

## **TÍTULO DEL TRABAJO**

“Efecto de la degradación de las plantas en la eliminación de la materia orgánica en un humedal construido de flujo superficial”

## **TÍTULO RESUMIDO**

“Efecto del cosechado en un humedal superficial”

## **NOMBRE DE AUTORES**

Álvarez, J.A. \*<sup>1</sup>; Torres, L.A. <sup>1</sup>; Reinoso, R. <sup>1</sup> y Bécares, E. <sup>2</sup>

## **NOMBRE Y DIRECCIÓN DE LAS INSTITUCIONES**

<sup>1</sup>Instituto de Medio Ambiente (IMA), Universidad de León, Calle de La Serna, 56, 24007, León.

<sup>2</sup>Universidad de León, Dpto Ecología Genética y Microbiología, Área de Ecología. Campus de Vegazana, 24071, León.

## **NÚMERO DE TELÉFONO, FAX Y E-MAIL**

Teléfono: 987 238001; Fax: 987 291409; e-mail: jalvarezr@udc.es

## **FIGURAS Y TABLAS**

Figura 1: Parámetros físico-químicos medios de las tres corrientes investigadas

Figura 2: Seguimiento de la materia orgánica en las tres corrientes investigadas

Tabla 1: Valores medios de los parámetros de materia orgánica de las tres corrientes (unidades en mg/l)

Tabla 2: Eliminaciones medias de materia orgánica en la parte con y sin vegetación

## EFFECTO DE LA DEGRADACIÓN DE LAS PLANTAS EN LA ELIMINACIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA EN UN HUMEDAL CONSTRUIDO DE FLUJO SUPERFICIAL

Álvarez, J.A. \*<sup>1</sup>; Torres, L.A. <sup>1</sup>; Reinoso, R. <sup>1</sup> y Bécares, E. <sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Medio Ambiente (IMA), Universidad de León

<sup>2</sup>Universidad de León, Dpto Ecología Genética y Microbiología, Área de Ecología.  
Campus de Vegazana, 24071, León.

### RESUMEN

Los humedales construidos representan una alternativa de tratamiento de aguas residuales urbanas de bajo coste y altos rendimientos debido a su baja demanda energética y tecnológica. La vegetación del humedal libera una cierta cantidad de carbono al sistema cuando se degrada. Parte de esta materia orgánica puede permanecer en el sistema, y se va degradando a bajas velocidades durante el invierno. En esta investigación, un humedal de flujo superficial de 143 m<sup>2</sup>, se dividió en dos partes iguales, cortando la vegetación (*Typha*) en una parte, quedando la otra parte con ella. La carga orgánica media aplicada fue de 11,2 gDBO/m<sup>2</sup>d. Se realizó el seguimiento de la materia orgánica desde Diciembre 2004 a Abril 2005 (141 d), y fue a partir de finales de febrero 2005 cuando se observaron diferencias entre el humedal con y sin vegetación. Se ha comprobado como la vegetación libera materia orgánica, especialmente materia orgánica biodegradable y en suspensión (la DBO y los SST liberados por gramo de peso seco de *Typha*, fueron 4,24 mgDBO/g*Typha* y 4,36 mgSST/g*Typha*, respectivamente).

**PALABRAS CLAVE:** *Typha*, humedal construido, descomposición, materia orgánica biodegradable, materia orgánica en suspensión, cosechado.

### THE EFFECT OF PLANT DEGRADATION ON ORGANIC MATTER REMOVAL IN A SUPERFICIAL-FLOW CONSTRUCTED WETLAND

#### ABSTRACT

Constructed wetlands represent a low-cost and high removals municipal wastewater treatment alternative, due to low technologic and energetic demands. Wetland vegetation release an amount of carbon to the system, when it is degraded (winter period). Part of this organic matter could remain in the system, and it is going to degrade at very low velocities during winter. In this research, a superficial-flow wetland with an area of 143 m<sup>2</sup>, it was divided in two equal parts; it has been cut the vegetation (*Typha*) in one of them, the other has remained with it. The organic load applied to the system was 11,2 gDBO/m<sup>2</sup>d. It was carried out the control of the organic matter from December 2004 until April 2005 (141 d). At the second half of the operation, it was observed differences between wetland with and without vegetation. It was observed as vegetation release organic matter to the system, specially suspended and biodegradable matter (BOD and SST released per gram of *Typha* were 4,24 mgDBO/g*Typha* y 4,36 mgSST/g*Typha*, respectively).

