

# Descontaminación de Aguas Residuales Utilizando Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente

## Wastewater Decontamination Using Anaerobic Upflow Reactors

**Nilo Abelardo Enríquez-Nateros**

Universidad Nacional de Huancavelica, Huancavelica, Perú

E-mail: [nilo.enriquez@unh.edu.pe](mailto:nilo.enriquez@unh.edu.pe) ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8233-6912>

**Ruth Mariela Quispe-De la Cruz**

Universidad Nacional de Huancavelica, Huancavelica, Perú

E-mail: [ruth.quispe@epgunh.edu.pe](mailto:ruth.quispe@epgunh.edu.pe) ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0360-1074>

**Carlos Alberto Herrera-Quispe**

Universidad Nacional de Huancavelica, Huancavelica, Perú

E-mail: [carlos.herrera@epgunh.edu.pe](mailto:carlos.herrera@epgunh.edu.pe) ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2169-6214>

**René Antonio Hinojosa-Benavides**

Universidad Nacional Autónoma de Huanta, Ayacucho, Perú

E-mail: [rhinojosa@unah.edu.pe](mailto:rhinojosa@unah.edu.pe) ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0452-3162>

### Resumen

Las aguas residuales (AR) en el Perú y el mundo de origen municipal e industrial, han llegado a contaminar enormemente los depósitos y corrientes de agua superficial y subterránea, afectando a las fuentes de agua de consumo humano y la vida de muchas especies, alterando sus ecosistemas; actualmente se está optando por utilizar tratamientos biológicos amigables y sostenibles ambientalmente. En ese sentido, el objetivo es comprender la importancia del Reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA) en un proceso biológico de descontaminación de las AR, por lo que se recurrió a la búsqueda de referencias ubicadas en base de datos como SciELO, Scopus, ScienceDirect, en la Revista Mexicana de Ingeniería Química, Biosystems Engineering, Revista Colombiana de Biotecnología, entre otras; encontrando que este sistema de tratamiento utiliza una biomasa con bacterias anaerobias en su interior, las que realizan un proceso de remoción al pasar el flujo de agua a tratar. Los RAFA mediante la digestión anaerobia han llegado a obtener resultados muy eficaces en lugares con temperaturas superiores a 15°C, mejorando los tiempos de retención hidráulica (TRH). Se concluye que los RAFA son considerados como uno de los procesos biológicos más importantes dentro de las Plantas de tratamiento de agua residual (PTAR) en zonas urbanas cálidas.

*Scientific Research Journal*

Centro de Investigación y Desarrollo Intelectual CIDI

E-ISSN: 2789-2727 / Núm. 2 Vol. 1, 148-161, Diciembre 2021 / <https://doi.org/10.53942/srjicidi.v1i2.61>

## Palabras Clave

RAFA, PTAR, aguas residuales, contaminación

## Abstract

Wastewater (WW) in Peru and the world from municipal and industrial origin, have come to greatly pollute the reservoirs and surface and groundwater streams, affecting water sources for human consumption and the life of many species, altering their ecosystems; The aim of is to understand the importance of the Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) in a biological process of decontaminate the WW, for which we resorted to the search of references located in databases such as SciELO, Scopus, ScienceDirect, in journals such as the Revista Mexicana de Ingeniería Química, Biosystems Engineering, Revista Colombiana de Biotecnología, among others, and found that this treatment system uses a biomass with anaerobic bacteria inside, which carry out a removal process when passing the water flow to be treated. The UASB by means of anaerobic digestion have achieved very effective results in places with temperatures above 15°C, improving the retention times of the flow. It is concluded that UASB is considered to be one of the most important biological processes in wastewater treatment plants (WWTP) in hot urban areas.

## Keywords

UASB, WWTP, waste water, pollution

## Resumo

As águas residuais (AR) no Peru e no mundo, de origem municipal e industrial, têm vindo a poluir grandemente os reservatórios e cursos de água superficiais e subterrâneos, afetando as fontes de água para consumo humano e a vida de muitas espécies, alterando seus ecossistemas; O objetivo é compreender a importância do Reator anaeróbico de fluxo ascendente (RAFA) em um processo biológico de descontaminação as ARs, por isso recorreremos ao busca de referências localizadas em bancos de dados como o SciELO, Scopus, ScienceDirect, em revistas como a Revista Mexicana de Ingeniería Química, Biosystems Engineering, Revista Colombiana de Biotecnología, entre outras, e descobriu que este sistema de tratamento utiliza uma biomassa com bactérias anaeróbicas no seu interior, que realizam um processo de remoção ao passar o fluxo de água a ser tratada. O RAFA por meio da digestão anaeróbica alcançou resultados muito eficazes em locais com temperaturas acima de 15°C, melhorando os tempos de retenção do fluxo. Conclui-se que a RAFA é considerada um dos processos biológicos mais importantes em estações de tratamento de águas residuais (ETAR) em áreas urbanas.

