

Depuración integral de aguas residuales mediante un sistema natural de bajo coste

R. CORTIJO*, G. ANSOLA y E. LUIS

*Instituto de Investigación de Medio Ambiente
Universidad de León. C/ La Serna, 56, 24007 León
E-mail: degrcr@unileon.es

Palabras clave: contaminación fecal, humedal artificial, macrófitos, materia orgánica.

INTRODUCCIÓN

El tratamiento de aguas residuales mediante sistemas naturales como son los humedales artificiales, está cada vez más extendido y es una opción muy a tener en cuenta para pequeños y medianos municipios de España, debido a sus grandes ventajas derivadas de sus bajos costes de explotación y mantenimiento, gran calidad del efluente final, supresión completa de ruidos y también por su estética, que los hacen «invisibles» al integrarse en el paisaje. Además requieren una menor superficie que otros sistemas naturales como el lagunaje, y son más flexibles y menos susceptibles a fluctuaciones de la carga contaminante que los sistemas convencionales.

En España se ha demostrado que los sistemas de depuración convencionales aplicados a municipios pequeños y medianos han tenido muchos problemas de funcionamiento, estando en la actualidad parados o abandonados en su gran mayoría. Esto no es debido a que los procesos no sean los adecuados, ya que se ha demostrado que son perfectamente válidos, sino a lo elevado de sus costes de explotación y mantenimiento. De aquí, la importancia creciente de dotar a los pequeños núcleos de población con sistemas depuradores de bajo coste de explotación y mantenimiento como son los humedales artificiales.

Para aportar información objetiva sobre la utilización de estas tecnologías naturales en la depuración de aguas residuales, se ha creado un Mosaico Jerarquizado de Ecosistemas Artificiales (MJEA), que nos ha permitido comparar la eficacia depuradora global de diferentes ecosistemas acuáticos, semiacuáticos y terrestres en las mismas condiciones climáticas y de carga orgánica del afluente [1], [2].

En este trabajo nos centraremos en evaluar la eficacia depuradora de un humedal artificial, estudiando la eficacia del sistema en la reducción de la materia orgánica (DBO, DQO y SST) y de la contaminación fecal (coliformes fecales y estreptococos fecales).

Para conseguir una optimización del diseño se ha ensayado con una planta experimental a escala real utilizando una secuencia de comunidades vegetales, que en base a

sus características biológicas, ha conseguido obtener una mejor calidad físico-química y microbiológica del efluente y utilizar el mínimo área aplicando la máxima carga posible.

LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

Bustillo de Cea es una localidad situada en el noreste de la provincia de León. Es un núcleo de población que durante el periodo invernal no excede de los 250 habitantes equivalentes, llegándose a alcanzar los 400 habitantes equivalentes en pleno verano. Es una localidad donde la actividad predominante es la agrícola, con cultivos de cereal como son el trigo, centeno, cebada y maíz, aunque también existen pequeñas explotaciones familiares de ganadería, predominando el ganado vacuno sobre el ganado ovino.

Se ha elegido esta localidad como prototipo de experimentación, con el propósito de sacar conclusiones acerca de la eficacia depuradora de un sistema de tratamiento natural basado en un humedal artificial.

Para conseguir una depuración que responda a las exigencias de la directiva europea 91/271 para el año 2005, se ha propuesto un sistema de tratamiento integral del agua a escala real, el cual está compuesto por un pretratamiento físico en dos etapas y tres balsas conectadas en serie (Figura 1).

Su superficie total es de 900 m², y para su diseño se han tenido en cuenta los resultados obtenidos en un sistema a escala real en Lallaing (Francia) [3].

El sistema queda distribuido como sigue (Figura 2):

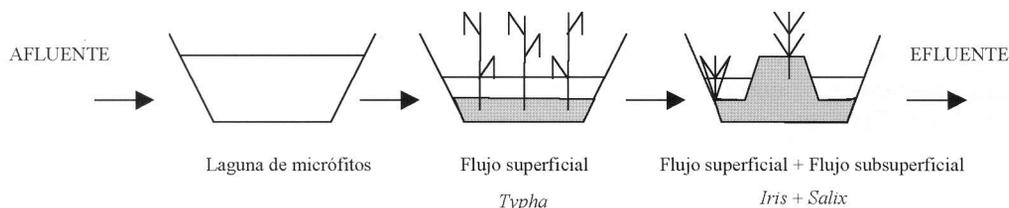


FIGURA 1. Esquema del sistema en corte longitudinal.

