

## **Biodegradabilidad anaerobia de efluentes industriales en un reactor UASB**

**Yaxcelys Caldera<sup>1</sup>, Edixon Gutiérrez<sup>2</sup>, Pedro Madueño<sup>3</sup>,  
Alonso Griborio<sup>3</sup> y Nola Fernández<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Laboratorio de Investigaciones Ambientales del Núcleo Costa Oriental del Lago (LIANCOL), Universidad del Zulia. Cabimas, Venezuela. yaxcelysc@hotmail.com.

<sup>2</sup>Centro de Investigaciones del Agua (CIA), <sup>3</sup>Departamento de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (DISA), Facultad de Ingeniería, Universidad del Zulia. Maracaibo, Venezuela.

### **Resumen**

Los efluentes industriales son los principales contaminantes de los cuerpos receptores cuando son descargados sin tratamientos. Sus características varían con el proceso productivo y con el flujo generado. En esta investigación se evaluó la eficiencia de dos sistemas anaerobios: UASB mesofílico y UASB termofílico durante el tratamiento de aguas residuales de una industria cárnica y aguas de producción provenientes de la extracción de crudo liviano, respectivamente. Se evaluaron los tiempos de retención hidráulica (TRH) de 24 y 12 h. Durante la experimentación se monitorearon los siguientes parámetros: pH, alcalinidad, demanda química de oxígeno (DQO), temperatura, producción de biogás, contenido de metano en el biogás, producción de ácidos grasos volátiles (AGV), sólidos suspendidos totales (SST) y sólidos suspendidos volátiles (SSV). Cada TRH se mantuvo hasta alcanzar la estabilidad en los parámetros operacionales. Los resultados demostraron que los efluentes cárnicos y petroleros son biodegradables a las condiciones de temperatura evaluadas,  $37^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$  y  $55^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$  respectivamente. El reactor UASB fue eficiente durante el tratamiento de aguas residuales industriales obteniéndose porcentajes de remoción de DQO superiores al 76%. El cambio del TRH de 24 a 12 h causó la disminución en el porcentaje de remoción de DQO de los efluentes, de 87% a 79% para el cárnico y de 78% a

77% para el efluente petrolero. El sistema termofílico mostró mayor estabilidad que el sistema mesofílico.

**Palabras clave:** Efluente cárnico, aguas de producción de petróleo, reactor UASB, biodegradabilidad anaerobia.

## *Anaerobic Biodegradability of Industrial Effluents in a UASB Reactor*

### **Abstract**

Industrial effluents are the principal pollutants of receiving bodies when discharged without treatment. Their characteristics vary according to the productive process and generated flow. This study evaluates the efficiency of two anaerobic systems: a UASB mesophilic reactor and a UASB thermophilic reactor, during treatment of wastewaters from a slaughterhouse and from light crude oil production, respectively. Hydraulic retention times (HRT) of 24 h and 12 h were evaluated. During the experiment, the following parameters were monitored: pH, alkalinity, chemical oxygen demand (COD), temperature, biogas production, methane content in the biogas, volatile fatty acids production (VFA), total suspended solids (TSS) and volatile suspended solids (VSS). Each HRT was maintained until reaching stability in the operational parameters of the reactor. Results demonstrated that slaughterhouse and petroleum wastewaters are biodegradable at the temperature conditions evaluated: mesophilic ( $37^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ ) and thermophilic ( $55^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ ). The UASB reactor was efficient during industrial wastewater treatment, obtaining COD removal percentages higher than 76%. The reduction of HRT from 24 h to 12 h caused a decrease in the COD removal percentages from 87% to 79% for the slaughterhouse effluent and from 78 to 77% for the petroleum effluent. The thermophilic reactor showed greater stability than the mesophilic reactor.