**KEY WORDS:** *Typha*, constructed wetland, decomposition, biodegradable organic matter, suspended organic matter, harvesting.

### 1. INTRODUCCIÓN

Los humedales son sistemas de bajo coste particularmente aplicables para el tratamiento de aguas residuales en comunidades de baja-media población y en países en vías de desarrollo. La vegetación del humedal crece y emerge durante la primavera y el verano, pero al llegar el otoño empieza a decaer y se va degradando durante el resto del año, comunicando un aporte extra de materia orgánica al sistema, además de la recibida por el influente. Por esta razón, el cosechado es una práctica de explotación que aún es objeto de debate.

La utilidad del cosechado sobre el funcionamiento del proceso depende de muchos factores (clima, tipo de especies, características del agua residual). Es generalmente aceptado que el cosechado no tiene un efecto significativo sobre la eliminación de nutrientes (Wieder et al. 1989, Brix 1994) y no es una práctica recomendada (Reed et al. 1995, Crites 1994) porque la cantidad de nutrientes eliminados por cosechado es insignificante frente a los aportes (Brix 1994b). Otras desventajas del cosechado son el mayor coste de mantenimiento, la reducción de nichos para ciertas especies, el efecto de la resuspensión del sedimento durante el cosechado, y la desprotección del sistema frente a bajas temperaturas (Kadlec et al. 2000). Sin

embargo sí se recomienda el cosechado para mantener la conductividad hidráulica y el control de mosquitos (Bendoricchio et al. 2000), así como en zonas cálidas en las que la producción de biomasa es importante (Koottatep y Polprasert 1997). Por otro lado, Soto et al (1999) comprobaron que en el tratamiento de aguas residuales poco cargadas las plantas tienen un mayor efecto significativo sobre la depuración que en aguas normales. Ello permite suponer que el cosechado pudiera ser una estrategia de explotación válida en condiciones de aguas diluidas. En el presente trabajo se ha realizado el estudio de un humedal de flujo superficial tratando aguas residuales urbanas con el fin de comprobar el efecto que la eliminación de la vegetación tiene sobre la eliminación de la materia orgánica del proceso.

## 2. MATERIAL Y MÉTODOS

Un humedal de flujo superficial de un área de 143 m<sup>2</sup> (13 m de largo y 11 m de ancho), consistente en 40 cm de arcilla compactada, 30 cm de grava silíceo de 6-8 mm, 40 cm de agua y plantado con *Typha*, se dividió en dos partes iguales, quedando una parte con vegetación (*Typha*) y otra parte sin ella. El humedal forma parte de la depuradora de Cubillas de los Oteros, población de 150 habitantes situada en León (España). Esta depuradora consta de un desbaste, laguna facultativa, humedal de flujo superficial y humedal de flujo subsuperficial. La depuradora se alimenta con unas células fotovoltaicas que cargan una red de baterías de las que se obtiene la energía para alimentar la bomba de alimentación. El estudio se inició en diciembre de 2004, con el corte de la vegetación en una mitad del humedal, y aislando hidráulicamente cada parte mediante una pantalla estanca de madera tratada. Terminada la separación de las dos partes, cada humedal presentaba una superficie de 44 m<sup>2</sup> (11 x 4 m).

Durante todo el invierno (141 días de operación) se tomaron muestras de la salida de la laguna facultativa (influyente del humedal) y de la salida de cada parte del humedal (salida de zona con vegetación y salida de zona sin vegetación). Se realizaron análisis de SST, SSV, DQOt (total), DQOs (soluble), DBO, según Standard Methods (1995). Al mismo tiempo también se determinó en cada punto los valores de pH, temperatura y oxígeno disuelto.

