

## Capítulo 17

# ZONAS HÚMEDAS ARTIFICIALES COMO TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN PEQUEÑOS NUCLEOS URBANOS: EL CASO DE ELS HOSTALETS DE PIEROLA (BARCELONA)

### Resumen

La estación depuradora de aguas residuales (EDAR) de Els Hostalets de Pierola trata el agua residual de una población estable de 1.200 habitantes mediante la combinación de tecnologías blandas. La EDAR consta de dos biofiltros (infiltración-percolación) que trabajan como tratamiento secundario y de dos pilotos de zonas húmedas que pueden actuar como tratamiento secundario o terciario. Durante dos años de operación (1999-2000), se han desarrollado tres líneas de investigación con el fin de optimizar el funcionamiento de la EDAR. Se evalúan los rendimientos obtenidos en las zonas húmedas, teniendo en cuenta la variación de caudal aplicado cuando éstas trabajaron como tratamiento terciario y la variación de rendimientos en función de la calidad del agua de entrada a las zonas húmedas.

**Palabras clave:** Agua residual, depuración, tecnologías blandas, zonas húmedas, infiltración-percolación.

### Introducción

En España, la depuración de las aguas residuales urbanas se ha planificado hasta el momento, y ejecutado en casi su totalidad, en función de los criterios que marca la Directiva 91/271 de la CEE y mediante el uso de tecnologías duras.

Una vez prácticamente cumplidos los objetivos marcados, se inicia una nueva etapa en la depuración de las aguas residuales urbanas. En este marco hay que destacar que en España un porcentaje importante de núcleos urbanos (más del 90%) presenta menos de 5.000 habitantes y hasta el momento no se ha asumido la necesidad de depurar sus aguas residuales. Asimismo, la reutilización del agua depurada está cobrando cada vez mayor importancia en las zonas áridas y semiáridas del Mediterráneo. Por ello, se están investigando los tratamientos más adecuados para obtener agua residual regenerada que pueda ser reutilizada.

La EDAR de Els Hostalets de Pierola que trata el agua residual de una población de menos de 2000 hab-eq, se controló durante los años 1999-2000. Dicha planta consta de un pretratamiento (tanque Imhoff), seguido de un sistema de infiltración-percolación (IP) como tratamiento secundario. Normalmente, parte del agua tratada por la IP se hace pasar por dos zonas húmedas (tratamiento terciario), aunque existe la posibilidad de que estas zonas húmedas actúen alternativamente como tratamiento secundario.

La infiltración-percolación (IP) de aguas residuales se define como un proceso de depuración por filtración biológica aeróbica en medio granular fino. Esta definición engloba un conjunto de procesos de depuración por infiltración en el suelo o edafodepuración, como son la aplicación en profundidad o en superficie [1].

Las zonas húmedas (ZH) son esencialmente sistemas biológicos, en los que se dan interacciones complejas. Las plantas traslocan el oxígeno desde las hojas y tallos hasta las raíces, creándose cerca de la rizosfera una zona

adecuada para que las bacterias presentes en la misma (bacterias aeróbicas), tomen el oxígeno necesario para la oxidación de la materia orgánica [2].

Existen dos tipos de zonas húmedas: las denominadas naturales y artificiales. Los sistemas naturales se pueden encontrar en gran variedad de escenarios como son las áreas de transición entre ecosistemas acuáticos y mesetas (sabana, pampas, campaña o brezales), mientras que los sistemas artificiales son planificados, diseñados y construidos.

Las zonas húmedas artificiales se pueden clasificar según las características de la especie macrofita que predomina: i) sistemas de macrofitas no arraigados o flotantes, ii) sistemas de macrofitas emergentes, iii) sistemas de macrofitas sumergidas.

Cabe destacar que el sistema que se emplea habitualmente son las macrofitas emergentes.

Estos tratamientos también se pueden clasificar según el tipo de flujo: i) sistemas de flujo superficial o terrestres: la lámina de agua se halla en superficie en contacto con la atmósfera; ii) sistemas de flujo subsuperficial: la lámina de agua se encuentra en profundidad.

Asimismo, las zonas húmedas subsuperficiales se agrupan en sistemas de flujo horizontal (el sustrato se encuentra en condiciones de constante saturación hídrica), y flujo vertical (el medio no se encuentra permanentemente saturado, ya que el agua se aplica normalmente en intervalos regulares y percola a través del medio).