**Key words:** Slaughterhouse effluent, crude oil production effluent, UASB reactor, anaerobic biodegradability.

### **Introducción**

En el estado Zulia de Venezuela las principales actividades económicas son la explotación petrolera y la ganadería. Durante las actividades de extracción, transporte y procesamiento del crudo, se generan grandes volúmenes de desechos: rípios, lodos petrolizados y aguas de

formación (Araujo y col., 2004). Las aguas de formación son aquellas que se encuentran naturalmente en las rocas y están presentes antes de la perforación de un pozo, su composición depende del origen del agua y de la modificación que pueda ocurrir una vez que entra en el ambiente del subsuelo. A medida que estas aguas suben desde el pozo hasta llegar a la superficie sus características varían debido a las fluctuaciones de presión, temperatura y composición de los gases. Debido a los cambios en sus características reciben la denominación de Aguas de Producción de Petróleo (APP) (Faría, 1999).

Las APP presentan una composición compleja ya que contienen crudo libre y emulsionado, hidrocarburos, sólidos suspendidos, gases, sales, mercaptanos y otros compuestos (Gutiérrez y col., 2002); y son tratadas por métodos físico-químicos y normalmente reinyectadas. Debido a que la producción petrolera en Venezuela está en constante crecimiento, se estima que la capacidad instalada para el procesamiento de las aguas de producción pueda ser saturada en los próximos años, por esta razón será necesaria la evaluación de sistemas de tratamiento que permitan acondicionar el agua antes de su disposición. Sin embargo, existen pocas investigaciones sobre su tratamiento en sistemas anaerobios. Rincón (2002) propuso el reactor UASB (por sus siglas en inglés Upflow Anaerobic Sludge Blanket) como alternativa para el tratamiento de las APP provenientes de la extracción de crudo liviano bajo condiciones mesofílicas.

Otra actividad fundamental en la economía y alimentación de los venezolanos está representada por las industrias cárnicas. Durante la matanza de animales, en los procesos de desangrado, desosado, mondonguería, tripería y lavado de corrales, se originan efluentes líquidos caracterizados por un alto contenido de materia orgánica (DQO), sólidos suspendidos, grasas, nitrógeno y fósforo, su composición y el flujo generalmente depende del número de animales sacrificados. Los principales efectos perjudiciales de los vertidos de las fábricas de productos cárnicos son: la disminución del oxígeno, los depósitos de fangos, colores y una situación general desagradable (Manjunath y col., 2000; Couillard y col., 1989; Del Nery y col., 2001; Martínez y col., 1995).

Investigaciones realizadas demostraron que el reactor anaerobio de manto de lodo de flujo ascendente UASB fue eficiente durante el tratamiento de una variedad de aguas residuales industriales, destacándose

entre sus ventajas su capacidad de retener biomasa por la formación de lodo granular con altas propiedades de sedimentación y de manejar altas cargas orgánicas a TRH cortos (Lettinga 2001; Van Lier y col., 2001).

Se han realizado diversos estudios sobre la biodegradabilidad de los efluentes provenientes de mataderos e industrias cárnicas, en reactores UASB de tipo floculento (UASB<sub>f</sub>) y granular (UASB<sub>g</sub>) y en sistemas de dos etapas UASB<sub>f</sub> y UASB<sub>g</sub> (Sayed y Zeeuw, 1984; Sayed y col., 1987; Sayed y col., 1993). Por otra parte, Martínez y col. (1995) evaluaron un sistema de dos reactores UASB conectados en serie. Otros investigadores han explorado la posibilidad de tratamiento de los efluentes de matadero en reactores anaerobios de lecho fluidizado mezclado continuamente, reactores de lecho de lodo granular expandido (EGSB), combinación de UASB y filtro anaerobio (FA), reactores anaerobios por carga (ASBR) y reactores anaerobios de película fija (Stephenson y Lester, 1986; Ruiz y col., 1997; Nuñez y Martínez, 1999; Del Nery y col., 2001; Del Pozo y col., 2002; Ruiz y col., 2000; Caldera y col., 2005).

