

## **Evaluación de un reactor anaerobio de flujo ascendente y manto de lodos tratando aguas residuales hospitalarias**

### **Evaluation of a upflow anaerobic sludge blanket reactor for the treatment of hospital wastewaters**

**Jojanna Carolina Luque López<sup>(1)</sup>, Angélica Andrea Méndez Revollo<sup>(2)</sup>, Tatiana Rodríguez Chaparro<sup>(3)</sup>**

<sup>(1)</sup> Estudiante de Ingeniería Civil, Facultad de ingeniería, Universidad Militar Nueva Granada, Grupo de tratamiento de agua, Bogotá D.C., Colombia, u1100852@unimilitar.edu.co

<sup>(2)</sup> Estudiante de Ingeniería Civil, Facultad de ingeniería, Universidad Militar Nueva Granada, Grupo de tratamiento de agua, Bogotá D.C., Colombia, u1100853@unimilitar.edu.co

<sup>(3)</sup> Ph.D. en Ingeniería, Facultad de ingeniería, Profesor Asociado Universidad Militar Nueva Granada, Grupo de investigación en tratamiento de agua, Bogotá D.C., Colombia, adela.rodriguez@unimilitar.edu.co

27 de Junio de 2013

#### **Resumen**

El objetivo de este trabajo consistió en evaluar el desempeño de un reactor anaerobio de manto de lodos y flujo ascendente (UASB), tratando aguas residuales hospitalarias (ARH). El reactor operó durante 145 días, variando el valor de la carga orgánica volumétrica (COV). Los resultados mostraron que para un valor de COV de 0.816 KgDQO/m<sup>3</sup> \* d se alcanzó, una eficiencia de remoción de materia orgánica de 59±14%, sin embargo, el proceso siempre fue inestable y no se obtuvo una producción significativa de metano. Por lo anterior se concluye que no es un proceso adecuado para tratar este tipo de efluentes.

*Palabras claves:* Efluentes hospitalarios, Metano, Digestión anaerobia.

#### **Abstract**

The aim of this work was to evaluate the performance of an anaerobic reactor upflow sludge blanket (UASB) treating hospital wastewater (ARH). The reactor operated for 145 days, varying the value of the volumetric organic load (VOL). The results showed that for a value of 0.816 VOC KgDQO/m<sup>3</sup> \* d was reached, a removal efficiency of organic matter from 59 ± 14%, however, the process always was unstable and there was no significant production of methane. Therefore, it was concluded that there is a proper process for dealing with this type of effluent.

*Key words:* Effluent hospital, Methane, Anaerobic Digestion.

## INTRODUCCIÓN

Los hospitales generan en promedio 750 litros de aguas residuales por cama al día, estos efluentes se encuentran cargados con microorganismos patógenos, productos farmacéuticos, elementos radiactivos metabolizados y otros tóxicos como sustancias químicas. La dosis de contaminantes de origen hospitalario, muestra sustancias como agentes anti-tumorales, antibióticos, compuestos órgano halogenados y compuestos emergentes que en su mayoría pasan por las plantas de tratamiento sin un proceso adecuado, provocando un desequilibrio biológico [1]. Este tipo de contaminantes que hasta el momento no ha sido regulado, se han convertido en objeto de estudio, principalmente para analizar los efectos en la salud y en el ecosistema [2].

Los tratamientos biológicos llevados a cabo con lodos activados, están diseñados para remover únicamente DBO<sub>5</sub> y SS. Por lo tanto no serán suficientes para tratar aguas formadas principalmente por compuestos recalcitrantes como los que se encuentran en las aguas residuales hospitalarias [3]. La digestión anaerobia es una tecnología madura utilizada mundialmente para el tratamiento de varios tipos de agua residual, que consiste en la descomposición u oxidación de compuestos orgánicos, en ausencia de oxígeno libre, obteniendo la energía requerida para el crecimiento y mantenimiento de los organismos anaerobios [4], con ventajas reconocidas por la producción de fuentes alternas de energía como biogás, bajo consumo de energía y baja producción de lodos. Sin embargo, algunos microorganismos anaerobios son sensibles cuando son expuestos a ciertos elementos como metales pesados [5].

