

Reactores UASB como técnica para el tratamiento de contaminantes de aguas residuales y lixiviados

Dorance Becerra Moreno, Daniel Correa Jaimes, & Yesica Moreno Ochoa

Departamento de Ciencias del Medio Ambiente, Facultad de Ciencias Agrarias y del Ambiente, Universidad Francisco de Paula Santander, Cúcuta, Colombia.



Para citaciones: D. Becerra-Moreno, D. Correa-Jaimes, Y. Moreno-Chacón, "Reactores UASB como técnica para el tratamiento de contaminantes de aguas residuales y lixiviados", *Ing-NOVA*, vol. 1, no. 2, pp. 215-226. Jul. 2022.

<https://doi.org/10.32997/rin-2022-4006>

Recibido: 22 de octubre de 2022

Revisado: 06 de mayo de 2022

Aprobado: 24 de mayo 2022

Autor de correspondencia:

Dorance Becerra moreno

dorancebm@ufps.edu.co

Editor: Miguel Ángel Mueses. Universidad de Cartagena-Colombia.

Copyright: © 2022. Becerra Moreno, D., Correa Jaimes, D., & Moreno Ochoa, Y. Este es un artículo de acceso abierto, distribuido bajo los términos de la licencia <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/> la cual permite el uso sin restricciones, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre y cuando que el original, el autor y la fuente sean acreditados.



RESUMEN

Este artículo de revisión de literatura, intenta explicar la importancia que tienen los tratamientos biológicos como medida para tratar los lixiviados que proceden de los rellenos sanitarios o aguas contaminadas de carácter doméstico o industrial, exponiendo la razón costo/beneficio que provee, como la importancia que tiene el arranque del reactor en los futuros procesos, como la estabilización del mismo y la evaluación de la remoción de materia Orgánica y sólidos suspendidos totales de los lixiviados bajo tratamiento, donde las variables de control de los sustratos son: DQO, COT, SST y SSV.

Palabras clave: Lixiviados; Aguas Residuales; Reactor Biológico; Reactor UASB; Biogás.

UASB reactors as a technique for treating pollutants from wastewater and leakage

ABSTRACT

This literature review article tries to explain the importance of biological treatments as a measure to treat leachates that come from sanitary landfills or contaminated water of a domestic or industrial nature, exposing the cost/benefit ratio that they provide, as well as the importance that has the start-up of the reactor in future processes, such as its comparison and the evaluation of the removal of organic matter and total suspended solids from the leachates under treatment, where the control variables of the substrates are: COD, TOC, SST and SSV.

Keywords: Leachate; Wastewater; Biological Reactor; UASB Reactor; Biogas.

1. Introducción

Debido a los graves problemas de salud pública y deterioro ambiental causados por el creciente riesgo de contaminación de acuíferos, ríos y lagos por el vertimiento de agua residual doméstica (ARD), su tratamiento es cada vez más apremiante. De ahí que esté ganando mayor atención una alternativa de manejo de aguas residuales que incluye la reutilización del ARD tratada, principalmente en la agricultura, ya que favorece la recuperación de nutrientes y reduce la demanda de agua, especialmente en regiones con problemas de escasez de recursos hídricos [1]. Entre los sistemas biológicos, el tratamiento anaerobio solo o combinado con otros procesos es una tecnología consolidada para el tratamiento de ARD, principalmente en países con condiciones climáticas favorables que permiten una elevada biodegradabilidad, lo que representa una ventaja técnica y económica, ya que en estos procesos hay una verdadera reducción de la materia orgánica, menor producción de lodos digeridos en el mismo reactor anaerobio, menores requerimientos de área comparados con otros métodos y generación de un subproducto altamente energético, como es el metano contenido en el biogás; adicionalmente, presentan un bajo o nulo requerimiento de insumos químicos, dadas las condiciones adecuadas de pH, alcalinidad y nutrientes [2]. En general, a temperaturas entre 20 y 45 °C se alcanzan eficiencias de reducción de demanda química de oxígeno (DQO) y sólidos suspendidos totales (SST) del orden del 70% al 80%, con tiempos de retención hidráulico (TRH) de entre 6 y 10 horas [3].

Los lixiviados son toda aquella sustancia líquida que ha entrado en contacto con los residuos dispuestos en el sistema de contención y que ha reaccionado a estos, para producir una sustancia que permite separar la contaminación de los sólidos urbanos en contacto con el agua, o por la propia dinámica de descomposición de los residuos [4]. Los tratamientos de los lixiviados pueden ser clasificados en: recirculación y tratamiento combinado con aguas residuales, tratamiento biológico (aerobio y anaerobio), tratamientos con métodos fisicoquímicos (oxidación química, adsorción, precipitación química, coagulación/floculación, sedimentación) [5], [6]. Existen en la bibliografía numerosos reportes de experiencias de plantas de tratamiento para lixiviados de rellenos sanitarios. Las variaciones en la composición y el volumen generado de lixiviados de un relleno sanitario y su calidad respecto a materia orgánica complican el diseño de una planta de tratamiento que sea estable, ya que se comporta de forma no lineal y genera grandes variaciones en la misma [7]. Para poder controlar la clasificación de los lixiviados que son drenados de las celdas de retención se han generado unos parámetros para determinar si el lixiviado es joven (DQO > 10000 mg/l), intermedio (DQO 4000-10000 mg/l) o maduro (<4000 mg/l), para obtener esa clasificación deben realizarse siempre procesos de preparación y de ensayo para caracterizarlos y buscar opciones viables de tratado.

