
LA CALIDAD DEL AGUA RESIDUAL REGENERADA PARA LA RECARGA DE ACUÍFEROS

HUERTAS E.¹, FOLCH M.², VERGÉS C.³, PIGEM J. ⁴ y SALGOT M.¹

¹Laboratori d'Edafologia, Facultat de Farmàcia, Universitat de Barcelona. Joan XXIII, s/n. 08028 Barcelona;

²Fundació AGBAR;

³Direcció de Sanejament. AGBAR. Pg. de Sant Joan, 35. 08009 Barcelona;

⁴SEARSA.

salgot@farmacia.far.ub.es

INTRODUCCIÓN

La reutilización de aguas residuales está cobrando cada vez más importancia en las zonas áridas y semiáridas del Mediterráneo, como consecuencia de las demandas crecientes de recursos hídricos para prácticamente todos los usos. No obstante, la reutilización se ha limitado en la mayor parte de ocasiones a los usos agrícolas, obviando otras posibilidades. Entre estas se pueden destacar los usos lúdicos (campos de golf), los usos industriales y la recarga de acuíferos.

Para la recarga, y dadas las características especiales de las aguas subterráneas, se requieren unas características de calidad que no comprometan la calidad del agua de los acuíferos ni sus posibilidades de uso posterior.

Los objetivos de la recarga pueden ser variados (Salgot, 2001). Por una parte el acuífero puede actuar como método adicional de tratamiento del agua residual parcialmente regenerada; por otro puede servir como sistema de almacenaje sin necesidad de infraestructuras superficiales y por último puede incluso servir como método de transporte del agua. También se ha descrito el uso del agua regenerada en la lucha contra la intrusión.

En el primer caso nos encontramos con una práctica relativamente extendida en los USA e Israel (Bouwer et al., 1994; Sack, 2001) donde se denomina SAT (Soil Aquifer Treatment) con la que se aprovecha la sinergia depuradora del sistema suelo-acuífero, al que en algunos casos se puede añadir la acción de la vegetación (Salgot et al., 1996). En el segundo, el agua generada a lo largo del año de forma más o menos constante, se almacena para poder aprovecharla en las épocas de mayor necesidad. Esto puede ser especialmente importante en las zonas costeras, en las que los picos de demanda de agua suelen darse en verano (turismo, agricultura, jardines, campos de golf, ...) mientras que en invierno la demanda cae extraordinariamente. La disponibilidad de agua recargada en invierno para ser utilizada en verano permite disminuir el impacto sobre los ecosistemas que facilitan el agua y al mismo tiempo también evita la construcción de grandes

infraestructuras superficiales que pierden una cantidad importante de agua por evaporación.

En algunos puntos de los USA, el agua se transporta desde su punto de producción al de uso mediante el acuífero. El problema puede ser, en este caso, el aprovechamiento "pirata" de este recurso. También se ha descrito la lucha contra la intrusión en algunos lugares, con diversas pruebas (Custodio, 2001) o en forma habitual.

Quizá el tema más conflictivo sea el uso de las aguas recargadas y recuperadas para usos potables. La NRC editó un libro dedicado explícitamente a la recarga en el que se contempla esta posibilidad; mientras que Asano (1998) ha sido uno de los grandes polemistas a este respecto.

La legislación con respecto a la recarga es escasa, aunque en el borrador de proyecto del Reglamento del Dominio Público Hidráulico editado por el CEDEX (1999) se consideran dos posibilidades de recarga y se establecen las calidades que debería cumplir el agua regenerada para poder ser recargada (ver tabla 1).

Uso del agua residual regenerada	Criterios de calidad				
	Huevos de Nemátodos intestinales	<i>Escherichia coli</i>	Sólidos en suspensión	Turbidez	Otros
Percolación localizada a través del terreno	<1 huevo/L	<10 ³ ufc/100mL	< 35 mg/L	No se fija límite	Ntotal <50mg/L
Inyección directa	<1 huevo/L	0 ufc/100mL	< 10mg/L	< 2NTU	Ntotal <15 mg/L

Tabla 1. Criterios de calidad CEDEX (1999)

El problema principal se presenta en el momento en que se requiere indicar los tratamientos adecuados para obtener la calidad deseada del agua regenerada a un precio razonable. Existen bastantes dudas con respecto a los sistemas más adecuados de regeneración del agua residual para recarga.

