



Vol. 3, No. 1, 86-96, 2010
ISSN 0718-378X

REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:
Investigación, desarrollo y práctica.

TECNOLOGÍAS NO CONVENCIONALES (INFILTRACIÓN-PERCOLACIÓN Y ZONAS HÚMEDAS CONSTRUIDAS) EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Mercedes Lucero Chávez ^{1*}
Esther Huertas Hidalgo ²
Montserrat Folch Sánchez ³
Miquel Salgot de Marçay ⁴
José Antonio Sánchez Martínez ⁵

NON CONVENTIONAL WASTEWATER TREATMENT TECHNOLOGIES (INFILTRACIÓN PERCOLATION AND CONSTRUCTED WETLANDS)

ABSTRACT

The use of non-conventional technologies for treating wastewater in small communities is in a stabilisation step at the autonomous region of Catalonia (Spain). This fact is a consequence of the advantages associated to this type of treatments (low building costs, low energetic requirements, easy to manage, etc.). This study presents the experience carried out at a Catalan municipality which treats its wastewater through two different types of natural systems (modified infiltration-percolation and constructed wetlands). During the research period, the population has grown up from 1,200 inhab-eq to 2,000 inhab-eq at the end of the study, consequently hydraulic load has increased and changes on the influent quality were observed. Results associated to modified infiltration-percolation show that the increment of hydraulic load influence on ammonia removal, nitrification percentage and disinfection capacity. In relation with constructed wetlands, organic matter removal is bigger when the system doesn't work in a continuum way (the bed is emptied after 5 days of functioning).

The aim of this work is, first of all, to determine the viability of natural treatments, specifically related to modified infiltration-percolation and constructed wetlands, in a small community which has increased its number of inhabitants and has produced a wastewater with different qualities. Besides, the influence of hydraulic and contaminant load are studied in order to find out their impact on treatment capacity of both natural systems.

Keywords: aguas residuales, infiltración percolación modificada, zonas húmedas construidas.

¹ Universidad Autónoma del Estado de México.

² Agencia Catalana para la Calidad Universitaria. Generalitat de Catalunya

³ Facultad de Farmacia, UB. España

⁴ Facultad de Farmacia, UB, España

⁵ Empresa COPISA INFILCO

Resumen

El uso de tecnologías no convencionales para el tratamiento de aguas residuales en pequeñas comunidades se encuentra en una fase de estabilización en la comunidad autónoma de Cataluña (España), debido a las ventajas asociadas a estos tipos de tratamientos (bajo coste de construcción, bajos requerimientos energéticos, fácil gestión, entre otros). Este estudio presenta la experiencia realizada en una población catalana que trata sus aguas residuales mediante dos tipos de sistemas naturales diferentes (infiltración-percolación modificada y zonas húmedas construidas). Durante el periodo de investigación, la población ha incrementado el número de habitantes, pasando de 1200 hab-eq en un inicio a 2000 hab-eq al final del estudio, lo que ha supuesto un aumento de la carga hidráulica a tratar y se detectan cambios en la calidad del influente. Los resultados relativos a la infiltración-percolación modificada muestran que el aumento de la carga hidráulica supone la reducción de la capacidad de eliminación de amonio, se disminuye el porcentaje de nitrificación del sistema y desciende la capacidad de desinfección. En cuanto a las zonas húmedas construidas, se observa que la eliminación de materia orgánica es mayor cuando el sistema deja de funcionar en continuo, es decir, se realizan vaciados después de 5 días de funcionamiento.

El objetivo de este trabajo es, en primer lugar, determinar la viabilidad de los tratamientos naturales, correspondientes a la infiltración-percolación modificada y zonas húmedas construidas, en una pequeña colectividad que ha incrementado el número de habitantes y que ha generado un agua residual de características diferentes. Asimismo, se analiza la influencia del aumento de la carga hidráulica y carga contaminante del influente a tratar sobre los rendimientos de depuración de ambos tratamientos.

