

PUESTA EN MARCHA, OPERACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA PLANTA PILOTO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS “UASB – CATEDRAL”

*Medina Hoyos R. Ivan**, *Aramayo Ramiro*, *Gareca Anita* y *Quiroga Jimena*
Universidad Autónoma Juan Misael Saracho. PROMADE/FONAMA – EIA
1^{era} Conferencia sobre Reactores Anaerobios para Depuración de Aguas Residuales Domésticas.
Tarija- Bolivia. Agosto del 2001
Presentado al CEPIS, para su publicación como texto completo al 21 de Septiembre del 2005

RESUMEN

Se evalúa la puesta en marcha y operación de un reactor UASB (por sus siglas en inglés Up Flow Sludge Blanket), construido para depurar aguas residuales domésticas del Barrio Catedral. El UASB - Catedral tiene una capacidad de 64,8 m³, con una profundidad de 3,9 m, un ancho de 4,05 m y longitud de 4,1 m, el sistema cuenta con un tratamiento preliminar consistente en una cámara séptica y un desarenador. El UASB ha sido diseñado para trabajar con un TRH_{max.} de 6 h y tratar las aguas residuales de una población de 1500 habitantes, sin embargo la población servida del barrio catedral es menor, por lo que el UASB trabaja con un TRH_{max.} de 24 h y un TRH_{medio} de 16,4 h. El seguimiento de la puesta en marcha y la operación del UASB, ha permitido trazar curvas de eficiencia, estimándose un periodo de puesta en marcha de 35 días, sin necesidad de inocular lodos de otro reactor. Para tiempos mayores que 35 días, el sistema se estabiliza alcanzando eficiencias de remoción de sólidos en suspensión SS y demanda química de oxígeno DQO de 61±6% y 69±4% respectivamente, para temperaturas (del seno acuoso) de 19±2°C. Los resultados corroboran estudios y reportes de trabajos similares. La experiencia a escala real ha permitido obtener información valiosa para la puesta en marcha, operación y diseño de la tecnología UASB, en climas subandinos.

PALABRAS CLAVES

UASB, RAFA, TRH, remoción de SS, remoción de DQO, lodos anaerobios, inoculación.

INTRODUCCION

En Bolivia existen importantes inversiones en saneamiento básico rural, sin embargo el hecho de implementar sistema de agua potable y alcantarillado en pequeñas poblaciones (de mas de 2000 habitantes), con deficientes sistemas de tratamiento de las aguas residuales domésticas, no hace mas que trasladar el problema sanitario desde los núcleos poblados hacia las poblaciones dispersas, debido a que se colectan las aguas residuales de los núcleos (que antes se las disponía en el subsuelo mediante pozos ciegos) y se las vierte a pequeñas corrientes de agua aledañas (con caudales muy variables y prácticamente nulos en época de estío). De esta manera es de esperar una gran dispersión de contaminantes orgánicos y patógenos en los próximos años con la propagación de enfermedades de origen hídrico, degradación de los pocos recursos hídricos existentes y disminución de la precaria calidad de vida del área rural en nuestro País.

El reactor UASB o RAFA, es una tecnología de efectividad comprobada en varios países de Latinoamérica, de climas tropicales y subtropicales, sus eficiencias de remoción de materia orgánica los hacen competitivo y de mas bajos costos que las cámaras sépticas y los tanques Imhoff, de amplia utilización en nuestro medio, para el tratamiento descentralizado de aguas residuales.

El proyecto PROMADE “PLANTA PILOTO DE PROCESOS ANAEROBIOS DEPURATIVOS

* Consultor ambiental. Catedrático de Mención Ambiental, Carrera de Ingeniería Química, UAJMS. Casilla 51; Email: rimh14@latinmail.com

DE AGUAS RESIDUALES”, ha sido aprobado para su financiamiento en enero de 1993, por el consejo ambiental del Fondo Nacional para el Medio Ambiente FONAMA - Cuenta Ambiental E.I.A.