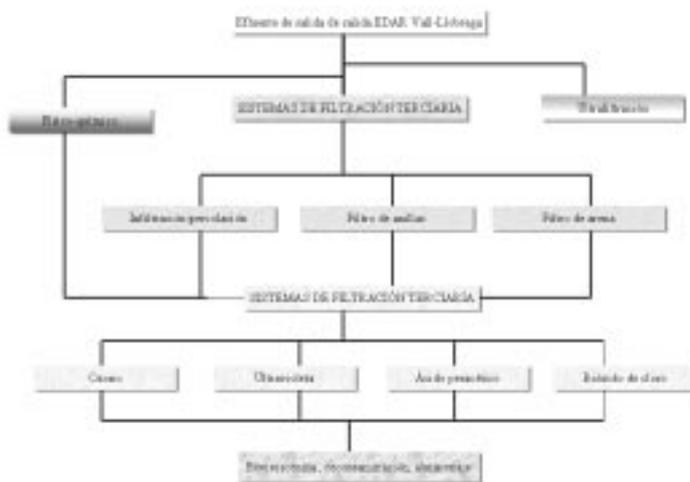
El proyecto DRAC

Para definir los tratamientos de regeneración más adecuados para obtener agua residual regenerada apta para diversos usos, pero muy especialmente para agricultura y recarga, la Agència Catalana de l'Aigua, AGBAR, la Fundación AGBAR, SEARSA, el Consorcio de la Costa Brava, el CIRSEE (Ondeo) y las Universidades de Montpellier II y de Barcelona llegaron a un acuerdo de investigación, plasmado en varios convenios. Aparte, se consiguió la colaboración de diversos proveedores de equipos y reactivos (Regaber, Trojan, FMC-Foret y Kemira), que los facilitaron sin coste y que colaboraron activamente en el proyecto.

Se preparó un programa de trabajo, que se denominó DRAC (Demostración en Regeneración de Aguas residuales en Cataluña), y que se estructuró en una primera fase en base a utilizar pretratamientos y sistemas de desinfección, además de un equipo de ultrafiltración. Dado el éxito de esta primera fase (DRAC-I), se inició en el año 2000 una segunda (DRAC-II) que todavía sigue activa. En el esquema 1 se pueden encontrar los sistemas empleados en el proyecto DRAC y sus combinaciones.

Los objetivos del proyecto

- 1.- Establecer la tecnología más adecuada para la regeneración y reutilización de aguas residuales
- 2.- Emplear tecnologías duras o blandas y sus posibles combinaciones
- 3.- Establecer la calidad del equipo usado para: generar agua terciaria de calidad suficiente para la desinfección, desinfectar el agua residual hasta niveles definidos.
- 4.- Cuantificar la generación de subproductos
- 5.- Definir las condiciones de reutilización en riego y recarga de acuíferos.



Esquema 1. Líneas de tratamiento empleadas

MATERIAL Y MÉTODOS

El estudio se ha llevado a cabo en la EDAR de Vall-Llobrega-Palamós. La EDAR trata las aguas de 6 municipios, con tratamiento biológico convencional por fangos activados, cabe remarcar el carácter estacional de la planta con calidades de agua diferentes a lo largo del

año. Para poder conocer la eficacia de los sistemas y pilotos utilizados se hace indispensable la caracterización del efluente secundario procedente del sistema de lodos activados de la EDAR. En la Tabla 2 y 3 se presentan los valores máximos, mínimos y media de los parámetros analizados durante 3 años de experimentación.

Parámetro	Mínima	Media	Máxima
pH	7,12	7,56	7,85
Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	1017	2758	3576
O ₂ disuelto (mg/L)	4,0	6,2	8,9
Adsorbancia	13,3	24,9	52,0
Transmitancia %	30,2	57,5	73,8
Turbidez	1,38	3,3	12,17
TOC (mg/L)	3,8	13,7	17,0
DQO (mg/L)	23	108,2	171,0
DBO ₅ (mg/L)	5	11,1	30
N-NTK (mg/L)	4,3	19,8	42,9
N-NH ₄ ⁺ (mg/L)	3,0	17,3	35,4
N-NO ₂ ⁻ (mg/L)	0,09	7,1	16,7
P-PO ₄ ⁻ (mg/L)	2,22	4,5	5,97
Calcio (mg/L)	110,5	135,4	142,9
Magnesio (mg/L)	41,2	49,5	77,1
Sodio (mg/L)	191,2	465,9	804
Potasio (mg/L)	17	26,3	35,3
Sólidos en suspensión (mg/L)	3,6	11,3	25,6