Palabras Clave: aguas residuales; infiltración-percolación; tratamientos naturales; zonas húmedas construidas

Introducción

Durante la última década, España ha impulsado el uso de tecnologías no convencionales (también denominadas extensivas o naturales). Debemos considerar que la mayor parte de las instalaciones de tratamiento de aguas residuales emplean tecnologías derivadas de los fangos activos. En las zonas rurales, estos sistemas de tratamiento (fangos activos) presentan costes de inversión, operación y mantenimiento elevados, lo que supone un problema para estas comunidades donde existen, a menudo, limitaciones financieras y de gestión.

La actual política comunitaria del ciclo del agua promueve la implantación de sistemas de gestión integrados de los recursos hídricos. Estos planes de gestión incluyen los tratamientos de aguas residuales con el fin de ayudar a proteger el medio ambiente y, más concretamente, las masas de agua, optimizando al mismo tiempo los recursos financieros y de explotación. En este sentido parece lógico desarrollar e implementar nuevas tecnologías adaptadas a los pequeños núcleos de población, técnicas que compatibilicen las condiciones exigidas a los efluentes depurados con un funcionamiento simple y costes de explotación y mantenimiento asumibles. Es decir, sistemas más sustentables, como son las tecnologías naturales debido a sus ventajas frente a los sistemas convencionales en pequeñas comunidades (menos de 2000 habitantes equivalentes).

Las tecnologías naturales se caracterizan por presentar una gran integración en el medio natural (reduciendo el impacto visual), consumir poca energía eléctrica, requerir mano de obra no especializada, y operación y mantenimiento sencillos. Asimismo, cabe destacar que este tipo de tratamientos son capaces de eliminar la carga microbiana y reducir la concentración de nutrientes de las aguas residuales, además de disminuir la concentración de sólidos en suspensión y materia orgánica. Cataluña, comunidad autónoma de España, presenta un gran número de poblaciones que han optado por tratar sus aguas residuales mediante tecnologías naturales. Entre éstas cabe destacar la Infiltración-Percolación modificada (IPm), las Zonas Húmedas construidas (ZHc) y los lagunajes.

En muchas ocasiones, el diseño y mantenimiento inapropiado de este tipo de sistemas ha provocado que la administración haya optado por tecnologías convencionales en perjuicio de los sistemas naturales. Este estudio muestra la viabilidad de la IPm i ZHc en el tratamiento de las aguas residuales en una pequeña comunidad, después de 7 años de funcionamiento, y determina la influencia de los cambios en la carga hidráulica y calidad del efluente a tratar.

Material y métodos

La Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR) de Els Hostalets de Pierola (Figura 1) se construyó en el año 1999 con el objetivo de tratar las aguas residuales generadas por una población estable de 1200 hab-eq. La EDAR consta de un pretratamiento seguido de decantación primaria a través de un tanque Imhoff y tanque de homogenización. El agua procedente del tanque de homogeneización se distribuye a dos biofiltros (IPm) que alternan periodos de funcionamiento con periodos de reposo (o secado). Adicionalmente se dispone de dos ZHc, diseñadas a escala piloto, que habitualmente tratan las aguas residuales procedentes de los biofiltros (Huertas *et al.*, 2007). No obstante, con el fin de dar cumplimiento a los objetivos de la investigación que se presenta en este trabajo, las ZHc trabajaron en paralelo a la

IPm durante 4 meses en el transcurso de los años 1999-2000 y en el periodo correspondiente a 2006-2007.