2. Tratamiento de los lixiviados

El tratamiento de los lixiviados que han sido dispuestos tanto en los cuerpos de agua o en otros sistemas de disposición buscan una forma de poder acabar de raíz los problemas de productos derivados que siempre se generan al tratar con este tipo de sustancias. Las alternativas de tratamiento de lixiviados se pueden clasificar de acuerdo con diferentes características como, por ejemplo, nivel de tratamiento, ya sea primario, secundario o avanzado, y también si se tiene un contaminante en específico que se quiera eliminar de las sustancias. Los lixiviados contienen grupos de contaminación conocidos como: la contaminación por patógenos, por materia orgánica, la contaminación por nutrientes, y por sustancias tóxicas ya que están en constante reacción con todos los residuos almacenados en un sistema y este comparte todos sus compuestos [8].

Los lixiviados generados en los países desarrollados contienen mayores concentraciones de demanda biológica de oxígeno (DBO), nitrógeno amoniacal, metales pesados y sustancias precipitables. Todas estas características influyen en la definición del tipo de tratamiento más adecuado y tienen importantes implicaciones para su operatividad y rendimiento [9]. Los métodos de tratamiento aplicables son los mismos que los usados para aguas residuales; sin embargo, las características de cada lixiviado deben ser consideradas. Tradicionalmente, en los lixiviados jóvenes se han usado métodos biológicos, por sus ventajas comparativas con otros métodos, pero se han debido verificar potenciales efectos inhibitorios o tóxicos, por la presencia de elevadas concentraciones de nitrógeno, sales disueltas y metales pesados; así como por la posible deficiencia de fósforo, dadas las pocas cantidades presentes en ellos [10].

Por lo anterior, estos métodos no son efectivos para tratar lixiviados maduros, caracterizados por una baja relación DBO/DQO (normalmente menor que 0,3) y una alta fracción de material orgánico refractario [11]. Sin embargo, debido a que en general en los rellenos sanitarios los lixiviados se combinan, es fundamental su caracterización para una adecuada selección del tipo de tratamiento que se va a implementar, principalmente cuando estos son almacenados en reservorios antes de su tratamiento o disposición [12]. Numerosos estudios sobre la biodegradabilidad anaerobia en diferentes escalas de aplicación de lixiviados de diferentes edades y características han demostrado la potencialidad de esta tecnología, aunque se ha encontrado la necesidad de acondicionarla. Con un TRH del orden de 24 horas, con un pH ajustado a 5,75 unidades y con suministro de ácido fosfórico se ha alcanzado un desempeño eficiente [13].

2.1 Los reactores UASB como proceso de tratamiento

Los reactores UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) por su volumen y costo de trazabilidad, los lixiviados y las aguas residuales en conjunto son comúnmente manejados con tratamientos biológicos, estos son trabajados en sistemas de acuerdo al tipo de bacterias que crecen en él; los hay aerobios, que son sistemas donde las bacterias están acostumbradas al oxígeno y florecen o progresan en presencia de él y pueden realizar sus metabolismos sin problema y los anaerobios se han acostumbrado a progresar en la ausencia de este [14], [15].

La aplicación del tratamiento biológico de aguas residuales pretende promover la coagulación y la eliminación de las partículas coloidales no sedimentables, la estabilización de la materia orgánica, y en algunos casos, la eliminación de nutrientes como el nitrógeno y el fósforo. En el caso de los procesos aerobios, el principal subproducto es biomasa (lodo); en los anaerobios es el biogás (metano), y en una proporción mucho menor el lodo [2]. Los tratamientos aerobios, en general, tienen el inconveniente de la generación de un volumen apreciable de lodos de difícil degradación los que requieren la aplicación de un pretratamiento antes cualquier alternativa de solución. La combinación de tratamiento anaerobio-aerobio garantiza la reducción de la carga orgánica contaminante, amortizándose con ello los efectos de la producción de lodo y los consumos energéticos que las variantes de tratamiento aerobio imponen [16].

Cada proceso de tratamiento ofrece distintos resultados como remociones y materiales de desecho que deben ser tomados en cuenta, tipos como los presentes en oxígeno y en ausencia de este, En este caso se ha decidido usar un Reactor UASB que funciona de manera anaerobia, El tratamiento anaeróbico tiene algunas ventajas sobre el tratamiento aeróbico convencional como: mayor efecto de eliminación eficiencia de la demanda química de oxígeno (DQO), reducción producción de lodos, bajo consumo de energía, espacio

reducido, una construcción relativamente simple, bajo contenido de nutrientes y generación de un gas con un alto poder calorífico dependiente del contenido del gas metano [17].

