

# Función depuradora de los humedales I: una revisión bibliográfica sobre el papel de los macrófitos

Marcos Pérez-Olmedilla y Carmen Rojo.

Instituto Cavanilles de Biodiversidad y Biología evolutiva  
Universitat de València, Apdo. Oficial 2085, 46071 Valencia.  
marpeol@alumni.uv.es, Carmen.Rojo@uv.es

## RESUMEN

El uso de humedales como depuradores naturales de aguas residuales, es un campo en creciente auge en los últimos años. En este artículo se realiza una revisión bibliográfica que pone de manifiesto el estado actual del tema. Se lleva a cabo un primer acercamiento general a este tipo de tratamiento de aguas residuales tanto desde el punto de vista biótico (microorganismos y macrófitos) como abiótico (sedimentación); poniendo especial interés en el papel de los macrófitos para dicho tratamiento de depuración. Del total de artículos encontrados sobre depuración de aguas en humedales el 90 % se llevan a cabo en humedales artificiales; de ellos un 37% hacen referencia a los macrófitos que llegan a alcanzar una eliminación de hasta un 99 % de los nutrientes del agua. Sólo un 15 % de los trabajos de tratamiento de aguas residuales con macrófitos han sido desarrollados en países mediterráneos.

## ABSTRACT

The use of wetlands for wastewater treatment has been an emerging technology in the late years. In this paper, a bibliographical revision has been made in order to highlight the current situation of this subject. A general approach of this topic from the biotic (micro-organism and macrophytes) and abiotic (sedimentation) viewpoint has been made. The use of macrophytes for this purpose (purification) is the main point discussed in this work. From the total of papers found about wastewater treatment and wetlands 90% are about artificial wetlands, 37% of those are related to macrophytes. Treatments with macrophytes can get up to 99% of nutrient removal. Only 15 % of papers focused on this topic (wastewater treatment and macrophytes) are from Mediterranean countries.

## INTRODUCCIÓN

La depuración de aguas residuales es un problema a nivel mundial que se agrava en las áreas densamente pobladas, como las costas del Mediterráneo. En este entorno templado-cálido e incluso, a veces, semi-árido una posible solución, de entre todas las que se barajan, cobra gran interés: la utilización de humedales como depuradores de aguas residuales. Esto se debe a que los cuerpos de agua más comunes en las costas mediterráneas son los humedales, aunque su superficie se vea menguada progresivamente. Además, estas zonas húmedas están rodeadas por los centros urbanos, industriales y de explotación agrícola, que generan las aguas residuales.

La utilización de los humedales como depuradores naturales de aguas residuales se ha venido haciendo históricamente, los pueblos vertían directamente a ellos. La cuestión, en la actualidad, es dilucidar que capacidad tendrán los humedales de soportar (desarrollo sostenible) esa función, ya que podrían ser, un complemento a las estaciones o plantas depuradoras y además, decidir que se puede hacer para protegerlos. Si este tipo de tratamiento de aguas residuales

sigue progresando se debería poner más énfasis en la conservación y recuperación de humedales naturales (Gopal 1999). De esta forma se invertiría en favorecer el incremento de diversidad biológica y aumento del hábitat para numerosas especies adaptadas a estos ecosistemas, al tiempo que se prestaría un gran servicio ambiental.

La capacidad depuradora de los humedales se basa, a grandes rasgos, en dos mecanismos:

1. La utilización de los nutrientes disueltos en el agua por los productores primarios (macrófitos y microorganismos).
2. la sedimentación de las partículas que lleva el agua, al atravesar lentamente amplias superficies.

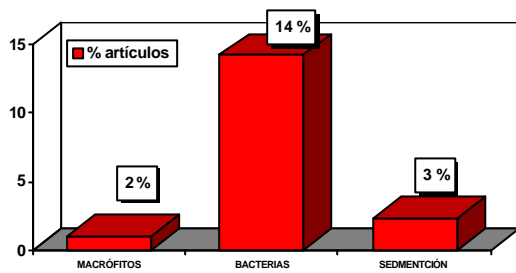


Figura 1. Representación gráfica donde se distingue, dentro de los artículos que tratan el tratamiento de aguas residuales, el porcentaje de ellos relativos a macrófitos, bacterias y sedimentación.