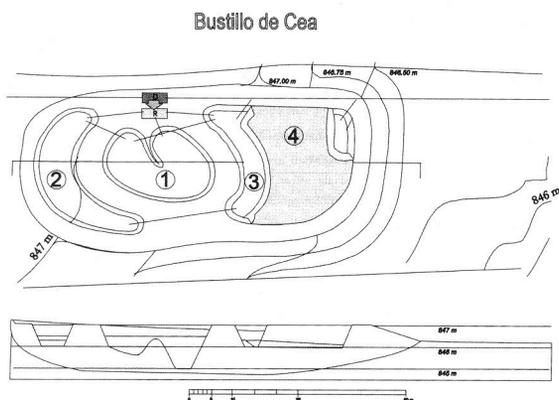


FIGURA 2. Esquema del sistema en planta. ● Puntos de muestreo.

D. PRETRATAMIENTO: el agua bruta procedente del colector general, entra a un primer tanque o pretratamiento. De éste el agua pasa a la segunda etapa del pretratamiento que consiste en dos vías paralelas de 10 metros de longitud equipadas con dos rejillas. Después la velocidad del flujo se ralentiza y genera de nuevo las condiciones apropiadas para la eliminación de las partículas sólidas más pequeñas por sedimentación.

1. PRIMERA Balsa: ocupa 230 m², forma una laguna de 2 metros de profundidad en la parte de acceso del afluente y va disminuyendo la misma hasta alcanzar los 1.5 metros a la salida del efluente. Esta laguna constituye un ecosistema acuático con micrófitos. De esta balsa, y por la zona menos profunda el agua entra en la segunda laguna.

2. SEGUNDA Balsa: de 220 m². Sobre esta balsa, se han trasplantado desde su ambiente natural, 15 individuos de *Typha latifolia* por m² intentando así potenciar la capacidad de los macrófitos para la eliminación de la contaminación. Los helófitos han sido trasplantados sobre una capa de sustrato inerte sobre la que circula una capa de agua de unos 25 cm, siendo el flujo hidráulico de tipo superficial.

3. 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 individuos por 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 (de *Salix atrocinerea*) por m². En esta última zona el flujo pasa a ser de tipo subsuperficial. El efluente que sale de esta balsa es un agua ya depurada que actualmente se está reutilizando para riego agrícola.

Se han realizado 26 muestreos distribuidos a lo largo de todo un año. Para obtener una visión de lo que ocurre en cada unidad de tratamiento que compone el sistema completo, se escogieron cinco puntos de muestreo que son los siguientes (Figura 2):

- | | | |
|-----------------------------|--------------------|-----------------------------|
| P1.- Entrada a tratamiento. | P2.- Distribuidor. | P3.- Salida de la laguna 1. |
| P4.- Salida de la laguna 2. | P5.- Vertido. | |

METODOLOGÍA

Para la determinación de los parámetros analíticos (DBO, DQO, SST, CF y EF) se han seguido los métodos descritos en [4], con las siguientes variaciones; se ha utilizado un método automático de medida electrónica de presión para la determinación de la DBO, OxiTop de WTW en un volumen de 250 ml de agua residual. Se ha seguido el método de reflujo cerrado, método titulométrico para la determinación de la DQO en un volumen de 2.5 ml de agua residual, teniéndose que diluir en ocasiones puntuales la muestra número 1 (entrada a tratamiento) en una proporción de 1/10. El volumen de agua residual filtrado para el cálculo de SST ha variado de 25 ml a 250 ml dependiendo de la época del año en la que se ha realizado la determinación. En verano hay mayor presencia de algas, por lo que el volumen de agua que se puede filtrar es menor que en invierno. Se han determinado dos grupos bacterianos, coliformes fecales (CF) y estreptococos fecales (EF). El volumen de agua residual filtrado ha sido de 100 ml en todos los casos. Las diluciones realizadas han sido de 10⁻³ y 10⁻² para el grupo de los CF, y de 10⁻² y 10⁻¹ para el grupo de los EF.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1 se muestran las características medias del agua residual de la localidad de Bustillo de Cea (P1), así como los valores medios obtenidos durante el análisis

temporal de cada punto de muestreo. En la Tabla 2 se representan los rendimientos de eliminación medios obtenidos durante el análisis temporal de cada punto de muestreo.

