

Tratamiento biológico del lixiviado generado en el relleno sanitario "El Guayabal" de la ciudad San José de Cúcuta

Alexander Álvarez Contreras*,
John Hermógenes Suárez Gelvez**

Resumen

En este trabajo se realizó un diagnóstico de calidad y cantidad del lixiviado generado en el relleno sanitario "El Guayabal" de la ciudad San José de Cúcuta, y se evaluaron dos sistemas de tratamiento biológico a escala laboratorio para este lixiviado.

*El lixiviado en el momento de la experiencia presentaba un rango de DQO de 7.650 a 28.250 mg/L. Los sistemas de tratamiento ensayados fueron: un reactor anaerobio del tipo UASB y un sistema de Biodiscos. La carga máxima asimilada por el sistema de Biodiscos fue de 31 gDQO/m²*d, con una eficiencia de remoción promedio en DQO de 70% y eficiencias de remoción máximas por encima del 90% para una carga óptima en un rango de 15 a 20 gDQO/m²*d; además, este sistema presentó gran estabilidad frente a variaciones importantes en cuanto a las características del lixiviado y ausencia de olores desagradables. Los porcentajes de remoción de DQO en el reactor UASB eran muy variables, con picos bajos y caídas muy marcadas, que indican que no se presentaba un funcionamiento óptimo del proceso durante la mayor parte del período de operación del reactor UASB; esto se debió principalmente a que no se tuvieron en cuenta las estrictas condiciones de este sistema.*

Palabras claves: Lixiviado, biodiscos, UASB.

Abstract

In this study it was fulfilled a quality and quantity diagnosis of the leached that was generated in the land-fill "El Guayabal" of San José of Cúcuta city and the two systems of Biological treatment were appraised in one laboratory scale for the treatment of this types of residual water.

Fecha de recepción: 21 de Julio de 2005
Fecha de aceptación: 24 de agosto de 2006

* Ingeniero de Producción Biotecnológica. Asistente de Laboratorio de Aguas, Universidad Francisco de Paula Santander. alexbiotec@latinmail.com

** Ingeniero Químico. Esp. en Ingeniería Sanitaria y Ambiental, estudiante de MSc en Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Docente de la Facultad de Ciencias Agrarias y del Ambiente, Universidad Francisco de Paula Santander. johnhermogenes@yahoo.com

Dirección: Universidad Francisco de Paula Santander, Facultad de Ciencias Agrarias y del Ambiente. Avenida Gran Colombia N° 12E-96B, San José de Cúcuta (Colombia).

Apoyos recibidos: Universidad Francisco de Paula Santander y Aseo Urbano S.A. ESP.

*At moment of experience leached presented one COD rank from 7650 to 28250 mg/L. The tretment tried systems were: an UASB type anaerobic reactor, and one Rotating Biological Contactor system. The biggest load adsorbed by Rotating Biological contactor system was 31 g COD/m²*d, with an average of removal efficiency about COD of 70 %; and greatest removal efficiency over 90 % for a very best load in one rank from 15 to 20 g COD/m²*d, moreover this system presented great stability in front of important variatons on leched characteristics and absence of desagreeble faint odors. The removal percentages of COD in UASB reactor were very variable , whit low additional amount, and descents very marked, this indicate that there was not very best fuctión of the process during the most part of operating time of UASB reactor, this was principally due to that the stric system condictiones weren't done.*

Key words: Leached, Rotating Biological Contactor, UASB.

INTRODUCCIÓN

Los lixiviados son todos aquellos líquidos que han entrado en contacto con los desechos de rellenos sanitarios, y se producen por la disolución de uno o más compuestos de los residuos sólidos urbanos en contacto con el agua, o por la propia dinámica de descomposición de los residuos.

El lixiviado generado en un relleno sanitario es producto de múltiples factores, tales como: composición de la basura, edad del relleno, balance de agua, diseño y operación del relleno sanitario, solubilidad de los desechos, procesos de conversión microbiológica y química y la interacción del lixiviado con el medio ambiente. El caudal generado varía de acuerdo con el estado de avance y el tipo de operación del relleno, y la composición también varía en el tiempo [1].

