

LA TECNOLOGIA ANAEROBIA U.A.S.B.
EN EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES
DOMESTICAS: 10 AÑOS DE DESARROLLO Y MADURACION
EN AMERICA LATINA

Philippe Conil
philippe.conil@skynet.be
BIOTEC
35 avenue des Pinsons
B-1410 Waterloo Bélgica
Fax: 32.2.354.00.76
E Mail : biotec@bio-tec.net
WEB: www.bio-tec.net

RESUMEN

Unos 500 reactores anaerobios, en mayoría de tipo U.A.S.B. (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) o R.A.F.A., se han construido a partir de 1988 a escala real en todo América Latina para el tratamiento directo a bajo costo de las aguas residuales domésticas. Los detalles tecnológicos de estos reactores y los procedimientos contractuales se han afinado en estos últimos 10 años, y los sistemas UASB representan hoy en día mas de 50 % de las plantas compactas de tratamiento en poblaciones de tamaño medio, entre 5.000 y 50.000 habitantes, con eficiencias de remoción del 75 al 80%, con costos de inversión del orden de 20.000 US\$ por litro por segundo tratado, y costos de operación y mantenimiento del orden de 1 a 2 US\$ por vivienda por mes. Las plantas UASB son a menudo complementadas por sistemas aerobios sencillos de postratamiento, como filtros percoladores o lagunas, que incrementan el costo en un 25 % pero permiten lograr una remoción global del 90%.

El autor presenta de manera resumida los datos de una decena de plantas que han hecho "historia" en América Latina, y a partir de su experiencia propia con más de 10 plantas, saca conclusiones técnicas y generales sobre esta innovación tecnológica propia de América Latina, desde Brasil a Méjico, pasando por Colombia, que hoy en día empieza a difundirse en el mundo entero por todos los países en vía de desarrollo, empezando por la India.

PALABRAS CLAVES

Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas **PTAR-D**; Reactores U.A.S.B.; Lodos; Biogas; Re-uso; Ferti-Irrigación; Forma de Contratación; Tarifas; Desarrollo Local.

D) INTRODUCCION

Los fundamentos de los reactores “**U.A.S.B.**” (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) fueron concebidos durante los años 1970, por el profesor Gatze Lettinga de la Universidad de Wageningen en Holanda. Esta sigla se refiere a los Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente, o **RAFA** en su traducción española.

La tecnología UASB fue desarrollada comercialmente durante los años 1980 en Europa para el tratamiento de efluentes industriales, cuyas temperaturas normalmente son tibias, propias de las fermentaciones anaerobias, y en concentraciones de DBO superiores a 1.000 ppm. A mayor concentración en DBO, mayor competitividad económica, versus las tecnologías tradicionales de lodos activados.

Por el factor limitante de temperatura y el de concentración en DBO, se había recomendado siempre el uso de reactores UASB, en donde hubiera una baja relación entre SS y DQO, así como entre grasas y DQO. Por éstas razones, la tecnología UASB no había sido imaginada inicialmente, para ser aplicada en el tratamiento de las aguas residuales domésticas.

Sin embargo, en un Convenio en 1982 entre la Universidad de Wageningen y la Universidad del Valle, así como con las Empresas Públicas Municipales de Cali de la ciudad de Cali - Colombia, se quiso probar la factibilidad del sistema UASB para el tratamiento directo de las aguas domésticas, dado que se está en una región tropical, con temperatura estable todo el año y mayor a 20 °C. Así, se construyó un **reactor piloto** (“**Cañaveralejo**”) de **60 m³** que se monitoreó durante 4 años.

Este Convenio fue el nacimiento de una verdadera “**revolución tecnológica tropical**”, pues después de 10 años iniciales de búsquedas, aciertos y errores, el **Sistema UASB** se ha vuelto hoy en día un **Sistema de Tratamiento** confiable, con costos de tratamiento considerablemente inferiores a los sistemas clásicos, y está mucho más al alcance del presupuesto del ciudadano Latino Americano promedio.

BIOTEC (sigla de **BIOTEC INTERNATIONAL S.C.** de Bélgica y de **BIOTEC COLOMBIA S.A.**) ha tenido la oportunidad histórica de vivir y participar, desde su sede de Cali en Colombia, en esta aventura conceptual y tecnológica en América Latina, y afinar cada vez más los parámetros del proceso, los detalles constructivos, y los costos. En esta publicación se describe la evolución de esta tecnología en los últimos 10 años, a través de algunas plantas de tratamiento a escala real, y en particular de una decena de plantas diseñadas, construidas u operadas por **BIOTEC**, empresa Belga de Ingeniería del Agua y de la Materia Orgánica, fundada en Bélgica en 1984 y radicada en Colombia desde 1986.

II - OBJETIVOS

Confrontados a la dura realidad de los costos del tratamiento de las aguas residuales domésticas, y a tarifas de tratamiento difícilmente accesibles para los ciudadanos de América Latina, donde el mismo pago de la tarifa de agua potable es de difícil cobro, numerosos profesionales han hecho prueba de creatividad en soluciones originales de bajos costos y mayor valor añadido. Como parte de este esfuerzo internacional, el equipo de **BIOTEC** ha buscado concebir Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) compactas y totalmente cerradas (para control de olores), con baja producción de lodos digeridos y deshidratados, con **costos de operación, mantenimiento y reposición de equipo entre 1 y 2 US \$ por vivienda por mes** (en proyectos mayores a 10.000 habitantes) y una contribución significativa al desarrollo local y en particular al bienestar de los vecinos directos de la **PTAR**.

