

FUNCIÓN DEPURADORA DE LOS HUMEDALES II: UNA REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA SOBRE EL PAPEL DEL SEDIMENTO

Marcos Pérez-Olmedilla, Salvador Sanchez-Carrillo¹, Carmen Rojo.
Institut Cavanilles de Biodiversitat i Biologia Evolutiva (Universitat de València)
Apdo. Oficial 2085, 46071 Valencia.
¹Centro Ciencias Medioambientales (CSIC)
c/ Serrano, 115 dpdo. 28006 Madrid
marpeol@alumni.uv.es
Sanchez.Carrillo@ccma.csic.es
Carmen.Rojo@uv.es

RESUMEN

El uso de humedales como depuradores naturales de aguas residuales está siendo investigado, en los últimos años, desde diferentes puntos de vista: biótico (macrófitos y microorganismos) y abiótico (sedimentación). En este trabajo se realiza un acercamiento al papel de la sedimentación como mecanismo de depuración de agua en humedales, así como al estado actual de los estudios relacionados con este tema. Aunque de manera lenta, el interés en este tipo de estudios ha aumentado en los últimos años. Los trabajos se llevan a cabo fundamentalmente en humedales artificiales y naturales (a partes iguales) y, en menor medida, se utilizan microcosmos en laboratorio. Entre el 23 y el 93% de las partículas minerales en suspensión son retenidas por sedimentación. Procesos como la retención del N parecen tener una sostenibilidad a largo plazo; otros, como la retención de P, claramente no son sostenibles cuando existen aportes excesivos y llegan a ser procesos reversibles. Por todo ello, se debe determinar localmente la capacidad de cada humedal para depurar a largo plazo si no queremos colapsar estos ecosistemas.

ABSTRACT

Lately, the use of wetlands as an alternative way of wastewater treatment has been investigated from several points of view: Biotic (macrophytes and micro-organism) and abiotic (sedimentation). An approach of the current situation of the investigations dealing with this topic is included in this paper. This review also summarizes the role of sedimentation in the improvement of water quality in wetlands. The interest in this subject has increased in the last few years. The investigations are carried out basically in constructed and natural wetlands and, to a lesser extent, studies with microcosms in laboratory have also been made. In wetlands, between 23 and 93% of the mineral particles in suspension are retained by sedimentation. Some processes, like N retention, are apparently long-term sustainable while some others, like P retention, could be reversible processes depending on the inputs. In conclusion, a greater effort should be made in order to determinate the water purification capacity of each wetland. Long-term studies should be carried out locally to prevent these ecosystems from collapsing.

INTRODUCCIÓN

La depuración de aguas residuales es un problema a escala mundial que se agrava en las áreas densamente pobladas, como las costas del Mediterráneo. En este entorno templado-cálido e incluso semi-árido, una posible solución de entre todas las que se barajan, cobra gran interés: la utilización de humedales como depuradores de aguas residuales (Mitsch y

Gosselink, 1993). 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 (Viñals, 1993).

La utilización de los humedales como depuradores

naturales de aguas residuales se ha venido haciendo históricamente: los pueblos vertían directamente en ellos. La cuestión, en la actualidad, es dilucidar qué 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 qué 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

mediante sedimentación, según los datos obtenidos de la revisión bibliográfica.

Las sustancias que entran a formar parte del humedal pueden correr suertes muy diferentes, ya sean alteraciones químicas o biológicas, simple acumulación o el paso a otro tipo de ecosistema, p.e., marino o subterráneo (Mitsch y Gosselink, 1993). Las sustancias eliminadas del agua por sedimentación, en teoría, se eliminan de forma reversible, ya que podrían volver a resuspenderse en el medio gracias a las perturbaciones físicas y a la actividad biótica. Aún así, se ha visto que, en la práctica, la acumulación de sustancias por esta vía varía poco a lo largo del tiempo, por ello, se podría considerar un mecanismo relativamente irreversible (Johnston, 1991). De hecho, la cantidad de sustancias almacenadas en el sedimento pueden ser fruto, tanto de una alta

