



FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

“EFICIENCIA DE UN REACTOR UASB (UPFLOW ANAEROBIC
SLUDGE BLANKET) PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES”

Trabajo de Investigación para optar el grado de:
BACHILLER EN INGENIERÍA AMBIENTAL

Presentado por:
Diana Carolina Canales Villa

Asesor:
Fernando Javier Chávez Zegarra

Lima – Perú
2019



RESOLUCIÓN DIRECTORAL ACADÉMICA DE CARRERA N°185-2019-DACIA-DAFCA-CIENTIFICA

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES / CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL

Lima 27 de noviembre de 2019

VISTO:

La revisión realizada y la aprobación de Trabajo de Investigación titulado: **Eficiencia de un reactor UASB (Upflow anaerobic sludge blanket) para el tratamiento de aguas residuales**, presentado por:

- **Diana Carolina Canales Villa**

CONSIDERANDO:

Que, de acuerdo al Reglamento General de la Universidad Científica del Sur y los reglamentos de pregrado para obtener el grado de Bachiller de **Ingeniería Ambiental** en la **Facultad de Ciencias Ambientales**, se debe desarrollar un trabajo de investigación.

Que, de acuerdo a la normativa vigente de la Universidad Científica del Sur, en uso de las atribuciones conferidas al Director Académico de Carrera.

SE RESUELVE:

Aprobar e inscribir el trabajo de investigación titulado: **Eficiencia de un reactor UASB (Upflow anaerobic sludge blanket) para el tratamiento de aguas residuales** con N° de registro de la carrera: **040-FCA-IAM**.

Nombrar al docente/colaborador **Fernando Javier Chávez Zegarra** como asesor de dicho trabajo de investigación.

Regístrese, comuníquese y archívese,



Mg. Gonzalo Francisco Flores Roca
Director Académico de Carrera
Ingeniería Ambiental

**EFICIENCIA DE UN REACTOR UASB (UPFLOW ANAEROBIC SLUDGE BLANKET) PARA EL
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES****EFFICIENCY OF A UASB REACTOR (UPFLOW ANAEROBIC SLUDGE BLANKET) FOR
WASTEWATER TREATMENT**

Carolina Canales-Villa

Universidad Científica del Sur, Facultad de Ciencias Ambientales

Ingeniería Ambiental. Panamericana Sur Km. 19. Villa El Salvador. 15842

dccanalesv@gmail.com

RESUMEN

En la actualidad, los tratamientos anaeróbicos son más reconocidos como métodos para el cuidado del ambiente y la preservación de los recursos, estos métodos combinados con otros post-tratamientos, se convierten en un sistema de tratamiento de agua residual sostenible y una solución factible para países en vías de desarrollo. Este artículo es una revisión bibliográfica acerca del método de reactores UASB para el tratamiento de aguas residuales, tiene como objetivo presentar un método alternativo y explicar todas las características de la eficiencia de los reactores UASB. El tratamiento de aguas residuales es de suma importancia en la actualidad, es por ello que se necesita tener conocimiento de diversas tecnologías, como son los reactores UASB, que, a pesar de ser diversamente estudiados en el extranjero, no lo son en el Perú. Existen distintos tipos de aguas residuales, pero este trabajo se enfoca en las aguas residuales domésticas, para las cuales los mejores tratamientos son los anaeróbicos. Existen diferentes tipos de tratamientos anaeróbicos, uno de ellos son los reactores UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket), estos poseen diversas ventajas sobre los tratamientos aerobios, pero como cualquier otro método tiene parámetros que limitan o potencian su eficiencia, como el pH, la temperatura, la carga orgánica, el tiempo de retención hidráulica (TRH),

el lodo granular y el mezclado. Para finalizar este método solo se puede utilizar como tratamiento primario y requiere necesariamente de un post tratamiento.

Palabras claves: Residuales, reactor, UASB, eficiencia, métodos, tratamiento, anaeróbico.

ABSTRACT

Currently, anaerobic treatments are increasingly recognized as methods for the protection of the environment and the conservation of resources, these methods combined with other post treatments, become a sustainable wastewater treatment system and a feasible solution for developing countries. This article is a bibliographic review about the UASB reactors method to treat wastewater, aims to present an alternative method and explain all the characteristics of the efficiency of the UASB reactors. Wastewater treatment is of utmost importance at present, which is why you need to have knowledge of various technologies, such as the UASB reactors, which despite being studied abroad, are not in Peru. There are different types of wastewater, but this work focuses on domestic wastewater, for which the best treatments are anaerobic. There are different types of anaerobic treatments, one of them are UASB reactors (Upflow Anaerobic Sludge Blanket), these have several advantages over aerobic treatment, but like any other method has parameters that limit or enhance their efficiency, such as pH, temperature, the organic load, the hydraulic retention time (TRH), the granular sludge and the mixing. To complete this method can only be used as a primary treatment and necessarily requires a post treatment.

