

Capítulo 16

CALIDAD DEL AGUA REGENERADA EN LA COMBINACIÓN DE LA INFILTRACIÓN-PERCOLACIÓN Y DOS SISTEMAS DE DESINFECCIÓN

Resumen

La desinfección de las aguas depuradas se está convirtiendo en un proceso cada día más necesario en la depuración de las aguas residuales, tanto para su reutilización como para proteger la salud pública a través del control de los microorganismos causantes de enfermedades de transmisión hídrica, que llegan a los medios naturales mediante el vertido de las aguas depuradas. Así también se pueden proteger los medios receptores y mantener la calidad de las aguas naturales, minimizando el impacto que supone un vertido.

En general, para la desinfección de las aguas es más compatible tecnológica y económicamente combinar un sistema de filtración con un sistema de desinfección. En este trabajo se han llevado a cabo estudios comparativos empleando la Infiltración-Percolación modificada (IPm) y dos sistemas de desinfección: ozono (O₃) y radiación ultravioleta (UV). Se han determinado diversos parámetros físicos, fisico-químicos y microbiológicos (bacterias y virus), para poder establecer las diferencias y las ventajas entre una combinación y otra.

Palabras clave: aguas residuales, regeneración, tecnologías blandas, desinfección, Infiltración-Percolación (IP), ozono, ultravioleta.

Introducción

A medida que la población y su nivel de vida aumentan, se va produciendo un desequilibrio entre la oferta y la demanda de los recursos hídricos existentes, siendo éstos escasos para abastecer las necesidades que conllevan el continuo desarrollo y crecimiento económico de nuestra sociedad. Como consecuencia de esta falta de recursos naturales se están potenciando cada vez más las actividades de reutilización y recarga de acuíferos con aguas residuales (Salgot *et al.*, 1992), lo que hace necesario el tratamiento avanzado de las aguas depuradas, de modo que se garantice un riesgo sanitario mínimo, incluso en el caso de vertidos al medio.

Podemos afirmar que la desinfección de las aguas depuradas se está convirtiendo en un proceso cada día más necesario, tanto por lo mencionado anteriormente, como para proteger la salud pública del riesgo sanitario a través del control de los microorganismos causantes de enfermedades de transmisión hídrica, que llegan a los medios naturales mediante el vertido de las aguas depuradas.

La desinfección se consigue al provocar una alteración en los mecanismos celulares de los organismos (Blatchley *et al.*, 1997) daños en la pared celular, alteración de la permeabilidad de la célula, alteración de la naturaleza coloidal del protoplasma o inhibición de la actividad enzimática), o por su separación física del medio en el que se encuentran.

Existe una gran variedad de agentes desinfectantes pudiéndose clasificar en químicos, físicos y biológicos. En este estudio se ha utilizado la combinación de tratamientos de filtración y de desinfección. Como tratamiento terciario de

filtración se ha empleado la Infiltración-Percolación modificada y como agentes desinfectantes el ozono (agente químico) y la radiación ultravioleta (agente físico).

La **Infiltración-Percolación modificada (IPm)** es un proceso de depuración aerobia, que utiliza arenas aportadas de granulometría definida como medio receptor de las aguas (Brissaud *et al.*, 1994). Consiste en infiltrar de forma controlada y secuencial el agua residual previamente decantada. La **IPm** mejora las características físico-químicas y microbiológicas del agua debido a que se producen en el filtro procesos de filtración, oxidación de la materia orgánica, transformaciones del nitrógeno y desinfección (Brissaud *et al.* 1994.; Salgot *et al.*, 1996; Folch, 1998).

El **Ozono (O₃)** es un desinfectante químico que actúa como oxidante de la materia orgánica e inorgánica. Se utiliza en forma de gas y se debe producir *in situ* haciendo pasar una corriente de gas con oxígeno por una fuente generadora de corriente eléctrica (Leeuwen *et al.*, 1995) Su mayor inconveniente es que se debe cubrir la demanda no bacteriana además de los procesos de oxidación de los microorganismos, lo que puede encarecer mucho el proceso.

