En un inicio, el hombre se limitaba a usar el agua para subsistir. La difusión de hábitos higiénicos y el desarrollo industrial hicieron que aumentara el consumo de agua por el hombre.

El consumo de agua en el planeta se ha incrementado un 350% desde 1950, creciendo a un ritmo superior a la población. Y, aunque el agua es la sustancia más abundante en la superficie de la tierra, sólo muy poca agua es utilizada para el consumo del hombre, ya que: el 90 % es agua de mar y tiene sal, el 2 % es hielo y está en los polos, y sólo el 1 % de toda el agua del planeta es dulce, encontrándose en ríos, lagos y mantos subterráneos.

Hoy en día, se considera que el agua escasea, a esto se une el desperdicio y aumento de demanda, la contaminación de ríos, lagos y otros manantiales, en tal grado, que impide su utilización para el consumo humano, industrial o agrícola.

En la actualidad, más de un tercio del planeta se encuentra en situación de escasez de recursos hídricos. Europa también se encuentra al límite de su capacidad de abastecimiento, en especial España.

La forma de minimizar el problema es consumir a menor velocidad de la que se recargan los sistemas hídricos, poner coto a la contaminación de ríos, lagos y acuíferos, y buscar otras fuentes alternativas de agua, como por ejemplo, la reutilización del agua residual depurada, tema del presente Proyecto Fin de Máster.

### **2.2 REGENERACIÓN Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES**

Como hemos comentado, el aumento de la población experimentado por numerosas zonas urbanas, han hecho que las fuentes de abastecimiento tradicionales sean insuficientes para atender las demandas actuales. Las distancias crecientes entre las nuevas fuentes de abastecimiento y los núcleos urbanos, las limitaciones ambientales para construir nuevos embalses y las sequías plurianuales han llevado a plantearse la utilización de aguas depuradas como fuente adicional de agua para aprovechamientos que no requieran una calidad de agua potable.

En la actualidad, se entiende por “agua regenerada” aquel agua residual que después de ser sometida a un proceso de tratamiento, su calidad es satisfactoria para un uso en particular (Asano, 1998). Es decir, el agua regenerada no es otra que “agua residual tratada” o “efluente tratado” que satisface los criterios para poder ser usada nuevamente.

La “reutilización de agua” es la aplicación del agua residual o regenerada en un uso beneficioso (Asano, 1998).

El desarrollo actual en el campo de la tecnología de regeneración permite obtener efluentes de agua regenerada de diversas calidades, incluso hasta un nivel tan alto como la del agua potable, la finalidad es conseguir un producto que sea adecuado para ser empleado en diferentes tipos de reutilización (industrial, agrícola, recreativo, municipal, etc).

Se trata de un recurso que suele tener poca demanda, pero que puede cubrir muchas de las necesidades de la zona siempre que se consiga una calidad final compatible con la necesaria para los usos previstos.

La implantación de un proyecto de regeneración de agua tiene dos requisitos esenciales y complementarios: 1) definir los niveles de calidad adecuados para cada uno de los posibles usos que se piense dar al agua, y 2) establecer los procesos de tratamiento.

La elaboración y aprobación de estos dos aspectos técnicos de la regeneración de agua constituye generalmente la faceta más discutida de todo programa de reutilización, debido a la dificultad de establecer una relación causal entre la calidad del agua y los posibles efectos sobre la salud y el medio ambiente. Prueba de ello son la diversidad y la heterogeneidad de los criterios y las normas de calidad establecidas por diversos países y organizaciones internacionales sobre la reutilización del agua (USEPA, 2004; OMS, 1989, CEDEX 1999, R.D.2007 ESPAÑA).

La regeneración y la reutilización planificada del agua permiten en cualquier caso una gestión más adecuada de los recursos hídricos disponibles.

La reutilización planificada del agua en general puede tener múltiples beneficios (Mujeriego, 2004), entre los que cabe destacar los siguientes:

- Una nueva fuente de suministro de agua, capaz de aportar recursos hídricos adicionales, que permiten liberar recursos de agua de mejor calidad y destinarlos a usos más exigentes, como el abastecimiento público.

- Una disminución de los costes de tratamiento y de vertido del agua depurada. La reutilización de un agua depurada ofrece una clara ventaja económica cuando los requisitos de calidad del tipo de reutilización considerada sean menos exigentes que los establecidos para el medio receptor en el que se ha de realizar el vertido.
- Una reducción del aporte de contaminantes a los cursos naturales de agua.
- Un aprovechamiento de los elementos nutritivos contenidos en el agua, especialmente cuando el agua regenerada se utiliza para riego agrícola y de jardinería.
- Una mayor garantía de suministro.

La realidad es que hoy en día existe un gran éxito alcanzado por la reutilización para usos no potables en numerosos países del mundo como California y Florida y en zonas como la Costa Brava (Girona), la ciudad de Vitoria (Álava) o las Islas Canarias.

España es quizá el país del sur de Europa más prometedor en cuanto a las posibilidades de reutilización de aguas residuales. Esto es así por varios motivos, entre los que podríamos destacar:

- La presencia de una agricultura todavía importante en muchas zonas del país y que requiere volúmenes importantes de agua.
- Un clima árido y semiárido en las zonas con mayor producción agrícola.
- Un país con turismo-deportivo debido al buen clima.
- La existencia de grandes productores de agua residual (ciudades) relativamente cerca de las grandes zonas agrícolas y núcleos de población.

En la actualidad, la mayor parte de las depuradoras de las ciudades españolas ya está construida, con lo que el suministro de materia prima para la reutilización parece garantizado.

### **2.3 APLICACIONES DE LAS AGUAS REGENERADAS**

Es un hecho conocido que la reutilización de aguas residuales contiene riesgos sanitarios, pero debidamente depuradas y controladas, en áreas donde los recursos hídricos naturales son escasos o limitados, pueden ser aprovechadas como un recurso no convencional en los siguientes sectores o usos:

### Urbano o Municipal

Cubre una amplia gama de aplicaciones que no necesitan agua de calidad potable. Entre ellos se pueden citar: riego de parques y jardines, limpieza de calles, sistemas contraincendios, limpieza de camiones de recogida de basuras.

### Agrícola

El volumen de agua que es empleado a nivel mundial en la actualidad en agricultura es diez veces mayor que la demanda existente para cualquier otro uso. Este hecho unido al evidente ahorro de recurso que proporciona la reutilización agrícola, hace que la mayoría de los proyectos de reutilización la contemple.

### Industrial

La reutilización en usos industriales representa un importante mercado potencial para el agua regenerada. Las industrias cuyos procesos no requieran aguas de alta calidad, y aquellas otras que se encuentren localizadas cerca de poblaciones con capacidad de generación suficiente de agua residual, son las candidatas ideales para incorporar la reutilización en sus procesos industriales.

### Usos recreativos y medioambientales

Los distintos usos recreativos y medioambientales del agua regenerada comprenden desde los estanques artificiales, al riego de campos de golf, pasando por una amplia gama de posibilidades, como fuentes ornamentales, producción de nieve artificial, etc.

## **2.4 ASPECTOS DE SALUD PÚBLICA**

La mayor preocupación en la reutilización de aguas residuales es la posible transmisión y propagación de enfermedades, porque ellas pueden contener los más variados microorganismos patógenos.

Los principales agentes infecciosos para el ser humano que pueden encontrarse en el agua residual son sobre todos bacterias, virus y protozoos y helmintos.

En la *Tabla 1* vemos los principales microorganismos potencialmente presentes en aguas residuales domésticas no tratadas.



*Tabla 1.* Principales microorganismos presentes en aguas residuales domésticas no tratadas.

<b>Enfermedad</b>	<b>Agente</b>
<b>Origen bacteriano</b>	
Fiebres tifoideas y paratifoideas	<i>Salmonella typhi, Salmonella paratyphi A y B</i>
Disentería bacilar	<i>Shigella</i>
Cólera	<i>Vibrio cholerae</i>
Gastroenteritis agudas y diarreas	<i>EscherichiacoliET, Campylobacter, Yersiniaenterocolítica, Salmonella, Shigella</i>
<b>Origen viral</b>	
Hepatitis A y E	Virus de la hepatitis A y E
Poliomielitis	Virus de la polio
Gastroenteritis agudas y diarreas	Virus Norwalk, Rotavirus, Astrovirus, Calicivirus, Enterovirus, Adenovirus, Reovirus
<b>Origen parasitario</b>	
Disentería amebiana	<i>Entamoeba histolytica, Giardia lamblia, Cristosporidium</i>
Anquilostomosis, Trichuriasis y Ascariasis	<i>Ancylostoma, Trichuris, Ascaris</i>

#### 2.4.1 INDICADORES DE CONTAMINACIÓN FECAL

El control de la calidad microbiológica del agua de consumo y vertido, requiere una serie de análisis dirigidos a determinar la presencia de microorganismos patógenos. Para su diagnóstico se precisan laboratorios especializados, varios días de análisis y costos elevados.

Como alternativa se ha propuesto como método de detección de patógenos en aguas residuales el uso de indicadores microbianos (Indicadores de Contaminación Fecal-ICF) que presentan un comportamiento similar a los patógenos y que se pueden identificar mediante el empleo de métodos sencillos, rápidos y económicos. Una vez se ha evidenciado la presencia de ICF se puede deducir que existe la posibilidad de que microorganismos patógenos se encuentren presentes en la misma concentración y que su comportamiento frente a diferentes factores como pH, temperatura, presencia de nutrientes, tiempo de retención hidráulica o sistemas de desinfección es similar a la del indicador.

A continuación se indican los requisitos que debe tener un microorganismo para ser un Indicador de Contaminación Fecal:

- Ser un constituyente normal de la flora intestinal de individuos.
- No debe ser patógeno, pero debe coexistir con ellos.
- Estar presente en número superior al de patógenos pero existiendo una buena correlación entre ambos.
- Ser incapaces de reproducirse en el agua pero estar vivos y ser posible su cultivo en condiciones ambientales específicas.
- Tiempo de supervivencia igual o ligeramente superior al de los patógenos, es decir, ser más resistentes que estos a las condiciones ambientales y a los procesos de desinfección.
- Facilidad de aislamiento, cuantificación e identificación, no dando falsos positivos.

No existe ningún microorganismo que cumpla todos los requisitos, por lo que se eligen aquellos que más se aproximan.

Las bacterias que se encuentran con mayor frecuencia en el agua son las bacterias entéricas que colonizan el tracto gastrointestinal del hombre y son eliminadas a través de la materia fecal.

Debido a que su detección y recuento a nivel de laboratorio son lentos y laboriosos se ha buscado un grupo alternativo de indicadores que sean de más rápida y fácil detección. El grupo más utilizado es el de las bacterias coliformes.

El grupo de microorganismos coliformes es adecuado como indicador de contaminación bacteriana debido a:

- Son contaminantes comunes del tracto gastrointestinal.
- Están presentes en el tracto gastrointestinal en grandes cantidades.
- Permanecen por más tiempo en el agua que las bacterias patógenas.
- Se comportan de igual manera que los patógenos en los sistemas de desinfección.

Los coliformes fecales son termo tolerantes, son capaces de tolerar temperaturas elevadas, siendo esta característica la que les diferencia de los coliformes totales. Para aguas superficiales o para evaluar la eficiencia de una EDAR deben usarse los coliformes fecales.

El análisis de bacterias coliformes fecales y *Escherichia coli* (*E. coli*) se realiza mediante el método de filtración de membrana según la UNE EN ISO 9308-1:2000. Las bacterias coliformes de origen fecal son aquellas comprendidas en el grupo de coliformes totales, que además son capaces de fermentar la lactosa, con producción de ácido y de gas a 44°C, en un tiempo máximo de 24h.

El método consiste en la determinación del número de coliformes mediante filtración de volúmenes determinados del agua a analizar por filtros de membrana e incubación sobre medio de lactosa enriquecido (agar de lactosa TTC con heptadecilsulfato de sodio) y una temperatura de 44,5°C ( $\pm 0,2^\circ\text{C}$ ).

El procedimiento se resume así: Colocar un filtro de membrana estéril sobre el soporte de filtración. Adaptar el embudo y conectar el matraz a una bomba eléctrica de vacío. Filtrar 100 mL de muestra si se trata de agua potable, y 0,1 y 1 mL si se trata de aguas no potables, previamente homogeneizadas. Lavar con unos 30 ml de agua destilada. Retirar el embudo. Mediante las pinzas esterilizadas, transferir la membrana filtrante sobre el medio de cultivo contenido en una placa de Petri, de modo que la superficie de filtración quede hacia arriba. Cerrar e invertir la placa e incubar a 44,5 °C ( $\pm 0,2^\circ\text{C}$ ) durante 24h ( $\pm 2\text{h}$ ).