## Palavras-chave

UASB, ETAR, águas residuais, poluição.

## 1. Introducción

El agua es un compuesto químico que contribuye al crecimiento de una población, un recurso de mayor cantidad en el planeta, necesario e indispensable como fuente de vida. La disponibilidad para el consumo cada vez se vuelve más escaso por la contaminación que sufre debido a muchos factores, lo que indica que no existe un desarrollo sostenible (Romero et al., 2009).

El 70% de las (AR) en Latinoamérica no tienen un tratamiento, ya que una vez utilizada se vierte a través de redes de alcantarillado sin PTAR, contaminando los cuerpos de agua como: ríos, lagunas, lagos, riachuelos, acuíferos, entre otros; afectando especialmente a las poblaciones situadas aguas abajo, quienes necesitan cada vez de un tratamiento más sofisticado para el abastecimiento de agua potable, caso contrario las personas pueden sufrir enfermedades producto del agua contaminada. Por tal motivo el tratamiento de AR es importante y requiere de políticas que contengan proyectos de saneamiento. La generación AR de uso doméstico, comercial e industrial, requiere de distinto tratamiento y uso de tecnologías dentro de las PTAR (Larios et al., 2015).

Los efluentes domésticos que son descargados a las redes de alcantarilla, contienen alto nivel de materia orgánica caracterizándose mediante parámetros, como la Demanda química de oxígeno (DQO) y Demanda biológica de oxígeno (DBO) (Gasca, 2010). El volumen de materia orgánica (MO) en las AR es necesario para poder diseñar el RAFA (Márquez y Martínez, 2011), y optimizar el tratamiento biológico en una PTAR.

El procedimiento más importante que se da en la remoción de MO contenida en el AR, es el metabolismo que hacen las bacterias (Torres et al., 2005), encontrándose en la biomasa dentro del RAFA (Márquez y Martínez, 2011).

La temperatura es una de las condiciones que más influencia tiene en el proceso, donde para efectos de remoción de MO es necesario como mínimo estar a 15°C, si en caso fuese menor tendría un efecto negativo la actividad microbiana y por consiguiente la cantidad de energía neta producida, influyendo en la relación que existe entre el potencial de hidrógeno (pH) y la alcalinidad (Acosta, 2005).

También en el tratamiento de agua residual industrial se utiliza los RAFA como alternativa, un claro ejemplo se llevó en la ciudad de Toluca en México, al experimentar a escala de laboratorio una remoción en un TRH de seis horas con una temperatura psicrófila de operación entre 18 y 19 °C (Jacobo et al., 2019).

En los RAFA, se determina que, el crecimiento bacteriano se realiza de manera natural formando pequeños flóculos (Khan et al., 2015). Por otro lado, el acortamiento del TRH en el RAFA, tiene efectos en la producción microbiana soluble, y también da un efecto contrario al aumentar la concentración de DQO, así como de sólidos totales, suspendidos y volátiles presentes en el AR, empeorando así su calidad (Márquez y Martínez, 2011); conocer las características de la fuente de agua, condiciones climáticas, crecimiento poblacional y otros, mejora el diseño del RAFA.

El manejo ambiental en las PTAR, busca integrar nuevas medidas optimizando cada uno de sus procesos a través de nuevas tecnologías que contribuyan en un procedimiento amigable con el ambiente (Cieza et al., 2021), con la finalidad de evitar impactos negativos ambientales, es por ello el objetivo de comprender la importancia del RAFA dentro de un proceso biológico de descontaminación de las AR.