La **Radiación Ultravioleta (UV)** es un método físico de desinfección que actúa a través de la emisión de radiación a una longitud de onda de 254 nm principalmente, óptima para la desinfección ya que corresponde a la frecuencia de resonancia del ADN. La energía de la radiación UV provoca un bloqueo en la replicación del material genético, provocando la muerte celular (Havelar *et al.*, 1991). Tiene muy buen efecto sobre las bacterias aunque requiere un efluente con una baja concentración en sólidos en suspensión.

Material y métodos

La experiencia se ha llevado a cabo en la estación depuradora de aguas residuales de Palamós/Vall-Llobrega (Girona) propiedad del Consorcio de la Costa Brava y explotada por SEARSA.

Se ha utilizado efluente secundario procedente del sistema de lodos activados (ver *Tabla 3*). La efectividad de la desinfección de las aguas residuales depuradas depende de la concentración de sólidos en suspensión y de la turbidez, entre otros parámetros. Por ello, el estudio se ha basado en combinar la **IPm** y dos sistemas de desinfección, con el fin de comparar la efectividad de cada tratamiento desde el punto de vista de la desinfección. Las líneas de tratamiento se indican a continuación:

- 1) EFLUENTE 2^{ario} → INFILTRACIÓN-PERCOLACIÓN → UV
- 2) EFLUENTE 2^{ario} → INFILTRACIÓN-PERCOLACIÓN → O₃

Descripción de los pilotos

En la *Tabla 1* se describen las características principales de la IPm.

Tabla 1. Características de los sistemas de filtración

Características	
Superficie total	583,70 m ²
Profundidad de la capa de arena	1,50 m
Profundidad de la capa de grava	40 m
Drenaje	Tubería perforada Ø 50,80, 100 mm
Sistema de riego	Pivote de aspersión de 15 difusores
Características arena (material de relleno)	
Porosidad	31,90 %
Densidad real	2,57 g/cm ³
Densidad aparente	1,75 g/cm ³
Permeabilidad a saturación, Ks	3,37.10 ⁻³ cm/s
Coefficiente de uniformidad (U)	2,20
Granulometría	98 % <1mm y >0,05 mm
Hidráulica	
Carga hidráulica diseño	0,650 m/día
Caudal	24 m ³ /h



Figura 1. Vista del sistema de IPm

En la *Tabla 2* se describen las características principales de los

Tabla 2. Características de los sistemas de desinfección.

Principales características	
Radiación Ultravioleta (UV)	Lámparas horizontales de baja intensidad y baja presión Caudal en el canal de 11 a 23 m ³ /h Dosis de UV: de 35, 40 y 50 mW.s/cm ²
Ozono (O₃)	Producción máxima de Ozono: 19 g/h a partir de aire atmosférico El sistema de alimentación es en baja y en alta tensión. Caudal: 1,2 m ³ /h Dosis 5,2 mg/L y 7,6 mg/L Tiempo de retención del agua-Dosis de O ₃ : 14 minutos

Protocolo experimental

Las muestras de agua necesarias para realizar los análisis se han tomado en botellas de Pyrex de 1L, esterilizadas por autoclave, realizando en primer lugar los análisis microbiológicos y posteriormente los físico-químicos, con el fin de no contaminar la muestra.

Las líneas de tratamiento funcionaron tres semanas. Las muestras de agua se tomaron en días alternos en los puntos de muestreo que se indican a continuación: salida del efluente secundario, salida del efluente del sistema de filtración y salida del efluente del sistema de desinfección.

Se han estudiado por separado los parámetros físicos, físico-químicos y microbiológicos necesarios para definir la calidad del agua. Los parámetros físico analizados, transmitancia y absorbancia se han determinado a una longitud de onda de 254 nm; los parámetros físico-químicos analizados fueron: pH, oxígeno disuelto, conductividad, temperatura, turbidez, sólidos en suspensión, DBO₅, DQO, TOC, N-NTK, N-NH₄⁺, N-NO₃⁻ y ozono residual según las indicaciones del Standard Methods (1995); los parámetros microbiológicos considerados fueron, Coliformes fecales según Standard Methods (1995) y los colifagos CN13 y F+ según Adams (1959).