Todas las zonas húmedas constan de al menos una especie de macrofito acuático arraigado en algún tipo de medio/sustrato (tierra, grava o arena).

Los *wetlands* que trabajan como sistema de tratamiento de aguas residuales necesitan un tratamiento previo, el cual dependerá del tipo y calidad del agua a tratar. Hay que tener especial precaución si las aguas residuales proceden mayoritariamente de la industria, ya que se debe evitar el vertido de compuestos tóxicos del sistema. Las EDARs municipales deben eliminar parte de los sólidos en suspensión y la DBO<sub>5</sub> antes de hacer entrar el agua a las zonas húmedas, ya que de este modo se mantienen niveles adecuados de oxígeno. Una concentración elevada de DBO<sub>5</sub> en los efluentes crea condiciones demasiado anaerobias en el sistema.

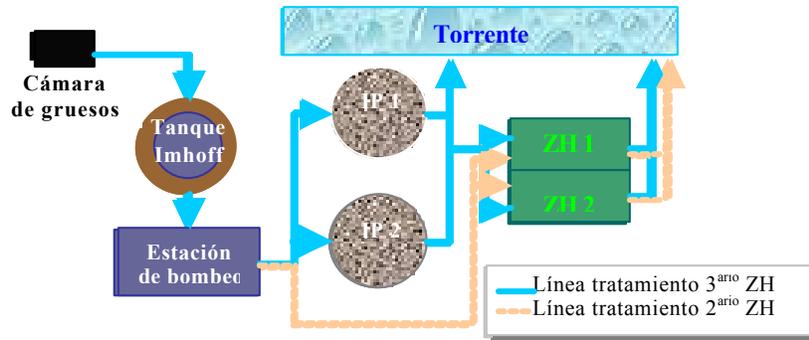
La *Tabla 1* muestra los componentes del agua residual a eliminar y los mecanismos principales de modificación/eliminación en los sistemas de infiltración-percolación [3] y zonas húmedas [4].

**Tabla 1. Mecanismos de depuración en el sistema de infiltración-percolación y zonas húmedas**

Componentes del agua residual	Mecanismos de modificación/eliminación	
	Infiltración-percolación	Zonas húmedas
Sólidos en suspensión	Sedimentación Filtración	Sedimentación Filtración
DQO disuelta	Oxidación biológica	Oxidación biológica
DQO particulada	Filtración	Filtración
Nitrógeno	Oxidación química del nitrógeno orgánico y amoniacal	Oxidación química del nitrógeno orgánico y amoniacal Crecimiento de la planta Adsorción en la matriz Volatilización del amonio
Patógenos	Sedimentación Filtración Radiación UV Depredación microbiana Adsorción	Sedimentación Filtración Radiación UV Depredación microbiana Adsorción
Metales	No se conoce acción	Adsorción e intercambio catiónico Complejación Precipitación Crecimiento de la planta Oxidación/reducción

**Material y métodos**

La EDAR de Els Hostalets de Pierola (Barcelona) trata el agua que genera una población estable de aproximadamente 1.200 habitantes (ver *Figura 1*).



**Figura 1.** Diagrama de flujo de la EDAR de Els Hostalets de Pierola.

Los parámetros físico-químicos (pH; conductividad; sólidos en suspensión; DQO; DBO<sub>5</sub>; N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>; N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>; PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>), así como los coliformes fecales se han analizado según el Standard Methods [6].

Las características técnicas de los biofiltros y zonas húmedas se muestran en la *Tabla 2*.