Los lechos filtrantes presentan una superficie de 875 m² dividido en 7 sectores y una profundidad de 1,5 m de arena calibrada, las características de la arena se definen en la Tabla 1. Bajo esta capa se encuentra el sistema de drenaje del agua depurada formado por un conjunto de colectores de polietileno, flexibles y perforados. Este sistema de drenaje va situado en el interior de una capa de grava de 0,3 m de espesor de entre 20 y 40 mm. Entre la capa de drenaje y la de la arena, se encuentra una capa de transición de 0,2 m de espesor, con grava de entre 8 y 20 mm. Bajo la capa de drenaje se dispone de una lámina de polietileno flexible impermeabilizante de 1,5 mm de grosor, con el fin de evitar infiltraciones al terreno. Esta lámina se protege interior y exteriormente con una tela geotextil de 150 g/m². Además, el sistema consta de un sistema de aireación pasiva que permite la entrada de aire desde la superficie del filtro hacia el interior del mismo, a una profundidad de 0,90 m. El efluente obtenido del sistema IPm se recoge en el fondo del lecho filtrante mediante un tubo de drenaje que conduce el agua a una arqueta, desde donde se vierte al medio receptor.

TABLA 1: Características de la arena

<i>Características de la arena</i>	
Tipo de arena	Sílice o otras arenas resistentes a la abrasión
lavada	Sí
D10	0,32-0,50 mm
CU (d60/d10)	3,12
Contenido de finos	Inferior al 3 %

La alimentación de los lechos se realiza mediante emisores instalados en un pivote de riego. El sistema de distribución de éstos está provisto de 22 palas espaciadas regularmente de tal manera que se asegura la distribución uniforme del agua sobre la superficie del filtro. La carga hidráulica diaria a tratar se aplica por lotes en 5 sectores, mientras que dos de ellos descansan, con la finalidad de controlar el crecimiento de la biopelícula formada (reactor biológico) y que es la responsable de la depuración.

Por otro lado, se dispone de dos ZHc de 200 m² con una profundidad que varía entre 0,6 m en la entrada al sistema y 0,8 m en la salida del mismo. El material de relleno de las ZHc es grava, concretamente la ZHc 1 está constituida por grava de entre 2 y 6 mm, mientras que la ZHc 2 presenta grava de entre 10 y 15 mm. El influente se aplica de manera continua a las ZHc

mediante un tubo perforado que permite el avance lento del agua a través del lecho de filtración, siguiendo el modelo de diseño correspondiente al flujo subsuperficial horizontal. El agua tratada se evacua del sistema mediante un tubo coarrugado que permite regular la altura de la lámina de agua en el interior de las parcelas, las cuales disponen de piezómetros con el fin de controlar dicha altura. El lecho filtrante consta de una lámina de polietileno flexible impermeabilizante de 1,5 mm de grosor que impide que el agua residual se infiltre en el terreno. Adicionalmente, una tela geotextil de 150 g/m² proteger el interior y exterior de la lámina de polietileno. La vegetación escogida en esta investigación es el *Phragmites australis* que coloniza la totalidad de la superficie del filtro. Durante el periodo de estudio 1999-2000 las ZHc funcionan en continuo, por el contrario en el último periodo (2006-2007) se establece una gestión discontinua de las mismas, ya que cada 5 días de funcionamiento se procede al vaciado de las mismas.

Descripción del esquema de la Figura 1.

- | | |
|---|--|
| 1. Influyente y cámara de sólidos. | 10. Depósito del efluente IP1 y del agua de recirculación. |
| 2. Tamizador de finos. | 11. Tanque de regulación. |
| 3. Recolector de material grueso. | 12. Punto de vertido. |
| 4. Decantador primario. | 13A. Zona húmeda (ZH1). |
| 5. Tanque de lodos. | 13B. Zona húmeda (ZH2). |
| 6. Concentrador de fangos. | 14A. Depósito del efluente ZH1. |
| 7. Depósito de bombeo a los sistemas secundarios. | 14B. Depósito del efluente ZH2. |
| 8A. Infiltración percolación (IP1). | — Conductos de agua residual. |
| 8B. Infiltración percolación (IP2). | ---- By pass. |
| 9. Depósito del efluente IP2. | * Punto de muestreo. |