Resultados

Los datos corresponden a la media y el valor mínimo y máximo de cada parámetro analizado. Se presentan dos tipos de tablas, correspondiente a los parámetros físico-químicos y microbiológicos a la salida de **IPm** y otras que recogen la variación de los parámetros microbiológicos, según dosis empleadas en los sistemas de desinfección y tiempo de contacto.

En las *Tablas 3 y 4* se indican los valores de la salida del sistema de lodos activados y salida del sistema de **IPm**.

Tabla 3. Valores de los parámetros físico-químicos y microbiológicos a la salida del efluente secundario.

Parámetros	Mínimo	Medio	Máximo
pH	7,12	7,56	7,85
Conductividad (µS/cm)	1017	2231	2970
Temperatura (°C)	13,1	18,5	25,2
Turbidez (NTU)	2,22	4,29	12,17
Absorbancia	13,3	24,9	52,0
SS (ppm)	3,6	9,3	26,6
DBO ₅ (ppm)	5,0	14,0	30,0
DQO (ppm)	23,0	48,0	82,0
TOC (ppm)	3,8	7,7	11,0
N-NH ₄ ⁺ (ppm)	3,0	13,5	28,6
N-NO ₃ (ppm)	0,4	3,2	16,7
Coliformes fecales (Ulog/100mL)	3,95	5,71	6,63
Colifagos CN13 (Ulog/100mL)	3,30	4,56	5,63
Colifagos F+ (Ulog/100mL)	3,07	3,92	4,71

Tabla 4. Parámetros físico-químicos y microbiológicos de salida de IPm

Parámetros	Valores IPm salida		
	Mínimo	Medio	Máximo
pH	6,97	7,18	7,33
Conductividad (µS/cm)	932	2053	2870
Temperatura (°C)	12,3	15,7	18,4
Turbidez (NTU)	i.l.d.	0,28	1,10
Absorbancia	8,9	11,1	14,9
SS (ppm)	0,8	2,2	3,6
DBO ₅ (ppm)	<5	<5	<5
DQO (ppm)	11	29	62
TOC (ppm)	3,15	3,90	5,00
N-NH ₄ ⁺ (ppm)	0,2	2,4	3,7
N-NO ₃ (ppm)	0,4	7,7	16,2
Coliformes fecales (Ulog/100mL)	1,79	3,23	3,68
Colifagos CN13 (Ulog/100mL)	2,08	2,35	2,79
Colifagos F+ (Ulog/100mL)	2,14	2,41	2,49

Parámetros físico-químicos

El efluente de salida de la **IPm** presenta una reducción de SS comprendida entre un 77 y 86 %, en el caso de la turbidez el porcentaje de reducción se sitúa entre el 90,6 y el 97,5%, y se obtienen valores de reducción para la absorbancia comprendidos entre 43,4 y 72,0%. En todos los casos el efluente de salida de la **IPm** presenta una DBO₅ inferior al límite de detección (5 mg O₂/L). Asimismo, se observa una transformación de nitrógeno total a nitratos que varía entre el 73 y el 90%.

Parámetros microbiológicos

En relación con los parámetros microbiológicos estudiados se han observan reducciones de entre:

- 2,39 y 4,66 Ulog/100mL para coliformes fecales
- 1,44 y 1,82 Ulog/100mL para el colifago F+
- 2,46 y 2,76 Ulog/100mL para el colifago CN13.

A continuación se indican los resultados microbiológicos obtenidos para el agua de salida de los sistemas de desinfección, según las dosis y tiempos de contacto empleados.

La *Tabla 5* muestra los valores medio, máximo y mínimo correspondientes a la combinación de **IPm** y UV.