**Tabla 2.** Características de biofiltros y zonas húmedas en la EDAR de Els Hostalets de Pierola [5].

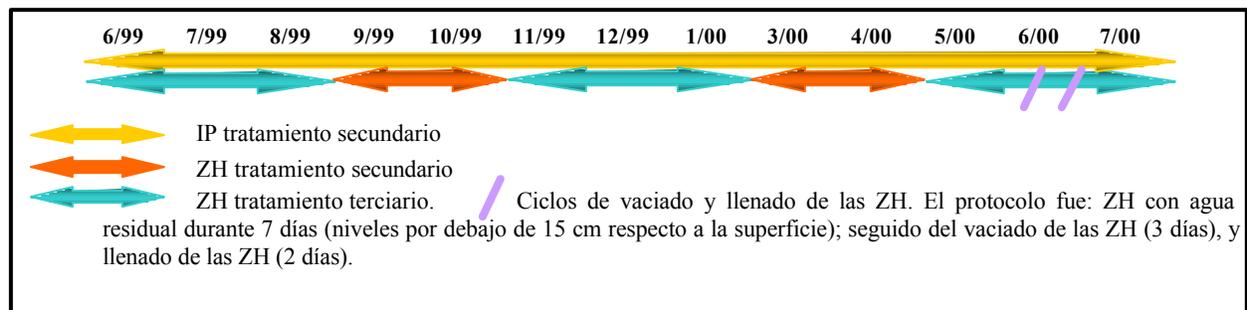
Características	Biofiltros	Zonas húmedas
Superficie total	2 x 875 m <sup>2</sup>	2 x 200 m <sup>2</sup>
Forma de la superficie	circular	rectangular
Número de sectores	7	no procede
Protección del sistema de impermeabilización	sí con geotéxtil	sí con geotéxtil
Profundidad de la capa del material filtrante	150 cm de arena 20 cm de grava 8-20 mm 30 cm de grava 20-40 cm	60 cm- pendiente 1% ZH1 grava de 2-6 mm ZH2 grava de 10-15 mm
Drenaje	sí	sí
Aireación adicional (pasiva)	sí	no
Aplicación del agua	pivote de 22 palas	por gabión desde una tubería
Formación de aerosoles	no	no
Sistema de evacuación del efluente	depósito de hormigón	tubería flexible
Funcionamiento	discontinuo	continuo

**Protocolo experimental**

Los caudales aplicados a los sistemas de infiltración-percolación y zonas húmedas han variado durante los dos años de funcionamiento. Los biofiltros trataron la totalidad del agua residual generada por la población, con un caudal variable (43,1-71,5 m<sup>3</sup>/día por biofiltro). Las zonas húmedas trataron caudales variables en función de las necesidades de tratamiento o de investigación. En el último caso, estas fluctuaciones se establecieron con el fin de estudiar la respuesta del sistema (ver *Tabla 3*). El cronograma de trabajo durante el periodo de estudio se presenta en la *Figura 2*.

**Tabla 3. Caudales aplicados por biofiltro y zona húmeda.**

Periodo	Caudal tratado por biofiltro (m <sup>3</sup> /día)	Caudal tratado por zona húmeda (m <sup>3</sup> /día)
Mayo 1999	43,1	7,7
Junio 1999	52,3	20,2
Julio 1999	59,3	34,4
Agosto 1999	61,8	34,0
Setiembre 1999	60,3	22,3
Octubre 1999	68,6	7,3
Noviembre 1999	51,5	6,0
Diciembre 1999	63,1	5,6
Enero 2000	59,7	6,1
Mayo 2000	48,5	14,8
Junio 2000	57,9	21,2
Julio 2000	71,5	20,7



**Figura 2. Cronograma de trabajo.**

**Resultados**

La *Tabla 4* presenta los valores medios de los parámetros analizados en el agua aplicada a las zonas húmedas cuando trabajaron como secundario (agua procedente del decantador) y terciario (agua procedente de biofiltros). Se observaron variaciones importantes en la calidad del agua de entrada a planta, debido a la presencia de industria alimentaria.

**Tabla 4. Calidad del agua aplicada a las zonas húmedas.**

Parámetros	Salida tanque Imhoff	Salida biofiltros
pH	7,37	6,97
Conductividad (µS/cm)	1891	1957
SS (ppm)	204	2,7
DQO(ppm)	748	98
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (ppm)	54,9	9,3
N-NO <sub>3</sub> (ppm)	0,8	30,6
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (ppm)	23,0	9,0
Coliformes fecales (ulog ufc/100 mL)	7,23	3,66

Las gráficas muestran la evolución de los parámetros estudiados (eje de ordenadas) a lo largo del tiempo (eje de abscisas) según el protocolo de estudio establecido. Las flechas indican el periodo en el cual las ZH actuaron como secundario; durante los meses 6 y 7 se realizaron vaciados cada 12 días de funcionamiento (ver apartado de protocolo experimental).