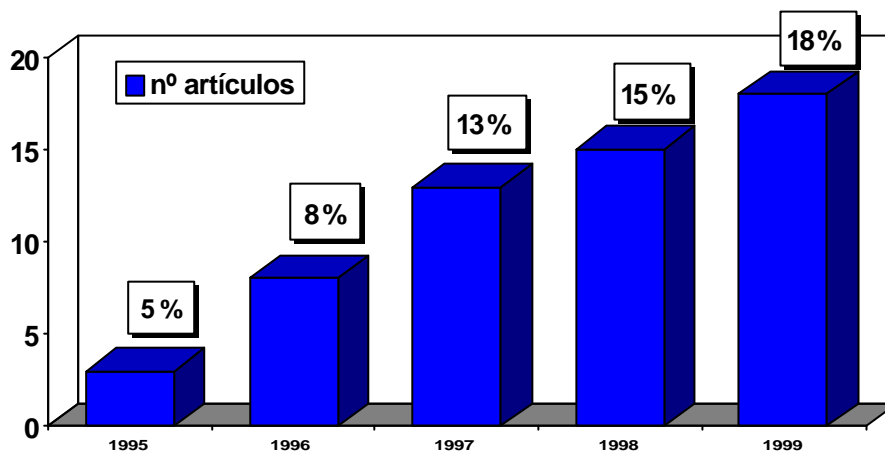


Figura 1. Representación gráfica del número de artículos encontrados en cada año de publicación, así como de su distribución en %.

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

Es difícil de cuantificar la función depuradora del humedal ya que tanto la entrada como la salida de agua están sujetas a múltiples variaciones. De forma general diremos que gran cantidad del agua que se aporta a la mayoría de humedales es de origen antropogénico (aguas residuales de poblaciones cercanas, de agricultura o de industria). Los aportes de agua al llegar al humedal disminuyen su velocidad lo que ayuda a que las sustancias en suspensión sedimenten. Los aportes de agua provenientes de los acuíferos y las precipitaciones suelen ser menos cuantiosos y sujetos a ciclos (generalmente estacionales). Se parte de la premisa de que el humedal hace de "filtro" de numerosos contaminantes, es decir, la cantidad de sustancias que entran a este ecosistema es mayor que la que sale (Johnston, 1991). En este artículo se pone de manifiesto la capacidad depuradora de los humeda-

eficacia de retención como de una baja retención que ocurre durante un largo periodo de tiempo. Así, la importancia y la efectividad de la eliminación de sustancias contaminantes del agua dependen, no sólo de la velocidad a la que son asimiladas sino también del tiempo de retención de dichas sustancias.

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 (Pérez-Olmedilla y Rojo, 2000). Además, a partir de los artículos de revisión y otros específicos se muestran algunos patrones ya establecidos sobre el papel del sedimento en la depuración del agua en humedales.

MÉTODO

Debido a la gran cantidad de artículos publicados y diversi-

dad de publicaciones científicas periódicas, sería imposible acceder a un número significativo de dichas publicaciones de manera directa. Por ello, a la hora de consultar publicaciones especializadas es necesario utilizar métodos de búsqueda como 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 utilizó el *Current Contents*.

Para la búsqueda bibliográfica, primero se utilizaron palabras clave generales y, posteriormente, se realizaron combinaciones de dichas palabras clave para obtener los artículos que se ciñeran al tema a tratar: el papel del sedimento en la depuración de agua en zonas húmedas. A continuación se muestra la serie de palabras clave utilizadas en la búsqueda:

- *Wastewater* (aguas residuales).
- *Wastewater treatment* (tratamiento de aguas residuales).
- *Water treatment* (tratamiento de aguas).
- *Depuration* (depuración).
- *Wetland** (humedales).
- *Sediment** (sedimentación).
- *Marsh** (pantano).

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 Julio del 2000; no obstante, aparecen artículos con fecha de publicación de 1995 que serían registrados en la base de datos del *Current Contents* en 1996. Esta recopilación se fue organizando, en principio, mediante el historial de búsqueda que aporta una visión general del tema. Después, se seleccionaron los artículos que trataban de forma clara la depuración de agua en zonas húmedas. Con dichos artículos (*abstracts*) procedentes de la revisión se hace un acercamiento al estado actual del

tema, por ejemplo, dónde se está estudiando el tema, la evolución en cuanto a número de artículos publicados, las técnicas utilizadas, etc.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se encontraron 8204 artículos sobre sedimentación de los cuales solo 54 estaban relacionados con las aguas residuales. De estos últimos, la mayoría (82%) no hacían referencia a procesos ocurridos en ecosistemas naturales sino en estaciones depuradoras de aguas (EDAR) dónde obviamente importa la sedimentación.

Por otro lado, se realizó una búsqueda combinando sedimentación con humedales. Se encontraron 107 artículos de los cuales 43 se ajustaban a nuestra búsqueda (tratamiento de aguas residuales en humedales donde se tratase la función del sedimento). El restante 60% no trataba, ni de manera indirecta, la función depuradora de la sedimentación, aunque el estudio se llevara a cabo en humedales, pues aparecían, por ejemplo, numerosos estudios geológicos de sedimentos.