Keywords: Wastewater, reactor, UASB, efficiency, methods, treatment, anaerobic.

Introducción

En un estudio sobre la situación actual en el sector de agua y saneamiento realizado por la Autoridad Nacional de agua (ANA), muestra que 7 millones de habitantes en el Perú no tienen acceso a agua potable y que el nivel de cobertura de agua potable mayor al 80% solo ocurre en los departamentos de: Lima, Callao, Ica , Lambayeque, Tacna y Arequipa, así como la cobertura menor a un 40% se da solo en los departamentos de Huánuco, Amazonas, Puno y Huancavelica; asimismo, el agua no facturada es de 40%. Por otro lado, la cobertura de saneamiento llega a 80% en los departamentos de Lima, Tacna y Lambayeque, y de 20 al 40% en Loreto, Madre de Dios y Ucayali (ANA,2013)

Según el estudio realizado por SUNASS en 2008, se sabe que el 70% de las aguas residuales en el Perú no poseen ningún tratamiento, por otro lado, existen 143 plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR), de las cuales solo el 14% cumplen con la normativa vigente para su correcto funcionamiento (Larios-Meño, et al.,2015)

En el diagnóstico de la SUNASS del 2014 informa que existen diversos desafíos en el momento del diseño y construcción de las plantas de tratamiento como, elevados costos de operación al querer utilizar tecnologías avanzadas, dificultades en la operación de la PTAR ocasionados por fallas de construcción o por falta de personal capacitado, también por PTAR con tecnología insuficiente o inadecuada, la mayoría carece de un tratamiento preliminar, no poseen medidores de caudal afluente y efluente (SUNASS,2015).

De las PTAR con tecnología insuficiente e inadecuada, 21 de ellas solo cuenta con una laguna de estabilización, lo que ocasiona problemas en el mantenimiento y afecta la eficiencia del tratamiento; 27 PTAR tienen solo una batería de tratamiento la cual no posee un bypass que permite realizar mantenimiento a las plantas (SUNASS, 2015).

Para ello la SUNASS a propuesto soluciones a futuro entre las cuales se encuentra los siguientes objetivos; fortalecer la participación de las EPS en el proceso de diseño, construcción y puesta en marcha de nuevas PTAR, incorporar nuevas tecnologías para PTAR y realizar investigaciones a favor de la mejora y aplicación de tecnologías apropiadas, los cuales estarían a cargo del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (SUNASS, 2016).

El objetivo del trabajo fue recolectar información bibliográfica de la eficiencia del reactor UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) para el tratamiento de aguas residuales. Este trabajo busca presentar este método como una solución factible y eficiente para tratar aguas residuales, y al ser una tecnología bastante económica, ser de interés para las entidades prestadoras de servicio, en específico para EPS Grau y así volverse a empresas eficientes, sin construir complicadas plantas de tratamiento.

Marco Teórico

Aguas residuales

Estas son aguas usadas, donde se pueden encontrar sólidos que por uno u otro medio se introducen en los sumideros (Romero, 2005) y son conducidas por el alcantarillado, sin tratamiento posterior a su uso (Palacios, 1991). Proceden del sistema de provisión de agua de una ciudad después de haber sido alterada por distintos usos en actividades domésticas, industriales y comunitarias (Rolim, 2000), es necesario considerar circunstancias tales como las variaciones diarias del caudal. (Crites & Tchobanoglous, 2000). Las AR también contienen nutrientes que estimulan el desarrollo de plantas acuáticas y la cual podría contener algún compuesto tóxico, por eso se sugiere la eliminación inmediata, seguida del tratamiento (Tchobanoglous et al., 2003). Generar

aguas residuales es inevitable para la actividad humana (Romero, 2005), por su calidad requieren un tratamiento previo para no ir en contra de la salud pública (Winter, 1996), también es necesario un tratamiento para poder reutilizarlas, descargarlas al alcantarillado o verterlas a una masa de agua natural (Organización de Evaluación y Fiscalización Ambiental, 2014).

