



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**Revisión bibliográfica de la digestión anaerobia de efluentes
industriales para la generación de metano en un reactor de flujo ascendente
(RAFA)**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE

Ingeniero Ambiental

AUTORES:

Azañero Ruiz, John Michel (ORCID: 0000 0003 3417 6082)

Vilchez Leon, Jhonatan (ORCID: 0000 0002 0576 7089)

ASESORES:

Mg. Cabello Torres, Rita Jaqueline (ORCID: 0000 0002 9965 9678)

Dr. Valdiviezo Gonzales, Lorgio Gilberto (ORCID: 0000-0002-8200-4640)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Tratamiento y Gestión de los Residuos

LIMA - PERÚ

2020

Dedicatoria

A nuestras familias por darnos el apoyo durante estos años para poder culminar nuestra carrera profesional a pesar de todos los momentos difíciles que pasamos, siempre nos motivaron para continuar adelante.

Agradecimientos

Agradecer a Dios por iluminar nuestro camino y a nuestras familias por transmitirnos el ejemplo de perseverancia y humildad. De igual manera, un agradecimiento a todos nuestros docentes por sus enseñanzas, consejos y conocimientos brindados durante nuestra vida universitaria, para poder ser profesionales éticos con conciencia ambiental.

Índice de contenidos

Carátula	i
Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Índice de contenidos	iv
Índice de tablas	v
Índice de gráficos y figuras.....	vi
Índice de abreviaturas	vii
Resumen.....	viii
Abstract.....	ix
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO.....	4
III. MÉTODO.....	19
3.1 . Tipo y diseño de investigación.....	19
3.2 . Categorías y subcategorías y matriz de categorización apriorística	20
3.3 . Escenario de estudio	21
3.4 . Participantes.....	21
3.5 . Técnicas e instrumentos de recolección de datos	21
3.6 . procedimiento	21
3.7 . Rigor científico.....	25
3.8 . Método de análisis de información	25
3.9 . Aspectos éticos	26
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	27
V. CONCLUSIONES.....	29
VI. RECOMENDACIONES.....	30
REFERENCIAS.....	31
ANEXOS	60

Índice de tablas

Tabla 1. Descripción de las principales industrias que emiten efluentes con alta carga orgánica.....	5
Tabla 2. Reacciones químicas de la DA.....	7
Tabla 3. Antecedentes de reactores RAFA para la generación de metano.....	16
Tabla 4. matriz de categorización apriorística	23
Tabla 5. Resumen de criterios de búsqueda	26
Tabla 6. Eficiencia del lodo granular en la remoción de DQO y generación de CH ₄ en efluentes de la producción de almidón	34
Tabla 7. Eficiencia del lodo granular en la remoción de DQO y generación de CH ₄ en efluentes de la producción de etanol.....	35
Tabla 8. Eficiencia del lodo granular en la remoción de DQO y generación de CH ₄ en efluentes de cervecería	36

Índice de figuras

Figura 1. Esquema del proceso de la digestión anaerobia.....	7
Figura 2. Esquema de un reactor RAFA	15
Figura 3. Procedimiento para la evaluación de la literatura.....	25
Figura 4. Influencia del pH en la DA del efluente de la producción del almidón para generar CH ₄ en un reactor RAFA.....	29
Figura 5. Influencia del pH en la DA del efluente de la producción de etanol para generar CH ₄ en un reactor RAFA.....	29
Figura 6. Influencia del pH en la DA del efluente de la producción de cervecería para generar CH ₄ en un reactor RAFA.....	29
Figura 7. Influencia de la temperatura en la DA del efluente de la producción del almidón para generar CH ₄ en un reactor RAFA.	29
Figura 8. Influencia de la temperatura en la DA del efluente de la producción del etanol para generar CH ₄ en un reactor RAFA.	29
Figura 9. Influencia de la temperatura en la DA del efluente de la producción de cervecería para generar CH ₄ en un reactor RAFA.	29
Figura 10. Influencia de la VCO en la DA del efluente de la producción del almidón para generar CH ₄ en un reactor RAFA.....	30
Figura 11. Influencia de la VCO en la DA del efluente de la producción de etanol para generar CH ₄ en un reactor RAFA.....	30
Figura 12. Influencia de la VCO en la DA del efluente de la producción de cervecería para generar CH ₄ en un reactor RAFA.....	30
Figura 13. Influencia del TRH en la DA del efluente de la producción del almidón para generar CH ₄ en un reactor RAFA.....	30
Figura 14. Influencia del TRH en la DA del efluente de la producción de etanol para generar CH ₄ en un reactor RAFA.....	30
Figura 15. Influencia del TRH en la DA del efluente de la producción de cervecería para generar CH ₄ en un reactor RAFA.....	30
Figura 16. Influencia del DQO en la DA del efluente de la producción de almidón para generar CH ₄ en un reactor RAFA.....	31
Figura 17. Influencia de la DQO en la DA del efluente de la producción de etanol para generar CH ₄ en un reactor RAFA.....	31

Figura 18. Influencia de la DQO en la DA del efluente de la producción cervecera para generar CH ₄ en un reactor RAFA	31
Figura 19. Punto de medición de la pendiente	74
Figura 20. Montaje de la actividad metanogénica específica	75
Figura 21. Factores del ensayo del potencial bioquímico de metano.....	77

Índice de anexos

Anexo 1. Calculo de la velocidad de la carga orgánica (VCO).....	74
Anexo 2. Prueba de la Actividad metanogénica específica (AME).....	74
Anexo 3. Prueba del potencial bioquímico de metano (PBM)	77
Anexo 4. <i>Factores influyentes de la DA de efluentes de la producción de almidón en un reactor RAFA</i>	78
Anexo 5. <i>Factores influyentes de la DA de efluentes de la producción de etanol en un reactor RAFA</i>	79
Anexo 6. <i>Factores influyentes de la DA de efluentes de cervecera en un reactor RAFA</i>	80
Anexo 7. Ficha de recolección de datos.....	81

Índice de abreviaturas

A

AGV	
Ácidos grasos volátiles	6, 10
AME	
Actividad metanogénica específica	71, 72, 73

C

CH ₄	
Metano.....	4, 6, 10, 13, 14, 15, 71, 72, 73
CO ₂	
Dióxido de carbono	4, 6, 8, 14, 71

D

DA	
Digestión anaerobia.....	v, vi, 3, 4, 6, 7, 9, 10, 11, 14, 15, 16, 23, 28, 29, 31, 32, 33, 73, 76, 77
DBO	
Demanda bioquímica de oxígeno	4, 5, 9
DQO	
Demanda química de oxígeno.v, viii, 3, 8, 9, 11, 12, 14, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 23, 26, 28, 29, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 71, 76, 77	
Demanda química de oxígeno.....	4, 5, 9, 10, 14, 72, 73

M

MO	
Materia Orgánica.....	6, 7, 9, 10, 12, 14, 73

P

PBM	
Potencial bioquímico de metano	73, 74

R

RAFA	
Reactor anaerobio de flujo ascendente..1, v, vi, viii, 2, 3, 4, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 22, 23, 24, 26, 27, 28, 31, 32, 33, 39, 55, 75, 76, 77	

T

TRH	
Tiempo de retención hidráulica.....	8, 11, 16, 17, 19, 20, 21, 23, 28, 29, 31, 32, 33, 76, 77

V

VCO	
velocidad de carga orgánica	8, 11, 13, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 23, 28, 29, 31, 32, 33, 71, 76, 77

RESUMEN

El siguiente trabajo de investigación tiene como objetivo principal analizar los aspectos más relevantes en la generación de metano mediante la digestión anaerobia de efluentes industriales de la producción de almidón, etanol y cervecería, a través de los factores influyentes de la digestión anaerobia (DA) y la eficiencia del lodo granular para la generación de metano usando un reactor RAFA. Para ello se utilizó la técnica del análisis documental, el cual consistió en identificar la información del documento a través de la descripción del autor, título, nombre de la revista, año de publicación y contenido temático por medio de palabras claves, llegando a recopilar 125 documentos dentro de los cuales el 65% de artículos son provenientes de la base de datos Science Direct, el procedimiento consistió en la evaluación inicial de la literatura a través de palabras claves en la base de datos académicas teniendo en consideración criterios de selección y exclusión de la información. De acuerdo a los resultados obtenidos de los factores influyentes de la digestión anaerobia (DQO, pH, temperatura, TRH y VCO), con el rendimiento de metano el pH del efluente del almidón, obtuvo un R^2 de 0.85 y la temperatura del efluente de cervecería se encontró un R^2 de 0.67, lo cual indica una relación entre las variables. Además, se pudo observar que cuando hubo una mayor remoción de la DQO se obtuvo un mayor rendimiento de metano.

Palabras Claves: Digestión anaerobia, reactor RAFA, lodo granular, metano, DQO

ABSTRACT

The main objective of the following research work is to analyze the most relevant aspects in the generation of methane through the anaerobic digestion of industrial effluents from the production of starch, ethanol and brewery, through the influential factors of anaerobic digestion (AD) and the efficiency of granular sludge for the generation of methane using a RAFA reactor. For this purpose, the technique of documentary analysis was used, which consisted in identifying the information of the document through the description of the author, title, name of the journal, year of publication and thematic content by means of key words, reaching 125 documents within which 65% of the articles are from the Science Direct database. The procedure consisted in the initial evaluation of the literature through key words in the academic database taking into consideration selection and exclusion criteria of the information. According to the results obtained from the influential factors of anaerobic digestion (COD, pH, temperature, HRT and VCO), with the methane yield the pH of the starch effluent obtained an R2 of 0.85 and the temperature of the brewery effluent was found an R2 of 0.67, which indicates a relationship between the variables. In addition, it could be observed that when there was a greater removal of COD, a greater yield of methane was obtained.

Keywords: Anaerobic digestion, UASB reactor, granular sludge, methane, COD

I. INTRODUCCIÓN

El crecimiento demográfico del Perú respecto al último censo registrado en el 2017, indica que tenía 31 millones 237 mil 385 habitantes y se estima que para el 2030 tendrá un crecimiento de 0.9% (INEI, 2018, párr.1). Esto a lo largo del tiempo genera un deterioro ambiental y se deprecia la calidad ecológica de forma exponencial debido a la disminución de la calidad del aire, suelo y agua, además, de una tasa elevada en el consumo de energía (IPCC, 2015, p.5). Asimismo, el uso excesivo de combustibles fósiles y los actuales problemas de contaminación han generado la tendencia a buscar alternativas de energía renovable (Panigrahi y Dubey, 2019, p.780).

A nivel global la generación de combustible en el año 2019 fue de 100 millones 580 mil barriles por día (bpd) y el consumo total del combustible en ese año fue de 100 millones 740 mil barriles por día (EIA, 2020, p.1). En cuanto al Perú, de acuerdo al último reporte del 2019, se registró una producción de hidrocarburo de 177 mil barriles por día (bpd) y con respecto al consumo de combustible fue de 234 mil bpd (OSINERGMIN, 2019, p.14).

Tradicionalmente, los combustibles fósiles se utilizan como fuente principal de energía, generando impactos negativos, tal como: calidad del ambiente (deterioro de cuerpos de agua, atmósfera y suelo), calentamiento global, efectos sociales asociados a diversas enfermedades (Chakravorty, 2015, p.67). La dependencia global de los combustibles fósiles se califica como insostenible debido a la limitada disponibilidad del recurso y al impacto ambiental generado en la actualidad (Salvucci et al., 2019, p.1). Una de las soluciones factibles ante este problema es el uso de nuevas fuentes energéticas (Oakleaf et al., 2019, p.2), tales como tales como: la energía solar, que es la energía que el sol produce y puede ser captada a través de paneles fotovoltaicos para convertirlos en energía; la energía geotérmica, obtenida de las diferentes capas de la tierra (Barragán et al., 2019, pp. 264,265); la energía oceánica que se obtiene de las corrientes oceánicas, la energía térmica oceánica y los gradientes de salinidad (Belyavok, 2019, p.501).

Otra fuente energética alternativa es la bioenergía, considerada como la cuarta fuente de energía más grande en el mundo, para ello hace falta una revalorización de los residuos tanto sólidos como los efluentes industriales (Zhu et al., 2017, p.1). Corregir la magnitud de impacto ambiental generado por los combustibles fósiles es uno de los más grandes retos en la actualidad para su remoción gradual (Murthy y Ghirardi, 2013, p.66). Por ello, existe la forma de obtener biogás, a través de tratamientos biológicos en el manejo de efluentes con alta concentración de carga orgánica (CO) a partir de la digestión anaerobia (Xiu et al., 2019, p.5).

Según Van Der (2009, p.32) menciona que prácticamente todos los contaminantes del agua en su mayoría son generados por la industria, además entre los contaminantes más importantes están los patógenos, los nutrientes y sustancias que consume el oxígeno del agua. Existe un gran problema en el manejo de los efluentes de las industrias, debido a que en su mayoría no cuentan con una estricta fiscalización y es por esa razón que sus aguas se vierten directamente a las escorrentías, generando una filtración en acuíferos, contaminando así las aguas subterráneas. Las grandes cantidades de efluentes con elevadas concentraciones de CO como industrias de procesamiento de alimentos, bebidas, destilerías que, requieren de tratamiento (Kamali et al., 2019, p.475).

Ante esta problemática en Europa algunas industrias empezaron a realizar tratamientos anaerobios a los efluentes, notándose además que, debido a su alto contenido orgánico, se podían generar cantidades considerables de energía útil en forma de biogás para usarlo en los procesos de producción (Van Lier, 2008, p.1137). Cabe mencionar que la tecnología de reactores anaerobios usada para el tratamiento de efluentes, está en crecimiento. Se estima que existen 4000 reactores anaeróbicos instalados en las industrias tratando efluentes que anteriormente no se consideraban (Van Lier et al., 2015, p.682). Se estima que los reactores anaerobios de flujo ascendente (RAFA), son los más utilizados para el tratamiento anaeróbico de los efluentes industriales, a comparación de otras tecnologías, estas ocupan un 80% de sistemas instalados a nivel mundial (Abbasi y Abbasi, 2012, p. 1696); esto se debe a que se le puede atribuir una buena relación y facilidad de manejo, al tiempo de aplicar altas cantidades de carga orgánica en cortos tiempos de retención hidráulica (Lim y Kim, 2014, p.192). Estas características le permiten

ser competitivo tecnológicamente y además de ser más económicos en comparación con otras tecnologías convencionales (Gandarillas et al., 2017, p.84).

Por lo anteriormente presentado, se plantea el objetivo general: Analizar los aspectos más relevantes en la generación de metano mediante la digestión anaerobia de efluentes industriales utilizando la tecnología RAFA. Siendo los objetivos específicos: Identificar los factores influyentes en la DA de efluentes industriales usando un reactor RAFA para obtener mayor generación de metano y como segundo objetivo es Identificar la eficiencia del lodo granular en la remoción de DQO y generación de metano a partir de efluentes industriales en un RAFA. Por otra parte, el problema general es: ¿Cuáles son los aspectos más relevantes en la generación de metano mediante la digestión anaerobia de efluentes industriales utilizando la tecnología RAFA? Los problemas específicos son: ¿Cuáles son los factores influyentes en la DA de efluentes industriales usando un reactor RAFA para obtener mayor generación de metano?; ¿Cuál es la eficiencia del lodo granular en la remoción de DQO y generación de metano a partir de efluentes industriales en un RAFA?

Actualmente en el Perú se requiere de una disminución y reaprovechamiento de la carga orgánica de los efluentes industriales, en tal sentido existen tecnologías capaces de disminuir esta problemática, de modo que, la aplicación de un RAFA en efluentes provenientes de industrias permite obtener bioenergía como el metano a partir de la digestión anaerobia siendo esta, una opción que disminuye el consumo de combustibles fósiles los cuales contaminan enormemente al medio ambiente. En tal sentido, este estudio se justifica porque pretende compilar los diversos avances realizados sobre el reaprovechamiento de efluentes industriales con alta carga orgánica para la generación de metano a través de reactores RAFA contribuyendo teóricamente con una información actualizada que podría ser usado en futuras investigaciones.