Existen varios antecedentes de tratamiento aerobio y anaerobio de lixiviados, que van desde experiencias a escala laboratorio a experiencias a escala real. El tipo de tratamiento aerobio más extendido es lodos activados o lagunas aireadas [2]. Otro sistema aerobio utilizado para el tratamiento de los lixiviados es el reactor de biodiscos o RBC (Contactor Biológico Rotante). En cuanto al tratamiento anaerobio de lixiviado, el sistema de mayor difusión es el reactor UASB, el cual ha reportado muy buenos resultados.

Los lixiviados generados en el relleno sanitario "El Guayabal" han alcanzado caudales que oscilan entre 6.91 y 17.28 m³/d en los tres años de vida útil que tiene este relleno. Estos lixiviados son capturados mediante un sistema conformado por tuberías perforadas y almacenados en una laguna de evaporación, para luego ser recirculados a las celdas de operación del relleno sanitario sin tratamiento alguno [3].

Las experiencias reportadas ofrecen resultados que favorecen al tratamiento anaerobio de lixiviados, pero en diferentes casos presentan problemas específicos que dependen del lixiviado que se trata [4]. Las características físico-químicas del lixiviado varían de un lugar a otro, por lo que es necesario realizar estudios tanto de tratamiento aerobios como anaerobios para cada caso en particular. En este trabajo se realizó un diagnóstico de calidad y cantidad del lixiviado generado en el relleno sanitario "El Guayabal", y se ensayó con un sistema de tratamiento aerobio y uno de tratamiento anaerobio, y se analizaron las ventajas y desventajas de cada uno de ellos.

La investigación fue realizada gracias al apoyo técnico y económico de la Empresa ASEO URBANO S.A. E.S.P., la cual presta el servicio de recolección en un amplio sector del Area Metropolitana de Cúcuta y opera el relleno sanitario "El Guayabal".

MATERIALES Y MÉTODOS

Monitoreo de Calidad y Cantidad del Lixiviado

Debido a que el diseño de una planta de tratamiento de lixiviados está directamente condicionado al caudal y las características del lixiviado generado en el relleno sanitario, en esta investigación se realizaron monitoreos de caudal y la medición de parámetros físicoquímicos y microbiológicos al lixiviado generado en el relleno sanitario "El Guayabal". Este monitoreo se realizó durante julio, agosto, septiembre, octubre y noviembre de 2003, para determinar las características del lixiviado en diferentes meses del año.

Arranque y Operación de los sistemas a escala laboratorio

Sistema de Biodiscos

Se construyó un reactor aerobio tipo Biodiscos de 60 litros de volumen, compuesto por 48 discos cada uno, con un diámetro de 30 cm, que se lijaron para facilitar la adhesión de la biomasa. El sistema funcionó a una velocidad de 5,5 rpm. El reactor se inoculó con lodo proveniente de un digestor aerobio del Instituto Colombiano del Petróleo (ICP), Bucaramanga, Santander (ver figura 1).

El sistema se alimentó con lixiviado puro del tanque colector de lixiviados más cercano a la laguna de evaporación. El arranque del sistema fue realizado con aumentos sucesivos de carga orgánica superficial (COS), establecida por la siguiente ecuación [5]:

$$COS = \frac{Q \times DQO}{A} \quad (1)$$

Donde

COS : Carga Orgánica Superficial

Q : Caudal

DQO : Concentración de DQO del afluente

A : Área de los discos (6.7858 m²)

El seguimiento del reactor se realizó mediante la determinación de Caudal, pH, Temperatura, DQO, SST, SSV, Nitrógeno amoniacal, Alcalinidad, Oxígeno disuelto.



Figura 1. Sistema Aerobio Reactor tipo Biodiscos

Reactor UASB

Se trabajó con un reactor del tipo manta de lodos anaerobio de flujo ascendente UASB de 39,1 litros de volumen y con un TRH constante de 36 horas.

El reactor fue inoculado (aproximadamente un tercio del volumen, 13 litros) con lodo proveniente de un reactor anaerobio UASB empleado para el tratamiento de las aguas residuales generadas por una fábrica embotelladora, GASEOSAS LA FRONTERA S.A., previamente al arranque del reactor. Al lodo se

le realizaron mediciones de pH, sólidos suspendidos totales y volátiles; y se hicieron pruebas de sedimentabilidad y Actividad Metanogénica Específica para determinar la calidad del inóculo.