Finalmente, realizando búsquedas combinadas con las palabras clave expuestas en el método, se obtuvieron 67 artículos que se ajustaban a nuestro objetivo con los que fue posible un estudio más detallado del estado actual de este tema. Los artículos así seleccionados se clasificaron por año de publicación (fig.1), esto da información sobre la dinámica del interés científico sobre este tema en los últimos años. De los resultados obtenidos se puede decir que el interés en este campo está creciendo lentamente. Del año 2000 sólo se tienen datos de la primera mitad del mismo por lo que no se incluye en la figura 1 (10 artículos)

En la figura 2 se muestran los países donde se han publicado los artículos seleccionados como relevantes para nuestro estudio. Queda patente la dominancia, en cuanto a número de

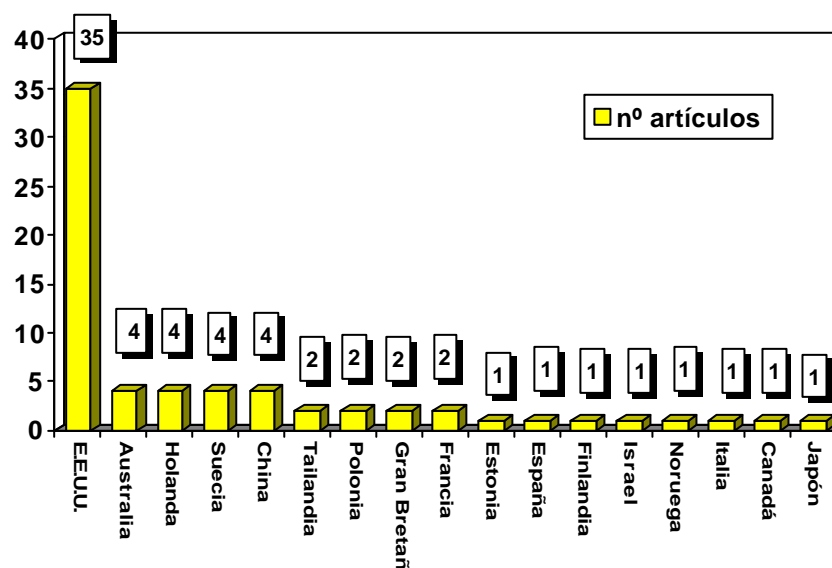


Figura 2. Representación gráfica donde se clasifican los artículos según el país de realización del estudio.

artículos publicados en este campo, de los EE.UU. con 35 artículos (52%); esto podría deberse, de manera general, a los recursos económicos dedicados a investigación. El 25% corresponden a Europa pero tan sólo un 7% se han realizados en países mediterráneos. Este resultado no refleja la importancia que los humedales deberían tener en la zona mediterránea ya que son las formaciones acuáticas más comunes en estas costas. Es destacable el papel de países en vías de desarrollo, como son China y Tailandia, que parece que aprovechan este tipo de recurso sencillo y económico.

En la figura 3 se muestran las diferentes técnicas utiliza-

macrófitos, cuyo estudio se realizará mejor en humedales artificiales a modo de meso y microcosmos.

En los artículos revisados se pueden distinguir distintos enfoques: el proceso de sedimentación, la eficacia de asimilación y la retención. Estas últimas, diferenciadas en función del sedimento o sustrato (sedimentos de origen orgánico o mineral).

Proceso de sedimentación

Aunque existen numerosos métodos para estimar la tasa de sedimentación, se distinguen dos tipos generales (Johnston, 1991): a) métodos para medidas de sedimentación

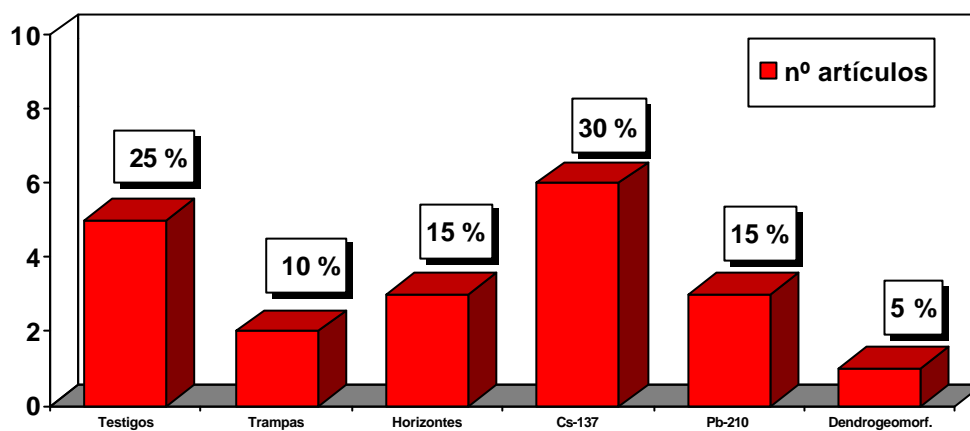


Figura 3. Representación gráfica del número de artículos donde se citan las diferentes técnicas de recogida y análisis del sedimento. Se indica también su distribución en %.

das para la obtención y el análisis de los sedimentos. Se representa el número de artículos en los que aparece cada una de las siguientes técnicas:

- Testigos de sedimento (*Sediment cores*).
- Trampas de sedimento (*Sediment traps*).
- Horizontes de marcadores argílicos o feldespáticos (*Feldspar or clay marker horizons*).
- Datación con ¹³⁷Cs.
- Datación con ²¹⁰Pb.
- Estudios dendrogeomórficos.

