

# DISEÑO DE UNA UNIDAD DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES URBANAS PARA SU APLICACIÓN EN PAÍSES EN VÍAS DE DESARROLLO

Arnal, J.M.(p); García-Fayos, B.; Martínez , M., Verdú, G.

## Abstract

Water is essential for life, people's wellbeing and society's development. The population growing and its economical activity is associated with an increase in water demand and its pollution.

Water pollution produces a lot of fatal water-borne diseases and it considerably damages the environment. The access to an improved water source and a suitable sanitation is one of the most effective measures to reduce the mortality in developing countries. Wastewater treatments are scarce in most part of rural areas, specially in developing countries, causing water sources pollution, and damaging consequently the environment. Water obtained after sewage treatment provides a very important water resource that can be reused as irrigation water.

The aim of this paper consists in the design of a domestic wastewater treatment system, characterized by its simplicity for small rural communities in developing countries. These facilities will allow the reuse back of treated water for irrigation, minimizing water bearing pollution and improving its economic and social development.

*Keywords: Sanitation, developing countries, wastewater, wastewater treatments, reuse*

## Resumen

El agua es indispensable para la vida, el bienestar de las personas y el desarrollo de la sociedad. El crecimiento de la población y de la actividad económica ha originado un incremento de la demanda de agua y de la contaminación asociada a su uso.

El agua contaminada causa gran cantidad de enfermedades, que pueden llegar a ser mortales, y deteriora considerablemente el medio ambiente. El acceso al agua de calidad y al saneamiento básico representa una de las medidas más eficaces para reducir la mortalidad en los países en vías de desarrollo. La gestión de las aguas residuales es prácticamente inexistente en la mayoría de las poblaciones rurales, especialmente en países en vías de desarrollo, lo que provoca focos de contaminación que con el paso del tiempo contaminan los acuíferos, incidiendo en el deterioro progresivo del medio ambiente. El tratamiento y posterior reutilización del agua proporciona un recurso importante como agua de riego.

El objetivo del presente trabajo consiste en la realización del diseño de una unidad de tratamiento de aguas residuales domésticas de fácil construcción, de aplicación en pequeñas comunidades rurales de países en desarrollo, que permita reutilizar el agua tratada en el riego de cultivos y minimizar la contaminación de acuíferos, favoreciendo su desarrollo económico y social.

*Palabras clave: Depuración, países en vías de desarrollo, aguas residuales, saneamiento, reutilización*

## 1. Introducción

El agua es un recurso imprescindible para el desarrollo de la sociedad. Su consumo en las diferentes actividades del ser humano y en los procesos industriales implica la generación de gran cantidad de aguas residuales con un determinado grado de contaminación. Actualmente, sería necesaria la casi totalidad de los recursos hídricos disponibles para diluir suficientemente los 6.000 km<sup>3</sup> de aguas negras que se producen en el mundo [1].

En los países en vías de desarrollo cerca del 90% de las aguas residuales urbanas y del 70% de las industriales son vertidas a los cauces receptores sin ningún tipo de tratamiento. Casi 2.600 millones de personas, aproximadamente el 40% de la población mundial, no tiene acceso al saneamiento básico, lo que supone que alrededor de 1,5 millones de niños mueren al año en el mundo como consecuencia de no disponer de acceso a fuentes de agua seguras, a un saneamiento adecuado y a unas condiciones higiénicas saludables [2].

Las aguas residuales domésticas, provenientes de lavabos, duchas, fregaderos, etc. están cargadas de materia orgánica (orina, azúcares, heces, papeles, etc.), de bacterias y virus, y sustancias minerales, como arena, tierra y sales. Dado que el vertido de estas aguas, con poca o nula depuración provoca la contaminación artificial de las aguas superficiales y profundas, es necesario minimizar dicha contaminación mediante la aplicación de un sistema de depuración que permita evacuar las aguas residuales disminuyendo o eliminando los contaminantes presentes en las mismas antes de su vertido final.

Una vez aplicado un tratamiento de depuración, el agua se puede reutilizar con distintos fines: Agricultura, acuicultura, usos recreativos, industria, etc. Los cultivos agrícolas que pueden ser regados con agua residual tratada son diversos, entre los que cabe destacar los cultivos forrajeros, los de consumo después de su elaboración o los de consumo en crudo, dependiendo del agua residual de partida y de la calidad final del agua depurada [3] [4].