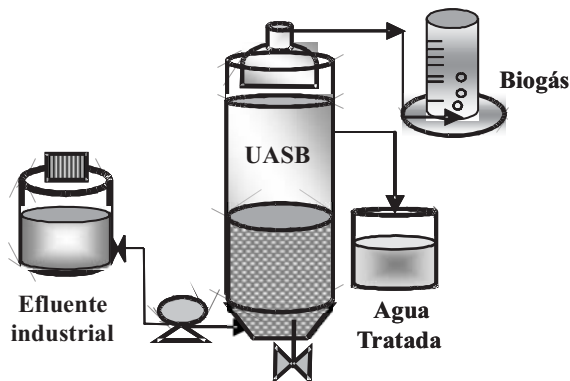
El objetivo de este trabajo es evaluar la eficiencia de dos reactores UASB a condiciones mesofílicas y termofílicas durante el tratamiento de aguas provenientes de una industria cárnica y de la producción de petróleo liviano, respectivamente, a TRH de 24 y 12 horas.

## **Metodología**

### **Equipo experimental**

Se utilizaron dos reactores UASB construidos en plexiglás con volumen útil de 4,04 L y 2,54 L, operando a temperaturas de  $37 \pm 1^\circ\text{C}$  y  $55 \pm 1^\circ\text{C}$ , respectivamente. El reactor termofílico fue provisto de una chaqueta, manteniendo la temperatura por recirculación de agua caliente. El reactor mesofílico fue colocado en un cuarto a temperatura controlada. Ambos reactores fueron inoculados con lodo anaerobio granular mesofílico (30% del volumen útil) procedente de una industria cervecera de la localidad. El gas producido en cada reactor fue medido por desplazamiento del agua en un colector de gas conectado a un tanque abierto a la atmósfera, el cual contenía agua acidificada (ácido sulfúrico 0,1 N) para reducir la solubilidad del  $\text{CO}_2$ , y expresado como litro por día a condicio-

nes estándar de temperatura y presión, STP (273 K y 1 atm). La Figura 1 muestra el esquema de funcionamiento del reactor.



**Figura 1.** Reactor UASB utilizado durante el tratamiento de las aguas residuales industriales.

### **Agua residual**

La muestra de efluente cárnico fue suministrada por el Matadero San Isidro, ubicado en la vía La Concepción a 15 km de Maracaibo, Estado Zulia, Venezuela. La muestra de agua residual fue tomada directamente del tanque de almacenamiento temporal del efluente en el matadero. El promedio diario de animales sacrificados, para el momento de la experimentación, fue de 20 a 30 bovinos, 10 a 15 porcinos y 4 a 7 ovinos. El agua residual llega al tanque por sistema de canales y tuberías conectados a los diferentes puntos del proceso productivo: limpieza de corrales, sala de matanza y secciones de subproductos. El efluente, antes de llegar al tanque, pasa por una tanquilla que contiene una rejilla a la entrada donde se retienen los sólidos de mayor tamaño presentes en el agua residual.

El agua de producción se obtuvo del Patio de Tanques de Ulé de la industria Petróleos de Venezuela (PDVSA), ubicada en la Costa Oriental del Lago de Maracaibo Estado Zulia, Venezuela. Las aguas provienen de la segregación Tía Juana Liviano (TJL), se obtuvieron de la separación del agua asociada a la extracción de crudo liviano (>31.8°API) APPL, clasificación según el Instituto Americano del Petróleo (Neuman y col., 1981), en el tanque de almacenamiento.

Las muestras de los efluentes industriales se colectaron por un muestreo simple cada 7 días, se almacenaron en recipientes plásticos de 20 L de capacidad, se trasladaron al laboratorio y se refrigeraron a 4°C para su conservación. Posteriormente fueron analizadas e incorporadas a los reactores para su tratamiento.