La bomba de alimentación funcionó durante 9,5h diarias (distribuidas a lo largo del día) hasta el día 79 de operación, y a partir del día 79 hasta el final de la operación funcionó 7,5 h diarias. Esto se realizaba así debido a que se controló que la velocidad de carga orgánica no fuera superior a 12 gDBO/m<sup>2</sup>d, por otra parte, en determinados períodos de tiempo la energía almacenada por las baterías no era suficiente para que la bomba de alimentación funcionase continuamente. Debido a las condiciones de funcionamiento de la bomba el caudal medio instantáneo de funcionamiento fue de 0,62 l/s, mientras que el caudal medio del sistema a lo largo del día fue de 0,11 l/s. en cada zona El TRH medio aplicado a cada parte del humedal fue de 44.6 h. La DBO media de entrada a la laguna fue de 50 mg/l, valores de concentración característicos de la zona debido a la fuerte dilución del agua residual por infiltraciones. La carga orgánica se mantuvo alrededor de 10 g/m<sup>2</sup>d.

## 3. RESULTADOS Y DISCUSION

En la figura 1 se observa como el pH de entrada se mantuvo en un valor medio de 9,0 uds., valor característico del efluente de la laguna facultativa que precede a los humedales. El pH disminuye ligeramente en el humedal vegetado, probablemente como consecuencia de la mayor actividad heterótrofa en dicha parte.

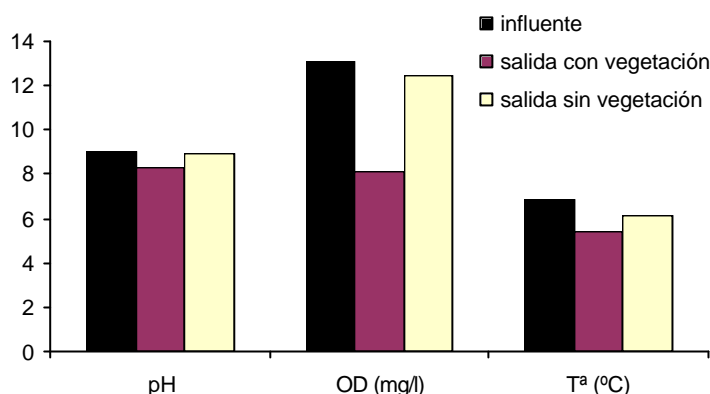


Figura 1: Parámetros físico-químicos medios de las tres corrientes investigadas

El estudio estadístico de los valores de pH, oxígeno disuelto y temperatura demuestra que existen diferencias significativas (t-student,  $P < 0,05$ ) en los tres parámetros. La presencia de la vegetación afecta los parámetros físico-químicos del humedal debido a que la mayor materia orgánica en la zona sin cosechar supone una mayor actividad respiradora, lo que produce un menor pH y mayor consumo de oxígeno. La vegetación mantuvo una mayor inercia térmica respecto a las fuertes heladas nocturnas que se registraron, lo que supuso valores más bajos en el momento del muestreo (medio día) en la zona vegetada que en la parte sin vegetación, aspecto que confirma la importante inercia térmica de la vegetación (Brix 1994)

Los valores de SST, DQOt, DQOs y DBO analizados se representan en la figura 2, donde se observa una clara diferencia entre dos períodos de operación: el período desde el día 1 al 70 (diciembre de 2004 hasta mediados de febrero de 2005) caracterizado por valores muy bajos del influente, y desde el día 70 hasta el día 140 (mediados de febrero hasta mediados de abril 2005). En la primera mitad de la investigación (del día 1 al 70), la diferencia en los efluentes de la parte con y sin vegetación no fue significativa (t-student,  $P > 0,05$ ) en ninguno de los parámetros analizados.