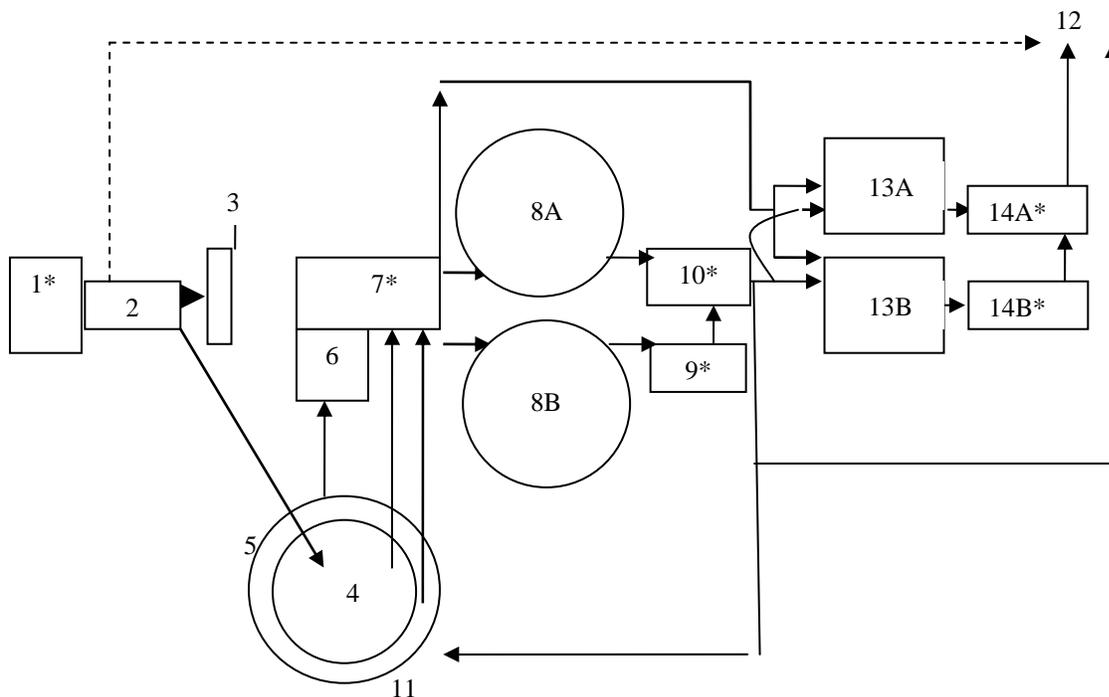


Figura 1: Esquema de la EDAR de Els Hostalets de Pierola.

Durante el período de estudio se ha realizado una toma de muestras semanal del efluente primario (influyente IPm y ZHc) y efluentes procedentes de la IPm y ZHc. Los parámetros analizados han sido pH, conductividad eléctrica, sólidos suspendidos, DQO, $N-NH_4^+$, $N-NO_3^-$ (parámetros físico-químicos); y coliformes fecales (indicador bacteriano). Todos estos parámetros han sido analizados siguiendo las directrices que fija el Standard Methods (APHA, 2005).

Resultados y discusión

Durante el periodo de estudio se han constatado cambios importantes relativos al caudal a tratar y a la calidad del influente que recibe la planta de tratamiento. Esta variabilidad se debe fundamentalmente a dos aspectos: i) crecimiento de la población (se ha pasado de 1200 hab-eq en el año 1999 a 2000 hab-eq en el año 2007); ii) obligatoriedad de controlar los vertidos procedentes de pequeñas industrias alimentarias previamente a su evacuación al sistema sanitario municipal. Por lo que respecta al incremento de la población, la IPm ha aumentado el

caudal a tratar, para cada uno de los biofiltros en el periodo 1999-2000 se trató un caudal mínimo de $43,1 \text{ m}^3/\text{día}$ que corresponde a una carga hidráulica de $0,049 \text{ m}/\text{día}$ y un máximo de $71,5 \text{ m}^3/\text{día}$ que corresponde a una carga hidráulica de $0,082 \text{ m}/\text{día}$; durante el periodo 2006-2007 el caudal mínimo tratado fue de $55,17 \text{ m}^3/\text{día}$ (CH $0,064 \text{ m}/\text{día}$) y un máximo de $159 \text{ m}^3/\text{día}$ (CH $0,182 \text{ m}/\text{día}$). Por el contrario, las ZHc no han experimentado tal evolución ya que estos sistemas han sido diseñados a escala piloto (de $5,6$ a $34,4 \text{ m}^3/\text{d}$ durante el período 1999-2000; y de $10,52$ a $30,14 \text{ m}^3/\text{d}$ durante el período 2006-2007).