## **2. RAFA y tratamiento de aguas residuales domésticas**

### **2.1 Reactor Anaerobio De Flujo Ascendente (RAFA)**

#### **2.1.1 Reactores Anaerobios:**

Es una tecnología que se utiliza dentro del proceso biológico en una PTAR, con el objetivo de realizar una remoción de MO a través de un medio anaerobio en su interior por donde pasa el flujo del afluente (Márquez y Martínez, 2011), ingresando por el fondo del RAFA atravesando un manto de lodos conformado microorganismos (Prieto y Velasquez, 2018). Los flóculos formados de bacterias anaerobias y su tasa de colonización dependerá de la rugosidad y porosidad (Márquez y Martínez, 2011).

Los RAFA se caracterizan como tratamiento primario por los altos porcentajes de remoción, pero sus efluentes necesitan de un proceso posterior para cumplir con los

estándares de calidad ambiental necesarios, también han sido utilizados ampliamente debido a su alto índice de eficiencia y a bajos costos de operación (Chuptaya y Huamán, 2020).

La distribución del AR es de forma uniforme por todo el fondo del reactor y sale a través del manto de lodos, con distintas salidas y válvulas que controlan la limpieza y purga de una parte de la masa bacteriana (Alzate, 2018).

**2.1.2 Tipos de Reactores Anaerobios:** Los reactores biológicos que más se usan con el objetivo de tratar AR domésticas se dividen de acuerdo al tipo de reproducción microbiana en dos:

- De lecho fijo, formando biopelículas,
- De crecimiento libre o suspendido.

Dentro del primero, su biomasa se encuentra integrada por bacterias creando una capa delgada adherida a un material de soporte, por otro lado, el segundo va depender de la formación de flóculos suspendidos en el interior del reactor. Estas bacterias anaerobias tienden a formar cadenas de flóculos suspendidas con tal de establecerse continuamente para no ser arrastradas con el flujo del AR; al poder realizar el arranque es necesario introducir un inóculo para que puedan empezar a reproducirse y tener una mejor eficiencia; por otro lado, el RAFA se tendrá que purgar cada cierto periodo, una vez que empiecen a salir los lodos por la salida junto al agua tratada. Éste proceso de purga o limpieza se realiza mediante un sistema de bombeo por un equipo llamado Vactor, que consiste en sacar los lodos desde el fondo del RAFA, procedimiento que se realizará aproximadamente cada 3 años desde que se inició; así mismo, la biomasa podrá ser retirada mediante el procedimiento de bombeo, succionando y dejando un espesor en el fondo de 0.15 a 0.20 m, lodo suficiente de bacterias para que puedan comenzar a reproducirse y colonizar para el proceso de degradación de las AR (Márquez y Martínez, 2011).

**2.1.3 Consideraciones de diseño para un RAFA.**

Dentro de los criterios a considerar en el diseño de un RAFA, es necesario conocer la carga orgánica volumétrica, concentración inicial del AR, flujo de alimentación, eficiencia, TRH (Córdova et al., 2019), también el sistema de distribución del efluente y por último el sistema de recolección de gas (Márquez y Martínez, 2011).

El diseño del RAFA generalmente es un dispositivo vertical tubular acrílico para plantas piloto y experimentales, y de forma cúbica con infraestructura de concreto para caudales de zonas urbanas, En la primera parte que se encuentra en la base se realiza el inóculo de las bacterias anaerobias a través de la inserción del lodo, la segunda parte para el movimiento de partículas la tercera donde la alcalinidad y el pH llegan a neutralizarse y la cuarta parte donde se forma un gas (Vian et al., 2020).

El RAFA tiene la característica de que el efluente ingrese por la parte de abajo, pase por el manto de lodos, realizándose la digestión anaerobia, y creando el biogás (Khan et al., 2015).

Es necesario caracterizar el afluente y efluente del RAFA, realizar un modelo matemático de digestión anaerobia, influencia de la temperatura y el pH, realizar observaciones de TRH de agua y finalmente evaluar la eficiencia del sistema (Alzate, 2018) .

#### **2.1.4 Parámetros de seguimiento en un RAFA:**

Durante la etapa de funcionamiento del RAFA, se tiene que evaluar monitoreando varios parámetros, inicialmente en el efluente, luego en el lodo, el tiempo que demora en quedarse junto al lodo el AR, y la distribución en el interior del RAFA, y también es necesario evaluar varios parámetros externos que hacen que pueda tener un funcionamiento eficiente (Monsalve, 2017).