La lectura de los resultados requiere el examen de las colonias aparecidas sobre la membrana y el examen de los halos en la capa de agar subyacente a la membrana. La fermentación de la lactosa provoca la formación de un halo amarillo. Por ello se considera coliformes aquellas colonias que presentan halo amarillo, halo amarillo con centro naranja (*Escherichia* y *Citrobacter*), o halo amarillo con centro rojo ladrillo (*Klebsiella* y *Enterobacter*). La densidad se estima como el total de coliformes totales por 100 mL, utilizando aquellos filtros de membrana que tengan 20-80 colonias de coliformes y no más de 200.

La aplicación de ICF de origen bacteriano no es suficiente para asegurar la presencia o no de patógenos pertenecientes a otros grupos (virus, protozoos o nematodos). Así puede haber presencia de diferentes tipos de virus en muestras de agua en total ausencia de coliformes, de tal modo que el control de coliformes no es suficiente para el asesoramiento de la calidad sanitaria del agua residual tratada, siendo únicamente un referente sobre el comportamiento de las bacterias patógenas.

Los virus tienen capacidad de causar infección a bajas concentraciones, algunos de los cuales son más resistentes a la desinfección que los coliformes.

Existe un virus que se emplea como indicador de contaminación fecal, es el Colifago somático.

Los fagos se encuentran abundantemente en agua residual y contaminada.

- Las poblaciones de colifagos son mucho más grandes que las de enterovirus.
- Los colifagos son incapaces de reproducirse fuera del huésped bacteriano.
- Los colifagos se pueden aislar y contar por métodos sencillos.
- Se obtienen resultados más rápidos cuando se analizan colifagos que cuando se trabaja con enterovirus.
- Algunos colifagos son tan resistentes como los enterovirus a los procesos de desinfección.

El estudio de huevos de helminto a nivel ambiental ha hecho necesaria la selección de un parásito indicador debido a las limitaciones en su detección a nivel de laboratorio, habiéndose sugerido *Ascaris lumbricoides* como un buen indicador del comportamiento de aquellos. Sus ventajas son:

- Persiste en el medio ambiente durante muchos meses, pero no se multiplica.
- Se puede identificar fácilmente.
- El índice de parasitismo a nivel mundial es muy alto.
- El riesgo de transmisión es alto debido a la alta concentración de huevos que se puede encontrar.

No obstante, la simple presencia del agente infeccioso no implica obligatoriamente la inmediata transmisión de enfermedades, caracterizando solamente un riesgo potencial.

Los factores que favorecen la transmisión de enfermedades a través de la reutilización de aguas residuales son:

- Supervivencia prolongada de los microorganismos en el medio ambiente.
- Períodos largos de latencia.
- Baja dosis infecciosa.
- Baja inmunidad de los portadores.
- Ausencia de otros focos de transmisión.

La reutilización de aguas residuales, que viene realizándose durante varias décadas en países como Australia, Israel, China, India, México y Estados Unidos, no ha causado problemas de salud pública. Pero, está claro que todos los proyectos de reutilización de aguas residuales implican un riesgo sanitario potencial, por ello deben minimizarse los contactos con estas aguas, a la vez que deben mantenerse los estándares de calidad a los niveles adecuados para cada uso.

#### **2.4.2 CALIDAD DEL AGUA PARA LA REUTILIZACIÓN**

La composición tanto del agua residual sin tratar, como del efluente obtenido de la planta depuradora depende de las características del agua de abastecimiento público y del número y tipo de establecimientos comerciales e industriales. Por ello, la composición del agua residual muestra con frecuencia un amplio margen de variación entre diferentes poblaciones.

La depuración de las aguas residuales urbanas, mediante adecuados tratamientos, permite reducir la presencia de agentes microbiológicos patógenos y de sustancias químicas nocivas. Ahora bien esta reducción, que no eliminación, ocasiona una situación de riesgo en caso de nueva utilización del agua.

Existen básicamente dos tendencias en relación con los criterios para la reutilización del agua residual. Una es la establecida por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la segunda, la formulada por el Estado de California de los EE.UU. En España los criterios de calidad del agua reutilizada están recogidos en un Real Decreto 1620/2007.

En este punto se quería destacar el Decreto 43/2008, de 12 de febrero, regulador de las condiciones de implantación y funcionamiento de campos de golf en Andalucía, modificado

por el Decreto 309/2010, de 15 de junio, y donde las aguas regeneradas son tratadas con especial énfasis. Andalucía es la Comunidad Autónoma con más campos de Golf de España, y la regeneración del agua y su aplicación al uso recreativo ha tomado importancia legal con esta norma de reciente renovación.

La Organización Mundial de la Salud estableció unos criterios sanitarios mínimos que permitan evitar los riesgos potenciales que pudieran derivarse de la reutilización de aguas residuales depuradas urbanas. El Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) ha utilizado estos criterios establecidos por la OMS para desarrollar una propuesta de calidades mínimas exigidas para la reutilización directa de efluentes depurados según los distintos usos posibles como vemos en la [Tabla 2](#), aplicables en todo el estado Español.

El estado de California publicó en junio de 2001 el “Libro Morado” donde se recogen los criterios de calidad mínima exigida y los usos a que puede ser destinada el agua regenerada dentro del territorio estadounidense (California Health Laws, 2001).

En la [Tabla 2](#) recogemos los parámetros físico-químicos y bacteriológicos que el agua regenerada deberá cumplir para su posterior reutilización según el CEDEX y el estado de California.

Los criterios físico-químicos establecidos por la OMS parecen más rigurosos. Sin embargo, el estado de California, donde la práctica del saneamiento y el control de calidad del agua están muy desarrollados, opta por establecer el nivel mínimo de tratamiento al que deberá someterse el agua residual para poder ser reutilizada.

Por lo que respecta a los criterios microbiológicos, el estado de California se muestra más conservador al utilizar los coliformes totales como indicador de contaminación microbiológica. La identificación y cuantificación de este grupo de bacterias heterogéneo permite reducir significativamente el riesgo de una contaminación bacteriana.

A nivel estatal, lo más reciente, el Real Decreto 1620/2007, de 7 de diciembre, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas, que regula las condiciones básicas de la reutilización, las características físico-químicas y microbiológicas exigibles al agua residual depurada para su aprovechamiento en los diversos usos posibles.

Las aguas residuales urbanas depuradas destinadas a usos urbanos, recreativos, ambientales, industriales y agrícolas deberán cumplir los requisitos de calidad microbiológica y fisicoquímicos que se especifican en el anexo I del Real Decreto 1620/2007(Tabla 3).

Parámetros		Usos (*)													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
<b>CEDEX</b>															
	Sólidos en suspensión (mg/l)	< 10	< 20	< 20	< 20	< 35	< 35	< 35	< 35	< 35	< 35	< 35	< 35	< 35	< 10
Físico-químico	Turbidez (UTN)	< 2	< 5	< 5	< 5	No se fija límite	No se fija límite	No se fija límite	No se fija límite	No se fija límite	No se fija límite	No se fija límite	No se fija límite	No se fija límite	< 2
	Nitrógeno Total(mg /l)	No se fija límite	No se fija límite	No se fija límite	No se fija límite	No se fija límite	No se fija límite	No se fija límite	No se fija límite	No se fija límite	No se fija límite	No se fija límite	No se fija límite	< 50	< 15
Bacteriológico	Huevos de Nematodos intestinales (huevo/l)	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	No se fija límite	< 1	No se fija límite	< 1	< 1	< 1
	Escherichia coli (ufc/100 ml)	0	< 200	< 200	< 200	< 1,000	< 1,000	< 10,000	No se fija límite	< 10,000	< 200	No se fija límite	< 1,000	< 1,000	0
	Legionella Pneumophila (ufc/100 ml)	No se fija límite	No se fija límite	0	No se fija límite	No se fija límite	No se fija límite	No se fija límite	No se fija límite	No se fija límite	0	No se fija límite	No se fija límite	No se fija límite	No se fija límite
	Taenia Saginata y solium (huevo/l)	No se fija límite	No se fija límite	No se fija límite	No se fija límite	< 1	No se fija límite	No se fija límite	No se fija límite	No se fija límite	No se fija límite	No se fija límite	No se fija límite	No se fija límite	No se fija límite
Nivel de Tratamiento		No se establece													
<b>CALIFORNIA</b>															
Físico-químico	Turbidez (UTN)	2	2	No se fija límite	No se fija límite	No se fija límite	No se fija límite	No se fija límite	No se fija límite	No se fija límite	No se fija límite	No se fija límite	No se fija límite		
Bacteriológico	Bacterias Coliformes Totales (NMP/100 ml)	No se fija límite	No se fija límite	No se fija límite	No se fija límite	23	No se fija límite	No se fija límite	No se fija límite	No se fija límite	No se fija límite	23	2.2		
Nivel de Tratamiento		A	A	C	A	B	C	C	C	A	A	B	B		

Tabla 2. Criterios de calidad de agua regenerada para diversos usos (Fuentes: CEDEX, 1999 y California Health Law, 2001).



(\*) Clasificación de los usos:

1. Domiciliarios: riego de jardines privados, descargas de aparatos sanitarios, sistemas de calefacción y refrigeración de aire doméstico y lavado de vehículos.
  2. Servicios urbanos: riego de zonas verdes de acceso público (campos deportivos, campos de golf, parques públicos), limpieza de calles, sistemas contra incendios, fuentes.
  3. Riego de cultivos para consumo humano en crudo. Frutales regados por aspersión.
  4. Riego de pasto para consumo de animales productores de leche y carne.
  5. Riego de cultivos destinados a industrias conserveras y productos que no se consuman crudos. Riego de frutales excepto por aspersión.
  6. Riego de cultivos industriales, viveros, forrajes, ensilados y semillas oleaginosas.
  7. Riego de bosques, industria maderera, zonas verdes y de otro tipo no accesibles al público.
  8. Refrigeración industrial, excepto industrial alimentaria.
  9. Estanques, masas de agua y caudales circulantes, de uso recreativo en las que está permitido el contacto del público con agua (excepto el baño).
  10. Estanques, masas de agua y caudales circulantes ornamentales, en los que está impedido el contacto del público con el agua.
  11. Acuicultura (biomasa vegetal o animal). Recarga de acuíferos por percolación localizada a través del terreno.
  12. Recarga de acuíferos por inyección directa.
- A = Tratamiento terciario con desinfección.  
B = Tratamiento secundario con desinfección.  
C = Tratamiento secundario sin desinfección.

Tabla 3. ANEXO. I. A.: CRITERIOS DE CALIDAD PARA LA REUTILIZACIÓN DE LAS AGUAS SEGÚN SUS USOS.

	VALOR MÁXIMO ADMISIBLE (VMA)				
	NEMATODOS INTESTINALES <sup>1</sup>	<i>ESCHERICHIA COLI</i>	SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN	TURBIDEZ	OTROS CRITERIOS
I. USOS URBANOS					
CALIDAD 1.1: RESIDENCIAL <sup>2</sup> a) Riego de jardines privados. <sup>3</sup> b) Descarga de aparatos sanitarios. <sup>3</sup>	1 huevo/10L	0 (UFC <sup>4</sup> /100 mL)	10 mg/L	2 UNT <sup>5</sup>	OTROS CONTAMINANTES <sup>6</sup> contenidos en la autorización de vertido aguas residuales: se deberá limitar la entrada de estos contaminantes al medio ambiente. En el caso de que se trate de sustancias peligrosas <sup>7</sup> deberá asegurarse el respeto de las NCAs <sup>8</sup> <i>Legionellaspp.</i> 100 UFC/L (si existe riesgo de aerosolización)
CALIDAD 1.2: SERVICIOS a) Riego de zonas verdes urbanas (parques, campos deportivos y similares). <sup>9</sup> b) Baldeo de calles. <sup>9</sup> c) Sistemas contra incendios. <sup>9</sup> d) Lavado industrial de vehículos. <sup>9</sup>	1 huevo/10 L	200 UFC/100 mL	20 mg/L	10 NT	

1- Considerar en todos los grupos de calidad al menos los géneros: *Ancylostoma*, *Trichuris* y *Ascaris*.+

2- Deben someterse a controles que aseguren el correcto mantenimiento de las instalaciones.

3- Su autorización estará condicionada a la obligatoriedad de la presencia doble circuito señalado en todos sus tramos hasta el punto de uso.

4- Unidades Formadoras de Colonias.

5- Unidades Nefelométricas de Turbiedad.

6- Ver el Anexo II del RD 849/1986, de 11 de abril.

7- Ver Anexo IV del RD 907/2007, de 6 de julio.

8- Norma de calidad ambiental ver el artículo 245.5.a del RD 849/1986, de 11 de abril, modificado por el RD 606/2003 de 23 de mayo.

9- Cuando exista un uso con posibilidad de aerosolización del agua, es imprescindible seguir las condiciones de uso que señale, para cada caso, la autoridad sanitaria, sin las cuales, esos usos no serán autorizados.

