

Filtros verdes. Humedales. Macrófitas/Contaminación de las Aguas

Máster en Ingeniería y Gestión Medioambiental

2016

PROFESOR
Jaime La Iglesia Gandarillas

Para ver esta publicación, debe
disponer de GoodTime™ y/o
un descompresor.

Esta publicación está bajo licencia Creative Commons Reconocimiento, Nocomercial, Compartirigual, (by-nc-sa). Usted puede usar, copiar y difundir este documento o parte del mismo siempre y cuando se mencione su origen, no se use de forma comercial y no se modifique su licencia. Más información: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>

Índice

1.	INTRODUCCIÓN.....	3
2.	OBJETIVOS DE LOS FILTROS VERDES.....	3
3.	FUNDAMENTOS DE LA DEPURACIÓN POR FILTRO VERDE	3
4.	PARAMETROS DE DISEÑO DE UN FILTRO VERDE	4
5.	ESQUEMAS DE FUNCIONAMIENTO Y RENDIMIENTOS	5
6.	PUESTA EN MARCHA Y MANTENIMIENTO DE UN FILTRO VERDE	7
7.	VENTAJAS E INCONVENIENTES DE LOS FILTROS VERDES.....	8
8.	HUMEDALES ARTIFICIALES.....	8
9.	MACROFITAS EN FLOTACIÓN	12
10.	BIBLIOGRAFIA.....	14

1. INTRODUCCIÓN

En pequeños municipios la experiencia ha demostrado que las plantas depuradoras de aguas residuales, basadas en tecnologías convencionales, originan problemas, tanto técnicos como económicos, que hacen que un gran número de estas instalaciones queden fuera de servicio en un plazo de tiempo muy corto. Como consecuencia de lo anteriormente expuesto se han desarrollado otras tecnologías denominadas "blandas" o "no convencionales" tratando de minimizar las dificultades reseñadas para los citados municipios. Entre estas tecnologías está la depuración de aguas residuales urbanas mediante los filtros verdes.

2. OBJETIVOS DE LOS FILTROS VERDES

La aplicación de la depuración mediante filtros verde respecto a las tecnologías tradicionales, basadas en procesos de autodepuración natural, consigue la reducción de la carga contaminante de las aguas residuales con unos costes de operación inferior y con unas necesidades de mantenimiento menores a los de la depuración tradicional.

3. FUNDAMENTOS DE LA DEPURACIÓN POR FILTRO VERDE

Un filtro verde es un sistema formado por terreno cubierto de cultivos agrícolas o plantaciones forestales (generalmente esta última), sobre el que se distribuyen periódicamente aguas residuales procedentes de núcleos urbanos, con el fin de conseguir su depuración mediante la acción conjunta del suelo, microorganismos y plantas, con una triple acción física, química y biológica.

El suelo no sólo actúa como un filtro físico, sino que también trabaja biológicamente produciendo una oxidación bioquímica sobre buena parte de las sustancias contenidas en suspensión de las aguas residuales, de modo que sean asimilables por la vegetación y las que no lo sean pasen al acuífero de forma y proporción que no supongan peligro de deterioro para el mismo.

La depuración de las aguas residuales aplicadas al suelo tiene lugar en los horizontes superiores de éste, en una capa biológicamente activa cuya profundidad no puede rebasar 1,20 metros. En este suelo vivo las aguas que lo atraviesan lentamente al percolar, sufren dos procesos simultáneos: un filtrado mecánico que retiene los sólidos en suspensión no degradables, y una oxidación bioquímica bacteriana que mineraliza la materia orgánica.

El oxígeno necesario para esta mineralización de la materia orgánica proviene del aire contenido en esta capa activa del suelo en la que ocupa del orden del 50% de su volumen lo que equivale a un

contenido de unos 600 Kg de oxígeno por Ha, que se renueva naturalmente por difusión cada 75 minutos.

La oxidación de la materia orgánica es producida por bacterias anaerobias que se hallan en el suelo formando una tenue película que envuelve las partículas de éste, que son capaces de entrar en acción a partir de 0°C de temperatura en presencia de agua y de materia orgánica adherida a la película que forman. En suelos de textura no gruesa la superficie de esta película está evaluada en cifras del orden de 5.000 m² por metro cuadrado de superficie de terreno.