II. MARCO TEÓRICO

Los efluentes industriales tienen diferentes composiciones y esto se debe a los distintos insumos y etapas en el proceso industrial, lo que proporcionan una característica especial a cada agua residual generada (Ferrer et al., 2015, p.42). A continuación, se describe en la tabla N°1 las tres principales industrias como son: la alimentaria (Cervecería y producción de almidón) y etanol, que emiten efluentes con alta carga orgánica, indicando el tipo efluente, proceso, características, carga orgánica en función al DBO y DQO, consumo de agua anual y por producción, que podrían ser usadas en la generación de biogás a través del proceso RAFA.

La digestión anaerobia (DA) es un proceso usado para el tratamiento biológico de residuos biodegradables teniendo como producto un gas rico en energía (Llanes et al. 2019, p.5). Además cabe indicar que la DA es el proceso de transformación de compuestos orgánicos en ausencia de oxígeno a metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2), la transformación de las grandes moléculas complejas presentes en la generación del biogás (CH_4 y CO_2), requieren la presencia de varios grupos de microorganismos que se encuentran en las cuatro etapas del proceso de la DA (Kamyab, 2019, p.2).

Según Gunes et al (2019, p.1364) los procesos de DA están siendo aplicados con mayor frecuencia como un método eficiente para transformar la materia orgánica de efluentes de destilería, cervecerías y otras industrias en energía, de esta forma reducir los daños a los cuerpos de agua. Además, se ha demostrado, en los últimos años, que la DA es más eficiente que los métodos convencionales de tratamientos de aguas residuales. Entonces, la DA es una fuente de energía muy deseable porque produce un bajo nivel de gases de efecto invernadero (GEI), además, de ser una alternativa más limpia que se produce a partir de material de desecho, en comparación con las alternativas de métodos de eliminación de los residuos alimentarios, como los vertederos y la incineración, la DA representa una amenaza mínima para la calidad ambiental (Kumar y samadder, 2020, p.4).

Tabla N°1. Descripción de las principales industrias que emiten efluentes con alta carga orgánica

Tipo de industria	Carga orgánica en función del DQO (mg/L)	Carga orgánica en función del DBO (mg/L)	Volumen anual del efluente generado	Consumo de agua en el proceso de producción	Otros contaminantes
cervecera	2000 a 13000 (Pettigrew et al., 2015, p.2; Enitan et al., 2018, p.4; Al-Mohammedawi y Znad, 2020, p. 2).	1200 a 3600 (Arantes et al., 2017, p.26245).	65 millones 172 mil m ³ (Arias y Reyes, 2015, p.59).	10L H ₂ O/L cerveza (Simate et al., 2011, p.235).	Sulfatos, fosfato, amoníaco, nitrógeno oxidado total, nitrito y nitratos (Enitan et al., 2014, p.694).
Producción de etanol	4400 a 10000 (Robles et al., 2011, p.525; Barros et al., 2017, p.30; Santana, Duda y Alves, 2019, p.2).	35000-50000 (Robles et al., 2011, p.525).	22.4 gigalitros (Parsae, Kiani Deh Kiani y Karimi, 2019, p.117).	15L H ₂ O/L alcohol (Carrilho, Labuto y kamogawa, 2016, p.22).	Cloruros, sulfatos, fosfatos, calcio, magnesio y potasio (Paz, Barba y Marriaga, 2014, p.102).
Producción de Almidón	10000 a 30000 (Shubhaneel, Apurba y kumar, 2018, p.283; Antwi et al., 2017, p.107; Intanoo et al., 2014, p. 257).	4000 a 8000 (Intanoo et al., 2014, p. 257).	-	113 L H ₂ O /kg de almidón (Rodríguez et al, 2003, p.74)	Nitrógeno, fósforo y amoníaco (Wang et al., 2009, p.35).

Fuente: elaboración propia

En un DA, la materia orgánica (MO) se descompone, debido a la actividad metabólica de poblaciones bacterianas generadoras de metano que trabajan en serie, degradando la MO en etapas sucesivas (Kumar y samadder, 2020, p.5). El proceso comprende de cuatro etapas diferentes: La hidrólisis es la primera etapa en la que la MO compleja como carbohidratos, proteínas y grasas se descomponen en moléculas orgánicas solubles como el azúcar, aminoácidos y ácidos grasos. En algunos casos, la hidrólisis es la etapa más lenta ya que limita la velocidad de formación de los ácidos grasos volátiles (AGV) (Zhang et al., 2014, pp.384,385). La segunda etapa es la acidogénesis, donde los compuestos orgánicos reducidos en la hidrólisis se descomponen en ácidos grasos volátiles junto con H_2 y CO_2 ; la tercera etapa es la acetogénesis en la que los AGV en la etapa de acidogénesis se transforman en ácido acético, así como en H_2 y CO_2 (Kumar y samadder, 2020, p.6). La última etapa es la metanogénesis, donde se encuentran dos tipos de bacterias: las acetotróficas que transforman el ácido acético en CH_4 y CO_2 y las hidrogenotrofica que convierten el H_2 con CO_2 a CH_4 respectivamente (Jiraprasertwong, maitriwong y Chavadej, 2019, p. 191). Las cuatro etapas metabólicas que ocurren dentro de los procesos de DA, están representadas en la figura 1.

Así mismo, cabe mencionar que estos microorganismos (de las cuatro etapas mencionadas) tienen la capacidad de desempeñarse en digestores anaerobios, lodos y tractos gastrointestinales de algunos seres vivos. (Corrales et al., 2015, p.78).

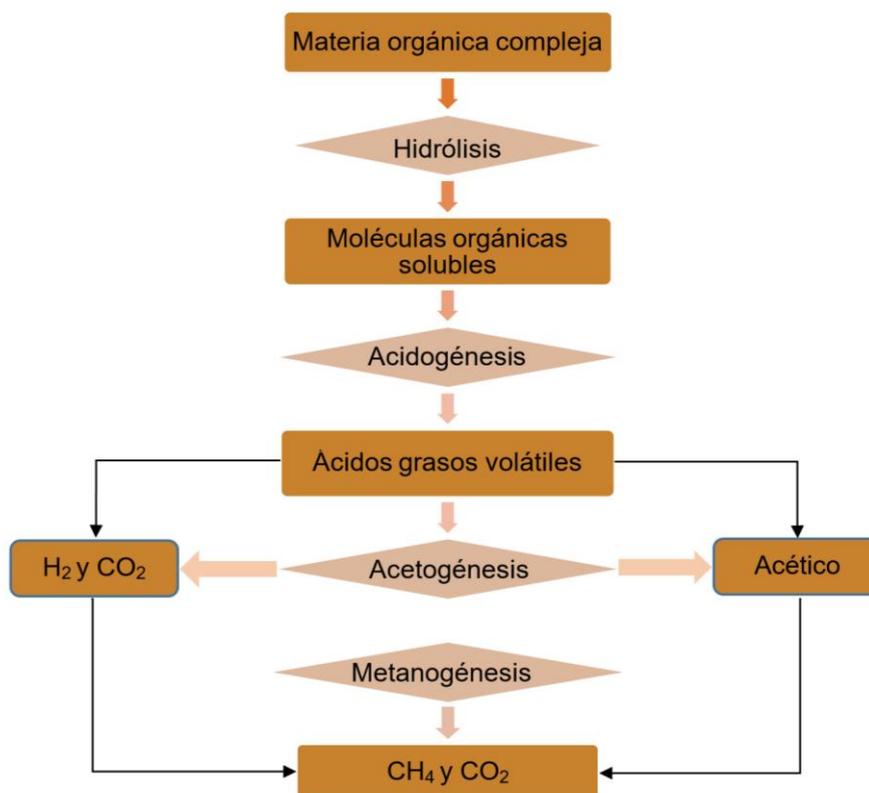


Figura 1. Esquema del proceso de la DA. Adaptado de Kumar y Samadder, 2020, p.7

En la tabla 2 se presenta las reacciones químicas que se dan en la transformación de la MO por la DA.

Tabla 2. Reacciones químicas de la DA.

Tipo de reacción	Ecuación	Descripción de la reacción
Fermentación de glucosa a acetato	$\text{Glucosa} + 4\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CH}_3\text{COO}^- + 4\text{H}^+ + 4\text{H}_2$ <p>(1)</p>	las bacterias acidogénicas descomponen las moléculas orgánicas que en reacción con las moléculas de agua, forman como productos el ácido acético e hidrógeno en medio ácido.
Fermentación de glucosa a butirato	$\text{Glucosa} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_4\text{H}_7\text{O}_2 + 2\text{HCO}_3^- + 3\text{H}^+ + 2\text{H}_2$	Las bacterias acidogénicas descomponen las moléculas orgánicas que en reacción con las

	(2)	moléculas de agua, forman productos como el butirato (ácidos grasos) y ácidos carbónicos en un medio ácido.
Fermentación del butirato a acetato e H ₂	$\text{Butirato} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}^+ + \text{H}_2$ (3)	Las bacterias acetogénicas descomponen el butirato que en reacción con las moléculas de agua, forman ácido acético y gases como el hidrógeno en medio ácido.
Fermentación del Propionato a acetato	$\text{Propionato} + 3\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{HCO}_3^- + \text{H}^+ + \text{H}_2$ (4)	Las bacterias acetogénicas descomponen el propionato que al reaccionar con las moléculas de agua, forman ácido acético, hidrógeno y ácido carbónico.
Acetogénesis a partir de H ₂ y CO ₂	$\text{CO}_2 + \text{H}^+ + 4\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{COO}^- + 2\text{H}_2\text{O}$ (5)	Las bacterias acetogénicas descomponen el CO ₂ que al reaccionar con el hidrógeno molecular en un medio ácido forman ácido acético y agua.
Metanogénesis a partir del CO ₂ e H ₂	$\text{CO}_2 + 4\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + 3\text{H}_2\text{O}$ (6)	Las bacterias metanogénicas hidrogenotróficas descomponen el CO ₂ que al reaccionar con el hidrógeno, forman metano y agua
Metanogénesis a partir del acetato	$\text{Acetato} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CH}_4 + \text{CO}_2 + \text{H}^+$ (7)	Las bacterias acetotróficas descomponen el acetato que, en reacción con las moléculas de agua, forman metano y óxido carbónico.

Fuente: elaboración propia adaptado de Moraes, Zaiat y Bonomi, 2015, p.894

Asimismo, existen factores que influyen en la digestión anaerobia para la generación de CH₄ en un reactor. A continuación, se describirán el DQO, DBO, pH, Temperatura, ácidos grasos volátiles, la alcalinidad, velocidad de carga orgánica (VCO) y el tiempo de retención hidráulica (TRH).

La demanda química de oxígeno (DQO) es importante, ya que es un indicador de medición de la cantidad de MO en una muestra (Islam et al., 2019, p.119), que contiene compuestos orgánicos oxidables biodegradables y no biodegradables disueltos en el efluente (Nazari et al., 2018, p.69). Para determinar el DQO, la MO de la muestra se oxida con $K_2Cr_2O_7$ en un medio ácido, generalmente se logra con la adición de ácido sulfúrico, donde el $K_2Cr_2O_7$ se reduce formando Cr^{3+} , una vez completa la oxidación la cantidad de Cr^{3+} es utilizado como un indicador indirecto de la cantidad de la MO presente en la muestra (Kosseva, 2013, p. 55). Por otra parte, para determinar la producción del biogás se realiza en función al consumo del DQO y de la masa digerida (Kythreotou, Tassou y Florides, 2012, p.253).

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) es un parámetro muy usado en la caracterización de efluentes (Menéndez y Pérez, 2007, p2). La DBO es un indicador de la cantidad de oxígeno que se requiere para degradar la MO biológica presente en una muestra (Soga et al., 2018, p.337). La cantidad total de sustancias orgánicas biodegradables es medida por la absorción de oxígeno durante un período de 5 días por un pequeño grupo de bacterias confinadas en una botella oscura que contiene la muestra a tratar (Nazari et al., 2018, p.69). Para una buena biodegradabilidad de la MO la relación entre el DBO y DQO debe ser mayor o igual a 0.45, si las aguas residuales van a ser tratadas usando un tratamiento biológico (Racho y Pongampornnara, 2019, p.746).

La temperatura es un factor físico que interviene en el crecimiento microbiano, ya que los microorganismos no poseen mecanismos para aumentar o disminuir su temperatura interna (Basurto 2014, p.14). La DA puede funcionar en condiciones de temperatura mesófilas de 25 a 45 °C y termófilas de 45 a 60 °C (Zhang et al., 2020, p.3). Por otra parte, Da Ros et al (2017, p.745) mencionan que, la DA mesófila proporciona rendimientos estables de producción de biogás con menor aporte de calor, motivo por el cual es usado con mayor frecuencia en las plantas de tratamientos de efluentes. Sin embargo, Leite et al (2017, p.335) indican que, la DA termófila ha atraído la atención, debido a sus más rápidas tasas de reacción y mayor soporte de carga orgánica que la DA mesófila, mejorando así la producción de biogás. Por otra parte, el mayor inconveniente de la DA termófila es el alto requerimiento de energía y la inestabilidad del proceso, lo cual puede afectar

negativamente el proceso de la digestión completa (Panigrahi y Dubey, 2019, p.783).

El pH es un parámetro necesario para la DA, ya que permite mejorar y controlar el correcto funcionamiento de las diferentes poblaciones microbianas presentes (Sánchez et al. 2016, p.195). Las bacterias metanogénicas son altamente sensibles al pH bajo, así mismo un pH alto puede producir la formación de agentes tóxicos (Panigrahi y Dubey, 2019, p.784). Para la máxima actividad microbiana el pH debe estar en un rango de 6,8 y 7,2 lo cual evita la inhibición de los microorganismos. (Xu et al., 2019, p.13) Sin embargo, el proceso puede tolerar un rango de 6.5 a 8.0 (Cioabla et al., 2012, p.2). Por otra parte, los grupos bacterianos en la DA tienen su propio pH óptimo, como es el caso de las bacterias hidrolíticas y los acidógenos pueden estar en un rango mayor de pH de 4 a 8,5, mientras que, las bacterias metanogénicas tienen un rango menor de pH que es de 6,5 a 7,2. La DA en condiciones mesofílicas proporciona abundantes especies microbianas con alta actividad enzimática, donde el pH se mantiene generalmente entre 6,5 y 7,5, siendo ideal el pH neutro, así mismo, la DA en condiciones termófilas su pH óptimo es ligeramente superior al mesofílico. Por otra parte, para asegurar la abundancia de bacterias metanogénicas es necesario medir el pH de forma continua, no obstante, el pH óptimo también depende del tipo de sustrato y de reactor (Panigrahi y Dubey, 2019, p.784).

La acumulación de ácidos grasos volátiles (AGV) genera una inestabilidad entre las bacterias productoras de ácidos y las bacterias que las consumen (Shi et al., 2017, p.50). La producción de los AGV juega un papel importante en la degradación de la MO, se considera que en la DA se pueden encontrar diferentes ácidos, dentro de los cuales los mayores precursores para la generación de metano son los ácidos acético y butírico. Por otra parte el incremento de los AGV provoca una caída en el pH que influye de forma negativa en la estabilización de la DQO a CH₄ (Srisowmeya, Chakravarthy y Nandhini, 2019, p.10), como por ejemplo, el resultado de la alta velocidad de reacción de la acidogénesis a condiciones termofílicas produce un exceso de ácido propiónico en el digestor, lo que puede inhibir la Metanogénesis (Panigrahi y Dubey, 2019, p.783), estas condiciones pueden

provocar la desintegración de los gránulos en el lodo (Abbasi y Abbasi, 2012, p.1699).

La alcalinidad se define como la capacidad del agua de neutralizar ácidos y mantener un pH equilibrado y esto se debe a los contenidos de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos presentes en el agua y puede ser expresada en mg/L (Pérez, 2016, p.6). Por otra parte, la alcalinidad es necesaria para mantener un pH en un rango de 6.8 a 7.3 ideal para la DA (Chen, Zhang y Wang, 2015, p.5), es decir, ayuda a neutralizar los AGV que a menudo se producen en el tratamiento con lodos en reactores anaerobios (Gonzalez, Font y Vincent, 2013, p.1). Los niveles de alcalinidad que oscilan entre 250 y 950 mg/l son ideales para la formación y la estabilidad de los gránulos de lodo (Abbasi y Abbasi, 2012, p.1699). Por otro lado, una solución alcalina se puede añadir directamente al digestor con el fin de mantener la alcalinidad en un pH adecuado para la DA (Fuentes, 2014, p. 78).

