



Title: DESIGN AND CHARACTERIZATION OF A PROTOTYPE ANAEROBIC REACTOR FOR DOMESTIC WASTEWATER TREATMENT USING FIXED BIOMASS

Authors: RODRIGUEZ-MORALES, José Alberto, RAMOS-LOPEZ, Miguel Ángel, CAMPOS-GUILLEN Juan and LEDESMA-GARCIA, Janet

Editorial label ECORFAN: 607-8695
BCIERMMI Control Number: 2022-01
BCIERMMI Classification (2022): 261022-0001

Pages: 14
RNA: 03-2010-032610115700-14

ECORFAN-México, S.C.
143 – 50 Itzopan Street
La Florida, Ecatepec Municipality
Mexico State, 55120 Zipcode
Phone: +52 1 55 6159 2296
Skype: ecorfan-mexico.s.c.
E-mail: contacto@ecorfan.org
Facebook: ECORFAN-México S. C.
Twitter: @EcorfanC

www.ecorfan.org

Holdings		
Mexico	Colombia	Guatemala
Bolivia	Cameroon	Democratic
Spain	El Salvador	Republic
Ecuador	Taiwan	of Congo
Peru	Paraguay	Nicaragua

INTRODUCCION

Tratamiento anaerobio de aguas residuales

En los sistemas anaerobios, intervienen bacterias, tanto anaerobias estrictas como facultativas; las cuales, a través de una serie de etapas y en ausencia de oxígeno, degradan los compuestos orgánicos, produciendo metano y dióxido de carbono, principalmente.

La digestión anaerobia se lleva a cabo en cuatro etapas sucesivas. En la primera etapa, llamada hidrólisis, los sustratos orgánicos complejos son degradados en monómeros solubles. En la segunda etapa, conocida como acidogénesis, los monómeros solubles se transforman en ácidos orgánicos, alcoholes, dióxido de carbono e hidrógeno. En la acetogénesis, los ácidos orgánicos se transforman en ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono. Finalmente, en la metanogénesis, el metano es producido por dos vías: la primera a partir de la degradación de ácido acético y la segunda, a través de la reacción entre el dióxido de carbono y el hidrógeno producido en las etapas previas. La metanogénesis es la etapa más lenta y determina la dinámica global del proceso; así mismo, es la más sensible a los cambios en las condiciones de operación. Por lo tanto, es considerada como la etapa limitante y la más interesante desde el punto de vista del control automático. Así, este tipo de procesos aportan beneficios en el sector ambiental y en el sector energético.

INTRODUCCION

Algunos requerimientos de sistemas anaerobios en general.

El período de arranque de los reactores anaerobios es una etapa crítica y relativamente lenta debido a que debe desarrollarse una población microbiana suficiente y equilibrada que frecuentemente determina la eficacia de operación del reactor. La actividad de la biomasa depende de muchos factores; con relación a los micronutrientes, la deficiencia de uno puede limitar el proceso biológico. La digestión anaeróbica es muy sensible a ciertos parámetros y a ciertas condiciones de operación, tales como el pH, la temperatura, las sobrecargas, etc. La tasa de crecimiento se dobla aproximadamente con un incremento de 10°C hasta alcanzar la temperatura óptima. Los intervalos típicos óptimos de temperatura para las bacterias son: 12-18 °C para bacterias psicofílicas, 25-40 °C para Bacterias mesofílicas y 45-65 °C para Bacterias termofílicas. En el caso del pH, los organismos metanógenos trabajan efectivamente entre rango de pH de 6.5-8.2, con un pH óptimo de 7.0. Aunque se ha demostrado que el rango de pH óptimo para la máxima obtención de rendimiento de gas es 6.5- 7.5.

