

TÍTULO DEL TRABAJO

“Aplicación de tecnologías de bajo coste para la depuración integral de agua residual en pequeños municipios de la Comunidad de Castilla y León”

TÍTULO RESUMIDO

“Tecnologías de bajo coste para la depuración integral de agua residual municipal”

NOMBRE DE AUTORES

Rubén Cortijo^{1*}, Gemma Ansola² y Estanislao de Luis².

NOMBRE Y DIRECCIÓN DE LAS INSTITUCIONES

1 Instituto de Investigación de Medio Ambiente (IMA), Universidad de León.
C/ La Serna, 56. 24007 León.

2 Departamento de Ecología, Genética y Microbiología, Área de Ecología, Universidad de León.

NÚMERO DE TELÉFONO, FAX Y E-MAIL

Tlf.: 987 23 80 01. e-mail: degrcr@unileon.es

FIGURAS Y TABLAS

Figura 1.- Valore medios obtenidos en el efluente de los diferentes sistemas evaluados.

Tabla 1.- Gastos atribuidos a pequeñas obras en pequeños municipios durante el año 2005.

Boletín Oficial de la Provincia nº 109 de fecha 14 de mayo de 2004.

APLICACIÓN DE TECNOLOGÍAS DE BAJO COSTE PARA LA DEPURACIÓN INTEGRAL DE AGUA RESIDUAL EN PEQUEÑOS MUNICIPIOS DE LA COMUNIDAD DE CASTILLA Y LEÓN

Cortijo, R.^{1*}, Ansola, G.² y Luis, E.²

¹Instituto de Medio Ambiente (IMA), Universidad de León.

²Universidad de León, Dpto. Ecología, Genética y Microbiología, Área de Ecología,

RESUMEN

En este trabajo nos vamos a centrar en el uso de humedales artificiales para el tratamiento integral de agua residual de origen doméstico y para el tratamiento terciario de agua residual procedente del tratamiento de purines de cerdo, en pequeños municipios de la Comunidad de Castilla y León. Con el objetivo de cumplir los parámetros de vertido establecidos por la Directiva Comunitaria 91/271/CEE, en 1995 se construyó el primer humedal artificial de Castilla y León en la localidad de Bustillo de Cea (León), (Ansola, G., *et al*, 2000). Se trata de un sistema híbrido a escala real, que realiza un tratamiento integral del agua residual. Partiendo de la experiencia de Bustillo, se construyó un segundo humedal, para el tratamiento de agua residual urbana, en Cubillas de los Oteros (León). Se trata de un pequeño núcleo de población con 232 habitantes equivalentes, situado a 37 kilómetros al sur de la provincia de León. El tercer sistema consiste en un lagunaje construido en la localidad leonesa de Fresno de la Vega, que cubre las necesidades de depuración de alrededor de 700 habitantes equivalentes. Los purines de cerdo constituyen no sólo un importante problema desde el punto de vista agrícola, sino también desde su vertiente ambiental. En julio de 2002, se construyó en Fompedraza (Valladolid), un sistema piloto basado en la aplicación de humedales artificiales, para el tratamiento terciario de este tipo de residuos ganaderos. A partir de los resultados obtenidos en Fompedraza, se construyó un sistema a escala real en San Millán (León), (Cordero, M.C., *et al* 2003). En todos los casos descritos, los sistemas de depuración han obtenido muy buenos resultados en la depuración del agua residual tratada.

PALABRAS CLAVE: Humedal artificial, bajo coste, Directiva 91/271/CEE, materia orgánica biodegradable, sólidos en suspensión.

CONSTRUCTED WETLANDS FOR INTEGRAL MUNICIPAL WASTEWATER TREATMENT IN CASTILLA Y LEON

ABSTRACT

In this work we are going to be focused on the use of constructed wetlands for integral municipal wastewater purification, and for tertiary treatment stage of swine wastes.

To obtain an effluent in order the European Directive 91/271/CEE, the first real scale M.H.E.A. system, for domestic wastewater treatment constructed in Castilla y León, was Bustillo de Cea Treatment Plant (Bustillo de Cea, León) (Ansola, G., *et al* 2000). It is a full scale hybrid system for integral wastewater treatment. Starting of Bustillo's experience, it was constructed a new constructed wetland in Cubillas de los Oteros (León). This is a small nucleus of population with 232 inhabitants, placed 37 Km from León. The third system of wastewater treatment was constructed in Fresno of the Vega (León) for an equivalent population of 700 inhabitants.