El criterio para aumentar la concentración de DQO fue la respuesta del reactor en términos de eficiencia de remoción de DQO y reducción de AGV.

El manejo de las concentraciones de DQO en el afluente se llevó a cabo mediante diluciones, ya que el lixiviado presentaba altas concentraciones de DQO.

El seguimiento del reactor se realizó mediante determinación de Caudal, pH, Temperatura, DQO, AGV, SST, SSV, Alcalinidad y Nitrógeno amoniacal.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Monitoreo de Calidad y Cantidad del Lixiviado

Los caudales del lixiviado del relleno sanitario generalmente fueron estables en los primeros meses de muestreo, que fue en la época de verano, donde se registraban temperaturas ambientales hasta de 39 °C y temperaturas del lixiviado de 45 °C . La época de invierno comenzó en los primeros días de noviembre. Como era de esperarse, el caudal se incrementó por las lluvias frecuentes y por las recirculaciones periódicas de lixiviado al sitio de disposición final de residuos sólidos (ver tabla 1).

Tabla 1
Caudales de lixiviado del relleno sanitario "El Guayabal"

Caudal (m ³ /d)	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre
Máximo	15.21	34.47	6.48	8.99	186.45
Mínimo	0,34	4.32	1.81	1.73	4.32
Promedio	7.83	8.31	4.73	5.70	48.34

La DQO del lixiviado del tanque colector se encontraba en un rango de 7.650-28.250 mg/L O₂, que se considera dentro del rango reportado para lixiviados producidos en un relleno sanitario con una edad igual o menor a 2 años, como es el caso del relleno sanitario "El Guayabal", en los días de muestreo (ver tabla 2).

La relación DBO_5/DQO del lixiviado del tanque colector se encontraba en un rango de 0.68 - 0.89 y con un promedio de 0,78. Este rango indica que la materia orgánica de los lixiviados es fácilmente biodegradable (6).

El pH un poco alto se atribuye a la alcalinidad producida por una elevada concentración de nitrógeno amoniacal, lo que concede una alta capacidad *buffer* (ver tabla 2).

La concentración de metales pesados en este lixiviado son importantes, principalmente el cromo que se le atribuye a los desechos de curtiembres que se depositan en este relleno.

En general, las características de este relleno varían a través del tiempo, y esto se debe a las diluciones con el agua lluvia, procesos de degradación de la materia orgánica, entre otros.

Tabla 2

Características Físicoquímicas del lixiviado del relleno sanitario "El Guayabal"

Parámetro	Unidad	Promedio	Mínimo	Máximo
pH	-	7,54	6,5	8,35
DQO	mg/L O ₂	16334	7650	28250
DBO ₅	mg/L O ₂	12878	5250	20890
DBO ₅ : DQO		0,78	0,68	0,89
Sólidos totales	mg/L	15961	11478	24370
Sólidos sedimentables	ml/L*h	1,2	0,2	3
Sólidos suspendidos	mg/L	2043,2	336	3974
Turbiedad	NTU	359	210	600
Cloruros	mg/L Cl ⁻	1496	260	5300
Dureza total	mg/L CaCO ₃	3878	1764	5750
Alcalinidad total	mg/l CaCO ₃	6875	2750	9500
Nitrógeno total	mg/L N	1266,6	761,45	1959,72
Nitrógeno amoniacal	mg/L NH ₃	809,25	577,5	937
Nitratos	mg/L NO ₃ ⁻	107,31	60,48	215
Nitritos	mg/L NO ₂ ⁻	1,39	0,54	1,98
Fosfatos	mg/L PO ₄ ⁻³	30,03	24,30	34,75
Sulfatos	mg/L SO ₄ ⁻²	120,67	50	175
Cobre	mg/L Cu	0,04	0,008	0,064
Plomo	mg/L Pb	0,032	0,021	0,041

Continúa...