	VALOR MÁXIMO ADMISIBLE (VMA)				
	NEMATODOS INTESTINALES	ESCHERICHIA COLI	SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN	TURBIDEZ	OTROS CRITERIOS
2.- USOS AGRÍCOLAS <sup>1</sup>					
CALIDAD 2.1 <sup>2</sup> a) Riego de cultivos con sistema de aplicación del agua que permita el contacto directo del agua regenerada con las partes comestibles para alimentación humana en fresco.	1 huevo/10L	100UFC/100 mL Teniendo en cuenta un plan de muestreo a 3 clases <sup>3</sup> con los siguientes valores: n = 10 m = 100 UFC/100 mL M = 1.000 UFC/100 mL c = 3	20 mg/L	10 UNT	OTROS CONTAMINANTES contenidos en la Autorización de vertido de aguas residuales: se deberá limitar la entrada de estos contaminantes al medio ambiente. En el caso de que se trate de sustancias peligrosas deberá asegurarse el respeto de las NCAs. <i>Legionella spp.</i> 1.000 UFC/L (si existe riesgo de aerosolización) es obligatorio llevar a cabo la detección de patógenos Presencia/Ausencia ( <i>Salmonella</i> , etc.) cuando se repita habitualmente que c=3 para M=1.000

- 1- +Características del agua regenerada que requieren información adicional: Conductividad 3,0 dS/m; Relación de Adsorción de Sodio (RAS): 6 meq/L; Boro: 0,5 mg/L; Arsénico: 0,1 mg/L; Berilio: 0,1 mg/L; Cadmio: 0,01 mg/L; Cobalto: 0,05 mg/L; Cromo: 0,1 mg/L; Cobre: 0,2 mg/L; Manganeso: 0,2 mg/L; Molibdeno: 0,01 mg/L; Níquel: 0,2 mg/L; Selenio: 0,02 mg/L; Vanadio: 0,1 mg/L  
Para el cálculo de RAS se utilizará la fórmula:

$$RAS \text{ (meq / L)} = \frac{[Na]}{\sqrt{[Ca] + [Mg]}} \cdot 2$$

- 2- Cuando exista un uso con posibilidad de aerosolización del agua, es imprescindible seguir las condiciones de uso que señale, para cada caso, la autoridad sanitaria, sin las cuales, esos usos no serán autorizados.
- 3- Siendo n: n° de unidades de la muestra; m: valor límite admisible para el recuento de bacterias; M: valor máximo permitido para el recuento de bacterias; c: número máximo de unidades de muestra cuyo número de bacterias se sitúa entre m y M.

	VALOR MÁXIMO ADMISIBLE (VMA)				
	NEMATODOS INTESTINALES	<i>ESCHERICHIA COLI</i>	SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN	TURBIDEZ	OTROS CRITERIOS
<p>CALIDAD 2.2</p> <p>a) Riego de productos para consumo humano con sistema de aplicación de agua que no evita el contacto directo del agua regenerada con las partes comestibles, pero el consumo no es en fresco sino con un tratamiento industrial posterior.</p> <p>b) Riego de pastos para consumo de animales productores de leche o carne.</p> <p>c) Acuicultura.</p>	1 huevo /10 L	<p>1.000 UFC/100 mL</p> <p>Teniendo en cuenta un plan de muestreo a 3 clases<sup>1</sup> con los siguientes valores:  n = 10  m = 1.000 UFC/100 mL  M = 10.000 UFC/100 mL  c = 3</p>	35 mg/L	No se fija límite	<p>OTROS CONTAMINANTES contenidos en la autorización de vertido aguas residuales: se deberá limitar la entrada de estos contaminantes al medio ambiente. En el caso de que se trate de sustancias peligrosas deberá asegurarse el respeto de las NCAs.</p> <p>Taenia saginata y Taenia solium: 1 huevo/L (si se riegan pastos para consumo de animales productores de carne) es obligatorio llevar a cabo detección de patógenos</p> <p>Presencia/Ausencia (Salmonella, etc.) cuando se repita habitualmente que c=3 para M=10.000</p>
<p>CALIDAD 2.3</p> <p>a) Riego localizado de cultivos leñosos que impida el contacto del agua regenerada con los frutos consumidos en la alimentación humana.</p> <p>b) Riego de cultivos de flores ornamentales, viveros, invernaderos sin contacto directo del agua regenerada con las producciones.</p> <p>c) Riego de cultivos industriales no alimentarios, viveros, forrajes ensilados, cereales y semillas oleaginosa</p>	1 huevo /10 L	10.000 UFC/100 mL	35 mg/L	No se fija límite	<p>OTROS CONTAMINANTES contenidos en la autorización de vertido aguas residuales: se deberá limitar la entrada de estos contaminantes al medio ambiente. En el caso de que se trate de sustancias peligrosas deberá asegurarse el respeto de las NCAs. Legionella spp. 100 UFC/L</p>

1- Siendo n: n° de unidades de la muestra; m: valor límite admisible para el recuento de bacterias; M: valor máximo permitido para el recuento de bacterias; c: número máximo de unidades de muestra cuyo número de bacterias se sitúa entre m y M.

	VALOR MÁXIMO ADMISIBLE (VMA)				
	NEMATODOS INTESTINALES	<i>ESCHERICHIA COLI</i>	SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN	TURBIDEZ	OTROS CRITERIOS
<b>3.- USOS INDUSTRIALES</b>					
CALIDAD 3.1 <sup>1</sup> a) Aguas de proceso y limpieza excepto en la industria alimentaria. b) Otros usos industriales	No se fija límite	10.000 UFC/100 mL	35 mg/L	15 UNT	OTROS CONTAMINANTES contenidos en la autorización de vertido aguas residuales: se deberá limitar la entrada de estos contaminantes al medio ambiente. En el caso de que se trate de sustancias peligrosas deberá asegurarse el respeto de las NCAs. <i>Legionella spp.</i> : 100 UFC/L
c) Aguas de proceso y limpieza para uso en la industria alimentaria	1huevo /10 L	1.000 UFC/100 mL Teniendo en cuenta un plan de muestreo a 3 clases <sup>2</sup> con los siguientes valores: n = 10 m = 1.000 UFC/100 mL M = 10.000 UFC/100 mL c = 3	35 mg/L	No se fija límite	OTROS CONTAMINANTES contenidos en la autorización de vertido aguas residuales: se deberá limitar la entrada de estos contaminantes al medio ambiente. En el caso de que se trate de sustancias peligrosas deberá asegurarse el respeto de las NCAs. : 100 UFC/L Es obligatorio llevar a cabo detección de patógenos Presencia/Ausencia (Salmonella, etc.) cuando se repita habitualmente que c=3 para M=10.000
CALIDAD 3.2 a) Torres de refrigeración y condensadores evaporativos	1huevo/10 L	Ausencia UFC/100 mL	5 mg/ L	1 UNT	: Ausencia UFC/L Para su autorización se requerirá: - La aprobación, por la autoridad sanitaria, del programa específico de control de las instalaciones contemplado en el Real Decreto 865/2003, de 4 de julio, por el que se establecen los criterios higiénicos sanitarios para la prevención y control de la legionelosis. Uso exclusivamente industrial y en localizaciones que no estén ubicadas en zonas urbanas ni cerca de lugares con actividad pública o comercial.

1- Cuando exista un uso con posibilidad de aerosolización del agua, es imprescindible seguir las condiciones de uso que señale, para cada caso, la autoridad sanitaria, sin las cuales, esos usos no serán autorizados

2- Siendo n: n° de unidades de la muestra; m: valor límite admisible para el recuento de bacterias; M: valor máximo permitido para el recuento de bacterias; c: número máximo de unidades de muestra cuyo número de bacterias se sitúa entre m y M.

	VALOR MÁXIMO ADMISIBLE (VMA)				
	NEMATODOS INTESTINALES	<i>ESCHERICHIA COLI</i>	SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN	TURBIDEZ	OTROS CRITERIOS
4.- USOS RECREATIVOS					
CALIDAD 4.1 <sup>1</sup> a) Riego de campos de golf.	1 huevo/10 L	200 UFC/100mL	20 mg/L	10 UNT	OTROS CONTAMINANTES contenidos en la autorización de vertido aguas residuales: se deberá limitar la entrada de estos contaminantes al medio ambiente. En el caso de que se trate de sustancias peligrosas deberá asegurarse el respeto de las NCAs. Si el riego se aplica directamente a la zona del suelo (goteo, microaspersión) se fijan los criterios del grupo de Calidad 2.3. 100 UFC/L (si existe riesgo de aerosolización)
CALIDAD 4.2 a) Estanques, masas de agua y caudales circulantes ornamentales, en los que está impedido el acceso del público al agua.	No se fija límite	10.000 UFC/100 mL	35 mg/L	No se fija límite	OTROS CONTAMINANTES contenidos en la autorización de vertido aguas residuales: se deberá limitar la entrada de estos contaminantes al medio ambiente. En el caso de que se trate de sustancias peligrosas deberá asegurarse el respeto de las NCAs. PT : 2 mg P/L (en agua estancada)

1- Cuando exista un uso con posibilidad de aerosolización del agua, es imprescindible seguir las condiciones de uso que señale, para cada caso, la autoridad sanitaria, sin las cuales, esos usos no serán autorizados

	VALOR MÁXIMO ADMISIBLE (VMA)				
	NEMATODOS INTESTINALES	<i>ESCHERICHIA COLI</i>	SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN	TURBIDEZ	OTROS CRITERIOS
5.- USOS AMBIENTALES					
CALIDAD 5.1 a) Recarga de acuíferos por percolación localizada a través del terreno.	No se fija límite	1.000 UFC/100 mL	35 mg/L	No se fija límite	NT <sup>1</sup> : 10 mg N/L NO <sub>3</sub> : 25 mg NO <sub>3</sub> /L
CALIDAD 5.2 a) Recarga de acuíferos por inyección directa	1huevo/10 L	0 UFC/100 mL	10 mg/L	2 UNT	Art. 257 a 259 del RD 849/1986
CALIDAD 5.3 a) Riego de bosques, zonas verdes y de otro tipo no accesibles al público. b) Silvicultura.	No se fija límite	No se fija límite	35 mg/L	No se fija límite	OTROS CONTAMINANTES contenidos en la autorización de vertido aguas residuales: se deberá limitar la entrada de estos contaminantes al medio ambiente. En el caso de que se trate de sustancias peligrosas deberá asegurarse el respeto de las NCAs.
CALIDAD 5.4 a) Otros usos ambientales (mantenimiento de humedales, caudales mínimos y similares).	La calidad mínima requerida se estudiará caso por caso				

1- Nitrógeno total, suma del nitrógeno inorgánico y orgánico presente en la muestra.

## 2.5 ASPECTOS LEGALES

Las “Directrices sanitarias sobre el uso de aguas residuales en agricultura y acuicultura”, serie de Informes Técnicos de la Organización Mundial de la Salud, es uno de los textos obligados de consulta.

El libro “Criterios para la evaluación sanitaria de proyectos de reutilización directa de aguas residuales urbanas depuradas”, de la Junta de Andalucía, es también de obligada consulta.

En la legislación española, aparecen algunas referencias a la reutilización:

Reglamento del Dominio Público Hidráulico (R.D. 849/1986):

- Art. 272.- La reutilización directa de aguas residuales (las depuradas, antes de verterlas a cauce público) exige concesión administrativa y está sujeta a informe vinculante de la autoridad sanitaria. Este mismo artículo prohíbe la reutilización directa de aguas residuales depuradas para el abastecimiento humano, excepto en casos de emergencia y siempre con el beneplácito de la autoridad sanitaria.
- Art. 273.- Cuando la reutilización se lleve a cabo por el primer usuario, se deberá modificar el título concesional original.

Las Resoluciones 8116 de 2 de abril de 2002 (BOE 26 de abril de 2002) y 8248 de 2 de abril de 2002 (BOE 29 de abril de 2002), sobre los criterios mínimos para la utilización del efluente de la EDAR, suponen un antecedente en la normativa a aplicar sobre reutilización de aguas residuales depuradas, que coincide en su totalidad con el borrador mencionado.

Los Planes Hidrológicos de Cuencas (por ejemplo Tajo, Guadalquivir), incluyen anexos con calidades del agua residual depurada para reutilización en diversos usos (Orden de 13 de agosto de 1999, BOE 30 y 27 agosto 1999, respectivamente). El Plan Hidrológico de la Cuenca del Guadalquivir hace referencia a la normativa de la OMS y a la de la Agencia de Protección del Medio Ambiente de Estados Unidos (USEPA/AID, 1992), para riego agrícola y de jardinería, sin restricción de acceso para el público.

En la Orden de 18 de julio de 2002 (BOJA 27 de julio de 2002), del “Reglamento Específico de Producción Integrada del Olivar”, se prohíbe el uso de aguas residuales



depuradas. “salvo control analítico continuado que garantice que no se superan los límites establecidos en DQO, DBO, SS y *E. coli*”

Más reciente es la Orden APA/370/2004 “por la que se establece la norma técnica específica de identificación de garantía nacional de producción integrada de cultivos hortícolas” que en su sección IV.7 Riego, prohíbe “Utilizar aguas residuales con o sin depuración previa en cultivos cuyos órganos comestibles entren en contacto con el agua de riego”.