Tabla 5. Valores microbiológicos correspondientes a la línea IPm + UV

Parámetros	Dosis (mW.s/cm ²)								
	35			40			50		
	Mínimo	Medio	Máximo	Mínimo	Medio	Máximo	Mínimo	Medio	Máximo
Coliformes fecales (Ulog/100mL)	0*	0,71	1,53	0*	0*	0*	0*	0*	0*
Colifagos CN13 (Ulog/100mL)	1,57	2,08	2,34	0*	1,77	2,25	0*	1,30	2,21
Colifagos F+ (Ulog/100mL)	2,14	2,34	2,60	2,11	2,33	2,69	1,40	1,88	2,49

concentración expresada como UFC/100mL

En la *Tabla 6* se muestran los valores medio, máximo y mínimo para la combinación de IPm y O₃.

Tabla 6. Valores microbiológicos correspondientes a la línea IPm + O₃

Parámetros	Dosis (mg/L)					
	5,2			7,6		
	Mínimo	Medio	Máximo	Mínimo	Medio	Máximo
Coliformes fecales (Ulog/100mL)	0*	0,33	1,00	0*	0,20	0,90
Colifagos CN13 (Ulog/100mL)	1,40	2,35	2,79	0*	2,12	2,38
Colifagos F+ (Ulog/100mL)	2,14	2,22	2,49	0*	2,23	2,30

concentración expresada como UFC/100mL

Las experiencias realizadas nos marcan una desinfección prácticamente total a partir de 35-38 mW.s/cm². Cabe resaltar que durante estas pruebas la calidad microbiológica del efluente de salida de IPm había empeorado respecto al periodo en que se habían realizado las pruebas a 50 mW.s/cm². Si comparamos los resultados obtenidos a 40 y 35 mW.s/cm² tenemos respectivamente una reducción de 3,23 y 2,52 Ulog/100mL para los CF. En cuanto a los colifagos se observa una reducción de 0,08 Ulog/100mL para F+ y de 0,58 Ulog/100mL para CN13 a una dosis UV de 40 mW.s/cm² y una reducción casi nula de F+ (0,07 Ulog/100mL) y de 0,27 Ulog/100mL para CN13 cuando la dosis UV es de 35 mW.s/cm². La eficacia de desinfección a estas dosis es muy buena en cuanto a CF; por otra parte la eliminación de virus es muy baja tal y como se había observado a una dosis de 50 mW.s/cm².

En todas la pruebas realizadas con el UV se ha observado que el colifago F+ es más resistente que el CN13. No se conocen muy bien las causas de esta diferente sensibilidad frente a la radiación UV, aunque una posible causa podría ser la distinta composición del genoma de los dos virus (F+ es un virus RNA y CN13 un virus DNA).

La desinfección con O₃ se realiza con unas dosis media de 5,20 mg/L y de 7,56 mg/L con un tiempo de contacto de 14 minutos para ambas. La eliminación conseguida con una dosis de 5,20 mg/L fue de 2,23 Ulog/100mL para los CF ; 0,19 Ulog/100mL para el colifago F+ y una reducción mínima para el colifago CN13. Con la dosis de 7,56 mg/l, como era de esperar, se obtuvo una mayor desinfección consiguiéndose en casi todos los muestreos una desinfección total para los CF. La eliminación fue de 3,03 Ulog/100mL para los CF, para el colifago F+ se obtuvo una reducción media de 0,18 Ulog/100mL y de 0,23 Ulog/100mL para CN13.

En el caso de la desinfección por O₃, no se manifiesta tan claramente que el colifago F+ sea más resistente que el CN13.

Conclusiones

El sistema de filtración IPm, incluido dentro de las tecnologías blandas, mejora la calidad fisico-química y microbiológica de los efluentes secundarios. Consecuentemente, este sistema es adecuado como tratamiento previo a la desinfección.

Las dos líneas estudiadas (IPm + UV; IPm + O₃) consiguen niveles de desinfección comparables con las dosis aplicadas durante el estudio.

A la hora de discernir sobre el sistema de desinfección más adecuado, habrá que tener en cuenta las siguientes consideraciones: i) formación de subproductos., ii) uso final del agua regenerada, iii)coste de la tecnología.