Cromo	mg/L Cr	0,316	0,034	0,861
Zinc	mg/L Zn	0,75	0,37	1,70
Litio	mg/L Li	0,19	0,15	0,33
Manganeso	mg/L Mn	12,82	0,17	35,40
Hierro total	mg/L Fe	42,23	23,37	77,8
Potasio	mg/L K	2045,6	504,2	4048
Sodio	mg/L Na	1976,92	919,8	3991
Calcio	mg/L Ca	655	200	1300
Magnesio	mg/L Mg	639	235	928
Coliformes totales	ufc/ml	53900	35600	80000
Coliformes fecales	ufc/ml	14125	3500	28000
Hongos y levaduras	ufc/ml	341000	2000	1050000

Arranque y Operación de los Sistemas

Sistema de Biodiscos

El aumento de la carga orgánica superficial (COS) se realizaba con el objetivo de encontrar la carga óptima asimilada por el sistema. Se comenzó el arranque con una carga de 1 gDQO/m²*d; a medida que se observaba una adaptación del sistema a las condiciones del lixiviado se aumentaba la carga orgánica superficial. Las oscilaciones en los valores de la carga se deben a dificultades en la regulación del caudal y a obstrucciones en las conexiones (ver figura 2).

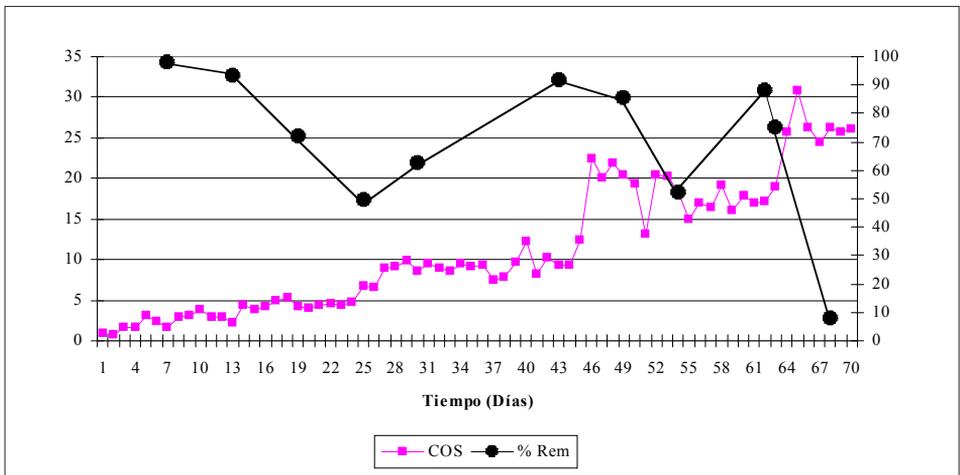


Figura 2. Relación COS – Eficiencia del Sistema Aerobio Reactor de Biodiscos

Las altas eficiencias registradas en los primeros días de operación no eran representativas para el estudio, ya que existía una dilución inminente del lixiviado por el agua que se agregó al reactor en la fase de arranque. En la figura 2 se puede observar que la carga óptima del sistema se encontraba en un rango de 15 a 20 gDQO/m²* d, donde se obtuvo los mayores valores en porcentaje de remoción en DQO. Cuando el sistema se mantenía en el rango anteriormente mencionado, el porcentaje de remoción se conservaba con valores mayores de 52,29%, y presentó su máximo valor (91,91%) el día 43.

Reactor UASB

La caracterización del lodo utilizado como inóculo se muestra en la tabla 3.

Tabla 3
Caracterización del Inóculo (Lodo Reactor UASB POSTOBÓN)

Parámetro	Resultado	Unidades
SST	70.76	g/L
SSV	64.82	g/L
SSV/SST	0.91	-
AME	0,13	gDQO _{CH4} /gSSV.día
Sedimentabilidad	2,82	m/h

Los resultados obtenidos en las pruebas de Actividad Metanogénica Específica, Sedimentabilidad y Sólidos suspendidos indican que el lodo tenía regulares características para ser utilizado como inóculo, teniendo en cuenta que las concentraciones de DQO en este lixiviado eran muy elevadas. Por lo cual se determinó realizar el arranque con concentraciones de DQO bajas por un largo período hasta que los microorganismos presentes en lodo se adaptaran a este tipo de residuo.

La figura 3 muestra que el porcentaje de remoción de DQO en el reactor UASB era muy variable, con picos bajos y caídas muy marcadas, que indican que no se presentaba un funcionamiento óptimo del proceso durante la mayor parte del período de operación del reactor UASB. Esta situación se pudo presentar por las siguientes razones:

- La inhibición causada por el amoníaco en el proceso de metanogénesis.

