



FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES  
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL

“Aplicación del reactor para el tratamiento de aguas residuales y  
producción de biogás en zonas altoandinas”

Trabajo de Investigación para optar el grado  
académico de Bachiller en Ingeniería Ambiental

Presentado por:

Jenyfer Smith Sanchez (0000-0002-7873-1829)

Asesor:

Mag. Fernando Javier Chavez Zegarra (0000-0002-  
2606-6556)

Lima – Perú

2021



**RESOLUCIÓN DIRECTORAL ACADÉMICA DE CARRERA N° 157 -2021-DACIA-DAFCA-CIENTIFICA**

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES / CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL

Lima, 09 de junio de 2021

**VISTO:**

La revisión realizada y la aprobación de Trabajo de Investigación titulado: **Aplicación del reactor para el tratamiento de aguas residuales y producción de biogás en zonas altoandinas**, presentado por:

- **Jenyfer Smith Sanchez**

**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: **Aplicación del reactor para el tratamiento de aguas residuales y producción de biogás en zonas altoandinas** con N° de registro de la carrera: 0125-FCA-IAM.

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

Regístrese, comuníquese y archívese,

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

T// (51) 610 6738  
informes@cientifica.edu.pe  
cientifica.edu.pe

## **Aplicación del reactor anaerobio de flujo ascendente para el tratamiento de aguas residuales y producción de biogás en zonas altoandinas.**

Universidad Científica del Sur

[100014471@cientifica.edu.pe](mailto:100014471@cientifica.edu.pe)

### **RESUMEN**

El tratamiento de aguas residuales es vital en las zonas altoandinas por ser cuenca alta y en ocasiones cabeza de cuenca. Usualmente estas cuencas están contaminadas por descargas domésticas de zonas que no disponen de sistemas de recolección y disposición final de desagüe. El objetivo de esta revisión es determinar si la aplicación de un reactor anaerobio de flujo ascendente, denominado RAFA o UASB, es aplicable en el tratamiento de aguas residuales y producción de biogás en zonas altoandinas. La propuesta de utilizar un reactor UASB resulta interesante pues es una tecnología de bajo costo, requieren poco espacio para su instalación y provee de biogás. Entre sus desventajas se encuentran: una etapa de inicio muy larga, poco rendimiento en remoción de parámetros biológicos (coliformes totales), químicos (nitrógeno total y fósforo total) y sensibilidad a condiciones psicrófilas (10°C -20°C). Siendo la última desventaja, una característica de las zonas altoandinas. Se estudió también tecnologías complementarias que incluyan a los reactores UASB complementados con otros métodos de tratamiento de aguas residuales para la mejora de su rendimiento. Se concluye que es importante tener en cuenta que esta tecnología es principalmente usada para aguas de alta carga orgánica y la

remoción de otros parámetros como metales pesados, requerirían de un post-tratamiento. Con respecto al biogás, este tiene el potencial de recircular para generar energía al propio sistema, la producción de metano, componente del biogás aumenta al adicionar un proceso de co-digestión y la generación de lodos estables simplifica su disposición final.

## **ABSTRACT**

Wastewater treatment is vital in the high Andean areas because they are an upper basin and sometimes the head of the basin. Usually these basins are contaminated by domestic discharges from areas that do not have collection and final drainage systems. The objective of this review is to determine if the application of an upflow anaerobic reactor, called RAFA or UASB, is applicable in wastewater treatment and biogas production in high Andean areas. The proposal to use a UASB reactor is interesting because it is a low-cost technology, requires little space for installation and provides biogas. Among its disadvantages are: a very long initial stage, little performance in the removal of biological parameters (total coliforms), chemicals (total nitrogen and total phosphorus) and sensitivity to psychrophilic conditions (10 °C -20 °C). Being the last disadvantage, a characteristic of the high Andean areas. Complementary technologies that include UASB reactors supplemented with other wastewater treatment methods were also studied to improve their performance. It is concluded that it is important to take into account that this technology is mainly used for waters with a high organic load and the removal of other parameters such as heavy metals, would require a post-treatment. Regarding biogas, it has the potential to recirculate to generate energy to the system itself, the production of methane, a component of the biogas

increases by adding a co-digestion process and the generation of stable sludge simplifies its final disposal.

## **INTRODUCCIÓN:**

El Perú sufre la contaminación de sus recursos hídricos a raíz de la minería ilegal, derrames de petróleo, vertimientos de aguas residuales municipales y agrícolas. En el caso de las regiones altoandinas de nuestro país, estas se ven principalmente afectadas por aguas residuales municipales y vertimientos de relaves mineros (Espinoza y Tinoco, 2017). Para ello el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, ha invertido 1745 millones de soles en Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) a lo largo del país (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2017).