En cuanto a la calidad del efluente a tratar por la EDAR se ha visto mejorada atendiendo a la implementación de los planes de saneamiento municipales que incluía la obligatoriedad de control de vertido, las cargas orgánicas del influente aplicado al sistema de IPm se redujeron en un $27,8\%$. Asimismo, la concentración de sólidos en suspensión decreció un $17,0\%$ (ver Tabla 2). La falta de homogeneidad relativa a las calidades del influente entre ambos periodos de estudio, no ha supuesto una gran variabilidad de las características del efluente por lo que respecta a los parámetros DQO y sólidos en suspensión (ver Tabla 2). No obstante, sí que se advierten diferencias destacables relacionadas con la concentración de las formas nitrogenadas (amonio y nitratos) y coliformes fecales en el agua residual tratada. Durante el periodo 2006-2007, el sistema reduce en un $49,5\%$ su capacidad de transformación de las formas nitrogenadas del agua residual, la capacidad de nitrificación se disminuye en un 66% , mientras que la desinfección (valorada a partir de la eliminación de coliformes fecales) decae un 32% (ver Tabla 2).

La concentración de nitratos procedente de la IPm es una medida de control clave que permite determinar si el sistema trabaja en condiciones aerobias, ya que las formas nitrogenadas (NTK y N-NH_4^+) en presencia de oxígeno son nitrificadas dando lugar a N-NO_3^- . Respecto al espesor del macizo filtrante ($1,5 \text{ m}$) se garantiza su correcto diseño ya que, durante el primer periodo de estudio (1999-2000), el sistema ha sido capaz de nitrificar el $65,3\%$ de las formas nitrogenadas y la concentración de amonio en el efluente ($9,3 \text{ mg/L}$) se encuentra en línea con el estudio realizado por Mottier *et al.* (2000). Consecuentemente, el descenso de la concentración de oxígeno en el filtro se explica debido al aumento de la carga hidráulica, que se traduce en un mayor número de aplicaciones de agua, reduciendo los periodos de reposo establecidos entre dos secuencias de aplicación del influente aminorando los intercambios por difusión gaseosa que satisfacen, mayoritariamente, la demanda de oxígeno para tratar el agua residual (Brissaud *et al.*, 2007).

Diversos estudios (Brissaud *et al.*, 1999; Auset, 2002; Bancolé *et al.*, 2003; Brissaud *et al.*, 2003) demuestran que la eliminación de coliformes fecales en la IPm depende del fraccionamiento de la carga hidráulico que se traduce en una menor eliminación de este indicador bacteriano.

Cabe destacar que el sistema IPm ha generado un efluente que, en todo momento, ha cumplido con la normativa de vertido (91/271/CEE), incluso en aquellos periodos donde la concentración

de oxígeno en el macizo filtrante se encontraba comprometida como consecuencia del aumento de la carga hidráulica. La implementación de medidas de operación y mantenimiento habituales en el sistema ha permitido garantizar el correcto funcionamiento del mismo. De este modo, se realizan trabajos manuales de recogida del material residual depositado en la superficie del filtro (básicamente sólidos en suspensión y materia orgánica particulada) y, adicionalmente, se efectúan labores puntuales de aeración en la primera capa de arena (40 cm aproximadamente) mediante un motocultor.

Otros aspectos a tener en consideración son, por un lado, el descanso alternativo de los diferentes sectores de la IPm que favorece la entrada de aire en el sistema; por el otro, la disposición de un sistema de aireación pasiva que permite la entrada del aire atmosférico a capas más profundas del macizo filtrante (0,90 m).