Tabla 2. Calidad físico-química del agua de salida de la EDAR de Vall-Llobrega/Palamós

Parámetro	Mínima	Media	Máxima
Coliformes Fecales (ulog)	3,95	5,4	6,6
Colifagos somáticos(ulog)	3,3	4,5	5,6
Bacteriofagos RNA F-específico (ulog)	3,0	3,4	4,7
<i>Giardia</i> (quistes/L)	3	14	57
<i>Cryptosporidium</i> (ooquistes/L)	4	17	55

Tabla 3. Calidad microbiológica del agua de salida de la EDAR de Vall-Llobrega/Palamós

Para la realización del proyecto se ha contado con instalaciones de la EDAR de Vall-Llobrega/Palamós y con sistemas/pilotos cedidos por diversos proveedores. Se combinaron sistemas de filtración (pretratamiento) con sistemas de desinfección (tratamiento avanzado). En este artículo se presentan los resultados obtenidos de la combinación de: infiltración-percolación (IP), filtro de arena (FA) y físico-químico (FQ); con los tratamiento de desinfección: de ozono (O₃), bióxido de cloro (ClO₂) y ácido peracético (APA). Las principales características de las tecnologías empleadas se presentan en la Tabla 4 y 5.

Características del sistema IP		
Superficie total		583,70 m ²
Superficie regada		536,70 m ²
Profundidad de la capa de arena		1,50 m
Profundidad de la capa de grava		40 m
Drenaje		Tubería perforada ∅ 50,80, 100 mm
Sistema de riego		Pivote de aspersión de 15 difusores
Características del sistema FA		
Superficie		3,14 m ²
Diámetro		2 m
Profundidad de la capa de arena		45-50 cm
Sistema de limpieza		A contracorriente 60m ³ /h, durante 30-40 minutos, cada 12 horas
Características del sistema FQ		
Floculador	Volumen	500 L
	Diámetro	650 mm
	Altura	1600 mm
	Tiempo de residencia	4 minutos
	Agente floculante	Policloruro de Al (PAX-18)
Filtro de arena	Nº unidades	2
	Superficie	0,86 m ²
	Diámetro	1050 mm
	Altura lecho arena	1000 mm
	Velocidad de filtración	8 - 9 m/h
	Material filtrante	Arena (0,4 - 0,8 mm mayoritariamente)
	Lavado	Contracorriente

Tabla 4. Características principales de los sistemas de filtración (pretratamiento)

Características del piloto (APA)		
Alimentación del sistema		Rotámetro (2-20 m ³ /h)
Agente desinfectante		Ácido peracético BIOPER 15% (FMC Foret, S.A.) agua oxigenada 22%
Bombas dosificadoras		G/4-1201
Reactor		BAC 1200 con tapa de 0,925 m ³ , tres deflectores interiores, diámetro total de 1100 mm
Caudal		5,5 m ³ /h
Tiempo de residencia		10 minutos
Dosificación del reactivo		15-30 mg/l dependiendo del sistema de filtración empleado
Características del piloto (Cl₂O)		
Alimentación del sistema		Rotámetro (150-1600 l/h)
Generador de bióxido de cloro		CDVa 35 (ProMinent Gugal, S.A.) a partir de NaClO ₂ y HCl
Bombas dosificadoras		G/4-1601
Reactor		BAC 1200 con tapa de 0,925 m ³ , tres deflectores interiores, diámetro total de 1100 mm
Caudal		1 m ³ /h
Tiempo de residencia		55 minutos
Dosificación de Cl ₂ O		3-9 mg/l dependiendo del sistema de filtración empleado
Características del piloto (O₃)		
Alimentación del sistema		Bomba sumergible
Generador de ozono		Gas de alimentación (98%de O ₂ , 2% N ₂)
Producción nominal		65 g O ₃ /h
Columna de contacto		Dos módulos asociados
Caudal		1,2 m ³ /h
Tiempo de residencia		2 minutos
Concentración de O ₃ nominal		6 m ³ /h

Tabla 5. Características principales de los sistemas de desinfección

Para cada uno de los sistemas/piloto trabajados se ha caracterizado el agua de entrada y de salida, los métodos analíticos empleados fueron los indicados en el Standard Methods (1999), excepto para bacteriófagos (ISO-DIS), *Giardia lamblia* (EPA) y *Cryptosporidium parvum* (EPA).