En cuanto al tipo de enclave elegido para los trabajos, se han observado en la revisión cuatro categorías: humedales artificiales, humedales naturales, humedales de ambos tipos y microcosmos. Se observa (fig. 4) un número parecido de trabajos llevados a cabo tanto en medio natural como artificial, este resultado es bien diferente del encontrado cuando la investigación se centra en la depuración gracias a los macrófitos. En este último caso hay una clara preferencia por los sistemas artificiales (Pérez-Olmedilla y Rojo, 2000). Una posible explicación es que el muestreo y análisis de los sedimentos son más simples o automatizados que la obtención de datos sobre producción, biomasa, composición, etc. de los

a corto plazo (trampas de sedimentación, hojas fijadas en contenedores, diferentes tipos de horizontes depositados en el fondo antes de un aporte de aguas residuales) y b) métodos para medidas a largo plazo (datación con radioisótopos ¹³⁷Cs o ²¹⁰Pb, profundidad hasta el horizonte argílico, medidas dendrogeomórficas).

En Shankman (1997) y en Nakamura et al. (1997) se trata el problema de la canalización en zonas húmedas y cómo esto afecta de manera drástica al potencial de estos humedales para depurar las aguas mediante procesos de sedimentación (aumenta la velocidad del flujo de agua, acumulación de sedimentos al final de la canalización,...). Este problema afecta de manera patente a la costa mediterránea española donde ramblas y acequias son las vías naturales del agua hacia los humedales costeros. Un claro ejemplo, muy de actualidad, es la controvertida intención de canalizar los barrancos que desembocan en la Albufera de Valencia.

Según se deduce de esta revisión, las medidas llevadas a cabo con los métodos explicados anteriormente se suele expresar los resultados en **cm/año** (sedimentación vertical) o **g/m²año** (sedimentación en peso), resultando esta última la

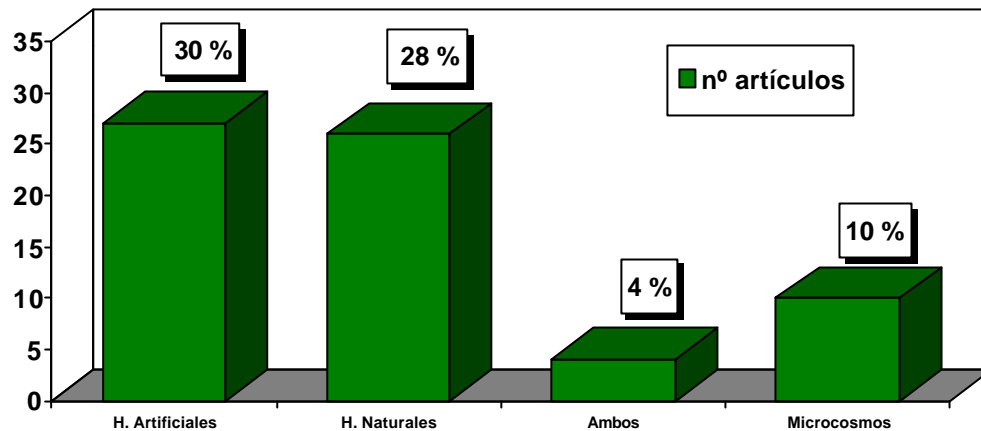


Figura 4. Representación gráfica donde se muestra el número de artículos referidos a diferentes áreas de estudio. En el recuadro aparece el % de artículos encontrados en cada apartado respecto del total de artículos estudiados.

más precisa para realizar comparaciones entre diferentes humedales ya que incluye información del área y del peso (por ejemplo, debido al grado de floculación del sedimento se podría dar una gran acumulación vertical pero el aporte en peso ser muy bajo). Aparte de la variabilidad entre humedales, puede llegar a existir una gran variabilidad en los resultados de sedimentación dentro de un mismo humedal. Debido a esta heterogeneidad espacial, extrapolar los resultados tomados en una zona del humedal al sistema en su conjunto puede dar lugar a resultados erróneos. Por ello, se procura tomar medidas en todas las posibles zonas diferenciadas para dar un valor medio de sedimentación de todo el humedal lo más preciso posible.