La VCO se refiere a la cantidad de MO por unidad de volumen, aplicada a un reactor, que se somete al proceso de DA en un tiempo determinado. Es considerado un factor clave en la generación de biogás y puede estar influenciado por la concentración de sustratos y el TRH (Cardoso et al., 2019, p, 209). Por otro lado, cuando existe un mayor incremento de la VCO, esta puede causar la reducción en la eficiencia de remoción de la DQO en el reactor (Pacco et al., 2018, p.387), es por ello que la VCO debe encontrarse en un rango de 1.5 - 6.2 gDQO/(L/d) Conociendo la DQO y el caudal del efluente se puede calcular la VCO a través de la ecuación 8 como se muestra en el anexo 1 (Labatut y Pronto, 2018, pp.51,56).

El tiempo de retención hidráulico (TRH) es importante ya que, es el tiempo promedio que el efluente se mantiene en el reactor (Jain et al., 2015, p.146), permitiendo el crecimiento de la población microbiana y la conversión de la materia orgánica del efluente a biogás. Cabe señalar que, el TRH en condiciones mesofílicas es de 14 a 40 días, mientras que, en condiciones termofílicas es de 14 a 20 días (Srisowmeya, Chakravarthy y Nandhini, 2019, p.10). Por otra parte, es importante mencionar que otros factores como el pH, temperatura y el tipo de efluente, influyen en el proceso de la DA (Lohani y Havukainen, 2017, p.343).

Dentro del reactor RAFA se siembra un inóculo que puede ser un lodo granular o lodo activado, el cual contiene microorganismos capaces de degradar la MO de efluentes para generar metano, como se mencionara a continuación.

Un inóculo es una comunidad microbiana que se introduce en un medio adecuado, brindando las condiciones necesarias para obtener un mayor rendimiento en la digestión de efluentes y generación de metano (Sood et al., 2011, p152). El inóculo podría dar lugar a diferentes resultados de biodegradabilidad de la MO como consecuencia de los diversos grupos de la comunidad microbiana (Raposo et al., 2012, p.862). El primer paso para un tratamiento biológico de un efluente, es seleccionar el inóculo, para ello se debe de conservar condiciones operativas estables en el reactor. Dentro de las características del inóculo, está en presentar una comunidad bacteriana balanceada, que le permite adaptarse a un medio sin sufrir mayores cambios, para la formación de gránulos activos y disminuir la carga orgánica (Terry, Fernández y Almeida, 2008, p. 72). Para seleccionar la mejor fuente de inóculo para un tipo específico de aguas residuales, se pueden utilizar las pruebas de toxicidad y biodegradabilidad (Economic Commission for Europe, 2019, p.493). Un reactor RAFA es inicialmente sembrado con un inóculo que puede ser un lodo granular o un lodo Floculento (activado) (Chong et al.,2012, p.3437).

Los lodos granulares es una asociación microbiana esférica y densa, dentro de esta comunidad existen diferentes grupos de microorganismos que tienen la capacidad de degradar la materia orgánica biodegradable (Zhao et al., 2019, p.12130). Las poblaciones microbianas presentes en un lodo granular está compuesta por bacterias como: las fermentadoras de glucosa, acetogénicas, acidogénicas, metanogénicas, Sulfato reductoras y nitrato reductoras, donde se evidencia un dominio de parte de las bacterias metanogénicas (Cajacuri et al., 2013, pp. 327, 331). Sin embargo, individualmente las especies de estos microecosistemas no son capaces de degradar completamente los desechos, por ello, son necesarias las asociaciones entre los diferentes microorganismos. El lodo granular tiene mejores propiedades de asentamiento que un lodo normal, lo que permite una mayor VCO en un reactor anaerobio (Abbasi y Abbasi, 2012, pp.1698, 1699), Además el lodo granular utilizado como inoculo reduce el tiempo de arranque del reactor (Tapia et al., 2018, p.138) y la formación de gránulos durante el arranque brinda una ventaja

decidida por su capacidad de proporcionar una alta eficiencia de eliminación de DQO (Chong et al., 2012, p.3438) y generación de CH_4 debido a su actividad metanogénica el cual tiene un rango de 0.5 a 1.5 gDQO/gSSV*d (Orozco, 2005, p.193). Los gránulos pueden tener un tamaño de 0,1 a 5 mm (Abbasi y Abbasi, 2012, pp.1698, 1699), es por ello que la velocidad de sedimentación está influenciada por el tamaño y la forma de las partículas, así como la diferencia entre la densidad del agua y las partículas (Winkler et al., 2013, p.7459). En caso no se cuente con lodo granulado se puede utilizar como inóculo el lodo activado (Lim y Kim, 2014, p.193), sin embargo, el tiempo de arranque del reactor puede ser mayor (Rizvi et al., 2015, p. 783) y la sedimentabilidad de este lodo es menor que la del lodo granular, motivo por lo cual se tiene que aplicar menores VCO (Rico, Montes y Rico, 2017, p.153). Por otra parte, cabe mencionar que, en los estudios de investigación con reactores RAFA, Kongjan, Jariyaboon y O-Thong (2014, p.19344) utilizaron lodos granulares provenientes de la planta industrial de biogás que utiliza efluentes de una industria de pescado y que Nualsri, Kongjan y Reungsang, (2016, p.3) aplicaron lodos granulares obtenidos de un reactor RAFA de una industria cervecera en Khon, Thailandia.

El lodo anaerobio que servirá como inóculo en el reactor RAFA se le pueden realizar dos pruebas tales como: la actividad metanogénica específica (AME) que es utilizada para seleccionar que lodo genera mayor producción de metano y el potencial bioquímico de metano (PBM) el cual tiene como función principal, determinar la proporción inóculo/sustrato que genere mayor producción de CH_4 en el reactor RAFA, tal como se muestra en el anexo 2 y 3.

En la actualidad los reactores anaerobios han adquirido gran importancia debido a su capacidad de generación de CH_4 a partir del uso de efluentes como materia prima, dentro de los cuales se puede mencionar el reactor de mezcla completa (CSTR) que tiene una entrada continua de medio y una salida continua del agua tratada, por otra lado, existe el reactor anaerobio por lotes en serie (ASBR), en el cual la alimentación como la sedimentación es operado por lotes en series discontinuas en el reactor, se da de forma cíclica en cuatro etapas sucesivas: alimentación, reacción, sedimentación y vaciado (Márquez y Martínez, 2011,pp.18,19). Por otra parte, cabe mencionar al reactor RAFA son los más

utilizados para tratar efluentes industriales debido al bajo costo operacional (implementación y mantenimiento), utilizar poca energía y generar poca producción de lodos excedentes en el reactor (Abbasi y Abbasi, 2012, p.1696).

EL RAFA es empleado en DA para el tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales con elevado contenido orgánico, este reactor depende de parámetros físicos y biológicos para la remoción de la MO del efluente (Gandarillas et al., 2017, p.84), siendo capaz de eliminar una alta DQO del efluente sin necesidad de un material de apoyo (Chong et al., 2012, p.3437). El RAFA es un reactor que consta de dos partes (ver figura 2), una columna que puede ser cilíndrica y un separador de gases-líquidos-sólidos (Mainardis y Goi, 2019, p.1), Las aguas residuales (afluente) son introducidas homogéneamente por la parte inferior estableciendo un flujo ascendente (Gandarillas et al., 2017, p.84), entran en contacto con la capa de lodo, donde las bacterias por medio de su DA degradan la MO transformándola en biogás (CH_4 y CO_2). A medida que el flujo asciende, el biogás producido y el lodo impulsado atrapado por las burbujas de gas, se separan luego del efluente por el separador gas-líquido-sólido sumergido, en el cual los baffles evitan en la medida de lo posible el lavado de la materia bacteriana del lodo flotante, deslizándose de nuevo a la zona de reacción (Chong et al., 2012, p.3437). Tanto en zona de reacción (capa de lodo), como en el manto de lodo ocurre la eliminación de DQO (Gandarillas et al., 2017, p.85). Por otra parte, para poner en marcha el RAFA depende en gran medida del arranque, que consiste en la aclimatación del inóculo a las características del sustrato, donde el inóculo a utilizar puede ser lodo granular o activado, el cual es introducido en el fondo del reactor en condiciones apropiadas (pH, temperatura y ambiente anaerobio) (Nakasima et al., 2017, p.200). Se requiere un período de aclimatación de dos a tres meses antes de que se puedan emplear las cantidades de carga orgánica de diseño completo a condiciones de operación, es por ello que, en la etapa del arranque es importante tener mayor cuidado, ya que el proceso de la DA es lento y requiere de una variedad de factores (Gandarillas et al., 2017, p.85).

El metano es un gas que puede provenir de fuentes naturales como océanos, sedimentos, volcanes e incendios forestales, así como de fuentes antropogénicas como minas de carbón, agricultura y tratamientos de aguas residuales (Malone,

2015, p.3). Por otro lado, la digestión anaeróbica de desechos como el estiércol animal, aguas residuales o residuos de alimentos genera biogás, que está formado aproximadamente de un 60 % de CH_4 . El biogás se puede limpiar para producir metano e incorporar fácilmente a las tuberías de la red de gas natural, lo que lo convierte en una prometedora fuente de energía renovable (Holmes y Smith, 2016, p.1). Además del uso doméstico, está siendo utilizado para vehículos que funcionan con gas natural. Así mismo el metano almacenado puede ser quemado para generar electricidad. (Revankar, 2019, pp.221, 222). Existen métodos para medir la concentración del metano en el biogás como son el uso de sensores, y la cromatografía de gases. Por su parte Palacios, Falcón y Muñoz (2015, p.23) utilizaron sensores para medir metano, a través de circuitos que iban conectados a un computador donde se almacenaba la información de los sensores. Por otro lado, la cromatografía de gases, es un método más usado por los expertos, permite separar y medir la concentración de diferentes gases (Yahia et al., 2019, p.472). Así mismo, Reungsang, Sittijunda y Sreela-or (2016, p.1226) y Tartakovsky, Lebrun y Guiot (2015, p.87) utilizaron un cromatógrafo de gases, para cuantificar la generación de CH_4 .

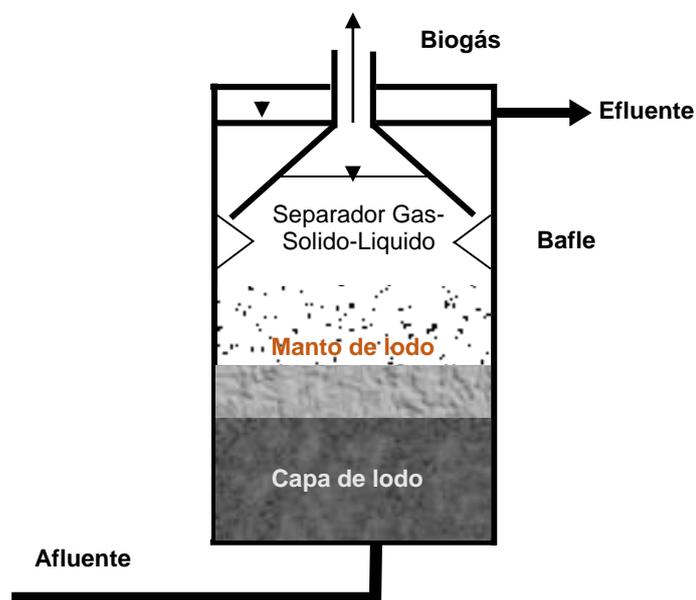


Figura 2. Esquema de un reactor RAFA. Adaptado de Gandarillas et al., 2017, p.85. Asimismo, se presenta en la tabla 3 los antecedentes de este estudio, donde se demuestra cómo; el tipo de inóculo, efluente, factores que influyen en la DA y los resultados obtenidos intervienen en la producción de metano en un RAFA.

Tabla 3. Antecedentes de reactores RAFA para la generación de metano

Autor	Tipo de Inoculo	Tipo de efluente	Volumen del RAFA	Factores que influyen en la DA	Resultados
Lu et al., 2015, pp. 266-270	Lodo granular	Producción del almidón	6 litros	TRH de 24 horas, VCO de 4 gDQO/(L/d), temperatura 35°C, pH de 6.5 - 7.5 y un DQO inicial 1,000 mg/L	DQO final (62.2 - 88.8mg/L), remoción de DQO 91.5% y porcentaje de CH ₄ de 70.3 a 84.3% (0.33L CH ₄ /g de DQO eliminado)
Racho y Pongampornnara, 2019, pp. 746 -750	Lodo granular	Producción del almidón	31 litros	THR 36 horas, VCO de 7.5 g de DQO/(L/d) , temperatura 25°C, pH 7 y un DQO inicial de 3,000 mg/L	Remoción de 82% de DQO eliminada y porcentaje de CH ₄ fue de 60% (0,28 L CH ₄ /g de DQO eliminado).
Jiraprasertwong, Maitriwong y Chavadej,	Lodo granular	Producción del almidón	24 litros	THR 24 horas, VCO 5 gDQO/(L/d), temperatura 37°C, pH 6.8 y un DQO inicial de 1,050 mg/L	Remoción de DQO 92.5% , porcentaje de CH ₄ 65% (0.32 LCH ₄ /gDQO)

2019, pp.192-201					
Intanoo, Chaimongkol y Chavadej, 2016, pp. 6107-6114	Lodo granular	Producción del almidón	24 litros	THR 24 horas, VCO 8 gDQO/(L/d), temperatura 37°C, pH 6.5 y DQO inicial 1120 mg/L	Remoción 83% de CH ₄ , porcentaje de CH ₄ 80% (0.259 LCH ₄ /gDQO)
Hinken et al., 2014, pp.83-93	Lodo granular	Producción del almidón	12.5 litros	THR 30 horas, VCO 2.6 gDQO/(L/d), temperatura 32°C, pH 6.6 y DQO inicial 1900 mg/L	DQO final 66 mg/L, remoción de DQO 96.6 %, porcentaje de CH ₄ 67% (0.28 LCH ₄ /gDQO)
Cremones et al., 2020, pp. 2-11	Lodo granular	Producción del almidón	5 litros	THR 26.7 horas, VCO 8 gDQO/(L/D), temperatura 37°C, pH 7 y un DQO inicial de 4,850 mg/L	Remoción de DQO 72%, porcentaje de CH ₄ 76.6% (0.25 LCH ₄ /gDQO)
Khongkliang, Kongjan y O-Thong, 2015, pp. 828-832	Lodo granular	Producción del almidón	6 litros	TRH 12 horas, VCO 6.7 gDQO/(L/d), temperatura 28°C, pH 6.48-6.15 y DQO inicial 3450 mg/L	DQO final 940mg/L, remoción de DQO 72.8%, porcentaje de CH ₄ 55%(0.31 LCH ₄ / gDQO)

Antwi et al., 2017, 105-116	Lodo granular	Producción del almidón	7 litros	THR 36 horas, VCO 2.7-13.27gDQO/(L/d), temperatura 35°C, pH 7.19 - 8.78 y DQO inicial 2000-4000 mg/L	Remoción de DQO 97% , porcentaje de CH ₄ 73.6% (0.48 LCH ₄ / gDQO)
Buitrón et al., 2014, pp. 19249- 19254	Lodo granular	Producción de etanol	500 mL	THR 24 horas, VCO de 3- 7 g DQO/(L/d), temperatura 35°C, pH 6.8 - 7.5 y un DQO inicial de 1,636 mg/L	Remoción de 75% de DQO y porcentaje de 68% de CH ₄ (0.26 LCH ₄ /gDQO eliminado).
Barros, Duda y Oliveira, 2016, pp. 628-638	Lodo granular	Producción de etanol	21.5 litros	THR 1.8 días, VCO 5- 7.5 g de DQO/(L/d), temperatura 30°C, pH de 6.5 - 6.8 y un DQO inicial de 1,866 mg/L	DQO final 374.2 mg/L, remoción de 80% de DQO y porcentaje de CH ₄ fue de 65%(0.185LCH ₄ /gDQO eliminada)
Nualsri, Kongjan y Reungsang, 2016, pp. 17886-17893	Lodo granular	Producción de etanol	24 litros	THR de 3 días, VCO 2.5gDQO/(L/d), temperatura 30 °C, pH de 7 - 8 y un DQO inicial de 2,500mg/L	Remoción de DQO de 97.5% y porcentaje de CH ₄ fue de 67%(0.225 L CH ₄ /gDQO)