Los montajes experimentales permiten conocer el equipo de trabajo e identificar donde se encontrarán las partes más importantes de la trazabilidad, saber dónde estarán incorporados los inóculos, los sustratos, los canales de entrada y salida, entre otros que permiten focalizar y estructuras la toma y revisión del sistema. [18]. Para determinar qué tipo de sistema de reactor, UASB o AnMBR (Anaerobic membrane bioreactor), sería más adecuado para el tratamiento de aguas residuales químicas en condiciones extremas, se realizó un estudio comparativo en el que Ambos sistemas de reactores fueron expuestos al mismo sodio extremo y condiciones de carga de fenol. Se plantea la hipótesis de que al aumentar tanto las concentraciones de influentes de sodio y fenol los límites de capacidad alcanzarán cualquiera de los sistemas. Un reactor UASB depende completamente de biomasa granular o bien asentada activa, mientras que la bio-masa en el sistema AnMBR podría volverse más susceptible aumento de las concentraciones de fenol en la mayor parte del caldo del reactor.

Sin embargo, dado que toda la biomasa se retiene en un AnMBR, este último podría superado por bioaumentación in situ de la degradación adecuada del fenol consorcios. Un fenómeno que probablemente sea menos evidente en un UASB donde la biomasa es propensa al lavado. En el presente estudio comparativo, el rendimiento del tratamiento tanto de un UASB como de un AnMBR completamente mezclado bajo concentraciones crecientes de influentes de sodio y fenol se evalúa. Además, un análisis exhaustivo de las propiedades de los dos tipos de biomasa procedente de ambos reactores, es decir, granular y suspendida, fue realizado, mientras que la dinámica de la comunidad microbiana y la diversidad fue analizada [19].

Inoculación y sustratos. Aunque el lodo proveniente de las lagunas de almacenamiento de lixiviado debería ser la primera alternativa al seleccionar un inóculo para el tratamiento de este sustrato, debido a su disponibilidad en la zona de estudio y a su adaptación al mismo, los bajos valores de SSV y de la relación SSV /SST indican que éste es un lodo inerte con poca biomasa activa, lo que se verifica con el bajo valor de la actividad metanogénica. Adicionalmente, su sedimentabilidad también es muy baja, lo que lo hace susceptible de ser fácilmente lavado del reactor en caso de una sobrecarga hidráulica [20]. Estudios preliminares desarrollados por Morán y Narváez [21]. Mostraron que el arranque de un reactor anaerobio inoculado solamente con este tipo de lodo no fue exitoso. La combinación de lodos de mala calidad con lodos de mejores características en términos de mayores AME (actividad metanogénica específica), sedimentabilidad y relación SSV/SST, son una estrategia exitosa de mejoramiento de arranque de reactores anaerobios [20].

El sustrato es el material utilizado a tratar, normalmente los lixiviados son extraídos de los rellenos sanitarios de las zonas más cercana. La calidad fisicoquímica del lixiviado es variable, principalmente en términos de la DQO (3567 a 59350 mgDQO/l), el pH (6,0 a 8,7), la alcalinidad total (400 – 6.000 mgCaCO₃/l) y los AGV (5,3 a 220 meq/l). Una de las principales causas de la variabilidad de las características del lixiviado son las condiciones climáticas (temporadas seca y lluviosa), que hacen que el lixiviado recolectado en los periodos secos presente mayores concentraciones, mientras que, en los periodos lluviosos la esorrentía provoca fenómenos de dilución [20].

2.2 Operatividad

El funcionamiento del reactor UASB depende tanto de parámetros físicos como de los procesos biológicos [22]. Los cuales determinan la eficiencia de remoción y la conversión de los compuestos orgánicos [23]. El éxito del reactor UASB se basa en el establecimiento de un denso lecho o capa de lodos en el fondo del reactor, en el que se llevan a cabo todos los procesos biológicos [23]. Este lecho de lodo se forma básicamente por la auto Inmovilización natural de bacterias sin la utilización de soporte sólido como en el caso de las biopelículas [24].

Se busca determinar un pH óptimo en el afluente ya que una de las posibles causas del pobre desempeño de los reactores son los valores altos de pH que, asociados con las elevadas concentraciones de nitrógeno, pueden causar inhibición del proceso anaerobio [25]. Para lo cual se usó una solución de HCl al 25% llegando de manera progresiva a un valor de 5,75 unidades. Se debe tener en cuenta que al realizar ajuste como lo menciona [20] en su estudio, que al realizar el ajuste del pH a valores inferiores a 6 unidades y la adición de $K_2HPO_3 \cdot 3H_2O$ el día 78 de operación, permitieron un aumento de la eficiencia de remoción de DQO por encima del 90% para COV entre 6,0 a 28,0 kgDQO/m³-día. Con COV mayores, la eficiencia de remoción de DQO disminuyó hasta el 70%, lo cual indica una posible sobrecarga orgánica que definiría la carga límite que el sistema puede soportar.

En el reactor UASB (Figura 1), el afluente es alimentado y homogéneamente distribuido por el fondo del reactor y asciende a través de un lecho de lodos anaeróbicos, los cuales son expandidos por la velocidad ascendente del flujo y la producción de biogás [26]. En la parte superior de la zona de digestión se encuentra el separador gas-sólido-líquido (GSL), con las cuales se separan y descarga el biogás generado y se previene el lavado de la biomasa activa.

En la zona superior del separador GSL (zona de sedimentación) se pule el efluente por la sedimentación de la biomasa y sólidos que hayan logrado pasar a este nivel del reactor. Finalmente, el efluente es descargado [26].