Tipos de aguas residuales

Agua residual municipal, contienen materia orgánica, nutrientes, patógenos, etc. (Roeleveld & Zeeman, 2006), son AR domésticas combinadas con aguas de desagüe pluvial o con AR de origen industrial tratadas, para ser permitidas en el sistema de alcantarillado combinado. (Organización de Evaluación y Fiscalización Ambiental, 2014); agua residual industrial, son las provenientes de las descargas de industrias (Roeleveld & Zeeman, 2006) pueden contener aceites, detergentes, antibióticos, ácidos y grasas, su composición depende de las diferentes actividades industriales (Espigares & Pérez, 1985) y el agua residual doméstica

Agua residual doméstica es de origen residencial y comercial, (Organización de Evaluación y Fiscalización Ambiental, 2014), está compuesto por desechos fisiológicos (heces y orina), junto con el agua proveniente de la descarga de inodoros y también el agua proveniente del lavado personal, lavandería, preparación de alimentos y limpieza de la cocina (Mara D.,2003) los contaminantes se encuentran presentes en bajas concentraciones (Roeleveld & Zeeman, 2006), suelen tener gran cantidad de microorganismos y materia orgánica, así como también restos de detergentes, jabones, gras y lejía (Espigares & Pérez, 1985). Los tratamientos anaeróbicos son cada vez más reconocidos mundialmente como método de una avanzada tecnología para la

protección de la salud y el medio ambiente, junto con otros métodos apropiados llegan a ser sistemas de tratamiento sostenibles y apropiados para el desarrollo de los países que lo utilizan (Seghezzo ,2004)

Importancia del tratamiento de aguas residuales

El agua es un medio indispensable para el progreso de cualquier actividad, esta puede ser industrial, agraria y urbana, y su uso es afín al crecimiento económico y social del país. (Mass & Medrano, 2013). El mayor problema según la Organización de Naciones Unidas es la crisis del agua, que ya va afectando a casi 25 países incluyendo el Perú, se está agotando la fuente natural de agua, es por ello que el tratamiento de AR juega un papel substancial (Essays UK., 2013). Existen enormes volúmenes de AR que son vertidas directamente a las masas de agua, el impacto que causan es muy grave (Wright , 2014), cuando las aguas residuales no son tratadas y se acumulan, producen gases malolientes, asimismo contienen gran cantidad de microorganismos patógenos (Tchobanoglous et al., 2003), es por ello que se necesita eliminar los contaminantes de AR para proteger la salud pública y el medio ambiente (Environmental Finance Center,2013).

Tratamientos Anaeróbicos

Los tratamientos anaeróbicos de aguas residuales combinado con correcto post tratamiento es la solución más adecuada para proteger al ambiente (Lettinga et al., 1993). Estos procesos son importantes ya que tienen efectos positivos como; eliminación de una mayor carga orgánica, baja elaboración de lodos y alta eliminación de patógenos, obtención de gas metano y bajo consumo de energía (Nykova et al., 2002).

Otro beneficio que posee este tratamiento es la reducción del total de biosólidos en un 50-80%, lo cual es mayor que en los procesos aerobios, además en los tratamientos anaerobios el lodo es biológicamente estable y puede usarse como fertilizante en la agricultura (Gate- Technical Information W3e, 2001). Los tratamientos anaeróbicos proporcionan grande ventajas sobre los métodos aeróbicos convencionales, los costos elevados de aireación y manejo de lodos, se reducen notablemente en tratamientos anaeróbicos (Seghezzo et al., 1998).

Tipos de tratamientos anaeróbicos

Dentro los principales tipos de sistemas anaerobios se encuentran las lagunas, es un embalse profundo, principalmente libre de oxígeno disuelto, lo cual promueve las condiciones anaerobias, teniendo un mejor resultado a mayor profundidad (EPA, 2002); reactores de film fijo (filtros anaerobios), es un reactor biológico de lecho fijo con una o más cámaras de filtración en serie. A medida que las aguas residuales fluyen a través del filtro, las partículas quedan atrapadas y la materia orgánica se degrada por la biomasa (Tilley et al., 2014) y reactores UASB.

Reactor Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB)

El reactor UASB es un reactor muy eficiente para cortos tiempos de retención (< 8 horas), es usado como tratamiento primario para el tratamiento de AR domésticas y de alta resistencia biodegradable industrial y agroindustrial.(Mara, 2003). Los sistemas anaeróbicos como tales no eran usados regularmente, hasta que apareció el reactor UASB a principios de los 70, es por mucho el método más conveniente, económico, fácil de operar y controlar, para el tratamiento de AR (Chernicharo et al., 2015). Los reactores UASB son por mucho los reactores anaeróbicos más eficientes para el tratamiento de

AR (Sayed & Fergala , 1995), alrededor del mundo existen más de 1000 reactores UASB (Chernicharo et al., 2015). La mayoría de las ventajas y desventajas del reactor UASB están de acuerdo con las ventajas y desventajas enumeradas para los reactores anaeróbicos industriales (van Lier et al., 2008)