La mayor acumulación en peso de sedimentos se suele dar en humedales con aportes de agua llegados de: a) inundaciones estacionales provenientes de ríos, barrancos, acequias con alto contenido de sedimento en suspensión (Lowrance, 1986) y b) el regadío de los campos de cultivo, bien directamente o por infiltración (Cooper et al. 1987).

Según la bibliografía consultada, la media de acumulación vertical y en peso en los humedales de sustrato mineral es de 0.69 cm/año y 1680 g/m²año, respectivamente. Estos resultados pueden estar sesgados al alza debido a que los estudios sobre sedimentación suelen llevarse a cabo en humedales con considerable aporte de sedimentos. La media de la acumulación vertical de los suelos orgánicos en humedales es aproximadamente un sexto de la de suelos minerales (0.12 cm/año). Aún así, la media de la acumulación en peso para la materia orgánica parece ser más de diez veces menor (96 g/m²año) que para el sedimento mineral.

De manera general se concluye que los suelos orgánicos se compactan menos que los de origen mineral. Sin embargo, el factor más importante en la cantidad de sedimento acu-

mulado en los humedales es la naturaleza de los aportes de agua y no de las características intrínsecas del humedal.

Eficacia de asimilación y retención

Entre el 23 y el 93% del aporte de partículas minerales en suspensión es retenido por los humedales en forma de sedimento. Especial relevancia tienen los metales pesados (Pb, Fe, Zn,...); algunos autores, como Delaune y Gambrell (1996), Erten-Unal y Wixson (1999) y vandenBerg et. al (1998), basan sus estudios en la sedimentación de los mismos ya que son importantes por su toxicidad. A diferencia de los sedimentos de origen mineral que son de origen exógeno, los sedimentos de origen orgánico son en su mayoría provenientes de la producción y descomposición de la biota in situ (Johnston 1991). A no ser que soporten un aporte de vertidos orgánicos continuo.

Existen muchos factores que pueden afectar al ritmo de acumulación de la materia orgánica (Heinselman, 1963):

- 1) Clima: influyen múltiples factores, tales como, la velocidad de descomposición, la formación de permafrost en el humedal, la flora y la fauna regional...
- 2) Naturaleza del material vegetal: diferentes especies de plantas tienen velocidades de descomposición diferentes.
- 3) Fuego: destruye la vegetación pero las cenizas aumentan la cantidad de nutrientes disponibles para los productores primarios, p.e., planctónicos.
- 4) Inundaciones que pueden provocar condiciones anaerobias.
- 5) Alteraciones humanas: cultivos, vertidos, desecación,...

Las deposiciones de origen orgánico ocurren cuando la producción de biomasa (mas los componentes orgánicos pro-

venientes del exterior del humedal) es mayor que el ritmo de descomposición de esa biomasa, así, por ejemplo, las turberas suelen encontrarse en humedales debido a la lentitud de los procesos de descomposición causado por la escasez de oxígeno.

El nitrógeno (N) y el fósforo (P) son nutrientes disueltos en el agua y utilizados por los productores primarios (microalgas y macrófitos). Concentraciones muy elevadas de estos nutrientes disminuirán la calidad del agua, se pueden producir florecimientos masivos de algas, disminución de la penetración de la luz, muerte de los macrófitos sumergidos, pérdida de oxígeno en disolución, resumiendo, la eutrofización del humedal. Por todo ello, aunque la retención de N y P por el humedal sería una forma de depurar el agua que sale del

de los sustratos de los humedales varían mucho, por lo que es difícil generalizar los resultados a partir de la revisión realizada: de 0.02 a 65.0 mg N/g peso seco y de 0.001 a 7.0 mg P/g peso seco. A pesar de la dificultad de generalizar resultados, se puede concluir que en los suelos orgánicos, de media, se encuentra aproximadamente el doble de N (17% en peso seco) que en suelos minerales (8% en peso seco). Sin embargo, en lo referente a la concentración de P, los resultados para los suelos orgánicos y minerales no mostraron diferencias significativas. Ambos valores medios se encontraron sobre 0.6 % en peso seco.

La acumulación de nutrientes (N y P) por la vía de la sedimentación es mayor en suelos minerales que en suelos de origen orgánico. Los resultados, de media, fueron los siguientes:

Concentración de nutrientes (g/m^2 año)		
NUTRIENTES	Suelo mineral	Suelo orgánico
P	1.5	0.26
N	15	1.6

mismo, habría que determinar mediante estudios locales la capacidad de depuración de cada humedal para saber hasta qué cantidades de N y P podría asimilar sin llegar a causarle cambios biológicos drásticos e irreversibles.