PROMADE tiene como objetivo principal validar tecnologías anaerobias no convencionales para el tratamiento de aguas residuales domésticas, mediante estudios de tratabilidad en plantas piloto a nivel laboratorio y en plantas a escala real en pequeñas poblaciones o en barrios alejados del centro de la Ciudad de Tarija.

El problema de la contaminación del Río Guadalquivir y sus quebradas tributarias por aguas residuales de la Ciudad de Tarija y sus barrios, es bien conocido, al igual que sus serios efectos potenciales sobre la salud pública de la población de la Ciudad de Tarija.

Dentro de este marco y como una de las actividades del proyecto PROMADE, se ha decidido implementar el sistema de tratamiento UASB, en el barrio Catedral, con un doble objetivo, brindar al barrio un tratamiento de sus aguas residuales domésticas a nivel primario y secundario y por otro lado contar con una experiencia piloto a escala real, que permita evaluar el comportamiento de dicha tecnología y de esta manera sentar bases técnicas sólidas para su replicabilidad en otros barrios, poblaciones o casos similares.

El presente trabajo pretende dar a conocer los primeros resultados de la puesta en marcha y la operación del UASB, con el fin de acumular información y experiencias sobre la tecnología.

BASES TEORICAS DEL UASB O RAFA

Concepto

El reactor anaerobio de flujo ascendente y manto de lodos (RAFA), también conocido como Up-Flow Anaerobic Sludge Blanket (UASB), es un reactor “avanzado” en el cual se ha desligado el tiempo de retención hidráulico del tiempo de retención celular, provocando tiempos pequeños hidráulicos y tiempos de retención celular elevados, el reactor consiste en una cámara o reactor que tiene flujo ascendente (de abajo hacia arriba) en cierto lugar esta colocado un manto de lodo granular o floculante (dependiendo del substrato y carga orgánica e hidráulica) que es altamente reactivo y que permite remociones de un 65% a 80% de materia orgánica como el proceso es anaerobio, se genera gas metano, el cual se acumula en las cámaras de gas localizadas en la parte superior del reactor, el agua tratada asciende hasta otra cámara de sedimentación en la parte superior, donde los lodos contenidos son sedimentados hacia el reactor y el agua conducida a la canaleta superior para ser vertida a un tratamiento posterior para remoción de colis.

Generalidades

El efluente del reactor tiene una eficiencia de remoción entre 65 y 80% en materia orgánica y en aguas residuales domésticas se reporta remociones entre 50 y 70% de coliformes fecales.

Las condiciones que se deberán conseguir en un UASB según Kooljams y Lettinga son :

- ✎ Obtener una separación efectiva de biogas , del manto de todos y del líquido.
- ✎ Cultivar y mantener un lodo anaerobio de excelentes propiedades de sedimentabilidad y alta activa específica.
- ✎ Realizar una distribución, lo mas uniforme posible, desde el fondo del reactor.
- ✎ Las condiciones del diseño varían conforme al substrato utilizado, pero se debe diseñar siempre con el objetivo de distribuir la carga.

Existen dos partes esenciales en el UASB, el separados Gas - sólido (que es la parte superior) y el reactor anaerobio.

El separados Gas - sólido tiene por objetivos:

- ✎ Separar el biogas del licor mixto y las partículas flotantes .
- ✎ Separar las partículas de lodos dispersas / flóculos presentes en el compartimiento de sedimentación por asentamiento y / o entrapamiento en el manto de lodos.
- ✎ Permitir a los lodos separados deslizarse al compartimiento de digestión .
- ✎ Restringir expansiones excesiva del manto de lodos .

Dentro del reactor se lleva a cabo diferentes procesos físicos, químicos y biológicos:

Físicos tales como:

- ✎ El flujo ascendente produce un lodo pesado y lava al que no tiene peso (generalmente materia coloidal).
- ✎ La oclusión y el ascenso del gas produce una mezcla en el reactor .