Ventajas del reactor UASB

Algunas de las ventajas de usar un reactor UASB son que, esta tecnología no requiere algún suministro energético a comparación de los tratamientos convencionales (Gandarillas et al.,2017), también se ha demostrado que tiene una gran efectividad en pequeña y gran escala (Mahmoud, 2002), el CH₄ producido se puede utilizar para la elaboración de electricidad (Hernandez & Rodriguez,2013), no utiliza equipos de alta tecnología (Chernicharo, 2015) y adicionalmente proporciona una alta eficiencia de eliminación incluso a altas y bajas temperaturas, entonces requiere un volumen de reactor más bajo (Haandel & Lettinga, 1994).

Desventajas del reactor UASB

Las desventajas del uso de la tecnología del reactor UASB son que, a pesar de convertir la mayor parte de la materia orgánica en CH₄, es un tratamiento parcial (Chernicharo, 2015), los gases reducidos que se disuelven en el efluente pueden escapar causando problemas de olor , como el H₂S (Oliveira & Von Sperling, 2009), se requiere un tiempo de arranque prolongado debido a la lenta tasa de incremento de microorganismos en caso de que el lodo activado no esté ampliamente disponible (Álvarez , 2006), por último requiere un post tratamiento adecuado para cumplir con los criterios de reutilización

(Gandarillas et al.,2017). En el caso de regiones frías necesita mantener temperatura entre (15°C – 35°C) para que no se vea afectado el rendimiento (Lettinga et al., 2001).

Proceso en el reactor UASB

Las AR a tratar se introducen desde la parte inferior del reactor y fluyen hacia arriba a través de una capa de lodo biológicamente activado, que generalmente está en forma de agregados granulares (Kalyuzhnyi et al., 1996). Para la duración del flujo ascendente se mueve en el curso de mayor concentración de biomasa en el lecho de lodos, donde el contaminante orgánico es digerido anaeróbicamente. El carbono orgánico es cambiado a biogás (principalmente dióxido de carbono y metano) debido a la mayor liberación de los microbios aunque una pequeña cantidad de biomasa también es formada (Quaff, 2014).

La fase metabólica implicada en la realización del biogás de las aguas residuales se produce anaeróbicamente en siguientes etapas:

- Hidrolisis: Para que las bacterias en el reactor UASB puedan aprovechar el potencial energético de las aguas residuales, deben descomponerse en compuestos orgánicos simples (monómeros) y solubles, como ácidos grasos, azúcares y aminoácidos, esto ocurre en la hidrólisis (Aiyuk, 2006).
- Acidogénesis : Los monómeros producidos traspasan la pared formada por las bacterias acidogénicas para fermentarse, eso produce ácidos grasos volátiles y acetatos, además produce amoniacó , dióxido de carbono y sulfuro de hidrógeno (Powar , 2013)

- **Acetogénesis:** En esta etapa, los productos producidos en la fase de acidogénesis se convierten en acetato, hidrógeno y CO, y en nuevo material celular (van Lier et al., 2008)
- **Metanogénesis:** Finalmente ocurre el proceso biológico de metanogénesis, en esta etapa los metanógenos usan los resultados de las etapas anteriores y los transforman en dióxido de carbono, metano y agua (Escalera, 2012)

Los gases producidos en condiciones anaeróbicas causan una mezcla interna, que ayuda en la formación y mantenimiento de los gránulos biológicos, sin embargo, parte del gas producido en la capa de lodo se une a los gránulos, y se agrega un separador gas-líquido-sólido (GLSS) en la parte superior del reactor para la segregación efectiva de gas, líquido y gránulos. (Khan , 2011) En GLSS, las partículas rodeadas de gas golpean con el fondo de los deflectores de desgasificación y vuelven a caer en la capa de fangos y el agua tratada sale del reactor (Zeeman et al., 2000)

Este método se está utilizando con éxito en los países de clima tropical y con buenos resultados en países de clima subtropical y regiones templadas; por otro lado en los climas fríos, la eficiencia del tratamiento se ve afectada considerablemente (Seghezzo, 2004), ya que la temperatura no solo influye en las actividades metabólicas de los microorganismos anaeróbicos, sino también, la producción de gas, y las características de sedimentación (van Haandel & Lettinga, 1994). Los reactores UASB reemplazan el tratamiento primario y secundario convencional con la digestión de lodos, pero sus efluentes requieren un tratamiento posterior para cumplir con la mayoría de los requisitos reglamentarios de descarga o reutilización (Oakley et al., 2017).