Nunes et al., 2016, pp. 246-252	Lodo granular	Producción de etanol	3.4 litros	TRH 10.2 horas, VCO 15 gDQO/(L/d), temperatura 55°C, pH 6.8- 7.2 y DQO inicial 2,400 mg/L	Remoción 76.6%, porcentaje de CH ₄ 68.8% (0.4 LCH ₄ /gDQO)
Del Nery et al., 2018, pp. 412-416	Lodo granular	Producción de etanol	60 litros	TRH 14.2 horas, VCO 8.63gDQO/(L/d), temperatura 22°C, pH 7.75 y DQO inicial 1440 mg/L	Remoción de DQO 87.5- 90.5, porcentaje de CH ₄ 65% (0.299 LCH ₄ /gDQO)
Santana, Duda y Oliveira, 2019, pp.2-10	Lodo granular	Producción de etanol	13.7 litros	THR 38 horas, VCO 6.5- 11.3 gDQO/(L/d), temperatura 55°C, pH 7.1- 7.8 y DQO inicial 3,930 mg/L	Remoción 80%, porcentaje de CH ₄ 70% (0.275 LCH ₄ /gDQO)
Llanes et al., 2019, pp. 9-27	Lodo granular	Producción de etanol	4.5 litros	THR 2.4 días, VCO 10 gDQO/(L/d), temperatura 35°C, pH 6-8.5 y DQO inicial 2,160 mg/L	Remoción de DQO 90%, porcentaje de CH ₄ 65% (0.351 LCH ₄ /gDQO)
Barros et al., 2017, pp. 371-381	Lodo granular	Producción de etanol	5.6 litros	TRH 11 horas, VCO 8 gDQO/(L/d), temperatura 54-56°C, pH 6.59-7.7 y DQO inicial 3,154 mg/L	Remoción 60% DQO, porcentaje de CH ₄ 83% (0.25 LCH ₄ /gDQO)

Enitan et al., 2018, pp.2-6	Lodo granular	Cervecería	500 mL	THR de 24 horas, VCO 8 gDQO/(L/d), temperatura 28°C, pH en rango de 6.8 - 7.5 y un DDO inicial de 1,140 mg/l	DQO final de 239.5 mg/L, remoción del DQO 78-97% y porcentaje de CH ₄ fue 60-69%(0.378 LCH ₄ /gDQO)
Oktem y Tufekci, 2006, pp.248-251	Lodo granular	cervecería	30 Litros	THR 31.2 horas, VCO 7 gDQO/(L/d), temperatura 35°C, pH 6.9 - 7.2 y un DQO inicial de 2,000 mg/L	Remoción de DQO 95%, porcentaje de CH ₄ 87% (0.3 LCH ₄ /gDQO eliminado)
Xu et al., 2019, pp. 2-8	Lodo granular	cervecería	25 litros	TRH 12 horas, VCO 8.61 gDQO/(L/d), temperatura de 37°C, pH de 7.5 y un DQO inicial de 3,000 mg/L	Remoción de DQO fue de 75.54 % y porcentaje de CH ₄ 82.66% (0.27 L CH ₄ /g de DQO eliminado)
Enitan et al., 2015, pp. 675-681	Lodo granular	cervecería	17 m3	TRH 13 horas, VCO 9.2gDQO/(L/d),temperatura 29°C, pH 6.9 y DQO inicial 2,006 mg/L	DQO final 457.25, remoción de DQO 79%, porcentaje de CH ₄ 65.9%(0.29 LCH ₄ /gDQO)

Li y Mulligan, 2004, pp. 89-94	Lodo granular	cervecería	2 litros	THR 12 horas, VCO 6gDQO/(L/d), Temperatura 35°C, pH 6.9-7.2 y DQO 1100 mg/L	Remoción de DQO 78%, porcentaje de CH ₄ 68.5% (0.38 LCH ₄ /gDQO)
Jiménez et al., 2016, pp. 2697- 2703	Lodo granular	cervecería	-	TRH 7 horas, VCO 7.4 gDQO/(L/d), temperatura 27°C, pH 6.8 y DQO inicial 1,800 mg/L	DQO final 540 mg/l, remoción de DQO 70%, porcentaje de CH ₄ 73% (0.25 ICH ₄ /gDQO)
Godoy et al., 2014, pp.158-162	Lodo granular	cervecería	974m ³	TRH 9.5 horas, VCO 6.8 gDQO/(L/d), Temperatura 34°C, pH 6.8 y DQO inicial 2.090mg/L	DQO final 202 mg/L, remoción de DQO 90.33% , porcentaje de CH ₄ 75.18%(0.33 LCH ₄ /gDQO)
Ting-yu y Jin, 2011, pp. 330-333	Lodo granular	cervecería	26.5 litros	THR 20 horas, VCO 6gDQO/(L/d), temperatura 32°C, pH 6.5 - 6.7 y DQO inicial 2500 mg/l	DQO final 75 mg/L, remoción de DQO 97% (0.4 LCH ₄ /gDQO)

Fuente: elaboración propia

III. MÉTODO

3.1. Tipo y diseño de investigación

3.1.1. Tipo de investigación.

La presente investigación se considera básica, ya que pretende compilar los diversos avances realizados sobre el reaprovechamiento de efluentes industriales con alta carga orgánica para la generación de metano a través de reactores RAFA contribuyendo teóricamente con una información actualizada que podría ser usado en futuras investigaciones. El tipo de investigación básica lleva a la búsqueda de nuevos conocimientos, enriquece el conocimiento científico y sirve de base a las investigaciones aplicadas (Ñaupas et al, 2014, p. 91).

3.1.2. Diseño de investigación

La siguiente investigación utiliza un diseño narrativo debido a que, se recopiló información de las experiencias de investigadores que utilizaron el Reactor RAFA para generar metano mediante la DA de efluentes industriales con alto contenido orgánico, de modo que, se pueda analizar los aspectos más relevantes en la generación de metano. Por otra parte, Hernández, Fernández y Baptista (2014, pp. 487, 488) sostienen que los diseños narrativos pretenden entender procesos e interacciones a través de quienes lo experimentaron y utilizan herramientas de recolección de los datos como elementos en internet (artículos, imágenes), además se tiene en consideración diferentes pruebas de cada investigador sobre el planteamiento para desarrollar la narrativa.

3.2. Categorías y subcategorías y matriz de categorización apriorística

La matriz de categorización apriorística se realiza en base a los objetivos y problemas específicos de la investigación, los cuales están divididos en categorías y subcategorías tal como se muestra en la tabla 4.

3.3. Escenario de estudio

Esta investigación no cuenta con un escenario de estudio definido, por tratarse de una revisión bibliográfica sobre la digestión anaerobia de efluentes industriales para la generación de metano en un RAFA, para ello se ha contado con diversos documentos (artículos científicos, libros, capítulos de libros, tesis, informes y

Tabla 4. Matriz de categorización apriorística

Objetivos Específicos	Problemas específicos	Categoría	Subcategoría	unidad de análisis
Identificar los factores influyentes en la DA de un efluente industrial usando un reactor RAFA, para obtener mayor generación de metano.	¿Cuáles son los factores influyentes en la DA de un efluente industrial usando un reactor RAFA, para obtener mayor generación de metano.	Factores que influyen	DQO	Islam et al., 2019, p.119; Nazari et al., 2018, p.69; Kythreotou,
			Temperatura	Da Ros et al., 2017, p.745; Leite et al.,2017, p.335; Panigrahi y Dubey, 2019, p.783.
			pH	Sánchez et al. 2016, p.195; Xu et al., 2019, p.13; Panigrahi y Dubey, 2019, p.784)
			TRH	Jain et al., 2015, p.146; Lohani y Havukainen, 2017, p.343
			VCO	Cardoso et al., 2019, p, 209; Pacco et al., 2018, p.387
Identificar la eficiencia del lodo granular en la remoción de DQO y generación de metano a partir de efluentes industriales en un RAFA	¿Cuál es la eficiencia del lodo granular en la remoción de DQO y generación de metano a partir de efluentes industriales en un RAFA?	Eficiencia del lodo granular	Remoción DQO	Zhao et al., 2019, p.12130; Cajacuri et al., 2013, pp. 327, 331; Abbasi y Abbasi, 2012, pp.1698, 1699; Tapia et al., 2018, p.138; Kongjan, Jariyaboon y O-Thong, 2014, p.19344.
			Generación de CH ₄	Lim y Kim, 2014, p.193; Winkler et al., 2013, p.7459; Chong et al., 2012, p.3438; Orozco, 2005, p.193; Rizvi et al., 2015, p. 783; Nualsri, Kongjan y Reungsang, 2016, p.3.

Fuente: elaboración propia

reportes) principalmente en tratamientos de efluentes de las tres principales industrias como son; la producción de almidón, etanol y cervecería, que emiten efluentes con alta carga orgánica para generar metano como energía.

3.4. Participantes

La información para realizar esta investigación, se obtuvo a través de documentos, principalmente de artículos científicos de las bases de datos académicas tales como: Science direct, Scopus, Springer, Scielo, Proquest, Dialnet, Redalyc, ResearchGate. También se utilizó información de libros, capítulos, tesis, instituciones nacionales (INEI y OSINERGMIN) e internacionales US. Energy Information Administration.

3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La técnica que se utilizó en esta investigación es el análisis documentario, el cual busca describir e interpretar los documentos de forma unida sistemáticamente para facilitar su información, para ello se identificó la información del documento a través de la descripción del autor, título, nombre de la revista, año de publicación y contenido temático por medio de palabras claves. Cabe mencionar que la técnica utilizada en esta investigación es la misma descrita por Bowen (2009, p.27). Por otra parte, la recolección de datos de los documentos revisados se realizó en base a una ficha técnica como se muestra en el anexo 7, que contiene datos como: Autores, objetivos, metodología (Reactor RAFA para la producción de metano, tipo de efluentes industriales provenientes de la producción de almidón, etanol y cervecería, además de factores que influyen en la digestión anaerobia, lodos granular) y resultados.

3.6. Procedimientos

El procedimiento consiste en varias etapas tales como: la evaluación inicial de la literatura, palabras claves, la documentación obtenida principalmente de base de datos académicas, criterios de selección y la cantidad de documentos seleccionados para esta investigación, tal como se muestra en la figura 3.

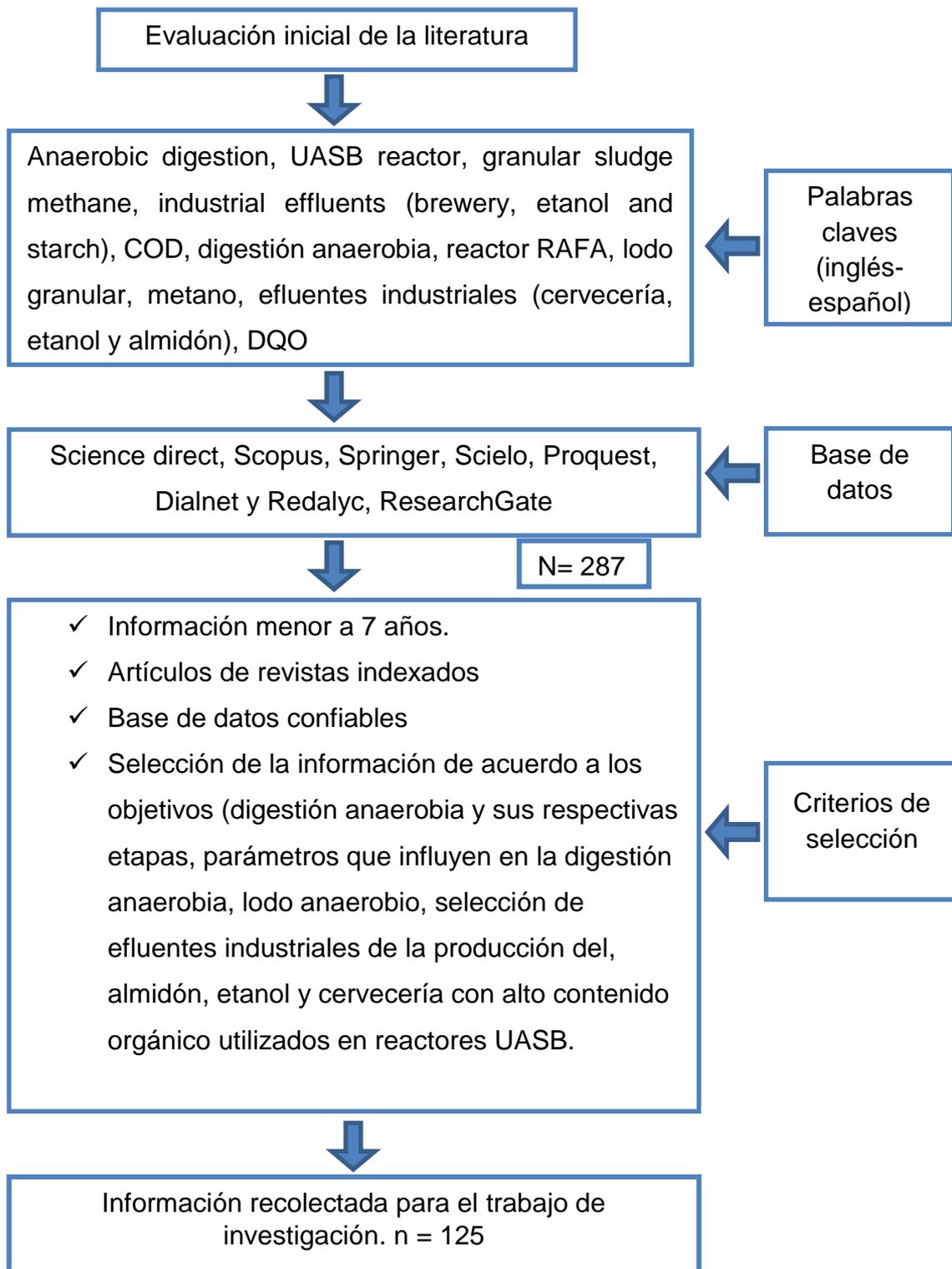


Figura 3. Procedimiento para la evaluación de la literatura

Por otra parte, para realizar la búsqueda de la información del trabajo de investigación se consideraron varios criterios para seleccionar los documentos, tal como se muestra en la tabla 5.

Tabla 5. Resumen de criterios de búsqueda

Tipo de documento	Documentos referidos a	Cantidad	Palabras clave de búsqueda	Criterios de inclusión	Criterios de exclusión
Artículo científico	Digestión anaerobia, efluentes industriales, reactor RAFA y producción de CH ₄	102	Anaerobic digestión and parameters, effluents, UASB, granular sludge, methane y energy	Revistas indexadas, información menor a 7 años	Artículos de Revistas en base de datos no confiables
Libro	Características de biomasa, energías renovables, lodos anaerobios	7	Biomasa, anaerobic, granular sludge sludge, renewables, Parameters of anaerobic digestion	Información menor a 7 años y fuentes confiables	Libro en bases de datos no confiables
Capítulo de libro	Energías renovables, combustible fósil, lodos anaerobios, DBO, DQO metano, temperatura y pH	11	Parameters of anaerobic digestion, granular sludge, methane y bioenergy	Base de datos confiables	Antigüedad de la información Mayor a 7 años
Tesis	Temperaturas en reactor RAFA, lodos activados, efluentes de curtiembre	2	Reactor RAFA, lodos activados, efluentes	Universidad nacional e internacional, información menor a 7 años	Universidades no licenciadas, tesis que excedan los 7 años de antigüedad
Informes y reportes	Crecimiento demográfico en el Perú, consumo y producción de petróleo nacional e internacional	3	Población de Perú, combustible fósil, fossil fuel	Fuentes de web institucional e información de últimos 3 años,	Fuentes no institucionales

Elaboración: fuente propia. Nota aclaratoria: Además se cuenta con 19 artículos comprendidos entre el año 2005 a 2012, debido a la relevancia de la información.

3.7. Rigor científico

Esta investigación garantiza su validez y confiabilidad, mediante el cumplimiento de los criterios de secuencia lógica, credibilidad, confirmabilidad y transferibilidad como se describe a continuación.