Biológicos como:

- ✎ hidrólisis de biopolímeros.
- ✎ hidrólisis de proteínas
- ✎ hidrólisis de carbohidratos
- ✎ hidrólisis de lípidos
- ✎ Fermentación de amino ácidos y azúcares a hidrogeno, acetato y cadenas cortas de ácidos grasos volátiles (AGV) y alcoholes.
- ✎ Oxidación anaerobica de cadenas de ácidos grasos y alcoholes.
- ✎ Oxidación anaerobica de productos intermediarios, como ácidos volátiles.
- ✎ Conversión de acetato a metano por organismos acetotróficos (bacteria acetoclásticos).
- ✎ Conversión de hidrógeno a metano por organismos hidrogenotróficos.

Químicos como ser:

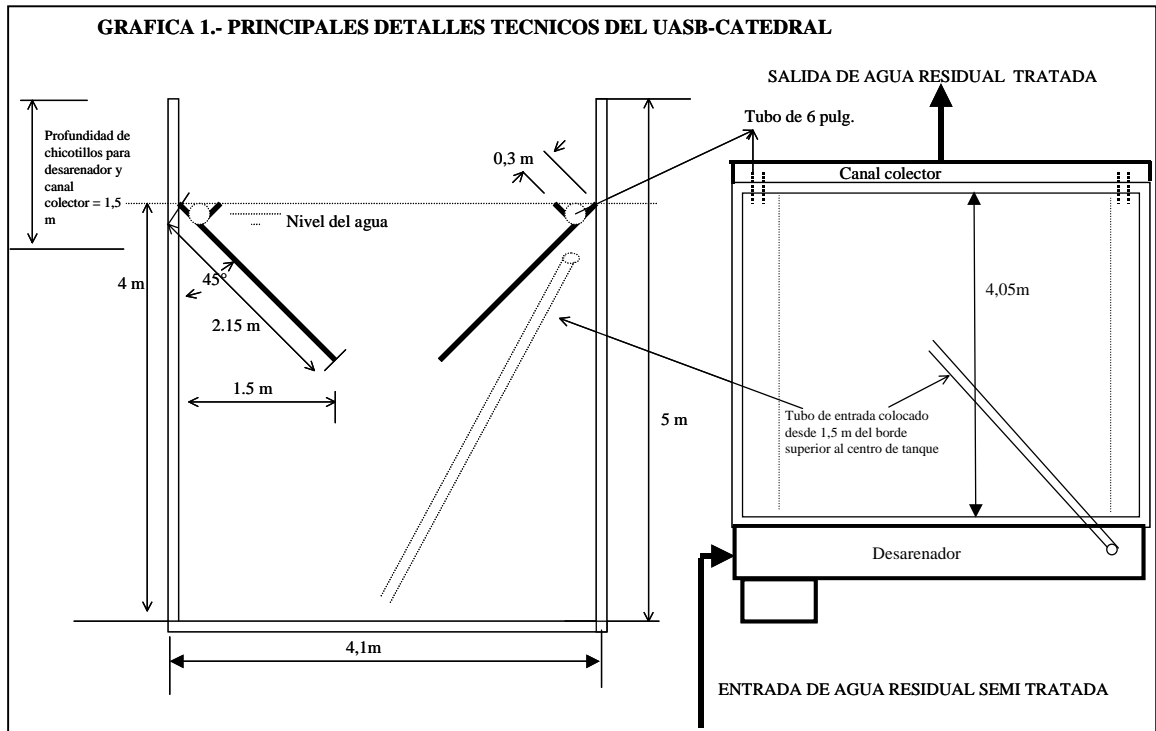
- ✎ Corrosión por desprendimiento de ácido sulfhídrico.
- ✎ Precipitación y solubilización de metales por reacciones químicas.