La reutilización del agua depurada en la agricultura contribuye al desarrollo económico y social de la zona en la que se instala el sistema de depuración, fomentando un mejor aprovechamiento de los recursos hídricos disponibles. La necesidad de impulsar un desarrollo sostenible proviene tanto del hecho de tener unos recursos naturales limitados, susceptibles de agotarse, como del hecho de que considerar únicamente los que las aguas contaminadas producen económico genera graves problemas medioambientales.

## 2. Objetivo

El objetivo del presente trabajo consiste en el diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas para pequeños núcleos de población susceptible de ser aplicado en países en vías de desarrollo.

El sistema de depuración propuesto es sencillo, eficaz y de fácil implantación, utilizando para su construcción, materiales disponibles locales y el agua obtenida permite su reutilización en el riego de cultivos, favoreciendo así el desarrollo económico y social de la zona en la que se instala dicho sistema.

## 3. Metodología

La metodología empleada para realizar el diseño del sistema de depuración consta de los siguientes apartados. En primer lugar, se realiza la descripción general del proceso de tratamiento enumerando las distintas etapas que lo componen. En segundo lugar, se describen en detalle cada uno de los elementos, indicando sus características más importantes.

### 3.1. Descripción general del sistema de tratamiento

El sistema de tratamiento de depuración de aguas residuales domésticas diseñado para su aplicación en pequeños núcleos de población consta de las siguientes etapas:

- Pretratamiento
- Tratamiento de depuración primario
- Tratamiento de depuración secundario.

En la figura 1, se observa el diagrama de bloques del sistema de depuración, en el que se indican los elementos que lo componen.

El proceso de depuración se inicia en la etapa de pretratamiento que está formada por la cámara de grasas, que se sitúa a la salida de cada vivienda. Seguidamente el agua recolectada de varias viviendas, se canaliza a la depuradora propiamente dicha formada por las etapas que se indican a continuación.

El agua procedente de las viviendas pasa a la segunda etapa formada por la fosa séptica, que constituye el sistema primario de depuración. Seguidamente, el agua pasa a la tercera etapa formada por el tratamiento secundario, donde los filtros de macrofitas completan el proceso de depuración. El agua así tratada se pueda reutilizar en el riego de cultivos.

Para una mejor gestión del agua residual tratada, se canaliza a una balsa de almacenamiento para su reutilización. Los fangos procedentes de la fosa séptica son transportados y depositados en las eras de secado para su deshidratación.

Desde el punto de vista constructivo, las plantas depuradoras deben ser estructuralmente estables, duraderas, estancas al agua y resistentes a la corrosión [5].

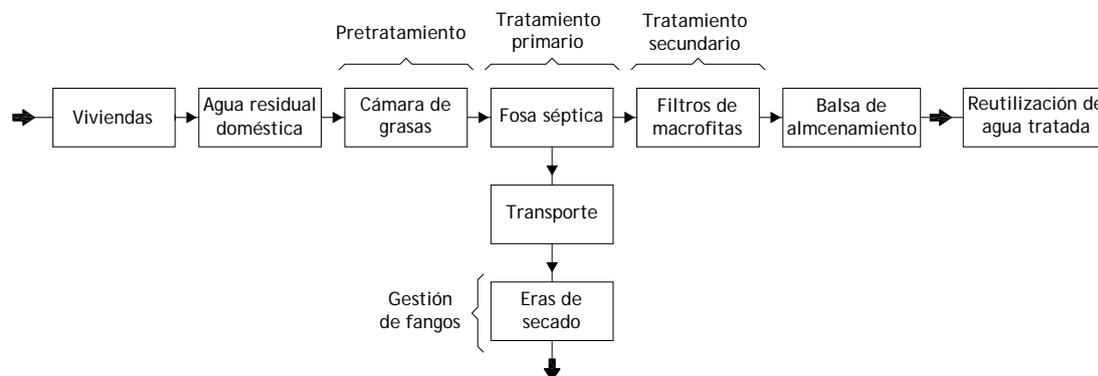


Figura 1: Diagrama de bloques del sistema de tratamiento de aguas residuales propuesto

### 3.2. Descripción de los elementos que conforman el sistema de depuración

A continuación se describen con mayor detalle cada uno de los elementos que forman el sistema de depuración, indicando las características más importantes de cada elemento.