### **Control y análisis del sistema**

Inicialmente los reactores se cargaron, por dos días, con D+glucosa a una concentración equivalente en DQO de 1500 mg/L y solución de nutrientes (Chacín, 1993), por un TRH de 24 horas. Adicionalmente para ajustar el pH a 6,7-7,5 se agregó bicarbonato de sodio en una cantidad equivalente de 1 g/L. Posteriormente los reactores funcionaron a flujo continuo con el mismo sustrato, manteniendo el TRH en 24 h.

Los reactores termofílico y mesofílico, después de estabilizados, se alimentaron con agua procedente de la extracción de petróleo liviano (APPL) y agua residual de industria cárnica, respectivamente.

La evaluación de la biodegradabilidad de las aguas residuales industriales se inició alimentando los reactores con una concentración de 1400 mg DQO/L para las APPL y 8500 mg DQO/L para el efluente cárnico. Para alcanzar la condición termofílica ( $55^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ ), en el reactor termofílico, se procedió a aumentar la temperatura desde la condición mesofílica ( $37^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ ) a la razón de  $1^{\circ}\text{C}/\text{d}$ . Los reactores mesofílico y termofílico, se evaluaron durante 52 y 42 días, respectivamente, para los tiempos de retención hidráulica (TRH) de 24 y 12 h.

Para el control del sistema se determinó la DQO, alcalinidad, pH, SST, SSV (APHA-AWWA-WEF, 1998); contenido de metano y AGV por cromatografía gaseosa. La evaluación de las muestras se realizó por triplicado calculando para cada caso el promedio y la desviación estándar.

Las concentraciones de los ácidos grasos volátiles (AGV): ácido acético, ácido propiónico y ácido butírico a la salida del reactor se determinaron utilizando un cromatógrafo de gas Perkin Elmer Autosystem con detector de ionización a la llama (FID), columna capilar FFAP de 15 m con 0,32 mm de diámetro interno y nitrógeno como gas de arrastre. Las muestras fueron previamente filtradas por una membrana de acetato de celulosa de  $0,20\ \mu\text{m}$  y se agregó ácido fórmico analítico al 10% para finalmente inyectar  $0,3\ \mu\text{L}$  de muestra en el cromatógrafo. La temperatura del

detector fue de 210°C, la del inyector 150°C y el horno funcionó con un programa de temperatura de 105 hasta 190°C con una rampa de 45°C/min. En el biogás se determinó el porcentaje de metano utilizando también un cromatógrafo de gas Perkin Elmer Autosystem con un detector, FID, columna empacada W/Hayesep Q 80/100 6' x 1/4" x 2 mm Marca Xpertk, operado de modo isotérmico a 150°C en el horno, 200°C en el inyector y 160°C en el detector. Como gas de arrastre se utilizó nitrógeno a 20 mL/min y el volumen de inyección fue de 1,0 mL. La cuantificación se realizó utilizando el método estándar externo, expresando los resultados en porcentaje de metano.

## **Resultados y discusión**

Los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales industriales se presentan en la Tabla 1, se puede observar que las características de estos efluentes varían presentando el efluente cárnico alto contenido de materia orgánica, nitrógeno y fósforo. Sin embargo, aun cuando estos valores son menores para el efluente petrolero, ambos efluentes cumplen con los requerimientos nutricionales necesarios para llevar a cabo la actividad biológica, por lo que no fue necesario agregar nutrientes a estos (Malina y Pohland, 1992). También se puede destacar el contenido de hidrocarburos y fenoles presentes en las aguas de producción debido a su contacto con el crudo liviano. Por otra parte, al comparar los valores de los parámetros fisicoquímicos con los establecidos en Gaceta Oficial de Venezolana (1995), para la descarga a cuerpos de agua naturales, se observa que sólo cumple el límite de descarga el pH, por lo que se hace necesario tratar estos efluentes antes de su disposición.