Swine waste is an important agricultural and environmental concern, for this reason, a pilot plant for the tertiary treatment of swine wastewater using constructed wetlands has been set up in Fompedraza (Valladolid) in July 2002. Starting of the results obtained in Fompedraza, a real scale system was constructed in San Millán (León), for the tertiary treatment of swine wastes (Cordero, M.C., *et al* 2003). All of these systems have obtained great results in removal efficiency.

KEY WORDS: Constructed wetland, low operational cost, European Directive 91/271/CEE, biodegradable organic matter, suspended solids.

1. INTRODUCCIÓN

El tratamiento de aguas residuales mediante sistemas naturales como son los humedales artificiales, esta cada vez más extendido y es una opción muy a tener en cuenta para pequeños y medianos municipios de España. Además son más flexibles y menos susceptibles a fluctuaciones de la carga contaminante que los sistemas convencionales (Kadlec, R.H., Knight, R.L. 1999).

Una de las medidas encaminadas a la preservación del medio acuático es la Directiva 91/271/CEE de 21 de mayo de 1991. Establece una serie de requisitos para los vertidos de

plantas de tratamiento de aguas residuales, a más tardar, el 31 de diciembre del año 2005 para poblaciones con un número de habitantes equivalentes de 2.000 a 15.000.

Además de los problemas ecológicos causados por la contaminación de las aguas, la sociedad actual tiene que abordar el dilema económico que supone el resolver de forma eficaz y conveniente la depuración de las aguas ya utilizadas y degradadas por el hombre. Este es el caso de los pequeños municipios que quieren atajar el problema de la contaminación de sus aguas y que, tras haber conseguido financiaciones más o menos rentables para algún sistema convencional de depuración, no disponen de los mínimos presupuestos para un mantenimiento que suponga el rendimiento adecuado del sistema para los años siguientes.

La investigación en el campo del tratamiento de agua residual urbana y agrícola mediante tecnologías no convencionales, como son los humedales artificiales, ha desembocado en el diseño (Brix, H., 1993), construcción y puesta en marcha de diversos sistemas de tratamiento basados en la combinación de las diferentes etapas de las que se constituye una hidroserie vegetal natural (Radoux 1989).

En este trabajo nos vamos a centrar en el uso de humedales artificiales para el tratamiento integral de agua residual de origen doméstico y para el tratamiento terciario de agua residual procedente del tratamiento de purines de cerdo, en pequeños municipios de la Comunidad de Castilla y León, evaluando también los costes que suponen para el municipio.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

En este apartado se describen brevemente los cuatro humedales artificiales objeto de estudio, para el tratamiento integral de agua residual de origen doméstico y para el tratamiento terciario de agua residual procedente del tratamiento de purines de cerdo, en pequeños municipios de la Comunidad de Castilla y León.

Las muestras han sido tomadas a la entrada y a la salida de cada sistema de tratamiento de agua residual, y han sido almacenadas y analizadas siguiendo los protocolos descritos en APHA-AWWA-WPCF (1989).

2.1. Bustillo de Cea. Tratamiento integral de agua residual urbana. Escala real.

El sistema queda distribuido como sigue (Cortijo, R., *et al* 2002): **1.-PRETRATAMIENTO:** tanque de hormigón seguido de dos vías paralelas de 10 metros de longitud equipadas con dos rejillas. **2.-PRIMERA Balsa:** superficie de 230 m², con 2 metros de profundidad en la parte de acceso del afluente y 1,5 metros a la salida del efluente. **3.-SEGUNDA Balsa:** de 220 m². Sobre esta balsa, se han trasplantado 15 pies/m² de *Typha latifolia*. Flujo hidráulico de tipo superficial. **4.-TERCERA Balsa:** de 450 m². Esta balsa está dividida en dos zonas. La primera zona tiene una superficie de 87,5 m² y presenta también flujo superficial. Ha sido plantada con 15 pies/m² de *Iris pseudacorus*. La segunda zona tiene una extensión de 362,5 m² y está compuesta por un filtro de grava inerte en la que se ha plantado 1 pie/m² (de *Salix atrocinerea*). Flujo superficial. Para este estudio se han tenido en cuenta los primeros 30 muestreos mensuales.