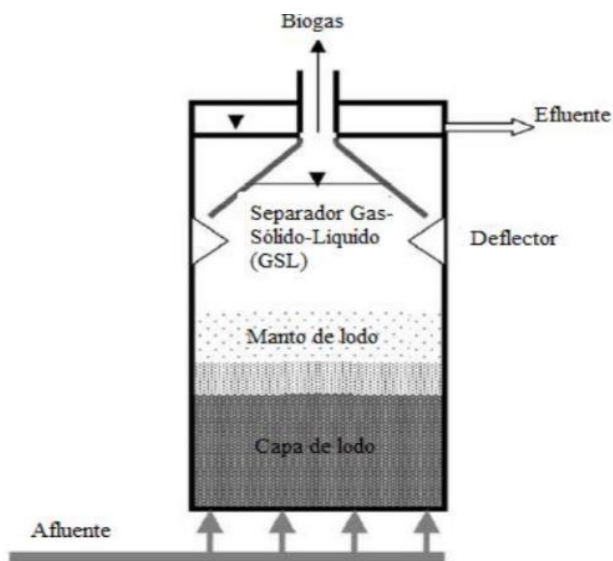


Figura 1. Modelo de un reactor UASB. Adaptado de [26].

2.3 Arranque y estabilización del reactor

Para realizar el arranque y estabilización de los reactores hay maneras, la principal es ir modificando los tiempos de retención hidráulica (TRH) hasta encontrar el punto exacto donde se empiecen a evidenciar cambios en el lixiviado. Esto es acoplado en el proceso de arranque, (el proceso de mayor duración en el proceso de funcionamiento del reactor y el más importante ya que permite dar inicio y asegurar la funcionalidad de la herramienta, ocupa entre 15 a 20 semanas en promedio) que permite preparar los inóculos y las comunidades bacterianas en el reactor a ciertas cargas de lixiviados que van en aumento dependiendo de su metabolismo. [27].

El arranque de los reactores consistió en la disminución progresiva del TRH, la cual se basó en el comportamiento estable de la concentración efluente de DQO y ácidos grasos volátiles (AGV) [28]. El TRH inicial para los tres reactores fue de 24 h, valor típicamente utilizado para el arranque de reactores anaerobios que tratan ARD. El TRH se redujo para intentar alcanzar un valor de 8 h, que es el TRH promedio de reactores UASB que tratan ARD en condiciones de clima tropical. Las variables de control de los sustratos de los tres reactores fueron pH, DQO, SST, nitrógeno total Kjeldahl (NTK), NAT (N-NH₃ + N-NH₄⁺) y P total, siguiendo los métodos de la APHA (2005), alcalinidad total y bicarbonática, de acuerdo con Field (1994), y AGV [2].

También hay diferentes formas de tratar o componer a las colonias en el reactor ya que las composiciones de los lixiviados son muy diferentes y suelen variar drásticamente una de la otra, para mejorar o afianzar el arranque de los reactores solo de ser necesarias, cuando es muy fuerte el lixiviado o está comprometida la funcionalidad [29].

Estudios preliminares desarrollados por Morán y Narváez [21], mostraron que el arranque de un reactor anaerobio inoculado solamente con este tipo de lodos mezclados no fue exitoso. La combinación de lodos de mala calidad con lodos de mejores características en términos de mayores AME, sedimentabilidad y relación SSV/SST, son una estrategia exitosa de mejoramiento de arranque de reactores anaerobios [30].

Cabe recalcar que el arranque y la estabilización del reactor siempre van a depender de varios factores denominados condiciones operacionales (Tiempo de Retención Hidráulico TRH, Carga Hidráulica CH, COV), la configuración del reactor (geometría y tamaño), las características del inóculo (cantidad y calidad), las características del sustrato (composición, concentración, degradabilidad) y las condiciones ambientales (pH, capacidad Buffer, nutrientes, toxicidad) [31], que deben ser cuidados y monitoreados para poder llegar a un punto de control donde sea capaz de manejar cargas volátiles, sin sacrificar la eficacia o poner en peligro la supervivencia de las comunidades derivadas de los inóculos, por eso son procesos tan largos y sumamente importantes [32].

2.4 Remoción de materia orgánica bajo reactor UASB

El proceso de evaluación del reactor permite establecer si las medidas aplicadas en el arranque y la configuración del inóculo, el sustrato y las disoluciones son las correctas, pues si se presentan retenciones o aletargamientos en la remoción debe evaluarse de nuevo todos los procesos aplicados para reestablecer el flujo de remoción en el reactor. Para esta parte se suelen guiar de manuales paramétricos como Manual de Arranque y Operación de Reactores UASB [33]. Los reactores deben estar preparados para las variaciones de

los lixiviados, pero siempre se debe garantizar la materia orgánica mínima requerida para que las bacterias puedan realizar adecuadamente su metabolismo [34].