En el BOE el 2 de agosto de 1985 se publicó en España la Ley de Aguas, que modificada en 1999, y luego por el texto refundido de la ley de aguas, aprobado por el real decreto legislativo 1/2001, de 20 de julio y cuyo objetivo es dominar el dominio Público hidráulico, el uso de agua y el ejercicio de las competencias atribuidas al Estado en las materias relacionadas con dicho dominio en el marco de las competencias delimitadas en el artículo 149 de la Constitución esta ley detalla bienes que integran el dominio público hidráulico, la administración pública del agua, la planificación hidráulica, la utilización y protección del dominio público hidráulico y el régimen económico-financiero del mismo.

- ❖ El título V trata sobre la protección del dominio público hidráulico y de la calidad de las aguas continentales; el capítulo III Artículo 109 versa particularmente sobre la reutilización de aguas depuradas y en él se resaltan básicamente varios aspectos:
  - El Gobierno establecerá las condiciones para la reutilización de las aguas, precisando la calidad exigible según los usos previstos.
  - La reutilización de las aguas procedentes de un aprovechamiento requerirá concesión administrativa como norma general. Sin embargo, en el caso de que la reutilización fuese solicitada por el titular de una autorización de vertido de aguas ya depuradas, se requerirá solamente una autorización administrativa, en la cual se establecerán las condiciones necesarias complementarias de las recogidas en la previa autorización de vertido.
  - Cualquier persona física o jurídica que haya obtenido una concesión de reutilización de aguas, podrá subrogarse por vía contractual en la titularidad de la autorización de vertido de aquellas aguas, con asunción de las obligaciones que ésta conlleve, incluidas la depuración y la satisfacción del canon de control de vertido. Estos contratos deberán ser autorizados por el correspondiente

Organismo de cuenca, a los efectos del cambio de titular de la autorización de vertido. En el caso de que la concesión se haya otorgado respecto a aguas efluentes de una planta de depuración, las relaciones el titular de ésta y el de aquella concesión serán reguladas igualmente mediante un contrato que deberá ser autorizado por el correspondiente Organismo de cuenca.

- Las personas físicas o jurídicas que asuman las obligaciones a que se refiere el apartado anterior, podrán solicitar la modificación de la autorización de vertido previamente existente, a fin de adaptarla a las nuevas condiciones de vertido. Para su revisión se tendrá en consideración el volumen y la calidad del efluente que se vierta al dominio público hidráulico tras la reutilización.
- En todo caso, el vertido final de las aguas reutilizadas se acomodará a lo previsto en la presente Ley.

Ley 10/2001, de 5 de julio, del Plan Hidrológico Nacional. Artículo 30. Gestión eficaz de las aguas para abastecimiento.

- ❖ El Ministerio de Medio Ambiente impulsará, en el ámbito de sus competencias, la colaboración con las Administraciones Autonómicas y Locales para la gestión eficaz y sostenible de los abastecimientos urbanos, promoviendo, entre otros, la elevación del rendimiento hidráulico de los sistemas, la colocación de contadores individuales, la instalación de dispositivos y tecnologías ahorradoras, la realización de dobles redes de distribución de aguas, la limitación del empleo de especies vegetales fuertemente demandantes de agua y el fomento del uso de aguas recicladas, especialmente para usos deportivos, lúdicos o recreativos.
- ❖ El Ministerio de Medio Ambiente impulsará, en el ámbito de sus competencias y con la colaboración de las Administraciones Autonómicas y Locales, la utilización preferente de los recursos hídricos de mayor calidad para su empleo en abastecimientos.
- ❖ Asimismo, se promoverá la colaboración entre las Administraciones públicas y las asociaciones representativas de empresarios y trabajadores, para la recuperación y utilización del agua en circuito cerrado en usos industriales

El 7 de diciembre de 2007 el Consejo de Ministros aprobó el nuevo Real Decreto 1620/2007, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas en España. Con esta nueva disposición legal se introducen una serie de

medidas destinadas establecer el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas en España.

La reutilización de las aguas es, según la definición del propio Real Decreto 1620/2007, “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 vertido y a los necesarios para alcanzar la calidad requerida en función de los usos que se vaya a destinar”.

Esta nueva disposición legal para regular la reutilización de las aguas depuradas en España, responde al firme compromiso de la Dirección General del Agua para poner en marcha las medidas que permitan maximizar la disponibilidad de un recurso cada vez más escaso, en las condiciones que cada uno de los usos contemplados requiera.

Con esta norma se da cumplimiento al artículo 109.1 del Real Decreto Legislativo 1/2001 por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas, en el que se indica la necesidad de regular las condiciones básicas para la reutilización de las aguas, precisando la calidad exigible a las aguas depuradas según los usos previstos.

El nuevo Real Decreto de reutilización de aguas depuradas introduce los mecanismos necesarios para regular esta nueva posibilidad de aprovechamiento de los recursos hídricos. Se determinan los requisitos necesarios para poder utilizar aguas regeneradas, los procedimientos para obtener la concesión y autorización, así como los usos posibles con sus criterios de calidad correspondientes.

El Real Decreto 1620/2007 se estructura en cuatro capítulos, once artículos y dos anexos.

- ❖ El Capítulo I se centra en una serie de disposiciones generales relativas al objeto (Artículo 1), definición de conceptos (Artículo 2) y régimen jurídico de la reutilización (Artículo 3).

Tal y como establece el artículo 3, la reutilización de las aguas procedentes de un aprovechamiento requerirá concesión administrativa como norma general. Sin embargo, en aquellos casos en que la reutilización sea solicitada por el titular de una autorización de vertido de aguas ya depuradas, se requerirá únicamente una autorización

administrativa, en la cual se establecerán las condiciones necesarias complementarias a las recogidas en la previa autorización de vertido.

En caso de que no coincidan en una misma persona, física o jurídica, la condición de primer usuario de las aguas y de titular de autorización, tendrá preferencia la solicitud de reutilización que hubiese presentado el titular de la autorización.

- ❖ El Capítulo II se dedica íntegramente a las condiciones básicas para la reutilización de las aguas depuradas, tanto en lo relativo a los usos admitidos como los criterios de calidad que es necesario cumplir para cada uno de ellos.

En cuanto a los usos admitidos, el Real Decreto contempla la reutilización de aguas regeneradas en una gran variedad de actividades. Se permite la reutilización para usos urbanos como el riego de jardines privados o la limpieza de calles, usos agrícolas como el riego de productos comestibles o cultivos leñosos, usos industriales mediante su utilización en aguas de proceso y limpieza o torres de refrigeración, usos recreativos como el riego de campos de golf y usos ambientales para la recarga de acuíferos, el riego de bosques o el mantenimiento de caudales mínimos. Los usos admitidos para las aguas regeneradas quedan establecidos en el anexo I A del Real Decreto.

El artículo 4 prohíbe expresamente la reutilización de aguas regeneradas en todos aquellos usos en los que puedan existir riesgos para la salud humana y para el medio ambiente, concretamente:

- Para el consumo humano, salvo situaciones de declaración de catástrofe en las que la autoridad sanitaria especificará los niveles de calidad exigidos a dichas aguas y los usos.
- Para los usos propios de la industria alimentaria, tal y como se determina en el artículo 2.1 b) del Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano, salvo lo dispuesto en el Anexo I.A.3.calidad 3.1c) para el uso de aguas de proceso y limpieza en la industria alimentaria.
- Para uso en instalaciones hospitalarias y otros usos similares.
- Para el cultivo de moluscos filtradores en acuicultura.
- Para el uso recreativo como agua de baño.

- Para el uso en torres de refrigeración y condensadores evaporativos, excepto lo previsto para uso industrial en el Anexo I.A.3.calidad 3.2.
- Para el uso en fuentes y láminas ornamentales en espacios públicos o interiores de edificios públicos.
- Para cualquier otro uso que la autoridad sanitaria considere un riesgo para la salud de las personas.

Dada la variedad de usos previstos a la hora de utilizar aguas regeneradas, ha resultado imprescindible introducir una serie de criterios de calidad adaptados a los distintos usos previstos. En este sentido, resulta lógico pensar que no pueden tener los mismos requisitos de calidad, las aguas regeneradas que vayan a destinarse a la limpieza del viario urbano, que las que vayan a utilizarse para regar productos comestibles en fresco.

El artículo 5 establece la necesidad de cumplir, en el punto de entrega, los criterios de calidad establecidos en el anexo I.A para cada uno de los usos. En el caso de que un agua regenerada, esté destinada a varios usos, serán de aplicación los valores más restrictivos de los usos previstos.

El titular de la concesión o autorización de reutilización de aguas es responsable de la calidad del agua regenerada y de su control, desde el momento en que las aguas depuradas entran en el sistema de reutilización, hasta el punto de entrega de las aguas regeneradas. Es el titular también el que debe sufragar los costes necesarios para adecuar la reutilización de las aguas a las exigencias de calidad vigentes en cada momento y responder permanentemente de dicha adecuación.

El usuario es responsable de evitar el deterioro de su calidad desde el punto de entrega hasta los lugares donde vaya a utilizarse. En este sentido la calidad de las aguas regeneradas es adecuada cuando el resultado del control analítico, realizado conforme a las frecuencias establecidas en el anexo I.B, cumpla con los requisitos establecidos en el anexo I.C.

- ❖ El Capítulo III está dedicado exclusivamente a los contratos de cesión de derechos sobre aguas regeneradas, a través de los cuales se permite, a los titulares de concesión de reutilización y a los titulares de la autorización complementaria, suscribir contratos de cesión de derechos de uso de agua.

Artículo 6. Características de los contratos de cesión de desechos sobre aguas regeneradas

❖ El Capítulo IV recoge el procedimiento administrativo necesario para la reutilización de aguas depuradas, ya sea por iniciativa pública o privada.

Artículo 7. La reutilización de aguas a través de iniciativas o planes de las Administraciones Públicas

Artículo 8. Procedimiento para obtener la concesión de reutilización.

Artículo 9. Procedimiento para obtener la autorización de reutilización

Artículo 10. Procedimiento para quien no es concesionario de la primera utilización ni titular de la autorización de vertido

Artículo 11. Disposiciones comunes a la concesión y autorización de reutilización de aguas

Por último el anexo I se centra en los requisitos de calidad exigibles a cada uso en la reutilización de aguas regeneradas, mientras que el anexo II contiene los impresos necesarios para la solicitud de concesión o de autorización de reutilización de aguas.

Real Decreto 43/2008, de 12 de febrero, regulador de las condiciones de implantación y funcionamiento de campos de golf en Andalucía, modificado por el Decreto 309/2010, de 15 de junio

❖ Capítulo II. Disposiciones generales

Artículo 8. Suficiencia de recursos hídricos.

Los campos de golf deberán ser regados con aguas regeneradas de conformidad con los condicionantes y requisitos establecidos en la normativa vigente sobre la reutilización de aguas depuradas. No obstante, cuando no exista caudal suficiente de agua residual disponible, el organismo de cuenca podrá conceder o autorizar otros recursos hídricos según lo dispuesto en el Plan Hidrológico de cuenca.

### **3 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

En este trabajo se pretende determinar la viabilidad de implantar un sistema de reutilización de aguas regeneradas en Huelva. En concreto se estudió la posibilidad de reutilizar el agua residual depurada proveniente de las EDARs de El Rompido y Ayamonte para regar los campos de golf que hay en cada zona.

La implantación de estos sistemas de reutilización tiene como objetivos principales; aumentar la disponibilidad de agua en la zona de Huelva, y mejorar la calidad ambiental.

Hoy en día la existencia de normativas que reglamentan la reutilización para los distintos fines tanto en el ámbito de la comunidad Europea como en España en particular, hace más factible llevar a cabo planes de reutilización de aguas depuradas.

#### **3.1 PLAN GENERAL DE ACCIONES**

El plan general de acciones de la presente investigación, se compone fundamentalmente de las siguientes etapas:

- Revisión bibliográfica.
- Metodología experimental; propuesta de reutilización de aguas residuales para campos de golf en Huelva.

A la hora de seleccionar el caso objeto de estudio, se ha limitado la búsqueda en Huelva por cuestión de cercanía física, en concreto la EDARs de Ayamonte y de El Rompido.

Conscientes de las limitaciones hidrológicas en esta zona y para preservar el magnífico entorno natural de Huelva, playas, marismas, ríos... los onubenses deberían empezar a plantearse la regeneración de aguas.

El objetivo del proyecto es reutilizar el agua de ambas depuradoras en el riego de varios campos de golf que hay en la zona. Se ha escogido este uso debido a que el empleo de los recursos hídricos suele ser el aspecto más polémico de todo campo de golf

La metodología experimental se ha desarrollado, teniendo como punto de partida que el efluente que va a ser reutilizado procede de un tratamiento secundario biológico, siendo

la finalidad caracterizar dicho efluente con distintos parámetros de control que serán comentados oportunamente.