El buen funcionamiento del RAFA puede ser afectado por algunos parámetros de las AR como: la temperatura, alcalinidad, pH, sólidos totales, y otros (Anzola y Laiton, 2021)

##### **2.1.4.1 Temperatura (T):**

Una de las variables más importantes que existe para una buena remoción, es la T, que tiene que ser mayor o igual a 15°C, caso contrario habría una inestabilidad o baja digestión anaerobia. Los espacios sin presencia de

oxígeno pueden clasificarse en psicrófilico (0 a 20°C), mesófilico (20 a 40°C) y termófilico (45 a 65°C). Cabe resaltar que, si el rango de T se altera, es recomendable empezar de nuevo con el arranque del reactor. Dentro del intervalo mesofílico, la digestión y el desarrollo microbiano decrece a la mitad por cada 10°C en un rango intermedio inicial de 35°C (Monsalve, 2017).

Para poder evaluar la eficiencia de un RAFA, es necesario controlar la variable T, que influirá en todo el proceso de digestión anaerobia, remoción de MO, siendo lo más óptimo entre 20°C y 40°C (Huaytalla y Cruz, 2016).

La operación de un RAFA a temperatura mesofílica representa un costo energético considerable y es más en lugares de clima frío, como la ciudad de Toluca, Estado de México, donde la temperatura del agua varía de 12 a 20 °C, dependiendo de la estación del año (Jacobo et al., 2019). También la mejor eficiencia de remoción de color, turbiedad y DQO, se alcanzan en 24 horas de TRH (Méndez y López, 2021).

#### **2.1.4.2 Potencial de hidrógeno (pH):**

Otra de las variables a medir es el pH que influye en la generación de metano relacionándolo con la concentración de ácidos grasos volátiles (AGV). Las bacterias presentes en la biomasa presentan en el proceso de degradación niveles de pH diferentes; los hidrolíticos en un rango de 7,2 y 7,4, los acetogénicos desde 6,5 a 7,5. Por otro lado la actividad de las bacterias metanogénicas es afectada si el pH se incrementa superando los 7,8. Debe existir un equilibrio entre las bacterias metanogénicas en cuanto a su pH caso contrario no neutraliza a los AGV y el RAFA se convertirá en un ambiente ácido con pH variando entre 4,5 y 5 (Monsalve, 2017).

Cuando hay presencia de agua dura y carbonatos relacionados con la digestión anaerobia de la MO, el RAFA transforma eficientemente la MO carbonada a AGV (Cervantes et al., 2011).

#### **2.1.4.3 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>):**

Es un procedimiento que se realiza para determinar la cantidad de MO biodegradable contenida en una muestra de AR, verificando la medición del consumo de oxígeno de una población de microorganismos diferentes (prueba en 5 días), en un laboratorio sometido a una T de incubación de 20° C y con nutrientes. El objetivo de la mencionada prueba consiste en considerarse un parámetro ambiental brindando un dato de existencia de contaminación (Monsalve, 2017).

#### **2.1.4.4 Demanda Química de Oxígeno (DQO):**

La DQO representa la cantidad de oxígeno presente en el AR para poder oxidar a la MO. motivo por el cual es considerado como un parámetro que representa la contaminación orgánica del efluente, siendo una medida necesaria que debe ser controlada cumpliendo la normativa ambiental y evitar la contaminación. Considerándose como un método de medición de la cantidad de MO en el efluente, proporcional a la cantidad de oxígeno que tiende a oxidarse químicamente en un ambiente ácido. También se relaciona con la DBO<sub>5</sub>. El proceso de oxidación se desarrolla con un agente oxidante fuerte en un ambiente ácido. Por ello es de igual relevante que la DBO<sub>5</sub> (Monsalve, 2017).

#### **2.1.4.5 Producción de Biogas-CH<sub>4</sub> (L):**

Para determinar la cantidad que produce de biogás el AR se utiliza el Test de AME y su método volumétrico (Huaytalla y Cruz, 2016).

Se puede considerar una probabilidad donde gran parte de la actividad metanogénica lo realizan las bacterias hidrogenotróficas que cuentan con una capacidad de crear metano teniendo H<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>, sustratos que son producidos durante la acidogénica dentro de la etapa de remoción anaerobia (Cervantes et al., 2011).

#### **2.1.4.6 Coliformes totales y fecales (NMP/100 ml):**

Otro de los parámetros que también es importante son los coliformes totales y fecales, que, durante el proceso de remoción de la MO, se obtuvo

resultado de un 67% a 71%. Cabe mencionar que es importante este proceso de acuerdo a la temperatura (Huaytalla y Cruz, 2016).