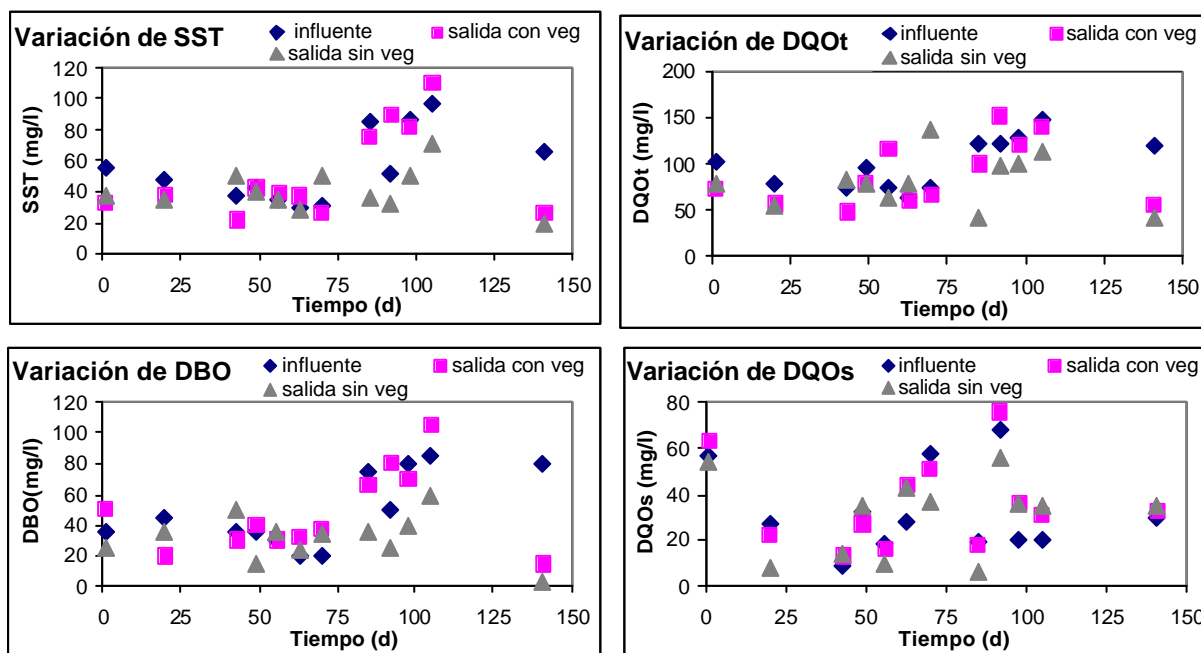


Figura 2: Seguimiento de la materia orgánica en las tres corrientes investigadas

En la segunda mitad del periodo de estudio (Tabla 1), el análisis de los datos demostró que los valores de SST, DQOt y DBO fueron estadísticamente diferentes, observándose una mayor reducción de la materia orgánica en suspensión y de la materia biodegradable en la mitad sin vegetación (Tabla 2). Los SST y la DBO del efluente se eliminan un 45,4% (de 77 a 42 mg/l) y 50,7% (de 67 a 33 mg/l) mejor en la zona sin vegetación que en la no cosechada. Por otra parte, la reducción de los SST lleva consigo también una reducción en la DQOt de un 30,7%, ligeramente inferior que los otros dos parámetros debido a que la materia orgánica soluble (DQOs) fue estadísticamente igual (t-student al 95%) en el efluente de ambas partes. La comparación del rendimiento medio de cada zona (Tabla 2) demuestra que la eliminación es superior en la zona sin vegetación

**Tabla 1: Valores medios de los parámetros de materia orgánica de las tres corrientes (unidades en mg/l)**

	Influyente				Salida con vegetación				Salida sin vegetación			
	SST	DQOt	DOOs	DBO	SST	DQOt	DOOs	DBO	SST	DQOt	DOOs	DBO
Medias del día 1 al 70	40	80	33	31	34	71	34	34	39	82	29	31
Medias del día 70 al 141	77	127	31	74	77	114	39	67	42	79	34	33

**Tabla 2: Eliminaciones medias de materia orgánica en la parte con y sin vegetación**

	% Eliminación parte con veg.				% Eliminación parte sin veg.			
	SST	DQOt	DOOs	DBO	SST	DQOt	DOOs	DBO
Medias del día 1 al 70	14,4	10,6	-3,1	-9,1	0,7	-2,7	12,2	0,9
Medias del día 70 al 141	0,5	10,4	-23,6	8,9	46,0	38,1	-7,0	55,8