TABLA 1. Características medias del agua residual de la localidad de Bustillo de Cea y valores medios en cada punto de muestreo. $Q = 75.5 \text{ m}^3 / \text{día}$

	P1	P2	P3	P4	P5
DBO (mgO_2/l)	63	34	34	37	19
DQO (mgO_2/l)	217	97	131	126	82
SST (mg/l)	120	35	74	66	68
CF (ufc/100 ml)	321674	256022	118578	30058	31961
EF (ufc/100 ml)	193150	40219	10200	2865	2512

TABLA 2. Valores medios de eliminación en %

	P1-P2	P2-P3	P3-P4	P4-P5	P1-P5
DBO (mgO_2/l)	49	41	35	62	63
DQO (mgO_2/l)	51	30	32	63	61
SST (mg/l)	62	16	39	64	63
CF (ufc/100 ml)	438085	629597	902591	756996	922082
EF (ufc/100 ml)	515895	609891	799207	737045	912334

Analizando los valores que se muestran en la Tabla 1, podemos decir que nos encontramos ante un agua residual de origen doméstico con una carga débil [5]. La relación media entre CF/EF tiene un valor de 12.74 en el punto 1 y de 13.76 en el punto 5. Esto nos indica que la contaminación fecal es claramente de origen humano.

Comparando los datos de la Tabla 1 (P1 y P5) con los presentados en [6], donde se reflejan las concentraciones medias de SS y DBO de entrada y salida en Europa, vemos que en nuestro caso estamos trabajando con un agua residual más cargada en sólidos suspendidos pero con menor cantidad de materia orgánica biodegradable que la media europea.

En la Tabla 2 se puede observar que las reducciones medias de materia orgánica han alcanzado un valor máximo del 64%, y lo han hecho en la eliminación de sólidos suspendidos en el P5. Este aspecto nos llama la atención, pues cabría esperar que la máxima eliminación media de sólidos se diera en el P2 donde se alcanza el 62%. Esto es debido a que estamos representando datos medios, donde los rendimientos nulos no se han tenido en cuenta.

Los valores medios de reducción de DBO y DQO son del 62% y 63% respectivamente y se producen en el P5. Son valores muy similares entre sí, y también muy próximos al valor medio de eliminación de sólidos suspendidos. Los rendimientos de eliminación medios para la DBO, DQO y SST más bajos se dan en los tres casos en el P4 si exceptuamos el valor de reducción de SST del 16% del P3.

Globalmente el sistema consigue una eliminación media máxima de materia orgánica del 63%, valor que se alcanza tanto en la eliminación media de DBO como de SST.

Estos resultados son muy parecidos a los obtenidos por [1], si bien en esta ocasión se produce un aumento en la eliminación de DBO y DQO.

El trabajo realizado por [7] en Tanzania, obtiene unos resultados superiores en la eliminación de la DQO, con valores del 60.7% en su tratamiento con *Typha*. Sin embargo, sus resultados de eliminación de CF se sitúan por debajo de lo expuesto en este trabajo, con valores de eliminación del 72% para *Typha*, si bien la temperatura media en ese estudio fue superior a la temperatura media de este ensayo. En el trabajo realizado por [8] en la costa mediterránea de Marruecos, los rendimientos de eliminación obtenidos fueron del 47% para SST, 29% para DQO y 51% para DBO. Estos valores se aproximan a los de este estudio, si bien ellos trabajan con aguas más cargadas.

Con respecto a la eliminación de contaminación fecal, en la Tabla 2 se muestra que el sistema completo obtiene unas reducciones medias de CF y EF del 92.2082% y 91.2334% respectivamente de manera global, siendo los valores punta de 2006000 ufc/100 ml para CF y 193150 ufc/100 ml para EF (Figura 5). Cabe destacar que la reducción media de CF en el P4 está próxima a los valores medios de eliminación del sistema completo y es de los cinco puntos el que mejores rendimientos de eliminación alcanza. Por otro lado, el punto que obtiene los rendimientos más bajos en el P2 con valores medios de eliminación del 43.8085% para CF y del 51.5895% para EF.