INTRODUCCION

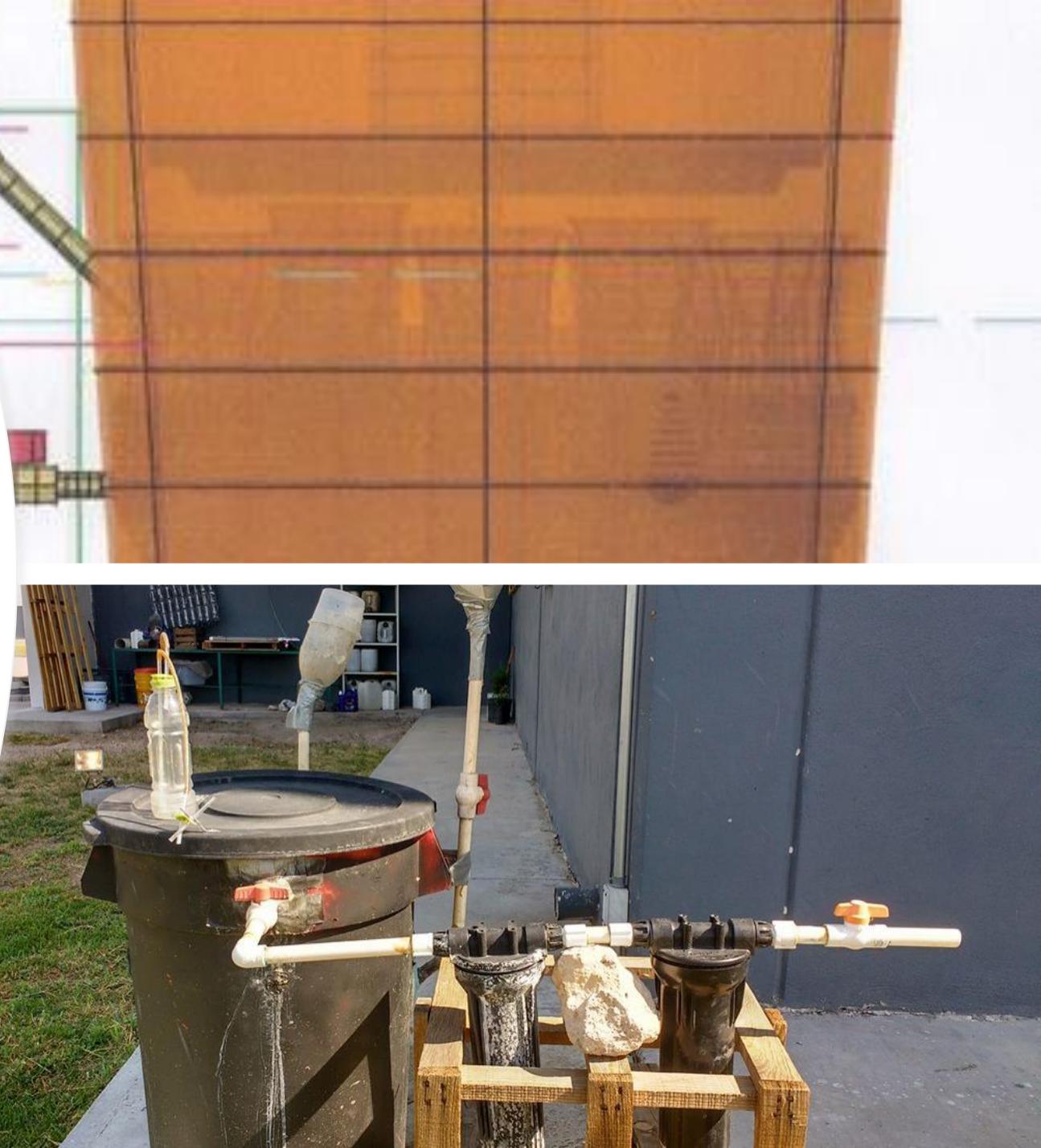
Importancia de soportes para la formación de biopelícula en el tratamiento de aguas residuales.

Actualmente se han construido biorreactores con mezcla continua de biomasa. Además, tienen un tiempo de retención basándose en la carga orgánica y la velocidad de flujo de entrada. Sin embargo, esto puede representar un problema debido a que las bacterias activas, las cuales podrían ser utilizadas para el tratamiento de aguas residuales, pueden salir del reactor causando tiempos de retención más prolongados y una disminución de microorganismos activos. Para resolver este problema, la inmovilización de las bacterias sobre una superficie sólida es necesaria con el objetivo de aumentar la superficie de contacto en los biorreactores. Debido a la formación de biopelículas, el tiempo de retención hidráulica es independiente del tiempo de retención celular. De esta manera el efecto de lavado se disminuye en el biorreactor y la producción de biogás aumenta. Una biopelícula es una asociación de microorganismos adheridos a una superficie, los cuales están atrapados dentro de una sustancia polimérica extracelular. Las biopelículas tienen capacidad para la eliminación efectiva de los compuestos orgánicos y la producción de metano.