## **2.2 Aguas Residuales Domésticas**

### **2.2.1 Características de las Aguas Residuales:**

Es importante la caracterización de las AR, ya que de acuerdo a sus condiciones se escoge la tecnología a considerar para el tratamiento en los distintos procesos, existen sustancias presentes en el AR que afectan de una forma negativa la formación de flóculos en los lodos, y también las altas concentraciones de proteínas y grasas disminuyen la efectividad de creación de una biomasa bacteriana (Márquez y Martínez, 2011).

La mayoría de las AR domésticas tienden a tener una coloración gris con un aspecto turbio, olor desagradable, sin ningún material flotante. Para la utilización de un RAFA es necesario cumplir con la normativa ambiental, de tal forma tener que reducir los parámetros de DQO, DBO5, sólidos, aceites y grasas, coliformes totales y fecales, necesariamente acompañado de otros tratamiento preliminares o primarios (Crombet et al., 2016).

### **2.2.2 Tratamiento Anaerobio de Aguas Residuales:**

El metabolismo de las bacterias anaerobias presentes en las AR, es un proceso que consiste en la degradación de la MO a través del consumo de los microorganismos, como su fuente de energía y producción de carbono para crear un nuevo lodo. Una vez metabolizada la MO, una parte es procesada químicamente creando un producto nuevo, durante la fase que es adherido por la liberación de energía denominado "Catabolismo". Por otro lado, el "Anabolismo ó Síntesis" es otra fase que se desarrolla simultáneamente, donde parte de la MO se convierte en un reciente material celular (Larios et al., 2015).

La fase de la degradación anaerobia tiene como objetivo el consumo de la materia viva a través del metabolismo de microorganismos anaerobios. Posteriormente se genera el biogás, que está conformado en su mayoría de un 70% de metano y un 30% de la adición del CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono) y otros compuestos tales como nitrógeno, hidrógeno, amoníaco y sulfuro de hidrógeno, quienes originan los malos olores durante el proceso de digestión de lodos (Romero et al., 2009).

Por lo normal, las bacterias no pueden degradar material complejo como las proteínas, carbohidratos y lípidos que previamente son hidrolizados por enzimas fuera de las células a compuestos más simples (azúcares, aminoácidos y ácidos grasos). Este proceso contribuye a que los sólidos particulado y los polímeros orgánicos que están presentes en las AR puedan ser consumidos por los microorganismos degradadores y metabolizados así (Torres et al., 2005).

La fase de remoción de MO absorbe agua, por eso se le denomina hidrólisis. Se realiza este proceso afuera de la bacteria, debido a la ayuda de catalizadores biológicos llamados exoenzimas, que son desarrolladas por bacterias ácido génicas o fermentativas. (Torres et al., 2005).

Posterior de generadas las sustancias simples en la hidrólisis, éstas pueden ser metabolizadas por la pared celular de las bacterias y degradadas en el interior mediante los procesos metabólicos. El proceso se realiza dentro de las bacterias ácido génicas o fermentativas (Torres et al., 2005).

Según Peris (2006), las características necesarias para una digestión anaerobia son:

- Nutrientes suficientes.
- pH dentro del rango de 6.5 a 7.6; es necesario prevenir los pH que están por debajo de 6.2, es ese caso las bacterias metanogénicas, ya no realizan su trabajo.
- T en el rango mesofílico 30 a 38°C ó también en el rango termofílico 50 a 60°C.
- Anaerobio.
- Sin presencia de elementos tóxicos como metales pesados y sulfuros.

Dentro de las alternativas de depuración biológica encontramos a los tratamientos con bacterias aerobias y anaerobias. Durante el metabolismo anaerobio de la bacteria más del 90 % de la energía disponible por oxidación directa se convierte en metano, quedando para su energía de crecimiento sólo 10%, en comparación de un 50 % consumido en el proceso aerobio (Acosta, 2005).

De la experimentación realizada, deducen que mejor comportamiento se tiene en la digestión anaerobia, ya que se pudo disminuir la cantidad de huevos de helmintos y aparentemente protozoarios. La formación de sulfuro de hidrógeno, benefició en la reducción de bacterias coliformes totales y fecales con niveles mayores al 90% (Cervantes et al., 2011). Por otro lado, para la depuración de AR domésticas se encontró mayor eficiencia a una temperatura mesofílica ( $35 \pm 2$  °C) y un TRH de cinco horas (Alayón, 2020).