Si nos fijamos en el P5 de las figuras 3, 4, 5, 6 y 7, que se representan a continuación, vemos que en el muestreo 19 falta el dato. Esto es debido a que ese día el canal de riego estaba tan crecido que no se pudo tomar la muestra. La línea horizontal representada en el P5 de las figuras 3, 4 y 5 marca el límite de vertido legal que establece [9].

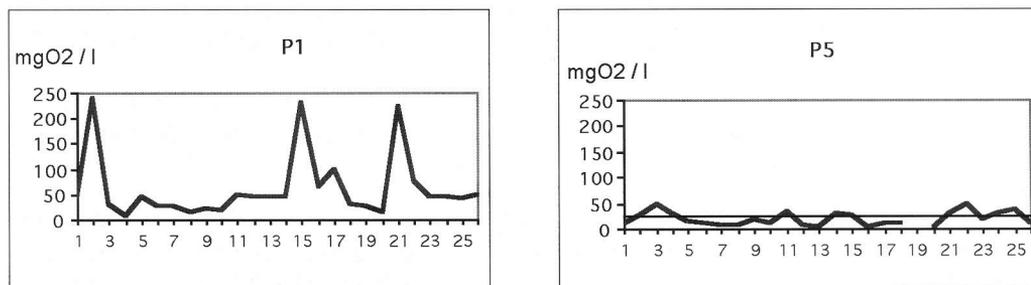


FIGURA 3. Evolución temporal de la DBO a lo largo del tratamiento en afluente y efluente

En la Figura 3 se puede observar que los valores de DBO de entrada al sistema (P1) fluctúan entre los 6 mgO₂/l del muestreo 4 y los 100 mgO₂/l del muestreo 17. La entrada media se sitúa en 63 mgO₂/l, viéndose sobrepasado este valor en los muestreos 2, 15, 17 y 21, y llegándose a alcanzar un valor punta de 237 mgO₂/l en el muestreo 2. Los tres picos que se reflejan en la Figura 3 pueden ser ocasionados por el lavado y limpieza de las pequeñas explotaciones ganaderas de la zona. Los valores de vertido (P5) se sitúan por debajo de lo indicado en la Directiva Comunitaria 91/271/CEE (25 mgO₂/l), con un valor medio de 19 mgO₂/l, sobrepasándose en los casos en que las puntas de entrada son muy elevadas.

La Figura 4 muestra valores de entrada (P1) de DQO que oscilan entre los 41.32 mgO₂/l del muestreo 7 a los 296.03 mgO₂/l del muestreo 21, siendo en conjunto valores más fluctuantes que en el caso anterior. El valor medio de entrada es de 217 mgO₂/l. El valor punta de entrada es de 858.11 mgO₂/l correspondiendo al muestreo

15. Con respecto a la gráfica que representa los valores de vertido (P5), podemos señalar que el vertido únicamente sobrepasa el límite legalmente establecido por la Directiva Comunitaria 91/271/CEE (135 mgO₂/l) en los muestreos con mayor carga orgánica en el afluente.

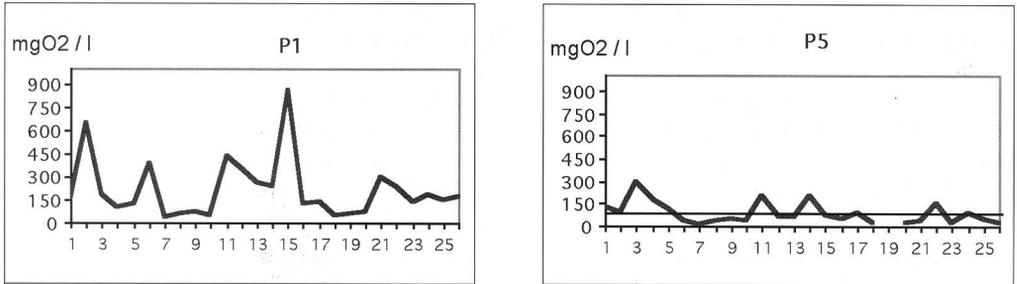


FIGURA 4. Evolución temporal de la DQO a lo largo del tratamiento en afluente y efluente