El reactor anaerobio de manto de lodos con flujo ascendente UASB es uno de los reactores biológicos más utilizados en la actualidad; las aplicaciones de esta tecnología han alcanzado sectores como efluentes de plantas químicas y petroquímicas, industrias textiles y tratamiento de lixiviados. El número de reactores anaerobios en el mundo se está incrementando rápidamente y cerca del 72% de estos son reactores basados en la tecnología UASB [6]. Autores como Van der Last y Lettinga, estudiaron el tratamiento de aguas residuales urbanas, en digestores UASB industriales utilizados en Colombia (1983-90), en la India (1989) y en Brasil (1990), encontrando que con tiempos de retención hidráulica (TRH) entre 10 y 14 horas y con un decantador adecuado a la salida, se puede conseguir una eliminación de DQO del 75% y de SS del 90%, o bien un efluente con una calidad determinada por una concentración máxima de 25 mg/l de DBO<sub>5</sub>, 125 mg/l de DQO y 35 mg/l de SS[7].

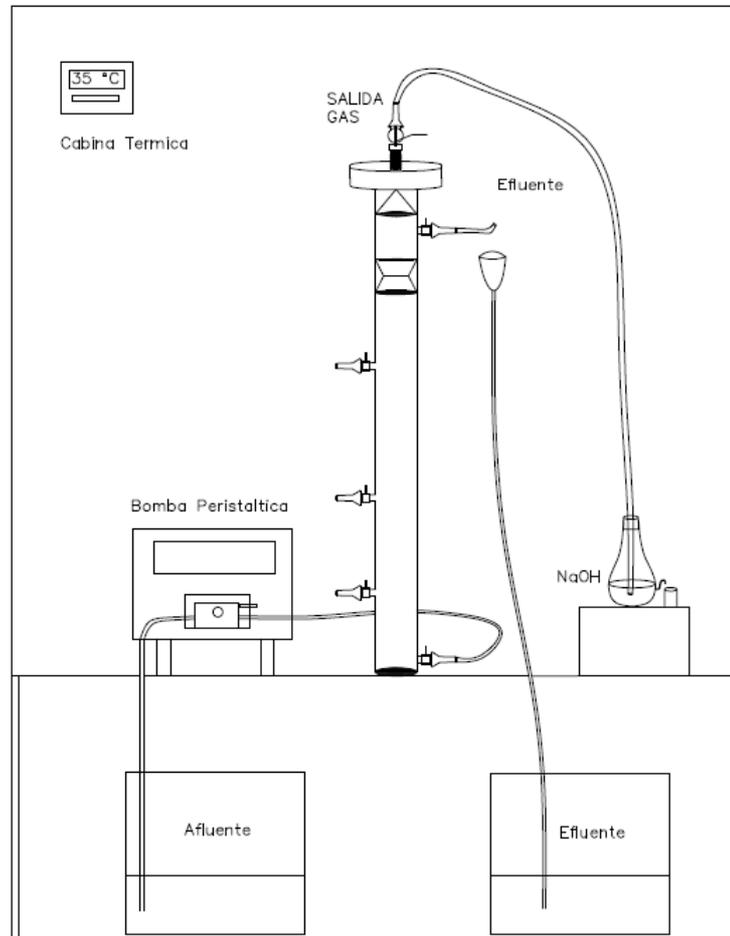
En este sentido, el objetivo de este trabajo consistió en evaluar la eficiencia de remoción de materia orgánica y la producción de metano, empleando reactor anaerobio de flujo ascendente y manto de lodos (UASB), tratando aguas residuales hospitalarias (ARH) reales.

## MATERIAL Y MÉTODOS

### *Reactor anaerobio*

El reactor UASB fue construido en acrílico, con dimensiones de 50 mm de Diámetro y 590 mm de Altura, Volumen útil de 940 mL, para una relación L/d de 12. El inóculo utilizado proviene de un reactor UASB que trata el efluente de la industria Bavaria localizada en Tocancipa-Colombia. El reactor operó con un tiempo de detención hidráulica (TDH) de 21±4 horas que se controló con una bomba peristáltica de marca Masterflex L/S con un rango de flujo de 0.6 a 3400 mL/min y

estaba en una cabina termo controlada a  $32\pm 3^\circ$ . En la Figura 1 se observa un esquema del montaje.