III - STATUS DEL UASB PARA EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS DOMESTICAS

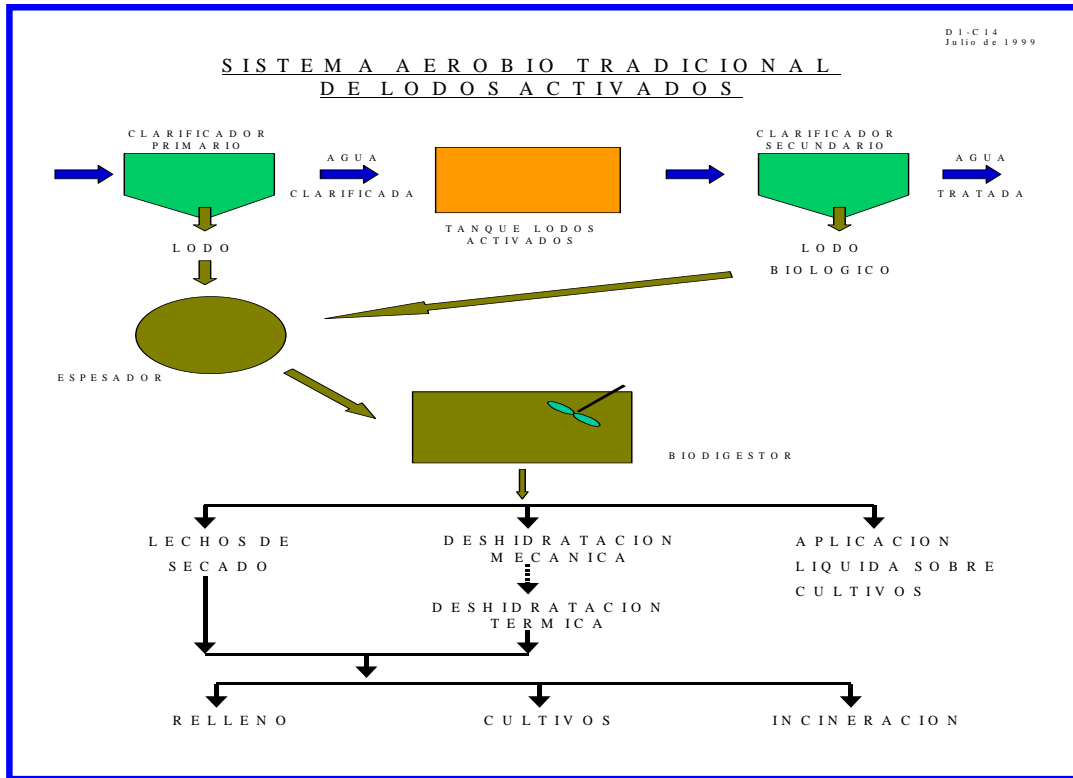
La fase principal de investigación y desarrollo, está terminada para temperaturas del agua residual superiores a 15 grados, que es el caso más común en América Latina.

Sigue la fase de investigación y desarrollo para la adaptación del sistema UASB a climas estacionales templados (Norte de Chile y Argentina, Sur de Estados Unidos, Cuenca del Mediterráneo, parte de Australia).

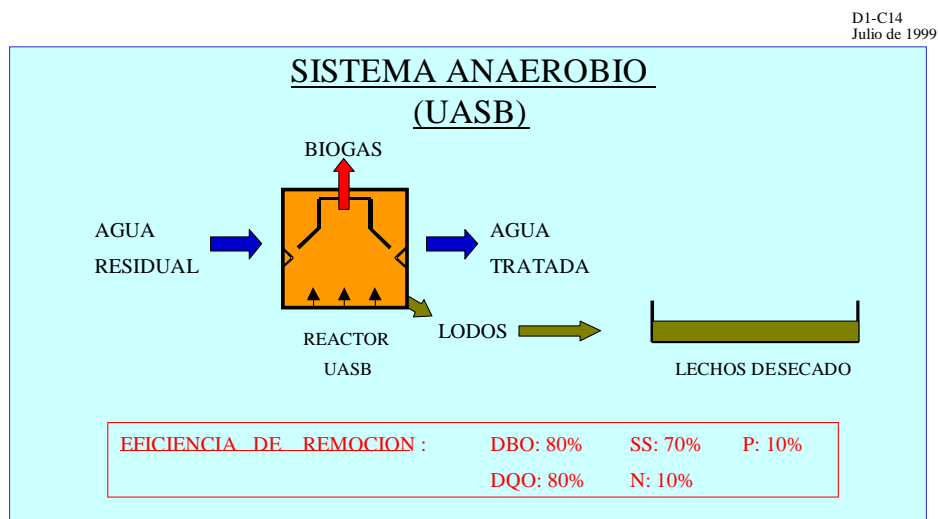
BIOTEC recibió en el año 2001 un Premio (SME Award) de la Comisión Europea para presentar un proyecto de investigación-demostración sobre reactores U.A.S.B. en las condiciones climáticas particulares de la cuenca del Mediterráneo, con investigaciones sobre su eficiencia, producción y características de los lodos, calidad del agua para re-uso, y evaluación de la sostenibilidad socio-ambiental y económica.

IV - ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO (para aguas domésticas)

1. Diagrama de flujo del sistema aerobio tradicional de lodos activados:



2. Diagrama de flujo del sistema anaerobio UASB:



En Méjico, el sistema UASB para aguas domésticas se desarrolló en particular a partir de la Universidad Autónoma de México – UNAM y de la Universidad Metropolitana.

En India, el sistema se desarrolló con el impulso inicial de la Cooperación Holandesa, y un primer proyecto de 58 L/s en la ciudad de Kampur en 1989. Hoy en día es el sistema promovido por Estado para la descontaminación de toda la cuenca del río Ganges. La cuenca del Ganges es la segunda región de aplicación masiva de la tecnología UASB después del Estado de Paraná en Brasil

La sencillez teórica del sistema y sus bajos costos de O&M hicieron que se comenzara a difundir la tecnología, aunque con un vicio de fondo: muchas de las primeras plantas fueron desafortunadamente ampliaciones materializadas de esquemas de papel, difundidos por la Universidad de Wageningen a principios de los años ochenta, lo que llevó a resultados regulares y a problemas con la comunidad.

Todas las plantas iniciales (Tratamiento preliminar y Reactores UASB) a escala real confirmaban remociones del orden de 65 % para DQO y SS y 75 % para DBO con costos muy bajos (unos 30 US \$ por habitante), pero con problemas de olores y de corrosión.