- Las concentraciones de DQO del afluente no correspondían a las calculadas en la ecuación $C_1V_1=C_2V_2$; por lo tanto, se inyectaban concentraciones de DQO muy elevadas al sistema.
- Las condiciones ambientales de pH alcalino no permitían el buen funcionamiento del proceso anaerobio.
- Las concentraciones tan altas de AGV durante el arranque del reactor pudieron ocasionar una inhibición de los microorganismos metanogénicos presentes en el lodo.
- El balance nutricional proporcionado por el lixiviado no era el ideal para el tratamiento anaerobio, ya que en la caracterización fisicoquímica del lixiviado se pudo observar una deficiencia de fósforo.

La figura 3 muestra definitivamente un regular desempeño del reactor cuando el pH afluente se presentaba mayor a 8 unidades (entre los días 1 y 53); durante este período se obtuvieron porcentajes de remoción de DQO menores de 55,86 %. Después de ajustar el pH a un rango de 6,8 – 7,2 unidades en el afluente para eliminar la inhibición ocasionada por el amoníaco, entre los días 54 y 63, se notó un importante aumento (65,45%) en el porcentaje de remoción en DQO, que se atribuye a la adaptación de los microorganismos a las nuevas condiciones del afluente.

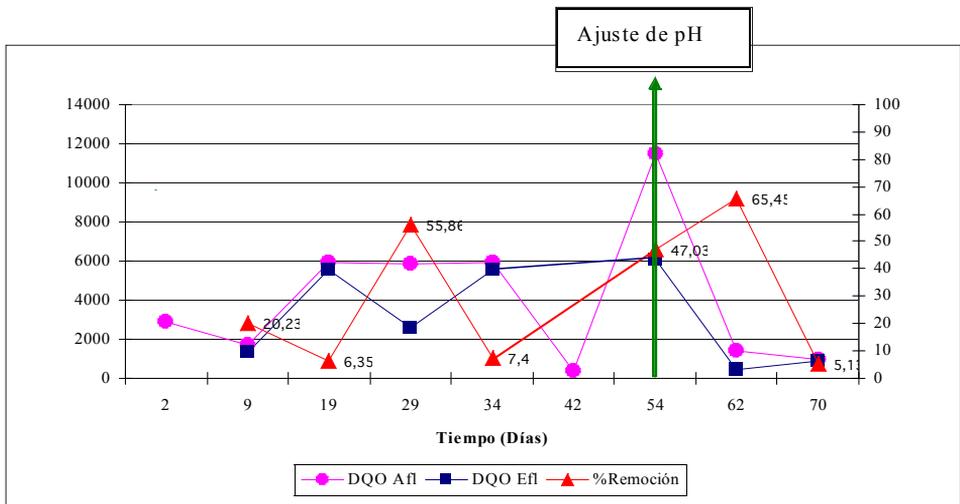


Figura 3. Comportamiento del reactor UASB

CONCLUSIONES

De acuerdo con el monitoreo de calidad y cantidad del lixiviado generado en el relleno sanitario "El Guayabal", el caudal del lixiviado está en función de muchos factores. tales como las condiciones metereológicas del área de influencia, la cantidad y composición de los residuos sólidos dispuestos en el relleno sanitario, las actividades propias de la operación del relleno sanitario, entre otros.

El sistema de biomasa fija tipo Biodiscos presentó buena eficiencia de remoción y gran estabilidad frente a variaciones importantes en la composición del lixiviado y en la carga orgánica. La carga óptima del reactor de Biodiscos se encontró en un rango de 10 a 20 gDQO/m²*d; éste fue el rango en el cual el sistema de Biodiscos alcanzó los más altos valores en porcentaje de remoción de DQO, con un promedio de 75,88%, un valor máximo de 91,91% y un valor mínimo de 52,29%.

El sistema de Biodiscos mostró una alta remoción de nitrógeno amoniacal; esto es muy importante, ya que este elemento causa eutrofización en fuentes hídricas. La eliminación del nitrógeno principalmente se ejerce por los procesos de nitrificación y desnitrificación que allí ocurren.