Los valores de pH y alcalinidad (Tabla 2) durante el tratamiento de los efluentes industriales estuvieron dentro de los rangos óptimos para el desarrollo de los microorganismos anaerobios (Metcalf y Eddy, 1995), por esta razón no se agregó alcalinidad (bajo la forma de bicarbonato de sodio) a los reactores. La alcalinidad para el efluente petrolero fue de 2413 mg CaCO<sub>3</sub>/L y 2945 mg CaCO<sub>3</sub>/L, mientras que el pH varió entre 8,0 y 8,2 para los TRH de 24 y 12 horas, respectivamente. El valor del pH para el efluente cárnico estuvo más cercano a la neutralidad (7,2-7,6) y la alcalinidad varió de 3054 mg CaCO<sub>3</sub>/L a 3713 mg CaCO<sub>3</sub>/L durante la inves-

**Tabla 1.** Características de los efluentes industriales y límites permisibles de descarga a cuerpos de agua naturales\*

Parámetro	Efluente cárnico	Efluente petrolero	Límite de descarga
pH	6,6	8,3	6-9
Alcalinidad (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	1100	2670	-
SST (mg/L)	750	104	80
SSV (mg/L)	520	54	-
DQO (mg/L)	8500	1400	350
N (mg/L)	1064	20	40
P (mg/L)	74	2,2	10
Hidrocarburos (mg/L)	ND	36	20
Aceites y grasas (mg/L)	ND	66	20
Fenoles (mg/L)	ND	31	0,5

DQO: Demanda Química de Oxígeno. SST: Sólidos Suspendidos Totales. SSV: Sólidos Suspendidos Volátiles. ND: No determinado.

\*Según Gaceta Oficial Venezolana N° 5021 Extraordinario 18/12/95.

**Tabla 2.** Resultados de los parámetros evaluados durante el tratamiento anaeróbico de efluentes cárnico y petrolero

Parámetro	Efluente cárnico		Efluente petrolero	
TRH	24	12	24	12
Tiempo de evaluación (días)	30	22	15	15
Carga orgánica (kg DQO/m <sup>3</sup> d)	8,5	17	1,4	2,8
Concentración de DQO (mg/L)	8500	8500	1400	1400
Remoción de DQO (%)	87	79	78	77
Volumen de metano (L/d)	6,0	15,5	0,20	0,40
Metano (%)	62	59	87	77
AGV (mg acético/L)	226,3	706,2	118,0	119,0
AGV/AB	0,08	0,22	0,05	0,04
pH	7,2	7,6	8,0	8,2
Alcalinidad total (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	3054	3713	2413	2945

TRH: Tiempo de Retención Hidráulico. DQO: Demanda Química de Oxígeno. AGV: Ácidos Grasos Volátiles. AB: Alcalinidad Bicarbonática.



tigación, esta diferencia en estos parámetros está relacionada a las características de cada efluente.

Los reactores UASB mostraron eficiencia para remover entre 77 y 87% de la materia orgánica presente en los efluentes industriales (Tabla 2). Sin embargo, el cambio en el TRH de 24 a 12 horas causó la disminución en el porcentaje de remoción de DQO, para el efluente cárnico. Durante el tratamiento del efluente cárnico a TRH de 24 h se obtuvo un porcentaje de remoción de DQO del 87%, al disminuir el TRH a 12 h se observó un descenso a 79%. Por otra parte, durante el tratamiento de las APPL en el reactor UASB termofílico sólo se observó una variación del porcentaje de remoción de DQO del 1%, obteniéndose valores de 78 y 77% para los TRH de 24 y 12 h, respectivamente. Este comportamiento indica que la eficiencia de los sistemas mesofílicos es afectada por la disminución del TRH mientras que los sistemas termofílicos requieren tiempos menores para estabilizar la materia orgánica. Se ha reportado que el incremento en la temperatura acelera los procesos biológicos (actividad enzimática) lo que permite la estabilidad de los sistemas termofílicos aun a altas cargas orgánicas (Van Lier y col., 2001).