#### Cámara de grasas:

Las cámaras de grasas constituyen el pretratamiento. Estas cámaras se sitúan a la salida de cada vivienda y antes de la fosa séptica para retener las grasas y los detergentes que contienen las aguas residuales a tratar, tiene por objeto impedir la colmatación del sistema de drenaje y mejorar el rendimiento de depuración de la fosa séptica.

### **Fosa séptica:**

La fosa séptica constituye el tratamiento primario de depuración. Según la norma NOM-006-CNA-1997 [6], se define fosa séptica como un elemento de tratamiento diseñado y construido para recibir las descargas de aguas residuales domiciliarias que al proporcionar un tiempo de permanencia adecuado es capaz de separar parcialmente los sólidos suspendidos, digerir una fracción de la materia orgánica presente y retener temporalmente los lodos, natas y espumas generadas.

El sistema de depuración de fosas sépticas se basa en dos principios:

- La fosa recoge los efluentes a tratar y en su interior se produce el proceso de decantación, de forma que las partículas pesadas se depositan en el fondo, formando barros, mientras que las más ligeras y las grasas lo hacen en la superficie, formando flotantes.
- Con las fosas sépticas se alcanzan rendimientos de depuración de 15-60% de DBO<sub>5</sub>, de 45-85% de SST y de 10-90% de coliformes fecales.
- El volumen de fango producido varía de 2 a 3 L/m<sup>3</sup> de agua residual tratada.

### **Filtros de macrofitas:**

Los filtros de macrofitas constituyen el tratamiento secundario del proceso. El empleo de plantas macrofitas favorece un mayor rendimiento de depuración, las plantas actúan como canales de transporte de gases hacia la atmósfera y de oxígeno hacia el relleno. Este tipo de plantas se encuentran enraizadas en el terreno de forma natural, pero en los filtros se transforman artificialmente en plantas flotantes. Los principales tipos de plantas que se emplean son: carrizos (*Phragmites* sp.), esparganios (*Sparganium* sp.), juncos (*Scirpus* sp., *Schoenus* sp.), lirio de agua (*Iris pseudocorus*) y espadañas o eneas (*Typha* sp), seleccionado siempre que sea posible plantas autóctonas de la zona, de forma que se favorezca la rápida adaptación de las mismas [7]

Los filtros de macrofitas en flotación proporcionan una elevada área de contacto de los microorganismos del agua residual, lo que favorece la descomposición de la materia orgánica del efluente [8]. Estos filtros poseen un alto potencial de depuración, constituyendo un buen tratamiento complementario para el efluente séptico. Con este tratamiento, se alcanzan rendimientos de depuración superiores al 90% para DBO, DQO, ST y Nt, lo que proporciona un agua tratada de gran calidad y que puede ser empleada para riego de cultivos de forma segura [9] [10].

### **Balsa de almacenamiento:**

Antes del vertido final, el agua tratada se almacena en una balsa, y mediante canalizaciones, se distribuye hasta los campos de cultivo para su uso.

### **Reutilización de las aguas tratadas:**

Una vez tratada el agua residual doméstica, se procede a su reutilización en el riego de cultivos. Los límites establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS) [11] para poder reutilizar el agua residual para riego de todo tipo de cultivos, incluidos los de consumo en crudo son:

- Sólidos sedimentables < 40 mg/l.
- DBO<sub>5</sub> < 30 mg/l.

- Coliformes fecales < 1.000 UFC/ml.
- Ausencia de tóxicos.
- Sólidos disueltos < 500 mg/l.
- Boro < 0,33 mg/l.
- Calcio > 0,35 mg/l.
- Número de nematodos intestinales (*Ascaris*, *Trichuris* y *Ancylostoma*) < 1 /litro.

Estos parámetros deben ser controlados periódicamente, de forma que no exista riesgo para las personas ni para el medio receptor.

#### **Eras de secado:**

Para el correcto funcionamiento de la fosa séptica es necesario controlar el volumen de fangos, y de forma periódica se extraen de la fosa para garantizar la actividad bacteriana y la descomposición de las sustancias orgánicas contenidas en el agua residual.