VI - CUADRO-RESUMEN DE LOS RESULTADOS DE ALGUNAS PLANTAS:

1. Cañaveralejo, Cali, Colombia, 1983 (UASB 60 m3)
2. Cetesb, Sao Paulo, Brasil, 1987 (UASB 120 m3).
3. El Vivero, Cali, Colombia, 1988 (UASB 1.000 m3)
4. Kampur 1, India, 1989 (UASB 1.200 m3).
5. Río Frío, Bucaramanga, Colombia, 1991 (UASB 6.600 m3)
6. San Antonio, Sololá, Guatemala, 1995 (UASB 325 m3)
7. San Bartolo, Sololá, Guatemala, 1998 (UASB 660 m3)
8. Atuba, Brasil (UASB 25.000 m3).
9. Piracicamirina, Brasil (UASB 8.300 m3).
10. Restrepo, Colombia, 2000 (UASB 700 m3)

Planta =>		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Descripción	Unidades										
Caudal Diario	L/s	2	5,5	45	58	370	10.5	22	950	320	23
	m3/d (000)	0,18	0,48	3,9	5	31	0.9	1,9	82	27,6	2
Habitantes	miles	1	2,6	20		160	7	12	400	100	9
Vol. UASB	m3	60	120	1000	1200	6600	325	660	25M	8300	700
TRH	Horas	4a10	4a10	6,2	6	5,2	8.5	8.5	8	8	8,5
DQO in.	mg/L	275	¿	350	560	380	700	600	330	630	400
Remoc.DQO	%	66	60	63	74	55-60	79	82	50	60	78
Remoc.DBO	%	78	70	77	75	70-73	80	82	65-70	78	80
Remoc.SS	%	67	60	68	75		75	78			75

DQO= Demanda Química de Oxígeno

DBO= Demanda Biológica de Oxígeno

SS= Sólidos Suspendidos

El número de habitantes está expresado en miles.

VII - BREVE DESCRIPCION DE ALGUNAS DE ESTAS PLANTAS:

(Entre paréntesis: año de la puesta en operación)

1. EL VIVERO (1988):

Después de la fase de investigación sobre la **planta piloto de “Cañaveralejo” (60 m3)**, las Empresas Municipales de la Ciudad de Cali – **EMCALI** - decidieron construir la primera planta UASB del mundo a escala real para tratamiento directo de aguas domésticas, y escogieron un barrio urbano de la ciudad (Vipasa) con alcantarillado separado.

La planta fue diseñada para un caudal de **45 L/s**, que corresponde grosso modo a una población **de 20.000 habitantes**, e inicio su arranque en 1988.

La planta incluye un laboratorio para monitoreo, pues esta planta debía dar a EMCALI los parámetros de diseño para las futuras PTAR que requería la ciudad, entre ellas una al Norte de la Ciudad para 1.500 L/s.

La PTAR El Vivero está ubicada en el casco urbano de la Ciudad de Cali, a 3 metros de una calle importante y unos 10 metros de las primeras viviendas.

A pesar del apoyo de una compañía de ingenieros Holandeses a través de la Cooperación Holandesa, su puesta en operación inicial fue un fracaso, pues los

vecinos se quejaron por el olor y lograron hacer cerrar esta primera planta UASB a los pocos meses de haber iniciado su puesta en operación.

En 1993, previo a una serie de análisis de un grupo de ingenieros de EMCALI y el Gerente del Servicio de Acueducto y Alcantarillado, EMCALI tomó la decisión de proceder a los arreglos necesarios para la captación y combustión del biogas, y el control de olores en general.

Así, se suscribió un contrato de “rehabilitación” entre EMCALI y BIOTEC COLOMBIA S.A., y en junio de 1994, la planta arrancó de nuevo, sin que los mismos vecinos se dieran cuenta.

La planta sigue funcionando a la fecha, aunque desde 1997 con solo uno de sus dos reactores, pues por cambios en la red de alcantarillado, el caudal de llegada ya no alcanza a los 45 L/s promedio.



Planta EL VIVERO, Cali, Colombia, 45 L/s

2. RIO FRIO, Bucaramanga (1991)

Esta planta fue fruto de una decisión visionaria de la Corporación Ambiental de la región, y del apoyo de la Cooperación Holandesa, y fue en su tiempo la planta UASB más grande del mundo para aguas residuales domésticas (160.000 habitantes). Los reactores UASB están combinados con unas lagunas de post-tratamiento.

En 1995 la CDMB construyó una tercera unidad UASB (cada una para 80.000 habitantes), para incrementar la capacidad de la planta a 540 L/s (240.000 habitantes), y está programada la ampliación de la cuarta.

El lodo se seca sobre amplios lechos de secado y es utilizado como acondicionador de suelo.

El diseño de ésta **primera Mega-Planta UASB**, puede considerarse como de primera generación. Se presenta arrastre de sólidos suspendidos a la laguna y olores molestos para el vecindario, a pesar de una buena recolección y combustión del biogas en la tea.



Planta de Río Frío, Bucaramanga, Colombia, 370 L/s

3. SAN ANTONIO, Guatemala (1995)

Esta planta fue de las primeras en combinar reactores UASB con filtros percoladores y clarificador final, en lograr una eficiencia total del **90%** sin consumo eléctrico alguno, en tratar aguas residuales de manera anaerobia a 2.000 metros de altura (m.s.n.m.), con una temperatura del agua de **18 grados (°C)**, y en comercializar la totalidad de sus subproductos: biogas, abono seco y agua tratada. La producción de lodo es muy pequeña pues los lodos aerobios recuperados en los decantadores son devueltos en cabeza de planta para su digestión en los reactores UASB (bombeo de 20 minutos diarios con una bomba de gasolina). Ver Actas del Quinto Seminario Latino Americano sobre Tratamiento Anaerobio en Bucaramanga en 1996.

La planta fue concebida en el marco de un proyecto de desarrollo rural integrado co-financiado por la Comisión Europea.



Planta San Antonio, Sololá, Guatemala, 10.5 L/s

4. SAN BARTOLO (Guatemala) (1998):

Esta planta es una copia ampliada de la PTAR de San Antonio, para tratar la mayor parte de las aguas residuales de la municipalidad de Sololá.

Es probablemente la planta UASB mas completa e integrada de América Latina, aunque es de tamaño mediano (**22 L/s**).

Dos enormes gasómetros almacenan la producción de biogas para su venta a los barrios aledaños (conexiones domiciliarias en PVC).

Los costos de operación y mantenimiento de esta planta **no superan 1 US\$ por habitante por año**, y todos los subproductos (biogas, lodo-abono, y agua tratada) son valorizados.



Planta San Bartolo, Sololá, Guatemala, 22 L/s

5. RESTREPO (Colombia) (1999)

Esta planta fue contratada por la Autoridad Ambiental “Corporación Autónoma del Valle del Cauca – CVC” para la Municipalidad de Restrepo de 9.000 hab. (23 L/s). Es una planta UASB con post-tratamiento por filtro percolador y decantador final, con el mismo concepto, y aprovechando la misma experiencia, de las plantas BIOTEC en Guatemala.