RESULTADOS

En este apartado se recogen en forma de figuras los resultados de aquellos parámetros que se han visto modificados a su paso por el sistema de filtración utilizado (pretratamiento), y en forma de tabla los resultados obtenidos según la línea de tratamiento empleada. Creemos oportuna esta diferenciación debido a que la calidad del efluente de entrada al sistema de desinfección es determinante para el cálculo de dosis/radiación aplicadas.

Sistemas de filtración

En la Tabla 6 se indica las condiciones de trabajo para cada uno de los sistemas/pilotos de filtración empleados.

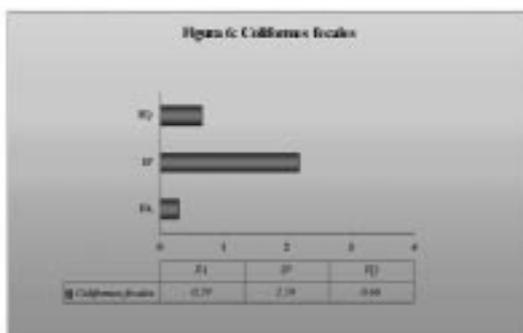
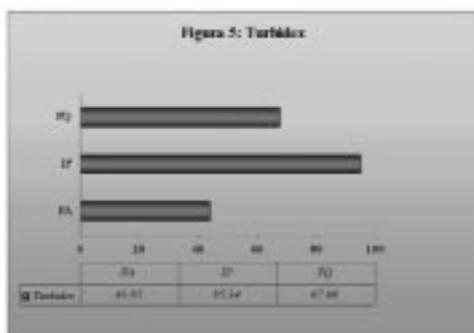
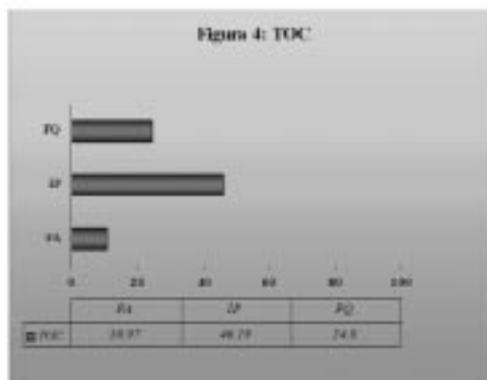
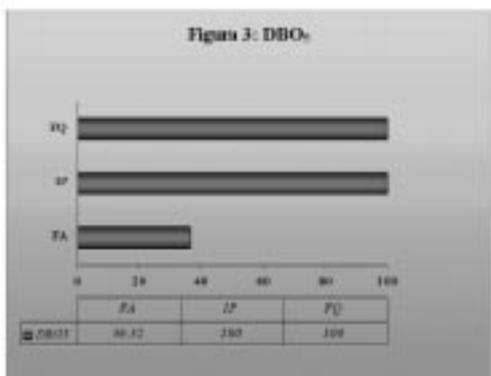
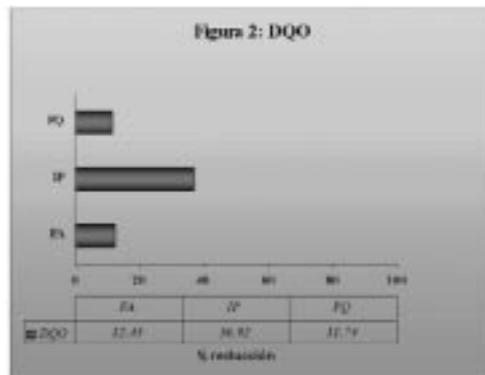
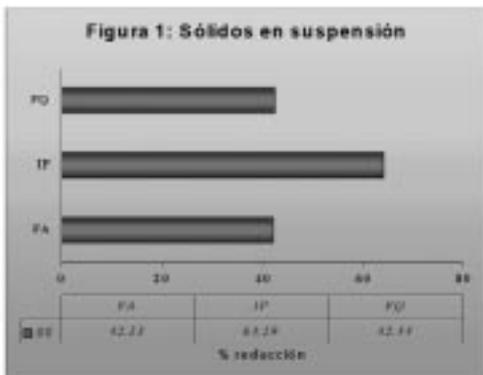
Sistema/piloto	Condiciones de trabajo	Puntos de muestreo
Filtro de arena (FA)	<ul style="list-style-type: none"> Caudal 35 m³/h Velocidad de filtración 11,5 m/h 	<ul style="list-style-type: none"> entrada FS = salida efluente secundario Salida FS
Infiltración-percolación (IP)	<ul style="list-style-type: none"> Carga hidráulica 0,430 m/día Caudal 24 m³/h 	<ul style="list-style-type: none"> entrada IP = salida efluente secundario salida IP
Físico -químico (FQ)	<ul style="list-style-type: none"> Caudal 7-7,5 m³/h Agente floculante policloruro de aluminio, floculador de 500 L, tiempo de residencia 4 minutos Velocidad de filtración 8-9 m/h 	<ul style="list-style-type: none"> entrada FQ = salida efluente secundario salida FQ