Los resultados de porcentajes de remoción reportados para el Sistema Anaerobio Reactor UASB no alcanzaron un nivel alto esperado, ya que obtuvieron valores menores de 65,45 %, a concentraciones bajas de DQO. Sin embargo, es necesario resaltar la necesidad de controlar el pH del lixiviado en el afluente; en este caso particular, el lixiviado posee un alto contenido de nitrógeno amoniacal, y como consecuencia de un aumento de pH, se puede alcanzar concentraciones inhibitorias de amoníaco libre.

De acuerdo con los resultados obtenidos en el transcurso de la operación del reactor UASB, la selección del lodo de inóculo es un factor importante en el proceso de degradación anaerobia; no sólo se debe tener presente la procedencia del lodo, sino también sus características de Sedimentabilidad, concentración de SST y SSV, la Actividad Metanogénica Específica y la relación SSV/SST, ya que estos parámetros definen la calidad del inóculo.

La alcalinidad y el alto contenido de nitrógeno amoniacal son factores que influyeron considerablemente en el comportamiento del proceso de tratamiento anaerobio evaluado, debido a que el nitrógeno amoniacal ocasionó inhibición a las bacterias metanogénicas.

La tecnología UASB y Biodiscos no pueden ser usados como único sistema de tratamiento de lixiviados, ya que el efluente del tratamiento aún conserva altas concentraciones de carga contaminante.

En función de las experiencias realizadas hasta el momento, se considera que es preferible una combinación de tratamiento anaerobio, seguido de un posterior proceso aerobio. En la etapa anaerobia se consigue una primera reducción de la carga orgánica que puede completarse luego con el sistema aerobio. En caso de problemas ocasionados por sobrecargas en el reactor anaerobio o cambios en la composición del lixiviado, un sistema de Biodiscos está en condiciones de soportar esas variaciones.

REFERENCIAS

- [1] PINEDA, S.I. *Manejo y Disposición de Residuos Sólidos*. Bogotá: Panamericana, 1998. 351p.
- [2] BORZACCONI, L., LÓPEZ, I., ARCIA, E., CARDELINA, L., CASTAGNA, A., VIÑAS, M. Comparación de tratamientos aerobios y anaerobios aplicados a lixiviado de relleno sanitario. CEPIS OMS-OPS, 1996.
- [3] ÁLVAREZ CONTRERAS, A. Diseño de una planta de tratamiento a escala laboratorio para el lixiviado generado en el relleno sanitario "El Guayabal" de la ciudad San José de Cúcuta. San José de Cúcuta, Universidad Francisco de Paula Santander, 2004. 200 p.
- [4] MORÁN SILVA, A. y NARVÁEZ MARTÍNEZ, J. Evaluación del comportamiento de dos sistemas de tratamiento anaerobio para la depuración de los lixiviados generados en el relleno transitorio de Navarro. Santiago de Cali: Univalle, 2002. 254 p.
- [5] ROMERO ROJAS, J. *Tratamiento de Aguas Residuales, Teoría y Principios de Diseño*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2000. 317 p.
- [6] TCHOBANOGLIOUS, G., THEISSEN, H. y VIGIL, S. *Gestión integral de residuos sólidos*, tomo I Madrid: McGraw-Hill, 1994. 436 p.
- [7] BAUTISTA, L., RICO LIZCANO, Y. Tratamiento de lixiviados del relleno sanitario "La Guaimarala" de la ciudad San José de Cúcuta. Pamplona: Universidad de Pamplona, 1998. 198 p.
- [8] COLLAZOS, H. *Diseño y Operación de Rellenos Sanitarios*. Bogotá: ACODAL, 2001. 214 p.
- [9] ROMERO ROJAS. *Residuos Sólidos, Tratamiento y Disposición*. Santiago de Cali: Univalle, 1998. 362 p.
- [10] MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. *Guía Ambiental, Rellenos Sanitarios*. Bogotá: El Ministerio, 2002. 203 p.
- [11] RITTMANN, B. y McCARTY, P. *Bioteología del Medio Ambiente, Principios y Aplicaciones*. México: Mc Graw Hill, 2002. 452 p.
- [12] UNIVERSIDAD DEL VALLE; CORPORACIÓN DEL VALLE DEL CAUCA y UNIVERSIDAD AGRÍCOLA WAGENINGEN. Arranque y operación de sistemas de flujo ascendente con manto de lodo UASB. Santiago de Cali: Univalle, 1987. 221 p.