**Figura 1.** Montaje del reactor UASB

El reactor operó continuamente por 145 días en los cuales se implementó una estrategia de alimentación, variando el valor de la COV del afluente, de la siguiente forma: En la fase 1 se alcanzó una COV:  $0,043 \text{ KgDQO/m}^3 \cdot \text{d}$  durante 13 días, alimentando con un sustrato 100% de agua residual sintética (ARS) con base en recomendaciones de [8], compuesto de urea ( $\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$ -22.5 g/L), difosfato de potasio ( $\text{K}_2\text{HPO}_4$ -9.16g/L) y etanol ( $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$ -1ml/L) ; en la fase 2 se tiene una COV:  $0,950 \text{ KgDQO/m}^3 \cdot \text{d}$  durante 135 días, alimentando con un sustrato de 75% de ARS y un 25% de ARH. En el día 89 se presentó un incremento de temperatura de la cámara, superior a  $50^\circ \text{C}$  que ocasionó un desequilibrio de las funciones del reactor.

#### *Agua residual hospitalaria*

El agua residual proviene del Hospital Militar Central (HMC), ubicado en la ciudad de Bogotá. El HMC cuenta con 397 camas, en donde se realizan tratamientos médicos, intervenciones quirúrgicas, consultas externas, excreción de los productos farmacéuticos de los pacientes,

limpieza y desinfección (aseo general), así como actividades de investigación y docencia que se practican dentro de la institución médica. Actualmente las aguas residuales pasan primero por un tratamiento preliminar, compuesto por rejillas donde se retiene el material grueso, seguido por un tanque flotador para luego pasar al tanque de distribución que conecta a la red del alcantarillado local.

Se realizaron 3 colectas de agua residual de la salida del flotador en el año 2012. Una vez se realizaba la colecta las muestras eran preservadas a 4°C y almacenadas para posterior análisis. Se analizaron parámetros tales como sólidos suspendidos totales (SST), sólidos disueltos totales (SDT), sólidos totales (ST), alcalinidad, ácidos volátiles, color, UV<sub>254</sub>, Sulfatos, Nitrógeno Total Kjeldhal, Fosfatos, DBO<sub>5</sub>, DQO y pH, todos siguiendo las recomendaciones de [9], [10] y [11].

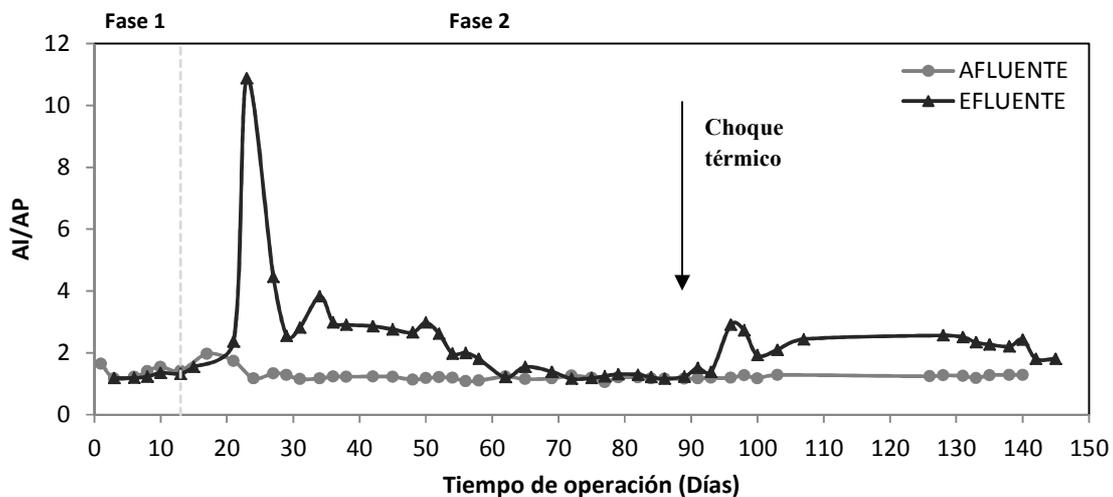
### *Métodos*

Para evaluar el desempeño del reactor UASB se realizaron los siguientes ensayos, demanda química de oxígeno (DQO), ácidos volátiles totales (AVT), Alcalinidad total (AT), Alcalinidad parcial (AP), Alcalinidad intermedia (AI), Sólidos totales (ST), Sólidos suspendidos (SS), Sólidos volátiles totales (SVT), Sólidos volátiles suspendidos (SSV) y pH; de acuerdo con la metodología descrita en [9], [10] y [11]. Todas las mediciones se realizaban tres veces por semana por duplicado. La producción de biogás fue hecha en el Cromatógrafo Agilent 7890 A con una columna carboxen 1010plot, siguiendo las recomendaciones de [12] y [13].