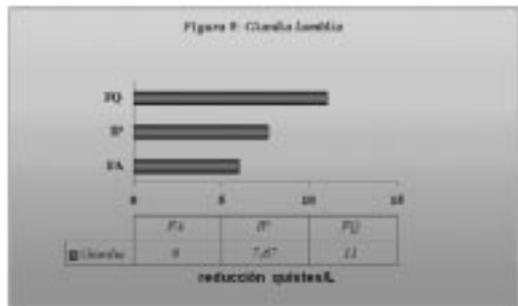
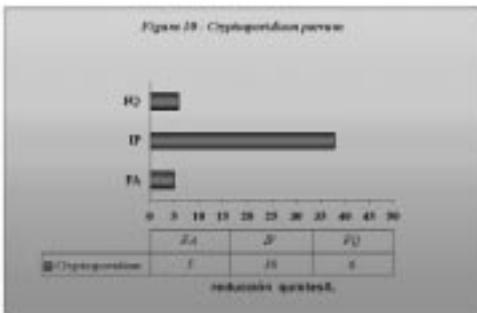
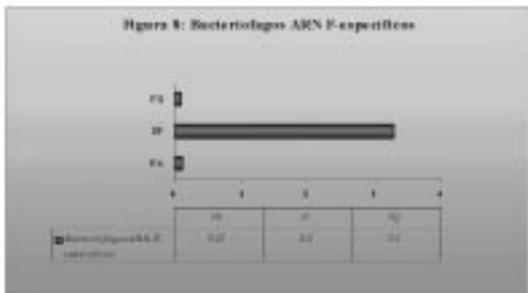
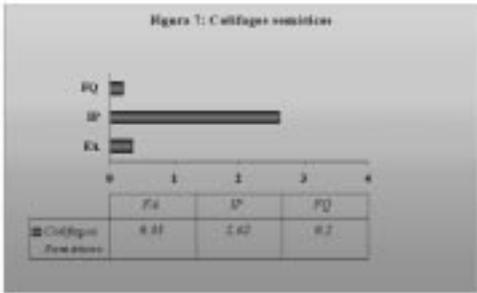
Tabla 6. Condiciones de trabajo para los sistemas/pilotos de filtración

Las variaciones de los resultados físico-químicos y microbiológicos se recogen en las figuras de la 1 a la 10. Las figuras representan para cada parámetro físico-químico indicado la media del porcentaje de reducción a lo largo del proyecto.

El sistema de Infiltración-percolación es el que se ha mostrado más efectivo para las dos cargas hidráulicas ensayadas, en comparación con el resto de sistemas de filtración empleados en el proyecto.

Como resultado del paso del agua por el sistema de Infiltración-percolación se obtiene una gran eliminación de sólidos en suspensión, una disminución importante de la materia orgánica (DQO, TOC), mientras que la DBO₅ del agua a la salida del sistema se encuentra por debajo de los límites de detección (<5 mg/L). Asimismo, presenta un efecto importante de desinfección de bacterias, virus y protozoos.