Experimentos de laboratorio sobre la degradación de *Typha* a diferentes TRH (de 1,6 a 7,4 días) (Pinney et al. 2000) demostraron que a mayores TRH, mayor carbono orgánico era liberado por la *Typha*. Por otra parte, del 100% del carbono de la planta, el 5-8% se transformó en carbono orgánico disuelto; 45-60% se acumuló como biomasa al final del ensayo y; 35-60% se utilizó en crecimiento de bacterias o se degradó a CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub>. Aunque el carbono orgánico disuelto liberado por la planta es pequeño, la gran biomasa de vegetación puede tener un efecto relevante sobre el aporte de DBO<sub>5</sub> al sistema. Otro aspecto a tener en cuenta en un humedal es el papel que juega la comunidad de plancton presente en el mismo. Luyiga et al. (2003) observaron que el fitoplancton aumenta los niveles de oxígeno disuelto y el pH, mejorando la eliminación de DBO y NH<sub>4</sub>. Por otra parte, observaron que la eliminación de la DBO se realizaba en la primera octava parte del sistema, debido a la liberación de DBO por parte de las plantas y la fitobiomasa, e incluso se observó que la DBO aumentaba en las dos últimas octavas partes del sistema por el mismo motivo. Por otra parte, Baptista et al. (2003) investigaron 2 humedales a escala laboratorio, uno con vegetación y otro sin ella, observándose que la eliminación de carbono fue mayor en el de sin vegetación (63% frente a 51%). En nuestra investigación se ha comprobado que la diferencia de eliminación de DBO<sub>5</sub> en la parte sin vegetación frente a la parte con vegetación fue de 55,8% frente a 8,9% (tabla 2), por lo que la diferencia en eliminación de la materia orgánica biodegradable es mayor que la materia total carbonatada.

A partir de los datos obtenidos en esta investigación se puede calcular la materia orgánica liberada por la vegetación al humedal (*Typha*) en la segunda parte de la investigación en la que las diferencias demostraron ser estadísticamente significativas. En este período la

diferencia de DBO entre la dos zonas fue de 34 mg/l (67-33, tabla 1). Teniendo en cuenta que el humedal tiene un área de 44 m<sup>2</sup>, un volumen de agua de 16,5 m<sup>3</sup>, y que la biomasa de *Typha* fue de 3007,7?1120,2 g/m<sup>2</sup>. Se puede calcular que la DBO liberada por gramo de peso seco de *Typha*, fue de 4,24 mgDBO/g*Typha*.

Por otra parte, según Kadlec y Knight, (1996) se puede calcular la concentración umbral de DBO que se produce en el proceso biológico (por parte de las bacterias y microorganismos que intervienen en la degradación de la materia orgánica). Este valor umbral se puede calcular según la siguiente ecuación (Kadlec y Knight, 1996):  $C^*_{DBO} = 3,5 + 0,053 \cdot C_i$ , donde  $C^*_{DBO}$  es la concentración umbral de DBO y  $C_i$  es la DBO del influente. La ecuación ( $R^2 = 0,67$ ) se aplica a humedales superficiales y subsuperficiales y para valores de  $C_i$  menores de 200 mg/l. Para una DBO del influente de 74 mg/l (tabla 1), la  $C^*_{DBO}$  es de 7,4 mg/l. Se observa como la concentración de DBO que aporta la vegetación en nuestro sistema es 4,6 veces la concentración umbral estimada según Kadlec y Knight (1996).

De la misma manera se puede calcular los SST liberados por gramo de *Typha*. Teniendo en cuenta, los valores de la Tabla 1 (77-42 = 35 mgSST/l de diferencia entre el humedal con y sin vegetación), el área del humedal, volumen de agua y la biomasa de *Typha* en el humedal, se obtiene el valor de 4,36 mgSST/g*Typha*.

Al igual que en el caso de la DBO, según Kadlec y Knight (1996), la concentración umbral de SST se calcula según la ecuación:  $C^*_{SST} = 5,1 + 0,016 \cdot C_i$ , donde  $C^*_{SST}$  es la concentración umbral de SST y  $C_i$  es la concentración de SST del influente. La ecuación ( $R^2 = 0,23$ ) se aplica para humedales superficiales y para valores de  $C_i$  menores de 807 mg/l. En este caso obtenemos que la concentración de SST que aporta la vegetación en nuestro sistema es 2 veces la concentración umbral calculada según Kadlec y Knight (1996).