Es necesario contemplar en los RAFA, el período de inicio y adaptabilidad de las bacterias al agua a tratarse, adicionándose gradualmente muestras de agua residual (Peña y Pocasangre, 2019),

### **3. Materiales y métodos**

Se realizó la revisión de diferentes fuentes bibliográficas entre repositorios de universidades y revistas como SciELO, Scopus, ScienceDirect, Redalyc, Proquest, y empleando descriptores como: “aguas residuales”, “Depuración”, “Contaminación”, “Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente”, en revistas como la Revista Mexicana de Ingeniería Química, Biosystems Engineering, Revista Colombiana de Biotecnología, entre otras. Estas referencias enmarcaron las fases heurísticas para consolidar el estado del arte y hermenéutica con el análisis de dichas referencias.

### **4. Resultados**

Se logró comprobar que el uso de un RAFA resultar ser una óptima alternativa de tratamiento biológico de las AR, en el que se utiliza un sistema anaerobio para la remoción de la materia orgánica contenida en dichas AR, siendo un proceso biológico importante. Este sistema anaerobio generalmente funciona en lugares con temperaturas mayores a 15°C, también puede disminuir la cantidad de huevos de helminto, coliformes totales y fecales hasta un 70%. Estos sistemas mejoran sus TRH y su eficacia a mayor temperatura y condiciones climáticas favorables, ya que en temperaturas bajas su rendimiento no es muy óptimo, se encontró remociones de materia orgánica hasta un 85% de eficiencia en lugares con temperaturas mayores a 35°C, la operatividad requiere de una adecuada atención al inicio durante el arranque del RAFA, para la adaptabilidad de la biomasa con

*Scientific Research Journal*

Centro de Investigación y Desarrollo Intelectual CIDI

E-ISSN: 2789-2727 / Núm. 2 Vol. 1, 148-161, Diciembre 2021 / <https://doi.org/10.53942/srjicidi.v1i2.61>

microorganismos, no requiere de energía eléctrica ya que trabaja de forma hidráulica por gravedad, es ideal para lugares con muy poco espacio, y de bajo costo.

## 5. Discusión

Los RAFA son utilizados generalmente en zonas con climas cálidos según (Acosta, 2005), lo que es corroborado por (Monsalve, 2017) quien asevera que la digestión y el desarrollo microbiano decrece a la mitad por cada 10°C en un rango intermedio inicial de 35°C , ya que a mayor temperatura tienden a tener una mayor eficacia, necesitan altas concentraciones de MO; a pesar de que es una tecnología que utiliza menos espacio que las lagunas de oxidación, requieren de una operación y mantenimiento especializada.

## 6. Conclusiones

El RAFA es una buena alternativa de tratamiento biológico de las AR, ya que ocupa un menor espacio a comparación de otros procesos biológicos, se ha comprobado que tiene mejor eficacia en la remoción de la materia orgánica al utilizar un proceso anaerobio. Para la utilización de procesos biológicos es importante conocer las características del efluente a tratar, en especial la temperatura y la carga orgánica, y que se encuentren libre de compuestos tóxicos. Es importante la utilización de procesos biológicos ya que estos nos ayudan a depurar los contaminantes de las AR y la vez son amigables con el ambiente.

## 7. Referencias

- Acosta, L. (2005). La digestión anaerobia, aspectos teóricos. Parte I. *Icidca*, 39,35–48.
- Alayón Salmeron, W. (2020). Manto de lodos de flujo ascendente ( UASB ) de las aguas residuales domésticas a temperatura mesofílica. *Universidad de la Laguna*.
- Alzate, A. (2018). Estimación de estados y variables en un reactor anaerobio de flujo ascendente para el Tratamiento de lixiviado usando observadores no lineales. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 17(2), 723–738.
- Anzola Rodríguez, J., y Laiton Delgado, D. S. (2021). Evaluación teórica del comportamiento de un FRB alimentado con el efluente líquido generado en un UASB. *Fundación*