Nuestra intención en esta serie de trabajos (Función depuradora de los humedales I: una revisión bibliográfica sobre el papel de los macrófitos y II una revisión bibliográfica sobre el papel del sedimento) es presentar de la manera más clara posible cómo están siendo abordados estos temas por la comunidad científica en los últimos años. Aunque estas ideas están cada vez más difundidas en la sociedad, es en el desarrollo de estudios científicos enfocados a estos temas donde encontraremos las respuestas más ajustadas. Hoy en día, a la hora de abordar cualquier trabajo científico, es necesario realizar una búsqueda de la información ya existente. Se debe indagar sobre publicaciones especializadas y congresos recientes donde se habrán podido tratar las vertientes más actuales del tema a tratar. Todo este trabajo previo es necesario por múltiples razones (no pretendemos ser exhaustivos):

- Conocer el estado actual del tema, tener una idea de la evolución del mismo en los últimos tiempos.
- Averiguar la terminología más reciente con el fin de no usar conceptos anticuados, normalizando el discurso entre comunidad científica y sociedad.
- Averiguar desde qué áreas o enfoques se está tratando el tema en cuestión y reconocer posibles vacíos hacia donde sería interesante encaminar nuevos estudios.

## MÉTODO

Debido a la gran cantidad de artículos publicados y diversidad de publicaciones científicas periódicas sería imposible acceder a un número significativo de ellas de manera directa. Por eso, a la hora de consultar publicaciones especializadas es necesario utilizar métodos de búsqueda en las bases de datos donde se almacena la información más relevante de cada publicación científica (abstract, autores, tipo de publicación, título, año de publicación, etc.). De entre las bases de datos disponibles se eligió utilizar el Current Contents.

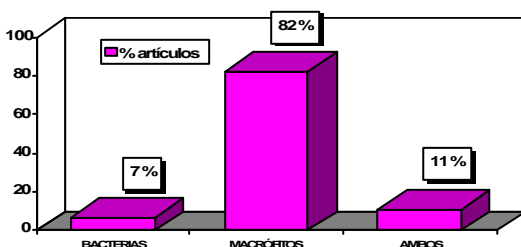


Figura 2. Del total de artículos relacionados con los macrófitos y su papel depurador se indican aquellos que sólo utilizan macrófitos, los que se basan en las bacterias (sitas sobre macrófitos) y aquellos estudios donde se evalúan la capacidad depuradora de macrófitos y bacterias conjuntamente.

Para la búsqueda bibliográfica, primero se utilizaron palabras clave generales y posteriormente algunas de las especies de macrófitos que, podían ser más comunes en el tratamiento de aguas residuales. La serie de palabras claves utilizadas se da a continuación:

- Wastewater (aguas residuales).
- Wastewater treatment (tratamiento de aguas residuales).
- Wetlands (humedales).
- Constructed wetlands ("humedales artificiales").
- Natural wetlands (humedales naturales).
- Sedimentation (sedimentación).
- Bacteria.
- P-uptake (captación de fósforo).
- N-uptake (captación de nitrógeno).
- Macrophytes (macrófitos).
- Emergent macrophytes (macrófitos emergentes).
- Phragmites australis (carrizo).
- Cladium mariscus (masiega).
- Thypha latifolia (espadaña).

Para realizar el estudio del estado actual del tema que nos ocupa se seleccionaron (en el Current Contents) los artículos publicados desde enero de 1996 hasta marzo del 2000; no obstante, aparecen artículos con fecha de publicación de 1995 que fueron registrados en la base de datos del Current Contents en 1996. Esta selección se fue clasificando, en principio, mediante el historial de búsqueda que aporta una visión general del tema. Para poder profundizar y extraer aspectos más concretos se seleccionaron un número más reducido de artículos.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se encontraron 2255 artículos relacionados con el tratamiento de aguas residuales ("wastewater treatment"). Lógicamente estas palabras claves se pueden encontrar en numerosos trabajos que no son objeto de nuestro estudio, así, de todos ellos sólo un 4 % hace referencia a humedales y de éstos el 90% tratan de los humedales artificiales. Esto se debe a la mayor facilidad de obtener resultados controlados en un ambiente creado artificialmente (menor tamaño, seguimiento desde el origen, etc.) que en un humedal natural. Desde el punto de vista científico estos humedales artificiales están funcionando como mesocosmos. Se observa claramente que existen muchos más trabajos de campo (91%): parcelas de humedales naturales, humedales artificiales o mesocosmos, que de laboratorio con utilización de microcosmos (9 %).