En Filtro de arena se consigue únicamente una reducción de sólidos en suspensión y como consecuencia una disminución de materia orgánica; no mostrándose efectivo en la eliminación de bacterias y virus.

El sistema Físico-químico, supone una mejora respecto al Filtro de arena, por adición previa de floculantes. Se consiguen reducciones comparables en cuanto a sólidos en suspensión, DBO₅ y turbidez al sistema de Infiltración-percolación. No presenta efectos desinfectantes en cuanto a bacterias y virus, pero sí se muestra efectivo en la eliminación de protozoos.

Líneas de tratamiento

Las condiciones de trabajo para los pilotos de desinfección han variado en relación al origen del efluente (sistema de filtración). La Tabla 8 muestra las condiciones de trabajo en cada caso.

Condiciones de trabajo			
Sistema de filtración	Sistema de desinfección		
	O ₃	ClO ₂	APA
FA	Caudal (m ³ /h):1,2 Caudal de O ₂ (Ln/h): 202-216 Tiempo de contacto minutos: 2 Dosis aplicada (mg/l): 19,07-26,32 Dosis transferida (mg/l): 17,38-25,92	Caudal (m ³ /h): 1,0 Tiempo de contacto (minutos): 55 Dosis de ClO ₂ (mg/l): 9	Caudal (m ³ /h):5,5 Tiempo de contacto (minutos): 10 Dosis de APA (mg/l): 30
IP	Caudal de agua (m ³ /h):1,2 Caudal de oxígeno(Ln/h): 205-216 Tiempo de contacto minutos: 2 Dosis aplicada (mg/l): 12,13-12,54 Dosis transferida (mg/l): 10,45-11,45	Caudal (m ³ /h): 1,0 Tiempo de contacto (minutos): 10 Dosis de ClO ₂ (mg/l): 3	Caudal (m ³ /h):5,5 Tiempo de contacto (minutos): 10 Dosis de APA (mg/l): 15
FQ	Caudal de agua (m ³ /h):1,2 Caudal de oxígeno(Ln/h): 216-217 Tiempo de contacto minutos: 2 Dosis aplicada (mg/l): 16,06-16,76 Dosis transferida (mg/l): 13,42-15,54	Caudal (m ³ /h): 1,0 Tiempo de contacto (minutos): 55 Dosis de ClO ₂ (mg/l): 6	Caudal (m ³ /h):5,5 Tiempo de contacto (minutos): 10 Dosis de APA (mg/l): 5

Tabla 8. Condiciones de trabajo para los diferentes líneas de tratamiento

Los resultados microbiológicos obtenidos para las líneas trabajadas se recogen en las Tablas 9,10 y 11.

Combinaciones con ClO₂

Se supone que la acción bactericida del Bióxido de cloro se debe, principalmente, a la reacción sobre los aminoácidos proteicos, produciendo la inactivación del sistema enzimático y las proteínas de membrana.

Las dosis aplicadas de Bióxido de cloro en función de la procedencia del efluente (sistema de filtración) han resultado adecuadas para obtener una reducción total en cuanto a Coliformes fecales (Tabla 10).

En relación a los colifagos somáticos y para las dosis aplicadas se han obtenido reducciones de hasta 3 ulog/mL.

Parámetros	IP+ClO ₂		FA+ ClO ₂		FQ+ ClO ₂	
	IP entrada	ClO ₂ salida	FA entrada	ClO ₂ salida	FQ entrada	ClO ₂ salida
Coliformes Fecales (Ulog)	2,39	0,00*	4,24	0,00*	3,73	0,00*
Colifagos somáticos (Ulog)	n.d	1,7	3,08	i.l.d.	4,55	1,36
Bacteriofagos ARN F-específicos (Ulog)	n.d	i.l.d.	n.d	n.d	3,74	1,49
<i>Giardia</i> (cistes/L)	n.d	<1	1	<1	n.d	n.d
<i>Cryptosporidium</i> (oocistes/L)	n.d	<1	4	3	n.d	n.d

Tabla 10. Sistemas de filtración combinados con ClO₂

El Bióxido de cloro se ha mostrado igual de efectivo tanto para el indicador bacteriano como para los indicadores virales ensayados.