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### *Índice AI/AP*

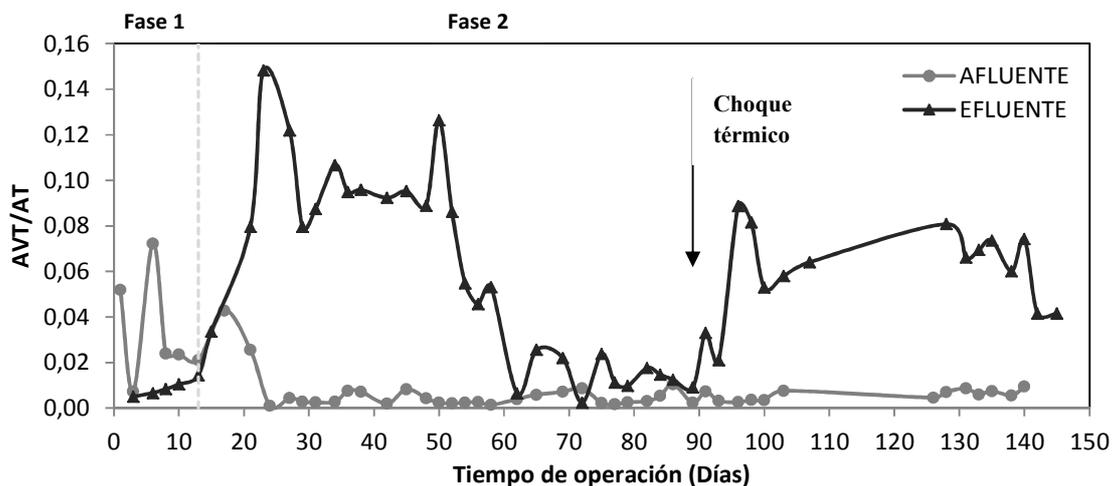
El pH y la alcalinidad indican la estabilidad del proceso anaerobio, esto muestra que cuando la alcalinidad del medio no es suficiente para neutralizar los ácidos volátiles, ocurrirá la caída del pH, se presentara la acumulación de AGV y una baja producción de metano [14]. La relación AI/AP representa la alcalinidad debida a los ácidos grasos volátiles y la alcalinidad debida a bicarbonatos, que acuerdo con autores como [11], los valores del índice AI/AP superiores a 0.3 sugieren la presencia de disturbios en el proceso de la digestión anaerobia; sin embargo dependiendo del tipo de agua residual, es posible que la estabilidad del proceso se alcance con valores diferentes a 0.3, siendo necesario un estudio para cada caso en particular [15]. Como se observa en la Figura 2, el reactor UASB presento valores promedio de  $1.18 \pm 0.05$  en el afluente y de  $1.27 \pm 0.12$  en el efluente, indicando de acuerdo con lo anterior que el sistema se mantuvo en un proceso inestable en todo el tiempo de operación. Al inicio de la fase 2 el desequilibrio en la producción y consumo de ácidos grasos volátiles se manifestó en altas concentraciones de acidez, razón por la cual se realizo un acondicionamiento de la alcalinidad del agua residual afluente, adicionando bicarbonato de sodio gradualmente hasta lograr en el día 65 una disminución significativa en la acumulación de ácidos.



**Figura 2.** Índice AI/AP del afluente y efluente del reactor UASB

### Índice AVT/AT

Según [16], la relación AVT/AT se conoce como el índice tampón; su adecuada variación está en el rango 0,20-0,40, lo que indica que por lo menos el 60% de la alcalinidad total del sistema tiene que estar en forma de alcalinidad bicarbonato, de acuerdo con los resultados de la (Figura 3), durante la operación se obtuvieron valores promedio de  $5,1E-03 \pm 3E-03$  para el afluente y  $0,015 \pm 0,01$  para el efluente, indicando según [17], que el proceso anaerobio se encontró en constante subalimentación e insuficiencia de nutrientes.