Como existía un diseño anterior para esta planta, pero la Autoridad Ambiental quería con mucho sentido común responsabilizar al diseñador de la correcta operación de la planta, decidió abrir una licitación que incluía: “Re-diseño, Construcción y Puesta en Operación de la Planta de Tratamiento”. Sin embargo se contrató sobre la base de precios unitarios en vez de “llave en mano” y con una forma de pago en cuotas fijas pre-establecidas según el avance de la obra. La Autoridad Ambiental no aceptó ajustar posteriormente el precio a la realidad construida, ni a los precios unitarios, ni a los precios de mercado, lo que enfrascó el proyecto, una vez terminado, en un lío administrativo y jurídico tripartito (Contratante-Contratista-Municipalidad) que merece ser estudiado, entre los mejores estudios de casos, por todas las personas involucradas en contratación pública (para no repetir el mismo error).

Finalmente, después de más de un año de perfecta operación, con un 90 % de remoción, se interrumpió el funcionamiento de la PTAR, cuando ésta ya no estaba a cargo del contratista sino de la Municipalidad, debido a una falla en el sistema de bombeo. Dos años después del pare de la planta se sigue esperando el resultado del pleito Contratante-Contratista sobre el valor de la obra para su nueva puesta en operación. Esta PTAR de Restrepo tenía que ser la planta de mostrar de la Autoridad Ambiental a todas las municipalidades de la región...



Planta de Restrepo, Colombia (23 L/s)

6- PTAR DE Urbanización CIUDAD CORINTO - El Salvador (2000)

Esta planta fue construida para una urbanización privada de 1.300 viviendas, en un terreno sobrante y con pendiente mayor a 45°. Consta también de un sistema UASB con filtro percolador y decantador final, más lechos de secado.

El sistema UASB de BIOTEC fue escogido por la necesidad de una planta muy compacta que pudiera ubicarse sobre esta enorme pendiente, que además es zona sísmica. El diseño contratado anteriormente por la Urbanizadora no cabía en el lote disponible.

Esta planta resistió sin inconveniente los temblores de San Salvador de Febrero/2000, a pesar del miedo de todos los obreros de ir a trabajar en esta planta ubicada al pie de un talud muy vertical, y asentada sobre un gran relleno, de cerca de 25 metros de altura.



Planta Ciudad Corinto, El Salvador, 12 L/s

VIII - DISCUSION (PROCESAMIENTO DE LA INFORMACION):

VIII - 1) UNAS PRIMERAS CONCLUSIONES DE ESTAS PLANTAS U.A.S.B.

- **Remoción versus Dilución:** Cuando la DQO es igual o inferior a 300 mg/L, la eficiencia de un reactor UASB para remoción de DQO y DBO no supera el 65%. A mayor dilución del agua residual menor eficiencia de tratamiento, en términos porcentuales, y menor producción de biogas por kilo de DQO removida, pues

parte del biogas se queda disuelto en el efluente. Pero para concentraciones de **DQO superiores a 500 ppm** la eficiencia de **remoción** puede **superar el 80 %**.

- **La temperatura** no afecta mucho al proceso, pues con aguas residuales tan diluidas (DQO de 300 a 700 ppm) la carga orgánica es baja para un reactor anaerobio tipo UASB. En las condiciones de trabajo (temperaturas siempre superiores a 18°C) no logramos observar limitaciones debidas a la lentitud de hidrólisis.
- **Eficiencia versus Factores de Diseño:** La eficiencia de la PTAR expresada en porcentaje (%) depende de factores de diseño como son la distribución de la alimentación, la expansión del manto de lodo, la homogeneidad de la recolección, la separación Gas / Lodo / Efluente, y la debida purga paulatina de los lodos.
- **Color:** El efluente de un UASB bien diseñado y operado es transparente: no hay arrastre de sólidos suspendidos. Es sin embargo ligeramente turbio.
- **Remoción de SS:** Casi todos los reactores previos al año 94, y muchos todavía en Brasil hasta la fecha, tienen una baja remoción de SS (inferior a 70%), y en consecuencia de DQO (inferior a 70 %), pues al parecer no les preocupan tanto estos parámetros, o tienen unas fallas en el diseño, o prefieren manejar los sólidos en el post-tratamiento. Con un correcto diseño, y una adecuada y oportuna operación, mantenimiento y control, se pueden lograr remociones del 80 % en DQO, DBO y SS (para aguas residuales con una DQO mayor a 500 ppm).
- **La captación y el manejo del biogas** es un componente fundamental de una planta de tratamiento, al cual se le debe dar la importancia que merece. Fracasos suelen ocurrir por la falta de conocimiento sobre los gases generados, su manejo y depuración, por parte de Ingenieros Civiles, Sanitarios, Ambientales o Químicos, a cargo del diseño de las plantas de tratamiento.
- **Olores.** Gran parte de los olores de una planta de tratamiento provienen de turbulencias en el canal de llegada de las aguas residuales a la planta, o en el paso de una unidad a otra con altas caídas, o de errores en el diseño del sistema de manejo del biogas. Suavizar las turbulencias debe ser parte de los criterios de diseño.
- **El efluente, olores y espuma:** El efluente de un reactor UASB tiene un cierto olor a gas y genera espuma y olor si tiene caída. Debe de entrar al río o a la unidad de tratamiento siguiente con la menor cabeza posible.
- **Postratamientos:** Tanto lagunas como filtros percoladores o filtros aerobios sumergidos, son excelentes y económicos sistemas de post-tratamiento del

efluente del UASB. Desde el punto de vista práctico y económico la combinación UASB - Filtro Percolador ha hecho sus pruebas y es la más común (cientas de unidades).

- **Cuidado con el biogas:** El biogas es corrosivo, y se debe escoger materiales apropiados, o darle un tratamiento.
- **Relación con la comunidad y los vecinos:** Los vecinos de una planta de tratamiento tienen un poder político capaz de paralizar el proyecto. Esto es sano y obliga al sector público (y los urbanizadores privados) a trabajar mejor y a tener a los ciudadanos en cuenta. Debe existir un proceso educativo y participativo con la comunidad.
- **Uso de subproductos del tratamiento:** La comercialización de los subproductos de la planta UASB (biogas, lodo, agua tratada) permite generar ingresos que cubren total o parcialmente los costos de operación y mantenimiento, e involucrar a los vecinos de las plantas en su debido cuidado.
- **Costos:** Los costos de Inversión para las plantas UASB dependen mucho del tamaño. Son del orden de 30.000 US\$ por litro por segundo tratado, para plantas de 10 L/s, hasta menos de 15.000 US\$ por litro por segundo tratado, para plantas de más de 750 L/s. El costo del post-tratamiento es del orden del 25 a 30% del valor de la inversión inicial, para pasar de una remoción del 80%, a una remoción del 90%.