Entre los tratamientos de aguas residuales existentes, los reactores anaerobios han presentado ventajas sobre otro tipo de tratamientos de aguas residuales, al generar un menor excedente de lodos y en algunos casos permiten la autonomía de las plantas de tratamiento, al generar biogás como fuente energética (Ruiz, Alvarez, y Soto, 2000). Por otro lado, sus bajos costos de mantenimiento y operación lo vuelven una alternativa a considerar para el tratamiento de aguas residuales domésticas en ciudades rurales del país (Espinoza y Tinoco, 2017).

Los reactores UASB son una de las principales alternativas para el tratamiento de aguas residuales anaerobias. Para el correcto funcionamiento de este tratamiento los principales factores a considerar son los cambios de carga orgánica e hidráulica del agua residual a tratar, el control de la temperatura y las variaciones del tiempo de retención hidráulico (Perez, Aldana, y Cardenas, 2012). Su operación consiste en degradar, de forma anaerobia, la materia orgánica

presente en los afluentes. Esto se realiza gracias a diversos grupos bacterianos de lento crecimiento. Por esta razón, es vital el cálculo previo del tiempo de retención hidráulica en el diseño del reactor (Arroyave, Gonzales y Gallego, 2005).

El siguiente trabajo plantea recopilar información y resultados acerca de la aplicación de reactores UASB para aguas residuales, principalmente domésticas, en condiciones psicrófilas y zonas a alta elevación sobre el nivel del mar. Ello con el fin de concluir si la aplicación de un reactor UASB puede ser efectiva para el tratamiento de aguas residuales domésticas a bajas temperaturas en zonas altoandinas de nuestro país.

## **BASES TEÓRICAS:**

### **Aplicación de reactores UASB**

El uso de los reactores UASB tiene como principio la formación de flóculos o gránulos en el interior, razón por la cual funcionan principalmente con aguas de alto contenido de materia orgánica. Estos flóculos aumentan el contacto del agua a tratar con los microorganismos, permitiendo una mejor degradación anaerobia (Pierre, J et al., 1992). Por estas condiciones, es necesario realizar un diseño estratégico que permita favorecer el proceso de granulación. A su vez mejorar la degradación de carga orgánica, también conocida como DQO (Terry, Fernández y Zelia, 2008).

Esta metodología se replicó en Cuba, en las vinazas producidas para generar etanol a través de caña de azúcar. Entre sus resultados obtuvo una remoción de aproximadamente el 90% de forma independiente y alcanzado 93% al adicionarse un filtro anaerobio de flujo ascendente. Las condiciones más

estables las alcanzó cuando la carga orgánica volumétrica se encontraba en el rango de 3 a 10 kgDQO/ m<sup>3</sup>.d (Cabrera, Urbano, Pereda, Díaz, y Chávez, 2017).

De manera similar en la industria láctea, una de las que más carga orgánica presenta en sus efluentes, el uso de reactores UASB mostró eficiencia considerable. Por ejemplo, en el efluente generado por la Planta Piloto de Leche de UNALM se logró la reducción de valores superiores a 70% en el parámetro de DQO (Morales,2014). El uso de este reactor en el tratamiento de agua residual de suero de queso, logró alcanzar hasta una remoción del 84,6% de DQO (Mainardis and Goi, 2019).

Otros sustratos utilizados en pruebas de reactores UASB fueron aguas residuales provenientes de la pulpa de papel. Sin embargo, no logró una alta eficiencia, alcanzando una remoción de la carga orgánica del 53,6% (Mainardis and Goi, 2019).

Por otro lado, en una residencia universitaria de Cuba se comparó un tratamiento de lagunas anaerobias y un tratamiento de UASB. Estos tratamientos se realizaron en la época de verano a unos 28°C y durante dos meses. Ambos tratamientos anaerobios lograron una gran eficiencia en remover la carga orgánica o DQO (Demanda química de oxígeno) del agua y disminuir los coliformes totales en casi un 75% a la cantidad inicial (Crombet, Abalos, Rodríguez, y Pérez, 2016).

### **Casos de uso en aguas a bajas temperaturas**

Son mayoritariamente zonas de clima cálido- tropical en las que realizan estudios de reactores UASB. En estas condiciones los resultados son positivos,logrando una remoción de demanda química de oxígeno (DQO) de 65%- 85%, parámetro



principalmente evaluado en la aplicación de esta tecnología (Lettinga et al., 1983). Sin embargo, a temperaturas mesofílicas y psicofílicas existen menos estudios. Esta tecnología requiere de mejoras en el diseño, monitoreo y posibles métodos complementarios para lograr resultados óptimos. No obstante, sí existe estudios que comprueban la efectividad de los reactores UASB bajo estas condiciones: En Holanda, un país de clima frío, se comparó la eficiencia del reactor UASB con un reactor UASB-digestor en la reducción de parámetros de aguas residuales a bajas temperaturas (Mahmouda, Zeemana, Gijzenb, y Lettingaa, 2004).