Con las conclusiones extraídas de la investigación bibliográfica, y con los datos experimentales facilitados por GIAHSA se podrá establecer una base para una propuesta de reutilización de agua regenerada para campos de golf de la provincia de Huelva.

### *3.1.1 SELECCIÓN DE PLANTAS DEPURADORAS*

Con el objetivo de conocer la calidad del efluente secundario, se han elegido dos plantas depuradoras.

- EDAR Ayamonte.
- EDAR Rompido.

### *3.1.2 SELECCIÓN DE PARÁMETROS CONTROL*

Los parámetros facilitados por GIAHSA fueron; pH, conductividad, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO), sólidos en suspensión, aceites y grasas, detergentes, nitrógeno total, fósforo total, Carbono o

Orgánico Total (COT). Con estos parámetros de control definidos se podrán valorar con fiabilidad la calidad del agua residual depurada.

### *3.1.3 SELECCIÓN DE CONSUMIDORES DE AGUA REGENERADA*

Se han seleccionado como consumidores del agua regenerada los campos de golf de la zona, en total, son cuatro, dos en Ayamonte: Club de Golf Isla Canela, Puente Esury Golf Club, y dos en Cartaya; Club de Golf El Rompido y Nuevo Portil Golf.



### **3.2 PLAN DE ENSAYO**

La metodología seguida para realización del estudio de viabilidad se resume brevemente en los siguientes puntos:

1. Se estudiaron las plantas depuradoras de Ayamonte y El Rompido (situación, descripción de las EDARs).
2. Se analizó la calidad de agua de cada EDAR.
3. Se estudiaron los campos de golf de Ayamonte y EL Rompido.
4. Se analizó la viabilidad y la calidad requerida para el uso elegido.
5. Se estudiaron los tratamientos avanzados para conseguir la calidad adecuada.

# **MATERIALES Y MÉTODOS**

## **4 MATERIALES Y MÉTODOS**

### **4.1 FUENTES DE AGUA RESIDUAL**

GIAHSA gestiona las EDARs de la zona de costa con ubicación en Ayamonte, Isla Cristina, La Antilla, El Rompido, Punta Umbría y Mazagón y las del interior, con vertido hacia el Río Tinto son las de Moguer y San Juan del Puerto.

Antes de empezar a describir las instalaciones de las EDARs objeto de estudio, se aclararán algunos aspectos y se explicarán brevemente los diferentes sistemas utilizados en el tratamiento de aguas residuales, que se pueden clasificar, en función de una serie de criterios:

1. Según el medio de eliminación de los contaminantes:
  - Físicos. Son métodos de tratamiento en los que predominan los fenómenos físicos. Desbaste, desarenado, desengrasado, triturado, sedimentación y flotación.
  - Físico-Químicos. En estos procesos la eliminación de contaminantes se efectúa mediante la adición de productos químicos. Coagulación-floculación, neutralización, oxidación y reducción.
  - Biológicos. En este caso se eliminan los contaminantes a través del metabolismo biológico.
  
2. Según el tipo y/o fase de depuración:
  - Pretratamiento. El objetivo de esta fase es eliminar los sólidos gruesos, tanto orgánicos como inorgánicos, aceites y grasas que arrastra el agua residual, de forma que se reduzca el deterioro que suponga la introducción de este tipo de componentes en el resto del proceso e instalación
  - Tratamiento Primario. Es el proceso o conjunto de procesos que permite separar las partículas en suspensión no retenidas en el pretratamiento, su objetivo es romper el estado coloidal de las partículas, formando flóculos de gran tamaño, de manera que decanten más rápidamente mediante sedimentación.

- Tratamiento Secundario. Incluye procesos biológicos, donde un cultivo microbiológico, se encarga de oxidar la carga contaminante influente, principalmente materia orgánica, sólidos en suspensión, nitrógeno, y fósforo, formando fango biológico.
- Tratamiento Terciario. Su función es la de eliminar restos de contaminantes químicos y biológicos, que no se hayan eliminado en los tratamientos anteriores, de forma que la calidad del efluente aumente.

#### **4.1.1 DESCRIPCIÓN EDAR DE AYAMONTE**

Dada su ubicación en el estuario del río Guadiana, podríamos destacar el propio entorno de la desembocadura como paraje. Seguidamente a una abundante masa boscosa, formada principalmente por pinos piñoneros y eucaliptos, se unen unas marismas que casi rodean la población. Estas marismas, denominadas "zaperas", poseen una gran biodiversidad, existiendo algunas especies autóctonas en vías de extinción. Las marismas forman "caños", que son pequeños canales naturales que las recorren y, serpenteando, rodean Ayamonte formando una densa trama. Se debe hacer mención a las playas de Isla Canela y de la barriada Punta del Moral. Finalmente, el Paraje Natural Marismas de Isla Cristina, de interés biológico, fue declarada como "zona vulnerable" por la Junta de Andalucía según el Decreto 36/08 de 5 de Febrero.

La EDAR de Ayamonte está situada en la costa de la provincia de Huelva, y trata las aguas residuales procedentes de todo el núcleo de Ayamonte, Isla Canela, Punta del Moral y parte de Isla Cristina. Es una zona turística, por lo que la EDAR tiene que estar preparada para importantes cambios de caudal por estacionalidad de población. Fue diseñada para tratar una población equivalente de 25.000 habitantes en temporada baja, pasando a tratar 50.000 habitantes equivalentes en temporada alta. En la actualidad trata una población equivalente media de 28.000 habitantes al día, llegando a una población equivalente diaria en época de máxima carga (agosto) de 47.805, con un caudal medio diario de entre 5.515 y 9.000 m<sup>3</sup> según la época del año.

Se encuentra configurada a modo de Aireación Prolongada, con dos líneas de tratamiento de aguas, con eliminación de nitrógeno incorporada. De momento,

únicamente trabaja una línea de aguas, incluso en verano, época en la que funciona perfectamente a pesar de trabajar en algunos momentos a un 150% de su capacidad.

A continuación describiremos detalladamente todos los procesos realizados en esta EDAR objeto de estudio.

### Línea de aguas

#### - Pretratamiento

Toda el agua que se recibe en la EDAR de Ayamonte, se somete a un pretratamiento, donde a través de unas rejillas, se eliminan los sólidos de gran tamaño que ha arrastrado el agua residual hasta la estación. Es lo que se conoce como desbaste y tamizado. Este proceso es fundamental si se quiere evitar que estos sólidos puedan provocar daños irreparables en el resto de los procesos. A continuación el agua residual que se recibe es sometida a un proceso de desarenado y desengrasado. Tras el pretratamiento, el agua pasa directamente al tratamiento secundario sin pasar por el primario.

#### - Tratamiento secundario

El tratamiento secundario es por fangos activos. El agua resultante de la fase anterior es introducida en un reactor biológico con zona anóxica en cabecera y posterior zona aireada mediante un sistema de turbinas, donde un cultivo microbiológico, criado de forma natural, se encarga de oxidar la carga contaminante del influente, formando nuevos microorganismos. Este sistema de aireación mediante turbinas favorecerá los procesos de biooxidación.

El conjunto de microorganismos componen el fango biológico que, mediante una decantación en un decantador estático, se separa del agua. Una parte de los fangos serán recirculados para mantener el cultivo del reactor y la otra parte pasa al tratamiento de los fangos.

#### - Tratamiento terciario

El tratamiento terciario, consiste en un proceso de nitrificación-desnitrificación. En un efluente de aguas residuales urbanas, el nitrógeno se presenta principalmente como nitrógeno orgánico o amoniacal (20% de la DBO<sub>5</sub>) y, en

una proporción muy inferior, nitritos y nitratos. En los dos primeros casos, para su eliminación, el nitrógeno reducido se convierte en nitrito y, posteriormente, en nitrato (nitrificación), todo ello en presencia de oxígeno. Posteriormente, mediante reacciones metabólicas anóxicas, en las que se utiliza el oxígeno asociado a los nitratos, se produce nitrógeno gas, que se elimina a la atmósfera. El proceso de nitrificación se realiza mediante la acción oxidante de las bacterias *Nitrosomonas* y *Nitrobacter*.

En la depuradora de Ayamonte se emplea para la desnitrificación los dos procesos nitrificación-desnitrificación; uno primero en presencia de oxígeno para la nitrificación en una zona aireada y un segundo en ausencia de oxígeno para la desnitrificación en zona anóxica.

A modo de resumen, en esta planta de Ayamonte, el agua residual tras pasar por una zona de desbaste, desarenado y desengrasado, es introducida en un reactor biológico con zona anóxica y posterior zona aireada mediante turbinas, donde la carga contaminante presente en el agua residual es transformada en fango biológico, mediante un proceso de biooxidación de la materia orgánica del medio y la transformación del nitrógeno presente en el agua residual, mediante el proceso alternante de nitrificación-desnitrificación.

Posteriormente lo que se conoce como licor mezcla presente en el reactor pasa a formar parte de un decantador estático, donde se deja sedimentar por gravedad, separando el fango biológico de un agua clarificada, mediante un proceso de separación sólido-líquido. Asimismo, del fango biológico almacenado en el decantador, una parte se recircula de nuevo al reactor biológico con la finalidad de mantener la cantidad de cultivo microbiano necesaria para descontaminar el agua, pasando el resto a formar parte del tratamiento de fangos. Por otro lado, la eliminación del nitrógeno presente en el agua residual, es también favorecida por la recirculación de licor mezcla desde la zona aireada a la anóxica del reactor.

#### **4.1.2 DESCRIPCIÓN EDAR DE EL ROMPIDO**

El Rompido se asienta en la desembocadura del río Piedra, formándose una playa virgen y un parque natural conocido como la flecha del Rompido. Nuevo Portil goza de varios kilómetros de playa que están rodeadas de pinos y enebros.

La EDAR de El Rompido está situada en la costa de la provincia de Huelva, y trata las aguas residuales procedentes de los núcleos urbanos de las playas de Cartaya (El Rompido y Nuevo Portil). La instalación está dimensionada para sanear un máximo de 21.000 habitantes equivalentes, y puede tratar un caudal medio de 3.000 m<sup>3</sup>/hora aproximadamente.

##### Línea de aguas

###### - Pretratamiento

En la EDAR del Rompido, al igual que en la de Ayamonte, hay un pretratamiento que incluye reja de desbaste, así como desarenador y desengrasador por microburbujas de aire.

###### - Tratamiento secundario

El tratamiento secundario biológico es mediante fangos activados, de la misma manera que en Ayamonte, implementándose el proceso biológico en una sola línea de las dos disponibles. El proceso queda configurado a modo de aireación prolongada; el agua entra en cuba de aireación, oxigenada y agitada mediante una única turbina, donde se pone en contacto con el licor mezcla. La separación sólido/líquido se realiza en un decantador secundario para sin más verter el efluente. Mediante la recirculación y purga de fangos desde el decantador se regula la concentración de microorganismos del reactor.

El vertido de aguas residuales de Ayamonte y Rompido (Figura 1) se realiza mediante una tubería o un emisario submarino, que son conducciones cerradas que llevan, mediante un sistema de impulsión, las aguas residuales previamente tratadas hasta su inyección a más de 500 metros.



Figura 1. Vertidos de aguas residuales en Huelva

#### 4.1.3 CALIDAD DE LAS AGUAS RESIDUALES DEPURADAS

En primer lugar, se expondrá la normativa en cuanto a la calidad que se exige al agua residual tratada para su vertido, para posteriormente comparar y comentar los resultados de las EDARs elegidas en este estudio.

Según el **Anexo I del Real Decreto 509/1996, de 15 de marzo, de desarrollo del Real Decreto ley 11/1995, de 28 de diciembre**, por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas. (BOE núm. 77, de 29 de marzo de 1996).



## Anexo I.

### Requisitos de los vertidos de aguas residuales

**Cuadro 1**

**Requisitos para los vertidos procedentes de instalaciones de tratamiento de aguas residuales urbanas. Se aplicará el valor de concentración o el porcentaje de reducción.**

Parámetros	Concentración	Porcentaje mínimo de reducción (1)	Método de medida de referencia
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) (2)	25 mg/L O <sub>2</sub>	70-90. 40 de conformidad con el apartado 3 del artículo 5 <u>Real Decreto-ley 11/1995</u> (3)	Muestra homogeneizada, sin filtrar ni decantar. Determinación del oxígeno disuelto antes y después de cinco días de incubación a 20 °C ± 1 °C, en completa oscuridad. Aplicación de un inhibidor de la nitrificación.
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	125 mg/L O <sub>2</sub>	75	Muestra homogeneizada, sin filtrar ni decantar. Dicromato potásico.
Sólidos en suspensión(SS)	35 mg/L (4). 35 de conformidad con el apartado 3 del art. 5 <u>R.D-L 11/95</u> (más de 10.000 h-e) (3). 60 de conformidad con el apartado 3 del art. 5 <u>R.D-L 11/95</u> (de 2.000 a 10.000 h-e) (3)	90 (4). 90 de conformidad con el apartado 3 del art. 5 <u>R.D-L 11/95</u> (más de 10.000 h-e) (3). 70 de conformidad con el apartado 3 del art. 5 <u>R.D-L 11/95</u> (de 2.000 a 10.000 h-e) (3)	Filtración de una muestra representativa a través de una membrana de filtración de 0,45 micras. Secado a 105 °C y pesaje. Centrifugación de una muestra representativa (durante cinco minutos como mínimo, con una aceleración media de 2.800 a 3.200 g), secado a 105 °C y pesaje.