Entradas y Salidas del reactor UASB

Los reactores de manto de lodos anaeróbicos pueden ser usados para tratar distintas variedades de aguas residuales, es por ello que las entradas pueden variar (Fig.1) depende del tipo de agua residual (Lettinga et al., 1980). Esta tecnología es usada como tratamiento primario y secundario y digestión de lodos anaerobios, entonces solo recibe aguas residuales que han pasado por la detección y la eliminación de arenilla, los efluentes sin embargo aún poseen una concentración alta de DBO₅ en comparación con tratamientos secundarios convencionales, es decir la eliminación del 50% - 70%, en comparación con los métodos convencionales, que eliminan 85% - 95% (Oakley et al., 2017).

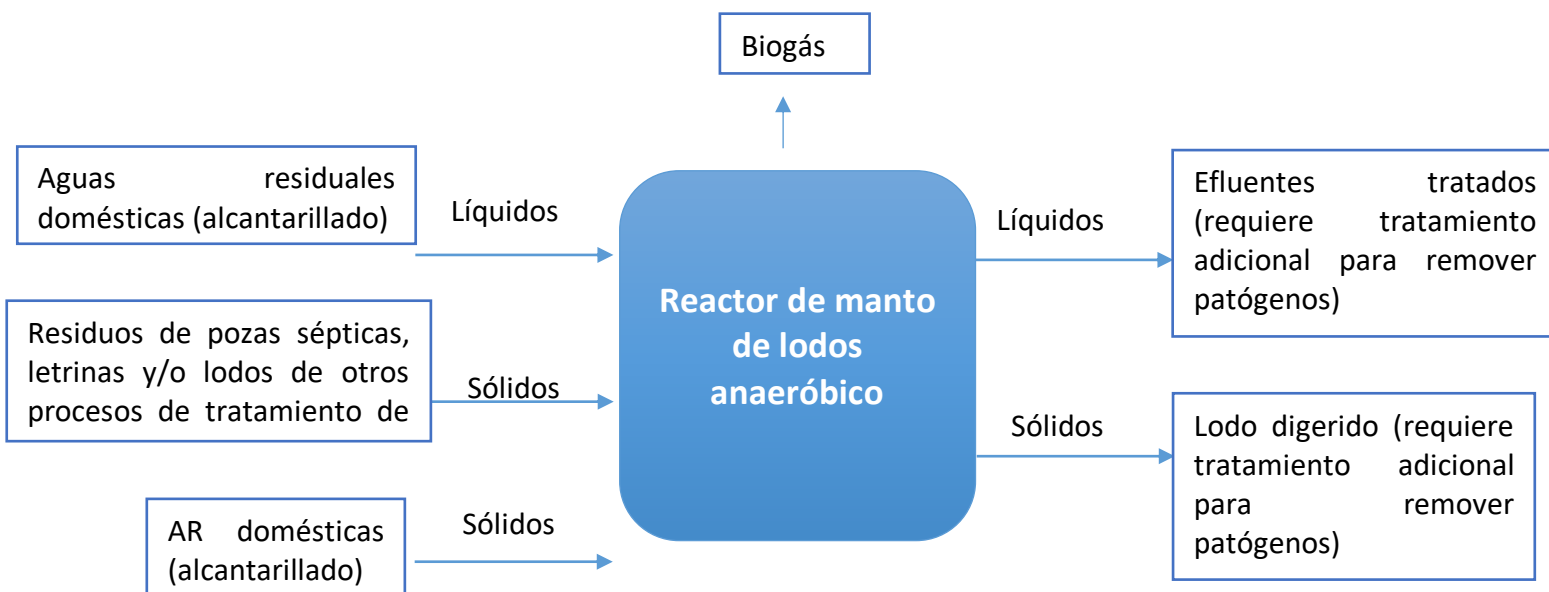


Fig 1. Entradas y salidas de los reactores UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket)

Fuente: (Oakley, 2017)

Parámetros importantes que afectan a la eficiencia del reactor UASB

Existen diversos parámetros que afectan directamente la eficiencia del reactor UASB como la temperatura, la cual presenta un efecto sobre los microorganismos presentes en el lodo granular que se utiliza en este método (Sepúlveda , 2002), y está directamente relacionada a la eficiencia (Bogte et al., 1993), tenemos también el tiempo de retención hidráulica (TRH), este afecta significativamente al tiempo de arranque de los reactores UASB (Lara, 1995), el aumento de la tasa de carga orgánica aumenta la eficiencia de esta tecnología (Ren, 2009), la estabilidad del pH para el reactor UASB es de suma importancia , ya que la fase de metanogénesis solo ocurre cuando el pH se mantiene neutral, en el rango de 6.3 – 7.8 (van Haandel and Lettinga, 1994), los periodos largos de TRH no son favorables para el desarrollo de lodos granulares (Batstone D., 2005) y por último el mezclado el cual ofrece un tiempo de contacto adecuado entre los microbios y el agua residual (Kaparaju et al, 2008). Además aumenta la producción de biogás (Karim et al, 2005)