Combinaciones con APA

El Ácido peracético actúa sobre la membrana lipotrotéica de los microorganismos, modificando la acción transportadora de las proteínas que da lugar a la lisis.

Los efluentes procedentes del sistema de Infiltración-percolación han necesitado las dosis más bajas de Ácido peracético para igual caudal y tiempo de contacto, alcanzando un alto nivel de desinfección.

Después de los buenos resultados obtenidos para las dosis y tiempos de contacto ensayados y con el fin de disminuir la cantidad de Ácido peracético, los afluentes procedentes del piloto Físico-químico se trataron con una dosis de 5 mg/L, aumentando el tiempo de contacto a 30 minutos. El efluente presentó una reducción total de Coliformes fecales (ver Tabla 11).

Parámetros	IP+APA		FA+ APA		FQ+ APA	
	IP entrada	APA salida	FA entrada	APA salida	FQ entrada	APA salida
Coliformes Fecales (Ulog)	2,30	0,09	4,24	0,00*	3,6	0,00*
Colifagos somáticos (Ulog)	n.d	i.l.d.	3,08	i.l.d.	4,1	2,13
Bacteriofagos ARN F-específicos (Ulog)	<1	n.d	n.d	n.d	3,9	2,75
<i>Giardia</i> (cistes/L)	n.d	<1	1	<1	n.d	n.d
<i>Cryptosporidium</i> (oocistes/L)	n.d	<1	4	3	n.d	n.d

Tabla 11. Sistemas de filtración combinados con APA.

Los indicadores virales han mostrado una sensibilidad parecida al agente desinfectante, obteniendo reducciones que varían entre 1,7 y 2 ulog/100 mL. El Ácido peracético se ha mostrado más efectivo para bacterias que para virus.

Parámetros	IP+ O ₃		FA+ O ₃		FQ+ O ₃	
	IP entrada	O ₃ salida	FA entrada	O ₃ salida	FQ entrada	O ₃ salida
Coliformes Fecales (Ulog)	4,28	0,27	5,63	1,72	4,41	0,87
Colifagos somáticos (Ulog)	i.l.d.	1,30	6,15	1,45	5,15	i.l.d.
Bacteriofagos ARN F-específicos (Ulog)	i.l.d.	i.l.d.	4,18	1,30	3,13	i.l.d.
<i>Giardia</i> (cistes/L)	n.d	<1	1	1	n.d	n.d
<i>Cryptosporidium</i> (ocistes/L)	n.d	<1	2	1	n.d	n.d

n.d.: no determinado

*: ufc/100 mL

i.l.d.: inferior al límite de detección (< 10³ ufp/100 mL)

Tabla 12. Sistemas de filtración combinados con O₃

Combinaciones con O₃

La acción bactericida del Ozono tiene lugar por el poder oxidante que actúa sobre los radicales e iones que forman parte de la membrana bacteriana. Para que tenga lugar la acción germicida se debe de cubrir la demanda de ozono del agua, por lo que la dosis de ozono aplicada no corresponde con la dosis de ozono transferida, variando en función de la calidad del agua a tratar.

El tratamiento con Ozono ha reducido prácticamente la totalidad de los Coliformes fecales de los distintos afluentes tratados, consiguiéndose reducciones de hasta 5 ulog/100 mL.

Los afluentes que necesitaron menor dosis de Ozono fueron los procedentes del sistema de Infiltración-Percolación y del piloto Físico-químico, caracterizados por presentar menor concentración en materia orgánica. El contenido en materia orgánica está extremadamente ligado a la dosis de ozono transmitida y en consecuencia a la eficacia de la desinfección.

Los indicadores virales, colifagos somáticos de *E.coli* han alcanzado reducciones de hasta 5 ulog/100 mL, mientras que los bacteriofagos ARN F-específicos fue de 3 ulog/100 mL siendo éstos más resistentes a la acción del Ozono.

De nuevo los mejores resultados de reducción se obtuvieron para los afluentes procedentes del sistema de Infiltración-Percolación y del piloto Físico-químico.