Está ampliamente reconocida la capacidad del sustrato de los humedales para adsorber nutrientes (particularmente P). Numerosos experimentos en laboratorio demuestran que los sustratos en humedales son capaces de eliminar cantidades sustanciales de nitrógeno y fósforo (DeBusk y Reddy 1987, Dierberg y Brezonic, 1985). Sin embargo, no hay que olvidar que aunque la fijación de los nutrientes tanto en productores como en el sedimento puede mejorar la calidad del agua que sale del humedal, éste está funcionando como un sumidero y es limitado.

Las concentraciones de nitrógeno y fósforo aportadas a los humedales son lógicamente muy diferentes, pero de la revisión llevada a cabo se pueden extraer algunos datos interesantes. El aporte atmosférico es de media 0.5 g de N/ m^2 año y 0.04 g P/ m^2 año. Los aportes de N suelen ser mayores en las zonas más húmedas, mientras que los de P no parecen seguir un patrón. Los aportes provenientes de aguas residuales, de media suelen superar los 6.0 g N/ m^2 año y los 1.7 g P/ m^2 año. La cantidad de N proveniente de la fijación atmosférica no es relevante comparada con los aportes de N de origen antrópico. Otra vía de entrada de N es la fijación por la enzima nitrogenasa presente en organismos procariotas que se asocian (no todos) a algunos tipos de plantas en los rizomas de manera simbiótica (en leguminosas y otros tipos de plantas presentes en humedales). Dependiendo siempre de la cantidad de vegetación presente en el humedal, la cantidad de N de la fijación simbiótica puede ser más o menos relevante, aunque no existen estudios concluyentes.

Las medidas de la concentración de nutrientes tomadas

El sustrato contiene, con diferencia, la mayor cantidad de nutrientes (N y P) de todas las compartimentaciones del humedal (biota, agua, sustrato). Incluso en los lugares donde menor diferencia existe entre la concentración de N entre el sustrato y la vegetación, encontramos que ésta es hasta 50 veces mayor en el sedimento. En algunos casos, en el sustrato se puede encontrar más del 97% del total de N y P contenido en todo el sistema (Richardson et al. 1978). Esta diferencia se debe en mayor medida a la diferencia en los tiempos de recambio (*turnover*), mientras que para los restos de vegetación el recambio del P tiene una media de 2 años para el sustrato es de 100 años. Incluso se puede llegar a recambios del N de hasta 5600 años (Urban y Eisenreich 1988). Por ello, se puede concluir que los nutrientes que entran a formar parte del sustrato son retenidos durante largos periodos de tiempo.

El beneficio en la depuración del agua que llega al humedal no se puede medir únicamente cuantificando la cantidad de nutrientes presentes en cada compartimentación (vegetación, sustrato, agua) de manera absoluta. Existen flujos de nutrientes entre los diferentes "compartimentos" (a excepción de los nutrientes almacenados a mucha profundidad bajo el sustrato; queda muy por debajo de la zona de raíces y queda fuera de los ciclos bióticos). Visto esto, para cuantificar el beneficio en la calidad del agua habría que medir la retención de nutrientes neta (aportes menos salidas), en un periodo de tiempo (p.e. anual). Así, para obtener la retención de nutrientes anual neta habría que estudiar con detalle todos los flujos de nutrientes para ver su efecto depurador sobre la calidad del agua (Johnston 1991).

El flujo entre agua y sustrato es, de manera general, beneficioso para la calidad del agua; principalmente por los tiempos de recambio de los nutrientes comentados anteriormente. El flujo desde el agua al sustrato incluye: la deposición de materia orgánica y sedimentos inorgánicos, y la adsorción (*sorption*) de nutrientes solubles. La adsorción es

un proceso reversible, mientras que la deposición de materia orgánica y sedimentos, aunque en teoría sería también reversible, en la práctica generalmente no lo es (Johnston, 1991).

Durante algún tiempo, la habilidad de los suelos orgánicos para la adsorción de P no fue puesta en duda debido a su generalizada utilización en sistemas de tratamiento de aguas residuales. Esta visión cambió cuando Richardson (1985) demostró que los suelos orgánicos eran menos indicados que los minerales para la adsorción del P debido a su menor contenido de hierro y aluminio disponible para reaccionar con el fósforo. Además, esta retención se ve modificada por la concentración de oxígeno y la salinidad. Así, por ejemplo, la tasa de solubilización del P adsorbido es mayor en estuarios y albuferas con cierto contenido de agua marina que en sistemas de agua dulce.