Los desempeños de los reactores deben ser constantemente monitoreados ya que las cargas que entran deben ser adaptadas a razón del comportamiento que este teniendo este en los procesos de remoción, por lo que el seguimiento permite tomar medidas si el comportamiento del reactor está manifestando problemas en los procesos de remoción, cuando este sea capaz de sobrellevar cargas volátiles se ha llegado a la estabilización del reactor [35]. Los resultados de la eficiencia que se obtiene en el tratamiento por medio de un reactor UASB en los parámetros de DQO, DBO5 y SST se encuentran para aguas residuales domésticas de baja carga orgánica: DQO entre 60 y 70 %, DBO5 entre 60 y 80 %, y SST entre 60 y 70 %; y por debajo de los reportados en reactores usados para el tratamiento de aguas residuales de tipo industrial [24,36,37,38]; cuyas eficiencias tendieron a ser mayores en relación a las eficiencias en aguas residuales de tipo doméstico. Con las exigencias normativas de control de vertimientos de aguas residuales domésticas en Colombia, DQO entre 150 y 180 mg/l, DBO5 entre 70 y 90 mg/l, y SS entre 70 y 90 mg/l [39], y ante la limitación en la remoción restante de materia orgánica (patógenos) y nutrientes que no permitiría alcanzar los valores límites al utilizar únicamente reactores anaerobios tipo UASB [39,40].

La digestión de BAS (Biological Activated Sludge) en reactores UASB tiene una ventaja adicional para los RAS (Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico), como el menor costo del transporte de lodos desde la instalación a otro punto de eliminación o reutilización, que es un importante factor en el costo de la gestión de lodos. La posibilidad de reutilizar completamente el efluente tratado en RAS promete una mayor independencia de los sistemas de acuicultura de su entorno tradicional (es decir, grandes masas de agua) ya que disminuye el uso de agua y sal, además de permitir Disminuciones adicionales de energía (calefacción y bombeo) [41]. La eficiencia del reactor UASB en la remoción de DQO total y de sólidos suspendidos totales de las aguas residuales, está condicionada por la VCO (velocidad de carga orgánica) y el TRH aplicados, así como por la concentración de sólidos suspendidos totales en el influente [42,43].

2.5 Aprovechamiento del biogás

Reactor UASB donde en su parte inferior hay un lecho de lodo granular, sistema alentador, ya que puede proporcionar una eliminación de DQO relativamente alta eficiencias y producción de energía en forma de metano [44]. Debido a los bajos rendimientos de biogás, el procesamiento anaeróbico de lodos biológicos no ha aún se ha llevado a cabo en fábricas de celulosa [45]. La eficiencia de la eliminación de DQO se mejora significativamente por la formación de granulado concentrado lodo recuperado a una altura relativamente alta del filtro biológico en el digestor [46]. Además, una de las condiciones básicas para el éxito de alta velocidad en los reactores UASB, es el desarrollo de lodos granulares, lodos sedimentables con alta actividad metanogénica [47]. La viabilidad del reactor UASB ha sido suficientemente demostrado para el tratamiento principalmente aguas residuales solubles [48].

Los procesos de tratamientos siempre producen residuos de desecho que dependen del tipo de tratamiento que se realice, con o sin presencia de oxígeno, La utilización de un reactor anaerobio significa que este producirá biogás como producto de desecho que puede ser utilizado o no, dependiendo de las cantidades y de la calidad del mismo, con lo cual es importante revisar estos parámetros para realizar planes de aprovechamiento y adaptación [49].

La Figura 2 muestra el comportamiento del reactor metanogénico. Se observa que el aumento de la producción de biogás (de 2,4 a 12 L/L-d) es directamente proporcional al aumento de las cargas orgánicas (de 2,3 a 21 gDQO/L-d), manteniendo eficiencias de remoción superiores al 90 % y con una composición de CH₄ en el biogás del 80 %, que refiere una adecuada actividad metanogénica en función, principalmente, de la actividad acetoclástica y la adecuada transferencia de H⁺ [17].