Para lograr una buena fermentación en un RAFA es necesario que se cumpla:

- ✎ La presión parcial del hidrógeno molecular sea abajo de 10^{-6} atm.
- ✎ El potencial de redox debe ser abajo de 330-111V.
- ✎ La reducción de sulfatos genera H_2S que es tóxico para los metanógenos se aconsejan ratios de $DQO/SO_4 < 7$ y concentraciones de sulfatos menores a 1000 mg/l
- ✎ El pH recomendando entre 6.7 - 7.5 unidades.
- ✎ El rango de temperatura ideal es el mesofílico (20°C a 42°C)

DESCRIPCION DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO UASB - CATEDRAL

La planta de tratamiento UASB – CATEDRAL, tiene un sistema de tratamiento preliminar que consta de una cámara de sedimentación (existente antes de la implementación del UASB), de aproximadamente $30 m^3$, y un desarenador. Como núcleo central tiene un reactor UASB o RAFA de $65 m^3$, de capacidad, en la Gráfica 1, se detallan sus principales dimensiones, en las Gráficas 2, se muestran instantáneas y en el Cuadro 1, se representa una hoja electrónica con las características de diseño mas importantes.



METODOLOGIA

Puesta en marcha y operación

La puesta en marcha se ha iniciado con el llenado del reactor y la alimentación continua de agua residual doméstica, se ha considerado finalizada luego de verificarse un incremento brusco de eficiencia de DQO mayor a 70%. A partir de dicho periodo se asume que el UASB está en plena operación.

CUADRO 1.- DISEÑO DIMENSIONAL DEL UASB - CATEDRAL

CALCULOS DE DISEÑO DE UASB

V (m ³), volumen del UASB	TRH (h), tiempo de retención hidráulico	Q (m ³ /h), caudal de diseño
64,80	6,00	10,80
		Q (l/s), caudal de diseño
		3,00

A (m ²), área del UASB	Vas (m/s), velocidad de ascenso	Q (m ³ /h), caudal de diseño
16,62	0,65	10,80

H (m), altura del UASB	Nd, Número de distribuidores	
3,90	2,08	

VERIFICACION

Lv (Kg DQO/m ³ .día), Carga orgánica	DQO (mg/l)	DQO (Kg/m ³)
1,48	370,00	0,37

Lh (m ³ /m ³ .día), Carga hidráulica	l (m), Longitud	a (m), Ancho
4,00	4,10	4,05

CALCULOS PARA EL DECANTADOR INTERNO

As (m ²), Area superficial	Q (m ³ /día), Caudal de diseño	Ts (m ³ /m ² .día), Tasa de revalse
12,96	259,20	20,00

Vs (m ³), Volumen del sedimentador	Td (h), Tiempo de retención	
21,60	2,00	

Hs (m)		
1,67		

OTROS CALCULOS

Extención del vertedero

L vertedero (m)	Q (l/s)
3,00	3,00

Producción de biogas

Qbiogas (m ³ /día)	Tasa gas (l/kg. DQO)
19,18	200,00

La puesta en marcha y operación del UASB – CATEDRAL, se ha realizado bajo las siguientes condiciones:

- ✎ Aguas residuales: Aguas residuales domésticas crudas.
- ✎ Tipo de inoculación al inicio de la puesta en marcha: Ninguna
- ✎ Fuente de agua residual: Red de alcantarillado del Barrio Catedral.
- ✎ Caudal de operación: 1.12± 0,46l/s
- ✎ TRH_{medio}: 16,4 h
- ✎ Volumen útil: 64 m³.
- ✎ Temperatura ambiental de operación 15,7± 2,7 °C
- ✎ Temperatura acuática de operación 19,1± 1,5 °C

Otros criterios utilizados para delimitar la puesta en marcha, son la aparición de burbujas de gas y lodo floculento o granular con buenas propiedades de sedimentación.

Muestreo y análisis

El muestreo se ha realizado en forma instantánea para el agua residual de entrada y salida del UASB, se ha iniciado luego de ocho días del llenado y continuado cada una o dos semanas hasta los 72 días luego del inicio de la puesta en marcha.

Temperatura, pH, TDS, conductividad, turbiedad y sólidos en suspensión, han sido analizados in situ, con equipos portátiles digitales marca HACH.