En esta revisión se observa otro enfoque en el estudio de la depuración en humedales, éste es el basado en el balance entre entradas y salidas del humedal (*input-output studies*). De esta manera se obtiene, la retención de agua y sustancias realizada por el humedal en su conjunto. En este tipo de estudios, el humedal funcionaría como una caja negra, ya que no se estudian los procesos que determinan esas retenciones dentro del humedal. Las entradas de nutrientes y otras sustancias suelen ser: precipitaciones, fijación de N, escombros, inundaciones y afloramientos de agua subterránea. Las pérdidas de nutrientes y otras sustancias son: salidas de agua con materia en suspensión o disuelta y la eliminación de gas (denitrificación). Los estudios de *input-output* dan resultados positivos cuando hay retención de materiales o son convertidos en formas gaseosas en el humedal. Asimismo, se pueden dar resultados negativos cuando los materiales liberados por el sustrato y las plantas causan que la salida de material supere la entrada del mismo.

Desde este tipo de visión del humedal como caja negra se pueden resaltar algunos resultados. Todos los humedales estudiados (con aportes antropogénicos) funcionaban, en mayor o menor medida, como depuradores de N. En algunos casos se retenían o denitrificaban hasta 100 veces más N que en humedales "naturales" (sin aportes antropogénicos), lo que sugiere una cierta saturación en el proceso. Los porcentajes de retención de N oscilaban entre 21 y el 95%, aparentemente sin relación directa entre la tasa de aportes y el porcentaje de retención (Johnston, 1991).

En estudios realizados durante 5 ó 6 años en humedales con aportes sistemáticos de aguas residuales, no se observa una reducción de la capacidad de retención de N a lo largo del tiempo. Sin embargo, en los estudios de retención de P, se observan resultados muy diferentes a los del N. En los estudios a largo plazo (entre 5 y 10 años) se produce un deterioro progresivo de la capacidad de retención del P. En un principio, el humedal retiene P pero a partir de un cierto periodo de tiempo (entre 1 y 5 años) la cantidad de P que sale del humedal empieza a superar la entrada de dicho elemento. En algunos casos salidas de hasta 171% de las entradas (Knight, 1987). En algunos casos aunque los aportes de aguas residuales fueron discontinuos seguían teniendo "retención negativa" de P (> 100%). En los estudios a corto plazo

(menos de un año), los resultados fueron positivos pero con porcentajes de retención muy variables, entre el 7 y el 98%. En general, se observaban menor porcentaje en los humedales donde los vertidos se realizaban en ríos o canales que llegaban al humedal en lugar de ser vertidos directamente sobre el humedal. Viendo estos resultados donde el paso de un humedal de retener P a producirlo es tan rápido, es cuestionable la sostenibilidad de los humedales como depuradores de P.

En ecosistemas terrestres los estudios de ciclos de nutrientes se centran en la vegetación; sin embargo, en humedales, los procesos físicos y de los microorganismos son, generalmente, más importantes en el control de la retención de sedimentos y nutrientes que la propia vegetación. Aún así, se conoce mejor el papel de la vegetación que la hidrología y las propiedades del sustrato que tienen una mayor importancia en la calidad del agua.

Se conocen mejor las concentraciones de nutrientes en los diferentes compartimentos presentes en un humedal (vegetación, sustrato,...) que los flujos de materiales y nutrientes entre los diferentes compartimentos. Esto ocurre porque los flujos son muy difíciles de cuantificar; pero son los flujos los que controlan el efecto neto del humedal en la calidad del agua.

Probablemente en un esfuerzo por frenar la alarmante desaparición de zonas húmedas, la sociedad preocupada, los revaloriza por su servicio ambiental de depurar las aguas residuales. Sin embargo, esto puede ir en detrimento del valor ecológico del humedal debido a la utilización sin control de estos lugares como vertederos de escombros y aguas residuales. Como se plasma en esta revisión muchos estudios demuestran la capacidad depuradora de los humedales pero no están igualmente estudiados los impactos que este uso causa al humedal. Algunos procesos como la retención de N parecen tener una sostenibilidad a largo plazo; otros, como la retención de P, claramente no son sostenibles cuando existen aportes excesivos.

Aunque a primera vista los humedales actúan como depuradores naturales de aguas residuales, hecho respaldado por abundante bibliografía, habría que poner mayor esfuerzo en determinar esta capacidad a largo plazo, ya que algunos autores (Kadlec, 1983 y Richardson, 1985) sugieren no sólo que la capacidad de eliminación de sustancias del agua cesaría sino que a largo plazo se podría incluso invertir el mecanismo.