(1) Reducción relacionada con la carga del caudal de entrada.

(2) Este parámetro puede sustituirse por otro: carbono orgánico total (COT) o demanda total de oxígeno (DTO), si puede establecerse una correlación entre DBO5 y el parámetro sustituto.

(3) Se refiere a los supuestos en regiones consideradas de alta montaña contemplada en el apartado 3 del artículo 5 del Real Decreto-ley 11/1995, de 28 de diciembre.

(4) Este requisito es optativo.

Los análisis de vertidos procedentes de sistemas de depuración por lagunaje se llevarán a cabo sobre muestras filtradas; no obstante, la concentración de sólidos totales en suspensión en las muestras de aguas sin filtrar no deberá superar los 150 mg/L.

## Cuadro 2

**Requisitos de los vertidos procedentes de instalaciones de tratamiento de aguas residuales urbanas realizados en zonas sensibles cuyas aguas sean eutróficas o tengan tendencia a serlo en un futuro próximo. Según la situación local, se podrá aplicar uno o los dos parámetros. Se aplicarán el valor de concentración o el porcentaje de reducción. Redactado de conformidad con el Real Decreto 2116/1998, de 2 de octubre, por el que se modifica el Real Decreto 509/1996, de 15 de marzo, de desarrollo del Real Decreto-ley 11/1995, de 28 de diciembre, por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas.**

Parámetros	Concentración	Porcentaje mínimo de reducción (1)	Método de medida de referencia
Fósforo total	2 mg/L P (de 10.000 a 100.000 h-e). 1 mg/L P (más de 100.000 h-e)	80	Espectrofotometría de absorción molecular.
Nitrógeno total (2)	15 mg/L N (de 10.000 a 100.000 h-e). (3) 10 mg/L N (más de 100.000 h-e) (3)	70-80	Espectrofotometría de absorción molecular.

(1) Reducción relacionada con la carga del caudal de entrada.

(2) Nitrógeno total equivalente a la suma del nitrógeno Kjeldahl total (N orgánico y amoniacal), nitrógeno en forma de nitrato y nitrógeno en forma de nitrito (NO).

(3) Estos valores de concentración constituyen medias anuales según el punto 3 del apartado A) del anexo III. No obstante los requisitos relativos al nitrógeno pueden comprobarse mediante medias diarias cuando se demuestre, de conformidad con el apartado A) 1 del anexo III, que se obtiene el mismo nivel de protección. En ese caso la media diaria no deberá superar los 20 mg/L N total para todas las muestras,

*cuando la temperatura del efluente del reactor biológico sea superior o igual a 12 °C. En sustitución del requisito relativo a la temperatura, se podrá aplicar una limitación del tiempo de funcionamiento que tenga en cuenta las condiciones climáticas regionales.*

Los datos facilitados por GIAHSA en cuanto a sus parámetros de control de vertido fueron los siguientes ([Tabla 4a](#) y [4b](#)):

Mes	ENTRADA (ppm)						SALIDA (ppm)						RENDIMIENTOS (%)					
	DBO	DQO	S-S-	NT	P	COT	DBO	DQO	S-S-	NT	P	COT	DBO	DQO	S-S-	NT	P	COT
Enero	220,00	398,50	216,00	20,65	6,78	80,00	6,00	29,50	21,55	8,28	2,95	18,00	97,27	92,60	90,02	59,91	56,48	77,50
Febrero	260,00	525,00	353,00	19,11	4,77	118,00	27,00	105,50	27,00	8,67	2,06	22,50	89,62	79,90	92,35	54,61	56,72	80,93
Marzo	280,00	588,00	402,00	18,89	6,20	133,50	28,50	62,00	36,65	12,77	3,04	24,50	89,82	89,46	90,88	32,38	51,01	81,65
Abril	160,00	325,50	125,50	37,15	6,34	77,00	13,00	46,50	22,50	20,07	3,53	31,50	91,88	85,71	82,07	45,98	44,24	59,09
Mayo	165,00	305,00	204,00	39,47	5,72	82,50	10,50	26,00	24,50	25,52	3,58	15,50	93,64	91,48	87,99	35,33	37,41	81,21
Junio	200,00	456,50	166,00	52,86	7,97	109,00	27,50	64,00	34,25	20,85	4,21	26	86,25	85,98	79,37	60,57	47,22	76,15
Julio	345,00	688,00	290,00	57,88	9,42	147,07	11,50	31,00	34,25	19,08	4,70	27,31	96,67	95,49	88,19	67,03	50,11	81,43
Agosto	350,00	729,00	297,00	77,64	12,37	186,95	17,50	41,00	23,50	34,72	5,30	29,45	95,00	94,38	92,09	55,27	57,14	84,25
Septiembre	290,00	619,00	276,00	62,66	11,14	134,50	12,50	31,50	29,00	30,72	6,56	17,00	95,69	94,91	0,00	50,98	41,17	87,36
Octubre	160,00	398,00	120,50	54,25	8,08	74,50	39,00	99,50	77,50	33,37	7,52	41,00	75,63	75,00	35,68	38,49	6,93	44,97
Noviembre	225,00	481,00	135,00	53,43	7,90	78,50	24,50	68,50	52,50	21,16	5,05	25,00	89,11	85,76	61,11	60,40	36,08	68,15
Diciembre	170,00	352,00	169,00	44,42	7,50	82,00	18,00	49,00	34,50	20,70	3,69	28,50	89,41	86,08	79,59	53,40	50,84	65,24
<b>Media</b>	<b>235,42</b>	<b>488,79</b>	<b>229,50</b>	<b>44,87</b>	<b>7,85</b>	<b>108,63</b>	<b>19,63</b>	<b>54,50</b>	<b>34,81</b>	<b>21,33</b>	<b>4,35</b>	<b>25,52</b>	<b>91,66</b>	<b>88,85</b>	<b>84,83</b>	<b>52,47</b>	<b>44,59</b>	<b>76,51</b>

Tabla 4a. E.D.A.R. Ayamonte. DECLARACIÓN ANUAL DE VERTIDOS AÑO 2.008.

Mes	ENTRADA (ppm)					SALIDA (ppm)					RENDIMIENTOS (%)				
	DBO	DQO	S.S.	NT	P	DBO	DQO	S.S.	NT	P	DBO	DQO	S.S.	NT	P
Enero	205,00	418,00	233,00	21,07	7,76	10,50	17,50	12,60	13,61	4,42	94,88	95,81	94,59	35,40	43,05
Febrero	115,00	212,50	224,00	14,15	3,83	5,00	16,50	5,75	8,09	2,72	95,65	92,24	97,43	42,82	28,98
Marzo	215,00	421,00	188,00	23,20	9,38	5,50	10,00	10,00	8,58	5,60	97,44	97,62	94,68	63,03	40,24
Abril	210,00	400,00	158,00	33,23	5,49	8,50	12,00	12,15	15,21	3,46	95,95	97,00	92,31	54,23	36,88
Mayo	265,00	499,00	234,00	37,04	6,24	11,50	25,00	9,85	21,26	4,47	95,66	94,99	95,79	42,61	28,35
Junio	210,00	406,00	189,00	44,19	6,61	8,00	19,50	9,15	29,72	5,16	96,19	95,20	95,16	32,74	21,95
Julio	360,00	599,00	255,00	61,56	9,32	27,50	67,00	38,50	48,09	5,78	92,36	88,81	84,90	21,88	37,98
Agosto	205,00	403,00	169,00	70,23	8,83	19,50	51,50	31,90	46,90	5,87	90,49	87,22	81,12	33,22	33,58
Septiembre	185,00	379,00	180,00	48,47	6,84	11,50	53,00	13,35	35,99	4,88	93,78	86,02	92,58	25,75	28,72
Octubre	290,00	578,00	234,00	34,05	5,85	15,50	64,50	15,85	17,14	3,87	94,66	88,84	93,23	49,66	33,75
Noviembre	170,00	409,50	48,00	29,98	5,26	7,50	27,00	6,10	22,64	3,38	95,59	93,41	87,29	24,51	35,81
Diciembre	125,00	258,00	69,00	26,29	4,14	5,00	10,00	8,00	18,99	2,79	96,00	96,12	88,41	27,76	0,00
<b>Media</b>	212,92	415,25	181,75	36,95	6,63	11,29	31,13	14,43	23,85	4,37	94,70	92,50	92,06	35,46	34,12

Tabla 4b. E.D.A.R. EL Rompido. DECLARACIÓN ANUAL DE VERTIDOS AÑO 2.008.

La Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) es la cantidad de oxígeno necesaria para la oxidación de toda la materia orgánica “biodegradable” por medio de microorganismos aerobios. En el análisis de la DBO se debe poner la muestra de agua en condiciones óptimas para que sea consumida dicha materia orgánica. Para ello, se añade suficiente cantidad de microorganismos, aclimatados al agua a analizar, y nutrientes (sales minerales e inorgánicas) que favorecen el metabolismo de los microorganismos. La incubación se realiza en condiciones operativas definidas: pH neutro, 20°C, oscuridad y agitación.

La Demanda Química de Oxígeno (DQO) es la cantidad equivalente de oxígeno que consumirían las materias (orgánicas e inorgánicas) presentes en un agua al ser oxidadas a su mayor estado de oxidación. Para ello se utiliza como oxidante dicromato potásico en exceso, en medio ácido sulfúrico fuerte, en caliente, y en presencia de sulfato de plata, que actúa de catalizador, y de sulfato de mercurio para eliminar la interferencia del ión cloruro.

Los sólidos en suspensión son partículas que comprenden, principalmente, arena, arcilla, otros minerales, plancton, organismos microscópicos, etc. Tales partículas varían de tamaño desde aproximadamente 10 nm a 0,1mm de diámetro, aunque normalmente se considera que la materia en suspensión es aquella que no pasa a través de un filtro de 0,45  $\mu\text{m}$  de tamaño de poro.

En cuanto al nitrógeno total, su presencia en las aguas en exceso es causa de eutrofización.

El fósforo es, generalmente, el nutriente limitante para el crecimiento de algas, siendo por tanto la causa principal de la eutrofización de ríos, lagos y embalses.

## 4.2 CONSUMIDORES DEL AGUA REGENERADA

### 4.2.1 CALIDAD NECESARIA PARA RIEGO DE CAMPOS DE GOLF

En la *Tabla 5* aparecen los parámetros analíticos que suelen ser necesario y suficientes para evaluar la calidad de un agua para riego.

*Tabla 5.* Parámetros de calidad en agua de riego.

Parámetros de calidad	Unidad	Intervalo usual en agua de riego
Contenido de sales	μS/cm	0-3.000
Conductividad eléctrica	dS/m	0-3
Materia disuelta total	mg/L	0-2.000
Cationes y aniones	mg/L	0-400
Calcio	mg/L	0-60
Magnesio	mg/L	0-900
Sodio	mg/L	0-3
Carbonatos	mg/L	0-600
Bicarbonatos	mg/L	0-1.100
Cloruros	mg/L	0-1.000

Las normas que regulan el empleo de las aguas residuales hacen hincapié principalmente, en aspectos microbiológicos para garantizar la protección de la salud de los usuarios. Un adecuado cumplimiento de estas normas garantiza, sin lugar a dudas, la protección de aquellos. La normativa sobre el valor máximo admisible (VMA) de microorganismos en aguas regeneradas para el riego de campos de golf, se encuentra en Extracto del Real Decreto 1620/2007 que regula el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas (*Tabla 6*).

*Tabla 6.* Valor Máximo Admisible (VMA). Extracto del Real Decreto 1620/2007 que regula el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas.

Uso del agua previsto	Nematodos intestinales	<i>Escherichia coli</i>	Sólidos en suspensión	Turbidez	Otros criterios
4. Usos recreativos					
Calidad 4.1. a) Riego de campos de golf	1 huevo/L	200 UFC/100 mL	20 mg/L	10 UNT	Otros contaminantes contenidos en la autorización de vertido de aguas residuales: se deberá limitar la entrada de estos contaminantes al medio ambiente.

#### 4.2.2 NECESIDADES DE RIEGO PARA CAMPOS DE GOLF DE AYAMONTE Y EL ROMPIDO

Un dato fundamental es saber si con el consumo de agua de la población de Ayamonte y El Rompido es suficiente para cubrir las necesidades de riego de los campos de golf y así saber si este estudio sería viable y podría ser llevado a la práctica.

- ❖ Necesidad de riego de la superficie de los campos de golf.