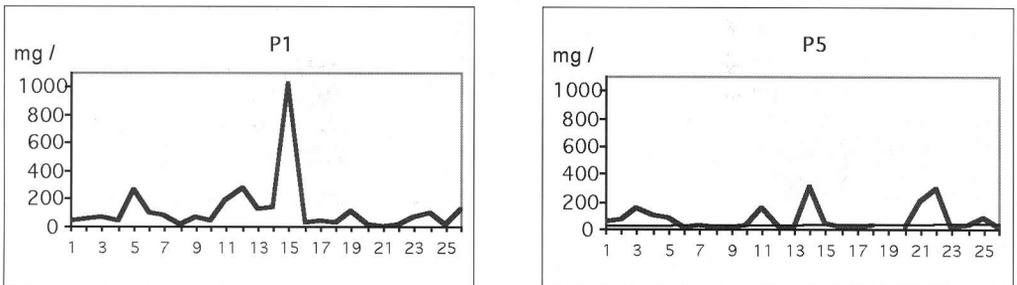


FIGURA 5. Evolución temporal de los SST a lo largo del tratamiento en afluente y efluente

La Figura 5 muestra valores de entrada (P1) de SST que fluctúan entre los 3 mg/l del muestreo 21 y los 270 mg/l del muestreo 12. La entrada media de sólidos suspendidos es de 120 mg/l, alcanzándose un valor punta de 1014 mg/l en el muestreo 15. Esto puede ser debido a las lluvias torrenciales que ocurrieron en esas fechas y que pudieron afectar a todo el sistema de saneamiento. Los valores de salida (P5) muestran que el vertido cumple con las exigencias europeas durante casi todo el año.

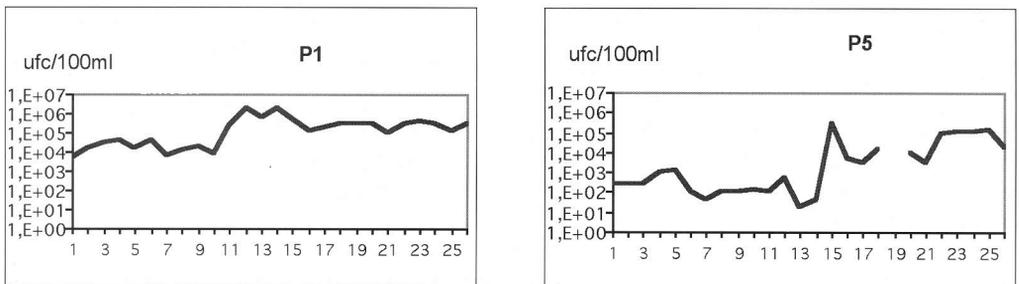


FIGURA 6. Evolución temporal de los CF a lo largo del tratamiento en afluente y efluente

En la Figura 6 se puede observar que los valores de entrada (P1) de CF oscilan entre las $10E^3$ y las $10E^5$ ufc/100 ml. El valor medio de entrada se sitúa en las 321674 ufc/100 ml. Se observan dos picos en los muestreos 12 y 14 con un valor punta de 2006000 ufc/100 ml del muestreo 14. Los valores de vertido (P5) oscilan entre 10 y $10E^2$ ufc/100 ml. A partir del muestreo 15, los valores de salida pasan a ser de entre $10E^3$ y $10E^4$ ufc/100 ml, coincidiendo con la desaparición de *L. minor* que había colonizado el sistema de forma natural.