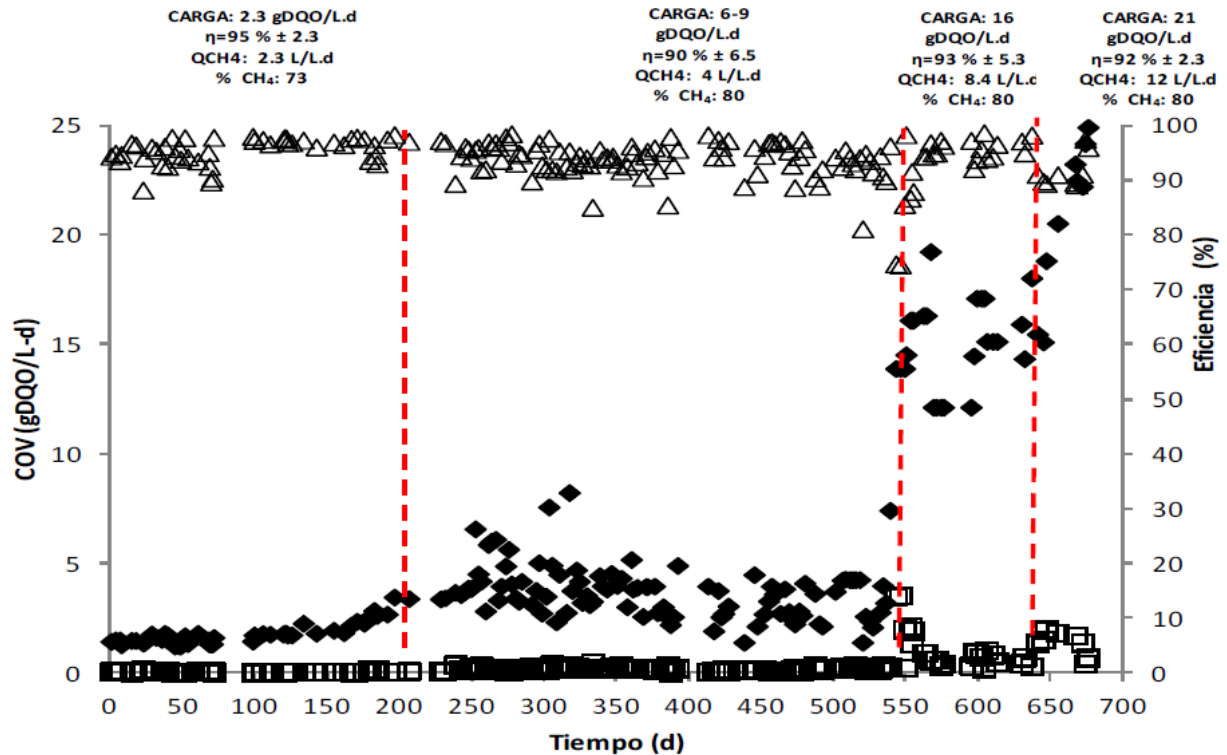


Figura 2. Cargas eficiencias y degradación de la DQO y producción de CH₄ en el reactor UASB ◆ entrada, ◻ salida, Δ eficiencia [17].

Se han descrito trabajos de reactores con separación de fases para el tratamiento de residuos sólidos (excretas) con una carga de 20 gDQO/L-d, que han obtenido eficiencias de remoción del 87 % y un rendimiento de metano de 6,6 L/L-d, menores que la obtenidas [50, 51]. La composición de metano en el biogás obtenido hace posible que sea aprovechado como combustible, puesto que supera el 60 % necesario para que su capacidad energética se aproveche en numerosos usos, tales como: calefacción, cocción, combustión, etcétera [17].

2.6 Ventajas y desventajas

El reactor UASB, como cualquier sistema de tratamiento de aguas residuales, tiene ventajas y desventajas que, según la aplicación particular, podrán afectar determinadamente su selección como opción de tratamiento [52]. De la experiencia en el arranque y operación de reactores UASB que tratan efluentes municipales o domésticos, se ha observado que este sistema anaeróbico presenta las ventajas y desventajas mostradas en la Tabla 1.

Tabla 1. Ventajas y desventajas de los reactores UASB

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Alta eficiencia de remoción incluso con altas cargas y bajas temperaturas • No necesita soporte para la retención de biomasa, • Puede arrancar con un inoculo • No produce mucho lodo en exceso • El lodo producido es ya estable • El biogás producido puede ser buena fuente energética • No requiere suministro eléctrico • Proceso simple y económico • Soporta periodos sin alimentación • Proceso escalable en tamaño • No requiere mucho espacio 	<ul style="list-style-type: none"> • No se puede tomar como un tratamiento secundario completo • Eliminación parcial de patógenos • Poca experiencia en producción a gran escala. • Arranque lento si no se tiene el inoculo adecuado • Sensible a la temperatura del agua • Generador de olores

3. Conclusiones

Los reactores UASB son una alternativa de mayor viabilidad para el tratamiento biológico por su bajo costo de operación y sus grandes resultados de remoción, para tratar aguas contaminadas e incluso lixiviados, posee características que deben ser tenidas en cuenta para poder garantizar la calidad del montaje.

El proceso de arranque es una de las etapas más importantes al momento de iniciar un tratamiento biológico, ya que definirá la forma de trabajo del reactor y tendrá incidencia en el desempeño a lo largo del tiempo, también los factores de inoculación, y estabilización permiten afianzar el arranque para permitir el trabajo continuo del mismo si se da con éxito.

Referencias

- [1] A. Bdour, M. Hamdi and Z. Tarawneh, "Perspectives on sustainable wastewater treatment technologies and reuse options in the urban areas of the Mediterranean region". *Desalination*, núm. 237, pp. 162-17, 2009.
- [2] E. Foresti, "Anaerobic treatment of domestic sewage: stablished technologies and perspectives", *Water Science and Technology*, vol. 45, núm. 10, pp. 181-186, 2002.
- [3] A. Van haandel, M. Kato, P. Cavalcanti and L. Florencio, "Anaerobic reactor design concepts for the treatment of domestic wastewater", *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, vol. 5, pp. 21-38, 2006.
- [4] A. Álvarez-Contreras, J.H. Suárez-Gélvez, "Tratamientos Biológicos de Lixiviados en Rellenos Sanitarios", *Revista respuestas*. Año 11, No.1, julio 2006.
- [5] M. Bakraoui, F. Karouach, B. Ouhammou, H. El Bari, "Biogas production from recycled paper mill wastewater by UASB digester: Optimal and mesophilic conditions", *Biotechnology Reports*. dec, 2019.
- [6] J.Y. Jeong, S.M. Son, J.H. Pyon, J.Y. Park, "Adsorption of remazol blue RR from textile effluents using *Azadirachta indica* leaf powder as an alternative adsorbent", *Adsorption Science & Technology*, 2014.