METODOLOGIA

Acondicionamiento del reactor tipo UASB

Se llevo a cabo el diseño del prototipo como se muestra en la figura 1. Posteriormente se construyó el reactor tipo UASB de 140 Litros como se aprecia en la Figura 2. Se colocaron 15 columnas de PET en la parte inferior del reactor. Para la formación de las columnas de PET, se colectaron y cortaron de la base las botellas de 0.5, 1 y 2 Litros. Además se colocó en la parte superior un filtro de celulosa (actuando como separador sólido-líquido) y una tapa para cubrir completamente el reactor. Se acopló en la parte externa del reactor, un filtro de carbón activado granular y uno de fibra de celulosa. El prototipo consta de tubos de entrada de influente (agua residual cruda), salida de efluente (agua tratada), medidor de lodos y purga de lodos. El prototipo se operó en la intemperie a temperatura ambiente.



METODOLOGIA

Caracterización fisicoquímica del influente

Dentro de la fase de adaptación y crecimiento, se tomaron 3 muestreos del influente al azar (los cuales se realizaron por triplicado), en 3 diferentes meses y se llevaron a cabo pruebas fisicoquímicas en el Laboratorio de Hidráulica del Campus Cerro de las Campanas de la UAQ. Se basó en las metodologías propuestas en la NOM-003-SEMARNAT-1997 para realizar los siguientes análisis: Coliformes fecales (C.F.), Huevos de Helminto (H. H), Grasas y Aceites (G y A) y Sólidos Suspendidos Totales (SST). Para la determinación de los parámetros se mandaron a analizar a un Laboratorio certificado.

Estabilización del sistema tipo UASB

Inicialmente 40 Litros de lodos procedentes de una fosa de almacenamiento se introdujeron en el interior del reactor tipo UASB. Durante un período de 3 meses se alimento el reactor con 1 Litro de agua residual por día, transcurrido este tiempo se procedió durante otros 3 meses a alimentar al reactor con 2 Litros de agua residual por día para su aclimatación, adaptación y crecimiento del lodo (el agua residual provenía del cárcamo de la planta de tratamiento aerobio de aguas del Edificio Multidisciplinario Campus Aeropuerto de la UAQ). se obtuvo el valor del pH y la temperatura durante éste período. Se obtuvo la turbidez del agua residual tratada para comprobar la estabilización del sistema durante éste período (1 vez cada mes), para de esta manera proceder a la variación de flujo del influente.

METODOLOGIA

Análisis de la variación de flujo del influente (obtención de los análisis fisicoquímicos de los 3 caudales).

Una vez que se estabilizó el sistema, se procedió a variar los caudales del influente, donde se probaron 3 volúmenes, los cuales correspondieron a 3, 5 y 7 Litros de agua residual por día. Los tiempos de retención hidráulica (TRH) fueron de 47, 28 y 20 días respectivamente. Cada volumen se agregó por día hasta alcanzar en primer lugar el TRH de 47, después el de 28 y 20 días respectivamente para la obtención de cada efluente (3, 5 y 7 Litros por día). Posterior a cada TRH de cada volumen, se muestrearon 9 efluentes correspondientes a cada caudal (3, 5 y 7 Litros por día) para realizar los análisis fisicoquímicos en base a la NOM-003-SEMARNAT-1997.

METODOLOGIA

Fijación de la biopelícula al PET y su respectivo análisis por Microscopía Electrónica de Barrido.

Después del tratamiento de los 3 efluentes y una vez que se pudo observar de manera visual el lodo anaerobio adherido al soporte de PET.

Se realizó el análisis comprobatorio de la fijación de la biopelícula. Dicho análisis se realizó por Microscopía Electrónica de Barrido, donde se cortaron pequeños pedazos de PET, los cuales se llevaron para su análisis en el Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada (CFATA), Laboratorio de Microscopía Electrónica de la UNAM campus Juriquilla localizado en Juriquilla, Querétaro.



RESULTADOS

La caracterización fisicoquímica del influente en los 4 diferentes muestreos se muestra en la tabla. Estos resultados determinaron las características del agua residual durante el tratamiento y de esta manera poder comparar con los efluentes después del tratamiento (los cuales se mencionarán más adelante), de tal forma se pudo determinar la eficiencia del tratamiento en el sistema anaerobio. Las condiciones de pH y temperatura del influente en los diferentes muestreos fueron en un rango de pH de 7.0 a 8 y Rango de temperatura de 15 a 26 °C.