Con el fin de mejorar el desempeño de los reactores UASB en condiciones psicofílicas se utilizaron metodologías complementarias. Por ejemplo, el proceso de co-digestión utilizado en aguas residuales municipales de Bennekom- Holanda a 15°C, mediante la transferencia de lodos digeridos al fondo del reactor logró alcanzar un 40% de reducción para el parámetro de COD (Zhang et al, 2013).

Para maximizar la eficiencia del tratamiento UASB, se utilizó 3 reactores simultáneamente, controlando la temperatura a condiciones psicofílicas en tres fases de: El Torno – España. Con una fase inicial de adaptación, una segunda a 19°C y la tercera a 17°C, se logró una reducción de hasta el 73% de DQO en un TRH de 14 horas (Serrano et al, 2018).

Adicionalmente a las variaciones en el diseño de los reactores, se probó un aumento de la edad de los lodos, para diferentes reactores de 25°C, 20°C, 15°C y 12°C. Los últimos reactores, al simular condiciones psicofílicas, lograron aumentar su eficiencia al presentar una edad de lodos de 100 días reduciendo



aproximadamente un 57% de DQO a 15°C y un 55% a 12°C (dos Santos, Morais, van Haandel, 2018).

La adición de 25 g / L carbono activado granulado, fue evaluada en Canadá para mejorar la eficiencia de los reactores UASB con un efluente entre 16,5° y 20°C incrementando de 64,6% a 82,6% la remoción de DQO total. De igual forma, la producción de metano mejoró de 87 a 218 mg de CH<sub>4</sub> -COD / reactor / día (Zhang et al., 2020).

### **Casos de uso en zonas altoandinas**

En el caso de los valles de Cochabamba- Bolivia; se demostró que la tecnología UASB era favorable para tratar sus aguas residuales y a su vez producir biogás en las condiciones atmosféricas de la zona. Esto hace que el tratamiento se muestre potencialmente sostenible (Gandarilla, Saavedra, Escalera y Montoya, 2017).

Con un clima similar al mencionado en Bolivia, en la región de Puno, se diseñó un sistema a escala piloto de la tecnología UASB-reactor, que previamente se determinó como la más adecuada para las condiciones de 3800m.s.n.m y a una temperatura ambiental promedio de 15,7°C. En este estudio se logró,

en la etapa de mayor eficiencia, una remoción del 52,3% de DQO total y 57% de DBO<sub>5</sub>. (Quispe, 2014).

De la misma forma, en Puno se evaluó la eficiencia de un reactor UASB, pero esta vez enfocado en la remoción de huevos de helminto. Se utilizó un reactor acrílico de 29 L logrando una reducción de hasta el 95% de huevos de helminto y una producción de 16-34 NL/kg de metano (Yaya-Beas et al, 2016).

En otro estudio en la ciudad de Puno, se evaluó a escala piloto el diseño de un reactor UASB con tiempos de retención hidráulica de 6,8,10,12 y 14 horas. En su máxima eficiencia logró una remoción de 50,8% de carga orgánica, 74% sólidos suspendidos totales (SST), 16,3% sólidos totales (ST), 12,4% sólidos disueltos totales (SDT), 43,3% sólidos volátiles totales (SVT), 62,8%, DQO totaly 69% DBO5. Con respecto a la producción de metano, generó en promedio 1113 ml/día (Gomero, 2018).

### **Ventajas y desventajas de la aplicación**

Entre las principales ventajas que la tecnología de los reactores UASB presenta, es la poca demanda de área. Esto favorece a zonas altamente urbanizadas con poco terreno disponible o para un tratamiento interno dentro de una planta industrial. En tal sentido, los costos de operación son poco elevados y el requerimiento energético es bajo (Bedoya y Sánchez, 2009).

Los reactores UASB en condiciones psicrófilicas pueden reducir entre el 95 y 97% de la DQO de sus efluentes, además de una reducción de la DBO5 y huevos de helmintos en TRH prolongados (Mainardis y Goi, 2019) (Yaya-Beas et al, 2016). Con el uso de lodo granular los TRH pueden reducirse, además puede tratar mayores volúmenes de aguas residuales en el mismo tamaño de reactor (Serrano et al, 2018).

Además, los reactores anaerobios de flujo de mantos ascendentes, pueden tener el potencial de producir metano, siendo este una fuente de energía alternativa, que adicionalmente puede reducir costos energéticos a partir del aprovechamiento del biogás producido (Lorenzo y Obaya, 2006. Con la aplicación de una co-digestión la producción de metano en el reactor UASB

puede aumentar en más del 90% llegando a producir 19,3 g de CH<sub>4</sub> -COD tras un periodo de co-digestión (Zhang et al, 2013).

Por otro lado, los lodos utilizados en estos reactores son estabilizados y reducidos. Pueden mantenerse por periodos largos de tiempo sin alimentación, además de ser fácilmente drenables. reducen (Lorenzo et al., 2006). Esto a su vez genera facilidades para el tratamiento posterior de los lodos y les brinda un potencial de reutilización como abonos orgánicos (Loja y Quezada, 2017).