- [7] R.I. Méndez-Novelo, E. Cachón-Sandoval, M. R. Saurí-Riancho, E.R. Castillo-Borges, "Influencia del material de cubierta en la composición de los lixiviados de un relleno sanitario", 2002.
- [8] A.G. Martínez-Lopez, "Alternativas actuales del manejo de lixiviados", *Avances en Química*. 9(1), 37-47. 2014.
- [9] P. Torres-Lozada, "Impacto de la incorporación de lixiviados en el arranque de reactores anaerobios al tratar aguas residuales domésticas", *Ing. Univ.* [online], vol.14, n.2, pp.313-326. 2010, Available from: <http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-21262010000200006&lng=en&nrm=iso>. ISSN 0123-2126.
- [10] S. Renou, J. Givaudan, S. Poulain, F. Dirassouyan y P. Moulin, "Landfill leachate treatment: review and opportunity". *Journal of Hazardous Materials*, núm. 150, pp. 468-493, 2008.
- [11] X. Wang, S. Chen, X. Gu, y K. Wang, "Pilot study on the advanced treatment of landfill leachate using a combined coagulation, fenton oxidation and biological aerated filter", *Waste Management*, 29(4):1354-8, April 2009.
- [12] Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME), "Review of the state knowledge of municipal effluent science and research. Review of existing and emerging technologies-review of wastewater treatment best management practices", January 2006.
- [13] J. Berrueta y L. Castrillón. "Efecto del N-NH₄⁺ sobre el tratamiento anaerobio de lixiviados de vertederos", *Ingeniería Química*, núm. 336, pp. 121-125, 1997.
- [14] G. D. Jojoa-Unigarro, H.L. Rodríguez-Zambrano, S. Cardona-Gallo, *Rev.EIA*. "Caracterización y modelación del comportamiento hidráulico de un reactor uasb", V.22, dec, 2014.
- [15] S. Idrus. "Assessment of the potential for biogas production from wheat straw leachate in upflow anaerobic sludge blanket digesters", 2012.
- [16] A. Pellón. "Tecnología para el tratamiento de lixiviados provenientes de vertederos de residuos sólidos urbanos", 2009.
- [17] I. Rodríguez-Pimentel, R. I., & Suyén, "Methane production as from the mixture of the urban solid waste lixivate and municipal wastewater". *Rev. Cubana Quím*, 27(3), 2224-5421. 2015. <http://ojs.uo.edu.cu/index.php/cq>
- [18] P. Sertorio, "Operation of trickling filters post-UASB reactors without the secondary sedimentation stage", 2016.
- [19] J. D. Muñoz, "Comparative performance of upflow anaerobic sludge blanket reactor and anaerobic membrane bioreactor treating phenolic wastewater: Overcoming", 2019.
- [20] P. Torres-Lozada, "Impact of leachate incorporation on an anaerobic reactor startup in domestic sewage treatment", *IyU*, vol. 14, no. 2, p. 313, Mar. 2011
- [21] A. MORAN, & J. NARVÁEZ, "Evaluación de un sistema anaerobio tipo UASB para el tratamiento de los Lixiviados", Universidad del Valle, 2002.
- [22] D. Araujo, S. Rocha, M. Cammarota, A. Xavier, A. & V. Cardoso, "Anaerobic treatment of wastewater from the household and personal products industry in a hybrid bioreactor". *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 2008, 25. 10.1590/S0104-66322008000300002.

- [23] J. Schultz, "Tratabilidad do lodo biológico têtil e produção de biogás em reator UASB em diferentes temperaturas" 2016.
- [24] Y.A. Caldera, P.I. Madueño, A.G. Griborio, E.C. Gutiérrez y N.M. Fernández, "Efecto del tiempo de retención hidráulica en el funcionamiento de un reactor UASB tratando efluentes cárnicos", *Multiciencias* [en línea]. 3(1), 2003. [Fecha de consulta: 22 de noviembre de 2017]. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=90430105>
- [25] J. Berruela, & L. Castrillon, "Efecto del N-NH₄, sobre el tratamiento anaerobio de lixiviados de vertederos", *Ingeniería Química*, N° 336, p. 121-125, junio, 1997.
- [26] C. Zavala, "Remoción anaerobia del colorante azul directo brl en Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) con carbón activado", 2016.
- [27] L. W. Rogério Moreira, "Digestão anaeróbia mesofílica de lodo adensado de estação de tratamento de esgoto". 142f. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-graduação em Engenharia, 2011.
- [28] D.H. Kim, W.T. Lim, M.K. Lee, M.S. Kim, "Effect of temperature on continuous fermentative lactic acid (LA) production and bacterial community, and development of LA-producing UASB reactor". *Bioresource Technology*, 2012.
- [29] B. Lew, I. Lustig, M. Beliavski, S. Tarre, M. Green, "An integrated UASB-sludge digester system for raw domestic wastewater treatment in temperate climates". *Bioresource Technology*, 2011.
- [30] R. Gebauer, B. Eikebrokk, "Mesophilic anaerobic treatment of sludge from salmon smolt hatching. *Bioresource Technology*", 2006.
- [31] B.L. McDermott, A.D. Chalmers, J.A. Goodwin, "Ultrasonication as a pre-treatment method for the enhancement of the psychrophilic anaerobic digestion of aquaculture effluents", *Environmental Technology*, 2001.
- [32] M. Halalsheh, "Effect of SRT and temperature on biological conversions and the related scum-forming potential". *Water Research*, 2005.
- [33] J. Solarte, "Evaluación de la digestión y co-digestión anaerobia de residuos de comida y de poda en biorreactores a escala laboratorio" 2017.
- [34] F. Hamerski. "Partida de um reator anaeróbio de fluxo ascendente com manta de lodo (UASB) no tratamento de efluentes provenientes de uma indústria de laticínios". *Processos*, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2012.
- [35] N. Mirzoyan, S. Parnes, A. Singer, Y. Tal, K. Sowers, A. Gross, "Quality of brackish aquaculture sludge and its suitability", 2008.
- [36] P. Torres, "Perspectivas del tratamiento anaerobio de aguas residuales domésticas en países en desarrollo", *Revista EIA*, 9(8), pp. 115-129, 2012.
- [37] J. Pérez, G. Aldana, M. Useche, N. Rincón, N. Bracho, y J. Mesa, J, "Evaluación del modelo de dispersión axial de un reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA) a escala de laboratorio". *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería, Universidad del Zulia*, 33(3), pp.213-223, 2010.