La descomposición bacteriana de la materia orgánica da lugar a que el nitrógeno pase de formas amoniacales a nitritos y nitratos. Este efecto se hace patente en la vegetación espontánea de los campos de aplicación que se compone casi exclusivamente de plantas nitrófilas y en la ausencia de las leguminosas capaces de fijar el nitrógeno atmosférico en los módulos de sus raíces.

El fósforo se oxida y da con las bases, fosfatos que por una parte se inmovilizan y son retenidos por la vegetación y por otra parte percolan. Este fósforo en presencia de cal queda inmovilizado, y es preciso abonar los cultivos con fósforo a partir de la aportación del contenido en las aguas residuales.

La flora intestinal que transportan las aguas residuales domésticas encuentra en el suelo condiciones hostiles de variaciones de temperatura y abundancia de oxígeno que le son nocivas; sus relaciones con la población bacteriana del suelo no son bien conocidas, pero los análisis de las aguas de percolación por debajo de suelo activo muestran, que a efectos sanitarios la depuración natural producida por éste pueden ser similares a los logrados por un tratamiento secundario convencional.

Con las altas temperaturas se intensifica la actividad vegetativa y bacteriana. La temperatura de las aguas residuales, más elevada de la del terreno en invierno, debe producir un alargamiento de la actividad vegetativa. Todo ello contribuye a incrementar la extracción de nutrientes aportados por las aguas residuales.

Los estudios ya realizados sobre la composición de las aguas residuales urbanas dan como resultado su posible utilización para el riego de choperas, una vez eliminados los sólidos más gruesos y algunas sustancias fácilmente separables.

4. PARAMETROS DE DISEÑO DE UN FILTRO VERDE

Los parámetros de diseño van en función del caudal disponible y tipo de filtro verde que se vaya a utilizar. Las necesidades de agua de un cultivo varían a lo largo del período de crecimiento del

cultivo y del tipo de cultivo que se plante. El objeto de estos apuntes no es hacer un tratado de agronomía o de riego, no obstante uno de los cultivos más característicos en un filtro verde es una chopera que tiene unas necesidades de agua de unos 2.500 mm de pluviometría anual lo que supone unos 25.000 m³ por hectárea y año. Por lo tanto si se tiene un caudal medio Q_{med} m³/año se divide por las necesidades de agua del cultivo y obtendremos la superficie necesaria.

Es muy importante que el riego se haga en surcos y que se realice un pretratamiento muy eficiente antes del riego. Durante las épocas de lluvia el agua residual se puede verter a un humedal o a praderas tipo ryegrass (*lolium perenne*) que necesitan mucha agua y pueden asimilar el sobrante del filtro verde.

Cultivo de referencia CHOPO	2.500 mm
Carga orgánica* <	30 kg DBO5/Ha/día
Carga de sólidos <	40 kg SS/Ha/día
Profundidad suelo útil>	1,2 m

* Depende del cultivo

5. ESQUEMAS DE FUNCIONAMIENTO Y RENDIMIENTOS

El esquema básico de funcionamiento de una EDAR por filtro verde es el siguiente:

1. OBRA DE LLEGADA
2. BY-PASS
3. PRETRATAMIENTO
4. CAUDALIMETRO
5. ARQUETA DE REPARTO
6. FILTRO VERDE

Los filtros verdes se pueden combinar con otros métodos no convencionales como el lagunaje, suelen formar parte final de éste método cuando hay terreno suficiente o los lechos de turba, según la tabla siguiente.

FILTRO VERDE			
LECHOS TURBA	FILTRO VERDE		
LECHOS TURBA	AEROBIA	FILTRO VERDE	
ANAEROBIA	LECHOS TURBA	FILTRO VERDE	
LECHOS TURBA	FILTRO VERDE		
ANAEROBIA	AEROBIA	FILTRO VERDE	

Las aguas residuales, antes de pasar al riego en el filtro verde, se someten a un tratamiento primario, cuyo objeto es eliminar, en todo lo posible, las materias en suspensión, grasas, etc

Los rendimientos de depuración pueden oscilar entre ciertos límites, dependiendo de las características del agua residual y del tipo del terreno sobre el que se realiza el filtro verde, caudal específico, condiciones ambientales, etc. pero unos valores alcanzables, por lo general son los siguientes:

Después del pretratamiento:

Materias en suspensión (M.E.S.)	30%
Demanda química de oxígeno (D.Q.O.)	30%
Demanda bioquímica de oxígeno, 5 días DBO5	10%

En el filtro verde:

M.E.S.	90%
D.Q.O.	80%
D.B.O5	85%

En cuanto a la descontaminación bacteriana se consiguen unos factores de reducción del número de bacterias de contaminación fecal entre 10^5 y 10^6 , lo que depende del tipo de filtro verde y de la carga bacteriana.