Para el análisis de DQO ha utilizado el método de digestión con dicromato de potasio, realizando la lectura con el espectrofotómetro DR 2010 marca HACH.

El caudal de entrada ha sido medido con un vertedero triangular de ferrocemento, según:

$$Q = 0.0177(H)^{2.608}$$

donde:

Q(l/s): caudal del agua residual

H(cm): altura desde el vértice del vertedero a la superficie del agua, aguas arriba de la caída.

RESULTADOS Y DISCUSION

El Cuadro 2, muestra los resultados de la medición de caudales, análisis físicos y químicos del aguas residual cruda y tratada, estimaciones de eficiencias de remoción de SS y DQO, además de cálculo de promedios y desviaciones estándar

En la Gráfica 3, se representa un curva del incremento de eficiencias de remoción de DQO y SS, señalando el término de la puesta en marcha y el inicio del periodo de operación.

De acuerdo a la Gráfica 3, el periodo de puesta en marcha tiene una duración entre 35 días, fecha a partir de la cual se considera que el reactor UASB, ha madurado lo suficiente para mantener condiciones estables de operación con eficiencias de remoción de DQO y SS de $68,9 \pm 3,7\%$ y $61,3 \pm 6,1\%$ respectivamente.

Es destacable que la puesta en marcha se haya realizado en un periodo relativamente corto tomando en cuenta que el reactor no fue inoculado, sin embargo este hecho tiene explicación en el arrastre o lavado de lodo anaerobio (adaptado al agua residual doméstica) desde el tanque séptico que realiza un tratamiento previo al agua residual y que ha estado operando y acumulando lodo durante mas de tres años, antes de la implementación del UASB.

Las eficiencias medias de remoción de SS y DQO, son ligeramente inferiores a las reportadas para los sistemas UASB (70 a 80%), a pesar de que el reactor está trabajando a TRH mayores que el de diseño, lo cual parece ser un efecto de las bajas temperaturas del periodo de evaluación y del sedimentador previo al UASB, en el cual puede removerse entre un 10 y 20% de la carga orgánica, afectando directamente la eficiencia del UASB (está comprobado que la eficiencia es directamente proporcional a la carga orgánica), a la larga este hecho puede significar una ventaja ya que el sedimentador acumulará sólidos sedimentables evitando que el UASB se colmate tempranamente con la consiguientes pérdida de eficiencia.