**Figura 3.** Índice AVT/AT del afluente y efluente del reactor UASB

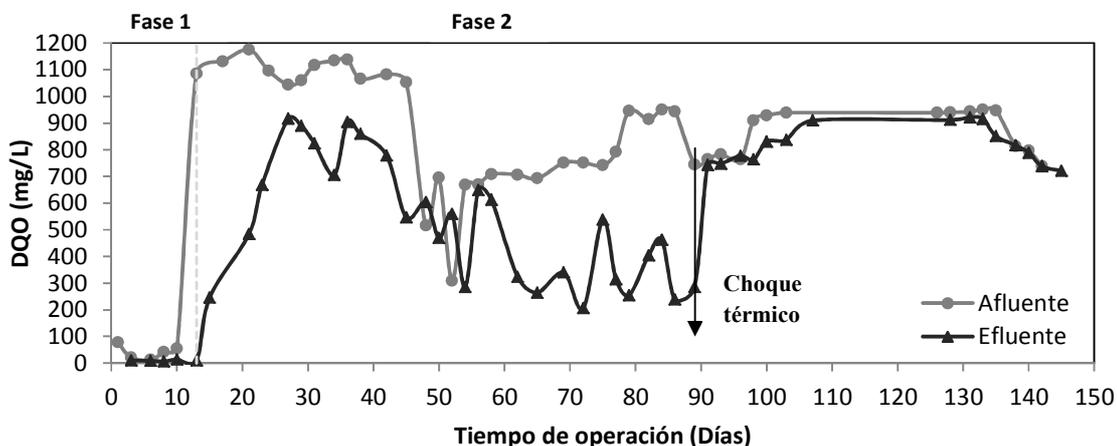
La inestabilidad del proceso puede estar relacionada con una sobrecarga orgánica, presencia de agentes inhibidores o tóxicos en el agua residual o variación de la temperatura; en cualquier caso, ocurre que la producción de los ácidos orgánicos en el reactor se hace superior al consumo de los mismos y en consecuencia, aumenta en el sistema la concentración de ácidos volátiles y disminuye la de bicarbonatos, que se descomponen en  $CO_2$ , con la respectiva formación de sales

de ácidos volátiles [16]. Lo anterior se observó en este estudio, el proceso biológico de acuerdo con los valores de los parámetros analizados se mantuvo con continuos disturbios y esta situación se empeoró cuando ocurrió el choque térmico en la fase 2, considerando por tanto que el tratamiento de ARH utilizando reactores UASB debe ser estudiado con un mayor cuidado.

### Remoción de DQO

En la Figura 4 se observa que durante el inicio de la fase 2 se presenta una eficiencia de remoción de DQO de  $28 \pm 20\%$ ; a partir del día 65 se aumenta el valor de alcalinidad total debido al bajo rendimiento que presenta el reactor, y la remoción aumenta hasta un valor de  $59 \pm 14\%$  siendo este el mejor resultado que se presentó durante el tiempo de operación. De lo anterior se concluye que la reducción de materia orgánica presente en aguas residuales hospitalarias depende en gran medida de los valores de alcalinidad que exista en el medio. Sin embargo, otros aspectos deben ser también tomados en cuenta en próximos estudios, por ejemplo el contenido de nutrientes y el tiempo de detención hidráulica.

El choque térmico que se presentó el día 90 de operación, generó una disminución abrupta en la remoción de DQO, llegando a valores de  $6 \pm 4\%$  como se observa en la Figura 5. A pesar que esta situación fue controlada, duró apenas 24 horas y el reactor volvió a operar a  $35^\circ\text{C}$ , el proceso no se recuperó. Esto muestra que en este tipo de aguas residuales el proceso anaerobio es muy sensible ante cualquier variación de la temperatura. Autores como [18] relataron un episodio de choque térmico en un reactor UASB tratando aguas residuales de la industria de papel y celulosa, sin embargo, el proceso una vez volvió a la temperatura normal de operación se recuperó sin afectar la remoción de materia orgánica.