Los efectos asociados con disminución del TRH o incremento de la carga orgánica durante el tratamiento de efluentes industriales han sido evaluados por algunos investigadores. Caixeta y col. (2002) evaluaron el tratamiento de aguas residuales de una industria cárnica en un reactor UASB con una configuración no convencional, un sistema de separación de tres fases. Reportaron valores de remoción de DQO entre 77 y 91%, para concentraciones de 2000 y 6000 mg DQO/L a TRH de 14, 18 y 22 h. Manjunath y col. (2000), evaluaron la eficiencia de un sistema UASB durante el tratamiento de un efluente cárnico para diferentes TRH (22, 15, 10, 7,5 y 5 horas) obteniendo porcentajes de remoción de DQO del 60 a 68%, siendo el menor valor para el TRH de 5 h. Rincón y col. (2002), determinaron el TRH óptimo para el sistema de tratamiento anaerobio UASB, utilizando aguas de producción de petróleo liviano, a condiciones mesofílicas ( $37 \pm 1^\circ\text{C}$ ). Variaron el TRH entre 38 y 5 h. Reportaron una disminución del porcentajes de remoción de materia orgánica desde 82% para el TRH óptimo de 15 h hasta 23,8% para 6 h.

Otra consideración importante está relacionada con la concentración de materia orgánica en los efluentes industriales evaluados, ya que

difiere considerablemente, representando para el efluente cárnico una carga orgánica (CO) de 17 kg DQO/m<sup>3</sup>d a TRH de 12 h, mientras que para el efluente petrolero fue de 2,4 kg DQO/m<sup>3</sup>d. La alta CO aplicada al reactor UASB mesofílico pudo causar el desequilibrio del sistema ocasionando la disminución de la remoción de DQO. Sin embargo, al comparar los porcentajes de remoción de DQO se observa que para la CO de 17 DQO/m<sup>3</sup>d el reactor mesofílico logró remover un alto porcentaje de DQO (79%), esta eficiencia de remoción podría estar asociada a la biodegradabilidad de este efluente. Behling y col. (2003) durante el tratamiento de efluentes industriales (cárnico y petrolero) en un reactor biológico aeróbico (RBC) reporta que el efluente cárnico es un medio más apropiado para el desarrollo de microorganismo ya que contiene compuestos de más fácil biodegradabilidad, al ser comparado con el efluente petrolero.

El equilibrio del sistema termofílico, durante el tratamiento del efluente petrolero, se evidenció con los bajos valores de los AGV (menores a 150 mg ácido/L) a la salida del sistema (Tabla 2), mientras que para el efluente cárnico se obtuvo un incremento en la concentración de AGV de 226,3 a 706,2 mg ácido/L al disminuir el TRH de 24 a 12 h, indicando estos valores posible acumulación de AGV durante el tratamiento del efluente cárnico. Sin embargo, los valores de la relación entre AGV y alcalinidad bicarbonática (AGV/AB) se encuentran por debajo de 0,3 lo que indica estabilidad en el reactor (Pley y col., 1983). Se observó un incremento de los valores de la relación AGV/AB con la disminución del TRH, obteniéndose valores de 0,08 y 0,22 para TRH de 24 y 12 h, respectivamente. Resultados diferentes han sido reportados por otros investigadores. Del pozo y col. (2002) durante el tratamiento de efluentes cárnicos observaron acidificación en un reactor anaerobio de película fija. Al aumentar la CO de 3,7 a 9,2 kg DQO/m<sup>3</sup>d, la relación de AGV/alcalinidad incrementó de 0,37 a 0,50 y la eficiencia de remoción de DQO disminuyó desde 64% a 35%. Concluyeron que el control y monitoreo de la alcalinidad es el mejor parámetro para evitar la acumulación de AGV en los reactores. Por otra parte, Rincón y col. (2002) durante el tratamiento de APPL en un reactor UASB mesofílico observaron un aumento en la producción de AGV de 80 a 540 mg ácido/L, que causó la inhibición de los microorganismos anaerobios, principalmente de las metanobacterias, y colapsó el sistema a TRH menores de 10 h.