Respecto a elementos como el nitrógeno y el fósforo ya se ha comentado que se produce una reducción interesante debido a la asimilación de los nutrientes por el propio terreno y el filtro verde.

6. PUESTA EN MARCHA Y MANTENIMIENTO DE UN FILTRO VERDE

Las aguas que lleguen a las choperas, deberán estar desprovistas de los elementos sólidos que queden retenidos por las rejillas, que se colocarán con esta finalidad y en la medida de lo posible desarenadas y desengrasadas.

El mantenimiento se basa fundamentalmente en la limpieza con rigor del pretratamiento y en el adecuado riego del cultivo que se esté utilizando como filtro verde.

Las aguas residuales urbanas pretratadas o depuradas deben ser distribuidas en riego por gravedad a lo largo del año sobre un terreno nivelado y compartimentado en la forma denominada en agricultura riego a manta por pie. Las cargas de riego anuales pueden variar si la vegetación a establecer es arbórea para producción de madera, de 500 a 2.800 mm de agua residual, lo que supone riegos semanales de 10 a 50 mm. La práctica de este riego no difiere de las que se practica en cultivos agrícolas de regadíos más que en los riegos que se mantienen durante todo el año. No implica consumo de energía si no se precisa bombeo desde el colector al campo de aplicación.

Las recomendaciones para la utilización de este sistema son:

- Población con un límite no mayor de 20.000 habitantes.
- Efluentes que no contengan sustancias nocivas para los cultivos.
- En Municipios en los que existen superficies de terreno del orden de 1 Ha. para cada 200 habitantes, pueden ser susceptibles económicamente de transformación en regadío.
- En cuanto a características granulométricas de los terrenos, lo suelos arcillosos, arenosos o muy arenosos no son recomendables.

7. VENTAJAS E INCONVENIENTES DE LOS FILTROS VERDES

a) Ventajas:

- Sin consumo de energía.
- Ausencia de elementos electromecánicos, excepto en el pretratamiento.
- Extraordinaria integración en el entorno.
- Explotación y mantenimiento por personal no cualificado.
- Adaptable a variaciones de carga y caudal.
- Menor superficie que las lagunas de estabilización.
- Ausencia de olores.
- Obtención de un rendimiento económico por la venta del cultivo.

b) Inconvenientes:

- Rendimiento menor que en los sistemas convencionales.
- Mayor superficie que en los sistemas convencionales.
- Mantenimiento no técnico, pero si elevado en cuanto al número de horas empleadas en el riego y en la recolección, al tratarse de un cultivo.

8. HUMEDALES ARTIFICIALES

Los humedales artificiales son los sistemas de depuración que se producen naturalmente con el desarrollo de vegetación, en puntos de vertido de un colector con agua residual, generalmente en zonas rurales. Para hacerlo de una manera más controlada se reproduce esta situación mediante un lecho de filtración mediante vegetación acuática. Las aguas residuales se vierten o dosifican usando un sistema controlado.

La depuración de las aguas residuales tienen lugar al conducir las a través de estas zonas húmedas artificiales, procesos físicos, químicos y biológicos. Muy similar a lo que ocurre en el filtro verde y lecho de turba.

8.1. Tipos de humedales artificiales

Los humedales artificiales se clasifican en dos tipologías dependiendo del modo como circula el agua en el lecho:

- Superficial o flujo libre
- Subterránea

En los humedales artificiales de flujo superficial o tipo FWS, del inglés free wáter surface wetlands, el agua residual circula por encima del sustrato de plantas. En los humedales artificiales de flujo subterráneo tipo SSFW o VSB del inglés, subsurface flow wetlands o vegetated submerged beds respectivamente, el agua residual recorre el filtro de forma subterránea a través de los espacios intersticiales del lecho filtrante. Estos a su vez se pueden dividir, en función de la dirección de las aguas a través del humedal en:

- Verticales
- Horizontales

En los de flujo vertical el agua fluye verticalmente hacia abajo por la matriz del filtro. La diferencia importante entre el humedal vertical y el horizontal no sólo es la dirección del flujo, sino las condiciones aeróbicas.