No obstante, las principales dificultades que presenta la aplicación de un reactor UASB están relacionadas con el periodo de adaptación. En condiciones psicrófilas el tiempo de retención de lodos extiende hasta 150 días (Yaya-Beas et al, 2016). Las bacterias anaerobias, presentan baja velocidad de crecimiento, y solo son posibles de obtener en lodos con elevada actividad biológica. Para ello se debe esperar un largo tiempo de adaptación por parte de los microorganismos. solamente es posible obtener lodos con elevada actividad biológica después de un largo tiempo de adaptación (Lorenzo et al., 2006).

Otra de las dificultades de este tratamiento está relacionada al TRH (tiempo de retención hidráulico). A bajas temperaturas, los TRH cortos no se pueden utilizar debido a la sobrecarga de DQO (Khanh et al, 2011). En ocasiones es necesario un control de la temperatura o la aplicación de un periodo de adaptación mesófilico antes de someter al reactor a condiciones psicrófilas (Serrano et al, 2018).

Adicionalmente los reactores UASB, presentan deficiencias en la remoción de otros parámetros diferentes a los DQO, DBO<sub>5</sub> y sólidos totales. La combinación de UASB con lodos activados aerobios presenta mejores resultados en reducción

total de parámetros. Ambas tecnologías aplicadas juntas disminuyen en alto porcentaje los sólidos totales, DQO, DBO5 y los coliformes y en menor porcentaje elementos como N y P total (Van Haandel, y Lettinga;1994). Estos reactores requieren la implementación de tratamientos adicionales o complementarios para recuperar eficiencia o disminuir parámetros como N total, P total y PO4 (Torres, 2012) (Mahmouda, Zeemana, Gijzenb, y Lettingaa, 2004).

En el caso de coliformes totales, los reactores UASB no reducen significativamente este parámetro por lo que se requiere de un tratamiento posterior (Yaya-Beaset al, 2016). Frente a altas concentraciones de grasas o lípidos, los reactores UASB sufren serios problemas en el comportamiento de éstos, debido a que son difíciles de biodegradar. Esto puede terminar generando una toxicidad en el reactor y las aguas contenidas en él (Terry, Fernández, y Zenia, 2008).

La baja temperatura de las aguas residuales se considera un factor que contribuye al bajo rendimiento, aumento de las fracciones de DQO en el efluente y disminución de la fracción de metano (dos Santos, Morais, van Haandel, 2018). La aplicación de tecnologías complementarias para recuperar el rendimiento de los reactores UASB puede aumentar los costos de operación.

### **Estudio del TRH (Tiempo de retención hidráulica)**

El TRH es el tiempo promedio en el que permanece el efluente dentro del digestor, es decir el tiempo que tarda en salir en las condiciones esperadas. En el caso de las aguas residuales, el tiempo depende de factores como el caudal, características del sustrato y la tecnología aplicada (Hernández, 2015).

Otros factores que afectan el TRH pueden ser las rutas de flujo que estos sigan

y las características de mezcla del reactor (Grady et al., 2011). Es importante tener en cuenta estas características mencionadas, pues frente a aguas residuales de bajas temperaturas, una mejora en el diseño y las rutas de flujo puede aumentar la eficiencia del reactor. No obstante, esta mejora se ve limitada pues dichas características tienen una dependencia directa con la temperatura.

El desempeño hidráulico de los reactores UASB no solo se puede conseguir con la implementación de tratamientos complementarios, también con diseños arquitectónicos innovadores. Por ejemplo, se propone utilizar un modelo de dispersión axial. Este modelo obtuvo mejores resultados que los modelos convencionales del reactor UASB como el flujo de pistón (Pérez, Aldana, y Rojano, 2016).

Las investigaciones actualmente continúan evaluando la estabilidad del reactor UASB específicamente en el ámbito industrial, para lo cual se busca optimizar el TRH en diferentes condiciones (Lu, et al., 2015). En el caso de aguas residuales domésticas se debe tener en consideración la carga orgánica y las condiciones mesofílicas y psicrófilicas.

La disminución del TRH implica también una disminución en la remoción de DQO en condiciones mesofílicas. Sin embargo, la producción de biogás presentó un comportamiento inversamente proporcional al TRH. No obstante, si las condiciones de pH y alcalinidad se mantienen estables, esta disminución no es significativa (Caldera, Madueño, Griborio, Guitiérrez, y Fernández, 2003).