2.2. Cubillas de los Oteros. Tratamiento integral de agua residual urbana. Escala real.

La distribución del sistema es la siguiente: **1.-PRETRATAMIENTO:** dos líneas paralelas de 2 metros de largo y medio metro de profundidad, equipadas con un juego de dos rejillas, al que les sigue una fosa séptica. **2.-LAGUNA FACULTATIVA:** superficie de 1158 m² y su profundidad es de 1,60 m. HRT de diseño 26 días. **3.-LECHO DE TYPHAS:** superficie de 143 m². Sobre esta balsa, se han plantado, 15 pies/m² de *Typha latifolia*. Flujo superficial. **4.-LECHO DE SAUCES:** de 585 m². Sobre su lecho de grava se han plantado 15 pies/ m² de

Salix atrocinerea. Flujo subsuperficial. Para este estudio se han tenido en cuenta los primeros 7 muestreos mensuales.

2.3 Fresno de la Vega. Tratamiento integral de agua residual urbana. Escala real.

El sistema está compuesto por dos lagunas anaerobias en cabecera, trabajando en paralelo; seguidas de una laguna facultativa central y una última balsa de maduración. Estas lagunas están distribuidas como indica: **1.-LAGUNAS ANAEROBIAS:** cada laguna tiene una superficie de 335 m² y una profundidad de 4 m. Su HRT de diseño es de 3 días. **2.-LAGUNA FACULTATIVA:** de 8418 m². Su profundidad es de 2 m y en ella el agua permanece 34 días. **3.-LAGUNA DE MADURACIÓN:** superficie de 3169 m². Su profundidad es de 1,5 m y en ella el agua permanece 8 días. Para este estudio se han tenido en cuenta los primeros 7 muestreos mensuales.

2.4. San Millán de los Caballeros. Tratamiento terciario de purines de cerdo. Escala real.

A partir de los resultados obtenidos en Fompedraza, se construyó un sistema a escala real en San Millán (León), (Cordero, M.C., et al 2003):**1.-PRIMERA LAGUNA:** es común a ambas líneas; presenta un flujo superficial del agua y en ella han sido plantados 10 pies/m² de *Typha latifolia* sobre un lecho de grava de 0.30 m. Su superficie es de 667.41 m². **2.-SEGUNDA LAGUNA (Serie 1):** presenta flujo subsuperficial y tienen una superficie de 666.45 m². Sobre su lecho de grava de 0.60m de profundidad, se han plantado 10 pies/m² de *Phragmites australis*. **3.-TERCERA LAGUNA (Serie 2):** flujo subsuperficial. Su superficie es de 666.45 m². Sobre su lecho de grava de 0.60m de profundidad, se han plantado 10 pies/m² de *Salix atrocinerea*. Para este estudio se han tenido en cuenta los primeros 8 muestreos mensuales.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La **figura 1** representa los valores medios obtenidos en el efluente de los cuatro sistemas descritos.

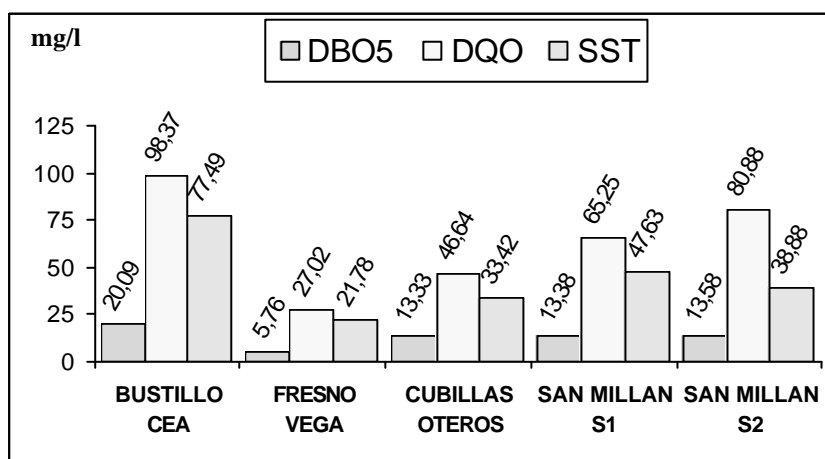


Figura 1.- Valores medios obtenidos en el efluente de los diferentes sistemas evaluados.