Parámetro/ No. de muestra	Coliformes Fecales NMP/100 mL	Grasas y Aceites mg/L	Sólidos Suspendidos Totales mg/L	Demanda Bioquímica de Oxígeno mg/L	Huevos de Helminto (h/L)
Prom. Total. 4 muestreos	≥2,400,000	30	299.0	270.3	<1

RESULTADOS

Estabilidad del sistema tipo UASB.

En un período de 3-6 meses, se estabilizó el sistema. Se observó que el sobrenadante se clarificaba y no se observaban flóculos dispersos en éste, lo que nos indicó que había cambiado de lodo disperso a floculento. Lo que reforzó lo anterior fue la comparación que se realizó en un muestreo obtenido dentro del reactor con respecto al del influente. Las condiciones de pH y temperatura durante la etapa de selección fueron: pH entre 7.0 - 8 y rango de temperatura entre 10 - 20 °C. Los resultados de turbidez en 6 meses distintos se muestran en la Tabla 2, tanto del influente como del efluente (muestréos obtenidos al azar), lo que corroboró la etapa de estabilización del sistema anaerobio, debido a la diferencia en la medición de turbidez de los distintos influentes y efluentes conforme al tiempo.

Número de muestra/No. de Mes	Influentes (UNT)	Efluentes (UNT)
1	250	130
2	240	139
3	230	136
4	270	129
5	245	125
6	220	115
Promedio	243	129

RESULTADOS

Análisis fisicoquímicos de los 3 caudales y obtención de los porcentajes de reducción.

Durante el tratamiento de los 3 diferentes efluentes (3, 5 y 7 L), las condiciones de pH y temperatura del lodo fueron las siguientes: pH de 7.2 – 8.0 y rango de temperatura de 11 - 28 °C. Estas condiciones se encuentran dentro de rango para el tratamiento en sistemas anaerobios, por lo que no fue necesario agregar reactivo para neutralizar el pH o calor para aumentar la temperatura. Cabe señalar que las condiciones óptimas en dicho tratamiento son: temperatura > 35 °C y de pH entre 7-7.5, pero se demostro que fue posible una reducción eficiente de contaminantes, aún sin operar a las condiciones óptimas para estos sistemas. En la tabla, se muestran los promedios de los resultados de los análisis de los efluentes de 3, 5 y 7 L y se comparan con los valores especificados con la NOM-003-SEMARNAT-1997. Se observa que para los efluentes de 3 y 5 L se cumplió con la norma y para el efluente de 7 L, únicamente no se cumplió con la DBO₅.

	Coliformes Fecales NMP/100 mL	Huevos de Helminto (h/L)	Grasas y aceites mg/L	DBO ₅ mg/L	SST mg/L
Valores permitidos por la NOM-003-SEMARNAT-1997	1,000	1	15	30	30
Volumen de 3 L	3	< 1	3.0	27	29
Volumen de 5 L	25	<1	3.6	19	30
Volumen de 7 L	435	<1	1.2	55	26

RESULTADOS

Los porcentajes de reducción de los contaminantes indicados en la misma normatividad de los 3 efluentes se indican en la tabla 4. Lo anterior podría lograrse al estabilizarse más el sistema. Finalmente, se observó que al aumentar el flujo y por ende la carga orgánica de 3-5 L, se obtuvo un aumento en la reducción de dichos contaminantes, debido al aumento en la estabilidad del sistema. Por el contrario, al aumentar el flujo a 7 L, aunque para DBO₅, DQO, y coliformes fecales no aumentó la reducción con respecto al efluente de 5 L, aun así, se obtuvo una diferencia de reducción similar entre estos dos efluentes de 5 y 7 L .