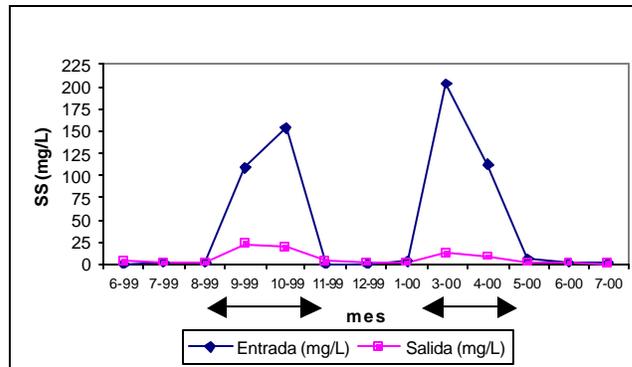


Figura 3. Evolución de los sólidos en suspensión.

La Figura 3 muestra la evolución de los sólidos en suspensión. Se observan reducciones de sólidos en suspensión del 88% cuando las ZH trabajaron como secundario, alcanzando hasta un 96% cuando actuaron como tratamiento terciario. Los mejores rendimientos obtenidos corresponden a las ZH como terciario. Este hecho es atribuible a la calidad del agua de entrada, que no superó en ningún caso la concentración de 9 mg/L. No se observaron variaciones importantes en el periodo en el que se combinaron ciclos de vaciado y llenado.

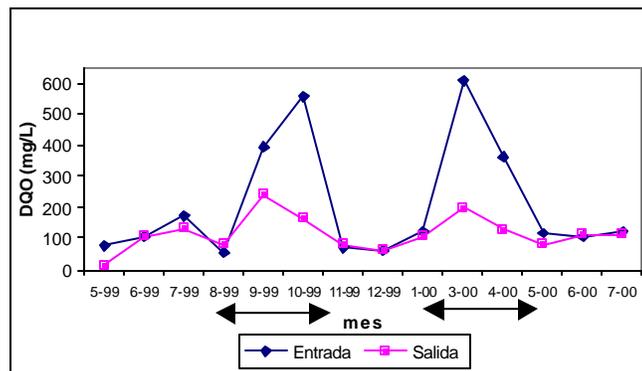


Figura 4. Evolución de la demanda química en oxígeno.

La Figura 4 muestra la evolución de la DQO. Se observan reducciones que varían entre el 40 y el 72% cuando las ZH trabajaron como tratamiento secundario. Las ZH como terciario no presentan reducciones importantes de este parámetro (reducción media del 16,2%). En algunos meses la DQO de entrada y salida se igualaban, incluso se ha llegado a observar un ligero aumento en el efluente, debido al arrastre de raíces o desprendimiento de la biopelícula formada alrededor de los rizomas. Este aumento ha sido más evidente cuando se combinaban ciclos de llenado y vaciado.

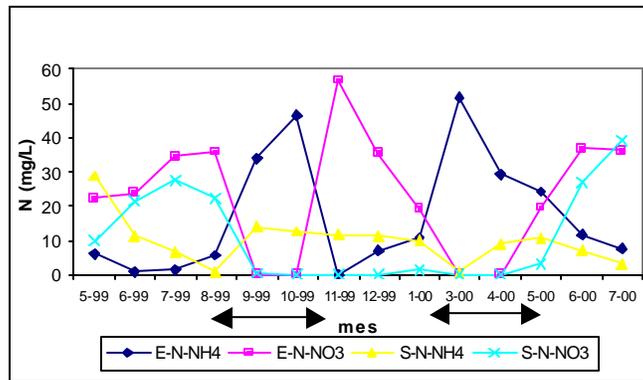


Figura 5. Evolución de las formas nitrogenadas.

La Figura 5 muestra la evolución de las formas nitrogenadas a su paso por las ZH. Se puede observar como el comportamiento de las ZH ha sido distinto cuando han trabajado como tratamiento secundario o terciario.

- **ZH como tratamiento secundario:** el afluente se caracteriza por presentar como fuente principal de nitrógeno la forma  $N-NH_4^+$ , y ausencia de  $N-NO_3^-$ . A la salida se observa una reducción del nitrógeno amoniacal que varía entre el 70 y 78 %, hecho atribuible a la desnitrificación del efluente o volatilización del nitrógeno. Asimismo no se detectaron en el efluente otras formas de nitrógeno como nitratos y nitritos.
- **ZH como tratamiento terciario:** el afluente se caracteriza por presentar como fuente principal de nitrógeno  $N-NO_3^-$ ; pudiendo observarse dos tipos de respuesta por parte del sistema; en primer lugar una desnitrificación total cuando el caudal de entrada no superaba los  $10 \text{ m}^3/\text{día}$  (meses 11/99, 12/99, 1/00 y 5/00), y una disminución importante de la desnitrificación cuando el caudal aplicado fue de  $20 \text{ m}^3/\text{día}$ .