Con el fin de garantizar una salida adecuada a los fangos producidos en la fosa, se realiza el tratamiento del fango en las eras de secado. El tratamiento consiste en depositarlos en las eras de secado, para que de forma natural se produzca la deshidratación de los mismos hasta alcanzar un contenido en materia seca de 50-55%. Los fangos así obtenidos, pueden ser evacuados en terreno agrícola, mejorando las características del suelo debido a los nutrientes que le aporta.

#### **4. Resultados**

En los siguientes apartados se muestra como resultado, el diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas para pequeños núcleos de población, susceptible de ser aplicado en países en vías de desarrollo, donde se indican tanto las consideraciones constructivas y de mantenimiento generales de los elementos que forman el sistema, como los materiales empleados en la construcción, y las dimensiones de los distintos elementos.

En la figura 2, se muestra el esquema general del sistema de tratamiento, y se indican los elementos que lo forman:

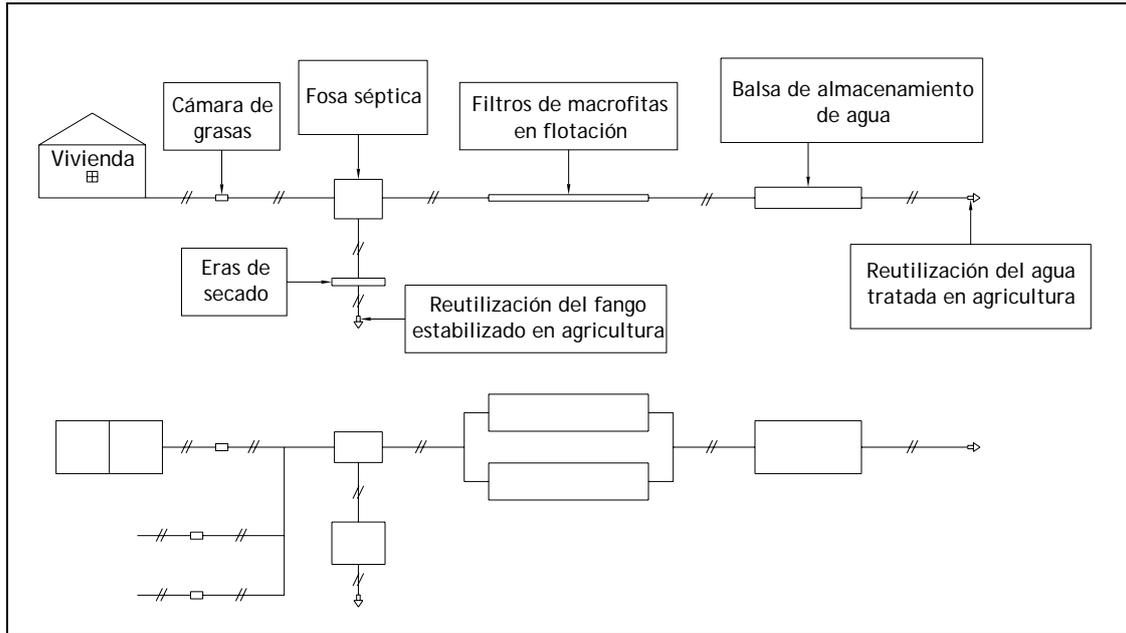


Figura 2: Esquema general del sistema de depuración y reutilización de las aguas residuales domésticas

#### 4.1. Consideraciones técnicas generales de instalación de los elementos que forman el sistema

La instalación de los elementos del sistema debe realizarse atendiendo a una serie de condiciones generales. Estas consideraciones son las que se indican a continuación:

- El perímetro de los elementos constructivos se deben colocar sobre una superficie de arena o gravilla fina alrededor de 200 mm de grosor, como se indica a modo de ejemplo en el esquema de la tabla 4.
- La parte superior de los elementos que se instalan bajo tierra tiene que quedar a nivel de terreno natural para facilitar las tareas de inspección.
- El relleno está formado por arena o grava compactada de granulometría de 3 a 6 cm. La capa de relleno tiene que tener un espesor máximo de 30 cm.
- La conexión de los elementos del sistema se realiza mediante tuberías de 160 mm de diámetro de PVC, con una pendiente mínima de 0.5% y máxima del 3%. La colocación de las tuberías se realiza sobre una cama de arena compactada de 10 cm de espesor y posterior relleno de 30 cm.