TIPO DE MUESTRA	DBO5	DQO	SST	COLIFORMES	HUEVOS DE HELMINTO	GRASAS Y ACEITES
	% DE DISMINUCIÓN	% DE DISMINUCIÓN	% DE DISMINUCIÓN	FECALES % DE DISMINUCIÓN	% DE DISMINUCIÓN	% DE DISMINUCIÓN
3 L	90	66	90	99.9	100	9
5 L	93	71	90	99.9	100	0
7 L	80	65	91	99.9	100	64

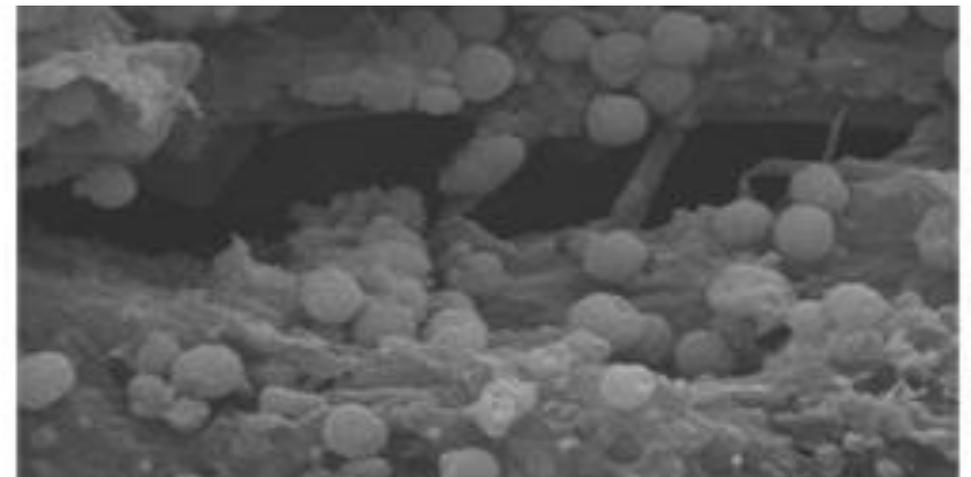
RESULTADOS



Análisis de la fijación de la biopelícula al PET por Microscopía Electrónica de Barrido.

Se llevó a cabo la fijación de la biopelícula de lodo anaerobio a las columnas de PET posterior a 6 meses como se muestra en la Figura.

Las condiciones de pH y temperatura durante la etapa de fijación de la biopelícula fueron: pH 7.2 – 8 y rango de temperatura 12 - 27 °C. Se muestran los análisis de la biopelícula por Microscopía Electrónica de Barrido como se muestra en la Figura 6, la cual sirvió como verificación de la adhesión de la misma, para de esta forma poder confirmar que los microorganismos anaerobios se adhieren al PET y por lo tanto mejoran el tratamiento al estar en mayor área de contacto. Se afirma que la biopelícula está formada en su mayoría por bacterias, por el tamaño que va de 0.5-5 μm y las formas de éstas. Por lo tanto, este conjunto de microorganismos-biopelícula, interaccionan al encontrarse fijados al PET, mejorando el tratamiento.



CONCLUSIONES

Se logró la fijación de la biopelícula al PET, el cual es un material adecuado para su fijación, a las condiciones a las cuales se operó el sistema (temperatura, pH y volumen de agua residual) y se obtuvieron porcentajes de remoción de los parámetros evaluados similares a los obtenidos en sistemas anaerobios en general (UASB y entre otros sistemas anaerobios) y con sistemas aerobios.

El porcentaje de remoción aumentó para los parámetros de DBO_5 , DQO, SST, coliformes fecales y grasas y aceites, en los efluentes de 3 y 5 L, esto debido al aumento en la estabilidad del sistema, así como el aumento de la carga orgánica. Con respecto al efluente de 7 L no hubo aumento significativo en la disminución de estos parámetros, pero los porcentajes de disminución fueron similares a estos efluentes.

El sistema tipo UASB empleando, trae beneficios económicos al no emplear reactivos ni energía comparado con otros sistemas del mismo tipo y sin embargo se obtienen porcentajes importantes de remoción comparado con sistemas biológicos. Se cumplió con la normatividad ambiental NOM-SEMARNAT-1997 para los efluentes de 3 y 5 L, con excepción del efluente de 7 L, donde solamente el parámetro de DBO_5 no cumplió.