Requisitos de post tratamiento

Los reactores UASB no aseguran la eliminación de la materia orgánica restante, ni los patógenos. Es por eso, que se requiere un tratamiento posterior para mejorar la calidad del efluente de acuerdo a los estándares de irrigación (Alonso et al., 2004). Uno de los sistemas exitosos para el post tratamiento son los estanques de pulido, estos son sistemas naturales los cuales se utilizan principalmente como estanques de maduración (Tawfik et al., 2010) para la

eliminación de patógenos, nitrógeno y materia orgánica restante del reactor UASB (Possmoser-Nascimento et al, 2014). El uso de tecnología anaerobio para el tratamiento y aerobio para el post tratamiento, como el lodo activado en un reactor UASB para el tratamiento de AR municipales, y el post tratamiento con estanques de maduración, junta los beneficios de ambos sistemas en una disposición económica. (Von Sperling et al, 2001).

CONCLUSIONES

En conclusión, podemos afirmar que los métodos anaeróbicos representan la mejor alternativa para el tratamiento de AR domésticas, donde el más eficiente son los reactores UASB, los cuáles se pueden implementar con alto porcentaje de eficiencia y a bajo costo. Los reactores UASB solo funcionan como tratamiento primario, esto quiere decir que se requieren un post- tratamiento, esto aumenta la eficiencia del tratamiento de los efluentes, esta tecnología suele ser más eficientes en climas templados o calurosos, es por ello que se usan en zonas donde la temperatura sea alta. Sin embargo, con modificaciones especiales se puede utilizar este método en zonas frías. Por último al igual que todos los tratamientos existentes, los reactores UASB dependen de ciertos parámetros para aumentar o disminuir su eficiencia, como son el pH, la carga orgánica, la temperatura, el tiempo de retención hidráulica (TRH), el lodo granular y el mezclado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aiyuk S., Forrez I., Lieven D., van Haandel A., Verstraete W.,(2006) Anaerobic and complementary treatment of domestic sewage in regions with hot climates: A review. *Bioresource Technology*, vol. 97, no. 17, pp 2225-2241, 2006.
- AR. Quaff, S. Mondal and A. Tiwari (2014) Sewage Treatment Using Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor in India, *International Journal of Advanced Research*, Volume 2, Issue 4 ,777-781.
- Autoridad Nacional del Agua (2013). Situación actual y perspectivas en el Sector Agua y Saneamiento en el Perú. Trabajo presentado en el Seminario de Tecnología alemana en el rubro de Agua y Saneamiento. Lima: Autoridad Nacional del Agua. Recuperado de: [http:// www.camara-alemana.org.pe/downloads/2-130311-ANA.pdf](http://www.camara-alemana.org.pe/downloads/2-130311-ANA.pdf).
- Bogte, J.J., Breure, A.M., van Andel, J.G., and Lettinga, G. (1993), Anaerobic treatment of domestic wastewater in small scale UASB reactors, *Water Science and Technology* 27(9), 75-82.
- Chernicharo, C. A. L., van Lier, J. B., Noyola, A., & Bressani Ribeiro, T. (2015). Anaerobic sewage treatment: state of the art, constraints and challenges. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 14(4), 649–679. doi:10.1007/s11157-015-9377-3
- Crites , R., & Tchobanoglous, G. (2000). *Tratamiento de Aguas residuales en pequeñas poblaciones*. Bogotá: McGraw-Hill.

D. J. Batstone, J. L. A. Hernandez, and J. E. Schmidt, (2005) "Hydraulics of laboratory and full-scale upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactors," *Biotechnology and Bioengineering*, vol. 91, no. 3, pp. 387–391.

E. Metcalf and I. Eddy (2003) *Wastewater Engineering Treatment and Reuse*, McGraw-Hill Education, New York, NY, USA, 4th edition.

Environmental Finance Center (2013) *Wastewater Management Handbook for Local Representatives*.

Espigares García, M., & Pérez López, J. (1985). *Aspectos sanitarios del estudio de las aguas*. Granada.