VIII-2) DESARROLLO DE ALGUNAS CONCLUSIONES:

2.1) LAS PTAR SON LOS NODOS DEL SISTEMA DIGESTIVO DEL PLANETA TIERRA

Las **PTAR** son unidades de transformación de los efluentes industriales y domésticos, o sea unidades de transformación de la materia orgánica, y en algunos casos de separación de un componente mineral.

Vistas localmente, parecen ser unidades aisladas, cuyo objetivo es de preservar algún cauce de agua, por obligación legal y la presión de la Autoridad Ambiental Regional, pero vistas de manera global representan el principio y el fundamento del sistema digestivo del Mundo, de éste gran hormiguero de los seres humanos.

En la industria, una **PTAR** es una unidad de control de calidad del proceso productivo, donde por medio del análisis del agua residual (cantidad, calidad), se puede diagnosticar el “estado del paciente”, o sea la eficiencia de la fábrica en un momento determinado, y en particular las pérdidas de materia prima y el gasto de insumos. En Colombia por ejemplo, pudimos optimizar procesos productivos en la

industria cárnica, papelera, aceitera, de levaduras, etc. (ver publicaciones en la página WEB).

En las Municipalidades, el aforo y caracterización de las aguas residuales permite evaluar el consumo de agua, la concepción y el estado del sistema de alcantarillado, las infiltraciones, las conexiones ilícitas y la validez de la política tarifaria.

2.2) LAS PTAR SON HERRAMIENTAS DE DESARROLLO LOCAL Y REGIONAL

Más allá de ser unas herramientas útiles y pertinentes de diagnóstico de nuestras organizaciones privadas y públicas, las **PTAR** pueden también volverse unas herramientas insospechadas para el Desarrollo de la Economía y de la Sociedad. Sin embargo, de no ser concebidas con éste enfoque al momento de su diseño, se limitarán a ser unos sistemas más o menos burdos para cumplir con unas normas ambientales.

El impacto de las PTAR sobre el Desarrollo Económico se produce en a dos niveles:

- a) En el costo de inversión y de operación para el tratamiento del agua hasta el nivel de remoción exigido por la Ley, y en consecuencia en la tarifa al usuario final.
- b) En los aportes de las PTAR a la Economía productiva (valorización de los subproductos, turismo, empleo, etc.) y al bienestar (zonas verdes, biodiversidad, orgullo de barrio o de región, etc.)

Para cualquier nuevo proyecto de tratamiento, con cualquier tecnología, se hace necesario valorar estos impactos en el cuadro de análisis para poder evaluar la sostenibilidad del proyecto en el tiempo, tanto a nivel micro (¿los usuarios estarán en capacidad de pagar la cuenta?) como a nivel macro (¿cual es la contribución de la PTAR al desarrollo productivo de la región y al bienestar de sus habitantes, y qué tan sostenible es este desarrollo?).

Cada ciudad o población debe en algún momento de su vida y crecimiento, tomar decisiones trascendentales sobre el manejo y el tratamiento de sus aguas residuales. Estas decisiones se reflejan usualmente en un Plan de Acueducto y Alcantarillado. Entre más tiempo se demore en tomar estas decisiones, más complicaciones y mayores costos le representará este manejo.

Ciudades nuevas, o barrios o urbanizaciones que han tenido o tienen la oportunidad de ser planificadas pueden reducir sustancialmente los costos de manejo y tratamiento de las aguas residuales, comparado con Ciudades existentes que carecen de planificación. Fue por ejemplo el caso de Ciudad Brasilia y de sus ciudades periurbanas. Es el caso de la mayoría de las urbanizaciones privadas.

La Ciudad, o urbanización, debe hacerse unas preguntas fundamentales como:

1. ¿Utilizo alcantarillado de tipo tradicional o el condominal o un A.S.A.S.?
2. ¿Utilizo tuberías de alcantarillado de concreto, de PVC o de otro material?
3. ¿Construyo Plantas de tratamiento centralizadas, o plantas descentralizadas para reducir las longitudes, diámetros y costos de la Red de alcantarillado?.
4. ¿Desarrollo Tratamiento Primario? Tratamiento Secundario Aerobio; Tratamiento Secundario Anaerobio; Tratamiento Terciario?.
5. ¿Descargo el efluente tratado al río o lo puedo total o parcialmente utilizar en re-uso (para la Ciudad, la Industria o el riego agrícola)?.
6. ¿Tengo o puedo tener opciones de valorización de los subproductos?.
7. ¿Puedo concebir beneficios posibles para el vecindario y el municipio (puede requerir de proyectos “periféricos” al sistema de tratamiento)?.
8. ¿Cuál es la forma de contratación conveniente para la planta de tratamiento y obras periféricas?.

2.3) COSTO REAL DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO

Introducción: Para poder comparar precios que provienen de fuentes varias de información es fundamental definir claramente las unidades. Pueden ser centavos de dólar por m³ tratado, dólar por habitante, o para industrias, dólar por tonelada de DQO removida.

En todos los casos se requiere diferenciar los costos de amortización de la inversión y los costos de operación y mantenimiento.

Y finalmente, para la validez de las comparaciones, solamente se pueden comparar costos comerciales confiables que incluyan TODAS las etapas del proceso contractual, o sean costos “**Llave en Mano**” suministrados por empresas privadas (que incluyan: diseños, construcción, montajes y puesta en marcha, y en donde la responsabilidad por la funcionalidad y operación de un Sistema de Tratamiento, recae en un solo tipo de responsable).

Costos de inversión y costos de operación y mantenimiento:

COSTOS DE INVERSON			COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO (amortización en 30 años)	
DESCRIPCION	US c / m3	US \$ / Hab	US c / m3	US \$ / Hab-año
1 PRIMARIO + LODOS	2,4	40	2 a 6	1,1 a 3,3
2 TANQUE DE LODOS ACTIVADOS	1,8	30	5 a 8	2,7 a 4,4
3 TOTAL DE LODOS ACTIVADOS	4,2	70	7 a 13	3,8 a 7,7
4 UASB + FILTRO PERCOLADOR	2,4	40	2 a 5	1,1 a 2,7

Estos precios son dados para ciudades con alrededor de 50.000 habitantes. Ellos se incrementan para ciudades más pequeñas y disminuyen para ciudades más grandes

Podemos sugerir a cada Municipalidad encargar a su Director de Planeación o de Servicios Públicos de realizar para su caso particular, para las diferentes opciones que le son propuestas, el desglose de los costos de operación, de mantenimiento y de reposición de equipos, y debatir las opciones y los resultados con el Consejo Municipal.