La producción de metano fue mayor durante el tratamiento del efluente cárnico obteniéndose 6,0 y 15,5 L CH<sub>4</sub>/d, mientras que para el efluente petrolero la producción fue de 0,20 y 0,40 L CH<sub>4</sub>/d, para los TRH de 24 y 12, respectivamente. Se obtuvo una disminución del porcentaje de metano desde 87% a 77% para el efluente cárnico y desde 62% hasta 59% para las APPL, para los TRH de 24 y 12, respectivamente. Estos resultados indican que el sistema mantuvo el equilibrio gracias a las condiciones de pH y alcalinidad. Núñez y Martínez (1999) obtuvieron porcentajes de metano de 60,5% durante el tratamiento de efluentes cárnicos, similares a los obtenidos en esta investigación.

## Conclusiones

El reactor UASB fue eficiente durante el tratamiento de aguas residuales provenientes de una industria cárnica y de la extracción de petróleo liviano, obteniéndose porcentajes de remoción de DQO superiores al 76%. El cambio del TRH de 24 a 12 h causó la disminución en el porcentaje de remoción de DQO de los efluentes, de 87% a 79% para el cárnico y de 78% a 77% para el efluente petrolero. El sistema termofílico mostró mayor estabilidad que el sistema mesofílico.

## Agradecimiento

Este trabajo fue realizado con fondos otorgados por el Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico (CONDES) de la Universidad del Zulia.

## Referencias bibliográficas

- APHA, AWWA, WEF (1998). **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 20th Edn. American Public. Health Assoc., Washington, DC, USA. Pp. 1207.
- Araujo I., Angulo N., Cárdenas C., Méndez M., Morante M., y Machado M. (2004). Biorremediación de suelos con consorcio bacteriano, compostaje y fertilización. **Bol. Centro Invest. Biol.** 38(3), 186-202.
- Behling E., Marín J., Gutiérrez E. y Fernández N. (2003). Tratamiento aeróbico de dos efluentes industriales utilizando reactores biológicos rotativos de contacto. **Multi-ciencias** 3(2), 126-135.