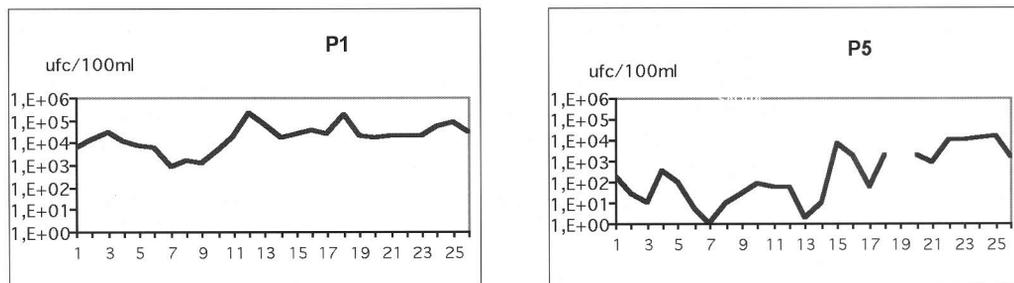


FIGURA 7. Evolución temporal de los EF a lo largo del tratamiento en afluente y efluente

En la Figura 7 se puede observar que los valores de entrada (P1) de EF oscilan aproximadamente entre las $10E^2$ y las $10E^3$ ufc/100 ml. El valor medio de entrada se sitúa en las 32897 ufc/100 ml, un orden inferior con respecto a CF. Se observan dos picos en los muestreos 12 y 18 con un valor punta de 193150 ufc/100 ml del muestreo 12. Los valores de vertido (P5) oscilan entre 1 y $10E^2$ ufc/100 ml. A partir del muestreo 15, los valores de salida pasan a ser de entre $10E^2$ y $10E^3$ ufc/100 ml, coincidiendo con la desaparición de *L. minor*.

CONCLUSIONES

El sistema elimina eficazmente tanto materia orgánica como contaminación fecal. Aunque los valores medios de reducción no son todo lo elevados que cabría esperar debido a que el sistema está en fase de estabilización, sólo se excede el vertido establecido legalmente en ocasiones puntuales.

El sistema tiene una producción de sólidos proveniente sobre todo de tejidos vegetales muertos y de crecimiento de algas.

La reducción de DBO se produce mayoritariamente en los tratamientos con micrófitos.

El tratamiento individual que mejor eliminación de la contaminación fecal consigue es la laguna plantada con *Typha latifolia*.

La especie *Lemna minor* aparecida de forma natural, aumenta el rendimiento de la eliminación de la contaminación fecal.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Ansola, G.; Cortijo, R.; González, J. M. and Luis, E. (2000), Constructed Wetlands Application Based on M.H.E.A. System for Rural Population Wastewater Treatment, 1007-1013.
- [2] Ansola, G.; González, J. M.; Soto, F.; García, M.; López, G.; Radoux, M.; Cadelli, D. and Luis, E. (1998), Natural integrated systems using constructed wetlands for treating wastewater in North-

west Spain, Procc. 6th International Conference on Wetlands systems for water Pollution Control, Brasil, 680-687.

- [3] Radoux, M.; Cadelli, D. and Nemcova, M. (1995), A Mosaic of Artificial Ecosystems as a Wastewater Treatment Plant: Evaluation of the Pilot Plant of Lallaing (France). Proc. Natural and Constructed Wetlands for Wastewater Treatment and Reuse. Experiences, Goals and Limits. R. Ramadori, L. Cingolani, L. Cameroni (eds.), Perugia, 275-284.
- [4] APHA-AWWA-WPCF (1989), Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Ed. L. S. Clesceri; A. E. Greenberg and R. R. Trussell, 17th Edition, Baltimore, Maryland.
- [5] Metcalf & Hedí (1995), Ingeniería de Aguas Residuales, Tratamiento, Vertido y Reutilización.
- [6] IWA Specialist Group on Use of Macrophytes in Water Pollution Control (2000), Constructed Wetlands for Pollution Control.
- [7] Kaseva, M. E.; Mbwette, T. S.; Katima, J. H. and D. A. Mashauri (2000), Performance of a Sub-Surface Horizontal Flow Constructed Wetland in Polishing Upward Flow Anaerobic Sludge Blanket Pre-Treated Domestic Wastewater Under Tropical Conditions - A Case Study In Dar es Salaam, Tanzania, 1051-1059.
- [8] Radoux, M.; Cadelli, M. and Nemcova, M. (2000), Optimisation of Natural Wastewater Treatment Technologies in the MHEA> Experimental Centre in M'Diq, Mediterranean Coast of Morocco, 1145-1162.
- [9] Directiva Comunitaria sobre Tratamientos de Aguas Residuales Municipales 91/271/CEE (1991).