TABLA 2: Resultados obtenidos en el sistema IPm

Parámetros	Año 1999-2000 (1200 hab-eq)			Año 2006-2007 (2000 hab-eq)		
	Influyente IPm	Efluente IPm	Reducción (%)	Influyente IPm	Efluente IPm	Reducción (%)
pH	7,4±0,3	7,0±0,1	n.a.	7,4±0,3	7,1±0,1	n.a.
C.E dS/m	1,9±0,4	2,0±0,3	n.a.	2,1±0,2	2,1±0,3	n.a.
DQO mg O ₂ /L	748,3±377,4	97,8±33,9	86,9	540,0±119,2	99,4±23,8	81,6
SS mg/L	206,4±118,4	2,6±2,4	98,7	171,3±47,4	13,1±6,0	92,4
N-NH ₄ ⁺ mg/L	55,1±11,7	9,3±9,1	83,1	50,6±7,3	18,4±3,2	63,6
N-NO ₃ ⁻ mg/L	0,8±0,8	30,0±13,2	n.a.	0,7±0,3	10,2±5,1	n.a.
CF Ulog/100 mL	7,2±0,3	3,7±1,1	3,5*	6,9±0,2	4,5±0,3	2,4*

n.a. no aplicable

*Reducción de Ulog/100 mL

Durante los cuatro meses estudiados durante la primera fase de funcionamiento (1999-2000), se observa que las ZHc reciben cargas orgánicas (376,2 mg/L en forma de DQO) inferiores a la media de descarga del mismo periodo (748,3 mg/L en forma de DQO) (ver Tabla 2 y 3). Este hecho es consecuencia de la gran variabilidad de las características del agua residual a tratar, tal y como se ha comentado anteriormente los vertidos precedentes de pequeña industria alimentaria son los responsables de estas diferencias.

En cuanto a la reducción de materia orgánica los mejores resultados se obtuvieron en el periodo 2006-2007, con reducciones que alcanzaron el 81,6%; este hecho se atribuye a cambios en la gestión de las ZHc. Durante el primer año de funcionamientos, éstas trabajaron con aplicaciones de agua continuas (sin periodos de descanso), mientras que en el último periodo (2007-2008), se realizaron vaciados cada 5 días. La materia orgánica se degrada aeróbicamente o anaeróbicamente, dependiendo de la disponibilidad de oxígeno. El vaciado de las ZHc permitió mayor aprovisionamiento de oxígeno en el interior del lecho siendo el proceso de degradación mas rápido. En cuanto al resto de parámetros analizados no se detectan diferencias significativas en los diferentes periodos estudiados. Así mismo, al igual que los efluentes procedentes de IPm se ha generado un efluente que, en todo momento, ha cumplido con la normativa de vertido (91/271/CCE).

TABLA 3: Resultados obtenidos en el sistema de ZHc

Parámetros	Año 1999-2000 (1200 hab-eq)**			Año 2006-2007 (2000 hab-eq)		
	Influyente ZHc	Efluente ZHc	Reducción (%)	Influyente ZHc	Efluente ZHc	Reducción (%)
pH	7,1±0,1	7,3±0,2	n.a.	7,4±0,3	7,1±0,1	n.a.
C.E. dS/m	2,0±0,6	1,9±0,4	n.a.	2,0±0,3	2,0±0,3	n.a.
DQO mg O ₂ /L	376,2±210,8	159,4±49,9	57,6	575,3±163,8	105,7±31,4	81,6
SS mg/L	150,2±48,0	16,5±9,6	89,0	178,3±59,1	9,2±3,0	94,8
N-NH ₄ ⁺ mg/L	40,9±14,7	9,6±8,4	76,5	51,6±9,6	12,0±4,9	76,7
N-NO ₃ ⁻ mg/L	6,6±10,1	0,1±0,3	97,9	0,8±0,4	3,0±2,1	n.a.
CF Ulog/100 mL	6,3±1,8	4,1±1,3	2,2*	6,9±0,3	5,0±0,5	1,9*

n.a. no aplicable

*Reducción de Ulog/100 mL

**Periodo de estudio: 4 meses

Conclusiones

Tanto el sistema de IPm, como ZHc diseñados como tratamientos secundarios se han mostrado sistemas adecuados para tratar aguas residuales de pequeñas comunidades cumpliendo las normativa de vertido (91/271/CCE). Las concentraciones requeridas en la normativa de vertido para los parámetros evaluados son DQO 125 mg O₂/l; Sólidos en Suspensión de 35 mg/l