Las grandes escogencias tecnológicas no deben mantenerse en manos de un grupo reducido de expertos, contratistas o asesores, sino que éstos deben ser traducidas al lenguaje común, para permitir su debate público.

La reducción de los costos de inversión y de operación es a corto plazo, un desafío para la Ingeniería Latino-Americana y para los países en desarrollo, pues no estamos en condiciones de aplicar las mismas “recetas” que en los países del Norte, pues nuestro nivel de ingresos es inferior. Para que la descontaminación no se quede como un deseo piadoso, se requiere una gran dosis de creatividad e ingeniosidad.

Las industrias que tengan un menor costo de Operación y Mantenimiento para el tratamiento de sus aguas residuales tienen obviamente una ventaja competitiva en el mercado. En cuanto a los municipios, será interesante analizar en el futuro la reacción

de los ciudadanos a la heterogeneidad del costo del servicio de alcantarillado, según la escogencia del tratamiento.

2.4) EL IMPACTO DE LA FORMA DE CONTRATACION:

Adicionalmente, para que no se presenten divergencias entre las cifras plasmadas sobre el papel y la realidad, se requiere utilizar formas de contratación acertadas.

Las plantas de tratamiento son proyectos complejos y vivos; no son exclusivamente obras civiles inertes. Su funcionamiento (que es su razón de ser) implica el manejo de numerosas variables, entre las cuales está la parte microbiológica y la parte comunitaria.

La contratación tradicional de las obras civiles públicas que separa las fases de diseño y de construcción, y no tiene en cuenta el arranque y la puesta en operación, no conviene a la implementación exitosa de sistemas complejos como las PTAR, pues diluye la responsabilidad entre varios actores, no se enfoca sobre el RESULTADO, no incluye todos los componentes de una planta, e imposibilita el debate y las decisiones políticas razonadas sobre el conjunto y el contexto del proyecto. Debe de recordarse, que se está implementando un Sistema de Tratamiento para las Aguas Residuales y no construyendo una simple obra civil.

¿ En caso de contratación “tradicional”, sobre quién recae la responsabilidad de un inadecuado funcionamiento de la PTAR? ¿ El diseñador, constructor, “arrancador”, operador, o el cliente?

La experiencia indica que es común y sano que durante el arranque y la puesta en marcha además se tengan que realizar ajustes que impliquen modificaciones en el diseño o en la de construcción, para obtener de la mejor manera el resultado esperado. Esto no cabe dentro de los sistemas tradicionales de contratación.

Finalmente con la contratación tradicional, el cliente no puede conocer de antemano los costos de Operación y Mantenimiento, ni las tarifas, cuando estos datos son generalmente los de mayor importancia para la ciudadanía.

Por esta razón se imponen (y se impuso en la Industria hace mucho tiempo) formas alternas de contratación como son:

- a) Los contratos **“llave en mano”** (diseño + construcción + montajes + puesta en operación). De manera opcional se incluye de una vez en el contrato la operación de la planta durante por lo menos 2 a 3 años para “garantizar” la veracidad de los costos de operación y mantenimiento anunciados por el Contratista. El precio del contrato “llave en mano” no es totalmente fijo, y puede sufrir pequeñas modificaciones por factores nuevos como la estabilidad de los suelos (omisiones

en el análisis del estudio de suelos o porque se debió corregir la ubicación de la PTAR; o por la profundidad del nivel freático; o por adiciones solicitadas en el curso y desarrollo del proyecto).

- b) Los contratos de **concesión** (prestación privada del servicio) en los cuales el Contratista se responsabiliza a la vez de la inversión y de la prestación del servicio por 20 o 30 años, recuperando su inversión con la tarifa al usuario final (tarifa por mes o por metro cúbico tratado).

Como opción existe también la contratación independiente del servicio integral de **ingeniería** (diseños, supervisión de las obras y montajes, mas la puesta en operación) y de *la obra civil y montajes por otra parte*. En este caso es la **empresa de ingeniería** que asume la totalidad de la responsabilidad y vigila la correcta ejecución de las obras por él o los constructores.

Con Urbanizadores privados apareció aún una nueva modalidad: **La empresa de ingeniería asume a la vez la ingeniería y los montajes especializados**, mientras la urbanizadora se encarga ella misma de construir las obras civiles (tanques de concreto y conexiones), lo que le permite hacer trabajar su propia planta de personal, y lograr una reducción en el costo final superior al 10%.

Con estas formas de contratación, para las cuales los **únicos parámetros de licitación son el caudal a tratar y la remoción a obtener**, la Autoridad Municipal no tiene que estudiar tecnologías ni hacer escogencias tecnológicas que están por fuera de su objeto social y capacidades, sino decidir sobre aspectos que interesan a los ciudadanos: área, olores, beneficio directo para la vecindad, estética, impacto sobre el desarrollo local, y por supuesto costos o sea tarifas. La licitación es fácil, el proceso contractual es sencillo y rápido, y la responsabilidad recae en un solo interlocutor o como máximo en dos interlocutores, pero con responsabilidades muy definidas.

Es en fin de cuentas una forma de contratación similar a la compra de un carro, de una caldera, de una planta eléctrica o de un sistema informático: no se separa el diseño del resto, sino que se compra un equipo que debe cumplir un objetivo específico y se evalúa según este objetivo, lo que responsabiliza un solo interlocutor, agiliza el proceso administrativo, y permite saber de antemano cuanto cuesta el proyecto o el servicio.

Una forma de contratación adecuada permite evitar los “elefantes blancos”, representadas en PTAR que no funcionan o funcionan inadecuadamente, y tiene un efecto enorme sobre las tarifas.

Es a las firmas Consultoras, que asesoran a las municipalidades en los Planes Maestros de Acueductos y Alcantarillados, que les corresponde evaluar todas las opciones, para guiarlas también en la dirección de proceder a una forma de

contratación con reglas de juego y responsabilidades claras, para lograr: *el mejor proyecto en el menor tiempo, al menor costo, con los menores riesgos de fracaso y el mayor impacto positivo sobre la municipalidad.* Es, para América Latina, una visión nueva de la función de las Empresas Consultoras, pues éstas tenían la costumbre de llegar hasta diseño final de la planta de tratamiento, enredando así el proceso contractual posterior.