Como ya hemos comentado, en los humedales la depuración puede ser debida a procesos bióticos (relacionados con microorganismos y macrófitos) y abióticos (sedimentación, procesos químicos y otros procesos físicos con menor relevancia). En función de esto, una primera clasificación de los artículos encontrados sobre tratamiento de aguas residuales (Fig. 1) dió como resultado que sólo 45 (2 %) utilizaban macrófitos para este propósito, 320 artículos eran relativos a las bacterias junto con otros microorganismos (14 %) y de sedimentación sólo se encontraron 55 (3 %).

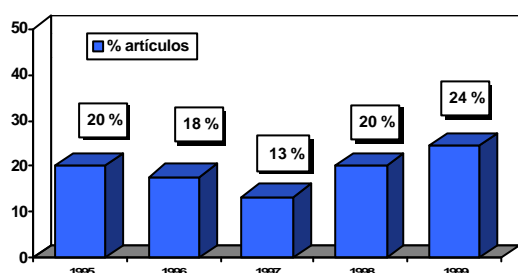


Figura 4. Representación gráfica donde se clasifican los artículos según el país de realización del estudio, expresado en número de artículos.

La mayor proporción de artículos relacionados con bacterias se debe, no sólo a su implicación en procesos de depuración, sino también a su uso como clásicos indicadores de la calidad del agua. Además, estos tres componentes de tratamiento de aguas residuales (sedimentación, microorganismos y macrófitos) están íntimamente relacionados entre sí, a grandes rasgos, de la siguiente manera (Brix 1997):

- Los macrófitos sirven de sustrato para muchos microorganismos.
- El tipo de sustrato en el que se asientan los macrófitos condiciona la capacidad de sedimentación del humedal así como el propio asentamiento y desarrollo de los macrófitos.
- La densidad de los macrófitos genera cambios en la velocidad de la corriente del agua, que a su vez influye en la sedimentación y crecimiento de los microorganismos.

El 37% de los trabajos encontrados sobre depuración en humedales tratan de la eficacia de los macrófitos. En cuanto a su capacidad de depuración se distinguen tres tipos de estudios (Fig. 2):

- 1) Los estudios referidos exclusivamente al efecto depurador de aguas residuales de macrófitos acuáticos (82%).
- 2) Los estudios sobre el efecto depurador de las comunidades de microorganismos, bacterias y algas microscópicas; relacionado de manera directa con los macrófitos, ya que las bacterias utilizan las partes sumergidas de los macrófitos como sustrato donde establecerse (7%).
- 3) Estudios donde se cuantifica tanto el poder depurativo bacteriano como el de los macrófitos (11%).

En cuanto a las especies de macrófitos, como pone de manifiesto Mars et al. (1999), suelen ser monocultivos de especies emergentes como: *Phragmites australis*, *Eichhornia crassipes*, *Schoenoplectus validus* o *Typha* spp. Muchas otras especies de macrófitos emergentes son usados en menor medida: *Juncus effusus*, *Sagittaria lancifolia*, *Scirpus* spp., *Lemna* spp. De esta forma queda clara la dominancia de los macrófitos emergentes frente a macrófitos sumergidos o "flotantes" (macrófitos que flotan libremente). Sin embargo, Mars et al. (1999) sugiere que macrófitos sumergidos, como *Triglochin* spp., podrían ser mucho más efectivos en reciclar nutrientes que muchos de los macrófitos emergentes usados en la actualidad para ese propósito.

De entre las especies más usadas hay que destacar de manera clara *Phragmites australis* que aparece casi en la totalidad de artículos en los que se discutía el tratamiento de aguas residuales con macrófitos. En cuanto a la supremacía de *Phragmites australis* como elección casi unánime para la construcción de humedales artificiales posiblemente se deba

a: 1. el buen conocimiento que se tiene de su biología, 2. que es una especie cosmopolita con una amplia distribución en los humedales (p.e., en Inglaterra o en Irán), 3. su rápido crecimiento y adaptación a diversas condiciones ambientales (Cirujano 1996) y 4. la eficacia de la utilización de este macrófito en el tratamiento de aguas residuales (Vymazal 1996).

Evaluación de la eficacia depuradora de los humedales en relación con los macrófitos.