- Universidad de América, Facultad de Ingenierías, Programa de Ingeniería Química*, 98.
- Cervantes, A. , Cruz, M. , Aguilar, R., Castilla, P., y Meraz, M. (2011). Physicochemical and microbial characterization of the treated wastewater in a pilot scale UASB reactor. *Revista Mexicana de Ingeniera Quimica*, 10(1), 67–77.
- Cieza Perez, A., Callao Alarcón, M., Culqui Lozada, M., Malca Florindes, J. A., y Piucan Rodriguez, V. H. (2021). El manejo ambiental en las plantas de tratamiento de aguas residuales en el Perú. *Ciencia latina Revista multidisciplinar*, 2215, 13108–13124.
- Chuptaya, G., y Huamán, N. (2020). Tratamiento de aguas residuales domésticas en un sistema Down-Flow Hanging Sponge (DHS) de tercera generación. *Ciencia, Tecnología y Desarrollo*, 6(2), 60–69.
- Córdova Barrios, I. C., Córdova Mendoza, P., Barrios Mendoza, T. O., García Espinoza, A. J., y Huayta Arroyo, A. M. (2019). Diseño de un reactor anaerobio de flujo ascendente a nivel de laboratorio para el tratamiento de agua residual municipal en el distrito de Guadalupe. *Ñawparisum Revista de Investigación Científica*. 1(4). 63–70.
- 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.
- Gasca, P. (2010). Evaluación de un filtro anaerobio de flujo ascendente para tratar agua residual del rastro. *Ciatej*, 94.
- Huaytalla , R. ., y Cruz , M. (2016). Eficiencia del reactor anaerobio de manto de lodos de flujo ascendente ( UASB ) a escala piloto en el tratamiento de las aguas residuales domésticas provenientes de la comunidad de Carapongo - Lurigancho , Chosica. *Revista Ciencia, Tecnología y Desarrollo*, 2(1), 7–23.
- Jacobo López, A., Esparza Soto, M., Lucero Chávez, M., y Fall, C. (2019). Treatment of industrial residual water at psychrophilic temperature with a UASB reactor. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*, 35(4), 905–915.
- Khan, A. ., Mehrotra, I., y Kazmi, A. . (2015). Sludge profiling at varied organic loadings and performance evaluation of UASB reactor treating sewage. *Biosystems Engineering*, 131, 32–40.

- Larios, J., González, C., y Morales, Y. (2015). Aguas residuales y sus consecuencias en el desarrollo y la producción. *Revista de La Facultad de Ingeniería de La USIL*, 2, 9–25.
- Márquez, M., y Martínez, S. (2011). Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente (RAFA's o UASB) Antología. *Centro Tecnológico Aragón*, 31.
- Méndez de los Santos, N., y López Ocaña, G. (2021). Zeolitas nativas en el tratamiento de agua residual doméstica. *In CIBA Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias* 10, 19.
- Monsalve, K. (2017). Reactor anaerobio de flujo ascendente para el tratamiento de aguas residuales del camal municipal de José Leonardo Ortiz, 2015. *Universidad Cesar Vallejo*.
- Peña Montes, A. G., & Pocasangre Collazos, A. (2019). Evaluación de un reactor anaeróbico con baffles (ABR) para el tratamiento de las aguas residuales de un beneficio húmedo de café. *Agua, Saneamiento y Ambiente*. 14(1).
- Peris, M. (2006). Diseño, construcción y arranque de un reactor U.A.S.B. piloto para el tratamiento de lixiviados. 15, 151.
- Prieto Parisaca, A., & Velasquez Ponce, R. V. (2018). Diseño, construcción y evaluación de un reactor de filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA) a nivel de laboratorio para el tratamiento de agua residual doméstica. *Universidad Nacional De San Agustín De Arequipa, Facultad De Ingeniería De Procesos, Escuela Profesional De Ingeniería Química*
- Romero, M., Colin, A., Sanchez, E., y Ortiz, L. (2009). Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: Evaluación de la remoción de la carga orgánica. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 25, 157–167.
- Torres, P., Rodríguez Jenny Alexandra, Barba Luz Edith, Morán Adriana, y Narváez Jorge. (2005). Tratamiento anaerobio de lixiviados en reactores UASB. *Ingeniería y Desarrollo*, 50–60.
- Vian, J., Viguera-Carmona, S. E., Velasco-Pérez, A., y Puebla, H. (2020). A novel up-flow anaerobic sludge blanket solid-state reactor for the treatment of fruit and vegetable waste. *Environmental Engineering Science*, 37(5), 373–381.