En Ayamonte existen dos campos de golf, Isla Canela Golf y Costa Esury Golf Club.

Isla Canela Golf, es un campo con 18 hoyos y con una distancia media de 5.937 m, y 50 hectáreas. Costa Esury Golf Club posee un total de 36 hoyos y 110 hectáreas.

En El Rompido los dos campos de golf existentes son Club de Golf Rompido y Nuevo Portil Golf.

El Club de Golf El Rompido tiene en total 92 hectáreas y Nuevo Portil Golf, unas 46 hectáreas, aproximadamente.



A pesar de solicitarla información del consumo de agua en estos campos de golf, ésta fue facilitada, por lo que se optó por preguntar a una empresa de Sistemas de Riego (*Sistemas de Riego Huelva y AquaVerd*).

La información que obtuvimos en dicha empresa fue que las especies de hierba utilizadas consumen hasta 10.000 m<sup>3</sup>/ha año, a lo que hay que sumar la alta insolación y la elevada evapotranspiración en nuestra zona, por lo que se podría elevar hasta 15.000 m<sup>3</sup>/ha año. Según la misma empresa, la media de consumo de agua de un campo de golf estándar de 18 hoyos, 60 hectáreas, requeriría un consumo anual de 600.000 m<sup>3</sup>/año aproximadamente.

Por otro lado, según fuentes del Instituto Geológico y Minero de España, la media de consumo de agua de un campo de golf estándar de 18 hoyos está entre 1.500 y 2.000 m<sup>3</sup>/día, lo que supone entre 547.500 m<sup>3</sup>/año y 730.000 m<sup>3</sup>/año. Por lo que el valor estimado por (*Sistemas de Riego Huelva y AquaVerd*) se consideró válido y es el que se usará en adelante. La *Tabla 7* recoge la cantidad de agua que se necesitaría para satisfacer el riego de los campos de golf objetos del estudio.

*Tabla 7.* Consumo de agua de los Clubs de Golf.

<b>Clubs de golf</b>	<b>Isla Canela Golf</b>	<b>Costa Esury Golf Club</b>	<b>Club Golf Rompido</b>	<b>Nuevo Portil Golf</b>
<b>Hectáreas</b>	50	110	92	46
<b>Consumo (m<sup>3</sup>/año)</b>	500.000	1.100.000	920.000	460.000
<b>Consumo total (m<sup>3</sup>/año)</b>	1.600.000		1.380.000	

❖ Consumo de agua de la población

En la EDAR de Ayamonte, según datos de GIAHSA, el caudal medio de agua tratada es de unos 5.515 m<sup>3</sup>/día a 9.000 m<sup>3</sup>/día dependiendo de la época del año.

A partir de aquí se calculó la cantidad de agua tratada al año:

- 5.515 m<sup>3</sup>/ día x 365 días = 2.012.975 m<sup>3</sup>/año

- $9.000 \text{ m}^3 / \text{día} \times 31 \text{ días} = 279.000 \text{ m}^3/\text{mes}$  (julio y agosto)

En el caso de la EDAR de El Rompido, tiene un número de habitante que no supera los 1.600 durante la temporada baja, y en los meses de julio y agosto la población se multiplica, con una población estacional entre 5.984-7.585. El caudal medio diario de las EDAR del Rompido varía de 1.491-4.270  $\text{m}^3/\text{día}$ .

- $1.491 \text{ m}^3/\text{día} \times 365 \text{ días} = 544.215 \text{ m}^3/\text{año}$
- $4.270 \text{ m}^3 / \text{día} \times 31 \text{ días} = 132.370 \text{ m}^3/\text{mes}$  (julio y agosto)

#### 4.3 MÉTODOS AVANZADOS PARA LA OBTENCIÓN DE LAS CALIDADES MÍNIMAS PARA LA REUTILIZACIÓN

Puede haber varias combinaciones de tratamientos para que el agua residual atienda a los criterios de calidad exigidos para su reutilización. Si las EDARs incorporan un tratamiento biológico, y además tienen muy buenos resultados, el tratamiento terciario será suficiente con una filtración más o menos sofisticada, seguido de un tratamiento de desinfección.

Por todo ello, en este apartado vamos a resumir lo realizado hasta ahora en España y en el extranjero sobre estos tratamientos necesarios para reutilizar el agua y así poder llevar a cabo una elección del tratamiento más adecuado y eficaz para cumplir los objetivos de este trabajo.

Existen dos alternativas, como son los tratamientos fisicoquímicos que incluyen la coagulación, sedimentación y filtración de los sólidos en suspensión, y, por otra parte, las tecnologías basadas en la utilización de membranas de Microfiltración (MF), Ultrafiltración (UF) Nanofiltración (NF) y Osmosis Inversa (OI).

Ambas tecnologías requerirán, aunque por diferentes razones, la desinfección final del efluente mediante una adición de reactivos clorados, radiación ultravioleta u ozono.

## Filtración

La filtración a través de un lecho de arena se utiliza en el tratamiento de aguas residuales para reducir el contenido en materias en suspensión o como tratamiento previo a la aplicación de procesos de desinfección. Las características de este tratamiento nos llevan a pensar en estos sistemas como pretratamiento de las tecnologías de membrana, disminuyendo así la frecuencia de lavados al retirar materias en suspensión.

Con los filtros sobre arena se puede llegar a alcanzar reducciones de sólidos en suspensión del 50%, obteniendo agua con un valor inferior a los 20 mg/L y valores de turbidez en torno a los 3 UNT para agua residual tratada con secundario como influente, también hay una reducción importante de contaminación fecal, sin embargo no es capaz de reducir los huevos de nematodo (CEDEX, 2003), por lo que este sistema se puede catalogar como un estupendo pretratamiento para las tecnologías de membranas, o para los sistemas de desinfección.

Como alternativa a estos sistemas surge la filtración por tamizados (filtros de anilla), que permiten el tamaño del poro a valores que oscilan en torno a los 25 $\mu$ m. Con estos sistemas se busca garantizar la efectividad de los filtros de arena e incrementar al menos la eficacia en cuanto a la eliminación de huevos de nematodo.

## Tecnologías de membranas: microfiltración, ultrafiltración y ósmosis inversa

Estos sistemas emplean membranas con tamaños que oscilan entre las 0,1 $\mu$ m para la microfiltración y las 0,01 $\mu$ m para la ultrafiltración, pueden garantizar una total ausencia de bacterias en el efluente producido y por supuesto total ausencia de huevos nematodos. Igual eficacia se muestra con respecto a los parámetros físico-químicos, obteniendo una turbidez en torno a 0 UNT y ausencia casi total de materia particulada. Estos rendimientos se alcanzarán independientemente de la calidad del influente.

Independientemente de la buena calidad obtenida para los sistemas de membrana, ni la microfiltración, ni la ultrafiltración son efectivas para eliminar sustancias disueltas. Esta circunstancia puede afectar al uso del agua residual para inyección directa sobreacuíferos, presencia de altas concentraciones de metales pesados, o bien en aquellos casos en los que el agua a reutilizar no reúne las características agronómicas (conductividad iónica, riesgo de sodificación...). En estas circunstancias se exige un

tratamiento efectivo frente a las sales disueltas como puede ser la ósmosis inversa o la electrodiálisis.

Con la filtración se puede eliminar del 50 al 70 % de las materias en suspensión. Hoy en día los procesos de separación mediante membranas adquieren más importancia como alternativas de tratamiento terciario pudiéndose eliminar hasta el 90-95% de los sólidos en suspensión, y además se eliminará la gran mayoría de microorganismos patógenos como vemos en *Tabla 8*.

*Tabla 8.* Efectividad filtración/membranas (Fuente: Aqualia. Congreso Internacional de Medio Ambiente, 2007).

	SS (%)	Turbidez (%)	<i>E. coli</i> (%)	Nematodos (%)
<b>Filtración</b>	60-80	30-60	0,5-1,5	99
<b>Membranas</b>	90-95	90-95	Ausencia	Ausencia

La efectividad tanto de la microfiltración como de la ultrafiltración se recoge en la *Tabla 9*.

*Tabla 9.* Efectividad microfiltración/ultrafiltración (Fuente: Aqualia. Congreso Internacional de Medio Ambiente, 2007).

	Microfiltración	Ultrafiltración
SS permeado (mg/L)	<1	<1
Turbidez permeado (NTU)	<0,5	<0,5
DBO <sub>5</sub> permeado (mg/L)	<10	<5
<i>Escherichia coli</i> UFC/100mL ( sin cloración )	100	Ausencia
<i>Giardia</i> y <i>Cryptosporidium</i> (nº de Quistes/L)	Ausencia	Ausencia
Virus ( reducción unidades logarítmicas )	2-3	5-6
Nematodos intestinales(huevos/L)	Ausencia	Ausencia

Una aproximación de los costes de este tipo de instalaciones se puede ver en la [Tabla 10](#).

**Tabla 10.** Costes sistemas de Filtración (Fuente: Aqualia. Congreso Internacional de Medio Ambiente, 2007).

Con formato: Fuente: Cursiva

PROCESO	COSTE INSTALACIÓN (€/m <sup>3</sup> )	COSTE EXPLOTACIÓN (€/m <sup>3</sup> )
Filtración sobre lecho de arena	52-91	0,01-0,03
Microfiltración	195-358	0,05-0,07
Ósmosis inversa (membrana de acetato de celulosa)	163-208	0,29-0,36
Ósmosis inversa (membrana de poliamida aromática)	163-208	0,17-0,24
Electrodialisis (previo F-Q sin cal)	195-215	0,15-0,20

### Desinfección

Dentro de este campo podemos encontrar la cloración, la ozonización y la radiación ultravioleta (UV).

El cloro y sus derivados, está catalogado como uno de los mejores procesos de desinfección. Estas sustancias afectan a la permeabilidad de la célula, siendo este proceso importante en la inactivación y muerte de células bacterianas, así como de formas de resistencia de protozoos y helmintos. Su efectividad depende del pH y de la temperatura, siendo el tiempo de contacto fundamental para eliminar uno u otro patógeno. Sin embargo, el uso de cloro para desinfección del agua residual, precisa una baja concentración de materia orgánica si se desea realizar un buen tratamiento. A esto se unen los problemas derivados de la reacción con sustancias aminadas, que dan lugar a la formación de cloraminas (toxicidad de peces) y la potencial formación de trihalometanos (efectos cancerígenos) al reaccionar los compuestos de cloro con diferentes sustancias orgánicas y la presencia de cloro residual.

El ozono es un desinfectante mucho más potente que el cloro y presenta la ventaja de que no forma trihalometanos ni reacciona con compuestos aminados en el agua residual. Este compuesto se hidroliza en el agua formando radicales libres, que son los que presentarán la acción germicida. No se afecta por el pH y el tiempo de contacto para su acción es mucho menos que en el caso del cloro. Estos radicales libres afectan a la permeabilidad de la membrana celular, a la actividad enzimática, al material genético y a las proteínas, siendo por lo tanto muy efectivo frente a virus, bacterias y protozoos. Su efecto puede verse afectado por la presencia de sólidos en suspensión en el agua, sobre todo en el caso de los virus, por lo que será preciso eliminarlos con el mayor rendimiento posible para evitar incrementar las dosificaciones.

La radiación UV causa dimerización de la timina, afectando a la replicación del material genético y por lo tanto a la reproducción del patógeno. Su efecto no es igual para todos los patógenos precisando mayor o menor intensidad de radiación en función del microorganismo. Su efecto puede afectarse negativamente por la presencia de sólidos en suspensión, quedando los microorganismos que estén absorbidos sobre estos más protegidos que el resto. La turbidez puede afectar también a la efectividad del proceso desinfectante, así como el grosor de la lámina de agua, exigiendo que esta sea lo más delgada posible por la poca penetrabilidad de las radiaciones.

En las [Tabla 11](#) y [12](#) vemos las ventajas e inconvenientes de las distintas tecnologías de desinfección y el coste que conlleva cada una.

**Tabla 11.** Ventajas e inconvenientes sistemas de desinfección (Fuente: Aqualia. Congreso Internacional de Medio Ambiente, 2007)

Con formato: Fuente: Cursiva

CLORO		OZONO		RADIACIÓN UV	
Ventajas	Desventaja	Ventajas	Desventaja	Ventajas	Desventaja
-Germicida potente	-Depende del pH, Temperatura y tiempo de contacto  -Formación de cloraminas y THM	-Germicida potente  -No formación de subproductos	-Generación <i>in situ</i>  -Alto coste  -Se afecta por presencia de SS	-Germicida potente  -No formación de subproductos	- Alto coste, limpieza de lámparas  -Se afecta por presencia de SS, longitud de onda transmitancia, suministro eléctrico, grosor de lámina de agua

**Tabla 12.** Coste sistema de desinfección (Fuente: Aqualia. Congreso Internacional de Medio Ambiente, 2007)

Con formato: Fuente: Cursiva

PROCESO	COSTE INSTALACIÓN (€/m <sup>3</sup> )	COSTE EXPLOTACIÓN (€/m <sup>3</sup> )
Cloración (hipoclorito)	1-3	0,01
Cloración (cloro gas)	7-8	0,01
Ozonización	33-46	0,03-0,07
Rayos Ultravioleta	7-8	0,01-0,02

# **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**



## 5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El agua una vez tratada en las depuradoras de Ayamonte y El Rompido, puede volver a ser reutilizadas mediante tratamientos avanzados que permitan adaptar el vertido de las EDARs a las necesidades de los campos de golf circundantes (Campo de Golf de Isla Canela, Puente Esury, Club de Golf del Rompido y Nuevo Portil Golf).