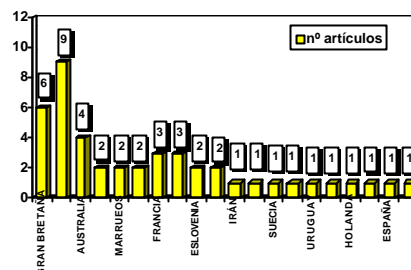


Figura 3. Representación gráfica donde aparecen los 45 artículos seleccionados clasificados (en %) en los diferentes años de publicación

La revisión de los trabajos seleccionados sobre depuración que tienen en cuenta los macrófitos, nos recuerda, de nuevo, que los distintos tratamientos están siempre relacionados. Por ejemplo, la captación del fósforo del agua contaminada se da con distinta eficacia por cada una de las tres vías mencionadas y podrían resumirse de la siguiente forma (Lantze et al. 1999):

- A corto plazo: Sedimentación > macrófitos >> microorganismos.
- A largo plazo: Macrófitos > sedimentación >> microorganismos.

Los parámetros más utilizados para evaluar la eficiencia de los tratamientos de aguas residuales en humedales son: la variación en la concentración de fósforo, del nitrógeno y del total de sólidos en suspensión. Otros parámetros usados, en menor medida, fueron la variación en la concentración de coliformes fecales y totales, la variación de la concentración del carbono orgánico total y de los metales contaminantes. Aunque los trabajos de distintos autores ofrecen resultados sobre la reducción de nutrientes en el agua sin especificar que porcentaje se debía a cada una de las vías mencionadas, hemos seleccionado, en la medida de

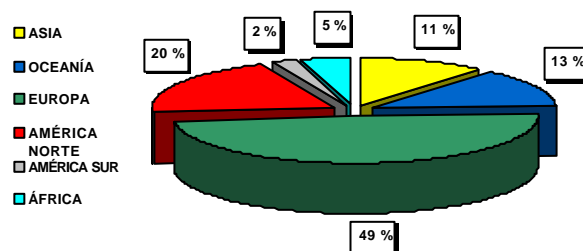


Figura 5. Representación gráfica donde se muestra (en %) la cantidad de artículos realizados en cada continente (América está subdividida en América del Norte y América del Sur, para dejar constancia de la clara diferencia que existe dentro de este continente).

lo posible, aquellos rangos de eficacia debidos principalmente a los macrófitos. El fósforo y el nitrógeno quedan eliminados, entre un 10 y un 99% de lo existente antes del tratamiento, los sólidos en suspensión quedan

eliminados, de media, entre el 50 y el 95 % y los Coliformes totales se ven reducidos en algún caso (Badkoubi et al. 1998) hasta el 99 %.

En todos los artículos estudiados queda patente la importante reducción de contaminantes de las aguas residuales. La variabilidad encontrada se debe básicamente a factores tales como: latitud (habiendo mayor eliminación en las zonas más calurosas), estación (aumentando la eliminación en los meses más cálidos), morfología del humedal, velocidad del flujo del agua, composición específica (variaciones debidas a las especies encontradas), importancia de la sedimentación y los microorganismos en el proceso conjunto de depuración. Así, por ejemplo, Korner (1998) concluye, de manera general, que del total de N y P eliminado del medio  $\frac{1}{4}$  lo es por sedimentación, algas y bacterias, mientras los  $\frac{3}{4}$  restantes es obra de los macrófitos (en este caso debido al macrófito "flotante" *Lemna gibba*).

¿Quiénes, dónde y cuándo se dedican a estos estudios? La cantidad de artículos referidos al tema que nos interesa, publicados cada año, nos dará una idea de su evolución (Fig. 3).

Se observa una estabilidad en cuanto al número de artículos que se publican de este tema por año. De todas formas, cinco años son pocos para ver una evolución clara del número de artículos publicados por año, que estaría relacionado con el mayor auge del interés científico por el tema. Los resultados obtenidos nos sirven para valorar el estado actual del tema y no su evolución. En el año 2000 (hasta marzo) se han publicado un 5 % de ese total de artículos seleccionados. A continuación (Fig. 4) se muestran los países donde se está trabajado más en este campo en los últimos cinco años. Gran Bretaña, EE.UU. y Australia están a la cabeza en este tipo de estudios. Estos resultados podrían darse por la mayor cantidad de recursos económicos que en estos países se destinan a la investigación científica en general o a la investigación relacionada con el tratamiento de aguas residuales en particular. La utilización de humedales como depuradores naturales en Gran Bretaña está ampliamente extendido por todo el territorio (Griffin y Upton 1999). En países con menos recursos económicos, como la India (Gopal 1999) o la República Checa (Vymazal 1996), parecen tener cierta proliferación este tipo de tratamientos posiblemente por su eficacia a un coste muy por debajo de los sistemas de tratamiento de aguas residuales convencionales. En países pobres, como la India, el constante aumento de la población y la ausencia de agua corriente en amplias zonas del país hace de la utilización de humedales para el tratamiento de aguas residuales una buena solución por su sencillez en la construcción y utilización así como su bajo coste.