### **Producción de biogás en reactores UASB**

Los tratamientos anaerobios del reactor de flujo ascendente presentan una alta

remoción de orgánica, producción de biogás para generación de energía incluso ante limitaciones de sustrato (Martinez, Herrera, Guitierrez, y Bello, 2016). Este biogás recuperado de la transformación de los componentes de aguas residuales, contiene aproximadamente: 55-70% de metano, 30-40% de CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono) y pequeñas cantidades de N<sub>2</sub> (nitrógeno), H<sub>2</sub> (hidrogeno), H<sub>2</sub>S (ácido sulfhídrico), vapor de agua y otros gases química (Metcalf y Eddy, 2014). En China, la tecnología UASB se combina con un reactor Bach de secuencia para tratar aguas residuales particularmente de industrias ganaderas. En aguas residuales de 4000-5000 mg/l a temperatura bajas entre 9- 13°C, logró obtener una tasa de producción de biogás entre 0,2-0,3 m<sup>3</sup> (Deng, et al., 2017).

En el tratamiento de vertientes provenientes de industrias con alta carga orgánica, agricultura o aguas residuales municipales se generan sustratos ideales para la generación de biogás en un tratamiento anaerobio co-digestor (Yang, y et al., 2019).

El principal componente a recuperar del biogás es el metano, por su alto potencial energético y una opción para la mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero (González, Gato, Guillot, y Pires, 2015). La utilización de bolsas de muestreo de gas es común para la extracción de metano, adicionalmente la recolección de CH<sub>4</sub> se determina mediante desplazamiento de gas en matraces Mariotte con ayuda de NaOH al 16% con el fin de eliminar CO<sub>2</sub> (Yayas et al, 2016).

Para el análisis porcentual del metano, se puede utilizar una celda de flujo, cromatógrafo de gases con detector de ionización de llama o un medidor de gas tipo tambor (Khanh et al, 2011) (Mainardis and Goi, 2019)



Se manifiesta un aumento de producción de biogas en relación a la carga orgánica presente en el efluente (Dutta, Davies y Ikumi, 2018). Adicionalmente se identificó que la co-digestión favorece la producción de metano en los diferentes sustratos del afluente (Mainardis, Buttazzoni, & Goi, 2020).

### **Sostenibilidad del biogás y los lodos con el funcionamiento del reactor**

Los procesos generados en el tratamiento de aguas por bacterias anaerobias se dividen en: Hidrólisis, Acidogénesis, Acetatogénesis y Metanogénesis (Zeikus, 1980). Siendo parte de la tecnología, la degradación de materia orgánica por bacterias anaerobias se considera los procesos anteriormente mencionados. En el último proceso, denominado metanogénesis, se produce la descomposición de materia orgánica. Es gracias a esta descomposición que se genera el metano, principal en la investigación para la autosostenibilidad del reactor a bajas temperaturas.

Para que la producción de biogás se dé con normalidad, es ideal tener una temperatura mesofílica, es decir, 15°-35°C. Frente a temperaturas termofílicas disminuye el crecimiento celular bacteriano (Morales, Rivadeneira, y García, 2018). En el otro extremo, se buscan tecnologías complementarias como digestores de lodos previos para aumentar la temperatura de los mismos (Zhang et al, 2013). Considerando una posible digestión previa, el metano generado podría cumplir un rol de fuente energética para dicho proceso, recirculando hacia los digestores.

Una inestabilidad en el proceso metanogénico, puede ocasionar un aumento en la producción de compuestos ácidos y producir un descenso en el pH (Ranalli, Andreoni, Bonfanti, y Corradini, 1995). Esto puede suceder cuando la carga



orgánica aumenta, el porcentaje de biogás tiende a disminuir y la producción de CO<sub>2</sub> aumenta debido a que la tasa de crecimiento de los microorganismos metanogénicos es inferior a la tasa de crecimiento de los acidogénicos. Lo mencionado anteriormente deriva a una disminución del biogás generado. (Bedoya y Sánchez, 2009).

Lamentablemente a condiciones psicrófilas genera un aumento de la actividad acidogénica lo que deriva en una disminución de la producción de biogás (Porrier, 2005). Por lo cual el reactor UASB debe complementarse o adecuarse para mantenerse a una condición mesófila entre 15°C – 20°C.

En el caso de los lodos residuales estos pueden ser medidos mediante la aplicación la aplicación de sodio acetato (Zhang et al, 2013).

Una de las características de los reactores UASB, es la estabilización de los lodos generados por lo cual el proceso posterior se simplifica. Una alternativa para los lodos residuales de los UASB es pasar por un (RAP) reactor de flujo a pistón para aumentar su estabilidad antes de ser evacuado hacia los lechos de secado (Donado, 2013).

Un estudio realizado en Brasil, indicó que al aplicar un tratamiento térmico de lodos de filtro prensa, recuperando su potencial energético para posteriormente se dispuesto en rellenos sanitarios. El potencial energético de los lodos logró alcanzar 4,5 MJ kg<sup>-1</sup> (Rosa, et al. 2018).

#### **BASES LEGALES:**

Se indica al presente Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento como “encargada de cumplir y hacer cumplir el marco normativo relacionado al ámbito

de su competencia, ejerciendo la potestad sancionadora y coactiva, cuando corresponda” (D.S N°010-2014-VIVIENDA, 2014). Adicionalmente en el mencionado reglamento, “se establece como función compartida: Ejecutar proyectos de saneamiento urbano y rural con los gobiernos regionales y locales, así como promover asociaciones público-privadas en materia de saneamiento” (D.S N°010-2014-VIVIENDA, 2014).