- Caixeta C., Cammarota M. y Xavier A. (2002). Slaughterhouse wastewater treatment: evaluation of a new three-phase separation system in a UASB reactor. **Bioresource Technol.** 81(1), 61-69.
- Caldera Y., Madueño P., Griborio A., Fernández N. y Gutiérrez E. (2005). Efecto de la carga orgánica en el funcionamiento de un reactor UASB durante el tratamiento de efluente cárnico. **Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia** 28(2), 119-127.
- Chacín E. (1993). Treatment characteristics of two phase anaerobic system using a UASB reactor". University of Birmingham. England. PhD Thesis. Pp. 151.
- Couillard D., Garipey S. y Tran F. (1989). Slaughterhouse effluent treatment by thermophilic aerobic process. **Water Res.** 5, 573- 579.
- Del Nery V., Damianovic M. y Barros F. (2001). The use of upflow anaerobic sludge blanket reactors in the treatment of poultry slaughterhouse wastewater. **Water Sci. Tech.** 44(4), 83-88.
- Del Pozo R., Diez V. y Salazar G. (2002). Start-up of a pilot-scale anaerobic fixed film reactor at low temperature treating slaughterhouse wastewater. **Water Sci. Tech.** 46(4-5), 215-221.
- Faría E. (1999). Caracterización de aguas de formación e inyección en la segregación Rosa Mediano de PDVSA. Trabajo especial de grado. Ingeniería de Petróleo. Universidad del Zulia, Cabimas Venezuela. Pp. 150.
- Gaceta Oficial de la República de Venezuela No. 5021. (1995). Extraordinaria. Lunes 18 de diciembre de 1995. Decreto 883. Sección III. De las descargas a cuerpos de agua. Artículo 10. Pp. 7.
- Gutiérrez E., Fernández N., Herrera L., Sepúlveda Y. y Mármol Z. (2002). Efecto de la aplicación de ozono sobre la biodegradabilidad de aguas de formación. **Multicencias** 2(1) 50-54.
- Lettinga G. (2001). Digestion and degradation, air for life. **Water Sci. Tech.** 44(8), 157-176.
- Malina J. y Pohland F. 1992. Design of anaerobic processes for the treatment of industrial and municipal wastes. **Technomic Publication.** New York. Vol. 7. Pp. 214.
- Manjunath N., Mehrotra I. y Mather R. (2000). Treatment of wastewater from slaughterhouse by DAF-UASB system. **Water Res.** 34(6), 1930-1936.
- Martínez J., Borzacconi L., Mallo M., Galisteo M. y Viñas M. (1995). Treatment of slaughterhouse wastewater". **Water Sci. Tech.** 32(12), 99-104.
- Metcalf Eddy. (1995). **Tratamiento y depuración de las aguas residuales.** Edit. McGraw Hill. España. Capítulo 8. 478-488.
- Neuman H., Severin D. and Paczynska-Lahme B. (1981). Composition and properties of petroleum. **Geology of Petroleum.** 5, 1-135.
- Núñez L. y Martínez B. (1999). Anaerobic Treatment of Slaughterhouse wastewater in an expanded granular sludge bed (EGSB) reactor. **Water Sci. Tech.** 40(8), 99-106.

- Pley R., Boyle W. y Converse J. (1993). Improved alkalimetric monotorin for anaerobic digestion of hihstrength. **Journal Wat. Poll.** 58(5), 406-411.
- Rincón N. (2002a). Traitement anaerobie des eaux de production des champs pétroliers. Thèse docteur. L'Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse. France.
- Rincón N., Chacín E., Marín J., Moscoso L., Fernández L., Torrijos M., Moletta R. y Fernández N. (2002b). Tiempo de retención hidráulico óptimo para el tratamiento anaerobio de aguas de producción de petróleo liviano. **Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia** 25(2), 90-99.
- Ruiz C., Torijos O., Joyard J., Martínez L. y Maletta R. (2000). The anaerobic SBR process: basic principles for disign and automation. 2<sup>nd</sup> International symposium on sequencing batch reactor technology. Oral presentations. 10-12 july. Norbonne France. 102-109.
- Ruiz I., Veiga M., De Santiago P. y Blázquez R. (1997). Treatment of slaughterhouse wastewater in a UASB reactor and an anaerobic filter. **Bioresource Technol.** 60(3), 251-258.
- Sayed S. y Zeeuw W. (1984). Anaerobic treatment of Slaughterhouse waste using a flocculant slugde UASB reactor. **Water Sci. Tech.** 27(9), 83-90.
- Sayed S., Van Campen L. y Lettinga G. (1987). Anaerobic treatment of slaughterhouse waste using a UASB granular". **Biol Wastes** 21, 11-28.
- Sayed S., Van der Spol H. y Trijen G. (1993). A complete treatment of slaughterhouse wastewater combined with sludge stabilization using two stage high rate UASB process. **Agric. Wastes** 11, 197-226.
- Stephenson T. y Lester J. (1986). Evaluation of start-up and operation of anaerobic processes treating a synthetic meat waste. **Biotechnology Bioeng.** 28, 327-380.
- Van Lier J., Van der Zee F., Tan N., Rebac S. y Kleerebezem R. (2001). Advances in high-rate an anaerobic treatment: staging of reactor systems. **Water Sci. Tech.** Vol. 44 No. 8, 15-25.