Comparando los datos de la figura 1 con los presentados por la IWA 2000, donde se reflejan las concentraciones medias de SST y DBO₅ de entrada y salida en Europa, vemos que, estamos trabajando con un agua residual semejante a la media europea en cuanto a sólidos suspendidos se refiere, pero por debajo si nos centramos en la materia orgánica biodegradable.

Bustillo de Cea y San Millán no siguen la misma pauta, y presenta efluentes de sólidos suspendidos por encima de los valores comunitarios.

Vymazal, J., (2002) compara en su trabajo los efluentes de diferentes sistemas similares en la República Checa, Dinamarca, Reino Unido, Norte América, Alemania, Polonia, Eslovenia y Suecia. En estos países se obtienen efluentes de DBO₅ situados entre los 5,9 mgO₂/l de la planta de Suecia (Sundblad 1998) y los 21,6 mgO₂/l de Alemania (Börner *et al* 1998). Los efluentes obtenidos en los tratamientos de la Comunidad de Castilla y León están en consonancia con los resultados europeos. En el caso de la DQO los resultados son similares, ya que los mismos tratamientos señalados por Vymazal, J., (2002) se sitúan entre los 35-101 mgO₂/l en el punto de vertido. Sólo Fresno de la Vega con un vertido medio de DQO de 27,02 mgO₂/l, se sitúa por debajo de los tratamientos comparados en este artículo. Por el contrario, en el caso de los sólidos suspendidos, los valores europeos de vertido se sitúan entre los 10,2 mg/l de la República Checa (Vymazal, J., 2002) y los 38,6 mg/l de Polonia (Kowalik and Obarska-Pempkowiak 1998) y son superados por los humedales de Bustillo de Cea y San Millán en sus dos series. Esto puede ser debido a problemas de mantenimiento en el primer caso y de estabilización del sistema en el segundo.

Todos los sistemas adecuan el vertido de los tres parámetros analizados a la Directiva Comunitaria 91/271/CEE, a excepción de los sólidos suspendidos de Bustillo de Cea y San Millán en sus dos series. En el primer caso esto puede ser debido a la presencia de gran cantidad de *Lemna minor* en la balsa de salida, y en concreto a su descomposición, que eleva de forma muy significativa la cantidad de sólidos totales presentes en el agua. En la actualidad este problema se ha subsanado gracias al relleno con grava de la balsa de salida. Por otro lado, la elevada cantidad de sólidos suspendidos en los efluentes de las dos series de San Millán puede ser debido a que el sistema se encontraba en fase de estabilización, ya que entre otros factores, los pies de *Phragmites australis* y *Salix atrocinnerea* era aún muy jóvenes.

La **tabla 1** compara los gastos derivados del mantenimiento del humedal de Bustillo de Cea durante el bienio 2003/2005, con el coste que para pequeños municipios por debajo de 2000 habitantes supone la realización de obras de competencia municipal que se vayan a ejecutar dentro del casco de la población.

Tabla 1.- Gastos atribuidos a pequeñas obras en pequeños municipios durante el año 2005. Boletín Oficial de la Provincia nº 109 de fecha 14 de mayo de 2004.

LOCALIDAD	PEQUEÑAS OBRAS 2005	PRESUPUESTO
Abadengo de Torío	Pavimentación de calle	16.574 €
Ciñera	Acondicionamiento parque	17.995 €
Bustillo de Cea	Cubrimiento frontón 2ª fase	18.678 €
Bustillo de Cea	Mantenimiento depuradora	1.976 €

En la tabla 1 se pone de manifiesto como los sistemas naturales de bajo coste, sin elementos electromecánicos, como el humedal de Bustillo de Cea, suponen un gasto aproximado diez veces menor para las arcas municipales, que la realización de pequeñas obras dentro del casco urbano.