Para un correcto funcionamiento del sistema de depuración, es necesario realizar periódicamente un mantenimiento mínimo de los elementos que los conforman. Este mantenimiento se basa en la limpieza de la fosa séptica y de las cámaras de grasas, tal y como se indica a continuación:

- Cámara de grasas:  
Cada 2 años se realiza el vaciado y limpieza de las cámaras de grasas para retirar los residuos retenidos, después de secados, estos residuos se gestionan como residuos sólidos urbanos.
- Vaciado y limpieza de la fosa séptica:

Cada 2 años se realiza la retirada del fango producido en fosa séptica. Este fango se deposita en las eras de secado, para su tratamiento y posterior gestión como corrector del suelo.

#### 4.2. Materiales constructivos empleados en el sistema de tratamiento de las aguas residuales domésticas

La aplicación del diseño del sistema de tratamiento propuesto, hace necesario su adaptabilidad a los materiales existentes y a los recursos naturales y económicos disponibles en cada zona. Por lo dicho, el diseño final del sistema de depuración se ha realizado para tres tipos de materiales distintos: Hormigón, ladrillos y adobe.

Las dimensiones de los bloques constructivos varían para cada tipo de material:

- Bloque hueco resistente de hormigón: 40x20x10 cm.
- Ladrillo cerámico perforado: 24x12x9 cm.
- Ladrillo de adobe: 40x30x8 cm.

Teniendo en cuenta las dimensiones del material constructivo, las dimensiones de los elementos del sistema también serán diferentes en función de los materiales empleados para su construcción, tal y como se indica en las tablas 2, 3, 4, 5 y 6.

### 5. Diseño de la instalación

#### 5.1. Distancia de seguridad para la ubicación de los tanques sépticos

La situación de las fosas sépticas para depuración se debe ubicar de forma que cumplan los requisitos de seguridad respecto de las viviendas cercanas, y de las fuentes de agua próximas.

En la tabla 1 se muestran las distancias mínimas de seguridad de las fosas sépticas.

Localización	Distancia (m)
Distancia a embalses o cuerpos de agua utilizados como fuentes de abastecimiento	60
Distancia a pozos de agua	30
Distancia a corrientes de agua	15
Distancia a la edificación o predios colindantes	5

Tabla 1: Distancias mínimas de seguridad para la ubicación de las fosas sépticas (Norma NOM-006-CNA-1997)

#### 5.2. Dimensiones de los elementos del sistema de depuración

A continuación, se indica el dimensionado de los elementos que forman el tratamiento de depuración de las aguas residuales domésticas en función del material constructivo empleado.

En la figura de la tabla 2, se muestran las dimensiones de las cámaras de grasas en función de su capacidad y del material empleado en su construcción, como ejemplo se ilustran las dimensiones a excavar para realizar el relleno de asentamiento para los elementos. Esta

excavación y posterior relleno se tiene que realizar en todos los elementos que conforman el sistema de tratamiento diseñado.

En la figura de la tabla 3, se indican las dimensiones de los tanques sépticos en función del número de habitantes a los que puede dar servicio.

En la figura de la tabla 4, se muestra as dimensiones de los filtros de macrofitas en función del material constructivo utilizado.

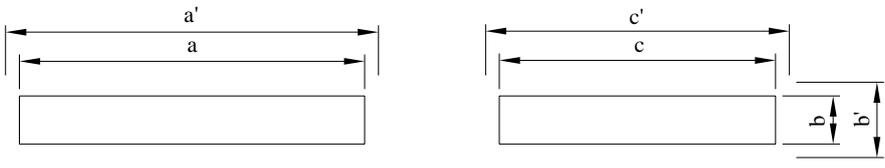
Finalmente, en las figuras de las tablas 5 y 6, se indican las dimensiones para la balsa de almacenamiento y las eras de secado.