En el trabajo de investigación se recolectó la información, el cual fue analizada llevando una secuencia lógica, para que puedan ser comparados los resultados con otros investigadores. De acuerdo a Franklin y Ballau (Citado por Hernández, Fernández y Baptista, 2014, p.453) indican que, la secuencia lógica es el grado que expresa un sistema de recopilación de la información y análisis cualitativo por parte de los investigadores para generar resultados similares. Además, la investigación muestra una credibilidad en base a la información obtenida de artículos que se encuentran en revistas indexadas en bases de datos tales como: Sciencedirect, Scopus, Springer, Scielo, Proquest, Dialnet y Redalyc. Por su parte Treharne y Riggs (2015, p.58) mencionan que, la credibilidad se refiere a la veracidad de los resultados obtenidos tanto por autores que realizaron la investigación como por personas que puedan interpretar el trabajo investigado. Por otra parte, para la confirmabilidad de esta investigación, se tuvo que identificar e interpretar los resultados obtenidos, lo cual servirá como base para futuras investigaciones y puedan llegar a resultados que tengan perspectivas similares. Ante ello, Treharne y Riggs (2015, p.58) sostienen que, la confirmabilidad busca el análisis y la interpretación de los datos que obtienen unos investigadores y que otros puedan continuar y encontrar similitud en sus investigaciones. Por otro lado, el trabajo de investigación es transferible, ya que existen estudios realizados por investigadores sobre la digestión anaerobia de efluentes industriales para la generación de metano utilizando reactores RAFA. Al respecto Hernández, Fernández y Baptista (2014, p.458) consideran que, La transferibilidad es la posibilidad de transmitir los resultados obtenidos de una investigación a estudios posteriores.

3.8. Método de análisis de información

El análisis de la información recolectada, se realizó teniendo como base el problema que se investigó, que es, obtener una energía limpia que pueda reemplazar a los combustible fósiles, para ello los objetivos específicos planteados en esta

investigación fueron divididos en categorías y subcategorías con la finalidad de obtener una información bibliográfica más precisa de criterios similares y actuales en el uso de reactores RAFA para obtener la mayor rendimiento de metano a partir de la digestión anaerobia de efluentes industriales. Cabe mencionar que el método usado en esta investigación es el mismo descrito por Cilleros y Gómez (2016, p.2368).

3.9. Aspectos éticos

La siguiente investigación se realizó teniendo en consideración la resolución de consejo universitario N° 0103-2018 de la UCV, la resolución rectoral 0089-2019 de la UCV que contiene la guía de productos observables y a los autores de los documentos que aportaron en nuestra investigación los cuales fueron debidamente citados de acuerdo a la norma ISO 690, es por ello, que la información de la investigación es auténtica y veraz.

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados se obtuvieron en base a la información recopilada de 24 artículos que se utilizaron como antecedentes tanto para los factores que influyen en la DA como para la eficiencia del lodo granular en la remoción de DQO para la generación de CH₄ en efluentes de la producción de almidón, etanol y cervecería, donde se obtuvieron los siguientes resultados y discusiones. A continuación, en base a las tablas de los anexos 4, 5 y 6 se obtuvieron los valores promedios de los parámetros que influyen en la DA para el rendimiento de CH₄ y se elaboraron las figuras 4-18, que muestran los resultados de los factores influyentes (pH, temperatura, VCO, TRH y DQO) de la DA de los tres efluentes industriales en el rendimiento del CH₄ utilizando un reactor RAFA.

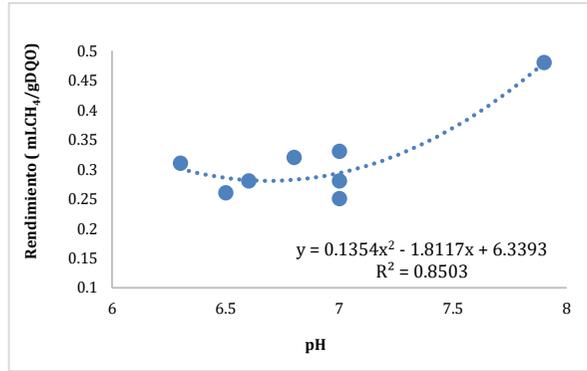


Figura 4. Influencia del pH en la DA del efluente de la producción del almidón para generar CH₄ en un reactor RAFA.

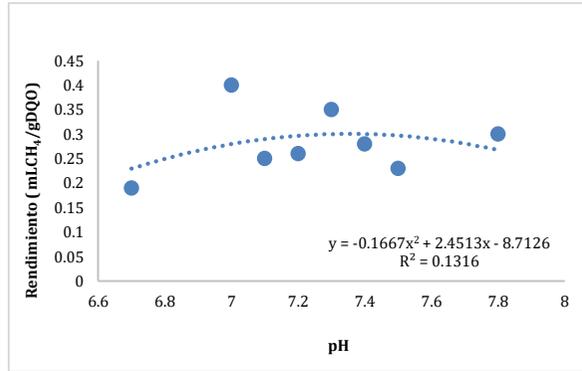


Figura 5. Influencia del pH en la DA de efluente de la producción de etanol para generar CH₄ en un reactor RAFA.

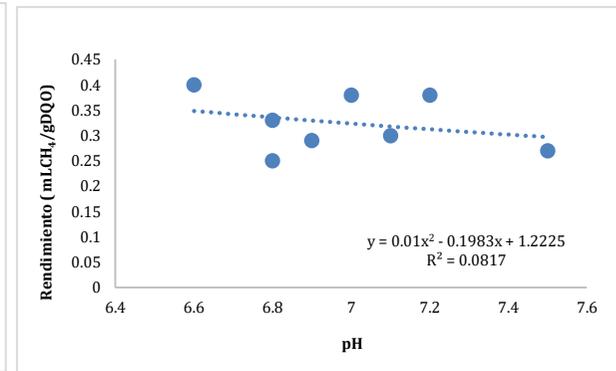


Figura 6. Influencia del pH en la DA del efluente de la producción de cerveza para generar CH₄ en un reactor RAFA.

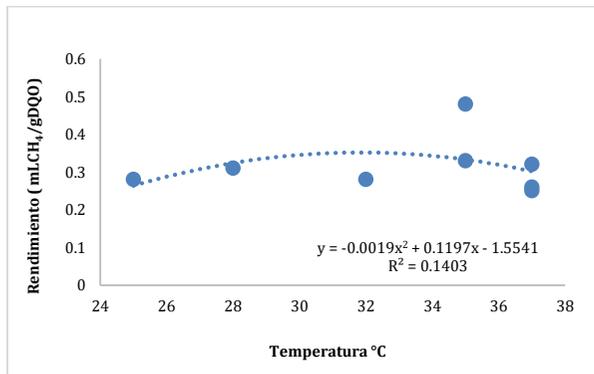


Figura 7. Influencia de la temperatura en la DA del efluente de la producción del almidón para generar CH₄ en un reactor RAFA.

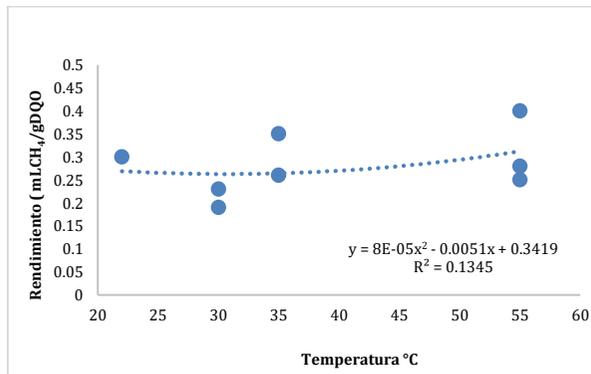


Figura 8. Influencia de la temperatura en la DA del efluente de la producción del etanol para generar CH₄ en un reactor RAFA.

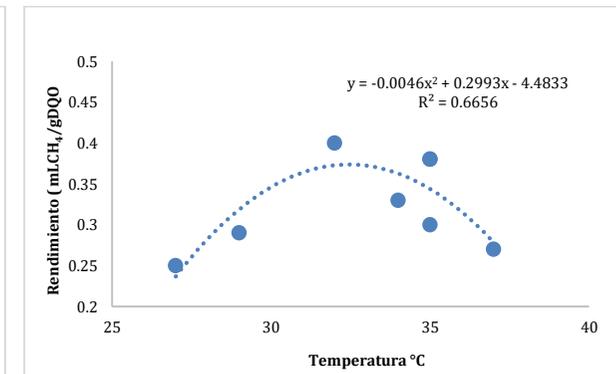


Figura 9. Influencia de la temperatura en la DA del efluente de la producción de cerveza para generar CH₄ en un reactor RAFA.

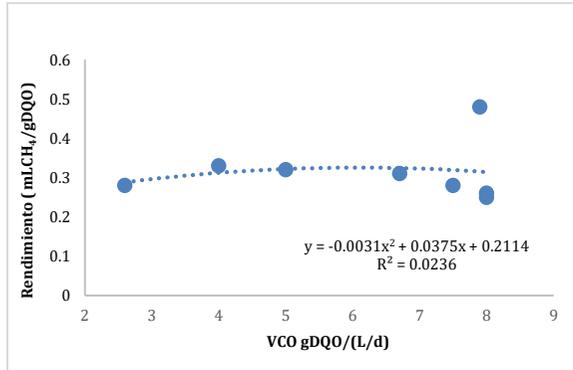


Figura 10. Influencia de la VCO en la DA del efluente de la producción del almidón para generar CH₄ en un reactor RAFA.

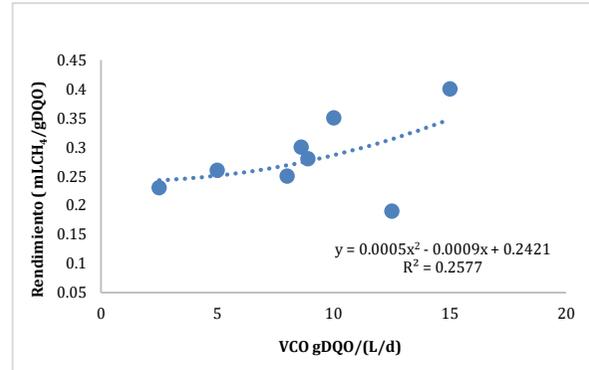


Figura 11. Influencia de la VCO en la DA del efluente de la producción de etanol para generar CH₄ en un reactor RAFA.

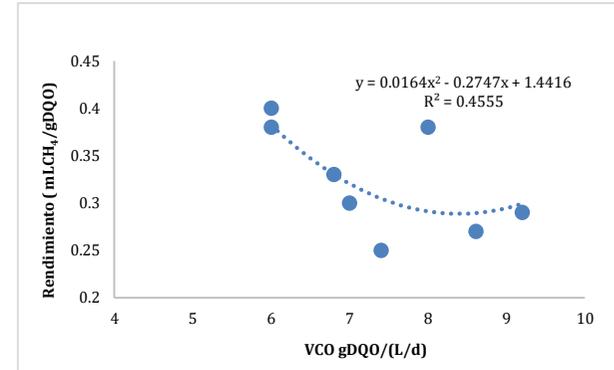


Figura 12. Influencia de la VCO en la DA del efluente de la producción de cerveza para generar CH₄ en un reactor RAFA.

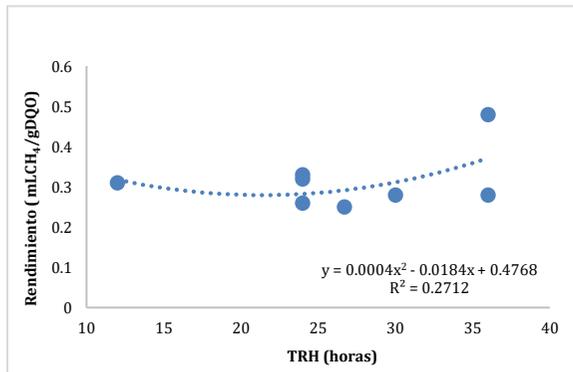


Figura 13. Influencia del TRH en la DA del efluente de la producción del almidón para generar CH₄ en un reactor RAFA.

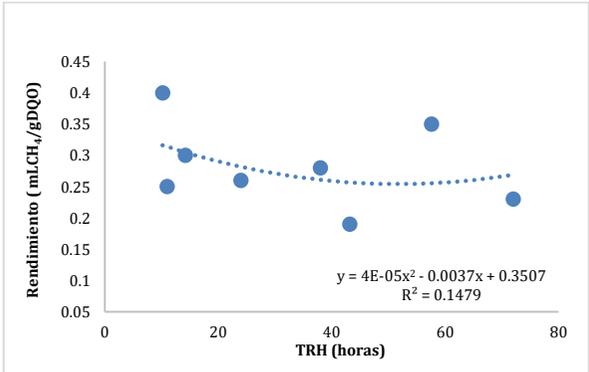


Figura 14. Influencia del TRH en la DA del efluente de la producción de etanol para generar CH₄ en un reactor RAFA.

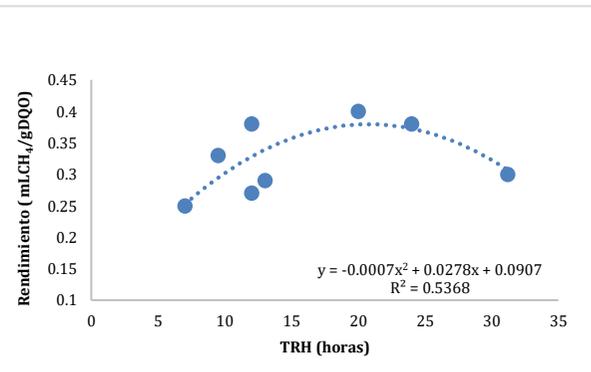


Figura 15. Influencia del TRH en la DA del efluente de la producción de cerveza para generar CH₄ en un reactor RAFA.

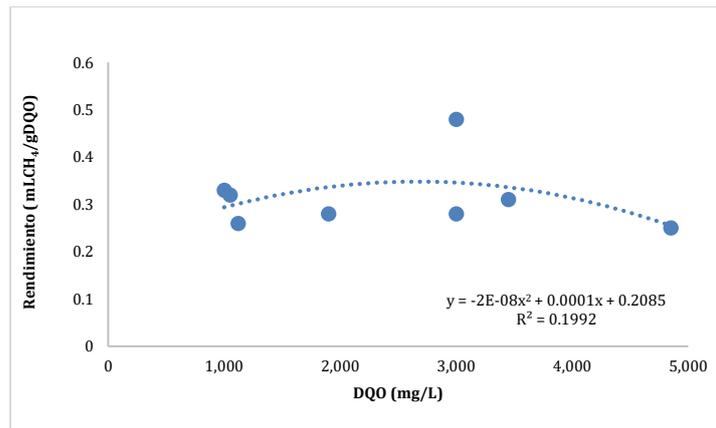


Figura 16. Influencia del DQO en la DA del efluente de la producción de almidón para generar CH₄ en un reactor RAFA.

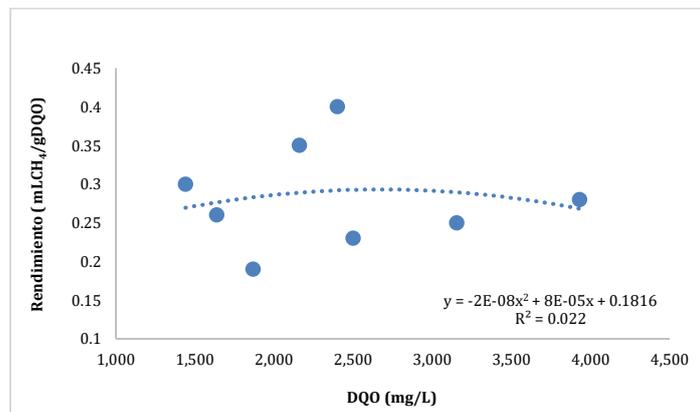


Figura 17. Influencia de la DQO en la DA del efluente de la producción de etanol para generar CH₄ en un reactor RAFA.

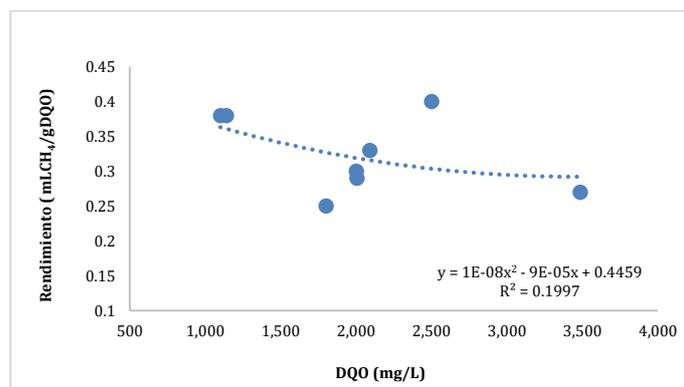


Figura 18. Influencia de la DQO en la DA del efluente de la producción cervecera para generar CH₄ en un reactor RAFA.