Además, se declara “necesidad pública y de preferente interés nacional la gestión y la prestación de los servicios de saneamiento con el propósito de promover el acceso universal de la población a los servicios de saneamiento sostenibles y de calidad” (D.L N°1240, 2015). Adicionalmente, busca “proteger su salud y el ambiente, la cual comprende a todos los sistemas y actividades que integran los servicios de saneamiento, a la prestación de los mismos y la ejecución de obras para su realización”. Por esta razón previamente se estudia los tipos de tecnología, como los reactores UASB para establecer su efectividad en las localidades a instalar, antes de su operación.

Se presenta como objetivo de los tratamientos en relación a las aguas residuales, “mejorar su calidad para cumplir con las normas de calidad del cuerpo receptor o las normas de reutilización” (NORMA O.S.90, 2015). De esta forma el receptor cumple la normativa establecida por el Estándar de Calidad de Agua. Adicionalmente menciona que se debe aplicar un tratamiento a todo sistema que genere lodos residuales, de esta forma se aprovechan antes de su disposición final. En la creación de un sistema de reactor UASB-Digestor se cumple tanto con la mejora de calidad como con la reducción de lodos activados, disponiéndolos para su uso como compost o fertilizante.

Los Valores Máximos Admisibles (VMA) indican las medidas que se deben establecer con aguas residuales no domésticas (D.S N° 021-2009, 2009). Si bien la investigación del tratamiento de reactores UASB se enfoca en tratamiento de aguas residuales domésticas; debido a las revisiones hechas no se descarta su uso para aguas industriales con altas cargas orgánicas.

En el protocolo de monitoreo de la calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales – PTAR. En este se establece realizar monitoreo en el agua residual antes de entrar al tratamiento (afluente) y el agua residual tratada (efluente). Adicionalmente establece una frecuencia de monitoreo diario (RM N°273-2013-VIVIENDA, 2013). Estas condiciones se deben tener en cuenta al aplicar un tratamiento con aprobación municipal y del ministerio de Vivienda, para el servicio de una comunidad o población.

### **CONCLUSIONES:**

- El uso de reactores UASB se ha popularizado debido al bajo costo de su implementación, necesidad de poco espacio para su instalación y la generación de subproductos como metano.
- Presenta una eficiencia considerable en el tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales con alta carga orgánica, al obtener una alta tasa de reducción de la DQO y DBO en afluentes de estas características.
- El éxito de los tratamientos con reactores UASB, radica en sus bajos costos de instalación, su poco requerimiento de espacio, su alto rendimiento en

remoción de carga orgánica y la generación de subproductos aprovechables (Lodos estabilizados, biogás).

- Sin embargo, la mayor dificultad que puede generar la aplicación de este tratamiento en zonas altoandinas, es su sensibilidad a bajas temperaturas. Los reactores UASB aumentan su TRH y disminuyen su eficiencia en remoción cuando se encuentran a menos de 20°C. Otra causa de la reducción de su efectividad está en el tratamiento de aguas con baja carga orgánica
- Las tecnologías complementarias han manifestado tener alta eficiencia para el tratamiento de aguas residuales de sustratos específicos o a bajas temperaturas, mejorando la remoción de carga orgánica, aumentando la producción de biogás y complementando la remoción de otros parámetros físico-químicos o biológicos.
- Finalmente, los reactores UASB demuestran ser eficientes para remover la carga orgánica, principalmente en afluentes con una alta concentración de las mismas; sin embargo, es necesario un postratamiento para garantizar el cumplimiento de los estándares de calidad de agua del efluente.

**BIBLIOGRAFÍA:**

- Alvarino, R., Suarez, S., Lema, J. y Omil, F (2014). Understanding the removal mechanisms of PPCPs and the influence of main technological parameters in anaerobic UASB and aerobic CAS reactor. *Journal of Hazardous Materials*, 278(15), 506-513. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2014.06.031>.
- Arroyave, D., González, D. y Gallego, M. (2005). *Evaluación del comportamiento hidráulico un reactor UASB utilizado para el tratamiento de aguas residuales*. Universidad Nacional de Colombia
- Bedoya, O. y Sanches, L (2009). Tratamiento de aguas residuales de la industrialactea en sistema anaerobios tipo UASB. *Facultad de Ciencias Agropecuarias*, 7(2), 25-31.
- Beltran, T. y Campos, M (2016). *Influencia de microorganismos eficaces sobre la calidad de agua y lodo residual, planta de tratamiento de Jauja*. Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Cabrera, A., Urbano, M., Pereda, I., Díaz, M. y Chávez, I. (2017). Digestión anaerobia de vinaza pura cubana en un sistema combinado UASB-filtro anaerobio. *Ingeniería Hidráulica y ambiental*, 38(3), 3-16.
- Caldera, Y., Madueño, P., Griborio, A., Guitiérrez, E. y Fernández, N. (2003). Efecto del tiempo de retención hidráulica en el funcionamiento de un reactor UASB tratando efluentes cárnicos. *Multiciencias*, 3(1), 1-13.
- Crombet, S., Abalos, A., Rodríguez, S. y Pérez, N. (2016). *Evaluación del tratamiento*

*anaerobio de las aguas residuales de una comunidad universitaria. Revista Colombiana de Biotecnología*, 18(1), 49-56.  
<https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v18n1.57715>.