	Longitud (a, mm)	Altura (b, mm)	Anchura (c, mm)
<b>Cámara de grasas de 300 litros</b>			
Hormigón	1.550	760	1.070
Ladrillos	1.390	680	910
Adobe	1.750	860	1.270
<b>Cámara de grasas de 500 litros</b>			
Hormigón	1.720	1.560	1.560
Ladrillos	850	770	770
Adobe	1.180	1.020	1.020
<b>Cámara de grasas de 1.000 litros</b>			
Hormigón	2.020	1.860	1.860
Ladrillos	1.020	940	940
Adobe	1.360	1.200	1.200

Tabla 2: Dimensiones de las cámaras de grasas en función de su capacidad y del material empleado para su construcción

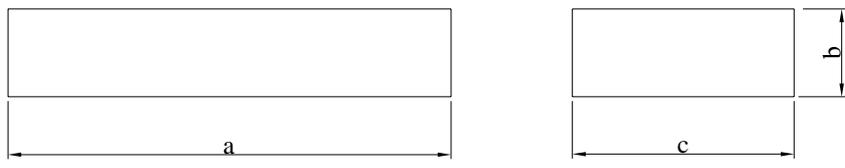
	Longitud (a, mm)	Altura (b, mm)	Anchura (c, mm)
<b>Fosa séptica para 50 habitantes</b>			
Hormigón	4.500	3.300	2.100
Ladrillo	4.340	3.320	1.940
Adobe	4.700	3.400	2.300
<b>Fosa séptica para 100 habitantes</b>			
Hormigón	5.700	3.300	2.600
Ladrillo	5.540	3.320	2.840
Adobe	5.900	3.400	2.800

Tabla 3: Dimensiones de las fosas sépticas en función del número de habitantes al que abastecen y del material de construcción utilizado



	Longitud (a, mm)	Altura (b, mm)	Anchura (c, mm)
<b>Filtro de macrofitas</b>			
Hormigón	25.400	25.240	25.600
Ladrillo	800	720	3.740
Adobe	3.900	3.740	4.100
<b>Dimensiones a excavar</b>			
	Longitud (a', mm)	Altura (b', mm)	Anchura (c', mm)
Hormigón	25.800	1.000	4.300
Ladrillo	25.640	920	4.140
Adobe	26.000	1.100	4.500

Tabla 4: Dimensiones de los filtros de macrofitas y del terreno a excavar en función del material empleado para la construcción



	Longitud (a, mm)	Altura (b, mm)	Anchura (c, mm)
<b>Balsa de almacenamiento</b>			
Hormigón	10.400	2.200	5.400
Ladrillo	10.240	2.120	5.240
Adobe	10.600	2.300	5.600

Tabla 5: Dimensiones de la balsa de almacenamiento en función del material de construcción empleado



	Longitud (a, mm)	Altura (b, mm)	Anchura (c, mm)
<b>Era de secado</b>			
Hormigón	5.400	700	4.400
Ladrillo	5.240	620	4.240
Adobe	5.600	800	4.600

Tabla 6: Dimensiones de las eras de secado en función del material utilizado para su construcción

### 5.3. Análisis económico del sistema de depuración diseñado

Finalmente, se analiza de forma aproximada los costes de inversión asociados a la construcción del tratamiento del sistema de depuración propuesto, atendiendo a los diferentes materiales constructivos considerados en la valoración: adobe, ladrillo y hormigón.

Los costes de inversión se distribuyen como se indica en la tabla 7.

Elemento constructivo	Coste de inversión
Camara de grasas	1 %
Fosa séptica	11 %
Era de secado	8 %
Lagunaje por filtro de macrofitas	46 %
Balsa de Almacenamiento de agua	28 %
Otros (Acondicionamiento terreno, valvulería, tuberías, etc..)	6 %

Tabla 7. Distribución de costes de inversión en los elementos del sistema de depuración

Los principales costes de inversión, están asignados al lagunaje y a la balsa de almacenamiento de agua dada la elevada extensión que precisan para el procesado del agua depurada.

El coste total de los sistemas se sitúa entorno a los 20000 € (para el tratamiento de agua generada por 50 habitantes equivalentes) y 24000 € (para el tratamiento de agua generada por 100 habitantes equivalentes) para las construcciones realizadas en adobe, entre 28000 (para el tratamiento de agua generada por 50 habitantes equivalentes) y 32000 € (para el tratamiento de agua generada por 100 habitantes equivalentes) para las construcciones realizadas en ladrillo y aproximadamente entorno a los 31000-37000 € (para 50 y 100 habitantes equivalentes correspondientemente) para los de hormigón.