Teniendo en cuenta todas estas consideraciones, la desinfección por UV se puede considerar como la más adecuada para la obtención de efluentes regenerados.

Agradecimientos: Agencia Catalana del Agua, Consorcio de la Costa Brava, SEARSA, Fundación AGBAR y Trojan

Bibliografía

- ADAMS, M., (1959). Bacteriophages., New York. Interscience Publisher American Public Health Association (APHA). (1995)
- APHA, AWWA, WEF., (1995) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 19th Edition Washington D.C.
- AUDIC, J.M., (1990). *Evolution des technologies d'élimination des micro-organismes*. La Mer et les Rejets Urbains. IFREMER, Actes de Colloques 11, pp. 133-148. Bendor.
- BARON, J., JORET, J.-C., LESAVRE, J., PERROT, J.-Y., (1995) *Désinfection par ultraviolets des poliovirus et des bactériophages FRNA spécifiques*. TSM N° 12, pp. 931-936.
- BLATCHLEY III, E.R., HUNT, B.A., DUGGIRALA, R., THOMPSON, J.E., ZHAO, J., HALABY, T., COWGER, R.L., STRAUB, C.M., ALLEMAN, J.E., (1997). *Effects of disinfectants on wastewater effluent toxicity*. Wat. Res. 31: 1581-1588.
- BORREGO, J., MORIÑIGO, M., DE VICENTE, A., CÓRNAX, R., ROMERO, P., (1987). "Coliphages as an indicator of faecal pollution in water. Its relationship with indicator and pathogenic microorganisms". Wat. Res, 21: 1473-1480.
- BRISAUD, F., SALGOT, M., (1994). *Infiltration percolation as a tertiary treatment*. Colloque scientifique et technique international "Mieux gérer l'Eau". Hydrotop 94, Marseille - France.
- BRISAUD, F., DE RANCOURT, P., BAHRI, A., SALGOT, M., (1995). "La reutilización de las aguas residuales, síntesis y experiencias mediterráneas. Aproximación metodológica y estudio de casos reales." Office International de l'Eau. Sophia Antipolis, France.
- FOLCH, M., (1997). "Tratamiento terciario de aguas residuales por infiltración-percolación: parámetros de control". *Tesis Doctoral en Farmacia*, UB.
- HAVELAAR, A.H., NIEUWSTAD, TH.J., MEULEMANS, C.C.E., OLPHEN, M. VAN., (1991). *F-specific RNA bacteriophages as model viruses in UV disinfection of wastewater*. Wat. Sci. Tech. 24: 347-352.
- HORAN, N.J., (1989). Biological Wastewater Treatment Systems. John Wiley and Sons Ltd. Chichester, West Sussex. England.
- IAWPRC. Study group on health related water microbiology, (1991). "Bacteriophages as model viruses in water quality control". Wat. Res. 25: 529-545.
- KOTT, Y., BEN-ARI, H. AND VINOKUR, L., (1978). "Coliphage survival as viral indicator in various wastewater quality effluents". Wat. Tech. 10: 337-346.
- LEEUWEN, J. VAN., ALEXANDER, M., FORSBERG, L., (1995). *Reclamation of horticultural run-off with ozonation and ultraviolet irradiation*. Second International Symposium on wastewater reclamation and reuse. International Association on Water Quality. Iraklio, Crete, Greece,
- ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD, (1979). Virus humanos en el agua, aguas servidas y suelo. Serie de Informes Técnicos .N° 639., p. 51.
- SALGOT, M., BRISAUD, F. AND CAMPOS, C., (1996). "Disinfection of secondary effluents by infiltration-percolation." Wat. Sci. Tech. 33: 271-276.
- SALGOT, M., BRISAUD, F. Y FOLCH, M., (1992). Los métodos de depuración de aguas residuales utilizando el suelo. *Cir. Far.* 315: 175-182.
- SALGOT, M., BRISAUD, F., FOLCH, M. Y CAMPOS, C., (1995). "Tratamiento terciario avanzado de aguas residuales por infiltración-percolación. Un método de reducción del impacto de los vertidos de aguas residuales". Benicassim Workshop.