A partir de este estudio, se puede concluir que el incremento de la carga hidráulica aplicada presenta una mayor influencia sobre la calidad del efluente que la concentración de carga contaminante (en forma de materia orgánica y sólidos en suspensión).

La gestión y el mantenimiento de la IPm son aspectos clave en la obtención de aguas depuradas de calidad suficiente para su vertido. El conjunto de actividades deben garantizar la oxigenación del macizo filtrante. En aquellas situaciones en las que se aumenta la carga hidráulica, existe el riesgo que el biofiltro evolucione hacia condiciones anaerobias. Por este motivo, es importante gestionar correctamente el filtro con el objetivo de facilitar la oxigenación del mismo, como por ejemplo la retirada del material depositado en la superficie y el trabajo mecánico de la primera capa de arena. La alternancia de periodos de reposo de diferentes sectores del filtro, también se identifica como una buena práctica en la gestión de estos sistemas. Siguiendo la misma línea, se apunta que la gestión de las ZHc es un aspecto básico en la obtención de aguas depuradas de calidad suficiente para su vertido.

El crecimiento de población no ha representado el incumplimiento de la normativa de vertido al cauce público (91/271/CEE) de las aguas depuradas, ya que el efluente generado por la IPm y las ZHc siempre se ha encontrado por debajo de los límites establecidos en la misma.

La IPm es el sistema que presenta mayor capacidad de depuración de las aguas residuales, siempre y cuando se garantice una correcta oxigenación del macizo filtrante. Por otro lado, los resultados muestran que la IPm y las ZHc generan efluentes de calidad muy similar cuando se aumenta la carga hidráulica a tratar.

Referencias Bibliográficas

- APHA, AWWA, WEF (2005). Standard Methods for the examination of water and wastewater. 21th Edition Washington D.C.
- Auset, M. (2002) Mécanismes de la décontamination microbienne en infiltration-percolation. PhD Thesis. Universidad de Montpellier II, Francia.
- Bancolé, A., Brissaud, F. y Gnagne, T. (2003). Oxidation processes and clogging in intermittent matured infiltration. *Waste Science and Technology*, 48(11), 139-146.
- Brissaud F., Salgot M., Bancolé A., Campos C. y Folch M. (1999). Residence time distribution and disinfection of secondary effluents by infiltration percolation. *Wat. Sci. Tech.* 40(4-5): 215-222.

- Brissaud F., Salgot M., Folch M., Auset M., Huertas E y Torrens A. (2007). Wastewater infiltration percolation for water reuse and receiving body protection: thirteen years' experience in Spain. *Wat. Sci. Tech.* 55(7): 227-234.
- Brissaud, F., Xu, P. y Auset, M. (2003). Extensive reclamation technologies, assets for the development of water reuse in the Mediterranean. *Water Supply*, 3(4), 209-226.
- Directiva 91/271/CEE del Consejo de 21 de mayo de 1991 sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas. *Diario Oficial* núm. L 135 de 30 de mayo de 1991 P. 0040 – 0052.
- Huertas E., Folch M. y Salgot M. (2007). Wastewater reclamation through a combination of natural systems (infiltration-percolation and constructed wetlands): a solution for small communities. *Wat. Sci. Tech.* 55(7): 143-148.
- Mottier V., Brissaud F., Nieto P. y Alamy Z. (2000). Wastewater treatment by infiltration-percolation: a case study. *Wat. Sci. Tech.* 41(1):77-84.