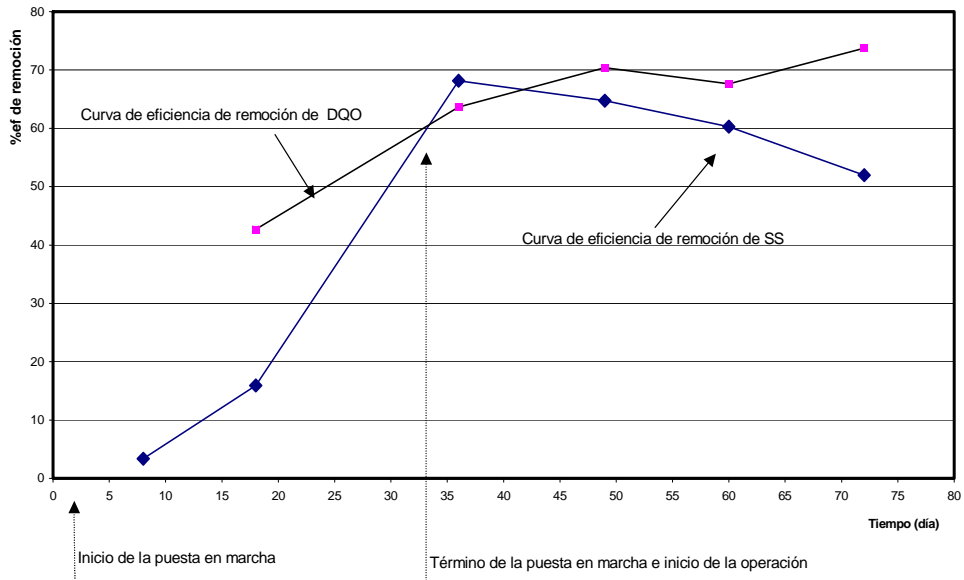
CUADRO 2.- DATOS DE PUESTA EN MARCHA, OPERACION Y EVALUACION DEL UASB CATEDRAL

Datos/Fecha	19/05/2001	26/05/2001	16/06/2001	29/06/2001	10/07/2001	22/07/2001	Promedio	Desv. Est.
N° de día	8	18	36	49	60	72		
Caudal								
H del vertedero triangular (cm)	5,50	4,50	5,10	5,80	4,80	3,00	4,78	0,90
Q (l/s)	1,51	0,89	1,24	1,73	1,06	0,31	1,12	0,46
Temperatura								
Tamb(°C)	17,00	14,00	11,00	19,00	18,00	15,00	15,67	2,69
Tagua(°C)	19,00	18,00	17,50	22,00	20,00	18,00	19,08	1,54
Entrada								
pH	6,38	6,52	6,72	6,80	6,57	7,40	6,73	0,33
TDS (mg/l)	340,00	320,00	310,00	320,00	300,00	290,00	313,33	15,99
Conductividad	850,88	816,84	799,19	754,64	736,05	740,26	782,98	42,52
Turbidez (NTU)	101,00	105,00	196,00	140,00	122,00	86,40	125,07	35,92
Sólidos suspendidos (mg/l)	134,33	138,00	220,00	186,20	162,26	135,00	162,63	31,67
DQO (mg/l)		171,00	275,00	267,00	290,00	305,00	261,60	47,13
Salida								
pH	6,50	6,46	6,55	6,60	6,49	7,20	6,63	0,26
TDS (mg/l)	300,00	280,00	280,00	270,00	290,00	250,00	278,33	15,72
Conductividad	750,77	714,74	721,85	636,72	711,52	638,16	695,40	43,05
Turbidez (NTU)	118,00	98,00	66,50	67,00	65,80	66,60	66,48	0,43
Sólidos suspendidos (mg/l)	129,80	116,00	70,00	65,66	64,48	65,00	66,29	2,18
DQO (mg/l)		98,00	100,00	79,00	94,00	80,00	88,25	9,01
Eficiencias de remoción								
%efSS	3,37	15,94	68,18	64,74	60,26	51,85	61,26	6,11
%efDQO		42,69	63,64	70,41	67,59	73,77	68,85	3,72