La diferencia en el precio radica básicamente en el bajo coste del adobe, ya que es se trata de un material ampliamente utilizado en la construcción y es perfectamente conocida su fabricación, manejo y aplicación por los beneficiarios de países en vías de desarrollo. Por su parte el ladrillo y el hormigón poseen un coste más elevado, ya que se trata de materiales importados o que precisan para su fabricación materiales importados que deben ser pagados en moneda extranjera lo que incrementa considerablemente su coste.

## 6. Conclusiones

Las principales conclusiones de este trabajo son:

- El saneamiento de las aguas residuales domésticas resulta imprescindible para evitar o disminuir la propagación de enfermedades relacionadas con la ingesta de agua, así como para reducir la contaminación del medio receptor.

- En el sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas diseñado se ha primado la simplicidad en el diseño con el fin de facilitar su implantación
- Un tratamiento de depuración completo tiene que estar compuesto por un pretratamiento, un sistema de depuración primario y un sistema de depuración complementario, de forma que se eliminen las materias en suspensión, las sustancias coloidales y las disueltas.
- Los materiales constructivos a emplear para la instalación de un sistema de tratamiento de aguas residuales en países en vías de desarrollo se tienen que adaptar a los recursos disponibles de cada zona de actuación.
- Para poder reutilizar el agua residual tratada en el riego de cultivos es necesario alcanzar rendimientos de depuración elevados, para evitar poner en peligro a las personas o contaminar el suelo receptor de dicha agua.

## 7. Agradecimientos

Los autores desean agradecer su colaboración a las empresas y organizaciones que participan o han participado en el proyecto AQUAPOT: Ayuntamiento de Náquera (Valencia), Ayuntamiento de Valencia, Bancaja, Vicerrectorado de Cooperación y Desarrollo de la UPV, Instituto de Ingeniería del Agua y Medioambiente (IIAMA) de la UPV, Empresa Logística y Acondicionamiento Industrial S.A (LAINSA), Líneas aéreas IBERIA, ONG ecuatoriana Fundación SER y ONG ecuatoriana Mensajeros de la Paz.

## Referencias

- [1] Larbi M., "El agua bajo la amenaza conjunta de la contaminación y de los mercados", Programa movilizador AGUA de la alianza para un mundo responsable y solidario, Le Monde Diplomatique, París, 1999.
- [2] Objetivos de Desarrollo del Milenio, Informe de las Naciones Unidas 2005.
- [3] Alonso J.J., "El empleo de las aguas residuales en la agricultura", ASAJA, 2007.
- [4] Hidalgo M.D., Irusta R., "Reutilización de agua residual tratada de origen municipal en agricultura", Centro de Automatización, Robótica y Tecnologías de la Información y la Fabricación (CARTIF).
- [5] Norma UNE-EN-12566-3: Pequeñas instalaciones de depuración de aguas residuales para poblaciones de hasta 50 habitantes equivalentes. Parte 3: Plantas de depuración de aguas residuales domésticas prefabricadas y/o montadas en su destino.
- [7] Norma NOM-006-CNA-1997: Fosas sépticas prefabricadas, especificaciones y métodos de prueba.
- [8] Nuevos filtros verdes con macrofitas en flotación para la región mediterránea, Proyecto Life.
- [9] Collado R., "Depuración de aguas residuales en pequeñas comunidades", ed. Paraninfo, 1991.
- [10] Filtro de macrofitas en flotación ([www.macrofitas.com](http://www.macrofitas.com); fecha de consulta: 20/02/08).
- [11] Brasó J.M., Mas M., "Depuradora ecológica a base de plantas para zonas aisladas", International Meeting on phytodepuration, Lorca (Murcia), 2005.
- [12] Organización Mundial de la Salud ([www.who.int](http://www.who.int); fecha de consulta: 20/02/2008)

**Correspondencia (Para más información contacte con):**

José Miguel Arnal Arnal.  
Universidad Politécnica de Valencia.  
Departamento de Ingeniería Química y Nuclear.  
Camino de Vera s/n, 46022 Valencia, Spain.  
Phone: +34 96 387 96 33  
Fax: + 34 96 387 76 39  
E-mail: [jarnala@iqn.upv.es](mailto:jarnala@iqn.upv.es)