Deng, L., Liu, Y., Zheng, D., Wang, L., Pu, X., Song, L. y Long, Y. (2017). Application and development of biogas technology for the treatment of waste in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 70, 845-851.  
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.265>.

D.L. N°1240. Que modificar la Ley n° 26338, Ley general de Servicios de Saneamiento y la Ley N° 30045, Ley de Modernización de los Servicios de Saneamiento Diario Oficial El Peruano (2015).  
<https://elperuano.pe/NormasElperuano/2015/09/26/1292707-10.html>.

D. S. N°010-2014-VIVIENDA [Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento]. Por el cual establece el Reglamento de organización y funciones del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. 19 de junio de 2014.

D. S. N° 021-2009-VIVIENDA Que aprueban los Valores Máximos Admisibles (VMA) de las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario. Diario Oficial El Peruano (2009).  
[http://www3.vivienda.gob.pe/direcciones/Documentos/DS\\_2009\\_021.pdf](http://www3.vivienda.gob.pe/direcciones/Documentos/DS_2009_021.pdf).

D. S. N° 048-2019-PCM. Que declara en Estado de Emergencia varios distritos de algunas provincias del departamento de Amazonas, por impacto de daños ante lluvias intensas Diario Oficial El Peruano (2019).  
<https://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/decreto-supremo-que-declara-en-estado-de-emergencia-varios-d-decreto-supremo-n-048-2019-pcm->

1752610-1/.

Espinoza, J., y Tinoco, R. (2017). *Tratamiento de aguas residuales mediante un sistema anaerobio para comunidades rurales en el sitio San José de la parroquia Bellavista*. [Tesis de Titulación, Universidad Técnica de Machacal]. Repositorio Digital de la UTMACH - Universidad Técnica de Machacal.

Gandarilla, V., Saavedra, O., Escalera, R. y 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 y Desarrollo*, 1(17), 83-98.

González, P., Chamy, R. y Poirrier, P. (2007). Tratamiento anaerobio de aguas residuales urbanas en reactores de una y dos fases a baja temperatura. *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, desarrollo y práctica*, 1(2), 1-8.

Grady, L., Daigger, G., Love, N. y Filipe, C. (2011). *Biological wastewater treatment (IWA, Ed.)* (3rd ed.). Boca Raton: CRP Press.

Hernández, F. (2015). *Biogás: 10 casos de éxito en el sector industrial*. Argentina.

Iglesias, B. (2015). *Diseño e implantación de un reactor anaerobio UASB en la industria de los lácteos para su uso como fuente de energía en co-generación*. Universidad Pontificia de Comillas.

Lettinga, G., Roersma, R. y Grin, P. (1983). Anaerobic Treatment of Raw Domestic Sewage at Ambient-Temperatures Using a Granular Bed Uasb Reactor. *Biotechnology and Bioengineering*, 25(7), 1701–1723. [doi:](#)



[10.1002/bit.260250703](https://doi.org/10.1002/bit.260250703).

Loja, M. y Quezada, C (2017). *Análisis a escala laboratorio de estructuras de ingreso a reactores anaerobios de flujo ascendente (UASB)*. [Tesis de Bachiller, Universidad de Cuenca]. Repositorio Institucional Universidad de Cuenca – Universidad de Cuenca.

Lorenzo, Y. y Obaya, M (2006). La digestión anaerobia y los reactores UASB. *Generalidades. ICIDCA. Sobre Los Derivados de La Caña de Azúcar.*, 40(1), 13–21.

Lu, X., Zhen, G., Estrada, A., Chen, M., Nic, J., Hojo, T. y Li, Y. (2015). Operation performance and granule characterization of upflow anaerobic sludgeblanket (UASB) reactor treating wastewater with starch as the sole carbon source. *Bioresource Technology*, (180), 264-273.  
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.01.010>.

Luo, J., Qian, G. y Liu, J. X. (2015). Anaerobic methanogenesis of fresh leachate from municipal solid waste: A brief review on current progress. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, (49), 21-28.  
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.053>.

Luostarinen, S., Sanders, W., Kujawa-Roeleveld, K. y Zeeman, G (2006). Effect of temperature on anaerobic treatment of black water in UASB-septic tanksystems. *Bioresource Technology*, 98(5), 980–986.  
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.04.018>.