REFERENCIAS

- Ahuja S., Ahuja Consulting (2014). Overview of Sustainability of Water Quality Worldwide. Elsevier Inc. p. 1-10.
- Anderson, J., (2003). The environmental benefits of water recycling and reuse. *Water Supply* 3 (4), p. 1-10.
- Azeiteiro C., I. F. Capela y A. C. Duarte (2001). “Dynamic model simulations as a tool for evaluating the stability of an anaerobic process”. *Water SA*, vol. 27 No. 1, Jan. p. 109-114.
- Bendinger B, Rijnaarts HHM, Altendorf K, Zehnder AJB (1993). Physicochemical cell surface and adhesive properties of coryneform bacteria related to the presence and chain length of mycolic acids. *Appl Environ Microbiol*; 59:3973–7.
- Beteau, J-F., Otton, V., Hihn, J.Y., Delpech, F., Cheruy, A. (2005). Modelling of anaerobic digestion in a fluidised bed with a view to control. *Biochemical Engineering Journal* 24, 255–267.
- Donlan, R.M., (2002). Biofilms: microbial life on surfaces. *Emerg. Infect. Dis.* 8, 881–890.
- Encina PAG, Hidalgo MD (2005). Influence of substrate feed patterns on biofilm development in anaerobic fluidized bed reactors (AFBR). *Process Biochem*; 40: p. 2509-2516.
- Fletcher M, Loeb GI (1979) Influence of substratum characteristics on the attachment of a marine pseudomonad to solid surfaces. *Appl Environ Microbiol*; 37:67–72.
- Hernandez S. Carlos, Sanchez E. N., Béteau J.-F. and Díaz Jiménez L. (2014). Análisis de un Proceso de Tratamiento de Efluentes para Producción de Metano, “Revista Iberoamericana de Automática e Informática industrial, p. 236–246.
- Kondusamy, D y Kalamdhad, A. (2014). Pre-treatment and anaerobic digestion of food waste for high rate methane production – A review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2, 1821-1830.
- Liu M, Zhao y Xi B, Hou L (2014). Efficiency of a hybrid granular bed-contact oxidation biofilm baffled reactor for treating molasses wastewater. *Desalination Water Treat.* p. 1-8.
- Mousa L. and C. F. Forster (1999) “The Use of Glucose as a Growth Factor to Counteract Inhibition in Anaerobic Digestion”. *Process Safety and Environmental Protection*, vol. 77, no. B4, Jul. pp. 193-198.
- Noyola Adalberto, Morgan Sagastume J. A. y Güereca Leonor P., (2013). Selección de Tecnologías para el tratamiento de aguas residuales. México. Ed. Universidad Autónoma de México. p. 5-54.
- Torres Patricia (2012). Perspectivas del tratamiento anaerobio de aguas residuales domésticas en países en desarrollo. *EIA* 18: p. 115-129.
- Pringle JH, Fletcher M., (1983). Influence of substratum wettability on attachment of freshwater bacteria to solid surfaces. *Appl Environ Microbiol*; 45:811–7.
- RobecoSAM Study (2015). Water: the market of the future. RobecoSAM AG. www.robecosam.com.
- Torres Lozada Patricia, Jenny Alexandra Rodríguez, Luz Edith Barba, Adriana Morán, Jorge Narváez (2005). Tratamiento anaerobio de lixiviados en reactores UASB. *Redalyc* 18: p. 50-60.
- Umaphathi, S., Chong, M.N., Sharma, A.K., (2013). Evaluation of plumbed rainwater tanks in households for sustainable water resource management: a real-time monitoring study. *J. Clean. Prod.* 42, p. 204-214.
- Zhao, L., Y. Wang, J. Yang, M. Xing, X. Li, D. Yi, D. Deng. (2010). Earthworm-microorganism interactions: A strategy to stabilize domestic wastewater sludge. *Water Research* 44: p. 2572-2582.
- Zizi OB, Amar HA (2013). Treatment of dairy wastewater by fixed-film system in continuous flow desalination *Water Treat*; 51: p. 2214-2224.



ECORFAN®

© ECORFAN-Mexico, S.C.

No part of this document covered by the Federal Copyright Law may be reproduced, transmitted or used in any form or medium, whether graphic, electronic or mechanical, including but not limited to the following: Citations in articles and comments Bibliographical, compilation of radio or electronic journalistic data. For the effects of articles 13, 162,163 fraction I, 164 fraction I, 168, 169,209 fraction III and other relative of the Federal Law of Copyright. Violations: Be forced to prosecute under Mexican copyright law. The use of general descriptive names, registered names, trademarks, in this publication do not imply, uniformly in the absence of a specific statement, that such names are exempt from the relevant protector in laws and regulations of Mexico and therefore free for General use of the international scientific community. BCIERMMI is part of the media of ECORFAN-Mexico, S.C., E: 94-443.F: 008- (www.ecorfan.org/booklets)