Al dosificar intermitentemente el humedal, el filtro pasa por periodos de saturación y falta de saturación y, por lo tanto, diferentes condiciones aeróbicas y anaeróbicas. La frecuencia de dosificación se debe ajustar para que la dosis de aguas residuales tenga tiempo de filtrarse por el material para que el oxígeno tenga tiempo de difundirse por el medio y llenar los espacios vacíos.

8.2. Diseño de un humedal artificial

El Humedal Artificial se puede diseñar como como una excavación poco profunda o como una construcción sobre el nivel del suelo. Cada filtro debe tener un recubrimiento impermeable y un sistema de recolección de efluente. Los humedales artificiales se diseñan para tratar aguas residuales que previamente han pasado por un pretratamiento. Estructuralmente, hay una capa de grava para drenar (un mínimo de 20 cm), seguida de capas de arena y grava (para efluente ya asentado) o arena y grava fina (para efluente primario). Muy parecido a lo que se ejecuta para un lecho de turba.

El medio filtrante actúa tanto como filtro para eliminar sólidos, como una superficie fija para que las bacterias se sujeten, y como una base para la vegetación. La capa superior es plantada con vegetación que puede desarrollar raíces profundas y gruesas, que entran en el medio de filtración.

Las plantas más comunes suelen ser perennes, con un rizoma rastrero con capacidad para crecer en la superficie buscando agua. Pueden alcanzar hasta 4 m de altura y 2 cm de diámetro, presentando una gran inflorescencia al final del tallo. Este tipo de plantas son el carrizo (*Phragmites australis*), la enea (*Typha cattails*) o plantas herbáceas (*Echinochloa Pyramidalis*). La vegetación transfiere una pequeña porción de oxígeno a la zona de raíces de manera que las bacterias aerobias pueden colonizar el área y degradar la materia orgánica. La función primaria de la vegetación es mantener la permeabilidad en el filtro y proporcionar un hábitat para los microorganismos.

Durante la etapa de inundación, el agua residual fluye hacia abajo por el lecho no saturado y es filtrada por la mezcla de arena y grava. Los nutrientes y la materia orgánica son absorbidos y degradados por las densas poblaciones microbianas sujetas a la superficie del material del filtro y las raíces. Si se fuerza a los organismos a una falta de alimentación, el crecimiento excesivo de la biomasa se reduce y se incrementa la porosidad. Una red de drenaje en la base recolecta el efluente.

El diseño y el tamaño del humedal dependen de las cargas hidráulica y orgánica.

Se suele trabajar dependiendo del tipo de plantas según:

- Humedal de flujo horizontal: 1-22 gr DBO5/m² d
- Humedal de flujo vertical: 23-30 gr DBO5/m² d
- Si se usan para tratar fangos: 50-60 kg MS/m² año
- Humedal de flujo superficial: se usan como tratamiento de afino, como un filtro verde

8.3. Rendimientos depuración en humedales artificiales

En lo relativo a los rendimientos, la eliminación de DBO5 oscilaba entre el 80 y el 95% para ambas modalidades. En el caso de la eliminación de nutrientes, esta no era muy elevada para ambos tipos de humedales, presentando valores medios de eliminación del 52%, 40% y 43% para N-orgánico, N-amoniaco y P-total, respectivamente.

La obstrucción es un problema que hay que evitar. Por lo tanto, el afluyente debe estar bien tratado antes de fluir al humedal. Esta tecnología es apropiada para aguas residuales de origen urbano con pretratamiento como son las fosas Sépticas o procesos UASB tipo reactores biológicos anaerobios.

Los Humedales Artificiales de Flujo Vertical son más adecuados para climas cálidos y pueden ser diseñados para tolerar algunos periodos de congelación y de baja actividad biológica.