Mahmouda, N., Zeemana, G., Gijzenb, H. y Lettingaa, G (2004). Anaerobic sewage

treatment in a one-stage UASB reactor and a combined UASB-Digestersystem.

*Water Research*, 38(9), 2348–2358.

<https://doi.org/10.1016/j.watres.2004.01.041>.

Mainardis, M., Buttazzoni, M., & Goi, D. (2020). Up-Flow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) Technology for Energy Recovery: A Review on State-of-the-Art and Recent Technological Advances. *Bioengineering*, 7(2), 1-29. [doi: 10.3390/bioengineering7020043](https://doi.org/10.3390/bioengineering7020043).

Martinez, C., Herrera, D., Guitierrez, R., y Bello, R. (2016). Tratamiento de aguas residual doméstica mediante un reactor RAFA y una celda microbiana decombustible. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 32(3), 267-279. <https://doi.org/10.20937/RICA.2016.32.03.02>

Metcalf y Eddy (2014). *Wastewater engineering treatment and resource recovery*. Mc Graw Hill.

Morales, C., Rivadeneira, B., y García, S (2018). *Digestión anaerobia de las aguas residuales de la industria de café instantaneo*. Universidad Técnica de Manabí.

Muñoz, M., Fuentes, V., y Aldas, M. B. (2016). Reactor anaerobio de flujo horizontal con medio de soporte de polietilentereftalato. *Enfoque UTE*, 7(2), 97-108. [doi:10.29019/enfoqueute.v7n2.98](https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v7n2.98).

Norma OS.90 “Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales” del Reglamento Nacional de Edificaciones - Ministerio de Vivienda, Perú.

Pérez, J., Aldana, G. J., y Rojano, R. (2016). Evaluación hidráulica de un reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA) usando un modelo de dispersión axial.

*Revista internacional de contaminación ambiental*, 32(3), 281-291.

<https://doi.org/10.20937/RICA.2016.32.03.03>.

Pierre, J. (1992) *Manual de técnicas para el análisis de aguas residuales*, Compilado por Olgún, P. y Monroy, O. Editorial Orstom.

Porrier, P (2005). *Hidrólisis y acidificación psicrófila de moléculas complejas en sistemas anaerobios*, [Tesis de Doctorado, Universidad de Santiago de Compostela]. <https://biogroup.usc.es/sites/default/files/PaolaPoirrier.pdf>.

Quispe, J (2014). *Estudio de la remoción de carga orgánica en un reactor anaerobio de mantos de lodos de flujo ascendente con digestor de lodos aplicado a una localidad ubicado a una altitud de 3800msnm*. [Tesis de Titulación- Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio Institucional Universidad Nacional de Ingeniería.

Rajasulochana, P., y Preethy, V. (2016). Comparison on efficiency of various techniques in treatment of waste and sewage water – A comprehensive review. *Resource-Efficient Technologies*, 2(4), 175-184. <https://doi.org/10.1016/j.reffit.2016.09.004>.

Ranalli, G., Andreoni, V., Bonfanti, P., y Corradini, S (1995). Anaerobic digestion of cheese whey in a two stage reactor. *American Society of Agricultural Engineers*, (7), 347-356.

Resolución 6577 de 2008 [Ministerio de Educación Nacional]. Por la cual se establecen los parámetros y procedimientos para la fijación de la tarifa de matrícula. 29 de septiembre de 2008.

RM N°273-2013-VIVIENDA Aprueban el Protocolo de Monitoreo de la Calidad de los Efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o

Municipales- PTAR. Diario Oficial El Peruano (2013).  
<https://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/aprueban-el-protocolo-de-monitoreo-de-la-calidad-de-los-eflu-resolucion-ministerial-n-273-2013-vivienda-1007030-1/>

Ruiz, I., Alvarez, J., y Soto, M. (2000). *El Potencial de la Digestión Anaerobia en el Tratamiento de Aguas Residuales Urbanas y Efluentes de baja carga orgánica*. Universidad de Coruña.

Seghezzo, L., Zeeman, G., Van Lier, J., Hamelers, H., y Lettinga, G (1998). A review: The anaerobic treatment of sewage in UASB and EGSB reactors. *Bioresource Technology*, (65), 175-190.

Terry, A., Fernández, M., y Zenia, D. (2008). Consideraciones generales para el desarrollo de una estrategia de granulación en reactores UASB. *Tecnología Química*, 20(1), 70-79.

Van Haandel A.C (1994). *Anaerobic Sewage Treatment. A practical guide for regions with a hot climate*. John Wiley and sons.

Yang, Q., Wu, B., Yao, F., He, L., Chen, F., Ma, Y., Shu, X., Hou, K., Wang, D y Li, X. (2019). Biogas production from anaerobic co-digestion of waste activated sludge: co-substrates and influencing parameters. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*, 771-793.

Zeikus, J (1980). Chemical and Fuel Production by Anaerobic Bacteria. *Annual Review of Microbiology*, 423-464.