4. CONCLUSIONES

Bustillo de Cea elimina eficazmente tanto DBO₅, DQO. El vertido de sólidos en suspensión excede lo establecido legalmente en ocasiones puntuales, lo que repercute en el valor medio final. El sistema de tratamiento terciario de purines de cerdo de San Millán de los Caballeros reduce las concentraciones de DBO₅ y DQO a niveles por debajo de los límites de vertido exigidos por la Unión Europea; las concentraciones de SST en el efluente son ligeramente superiores a los máximos permitidos por la Directiva Comunitaria. En todos los muestreos realizados en las plantas de tratamiento de Fresno y Cubillas se ha cumplido la Normativa Europea para todos los parámetros. Aún siendo sistemas naturales de depuración de bajo coste, que no precisan de un mantenimiento tan frecuente como los sistemas convencionales, una gestión descuidada puede hacer que los rendimientos de eliminación se vean afectados negativamente. Los sistemas de tratamiento de agua residual de bajo coste como son lagunajes y humedales artificiales, son una alternativa eficaz y económica para los pequeños municipios de la Comunidad de Castilla y León.

5. REFERENCIAS

Ansola, G., Cortijo, R., González, J.M., Luis, E., (2000). Constructed Wetlands Application Based on M.H.E.A. System for Rural Population Wastewater Treatment, VII International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control. Lake Buena Vista, (Florida), pp. 1007-1013.

APHA-AWWA-WPCF (1989). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Ed. Clesceri, L. S.; Greenberg and R. R. Trussell, 17th Edition, Baltimore, Maryland.

Boletín Oficial de la Provincia de León nº 109 de fecha 14 de mayo de 2004.

Böner, T., von Felde, K., Gschlössl, T., Kunst, S., Wissing, F.W., (1998). Germany. In: Vymazal, J., Brix, H., Cooper, P.F., Green, M.B., Haberl, R., (Eds.). Constructed Wetlands for Wastewater Treatment in Europe. Backhuys Publishers, Leiden, The Netherlands, pp.169-190.

Brix, H., (1993). Wastewater treatment in constructed wetlands: System design, removal processes, and treatment performance. Chapter 2, in G.A. Moshiri (ed.) Constructed Wetlands for Water Quality Improvement. Boca Raton, Fl. Lewis Publishers pp. 9-22.

Cordero, M.C., Ansola, G. & De Luis, E., (2003). 1st International Seminar on The Use of Aquatic Macrophytes for Wastewater Treatment in Constructed Wetlands. Ed. Verissimo Dias e Jan Vymazal. 1^a ed. may 2003. SWINE WASTE TERTIARY TREATMENT FOR NITROGEN REMOVAL BY A CONSTRUCTED WETLAND.

Cortijo, R., Ansola, G., Luis, E., (2002). Depuración Integral de Aguas Residuales Mediante un Sistema Natural de Bajo Coste. Avances en Calidad Ambiental. Pedro Ramos Castellanos y M^a del Carmen Márquez (Eds.) pp. 191-198.

Directiva Comunitaria sobre Tratamiento de Aguas Residuales Municipales 91/271 CEE (1991).

IWA Specialist Group on Use Of Macrophytes in Water Pollution Control (2000). Constructed Wetlands for Pollution Control.



Kadlec, R.H., Knight, R.L. (1999). *Treatment Wetlands*. Lewis Publishers, C.R.C., New York.

Kowalik, P., Obarska-Pempkowiak, H., (1998). Poland. In: Vymazal, J., Brix, H., Cooper, P.F., Green, M.B., Haberl, R., (Eds.). *Constructed Wetlands for Wastewater Treatment in Europe*. Backhuys Publishers, Leiden, The Netherlands, pp.217-225.

Radoux, M., (1989). *Epuration des eaux usées par hydrosére reconstituée*. Journée d'Etude Cebedeau-IAWPRC pp. 62-68.

Sundblad, K., Sweden. In: Vymazal, J., Brix, H., Cooper, P.F., Green, M.B., Haberl, R., (Eds.). *Constructed Wetlands for Wastewater Treatment in Europe*. Backhuys Publishers, Leiden, The Netherlands, pp.251-259.

Vymazal, J., (2002). The use of sub-surface constructed wetlands for wastewater treatment in the Czech Republic: 10 years of experience. *Ecological Engineering* 18, 633-646.