En cuanto a los continentes donde están situados los centros de investigación que han publicado los artículos seleccionados (Fig. 5), Europa está claramente destacado, posiblemente por ser donde confluyen una mayor concentración de países ricos, con alta densidad de población y un elevado consumo de agua frente a los recursos.

Como se puede observar, pese a la alta representación europea en este campo, sólo nueve trabajos (15 %) eran de países mediterráneos. Si tenemos en cuenta que los humedales son las principales formaciones acuáticas en la costa y la situación de aridez a la que nos estamos acercando, deberíamos hacernos eco de la importancia que tienen éstos en la depuración de aguas residuales así como de la necesidad

de conservarlos. Por ello, debemos tratar de obtener resultados sobre nuestros propios humedales.

Algunos ejemplos recientes.

Swale, es un proyecto europeo, recién concluido, dirigido por el Prof. Brian Moss (Univ. East Anglia, Inglaterra), para observar las modificaciones de la producción primaria planctónica y perifítica en las redes tróficas de los humedales en un gradiente latitudinal. La parte de este proyecto desarrollada en el mediterráneo se llevó a cabo en un humedal costero español (investigador principal Dra. María Rosa Miracle).

Se están llevando a cabo sencillas experiencias con microcosmos en el laboratorio para evaluar y cuantificar la capacidad depurativa de los macrófitos, por ejemplo, utilizando sedimento, agua y rizomas de un humedal costero español, dentro de un proyecto de estudio sobre la biodiversidad del humedal de Xeresa-Xeraco-La Safor (financiado por la Generalitat Valenciana, dirigido por Carmen Rojo). Estudios como éste brindarán información valiosa acerca del potencial depurador de cada humedal estudiado para actuar en consecuencia.

## CONCLUSIONES

Como conclusión final se podría decir que la depuración de aguas residuales con la utilización de macrófitos está todavía poco investigada, aunque ya se ha reconocido su gran eficacia. Parece una forma económica de ayudar a tratar y recuperar las aguas residuales para, por ejemplo, regadío o simplemente para depurar las aguas antes de su desembocadura en el mar. Por todo ello, no sólo habría que invertir en construcción de humedales artificiales sino hacer especial hincapié en conservar y recuperar humedales naturales. .

## BIBLIOGRAFÍA

Badkoubi, A., H. Ganjidoust, A. Ghaderi and A. Rajabi, 1998. Performance of a subsurface wetland in Iran. *Water Science and Technology* 38 (1): 345-350.

Brix, H., 1997. Do macrophytes play a role in constructed treatment wetlands? *Water Science and Technology* 35 (5): 11-17.

Cirujano, S., 1996. Bentos vegetal. Flora y vegetación superior. En: Las Tablas de Daimiel, ecología acuática y sociedad. Alvarez Cobelas y Cirujano (eds.). Organismo Nacional de Parques Naturales, 129-141.

Gopal, B., 1999. Natural and constructed wetlands for wastewater treatment: Potentials and problems. *Water Science and Technology* 40 (3): 27-35.

Griffin, P. and J. Upton, 1999. Constructed wetlands: A strategy for sustainable wastewater treatment at small treatment works. *Journal of the Chartered Institution of Water and Environmental management* 13 (6): 441-446.

Korner, S. and J.E. Vermaat, 1998. The relative importance of *Lemna gibba* L., bacteria and algae for the nitrogen and phosphorus removal in duckweed-covered domestic wastewater. *Water Research* 32 (12): 3651-3661.

Lantzke, I. R., D. S. Mitchell, A. D. Heritage and K. P. Sharma, 1999. A model of factors controlling orthophosphate removal in planted vertical flow wetlands. *Ecological Engineering* 12 (1-2): 93-105.

Mars, R., K. Mathew and G. E. Ho, 1999. The role of the submergent macrophyte *Triglochin huegelii* in domestic greywater treatment. *Ecological Engineering* 12 (1-2): 57-66.

Vymazal, J., 1996. Constructed wetlands for wastewater treatment in the Czech Republic the first 5 years experience. *Water Science and Technology* 34 (11): 159- 164.