8.4. Ventajas e inconvenientes de los humedales artificiales

a) Ventajas:

- Sin consumo de energía.
- Ausencia de elementos electromecánicos, excepto en el pretratamiento.
- Extraordinaria integración en el entorno.
- Explotación y mantenimiento por personal no cualificado.
- Adaptable a variaciones de carga y caudal.
- Muy buena integración para aves migratorias o estacionales

b) Inconvenientes:

- Rendimiento menor que en los sistemas convencionales.
- Mayor superficie que en los sistemas convencionales.
- Posibilidad de presencia de mosquitos en el caso de colmatación
- Posibilidad de olores si no hay un buen pretratamiento

8.5. MANTENIMIENTO

Con el tiempo se obstruirá la grava con los sólidos acumulados y la capa bacteriana. El material puede requerir ser remplazado cada 8 a 15 años, o más. Las actividades de mantenimiento se pueden optimizar mucho si se actúa en cabecera con un buen pretratamiento. La idea es que con la retirada de sólidos se baje la concentración tanto de elementos que colmaten al filtro como de materia orgánica asociada a esos elementos, todo ello antes de entrar en el humedal. Se deben de hacer pruebas piloto con el agua residual específica, para determinar las plantas locales más adecuadas. El sistema vertical requiere más mantenimiento y experiencia técnica que las otras tecnologías de humedal.

9. MACROFITAS EN FLOTACIÓN

El uso de macrofitas flotantes, históricamente ha sido desarrollado bajo diversos esquemas de sistemas de tratamiento. En general plantas emergentes toleran bien las condiciones de falta de oxígeno que se producen en suelos encharcados, al contar con canales internos, o zonas de aireación, que facilitan el paso del oxígeno desde las partes aéreas hasta la zona radicular (Tanner et al., 2003; Crites et al., 2006). Las zonas radiculares y los rizomas se entrelazan de forma natural, formando un manto que se mantiene suspendido en el interior de una balsa, canal o laguna, por la que circula el agua residual, que baña completamente dicho manto. La microfauna aerobia, que coloniza las raíces y los rizomas, es la responsable de la degradación de los contaminantes presentes en las aguas a tratar.

Se han desarrollado diversos sistemas para la fijación de las plantas en su fase inicial de plantación. Estos sistemas mantienen las plantas en posición vertical y favorecen la formación del manto radicular.

La tecnología de fitodepuración utilizando plantas emergentes convertidas en flotantes, tales como las enneas, comenzó a desarrollarse por el Grupo de Agroenergética de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos de Madrid, de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM), al principio de los años 90 del pasado siglo.

El desarrollo de este sistema dio como consecuencia la presentación, por parte de la UPM, de una primera patente del sistema, conocida como FMF (Filtro de Macrófitas en Flotación), en el que el manto flotante está compuesto, exclusivamente, por las bases de los tallos, los rizomas y las raíces de las macrofitas, y flota libremente sobre la superficie del agua.

Actualmente el sistema FMF está siendo comercializado por la empresa Hidrolution S.L., que ha desarrollado unos soportes plásticos especiales, para la fijación de las plantas.

Con posterioridad, la UPM ha desarrollado y patentado un nuevo sistema de fitodepuración en flujo libre con plantas emergentes, cuya principal diferencia con el sistema FMF radica en la formación

del tapiz vegetal (se realiza en el fondo del canal, con la ayuda de una red de polietileno) y la localización final de éste, en posición intermedia entre la superficie y el fondo del canal. El objetivo de aumentar la oxigenación del agua, debido al intercambio de oxígeno con la atmósfera a través de la superficie del agua que queda libre (solamente atravesada por los tallos que emergen del manto sumergido). Este nuevo sistema se conoce como FHS (Filtro de Heliofitas Semisumergido) y ha sido comercializado principalmente por la empresa Essentium.

9.1. *Diseño de un sistema de macrofitas*

Previo al sistema de macrofitas es fundamental un pretratamiento para evitar sólidos y elementos que colmaten el sistema.

A continuación se expone una tabla con los parámetros de diseño de un sistema de macrofitas FMF y FHS

PARÁMETRO	FMF	FHS
SUPERFICIE DE PLANTACIÓN REQUERIDA (m ² /he)	1-3	1,5-2,5
TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA (d)	7-10	>5
DENSIDAD (plantas/m ²)	10-50	10
LUGAR DE UBICACIÓN DE LAS MACROFITAS	Balsas	Canales entre 2,5-4 m
PROFUNDIDAD LÁMINA DE AGUA (m)	0,5-5	>5
TIPO DE PLANTA	Macrofitas emergentes	Eneas o esparganios
PRETRATAMIENTO	SI	SI

Fuente: Sistema FMF Hidrolution y sistema FHS Escuela Superior de Ingenieros Agrónomos UPM

9.2. *Ventajas e inconvenientes de las macrofitas*

a) Ventajas:

- Sin consumo de energía.