Fecha del inicio de la puesta en marcha del UASB-Catedral: 12-5-2001

Fecha del inicio de la operación del UASB-Catedral: 29-6-2001

GRAFICA 3.- EFICIENCIAS DE REMOCION DE DQO Y SS



El efluente del UASB, tiene un DQO de $88,25 \pm 9,01$ mg/l, el cual es 50% mayor que el límite permisible para cuerpos de agua de Clase "C", según la Reglamentación de la Ley 1333. Sin embargo un buen porcentaje de la carga orgánica arrastrada por el efluente es lodo digerido y estable, el cual no causa malos olores, ni atrae moscas.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- ✍ El presente trabajo ha demostrado la factibilidad técnica de aplicar la tecnología UASB, para el tratamiento descentralizado de aguas residuales domésticas en nuestro medio, alcanzando eficiencias de remoción de DQO de $68,9 \pm 3,7\%$, a temperaturas ambientales de $15,7 \pm 2,7^\circ\text{C}$, en invierno.
- ✍ La rápida puesta en marcha se debe al arrastre de lodo maduro, desde el tanque de sedimentación previo al UASB.
- ✍ Las eficiencias de remoción relativamente bajas, pueden estar relacionadas con las bajas temperaturas del periodo de evaluación y el efecto de pérdida de carga orgánica provocada por la cámara de sedimentación previa al UASB.
- ✍ Es de esperar mayores eficiencias durante las estaciones templadas y cálidas.
- ✍ Para sistemas UASB, sin tratamiento preliminar de las aguas residuales mediante tanques de sedimentación o cámaras sépticas la eficiencia debería ser mayor (aunque para estos casos el reactor se colmatará con lodo mas rápidamente), lo que exigirá mas frecuencia en la limpieza.
- ✍ Se estima que el costo de este sistema es similar al de un tanque Imhoff (eficiencias de remoción de carga orgánica no mayores al 40%) y una cámara séptica o de sedimentación (eficiencias de remoción entre 20 a 30%) de la misma capacidad, alcanzando eficiencias significativamente mayores (entre 65 a 80%).
- ✍ Se recomienda implementar deflectores superficiales adicionales, para evitar el arrastre del lodo desde el centro del reactor a los vertederos de salida.
- ✍ Se recomienda dirigir las investigaciones y el desarrollo de la tecnología hacia la disminución de los efectos del autolavado de lodo, con el objeto de mejorar las eficiencias de remoción de materia orgánica e incrementar las concentraciones de lodo dentro del reactor para mejorar la remoción de patógenos.
- ✍ Debido a la anoxia típica de los efluentes de un reactor anaerobio, es posible optimizar la caída del efluente a la cámara de salida (existe un gradiente de 3 m), para maximizar la oxigenación del agua residual tratada y favorecer el desarrollo de algas y vida acuática en el cuerpo receptor. Experiencias previas, sugieren que se podría elevar el oxígeno disuelto desde niveles nulos hasta 4 mg/l.
- ✍ Se recomienda implementar las siguientes mejoras: colocado de alambre de púa, corte del árbol adjunto y colocado de cartel de advertencia, para evitar accidentes y daños a la infraestructura.

AGRADECIMIENTOS

El autor del trabajo, agradece al Fondo Nacional para el Medio Ambiente "FONAMA"/Cuenta Ambiental "Iniciativa para la Américas", proyecto PROMADE 9A/04e/04-02, por el apoyo financiero prestado. Se destaca la colaboración en muestreo, análisis y toma de datos de los universitarios: Ramiro Aramayo, Anita Gareca y Jimena Quiroga, de la materia de IMA-041, de la mención ambiental de Ingeniería Química UAJMS, gestión 2001.

REFERENCIAS

- ✍ Atkinson B., "Reactores Bioquímicos" Edit. Reverte S.A. España 1986.
- ✍ Lema M. J. y col "Bases Cinéticas y Microbiológicas en el diseño de digestores anaerobios" , Rev. Ingeniería Química, Enero 1992, Univ. Santiago de Compostela-España.
- ✍ Look Hulshoff Pol, Gatzke Lettinga y Jin Field " Digestión Anaerobia" Tomo I; " Reactores UASB" Universidad Agrícola de Wageningen, Holanda.V; 1989.

- ✎ Muñoz J. A. V. " Depuración Anaerobia de Aguas Residuales" Rev Alimentación, Equipos y Tecnología " May., Jul., Ago., 1990 , Madrid España."
- ✎ Medina Hoyos Ivan. Tratamiento Anaerobio de Aguas Residuales de Alcantarilla a Temperaturas Sub - Optimas 10 -20 oC, (Aplicación en Países Andinos) Mediante el Reactor Anaerobio de Flujo Pistón Ascendente " RAP -100 . Forum Biogas 1996/ III Nø 66. Borda - Alemania 1996. ISSN: 0936.
- ✎ Orozco A. "Digestión Anaerobia" Tomo I; "Seminario Internacional Sobre Digestión Anaerobia, Elementos de Diseño" Universidad de los Andes, Fac. de Ingeniería, Dep. de Ing. civil, Bogotá - Colombia 1989.
- ✎ PROMADE. Archivos de proyecto Planta Piloto de Procesos Microbiologicos Anaerobios Depurativos de Aguas Residuales. U.A.J.M.S.
- ✎ Rico Martinez Mauricio. Escalante Violeta Estrada. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Adaptación de Criterios de Diseño de Reactores Anaerobios y Sistemas Lagunares. Informe Final Diciembre de 1991.