2.5) EL DESARROLLO PRODUCTIVO (Control de calidad y valorización de los subproductos):

Más allá de los costos, la Sociedad y el dueño del proyecto en particular, deben tomar determinaciones de orden filosófico y estratégico en la concepción de las **PTAR**:

¿ Qué hacer con el efluente y en particular con sus tres componentes principales: el agua, la materia orgánica y los nutrientes, todos siendo materias primas valiosas?.

Emprender un proceso tan largo y delicado como la construcción de una **PTAR**, para finalmente limitarse a cumplir con una norma administrativa y verter el efluente al río más cercano con 10, 20, o 30 % de la materia orgánica, que irá con la mayoría de los nutrientes y de los patógenos presentes en el agua residual, deja una impresión de desgaste: ¿no será mucho trabajo para un efecto limitado (reducir la carga orgánica de la quebrada)? ¿No será una oportunidad perdida? ¿No se podría valorar mejor el recurso agua, el recurso “nutrientes” y el recurso materia orgánica?

Para una industria, una **PTAR** que se limita a su función “primaria” de cumplir con una norma ambiental, genera un costo que debe ser incorporado al precio de la venta del producto. Pero muchas industrias han podido transformar la “**imposición ambiental**” en una **Oportunidad Empresarial**, utilizando su **PTAR** como una **nueva unidad de Control de Calidad de la fábrica**, para reducir las pérdidas de materia prima, velar por el consumo de insumos químicos y el gasto de agua. Otros han ido más allá, valorizando los subproductos de la PTAR (o sea los productos de descomposición del efluente): biogas para la fábrica, lodos para abono orgánico, y agua tratada para la ferti-irrigación de los cultivos aledaños, o para re-uso en el proceso, y para generar ingresos de operación con su PTAR.

Para un municipio, una **PTAR** puede tener funciones similares: control de calidad del servicio de acueducto y alcantarillado y fuente de productos nuevos para dinamizar el desarrollo local: gas (fuente renovable de energía), lodo (abono orgánico) y agua tratada (para re-uso o ferti-irrigación). Describimos a continuación opciones de valorización de los subproductos:

a) El biogas:

Este gas natural biológico es una fuente renovable de energía, generalmente mal aprovechada en las PTAR, por desconocimiento de los ingenieros a cargo del diseño, montaje, arranque y operación de estas plantas.

El biogas se puede utilizar “crudo”, sin tratamiento alguno para casi todos los usos de combustión, en caldera o en estufas. Sin embargo, con la biotecnología moderna, es sencillo y económico proceder a la remoción de H₂S (hidrógeno sulfhídrico), componente tóxico y corrosivo que traumatiza a la mayor parte de los ingenieros y usuarios. El valor comercial del biogas depende del combustible sustituido.

Se valoriza generalmente el biogas para alumbrado de gas, red domiciliaria a barrios aledaños, venta a algún usuario importante (industria, hospital), o producción de electricidad con plantas eléctricas de gas o dual-fuel. En todos los casos se prevé de todos modos una tea o una estufa para quemar el biogas sobrante.

b) El lodo:

A la diferencia de las plantas aerobias, el lodo de los reactores anaerobios es estabilizado (fermentado), se genera en poca cantidad y es de fácil deshidratación (6 días en lechos de secado). Su comercialización es en consecuencia más fácil aunque el precio de venta solo alcanza para pagar los costos directos de su deshidratación, empaque y transporte. Es de todos modos una fuente nueva de material orgánico para los cultivos de la región.

Cabe resaltar que en la mayor parte de América Latina la materia orgánica es factor limitante en el rendimiento de los cultivos y su falta tiene un efecto negativo sobre su resistencia natural al parasitismo; además su disponibilidad en el mercado es escasa: el único abono orgánico de venta común en todas las regiones del continente es la gallinaza. Según el precio comercial de la gallinaza se puede evaluar la necesidad de materia orgánica para la agricultura regional.

Así, por poca que sea la cantidad de lodo generada (aproximadamente 0.5 m³ o 20 kilos de lodo seco para 1.000 m³ de ARD), ésta fuente nueva de abono orgánico, constituye un aporte valioso para la fertilización orgánica de varias hectáreas alrededor del pueblo, y por lo tanto es generador de desarrollo.

c) El agua tratada:

El agua tratada por una PTAR, de cualquier tipo, es una **materia prima valiosa: agua + materia orgánica + nutrientes** y la función del diseñador de una PTAR (y exigencia del dueño del proyecto) debería ser la de valorizarla para desarrollo

agrícola, o para re-uso de cualquier naturaleza, en vez de verter estas aguas semi-tratadas al cauce más cercano. Ello sería una manera efectiva de generar desarrollo.

Este sería un verdadero espíritu ecológico, que debe de inspirar a las universidades y estudiantes de la ingeniería Sanitaria y Ambiental y a todos aquellos programas que induzcan a esa filosofía. Por lo tanto debe de reevaluarse el criterio de verter el agua residual tratada al cuerpo receptor más cercano.

El Trópico tiene unas ventajas específicas para el re-uso de las aguas residuales por ferti-irrigación:

- Existe potencialmente una alta demanda de materia orgánica para los suelos, pues la alta temperatura y humedad del trópico favorecen su descomposición.
- Existe una alta demanda de agua para los cultivos, por el calor y por la existencia en todas las regiones tropicales de estaciones secas marcadas.
- Por lo anterior ya hay un uso generalizado de los sistemas de riego, favorecido por el tamaño de las fincas, que son raramente desmembradas.

Cuando, para las grandes ciudades, no hay cultivos aledaños, se puede casi siempre analizar la opción del transporte de las aguas residuales por canal hasta regiones agrícolas ubicadas a 50 o 100 Km. de distancia (antes, o de preferencia después, del sistema de tratamiento). El caso de la Ciudad de Méjico es un buen ejemplo, pero Cali en Colombia, San Pedro Sula en Honduras, o Ciudad Guatemala, por ejemplo, tienen a menor escala las mismas posibilidades.