Después de los días de vaciado se detectó un aumento del contenido de nitratos en el efluente, ya que en este periodo tiene lugar la nitrificación del amonio fijado y los nuevos aportes de agua arrastran los nitratos formados.

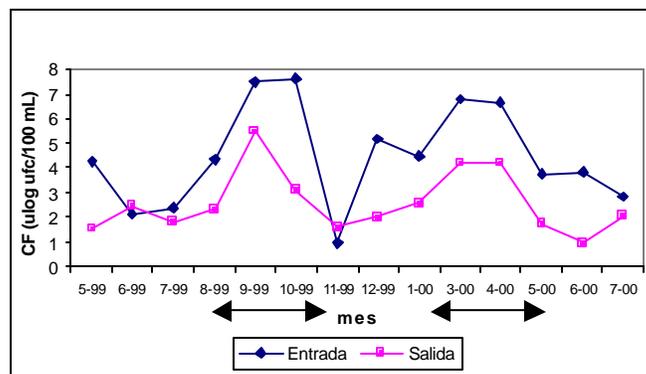


Figura 6. Evolución de los coliformes fecales.

La Figura 6 muestra la evolución de los coliformes fecales. La concentración de microorganismos se ve reducida entre 2,00 y 4,54 ulog/100 mL cuando las ZH trabajan como tratamiento secundario. El sistema de ZH como tratamiento terciario presenta la capacidad de mejorar las características microbiológicas del agua de salida, llegando a reducciones máximas de 3,16 ulog/100 mL (en los meses 6/99 y 11/99 se observa un ligero aumento de coliformes fecales a la salida, posiblemente atribuible a una desorción de las bacterias del biofilm).

## Conclusiones

Las ZH se han mostrado eficientes como sistema secundario en la depuración de aguas residuales urbanas, obteniéndose rendimientos de eliminación de 88% en SS; 62% en DQO y 79% en  $\text{N-NH}_4^+$ , consiguiéndose una reducción media en coliformes fecales de 3 ulog/100 mL.

Se ha podido constatar que la gestión de las ZH influye sobre la calidad final del efluente. Las ZH como terciario son capaces de mejorar la calidad del efluente final. El contenido en nitratos se reduce totalmente cuando se aplican caudales  $< 10 \text{ m}^3/\text{día}$ . Asimismo, el contenido en coliformes fecales se reduce una media de 1,25 ulog/100 mL.

La EDAR de Els Hostalets de Pierola mediante la combinación de tecnologías blandas (infiltración-percolación modificada + zonas húmedas) y debido a su:

- bajo coste de explotación
- integración del sistema en el medio
- producción reducida de subproductos

puede considerarse como un sistema de tratamiento ideal para pequeñas comunidades.

**Agradecimientos:** Este trabajo ha sido posible gracias a la colaboración de: Agència Catalana de l'Aigua, SEARSA, Fundación AGBAR y al proyecto INCO-COPERNICUS (15-CT98-0105) de la Unión Europea.

## Bibliografía

- [1] SALGOT, M., BRISSAUD, F., CAMPOS, C. (1996). Disinfection of secondary effluents by infiltration-percolation. *Water Science & Technology*, 29(4), 319-324.
- [2] GONZÁLEZ, O., HERNÁNDEZ, J., RODRÍGUEZ, M., PRATS, D. (2000). Comportamiento de la demanda bioquímica de oxígeno en humedales con flujo subsuperficial horizontal. *Tecnología del agua*, 203, 42-49.
- [3] FOLCH, M. (1997). Tratamiento terciario de aguas residuales por infiltración-percolación: parámetros de control. *Tesis doctoral en Farmacia*. UB.
- [4] COOPER, P., JOB, G., GREEN, M., SHUTES, R. (1996). Reed beds and constructed wetlands for wastewater treatment. *Severn Trent Water*. WRc Swindon. UK.
- [5] HUERTAS, E. (2001). Control de funcionament dels sistemes de tractament de la depuradora de Els Hostalets de Pierola. *Màster experimental en ciències farmacèutiques*. UB.
- [6] APHA, AWWA, WEF (1998). Standard Methods for the examination of water and wastewater. 20<sup>th</sup> edition Washington D.C.