Essays, UK. (November 2013). The Importance Of Wastewater Treatment Environmental Sciences Essay. Retrieved from <https://www.ukessays.com/essays/environmental-sciences/the-importance-of-wastewater-treatment-environmental-sciences-essay.php?vref=1>

G. Lettinga, A. de Man, A. R. M. van der Last, W. Wiegant, K. van Knippenberg, J. Frijns, J. C. L. van Buuren; (1993) Anaerobic Treatment of Domestic Sewage and Wastewater. *Water Sci Technol*; 27 (9): 67–73. doi: <https://doi.org/10.2166/wst.1993.0179>

Gandarillas R., Vanessa, S., O., Escalera, R., & Montoya, R. (2017). Revisión de las experiencias en el tratamiento de aguas residuales domésticas mediante reactores UASB en Cochabamba-Bolivia comparadas con las de Latinoamérica, India y Europa. *Investigación & Desarrollo*, 1(17), 83-98.

Gate- Technical Information W3e (2001). Anaerobic methods of municipal wastewater treatment

Instituto Nacional de Estadística e Informática (2010), "Perú: Mapa del Déficit de Agua y Saneamiento Básico a Nivel Distrital, 2007".

Instituto Nacional de Estadística e Informática (2015) Perú: Anuario de Estadísticas Ambientales 2015. Lima, Perú

Instituto Nacional de Estadística e Informática (2016) Anuario de Estadísticas Ambientales 2016. Lima, Perú.

K. Karim, R. Hoffmann, K. T. Klasson, and M. H. Al-Dahhan, (2005) "Anaerobic digestion of animal waste: Effect of mode of mixing," *Water Research*, vol. 39, no. 15, pp. 3597–3606.

Kalyuzhnyi S., Sklyar V., Davlyatshina M. (1996) "Organic removal and microbiological features of UASB-reactor under various organic loading rates," *Bioresource Technology*, vol. 55, no. 1, pp. 47–54.

Lara M., Noyola A., & Guyot J. (1995) "Efecto del tiempo de retención hidráulica (TRH) sobre el arranque y operación de reactores UASB

Larios-Meño J., González C. & Morales Y. (2015) *Las aguas residuales y sus consecuencias en el Perú*. Universidad San Ignacio de Loyola

Lettinga G., Rebac S., & Zeeman G.,(2001) "Challenge of psychrophilic anaerobic wastewater treatment," *Trends in Biotechnology*, vol. 19, no. 9, pp. 363–370.

Lettinga G., van Nelsen A., Hobma S., de Zeeuw W., & Klapwijk A. (1980) Use of the upflow sludge blanket (USB) reactor concept for biological wastewater treatment, especially for anaerobic treatment. *Biotechnology and Bioengineering*, vol. 22, pp. 699- 734, 1980.

M. M. Powar, V.S. Kore, S.V. Kore and G.S. Kulkarni, (2013) Review on Applications of

UASB Technology for Wastewater Treatment. *International Journal of Advanced Science, Engineering and Technology*. vol. 2, no. 2, pp. 125-133.

Mara, D. (2003) Domestic Wastewater Treatment in developing countries. Earthscan. London.

Mass, K., & Medrano, Y. (2013). *TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES A PARTIR DE DIGESTIÓN*. Cartagena.

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2016), "Reporte de monitoreo de calidad de efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales del 2016", Lima, Perú

Nykova N., Muller T. G., Gyllenberg M., Timmer J. (2002). Quantitative analyses of anaerobic wastewater treatment processes: identifiability and parameter estimation. *Biotechnology and Bioengineering*, 78, (1), 89-103.

Oakley, S., von Sperling, M., Verbyla, M. (2017). Anaerobic Sludge Blanket Reactors. In: J.B. Rose and B. Jiménez-Cisneros, (eds) Global Water Pathogens Project. <http://www.waterpathogens.org> (C. Haas, J.R. Mihelcic and M.E. Verbyla) (eds) Part 4 Management Of Risk from Excreta and Wastewater) <http://www.waterpathogens.org/book/anaerobic-sludge-blanket-reactors> Michigan State University, E. Lansing, MI, UNESCO.

Oliveira S. & Von Sperling M. (2009) "Performance evaluation of UASB reactor systems with and without post-treatment," *Water Science and Technology*, vol. 59, no. 7, pp. 1299–1306.