La cantidad de agua utilizada para regar los campos de golf es siempre un aspecto muy criticado. El empleo de los recursos hídricos suele ser el aspecto más polémico de todo campo de golf, por las implicaciones medioambientales que posee sobre el entorno.

La viabilidad de la reutilización de aguas residuales depende fundamentalmente de la calidad original de las aguas de saneamiento. En el caso de zonas poco industrializadas, como es el caso de Ayamonte y El Rompido, es más fácil un uso posterior del vertido.

Es cierto que para este uso el agua regenerada requiere, antes de su aplicación, la valoración de su calidad, estudiando parámetros tales como el contenido en sales, sólidos en suspensión, concentración de microorganismos patógenos, nutrientes y compuestos orgánicos, es decir, hay que tener un control exhaustivo sobre todos los elementos del agua.

Como se ha visto, en España ya existe la normativa que regula el empleo de las aguas regeneradas. El 7 de diciembre de 2007 apareció publicado en el BOE el Real Decreto 1620/2007, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas.

Según la normativa del Real Decreto 509/1996, de 15 de marzo, de desarrollo del Real Decreto Ley 11/1995, de 28 de diciembre, tanto la EDAR de Ayamonte como la de El Rompido cumplen perfectamente los requisitos de los vertidos de aguas residuales.

El rendimiento en cuanto a la DBO de entrada y de salida es bueno, de un 91,66% en la EDAR de Ayamonte y de un 94,70% en la de El Rompido, siendo el porcentaje mínimo de reducción según Real Decreto 509/1996, de 15 de marzo del 70-90%

El rendimiento de DQO de ambas depuradoras también es aceptable, 88,5 % en la EDAR de Ayamonte y 92,5%, en la de El Rompido siendo según el Real Decreto el porcentaje mínimo de 70%.

En cuanto al rendimiento de sólidos en suspensión, ofrece valores de 84,83% en Ayamonte y 92,06% en El Rompido, resultados ambos bastante altos

Se observa también que en la depuradora de Ayamonte se reduce aproximadamente a la mitad el nitrógeno total y el fósforo, siendo el rendimiento de 52,47% y 44,59%, respectivamente. En el caso de la EDAR de El Rompido el rendimiento es de 35,46% para el nitrógeno total y de 34,12 % para el fósforo.

El nitrógeno y fósforo son elementos nutritivos esenciales para el crecimiento de las plantas, y su presencia en el agua regenerada aumentará su valor para el riego.

Se aprecia que tanto la EDAR de Ayamonte como la de El Rompido obtienen resultados buenos en cuanto a la DBO, DQO y SS, por lo que esto será muy positivo a la hora de llevar a cabo un proyecto de reutilización y hará que pueda ser un proyecto viable.

Para llevar dicho proyecto es necesario obtener aproximadamente como mínimo 1.600.000 m<sup>3</sup>/año de agua depurada para el riego de los campos de golf de la zona de Ayamonte y 1.380.000 m<sup>3</sup>/año para la zona de El Rompido.

El consumo de agua de la población de Ayamonte es constante y suficiente para el riego que requieren los campos de golf, unos 2.012.975 m<sup>3</sup>/año y los meses de verano julio y agosto 279.000 m<sup>3</sup>/mes. Con estos resultados se concluye que es posible un proyecto de reutilización del agua de la EDAR de Ayamonte para regar los campos de golf de la población, con todas las ventajas que esto conlleva.

En el caso de El Rompido, no vamos a tener una cantidad de agua constante y suficiente durante todo el año (544.215 m<sup>3</sup>/año). Por lo que además de usar el agua procedente de la EDAR será necesario agua de abastecimiento para cubrir todas las necesidades del campo de golf.

A pesar de los buenos resultados en cuanto a los parámetros anteriores, el agua resultante de las EDARs posee aún materia orgánica disuelta suficiente para dificultar su empleo en la reutilización prevista, por lo que será necesario implantar un tratamiento terciario, y que esta mejora sea suficiente para poder reutilizar el agua.

Las tecnologías para la recuperación de las aguas residuales deben conseguir los requisitos de calidad establecidos en la normativa Real Decreto 1620/2007. La eliminación de parámetros físico-químicos, tales como sólidos en suspensión y turbidez

(SS de 20mg/L, Turbidez 10UNT), y cumplir con requerimientos microbiológicos basados en análisis de huevos de nematodos (1 huevo/L) y *E. coli* (200 UFC/100mL).

Con la filtración se puede eliminar del 50 al 70% de las materias en suspensión. Hoy en día los procesos de separación mediante membranas adquieren más importancia como alternativas de tratamiento terciario pudiéndose eliminar hasta el 90-95% de los sólidos en suspensión y además se eliminaría la gran mayoría de microorganismos patógenos.

No es apreciable una diferencia importante entre procesos de membrana de microfiltración y ultrafiltración, para la calidad del efluente obtenido, en función de los parámetros comentados. Donde sí encuentra una sustancial diferencia es en la menor efectividad de los sistemas de microfiltración en eliminación de virus y el mayor coste económico del sistema de ultrafiltración.

Para cumplir con los requisitos de la normativa en cuanto a la propuesta de regar los campos de golf con agua regenerada sería suficiente con una microfiltración o ultrafiltración asociada, por supuesto, a un sistema de desinfección posterior. No se necesitaría una filtración como pretratamiento para los sistemas de membrana ya que el efluente de la depuradora contiene niveles bajo de materias en suspensión

Con la ósmosis inversa y la electrodiálisis aumentaría mucho los costes, y obtendríamos una calidad de agua superior a la que se necesita.

La ozonización puede ser el tratamiento más costoso pero es el más utilizado hoy en día, ya que es el presenta más ventaja y mejores resultados. El principal problema de esta aplicación es que se trata de una sustancia poco transportable, lo cual obliga a su generación *in situ*, suponiendo un alto coste tanto de primera instalación como de explotación y mantenimiento.

# **CONCLUSIONES**

## 6 CONCLUSIONES

La reutilización del agua es una de las opciones que contribuyen a una gestión más racional de este recurso.

Habría que plantearse si los esfuerzos, tanto humanos como económicos, en los que se incurre para purificar las aguas residuales no hacen más lógica la reutilización que su vertido.

El éxito de la reutilización de las aguas regeneradas está en función de factores tecnológicos, económicos, sociales y legales. La adecuada conjunción de estos elementos permitirá tanto en la EDAR de Ayamonte como en la de El Rompido hacer posible un proyecto de reutilización.

Una inadecuada gestión, malas prácticas o simplemente la ignorancia sobre los mecanismos actuación de los agentes desinfectantes pueden provocar problemas no deseados. Es por ello que una correcta desinfección en la EDAR resulta fundamental. Ello garantizará el uso y el mantenimiento de las indudables ventajas que proporciona el empleo de las aguas regeneradas en los campos de golf.

Los resultados obtenidos en las aguas depuradas en cuanto a la DBO, DQO y SS son buenos, lo cual es muy positivo a la hora de llevar a cabo un proyecto de reutilización. Por lo que con un adecuado tratamiento avanzado posterior de filtración y desinfección, se podrá llevar a cabo dicho proyecto de reutilización, y hará que pueda ser un proyecto viable.

El consumo de agua de la población de Ayamonte es constante y suficiente para el riego que requieren los campos de golf. En el caso de El Rompido será necesario agua de abastecimiento para cubrir todas las necesidades del campo de golf.

Las limitaciones del uso de las aguas residuales, no están en el factor tecnológico, donde los tratamientos existentes pueden llegar a alcanzar valores de concentración por debajo de los admisibles para las aguas potables, sino en el factor económico por el coste de aplicación de las técnicas necesarias.

## 7 BIBLIOGRAFÍA

- ✓ T. Asano. Wastewater reclamation and reuse. Technomic Publishing Co, Inc. Lancaster, Pennsylvania, (1998).
- ✓ USEPA. Guidelines for water reuse. Manual. U. S. Environmental Protection Agency. Agency for International Development. 247 pp. Washington DC. EPA/625/R-92/004. (2004).
- ✓ «Analysis of wastewater for use in agriculture» Ayres & Mara O.M.S. (1996)
- ✓ Organización Mundial de la Salud (OMS). Guías sobre el Uso Seguro de Aguas Residuales en la Agricultura y Acuicultura (1989).
- ✓ Mujeriego, R. La gestión del agua en el sur de California. Ambienta, no. 38, noviembre de 2004, pág. 31-38 (2004).
- ✓ Mujeriego, R. «Regeneración de aguas residuales: avances tecnológicos». Química e Industria. Febrero 2000. pp. 98-104.
- ✓ Mujeriego, R. Técnicas de recuperación, distribución y reutilización de las aguas depuradas. (1997).
- ✓ Mujeriego, R. Manual Práctico de Riego con Agua Residual Municipal Regenerada. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona. (1990).
- ✓ Mujeriego, R. La reutilización, la regulación y la desalación de agua. Ingeniería y Territorio, No. 72. ISSN: 1695-9647. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Madrid (2005).
- ✓ Calidad del agua. Detección y recuento de Escherichia coli y de bacterias coliformes. (ISO 9308-1:2000)

- ✓ California Health Laws Related to Recycled Water. June 2001 Edition “The Purple Book”.
- ✓ Castillo, A. "Reutilización aguas residuales: Criterios para la evaluación sanitaria de proyectos de reutilización directa de aguas residuales urbanas depuradas". Ed. A. Castillo (CSIC).ISBN: 84-605-1554-0. (1994).
- ✓ Aqualia. Congreso Internacional de Medio Ambiente, 2007.
- ✓ Metcalf & Eddy. Ingenierías aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización. Ed. McGraw-Hill (1998).
- ✓ Calidad y tratamiento del agua. Manual de suministro de agua comunitaria. American Water Works Association. Ed. McGraw-Hill Profesional (2002).

#### Páginas Web

- ✓ <http://www.mma.es/>  
Web del Ministerio de Medio Ambiente
- ✓ <http://www.cedex.es/>  
Web del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas
- ✓ <http://local.es.eea.eu.int/>  
Web de la EEA. Agencia Europea del Medio Ambiente.
- ✓ <https://www.giahsa.com/>  
Web de GIAHSA
- ✓ [https://www.igm.es /](https://www.igm.es/)  
Web de Instituto Geológico y Minero de España

### Legislación

- ✓ Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, por el que se aprueba el Reglamento del Dominio Público Hidráulico, que desarrolla los títulos preliminar I, IV, V, VI y VII de la Ley 29/1985, de 2 de agosto, de Aguas
  
- ✓ RESOLUCIÓN de 2 de abril de 2002, de la Secretaría General de Medio Ambiente, sobre la evaluación de impacto ambiental del proyecto "Conexión de la red de agua desalada de Arucas con la red de impulsión de aguas depuradas de Cardones, término municipal de Arucas (Gran Canaria)", de la Dirección General de Desarrollo Rural del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.
  
- ✓ ORDEN de 13 de agosto de 1999 por la que se dispone la publicación de las determinaciones de contenido normativo de los Planes Hidrológicos de Cuenca del Guadiana I y Guadiana II, aprobados por el Real Decreto 1664/1998, de 24 de julio.
  
- ✓ ORDEN APA/370/2004, de 13 de febrero, por la que se establece la norma técnica específica de la identificación de garantía nacional de producción integrada de cultivos hortícolas.
  
- ✓ Ley 29/1985, de 2 de agosto, de Aguas.
  
- ✓ Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas.
  
- ✓ Ley 10/2001, de 5 de julio, del Plan Hidrológico Nacional.
  
- ✓ Real Decreto 1620/2007, de 7 de diciembre, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas.
  
- ✓ Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano.



- ✓ Real Decreto 509/1996, de 15 de marzo, de desarrollo del Real Decreto-ley 11/1995, de 28 de diciembre, por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas.
- ✓ Real Decreto 2116/1998, de 2 de octubre, por el que se modifica el Real Decreto 509/1996, de 15 de marzo, de desarrollo del Real Decreto-ley 11/1995, de 28 de diciembre, por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas
- ✓ Real Decreto 43/2008, de 12 de febrero, regulador de las condiciones de implantación y funcionamiento de campos de golf en Andalucía, modificado por el Decreto 309/2010, de 15 de junio.
- ✓ Orden de 13 de marzo de 2012, por la que se desarrolla el procedimiento para obtener la declaración de campos de golf de interés turístico en Andalucía.