Como ya se ha indicado en la introducción, el CEDEX ha elaborado un borrador donde se consideran dos posibilidades de recarga y establece las calidades que deberían cumplir los efluentes. Teniendo en cuenta las calidades que se exigen (Tabla 1), la Tabla 13 muestra las líneas de tratamiento aplicables, respecto a los criterios alcanzados y las restricciones por comprobar.

Uso del agua residual regenerada	Línea de tratamiento aplicable	Criterios de calidad	Restricciones por comprobar
Recarga de acuíferos por percolación localizada a través del terreno	IP + ClO ₂ /O ₃ /APA FA + ClO ₂ /O ₃ /APA FQ + ClO ₂ /O ₃ /APA	<i>E.c.</i> < 3,0 ulog SS < 35 mg/L Ntotal < 50 mg/L	Huevos de Nemátodos; < 1/L
Recarga de acuíferos por inyección directa.	IP+ ClO ₂	<i>E.c.</i> < 0 ulog SS < 10 mg/L Ntotal < 15 mg/L Turbidez < 2 NTU	Huevos de Nemátodos; < 1/10L

Tabla 13. Líneas de tratamiento aplicables a la recarga de acuíferos

CONCLUSIONES

Las líneas de tratamiento, para las que se obtiene un agua de mejor calidad son las que utilizan como pretratamiento o sistema de filtración la Infiltración-percolación, aplicando menor dosis de desinfectante químico y menor radiación.

El tratamiento Físico-químico, a pesar de no producir una calidad de agua equiparable a la Infiltración-percolación, presenta notables mejoras respecto al Filtro de arena.

Respecto a los sistemas de desinfección, las líneas con Bióxido de cloro y Ozono son las más efectivas, pero la Ozonización comporta un coste muy elevado. Tampoco garantiza resultados homogéneos a lo largo del tiempo, a diferencia del Bióxido de cloro que se muestra como un desinfectante poco alterable en relación a las variaciones del efluente.

Las líneas que emplearon Ácido peracético representaron un coste ligeramente superior al resto, siendo este agente químico menos eficaz frente a virus que además provoca el aumento de la materia orgánica.

Se ha confirmado en todas las líneas que los virus son más resistentes a los tratamientos de desinfección que las bacterias. La evaluación de esta resistencia varía en función del indicador viral empleado.

La línea de tratamiento a elegir vendrá condicionada por la calidad del agua residual a tratar y su posterior reutilización, teniendo en cuenta las recomendaciones o normativas que establecen su uso posterior.

Las diferentes tecnologías aplicadas en el efluente secundario de la depuradora de Vall-Llobrega/Palamós, permiten conseguir efluentes adecuados para un uso final de recarga de acuíferos por percolación localizada a través del terreno.

Sin embargo, la combinación de infiltración-percolación con bióxido de cloro es la única línea de trabajo capaz de generar un efluente apto para la recarga de acuíferos por

inyección directa. Cabe remarcar que entre el 80 y el 90% de los resultados obtenidos cumplieron los requisitos exigidos (CEDEX, 1999) para dicha línea de tratamiento, siendo el nitrógeno total el parámetro limitante.

BIBLIOGRAFÍA

- APHA, AWWA, WEF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, (1998). 20th Edition Washington D.C.
- Asano, T., Levine, A. (1998). Wastewater reclamation and reuse. Technomics, Lancaster.
- Custodio, E., (2001). "Groundwater in the Majorca island: present day situation". Conferencia reunión Catchwater. Mallorca.
- ISO, (1995). "Water quality - Detection and enumeration of bacteriophages", pp. 1- 17.
- ISO/DIS, (1999). "Water quality - detection and enumeration of bacteriophages", pp. 1-15.
- Salgot, M. (2001). Hygienic aspects of DESAR: water circuits. Chapter 24 in Decentralised Sanitation and Reuse: concepts, systems and implementation. P. Lens, G. Zeeman and G. Lettinga (eds.). IWA Publishing, London.
- Salgot et al. (1996). "Soil-plant-aquifer systems for secondary effluent disposal". Congreso: Sewage treatment and reuse for small communities: mediterranean and european experiences. Agadir.
- Sack, J., (2001). Changes of Mekorot Project. "Groundwater in the Majorca island: present day situation". Conferencia reunión Catchwater. Mallorca.
- Bouwer, H., (1994). Groudwater recharge using waters of impaired quality. National academy press. Washington, D.C.