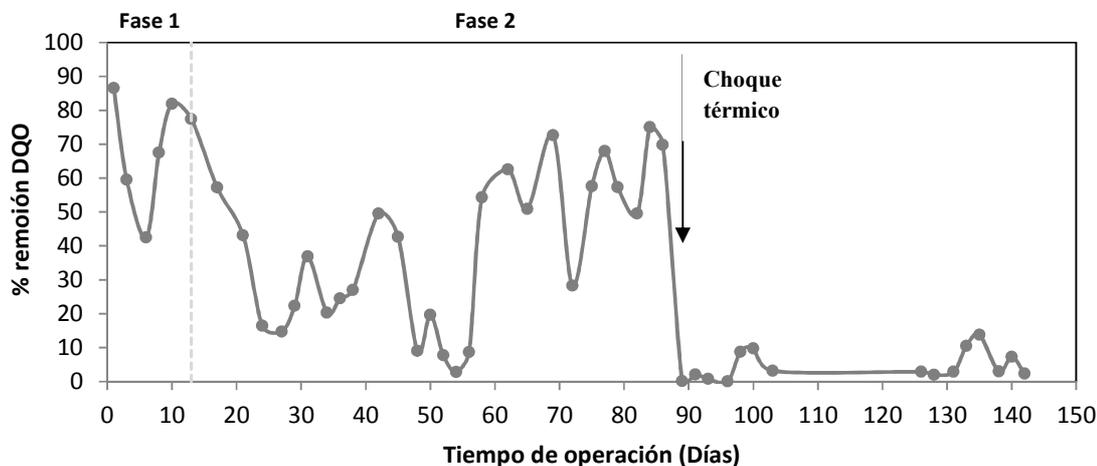


**Figura 4.** Comportamiento de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) del afluente y efluente

El reactor UASB ha sido aplicado en gran variedad de aguas industriales [19-20] mostrando eficiencias mayores de 90% en la remoción de DQO por lo que se puede concluir que no es una opción viable para este tipo de aguas.

Estudios realizados por [21] mostraron como en un proceso combinado aerobio-anaerobio, tratando aguas hospitalarias, se alcanzaron valores de remoción de materia orgánica de hasta un

95,1% medida como DQO. Esto muestra que una alternativa para tratar este tipo de efluentes es la combinación de los dos procesos biológicos



**Figura 5.** Porcentaje de Remoción de DQO en el reactor UASB

#### *Producción de metano*

Durante la fase 2 a partir del día 90 se realizaron 6 tomas de muestra del biogás cada dos días; se encontró un porcentaje de  $5\pm 1\%$  de producción de metano. Si se comparan estos resultados con los reportados por [22] quienes trataron residuales de la vinaza de destilería y las aguas de despulpe y lavado del beneficio húmedo del café, la producción de metano fue casi nula. De acuerdo con [23] la producción de metano es un resultado directo de la reducción de DQO, esto se comprobó en este trabajo, si se observa la Figura 4 se evidencia que no hubo una remoción adecuada, lo que resulto en una baja producción de metano.

#### **CONCLUSIONES**

Se evaluó el desempeño de un reactor anaerobio de manto de lodos y flujo ascendente tratando aguas residuales hospitalarias reales. Los resultados mostraron que no es un proceso adecuado para tratar este tipo de aguas. La alcalinidad en el medio y la temperatura de operación influyen de manera directa en la estabilidad del proceso, cualquier variación en alguno de estos factores no permite una recuperación rápida del proceso.

#### **AGRADECIMIENTOS**

Los autores expresan sus agradecimientos a la Universidad Militar Nueva Granada por el apoyo financiero, a los Laboratorios de Calidad de Aguas y Saneamiento Ambiental, al grupo de investigación en tratamiento de agua por el apoyo técnico.

#### **REFERENCIAS**

[1] A. Rezaee, M. Ansari, A. Khavanin, A. Sabzali, M.Aryan, "Digestión Hospital wastewater treatment using an integrated anaerobic aerobic fixed film bioreactor". American Journal of Environmental Sciences 1 (4). 259-263.(2005)