- Organización de Evaluación y Fiscalización Ambiental. (2014). *Fiscalización Ambiental en Aguas Residuales*. Lima.
- P. Kaparaju, I. Buendia, L. Ellegaard, and I. Angelidakia, (2008) "Effects of mixing on methane production during thermophilic anaerobic digestion of manure: lab-scale and pilot-scale studies," *Bioresource Technology*, vol. 99, no. 11, pp. 4919–4928.
- Palacios, F. (1991). *Proyecto Ecológico e Hidráulico de Tratamiento de Aguas Residuales*. Lima.
- Possmoser-Nascimento T., V. A. J. Rodrigues, M. Sperling, & J.-L. Vassel, (2014) "Sludge accumulation in shallow maturation ponds treating UASB reactor effluent: results after 11 years of operation," *Water Science and Technology*, vol. 70, no. 2, pp. 321–328.
- Rizvi H., Ahmad N., Yasar A., Bukhari K. & Khan H., (2013) "Desinfection of UASB-treated municipal wastewater by H₂O₂, UV, ozone, PAA, H₂O₂/sunlight, and advanced oxidation processes: regrowth potential of pathogens," *Polish Journal of Environmental Studies*, vol. 22, no. 4, pp. 1153–1161.
- Roeleveld, K., & Zeeman, G. (2006). Anaerobic treatment in decentralised and source separation-based sanitation concepts. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*.
- Rolim, M. (2000). *Sistemas de Lagunas de Estabilización*. Colombia: McGraw-Hill Interamericana.
- Romero, J. (2005). *Lagunas de estabilización de aguas residuales*. Bogotá: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Sayed S. & Fergala A. (1995) Two-stage UASB concept for treatment of domestic sewage

including sludge stabilization process. *Water Science and Technology*, 32(11).

doi:10.1016/0273-1223(96)00118-7

Seghezzi, L. (2004) “Anaerobic treatment of domestic wastewater in subtropical regions”. Wageningen University.

Seghezzi, L., Zeeman, G., van Lier, J. B., Hamelers, H. V. M., & Lettinga, G. (1998). A review: The anaerobic treatment of sewage in UASB and EGSB reactors. *Bioresource Technology*, 65(3), 175–190. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(98\)00046-7](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(98)00046-7)

Sepúlveda J., Gutiérrez E., Mármol Z. & Blanco E. (2002) “Efecto de la variación de la temperatura en un reactor UASB termofílico tratando aguas de formación”. Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental.

SUNASS (2011) “Estudio tarifario determinación de la fórmula tarifaria, estructura tarifaria y metas de gestión aplicable a la entidad prestadora de servicios de saneamiento Grau sociedad anónima EPS GRAU S.A.”.

SUNASS (2015) “Diagnóstico de las plantas de tratamiento de aguas residuales en el ámbito de operación de las entidades prestadoras de servicios de saneamiento”

SUNASS (2016) El Rol de la SUNASS antes la problemática generada por aguas residuales. Foro Temático

T.-T. Ren, Y. Mu, B.-J. Ni, and H.-Q. Yu, (2009) “Hydrodynamics of upflow anaerobic sludge blanket reactors” *AIChE Journal*, vol. 55, no. 2, pp. 516–528.

- Tawfik, F. El-Gohary, and H. Temmink, “*Treatment of domestic wastewater in an up-flow anaerobic sludge blanket reactor followed by moving bed biofilm reactor*” *Bioprocess and Biosystems Engineering*, vol. 33, no. 2, pp. 267–276, 2010.
- Tchobanoglous G., Burton F. & Stensel D. (2003) *Wastewater Engineering Treatment and Reuse*. 4th Edition
- TILLEY, E. ULRICH, L. LUETHI, C. REYMOND, P. ZURBRUEGG, C. (2014). *Compendium of Sanitation Systems and Technologies*. 2nd Revised Edition. Duebendorf, Switzerland: Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag)
- Tiwari, M., Guha, S., Harendranath, C., Tripathi, S., (2006) *Influence of extrinsic factors on granulation in UASB reactor*. *Applied Microbiology and Biotechnology* 71 (2), 145e154.
- van Haandel, A.C. and Lettinga, G. (1994), *Anaerobic sewage treatment. A practical guide for regions with a hot climate*, John Wiley & Sons Ltd., Chichester, UK
- Van Lier J. , Mahmoud N. & Zeeman G.(2008) “*Chapter 16: Anaerobic Wastewater Treatment*”. *Biological Wastewater Treatment*
- Von Sperling M., Freire V., & De Lemos Chernicharo C. (2001), “Performance evaluation of a UASB-activated sludge system treating municipal wastewater,” *Water Science & Technology*, vol. 43, no. 11, pp. 323–328, 2001.
- Winter, P.-. (1996). *Small Community Wastewater Issues Explained to the Public*. National Small Flows - Clearinghouse, 7(1), 8. <https://doi.org/10.1007/s11214-007-9225-z>

Wright S. (2014) “The importance of Wastewater Treatment”. Marine Science Today

Zeeman G., Sanders W., & Lettinga G. (2000) “Feasibility of the on-site treatment of sewage and swill in large buildings,” Water Science and Technology, vol. 41, no. 1, pp. 9–16.