Cuando el sistema de riego no existe, es la oportunidad de instalarlo. Su costo varía de 500 a 2.000 US\$ por hectárea. Un aprovechamiento ideal del agua implica la instalación de unas 5 hectáreas de riego por cada 1.000 habitantes conectados a la planta, o sea un costo de inversión del orden de 5 US\$ por habitante conectado a los cuales hay que añadir el costo de los canales de conducción a la zona. Es un costo muy bajo si se tiene en cuenta que tal sistema de riego sirve por un lado de post-tratamiento de las aguas residuales y por otro lado de impulsor del desarrollo agrícola regional.

La ferti-irrigación debe ser vista por la Ingeniería Sanitaria como un sistema de post-tratamiento de la DBO, así como de los nutrientes y de los patógenos. Esa ferti-irrigación se asocia particularmente bien a los sistemas UASB que son poco eficientes en la remoción de los nutrientes, pero estos nutrientes, sí son requeridos por los cultivos.

Lograr con un Distrito de Riego, a un costo de unos 5 US \$ por habitante, una remoción completa de la DBO, nutrientes y patógenos, a través de un **sistema meramente biológico (el suelo)**, es sin lugar a dudas el sistema más eficiente y menos costoso de tratar o “post-tratar” una agua residual.

La ferti-irrigación permite reducir la presión sobre el uso del agua superficial y freática, reducir el consumo de fertilizantes químicos y plaguicidas, y aumentar el contenido de materia orgánica de los suelos. Este aporte de materia orgánica es por otro lado el mejor antídoto del suelo para resistir los riesgos de salinización, que pueden surgir de una aplicación excesiva de minerales, particularmente sodio.

Hay también bastante resistencia de la Ingeniería Sanitaria tradicional, de los profesionales del sector de la Salud y hasta de Agrónomos, a la aplicación de aguas residuales sobre los cultivos por su contenido en patógenos. La **O.M.S.** fijó en 1989 unas normas básicas para ferti-irrigación según el tipo de cultivo, y es interesante anotar que para la mayor parte de los cultivos, con excepción de las verduras de consumo fresco, la O.M.S. no señala mayor impedimento a la ferti-irrigación de agua residual tratada.

Ciertos países o regiones fijaron normas más estrictas, teniendo en cuenta que una vez el sistema de riego está instalado, es difícil para las autoridades sanitarias controlar y regular a los agricultores; es el caso de California por ejemplo.

Abogamos por nuestra parte para que se considere el **riego agrícola** como una forma efectiva, barata y productiva **de post-tratamiento** de las aguas residuales, y se involucre al medio agrícola, a sus profesionales y a sus instituciones para que colaboren en el aprovechamiento de estas aguas.

Si la realidad agrícola no se presta para el riego de las aguas tratadas, debido al tipo de cultivo o de riego, más vale a menudo, por razones de costos, adecuar el sistema de riego, la forma de riego y aún el tipo de cultivos, a la cantidad y calidad del agua disponible, en vez de tratar de adecuar el agua tratada al sistema agrícola vigente en la región. La Ingeniería Agrícola también debe ser parte de la solución y no del problema.

IX - CONCLUSIONES

La tecnología **UASB** no es la única tecnología anaerobia para tratamiento directo de las aguas residuales domésticas, pero sin duda la más difundida. A pesar de ser reciente para este uso (primera planta a escala real en 1988) se ha convertido hoy en día en la primera opción, por su economía y sencillez, en la mayor parte de los países de América Latina, y en más de 50 % del mercado de plantas compactas para caudales entre 5 y 50 L/s. Para ciudades grandes, la tecnología UASB es igualmente atractiva, pero tiene a la fecha una penetración más limitada debido al tiempo largo de implementación de estos proyectos (10 a 20 años), al mayor nivel de desconocimiento (comparado con lodos activados) y en consecuencia de riesgo (el riesgo es más difícil de tomar a esta escala) y a la extraña ausencia de experiencia en esta tecnología por parte de las grandes consultoras y constructoras internacionales.

Por la evolución de esta tecnología durante los últimos 10 años y por los logros obtenidos, la tecnología anaerobia, y UASB en particular, para el tratamiento directo de las aguas residuales domésticas, ya se ha perfilado como una revolución tecnológica tropical que hace por fin de la descontaminación una meta alcanzable para los países de América Latina, y que puede aún difundirse en unos pocos años a regiones de climas estacionales templados.

X – UNAS REFERENCIAS:

Alaerts, G.L. y Al (1993) Feasibility of anaerobic sewage treatment in sanitation strategies in developing countries *Wat.Sci.Tech.* 27(1):

Chernicharo, C.A. de L. & Borges J.M. (1997) Evaluation and start up of a full scale UASB reactor treating domestic sewage. Case study. *Proc. 8th International Conference on Anaerobic Digestion*, Sendai, Japan.Vol.2: 192-199

Chernicharo C.A.L. and Al (2001) Post-treatment of anaerobic effluents in Brazil: state of the art. Proceedings of the 9th World Congress on Anaerobic Digestion, Antwerp, Belgium p 747-752

Conil, Ph. (2000) Avances conceptuales para el tratamiento de las aguas residuales domésticas (ARD) en el trópico, y estudio de casos. Revista “Gaceta Ambiental” # 13, Acodal (Colombia) p 24-41

de Man, A.W.A. y Al (1988) The use of EGSB and UASB anaerobic systems on low strength soluble and complex wastewater at temperatures ranging from 8 to 30°C *Proc. of the 5th Int. Symposium on Anaerobic Digestion*. Bologna,Italy. Hall ER and HobsonPN, Eds p 197-208

Hulshoff Pol, L.& Lettinga, G (1986). New technologies for anaerobic treatment. *Wat.Sci.Tech.*18 (12): 41-53

Lettinga, G y Al (1997) Anaerobic treatment in sustainable environmental production concepts. *Proc. 8th International Conf. On Anaerobic Digestion*, Sendai, Japan. Vol.1: 32-39

Monroy O y Al (1996) Where is anaerobic technology in Mexico? State of the technology, limitations and potential for its development. *Proceedings IV Seminario-Taller latinoamericano sobre tratamiento anaerobio de aguas residuales*. Bucaramanga, Colombia, p 645-660

Seghezzi,L. and Al (2001) Removal efficiency and methanogenic activity profiles in a pilot-scale UASB reactor treating settled sewage at moderate temperatures.

Proceedings of the 9th World Congress on Anaerobic Digestion . Antwerp, Belgium p 651-656

Schellinkhout,A & Osorio,E (1994). Long-term experience with the UASB technology for sewage treatment on large scale. *Proc. of the Seventh Int. Symposium on Anaerobic Digestion*. Cape town, South Africa. p251-252