- Ausencia de elementos electromecánicos, excepto en el pretratamiento.
 - Adaptable a variaciones de carga y caudal.
 - Muy buena integración en el medio
- b) Inconvenientes:
- Rendimiento menor que en los sistemas convencionales.
 - Mayor superficie que en los sistemas convencionales.
 - Posibilidad de olores y mosquitos si no hay un buen pretratamiento o por estancamiento del sistema
 - Procesos sometidos a patentes

10. BIBLIOGRAFIA

TECNOLOGIAS PARA LA SOSTENIBILIDAD. Juan Antonio Sainz Sastre. Colección EOI Medio Ambiente. Capítulo XI. Tratamientos no convencionales o alternativos a la depuración actual. Jaime La Iglesia Gandarillas. EOI 2005

AG Tendencias actuales en las tecnologías de tratamiento de las aguas residuales generadas en pequeñas comunidades. Yasmina Ferrer Medina (Cedex), Enrique Ortega de Miguel (Cedex) y Juan José Salas Rodríguez (Centa). Ingeniería Civil 168/2012

AMIT S.A. 1991: Depuración por Lagunaje de Aguas Residuales. Manual de Operadores MOPT. Madrid.

AUXINI 1988: Tratamiento de Aguas Residuales Urbanas por Percolación a Través de Lechos de Turba.

AGAMIT S.A. 1987: Curso Básico para Operadores de Estación de Agua Residual. Dirección Regional de recursos Hidráulicos, Gobierno Autónomo de la Región de Murcia.

AGAMIT S.A. 1988: Seguimiento Experimental de Lagunas de Estabilización. Dirección General de Medio Ambiente. MOPU, Madrid.

Humedales artificiales, Pedescoll, García et al 2007

Gloyna, E.F., 1973: Estanques de Estabilización de Aguas Residuales. Monografía núm 60, Organización Mundial de la Salud. Ginebra

Metcalf-Eddy, 1979: Tratamiento y Depuración de Aguas Residuales. Ed Labor, Barcelona.

Middlebrooks, E.J., C.H. Middlebrooks, J.H. Reynolds, G.Z. Watters, S.C. Reed y D.B. George, 1982: Wastewater Stabilization Lagoon Design, Performance and Upgrading. Macmillan Pub. Co., Nueva York

Rojo Blanco, E., 1988: Aspectos biológicos del lagunaje. Cuadernos Técnicos. Consejería de Política Territorial y Obras Públicas. Comunidad Autónoma de Murcia. Murcia.

W.H.O., 1987: Wastewater Stabilization Ponds. Principles of Planning and Practice. WHO EMRO Technical Publication no 10, World Health Organization, Regional Office for the Eastern Mediterranean, Alejandría.

Depuración de Aguas Residuales, Aurelio Hernández Muñoz. Colección Señor Nº 9, Servicio de Publicaciones de la E.T.S.I.C.C.P.

Tratamiento de Aguas residuales, basuras y escombros en el ámbito rural, editorial agrícola Española, Servicio de Publicaciones del Colegio Oficial de Ingenieros Agrónomos de Centro y Canarias.

Kengne Noumsi, IM. (2008). Potentials of Sludge drying beds vegetated with *Cyperus papyrus* L. and *Echinochloa pyramidalis* (Lam.) Hitchc. & Chase for faecal Sludge treatment in tropical regions. [Disertación Doctoral]. Yaounde (Camerún): Universidad de Yaounde. Disponible en: www.nccr-north-south.unibe.ch

Montangero, A. y Strauss, M. (2002). Faecal Sludge Treatment. Notas de Conferencia, IHE Delft. Disponible en: www.sandec.ch

Von Sperlin, M. y de Lemos Chernicharo, C A. (2005). Biological Wastewater Treatment in Warm Climate Regions. Volume One. IWA, Londres, pp. 741-804. (Información Detallada de Diseño)

Tare, V. y Nema, A. (n.d). UASB Technology-expectations and reality. United Nations Asian and Pacific Centre for Agricultural Engineering and Machinery. Disponible en: unapcaem.org (Evaluación de instalaciones de UASB en India.)