#### 4. CONCLUSIONES

Los resultados del presente trabajo confirman estudios previos (Soto et al. 1999) en el sentido de que, para aguas residuales diluidas, el efecto de la vegetación es significativo sobre la eliminación de la contaminación, pero también en cuanto al aporte de materia orgánica autóctona al sistema. El presente estudio demuestra que el cosechado de la vegetación tiene un efecto significativo sobre el pH, el oxígeno disuelto y la temperatura debido a que la ausencia de la misma favorece la fotosíntesis algal y disminuye la inercia térmica. Por otro lado la ausencia de materia orgánica, y por tanto la liberación de materia orgánica resultado de su degradación, permite reducir el aporte de SST y DBO del efluente en un 45,4% y 50,7%, respectivamente, respecto de la parte no cosechada. Los balances realizados señalan que el cosechado es una estrategia de explotación adecuada en las condiciones climatológicas del estudio. Sin embargo, su aplicación real debe compensarse en función de la dilución del agua de entrada, la cual puede hacer innecesario los costes del cosechado si el efluente final cumple, aún en presencia de vegetación, los límites legales de vertido.

#### 5- AGRADECIMIENTOS.

El trabajo ha sido realizado gracias a una beca Postdoctoral de la Xunta de Galicia a Juan A. Álvarez. Parte del trabajo ha sido subvencionado por el Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León. Los autores desean manifestar su agradecimiento a Antonio por su inestimable ayuda en el campo, así como al alcalde de Cubillas de los Oteros y a la empresa Tragsa por su cooperación en este trabajo.

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Baptista, J.D.C.; Donnelly, T.; Rayne, D. y Davenport, R.J. (2003). Microbial mechanisms of carbon removal subsurface flow wetlands. *Water Science and Technology*, 48(5), 127-134.
- Bendoricchio G.; Cin L.D. y Persson J. (2000) Guidelines for free wastewater wetland desing. *Eco Sys Bd.* 8, 51-91.
- Brix H. (1994). Use of constructed wetlands in water pollution control: Historical development, present status and future perspectives. *Water Science and Technology* 30(8), 209-223.
- Brix H. (1994b) Functions of macrophytes in constructed wetlands. *Water Science and Technology*, 29, 71-78.
- Crites R.W. (1992). Design criteria and practice for constructed wetlands. *Procc. Internat. Conf. Wetland Systems in Water Pollution Control*. Sydney.
- Koottatep T. y Polprasert C. (1997). Role of plant uptake on nitrogen removal in constructed wetlands located in the tropics. *Water Science and Technology* 36(12), 1-8.
- Kadlec, R.H. y Knight, R.L. (1996). *Treatment wetlands*. USA: Lewis Publishers.
- Kadlec, R.H., Knight R.L., Vymazal J., Brix H., Cooper P. y Haberl R. (2000). Constructed wetlands for pollution control. *Scientific and Technical Report 8*. IWA Publishing, London.
- Lyiga, S. y Kiwanuka, S. (2003). Plankton composition, distribution and significance in a tropical integrated constructed treatment wetland in Uganda. *Water Science and Technology*, 48(5), 241-248.
- Pinney, M.L.; WesterHoff, P.K. y Baker, L. (2000). Transformations in dissolved organic carbon through constructed wetlands. *Water research*, 34(6), 1897-1911.
- Reed S.R., Crites R.W. y Middlebrooks J.E. (1995) *Natural systems for waste management and treatment*. New York: McGraw-Hill.
- Soto, F.; García, M.; de Luís, E. y Bécares, E. (1999). Role of *Scirpus lacustris* in bacterial removal from wastewater. *Water Science and Technology*, 40(3), 241-247.
- Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, (1995). 19<sup>th</sup>. Edition, American Public Health Association/American Water Works Association/ Water Environment Federation, Washington D.C., USA.
- Wieder R.K., Tchobanoglous G. y Tuttle R.W. (1989) Preliminary considerations regarding constructed wetlands for wastewater treatment. En: D.A. Hammer: (ed.) *Constructed wetlands for wastewater treatment*. Chelsea : Lewis Publ..