- [2] J. E. Becerril, "Contaminantes Emergentes en el Agua". *Revista Digital Universitaria*, Vol.10, No.8, Agosto, 2009, (2-xx)
- [3] Q.Liu, Y. Zhou, L. Chen, X. Zheng. "Application of mbr for hospital wastewater treatment in china. Desalination", No.250, (2010), pp (605–608).
- [4] J. A. Romero. *TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, Teoría y principios de diseño*. Colombia: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, 2010.
- [5] M.S. Fountoulakis, K. Stamatelatu, G. Lyberatos. "The effect of pharmaceuticals on the kinetics of methanogenesis and acetogenesis". *Bioresource Technology*. 99. 2008, (7083–7090).
- [6] F. C. Morillo, E. Fajardo. "Estudio de los Reactores UASB para el Tratamiento de Lixiviados del Relleno Sanitario La Esmeralda". *Universidad Nacional de Colombia*. 2005
- [7] A. Van der Last, G. Lettinga, "Anaerobic treatment of domestic sewage under moderate climatic (Dutch) conditions using upflow reactors at increased superficial velocities" *Wat. Sci. Tech.*, 25 (7), (1992), pp 167-178.
- [8] T. De Souza, E. Foresti, "Remoção de nitrogênio de esgotos sanitários pré-tratados anaerobiamente, combinado nitrificação e uso de sulfeto para desnitrificação autotrófica". *Anais do IV Seminário do Projeto Temático*. (2010), pp 96-105.
- [9] C. A. Chernicharo, *Reactores Anaerobios, Principios do tratamento biológico de águas residuárias*. Belo Horizonte, Brasil: UFMG, 2007.
- [10] APHA. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 19th. Ed American Public Health Organization, Washington, DC, USA, 2005.
- [11] Ripley, W. Boyle, & J. Converse. Improved alkalimetric monitoring for anaerobic digestion of high-strength wastes. *J. - Water Pollut. Control Fed.*, 406-411. (1986).
- [12] K. Stenerson, Analysis of Permanent Gases, *The Reporter*, 2004; 3(1):3.
- [13] SUPELCO. *Guidelines for the selection of PLOT columns for petrochemical/chemical applications*. USA. (2012).
- [14] S. Aquino, C. Chernicharo, "Acumulo de ácidos graxos voláteis (AGVs) em reatores anaerobios sob estresse: causas e estratégias de controle" *10 (2)*, 152-161, (2005)
- [15] E. Foresti, L. Florencio, A. Van Andel, M. Zaiat, P. Frassinetti, "Fundamentos do Tratamento Anaerobio. En: Tratamiento de esgotos sanitários por processo anaerobio e disposicao controlada no solo". PROSAB. Rima Artes e Textos. Eds. 29.(1999)
- [16] A. Rozzi, "Parámetros de operación y control de los procesos anaeróbicos". Tercer Seminario sobre depuración anaeróbica de aguas residuales, Valladolid, España, (1986)

[17] O. Rojas “Capacidad tampón en reactores Anaerobios” Curso sobre tratamiento anaerobio de aguas residuales, Programa de Posgrado en Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Universidad del Valle, Cali, Colombia, (2004).

[18] A. Buzzini , E. Pires “Cellulose pulp mill effluent treatment in an upflow anaerobic sludge blanket reactor”, *La Revista Claro -Process Biochemistry* 38, (2012), pp. 707-713.

[19] P. Torres, J. A. Rodríguez, L.E. Barda, A. Morán, J. Narváez, “Tratamiento anaerobio de lixivididos en reactores UASB” Ingeniería & Desarrollo. Universidad del Norte, núm 18: 50-60, Julio-Diciembre, (2005).

[20] G. Iñiguez, A. Camacho, “Evaluación de un reactor de manto de lodos con flujo ascendente (UASB) con cambios de velocidad de alimentación” Ingeniería Investigación y Tecnología. Vol. XII, Núm. 1, (2011), pp. 199-208.

[21] A. Rezaee, M. Ansari, A. Khavanin , A. Sabzali, M.M. Aryan, “Hospital Wastewater Treatment Using an Integrated Anaerobic Aerobic Fixed Film Bioreactor”, Department of Environmental Health, Faculty of Medical Sciences Tarbiat Modares University, Tehran, Iran, *American Journal of Environmental Sciences* 1 (4): 259-263, (2005).

[22] R. C. Bermúdez, S. Rodríguez, M. de la C. Martínez, A. I. Terry, “Ventajas del empleo de reactores UASB en el tratamiento de residuales líquidos para la obtención de biogás” Centro de Estudios de Biotecnología Industrial, Universidad de Oriente, Grupo aqua limpia- Consultores, Apartado Postal 4011, CP. 90400, Santiago de Cuba, Cuba.

[23] Y. Ferrer, H. Pérez, “Los microorganismos en la digestión anaerobia y la producción de biogás. Consideraciones en la elección del inóculo para el mejoramiento de la calidad y el rendimiento” Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar, ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar, vol. 43, núm. 1, enero-abril, (2010), pp. 9-20.