- [38] N. Rincón, I Cabrera, N. Fernández, E. Chacín y A. Díaz, "Tratamiento anaerobio de proteína mediante un reactor UASB". Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia, 23(2), pp. 141-149, 2000.
- [39] A.I. Cervantes-Zepeda, M.R. Cruz-Colín, R. Aguilar-Corona, P. Castilla-Hernández, y M. Meraz-Rodríguez, "Caracterización fisicoquímica y microbiológica del agua tratada en un reactor UASB escala piloto". Revista Mexicana de Ingeniería Química, 10(1), pp. 67- 77, 2010.
- [40] F. Morgan-Sagastume, J.M. Morgan-Sagastume, y A. Noyola-Robles, "Aplicabilidad de la digestión anaerobia para el tratamiento de aguas residuales municipales", en Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (AIDIS), pp. 1-8, 1996.
- [41] N. Mirzoyan, & A. Gross, "Use of UASB reactors for brackish aquaculture sludge digestion under different conditions". Water research, 47(8), 2843-2850. 2013.
- [42] P. Anggy, "Propuesta de parámetros de diseño de un reactor UASB para el tratamiento de aguas residuales porcinas", 2018.
- [43] R. Méndez, "Evaluación de un reactor UASB para aguas porcinas inoculado con líquido ruminal" 2013.
- [44] N.N. Valentine, M. Marika, "Biogas production from wheat straw in batch and UASB reactors: the roles of pretreatment and seaweed hydrolysate as a co-substrate, Bioresour". Technol. 128, 2013.
- [45] N. Jeong-Geol, L. Mo-Kwon, Y. Yeo-Myeong, M. Chungman, K. Mi-Sun, K. Dong-Hoon, "Microbial community analysis of anaerobic granules in phenol-degrading UASB by next generation sequencing", Biochem. Eng. J. 2016.
- [46] C. Chen, J. Liang, B.A. Yoza, Q.X. Li, Y. Zhan, Q. Wang, "Evaluation of an up-flow anaerobic sludge bed (UASB) reactor containing diatomite and maifanite for the improved treatment of petroleum wastewater", Bioresour. Technol. 2017.
- [47] L. Heng, H. Kezeng, L. Zhipeng, Z. Jinfeng, L. Hua, H. Yaohua, S. Liang, L. Qingbiao, W. Yuanpeng, "Performance, granule conductivity and microbial community analysis of upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactors from mesophilic to thermophilic operation", Biochem. Eng. J. 2018.
- [48] Anaerobic treatment of methanol condensate from pulp mill compared with anaerobic treatment of methanol using mesophilic UASB reactors, Bioresour. Technol. 125 (M. Badshah, W. Parawira, B. Mattiasson, 2012).
- [49] L.S. Rodrigues, I.J. Silva, M.C.O. Zocrato, D.N. Papa, M. Von Sperling, P.R. Oliveira, "Performance comparison between mesophilic and thermophilic anaerobic reactors for treatment of palm oil mill effluent". Bioresource, 2010.
- [50] B. Zhang, L.L. Zhang, S.C. Zhang, H.Z. Shi; W.M. Cai, "The influence of pH on hydrolysis and acidogenesis of kitchen wastes in two-phase anaerobic digestion", Environmental Technology, 26, 329-339, 2004.
- [51] O. Stabnikova, L. Xue-Yan, W. Jing-Yuan, "Anaerobic digestion of food waste in a hybrid anaerobic solid-liquid system with leachate recirculation in an acidogenic reactor", Biochem. Eng. J., 41(2), 198-201. 2008.
- [52] T. Tervahauta. "Improved Energy Recovery by Anaerobic Grey Water Sludge Treatment with Black Water", 2014.