Por todo esto, se debería hacer estudios a largo plazo para determinar los límites de los humedales como depuradores de aguas. Es necesario determinar el equilibrio entre la capacidad depuradora y la degradación del humedal. ●

BIBLIOGRAFÍA

- Cooper, J.R., J. W. William, R. B. Daniels and W. P. Robarge, 1987. *Riparian areas as filters for agricultural sediment*. Soil Sci. Soc. Am. J., 51, 416.
- DeBusk, T. A. And K. R. Reddy, 1987. *BOD removal in floating aquatic macrophyte-based wastewater treatment system*. Water Sci. Technol. 19, 273.
- Delaune, R. D. And R. P. Gambrell, 1996. *Role of sedimentation in isolating metal contaminants in wetland environments*. Journal of Environmental Science and Health part A. Environmental Science and Engineering in toxic and hazardous substance control 31(9): 2349-2362.
- Dierberg, F. E. and P. L. Brezonik, 1985. *Nitrogen and phosphorus removal by cypress swamp sediments*. Water Air Soil Pollut. 24, 207.
- Erten-Unal, M. and B. G. Wixson, 1999. *Biotreatment and chemical speciation of lead and zinc mine/mill wastewater discharges in Missouri, U.S.A.* Water Science and Pollution 116 (3-4): 501-522.
- Gopal, B., 1999. *Natural and constructed wetlands for wastewater treatment: Potentials and problems*. Water Science and Technology 40 (3): 27-35.
- Heiselman, M. L., 1963. *Forest sites, bog processes and peatland types in the glacial Lake Agassiz region, Minnesota*. Ecol. Monogr., 33, 327.
- Johnston, C.A., 1991. *Sediment and Nutrient Retention by Freshwater wetlands: Effects on Surface Water Quality*. Critical Reviews in Environmental Control, 21 (5, 6): 491-565.
- Kadlec, R. H., 1983. *The Bellaire wetland: wastewater alteration and recovery*. Wetlands, 3, 44.
- Knight, R. L., T. W. McKim and H. R. Kohl, 1987. *Performance of a natural wetland treatment system for wastewater management*. J. Water Pollut. Control Fed. 59, 746.
- Lowrance, R., J. K. Sharpe and J. M. Sheridan, 1986. *Long-term sediment deposition in the riparian zone of a coastal plain watershed*. J. Soil Water Conserv., July-August, 266.
- Mitsch, W.J. and J.G. Gosselink, 1993. *Wetlands (2nd ed.)*. Van Nostrand Reinhold, New York.
- Nakamura, F., T. Sudo, S. Kameyama and M. Jitsu, 1997. *Influences of channelization on discharge of suspended sediment and wetland vegetation in Kushiro Marsh, northern Japan*. Geomorphology 18 (3-4): 279-289.
- Pérez-Olmedilla, M. y C. Rojo, 2000. *Función depuradora de los humedales I: una revisión bibliográfica sobre el papel de los macrófitos*. Humedales mediterráneos, 1: 115-122.
- Richardson, C. J., 1985. *Mechanisms controlling phosphorus retention capacity in freshwater wetlands*. Science, 228, 1424.
- Richardson, C. J., D. L. Tilton, J. A. Kadlec, J. P. M. Chamie and W. A. Wentz, 1978. *Nutrient dynamics of northern wetland ecosystem, in Freshwater Wetlands: Ecological Processes and Management Potential*, Good, R. E., D. F. Whigham and R. L. Simpson, Eds., Academic Press, New York, 217.
- Shankman, D., 1997. *Stream channelization and changing vegetation patterns in the US coastal plain*. Geographical review 86 (2): 216-232.
- Urban, N. R. and S. J. Eisenreich, 1988. *Nitrogen cycling in a forested Minnesota bog*. Can. J. Bot. 66, 435.
- VandenBerg, G. A., J. P. G. Loch, L. M. vanderHeijdt and J. J. G. Zwolsman, 1998. *Vertical distribution of acid-volatile sulfide and simultaneously extracted metals in a recent sedimentation area of the river Meuse in the Netherlands*. Environmental Toxicology and Chemistry 17 (4): 758-763.
- Viñals, M.J., 1993. *Geomorfología de las zonas húmedas mediterráneas*. Recursos hídricos y Gestión medioambiental de las zonas húmedas mediterráneas. UIMP, Valencia.

EDITA: Sede para el Estudio de los Humedales Mediterráneos (SEHUMED) / DOMICILIO: Despacho 0.74 / Laboratorio de Ecotoxicología / Departamento de Biología Animal / Edificio Departamental "Jeroni Muñoz" / Universitat de Valencia / c/ Doctor Moliner 50 /
 E-46100 BURJASSOT (Valencia) España / Tel y Fax: (34) 96. 398. 37 77 / E-mail: SEHUMED@uv.es / Página WEB: <http://SEHUMED.uv.es>
 DISEÑO y MAQUETACION: Carmen Gil LLorens / FOTOMECANICA: Mediterráneo Color, S.L. / IMPRIME: Imprenta Máñez /
 Distribución: Valenvio, S.L. / DEPOSITO LEGAL: V - 1.205 - 1997 ISSN: 1137 - 7755