De acuerdo a los resultados obtenidos para el rendimiento de CH₄, el pH como factor influyente se encontró valores medios de 6.9 ± 0.5 ; 7.3 ± 0.3 y 7 ± 0.3 , así mismo la media del rendimiento fue de 0.31 ± 0.07 ; 0.28 ± 0.07 y 0.33 ± 0.06 LCH₄/gDQO, con respecto a los efluentes de la producción del almidón, etanol y cervecera. Estos valores encontrados del pH se aproximan a lo que mencionan Xu et al (2019, p.13) que, el rango de pH debe estar 6,8 y 7,2 para una máxima actividad microbiana, evitando la inhibición de los microorganismos. Sin embargo, el proceso puede tolerar un rango de 6.5 a 8.0 de pH (Cioabla et al., 2012, p.2). Por otra parte, se pudo observar una relación entre el pH del efluente del almidón con respecto al rendimiento de CH₄ (figura 4), a medida que aumentó el pH aumentó el rendimiento, relacionándose con un modelo polinomio con un R² de 0.85, a diferencia de los efluentes del etanol y cervecera (figura 5 y 6) que no muestra una relación entre las variables.

Por otro lado, otro factor influyente en el rendimiento de CH₄ es la temperatura, el cual se obtuvo valores medios de 33.3 ± 4.6 ; 39.6 ± 13 y 33 ± 3.4 °C, así mismo la media del rendimiento de CH₄ fue de 0.31 ± 0.07 ; 0.28 ± 0.07 y 0.33 ± 0.06 LCH₄/gDQO, con respecto a los efluentes de la producción del almidón, etanol y cervecera. Estos resultados son comparable con lo reportado por Da Ros et al (2017, p.745), quienes indicaron que las condiciones mesófilas (25 a 45 °C) proporciona rendimientos estables de producción de biogás, es por ello que la mayoría de las investigaciones trabajan en condiciones mesófilas, por otro lado, Leite et al (2017, p.335) indican que, la DA termófila (45 a 60 °C) mejora la producción de biogás, pero se necesita un alto requerimiento de energía en comparación con las condiciones mesófilas, motivo por el cual existen pocas investigaciones debido al alto consumo de energía. Por otra parte, se observó una relación entre la temperatura del efluente de cervecera con respecto al rendimiento de CH₄ (figura 9), a medida que aumentó la temperatura aumentó el rendimiento, relacionándose con un modelo polinomio con un R² 0.67, a diferencia de los efluentes del etanol y cervecera (figura 7 y 8) que no muestra una relación entre las variables.

Por otra parte, la VCO en relación con el rendimiento de CH₄ se obtuvieron valores medios de 6.2 ± 2.1 ; 8.8 ± 3.9 y 7.4 ± 1.2 gDQO/(L/d), así mismo la media del

rendimiento de CH₄ fue de 0.31 ± 0.07 ; 0.28 ± 0.07 y 0.33 ± 0.06 LCH₄/gDQO, con respecto a los efluentes de la producción del almidón, etanol y cervecería. Al respecto, Labatut y Pronto (2018, pp.51, 56) recomiendan trabajar la VCO en un rango 2.6 - 8 gDQO/(L/d). Mediante los resultados obtenidos en este estudio no se pudo observar una relación de la VCO de los efluentes del almidón, etanol y cervecería con respecto al rendimiento de CH₄ (figura 10,11 y 12).

Así mismo, los resultados obtenidos del TRH en el rendimiento de CH₄ se encuentra en valores medios de 26.6 ± 7.8 ; 33.8 ± 23 y 16.1 ± 8.2 horas, así mismo la media del rendimiento fue de 0.31 ± 0.07 ; 0.28 ± 0.07 y 0.33 ± 0.06 LCH₄/gDQO, con respecto a los efluentes de la producción del almidón, etanol y cervecería. Por otro lado, existe una variación del TRH, debido a los diferentes volúmenes de los reactores y la carga orgánica del efluente que utilizaron los autores en sus investigaciones, por su parte Jain et al (2015, p.146) mencionan que el TRH es importante ya que, es el tiempo promedio que el efluente se mantiene en el reactor. Además, se observó una leve relación del TRH del efluente de cervecería con respecto al rendimiento de CH₄ (figura 14), a medida que aumentó la TRH aumentó el rendimiento, relacionándose con un modelo polinomio con un R² 0.54, a diferencia de los efluentes del almidón y etanol (figura 12 y 13) que no muestra una relación entre las variables.

En cuanto a los resultados obtenidos de la DQO se encuentran en valores medios de $2,421 \pm 1,388.3$; $2,386 \pm 825.1$ y $2,015 \pm 760.7$ mg/L, así mismo la media del rendimiento de CH₄ fue de 0.31 ± 0.07 ; 0.28 ± 0.07 y 0.33 ± 0.06 LCH₄/gDQO, con respecto a los efluentes de la producción del almidón, etanol y cervecería. Cabe mencionar también, que la producción del biogás se realiza en función al consumo del DQO y de la masa digerida como lo indican Kythreotou, Tassou y Florides (2012, p.253). Por otra parte, de acuerdo a los resultados obtenidos no se pudo observar una relación de la DQO de los efluentes del almidón, etanol y cervecería con respecto al rendimiento de CH₄ (figura 10,11 y 12).

A continuación, en base a las tablas 6, 7 y 8, se obtuvieron los resultados de la eficiencia del lodo granular en la remoción del DQO y rendimiento de CH₄ con respecto a los efluentes de la producción de almidón, etanol y cervecería en un reactor RAFA.

Tabla 6. Eficiencia del lodo granular en la remoción de DQO y generación de CH₄ en efluentes de la producción de almidón

N°	Referencias	Remoción de DQO (%)	Porcentaje de CH ₄ (%)	Rendimiento de CH ₄ (mLCH ₄ /gDQO)
1	Cremones et al., 2020, pp. 2- 11	72	76.6	0.25
2	Intanoo, Chaimongkol y Chavadej, 2016, pp. 6107-6114	83	80	0.26
3	Hinken et al., 2014, pp.83-93	96.6	67	0.28
4	Racho y Pongampornnara, 2019, pp. 746 -750	82	60	0.28
5	Khongkliang, Kongjan y OThong, 2015, pp. 828-832	72.8	55	0.31
6	Jiraprasertwong, Maitriwong y Chavadej, 2019, pp.192- 201	92.5	65	0.32
7	Lu et al., 2015, pp. 266-270	91.5	77.3	0.33
8	Antwi et al., 2017, 105-116	97	73.6	0.48
Promedio y desviación estándar		85.9 ± 10	69.31 ± 8.98	0.31 ± 0.07

Fuente: elaboración propia

Tabla 7. Eficiencia del lodo granular en la remoción de DQO y generación de CH₄ en efluentes de la producción de etanol

N°	Referencias	Remoción de DQO (%)	Porcentaje de CH ₄ (%)	Rendimiento de CH ₄ (mLCH ₄ /gDQO)
1	Barros, Duda y Oliveira, 2016, pp. 628-638	80	65	0.19
2	Nualsri, Kongjan y Reungsang, 2016, pp. 17886-17893	97.5	67	0.23
3	Barros et al., 2017, pp. 371- 381	60	83	0.25
4	Buitrón et al., 2014, pp. 19249- 19254	75	68	0.26
5	Santana, Duda y Oliveira, 2019, pp.2-10	80	70	0.28
6	Del Nery et al., 2018, pp. 412- 416	89	65	0.30
7	Llanes et al., 2019, pp. 9-27	90	65	0.35
8	Nunes et al., 2016, pp. 246- 252	76.6	68.8	0.40
Promedio y desviación estándar		81 ± 11.4	68.98 ± 5.98	0.28 ± 0.07

Fuente: elaboración propia

Tabla 8. Eficiencia del lodo granular en la remoción de DQO y generación de CH₄ en efluentes de cervecería

N°	Referencias	Remoción de DQO (%)	Porcentaje de CH ₄ (%)	Rendimiento de CH ₄ (mLCH ₄ /gDQO)
1	Jiménez et al., 2016, pp. 2697- 2703	70	73	0.25
2	Xu et al., 2019, pp. 2-8	75.5	82.7	0.27
3	Enitan et al., 2015, pp. 675-681	79	65.9	0.29
4	Oktem y Tufekci, 2006, pp.248-251	95	87	0.30
5	Godoy et al., 2014, pp.158-162	90.3	75.2	0.33
6	Li y Mulligan, 2004,pp. 89-94	78	68.5	0.38
7	Enitan et al., 2018, pp.2-6	87.5	69	0.38
8	Ting-yu y Jin, 2011, pp. 330-333	97	73	0.40
Promedio y desviación estándar		84 ± 9.8	74.29 ± 7.81	0.33 ± 0.06

Fuente: elaboración propia

Para identificar la eficiencia del lodo granular se realizó en función de la DQO inicial, el cual se obtuvo valores medios de $2,421 \pm 1,388.3$; $2,386 \pm 825.1$ y $2,015 \pm 760.7$ mg/L (anexos 5, 6 y 7), llegando a obtener valores medios de porcentajes de remoción de la DQO de 85.9 ± 10 ; 81 ± 11.4 y 84 ± 9.8 % y rendimientos de metano de 0.31 ± 0.07 ; 0.28 ± 0.07 y 0.33 ± 0.06 LCH₄/gDQO con respecto a los efluentes de la producción de almidón, etanol y cervecería como se muestra en las tablas 6,7 y 8. De acuerdo a los resultados obtenidos en los tres efluentes con respecto a la remoción de DQO los valores se asemejan entre sí, por otro lado, el mayor rendimiento de CH₄ se encontró en el efluente del cervecería (0.33 LCH₄/gDQO) y el menor rendimiento se encontró en efluente del etanol (0.28 LCH₄/gDQO). Por otro lado, se pudo observar que cuando hubo una mayor remoción de la DQO se obtuvo un mayor rendimiento de metano.

V. CONCLUSION

Considerando los resultados obtenidos en base a la información recopilada de investigaciones realizadas acerca de los aspectos más relevantes en la generación de metano mediante la digestión anaerobia de efluentes industriales utilizando la tecnología RAFA, se pueden extraer las siguientes conclusiones:

Los únicos parámetros influyentes de la digestión anaerobia que consiguieron relacionarse con el rendimiento de metano fueron el pH del efluente del almidón, obteniendo un R^2 0.85, para ello es importante que el rango de pH se encuentre en 6.8 - 7.2 para una máxima actividad microbiana. Asimismo, en la temperatura del efluente de cervecería se encontró un R^2 0.67, el cual indica que tiene una relación entre las variables, cabe señalar también que en condiciones mesófilas se genera un rendimiento estable de la producción de biogás, a su vez en condiciones termófilas mejora la producción, pero se requiere mayor energía en comparación con las condiciones mesófilas. En cuanto al TRH, se observó una leve relación con el rendimiento de CH_4 , obteniendo un R^2 0.54, el cual podría ser por la diferencia de volúmenes de los reactores RAFA.

Para Identificar la eficiencia del lodo granular, se realizó en base a la remoción de la DQO y la generación de metano a partir de efluentes industriales de la producción de almidón, etanol y cervecería en un RAFA, en el cual se encontró que el porcentaje promedio de la remoción de la DQO del lodo granular en los tres tipos de efluentes se asemejan entre sí (85.9, 81 y 84%) y con respecto al valor promedio del rendimiento de metano, el efluente de cervecería obtuvo una mayor producción de metano de 0.33 LCH_4/g DQO) y en el efluente del etanol se obtuvo una menor producción de metano de 0.28 $LCH_4/gDQO$. Además, se pudo observar que cuando hubo una mayor remoción de la DQO se obtuvo un mayor rendimiento de metano.

VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda hacer investigaciones referentes al uso del lodo activo como inóculo, ya que es muy escasa la información en tratamientos con efluentes industriales en un RAFA.
- Se recomienda hacer más estudios a otros tipos de efluentes industriales con alto contenido orgánico biodegradables tal como las aguas residuales de curtiembre ya que genera grandes cantidades de efluentes y podría ser aprovechado en la generación de metano en un RAFA.
- Existe en la actualidad muy poca atención en la literatura respecto a los pretratamientos de los efluentes industriales antes de la aplicación de la tecnología RAFA, debido a que existen efluentes que tienen alto contenido orgánico y es necesario una reducción de la concentración del DQO antes de ingresar al reactor ya que es perjudicial para los grupos bacterianos de la DA, es por este motivo que se recomienda realizar investigaciones incluyendo pretratamientos.
- En base a la información recopilada de los artículos sobre la digestión anaerobia utilizando el RAFA para generar metano, se pudo observar poca información respecto a pruebas de eficiencia del lodo granular a nivel laboratorio como la AME y el PBM, es por este motivo que se recomienda realizar dichas pruebas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABBASI, Tasneem y ABBASI, S. Formation and impact of granules in fostering clean energy production and wastewater treatment in upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactors. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. [en línea]. Vol.16(3):1696–1708, abril 2012. [Fecha de consulta: 30 de abril de 2020].

Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.11.017>.

ISSN 1364-0321

2. ALI SHAH, Fayyas [et al.]. Microbial Ecology of Anaerobic Digesters: The Key Players of Anaerobiosis. *The Scientific World Journal* [en línea]. 1–21, febrero 2014. [Fecha de consulta: 18 de abril de 2020].

Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1155/2014/183752>

3. AL-MOHAMMEDAWI, Hassan y ZNAD, Hussein. Impact of metal ions and EDTA on photofermentative hydrogen production by *Rhodobacter sphaeroides* using a mixture of pre-treated brewery and restaurant effluents. *Biomass and Bioenergy* [en línea]. Vol.134, 2020. [Fecha de consulta: 28 de abril de 2020].

Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2020.105482>.

ISSN 0961-9534

4. ANTWI, Philip [et al.] Estimation of biogas and methane yields in an UASB treating potato starch processing wastewater with backpropagation artificial neural network. *Bioresource Technology* [en línea]. Vol. 228: 106–115, marzo 2017. [Fecha de consulta: 28 de abril de 2020].

Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.12.045>.

ISSN 0960-8524

5. ANTWI, Philip [et al.]. Efficiency of an upflow anaerobic sludge blanket reactor treating potato starch processing wastewater and related process kinetics, functional microbial community and sludge morphology. *Bioresource Technology* [en línea]. Vol. 239: 105–116, 2017. [Fecha de consulta: 16 de junio de 2020].

Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.04.124>.

ISSN: 0960-8524

6. ARANTES, Karina [et al.]. Treatment of brewery wastewater and its use for biological production of methane and hydrogen. *International Journal of Hydrogen Energy*. Vol.42(42): 26243–26256, octubre 2017. [Fecha de consulta: 04 de mayo de 2020].

Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2017.08.206>.

ISSN: 0360-3199

7. ARIAS, Telvia, REYES, Oscar. CARACTERIZACIÓN AMBIENTAL DEL COMBINADO INDUSTRIAL HATUEY (I PARTE). *Tecnología Química* [en línea]. Vol.30(3): 53-66, 2010. [Fecha de Consulta: 11 de mayo de 2020].

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=445543771007>

ISSN: 0041-8420

8. BARRAGAN, Edgar [et al.]. Factores que influyen en la selección de energías renovables en la ciudad. EURE (Santiago) [En línea]. Vol.45(134): 259-277, 2019 [Fecha de consulta: 15 de abril de 2020].

Disponible en: <http://dx.doi.org/10.4067/S0250-71612019000100259> .

ISSN: 0250-7161.

9. BARROS, Valciney, DUDA, Rose y OLIVEIRA, Roberto. Biomethane production from vinasse in upflow anaerobic sludge blanket reactors inoculated with granular sludge. Brazilian Journal of Microbiology [en línea]. Vol.47(3). 628–639, 2016. [Fecha de consulta: 27 de mayo de 2020].

Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.bjm.2016.04.021>.

ISSN: 1517-8382

10. BARROS, Valciney [et al.]. Improved methane production from sugarcane vinasse with filter cake in thermophilic UASB reactors, with predominance of Methanothermobacter and Methanosarcina archaea and Thermotogae bacteria. Bioresource Technology. [en línea]. Vol. 244: 371–381, noviembre 2017. [Fecha de consulta: 27 de abril de 2020].

Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.07.106>.

ISSN 0960-8524

11. BASURTO, Fidel y SOTELO, Giancarlo. Estudio del efecto de la temperatura en un reactor anaerobio de manto de lodos y flujo ascendente (RAFA) construido a escala de laboratorio. Tesis (en ingeniería sanitaria). Lima: Universidad Nacional de Ingeniería, 2014. 211 pp.

12. BELYAVOK, Nikolay. Sustainable Power Generation [en línea]. Academic Press, 501-518, 2019. [fecha de consulta: 16 de abril 2020]. Chapter Twenty-One: Ocean energy conversion.

Disponible: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817012-0.00035-9>

ISBN: 9780128170120

13. BUITRÓN, Germán [et al.]. Hydrogen and methane production via a two-stage processes (H₂-SBR + CH₄-UASB) using tequila vinasses. International Journal of Hydrogen Energy [en línea]. Vol. 39(33):19249–19255, 2014. [Fecha de consulta: 26 de mayo de 2020].

Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2014.04.139>.

ISSN: 0360-3199

14. BOWEN, Glen. Document Analysis as a Qualitative Research Method. Qualitative Research Journal [en línea]. Vol. 9(2): 27-40, 2009. [Fecha de consulta: 11 de mayo de 2020].

Disponible en: <https://doi.org/10.3316/QRJ0902027>.

ISSN: 1443-9883

15. CAJACURI, Maria [et al.]. Diversidad microbiológica del lodo anaerobio durante el tratamiento de aguas de producción petroleras venezolanas. Ingeniería. Investigación y Tecnología [en Línea]. Vol. 14(3): 325–334, julio 2013. [Fecha de consulta].

Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S1405-7743\(13\)72247-9](https://doi.org/10.1016/S1405-7743(13)72247-9).

ISSN 1405-7743

16. CARDENAS, Lina [et al.]. Perspectivas del ensayo de Potencial Bioquímico de Metano - PBM para el control del proceso de digestión anaerobia de residuos. Rev. ion [en línea]. Vol. 29 (1): 95 – 108, enero 2016. [Fecha de consulta: 09 de mayo de 2020].

Disponible en: <http://dx.doi.org/10.18273/revion.v29n1-2016008>.

ISSN: 0120100X

17. CARDOSO, Luana. Sustainable bioenergy: advances and impacts [en línea]. Mahendra Rai, Avinash P. Ingle, 2019 [fecha de consulta: 03 de junio de 2020]. Capítulo 7: New trends in biogas production and utilization.

Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817654-2.00007-1>.

ISBN: 9780128176542

18. CARRILHO, G, LABUTO, G y KAMOGAWA. Environmental Materials and Waste [en línea]. Academic Press, 2016 [fecha de consulta: 09 de mayo de 2020]. Capitulo 2. Destination of Vinasse, a Residue from Alcohol Industry: Resource Recovery and Prevention of Pollution.

Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803837-6.00002-0>.

ISBN: 9780128038376

19. CHAKRAVORTY, Ujjayant. Sustainable Economic Development [en linea]. Academic Press: 67-75, 2015 [fecha de consulta: 10 de abril de 2020]. Capítulo 4: The Economics of Fossil Fuels and Pollution.

Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800347-3.00004-2>.

ISBN: 978128003473

20. CHEN, Shujun, ZHANG, Jishi, y WANG, Xikui. Effects of alkalinity sources on the stability of anaerobic digestion from food waste. Waste Management and Research [en línea]. Vol 33(11): 1033–1040, 2015. [Fecha de consulta: 09 de junio de 2020].

Disponible en: <https://doi.org/10.1177/0734242X15602965>

21. CHONG, Siewhui [et al.]. The performance enhancements of upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactors for domestic sludge treatment – A State-of-the-art review. Water Research [en línea]. Vol. 46(11): 3434–3470, julio 2012. [Fecha de consulta: 01 de mayo de 2020].

Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2012.03.066>.

ISSN 0043-1354

22. CILLEROS, María y GÓMEZ, María. Análisis cualitativo de tópicos vinculados a la calidad de vida en personas con discapacidad. Ciênc. saúde coletiva [en línea]. Vol.21(8): 2365-2374, 2016. [fecha de consulta: 08 de mayo de 2020].]

Disponible en: <https://doi.org/10.1590/1413-81232015218.04182016>.

ISSN:1678-4561

23. CIOABLA, Adrian [et al.]. Comparative study on factors affecting anaerobic digestion of agricultural vegetal residues. Biotechnology for Biofuels [en línea]. Vol.5(39):1-9, 2012. [Fecha de consulta: 03 de julio de 2020].

Disponible en: <https://doi.org/10.1186/1754-6834-5-39>

- 24.** CORRALES, Lucia [et al]. Anaerobic bacteria: processes they perform and their contribution to life sustainability on the planet. Nova [en línea]. Vol.13 (24): 55 – 81, agosto 2015 [Fecha de consulta: 12 de noviembre de 2019].

Disponible en:

http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-24702015000200007

ISSN 1794-2470.

- 25.** CREMONEZ, Paulo [et al.]. Effect of substrate concentrations on methane and hydrogen biogas production by anaerobic digestion of a cassava starch-based polymer. Industrial Crops and Products [en línea]. Vol. 151, 2020. [Fecha de consulta: 12 de junio de 2020].

Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112471>.

ISSN: 0926-6690

- 26.** DA ROS, C [et al.]. Mesophilic and thermophilic anaerobic co-digestion of winery wastewater sludge and wine lees: An integrated approach for sustainable wine production. Journal of Environmental Management [en línea]. Vol 203: 745–752, 2017. [Fecha de consulta: 29 de junio de 2020].

Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.03.029>.

ISSN: 0301-4797

- 27.** DEL NERY, Valeria [et al.]. Hydraulic and organic rates applied to pilot scale UASB reactor for sugar cane vinasse degradation and biogas generation.

Biomass and Bioenergy [en línea]. Vol.119. 411–417, 2018. [Fecha de consulta: 16 de junio de 2020].

Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2018.10.002>.

ISSN: 0961-9534

- 28.** Economic Commission for Europe. Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals (GHS) [en línea]. 8.a ed. New York: United Nations, 2019 [fecha de consulta: 01 de mayo de 2020].

Disponible en: <https://books.google.com.pe/books?id=JwiwDwAAQBAJ&pg=PA493&lpg=PA493&dq=degradation+or+toxicity+tests+are+used+to+determine+inoculum>

ISBN: 9789210040839

- 29.** EIA. Short-term energy outlook: Global liquid fuels [en línea]. 12 de mayo de 2020. [fecha de consulta: 18 de mayo de 2020]

Disponible en: https://www.eia.gov/outlooks/steo/report/global_oil.php

- 30.** ENITAN, Abimbola [et al.]. Assessment of brewery effluent composition from a beer producing industry in KwaZulu-Natal, South Africa. Fresenius Environment [en línea]. Vol. 23(3): 693-701, 2014. [Fecha de consulta: 18 de abril de 2020].

Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/293363827>.

ISSN: 1018-4619

- 31.** ENITAN, Abimbola [et al.]. Principal component analysis and characterization of methane community in a full-scale bioenergy producing UASB reactor treating

brewery wastewater. Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C.[en línea].Vol. 108: 1-8, diciembre 2018. [Fecha de consulta: 28 de abril de 2020].

Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.pce.2018.06.006>.

ISSN 1474-7065

- 32.** ENITAN, Abimbola [et al.]. Anaerobic Digestion Model to Enhance Treatment of Brewery Wastewater for Biogas Production Using UASB Reactor. Environmental Modeling & Assessment [en línea]. Vol. 20(6): 673–685, 2015. [Fecha de consulta: 16 de junio de 2020].

Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10666-015-9457-3>

- 33.** FERRER, Sedolfo [et al.]. Remoción de nutrientes en aguas residuales de un matadero de reses usando un reactor biológico secuencial/nutrients removal from slaughterhouse wastewater using a sequencing batch reactor: science and engineering neogranadina science and engineering neogranadina. Ciencia e Ingeniería Neogranadina [en línea]. Vol. 25, (2): 43-60 , Jul, 2015. [Fecha de consulta: 22 de abril de 2020].ProQuest Central.

Disponible en: DOI <http://dx.doi.org/10.18359/rcin.1431>.

ISSN 01248170

- 34.** FUENTES, Valeria, Evaluación de la eficiencia de remoción de materia orgánica para un reactor anaerobio horizontal con material PET, con efluente de industria lechera. Tesis (Ingeniería Ambiental). Quito: Escuela politécnica nacional, 2014,125pp.

Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/8698/3/CD-5836.pdf>

35. GANDARILLAS, Vanessa [et al.]. 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. *Revist investigación y desarrollo* [en línea]. Vol. 1(17): 83-98, junio 2017. [Fecha de consulta: 30 de abril de 2020].

Disponible en: <http://dx.doi.org/10.23881/idupbo.017.1-7i>

ISSN 2518-4431

36. GONZALEZ, Martin, FONT, X. y VINCENT, T. Alkalinity ratios to identify process imbalances in anaerobic digesters treating source-sorted organic fraction of municipal wastes. *Biochemical Engineering Journal* {en línea}. Vol. 76.1–5, 2013. [Fecha de consulta:20 de mayo de 2020].

Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.bej.2013.03.016>.

ISSN: 1369-703X

37. GODOY, Junior [et al.]. Comparative Study on Efficiency of Biodigesters Upflow Anaerobic Sludge Blanket Treating Brewery Effluent, *Chemical Engineering Transactions* [en línea]. Vol. 38: 157-162, 2014. [Fecha de consulta: 03 de junio de 2020].

Disponible en: <https://doi.org/10.3303/CET1438027>

38. GUNES, Burcu [et al.]. Pre-treatments to enhance biogas yield and quality from anaerobic digestion of whiskey distillery and brewery wastes: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [en línea].Vol. 113, octubre 2019. [Fecha de consulta: 12 de febrero del 2019].

Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109281>.

ISSN: 13640324

- 39.** HERNÁNDEZ, Roberto, FERNÁNDEZ, Carlos y BAPTISTA, María. Metodología de la investigación [en línea]. 6ta ed. México: Mc Graw-Hill/ Interamericana, 2014 [Fecha de consulta: 25 de mayo de 2020].

Disponible en: <http://observatorio.epacartagena.gov.co/wp-content/uploads/2017/08/metodologia-de-la-investigacion-sexta-edicion.compressed.pdf>

ISBN: 9781456223960

- 40.** HINKEN, L (et al.). Modified ADM1 for modelling an UASB reactor laboratory plant treating starch wastewater and synthetic substrate load tests. Water Research [en línea]. Vol. 64: 82–93, 2014. [Fecha de consulta: 16 de mayo de 2020].

Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2014.06.044>.

ISSN: 0043-1354

- 41.** HOLMES, D y SMITH, J. Advances in Applied Microbiology [en línea]. Academic Press, 2016 [fecha de consulta: 14 de mayo de 2020]. Capítulo uno: Biologically Produced Methane as a Renewable Energy Source.

Disponible en: <https://doi.org/10.1016/bs.aambs.2016.09.001>.

ISBN: 9780128048160

42. INEI. Población del Perú totalizó 31 millones 237 mil 385 personas al 2017 [en línea]. 25 de junio 2018. [Fecha de consulta: 16 de abril de 2020].

Disponible en: <https://www.inei.gob.pe/prensa/noticias/poblacion-del-peru-totalizo-31-millones-237-mil-385-personas-al-2017-10817/>

43. INTANOO, Patcharee, CHAIMONGKOL, Patcharaporn y CHAVADEJ Sumaeth. Hydrogen and methane production from cassava wastewater using two-stage upflow anaerobic sludge blanket reactors (UASB) with an emphasis on maximum hydrogen production. International Journal of Hydrogen Energy [en línea]. Vol. 41(14): 6107–6114, 2016. [Fecha de consulta: 16 de junio de 2020].

Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2015.10.125>.

ISSN: 0360-3199

44. INTANOO, Patcharee [et al.]. Optimization of separate hydrogen and methane production from cassava wastewater using two-stage upflow anaerobic sludge blanket reactor (UASB) system under thermophilic operation. Bioresource Technology [en línea]. Vol.173: 256–265, diciembre 2014. [Fecha de consulta: 29 de abril de 2020]

disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.09.039>.

ISSN 0960-8524

45. IPCC. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [en línea]. Suiza: IPCC, 2015, 155pp. [Fecha de consulta: 05 de octubre de 2019].

Disponible

en:https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full.pdf

ISBN: 9789291691432

- 46.** ISLAM, M [et al.]. 105–136. Freshwater Microbiology [en línea]. Academic Press, 2019 [Fecha de consulta: 23 de abril de 2020]. Capítulo 3. Impact of environmental changes and human activities on bacterial diversity of lakes.

Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817495-1.00003-7>.

ISBN 9780128174951

- 47.** JAIN, Siddharth [et al.]. A comprehensive review on operating parameters and different pretreatment methodologies for anaerobic digestion of municipal solid waste. Renewable and Sustainable Energy Reviews [en línea]. Vol. 52: 142–154, diciembre 2015. [Fecha de consulta: 13 de mayo de 2020].

Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.091>

ISSN: 1364-0321

- 48.** JIMENEZ, Jose [et al.]. Development of a Mainstream Anaerobic Treatment Process Using a Hybrid UASB-Micro Sieve System. Proceedings of the Water Environment Federation [en línea]. 2697- 2706, 2016. [Fecha de consulta: 04 de junio de 2020].

Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/314460299>

- 49.** JIRAPRASERTWONG, Achiyara, MAITRIWONG Kiatchai, y CHAVADEJ, Sumaeth. Production of biogas from cassava wastewater using a three-stage

upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor. *Renewable Energy* [en línea]. Vol. 130, 191–205, enero 2019. [fecha de consulta: 23 de abril de 2020].

Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.06.034>.

ISSN 0960-1481

50. KAMYAB, Behzad, ZILOUEI, Hamid y RAHMANIAN, Bashir. Investigation of the effect of hydraulic retention time on anaerobic digestion of potato leachate in two-stage Mixed-UASB system. *Biomass and bioenergy* [en línea]. Vol. 130: noviembre 2019. [Fecha de consulta: 15 octubre del 2019].

Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2019.105383>

ISSN: 0961534

51. KAMALI, Mohammadreza [et al.]. Sustainability considerations in membrane-based technologies for industrial effluents treatment. *Chemical Engineering Journal* [en línea]. Vol. 368: 474-494, 2019. [Fecha de consulta: 25 de abril de 2020].

Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.02.075>.

ISSN: 1385-8947

52. KONGJAN, Prawit, JARIYABOON, Rattana y O-THONG, Sompong. Anaerobic digestion of skim latex serum (SLS) for hydrogen and methane production using a two-stage process in a series of up-flow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor. *International Journal of Hydrogen Energy* [en línea]. Vol. 39(33): 19343–19348, noviembre 2014. [Fecha de consulta: 04 de mayo de 2020].

Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2014.06.057>.

ISSN: 0360-3199

53. KHONGKLIANG, Peerawat, KONGJAN, Prawit y O-THONG, Sompong. Hydrogen and Methane Production from Starch Processing Wastewater by Thermophilic Two-Stage Anaerobic Digestion. Energy Procedia [en línea]. Vol. 79: 827–832, 2015. [Fecha de consulta: 12 de junio de 2020].

Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.573>.

ISSN: 1876-6102

54. KOSSEVA, Maria. Food Industry Wastes [en línea]. Academic Press, 2013 [fecha de consulta: 08 de mayo de 2020]. Capítulo 3. Sources, Characterization, and Composition of Food Industry Wastes.

Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-391921-2.00003-2>.

ISBN: 9780123919212

55. KUMAR, Atul y SAMADDER, S. Performance evaluation of anaerobic digestion technology for energy recovery from organic fraction of municipal solid waste: A review. Energy [en línea]. Vol.197, abril 2020. [fecha de consulta: 23 de abril de 2020].

Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117253>.

ISSN 0360-5442

56. KYTHREOTOU, Nicoletta, TASSOU, Savvas y FLORIDES, Georgios. An assessment of the biomass potential of Cyprus for energy production. Energy.[en línea]. Vol. 47(1): 253-261, noviembre 2012. [Fecha de consulta: 23 de abril de 2020].

Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2012.09.023>.

ISSN 0360-5442

57. LABATUT, Rodrigo y PRONTO, Jennifer. Sustainable Food Waste-To-energy Systems [en línea]. Academic press, 2018 [fecha de consulta: 03 de junio de 2020]. Capítulo 4: Sustainable Waste-to-Energy Technologies: Anaerobic Digestion.

Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811157-4.00004-8>.

ISBN: 9780128111574

58. LESTEUR, M, [et. al]. Alternative methods for determining anaerobic biodegradability: a review. Process Biochemistry. [en línea]. Vol.45 (4): 431-440, abril 2010. [fecha de consulta: 09 de mayo de 2020].

Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2009.11.018>

ISSN: 13595113

59. LEITE, Wanderli [et al.]. Feasibility of thermophilic anaerobic processes for treating waste activated sludge under low HRT and intermittent mixing. Journal of Environmental Managemen [en Línea]. Vol. 201: 335-344, octubre 2017. [Fecha de consulta: 24 de octubre de 2020].

Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.06.069>.

ISSN 0301-4797

60. LI, Pengjie y MULLIGAN, Catherine. Anaerobic treatment of waste beer. Environmental Progress [en línea]. Vol. 24(1): 88-95, 2004. [Fecha de consulta: 16 de junio de 2020].

Disponible en: <https://doi.org/10.1002/ep.10041>

61. LIM, Seung, KIM, Tak. Applicability and trends of anaerobic granular sludge treatment processes. Biomass and Bioenergy. [en línea]. Vol.60: 189–202, 2014. [Fecha de consulta: 01 de mayo de 2020].

Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2013.11.011>.

ISSN 0961-9534

62. LLANES, Junior [et al.]. Development and application in Aspen Plus of a process simulation model for the anaerobic digestion of vinasses in UASB reactors: Hydrodynamics and biochemical reactions. Journal of Environmental Chemical Engineering [en línea]. Vol. 8 (2): 2019. [Fecha de consulta: 16 de junio de 2020].

Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2019.103540>.

ISSN. 2213-3437

63. LOHANI, S. y HAVUKAINEN, J. Energy, Environment, and Sustainability [en línea]. Waste Bioremediation, 2017 [fecha de consulta: 13 de mayo de 2020]. Capítulo 18: Anaerobic digestion: Factors Affecting Anaerobic Digestion Process.

Disponible en: https://doi.org/10.1007/978-981-10-7413-4_18

ISBN: 9789811074134

64. LONGARETTI, Gabriela [et al.]. Estudo da atividade metanogênica específica de diferentes lodos anaeróbios. Eng. Sanit. Ambient [en línea]. Vol.24(6): 1139-1146, 2019. [Fecha de consulta: 10 de junio de 2020].

Disponible en: <https://doi.org/10.1590/s1413-41522019140730>.

ISSN: 1809-4457

65. LLANES, Junior [et al.]. Development and application in Aspen Plus of a process simulation model for the anaerobic digestion of vinasses in UASB reactors: Hydrodynamics and biochemical reactions. Journal of Environmental Chemical Engineering [en línea]. Noviembre 2019. [Fecha de consulta: 28 de octubre de 2019].

Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2019.103540>.

ISSN: 22133437

66. LU, Xueqin [et al.]. Operation performance and granule characterization of upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor treating wastewater with starch as the sole carbon source. Bioresource Technology [en línea]. Vol. 180: 264–273, 2015. [Fecha de consulta 15 de mayo de 2020].

Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.01.010>.

ISSN: 0960-8524

67. MAINARDIS, M. y GOI, D. Pilot-UASB reactor tests for anaerobic valorisation of high-loaded liquid substrates in friulian mountain area. Journal of Environmental

Chemical Engineering [en línea]. Vol. 7(5), 2019. [Fecha de consulta: 09 de mayo de 2020].

Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2019.103348>.

ISSN: 2213-3437

68. MALONE, Andrea. Methane: Emission Sources and Reduction Strategies [en línea]. New York: Nova Science Publishers, Inc., 2015 [fecha de consulta: 09 de mayo de 2020].

Disponible en:
<<http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=nlebk&AN=1020571&lang=es&site=eds-live>>.

ISBN: 9781634825276

69. MÁRQUEZ, Marjorie y MARTÍNEZ, Sergio. Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente (RAFA's o UASB). Antología [en línea]. España: Centro Tecnológico Aragón, 2011. [Fecha de consulta: 12 de mayo de 2020].

Disponible en:
http://aula.aguapedia.org/pluginfile.php/11619/mod_resource/content/0/RAFA.pdf

70. MENÉNDEZ, Carlos y PÉREZ, Jesús. Procesos para el tratamiento biológico de aguas residuales industriales [en línea]. Habana: Editorial universitaria, 2007 [fecha de consulta: 05 de mayo de 2020].

Disponible en: <https://www.passeidireto.com/arquivo/46364167/procesos-para-el-tratamiento-biologico-de-aguas-residuales-industriales-carlos-m>

ISBN: 9789590703393

71. MORAES, Bruna, ZAIAT, Marcelo y BONOMI, Antonio. Anaerobic digestion of vinasse from sugarcane ethanol production in Brazil: Challenges and perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [en línea]. Vol. 44: 888–903, 2015. [fecha de consulta: 09 de junio de 2020].

Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.01.023>.

ISSN: 1364-0321

72. MURTHY, M y GHIRARDI. *Algal Hydrogen Production* [en línea]. 2da ed. Academic Press, 2013 [fecha de consulta: 20 de abril de 2020].

Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-378630-2.00446-1>.

ISBN: 9780123786319

73. NAKASIMA, Mydory [et al.]. Adaptación de Inóculos Durante el Arranque de la Digestión Anaerobia con Residuos Sólidos Orgánicos. *Inf. tecnol.* [en línea]. Vol.28(1):199-208, 2017. [Fecha de consulta: 12 de mayo de 2020].

Disponible en: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642017000100020>

ISSN: 0718-0764

74. NAZARI, L.[et al.]. *Direct Thermochemical Liquefaction for Energy Applications* [en línea]. Woodhead Publishing, 2018 [fecha de consulta: 08 de mayo de 2020]. Capítulo 3. Recent advances in energy recovery from wastewater sludge.

Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-101029-7.00011-4>.

ISBN: 9780081010297

75. NUALSRI, Chatchawin, KONGJAN, Prawit y REUNGSANG, Alissara. Direct integration of CSTR-UASB reactors for two-stage hydrogen and methane production from sugarcane syrup. *International Journal of Hydrogen Energy* [en línea]. Vol. 41(40): 17884–17895, octubre 2016. [Fecha de consulta: 04 de mayo de 2020].

Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2016.07.135>.

ISSN 0360-3199

76. NUNES, Antonio [et al.]. Thermophilic anaerobic digestion of raw sugarcane vinasse. *Renewable Energy* [en línea]. Vol. 89: 245–252, 2016. [Fecha de consulta: 30 de mayo de 2020].

Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.11.064>.

ISSN: 0960-1481

77. ÑAUPAS, Humberto [et al.]. Metodología de la investigación. Cuantitativa-cualitativa y desarrollo de la tesis [en línea]. 4ta ed. Bogotá: ediciones de la U, 2014 [fecha de consulta: 25 de mayo de 2020].

Disponible en: <http://slidehtml5.com/myqi/iohq>

ISBN: 9789587621884

78. OAKLEAF, James [et al.]. Mapping Global Development Potential for Renewable Energy, Fossil Fuels, Mining and Agriculture Sectors. *Scientific data* [en línea]. Vol. 6 (1): 1-17, junio 2019. [Fecha de consulta: 4 de octubre de 2019]. ProQuest Central.

Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1038/s41597-019-0084-8>.

79. OKTEM, Yalcin y TUFEKCI, Nese. Treatment of brewery wastewater by pilot scale upflow anaerobic sludge blanket reactor in mesophilic temperature. Journal of scientific and industrial research [en línea]. Vol. 65(3): 248-251, 2006. [Fecha de consulta: 03 de junio de 2020].

Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/297694450>.

80. OROZCO, Alvaro. Bioingeniería de aguas residuales: Teoría y diseño [en línea]. Bogotá: Acodal, 2005. 562 pp. [Fecha de consulta: 23 de octubre de 2019].

Disponible en: <https://books.google.com.pe/books?id=t5w5EZf1VhMC&pg=PP3&dq=Bioingenier%C3%ADa+de+aguas+residuales:+Teor%C3%ADa+y+dise%C3%B1o,+OROZCO&hl=es&sa>

ISBN: 958964553

81. OSINERGMIN. Reporte semestral de monitoreo del mercado de hidrocarburos [En línea]. 14 de setiembre 2019. [Fecha de consulta: 15 de mayo de 2020].

Disponible en: https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios_Economicos/Reportes_de_Mercado/Osinergmin-RSMMH-I-2019.pdf

82. PACCO, Anyi [et al.]. Propuesta de parámetros de diseño de un reactor UASB para el tratamiento de aguas residuales porcinas. Scientia Agropecuaria [en línea]. Vol. 9(3): 381-391, 2018. [Fecha de consulta: 13 de mayo de 2020].

Disponible en: <http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.03.09>.

ISSN 2077-9917

- 83.** PALACIOS, FALCÓN y MUÑOZ. Diseño y construcción de sensores automatizados de gases de efecto invernadero en la baja troposfera. Revista de ciencia tecnología [en línea]. (14): 21-29, 2015. [Fecha de consulta: 14 de mayo de 2020].

Disponible en: <https://doi.org/10.17163/ings.n14.2015.03>

- 84.** PANIGRAHI, Sagarika y DUBEY, Brajesh. A critical review on operating parameters and strategies to improve the biogas yield from anaerobic digestion of organic fraction of municipal solid waste. Renewable Energy[en línea]. Vol. 143: 779-797, diciembre 2019. [Fecha de consulta: 06 de mayo de 2020].

Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.05.040>.

ISSN: 0960-1481

- 85.** PARSAEE, Mostafa, KIANI DEH KIANI, Mostafa y KARIMI, Keikhosro. (2019). A review of biogas production from sugarcane vinasse. Biomass and Bioenergy [en línea]. Vol. 122: 117–125, marzo 2019. [Fecha de consulta: 27 de abril de 2020].

Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2019.01.034>.

ISSN 0961-9534

- 86.** PAZ, Olga, BARBA, Luz y BARRIAGA, Nilson. Vinasse treatment by coupling of electro-dissolution, hetero-coagulation and anaerobic digestion. Dyna

rev.fac.nac.minas [en línea].Vol.81(187):102-107, mayo 2014. [Fecha de consulta: 04 de mayo de 2020].

Disponible en: <http://dx.doi.org/10.15446/dyna.v81n187.38922>

ISSN: 0012-7353.

- 87.** PEREZ, Esteban. Control de calidad en aguas para consumo humano en la región occidental de Costa Rica. Tecnología en Marcha [en línea]. Vol.29 (3): 3-14, 2016. [Fecha de consulta: 19 de mayo de 2020].

Disponible en. https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0379-39822016000300003&lng=en&nrm=iso

ISSN: 0379-3982

- 88.** PETTIGREW, Liam [et al.]. Optimisation of water usage in a brewery clean-in-place system using reference nets. Journal of Cleaner Production [en línea]. Vol. 87: 583-593, enero 2015. [Fecha de consulta: 21 de abril de 2020].

Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.10.072>.

ISSN 0959-6526

- 89.** RACHO, Patcharin y PONGAMPORNNARA, Apinya. Enhanced biogas production from modified tapioca starch wastewater. Energy Reports [en línea]. Vol. 6: 744-750, 2019. [Fecha de consulta: 26 de mayo de 2020]

Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.egy.2019.09.058>.

ISSN: 2352-4847

90. RAPOSO, F [et al.] Anaerobic digestion of solid organic substrates in batch mode: An overview relating to methane yields and experimental procedures. Renewable and Sustainable Energy Reviews [en línea]. Vol. 16(1), 861-877, enero de 2012 [Fecha de consulta: 19 de abril de 2020].

Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.09.008>.

Pages 861-877

91. REUNGSANG, SITTIJUNDA y SREELA-O. Methane production from acidic effluent discharged after the hydrogen fermentation of sugarcane juice using batch fermentation and UASB reactor. Renewable Energy [en línea]. Vol. 86: 1224-1231, 2016. [Fecha de consulta: 14 de mayo de 2020].

Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.09.051>.

ISSN: 0960-1481

92. REVANKAR, Shripad. Storage and Hybridization of Nuclear Energy [en línea]. Academic Press, 2019 [fecha de consulta: 14 de mayo de 2020]. Capítulo 6: Chemical Energy Storage.

Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813975-2.00006-5>.

ISBN: 9780128139752

93. TREHARNE, Gareth y RIGGS, Damien. Ensuring Quality in Qualitative Research. Qualitative Research in Clinical and Health Psychology [en línea]. Vol. 19: 57-73, 2015. [Fecha de consulta: 09 de mayo de 2020].

Disponible

en:

https://www.researchgate.net/publication/313264898_Ensuring_Quality_in_Qualitative_Research

94. RIZVI, Hina [et al.]. Start-up of UASB reactors treating municipal wastewater and effect of temperature/sludge age and hydraulic retention time (HRT) on its performance. *Arabian Journal of Chemistry* [en línea]. Vol. 8(6):780–786, 2015. [Fecha de consulta: 15 de junio de 2020].

Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2013.12.016>

ISSN: 1878-5352

95. RICO, Carlos, MONTES, Jesús y RICO, José. Evaluation of different types of anaerobic seed sludge for the high rate anaerobic digestion of pig slurry in UASB reactors. *Bioresource Technology* [en línea]. Vol. 238:147–156, 2017. [Fecha de consulta: 15 de junio de 2017].

Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.04.014>.

ISSN: 0960-8524

96. ROBLES, Vania [et al.]. Treatment of mezcal vinasses: A review. *Journal of Biotechnology*. [en línea]. Vol.157(4):524–546, 2011. [Fecha de consulta: 27 de abril de 2020].

Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2011.09.006>.

ISSN 0168-1656

97. RODRÍGUEZ Gonzalo [et al.]. Concepción de un modelo de agroindustria rural para la elaboración de harina y almidón [en línea]. Tibaitatá, diciembre, 2003. [Fecha de consulta: 18 de mayo de 2020].

Disponible en: <http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/3743/2/Agroindustria%20para%20la%20elaboracion%20de%20harina%20de%20achira.pdf>

98. SALVUCCI, Raffaele [et al.]. Energy Scenario Analysis for the Nordic Transport Sector: A Critical Review. Energies [en línea]. Vol. 12(12): 2019. [Fecha de consulta: 27 de noviembre]. ProQuest Central.

Disponible en <http://dx.doi.org/10.3390/en12122232>.

ISSN: 19961073

99. SANCHEZ, Claudian [et al.]. Determinación del potencial bioquímico de metano (PBM) de residuos de frutas y verduras en hogares. Rev. Int. Contam. Ambient [En línea]. Vol.32(2):191-198, 2016. [Fecha de consulta: 24 de abril de 2020].

Disponible en: <http://dx.doi.org/10.20937/RICA.2016.32.02.05>.

ISSN 0188-4999

100. SANTANA, Aureo, DUDA, Rose y ALVES, Roberto. Improving the energy balance of ethanol industry with methane production from vinasse and molasses in two-stage anaerobic reactors. Journal of Cleaner Production [en línea]. Vol. 238: noviembre 2019. [Fecha de consulta: 21 de abril de 2020].

Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.07.052>.

ISSN: 0959-6526

101. SHI, Xuchuan [et al.]. Effects of free ammonia on volatile fatty acid accumulation and process performance in the anaerobic digestion of two typical bio-wastes. *Journal of Environmental Sciences* [en línea]. Vol. 55: 49–57, 2017. [Fecha de consulta: 18 de mayo de 2020].

Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jes.2016.07.006>.

ISSN: 1001-0742

102. SHUBHANEEL, Neogi, APURBA, Dey y KUMAR, Chaterjee. Corn starch industry wastewater pollution and treatment processes- A review. *J. Bio. Env. Sci.* [en línea]. Vol12(3): 283-293, marzo 2018. [Fecha de consulta: 27 de abril de 2020].

Disponible en: <https://innspub.net/jbes/corn-starch-industry-wastewater-pollution-treatment-processes-review/>

ISSN: 2220-6663

103. SIMATE, Geoffrey [et al.]. The treatment of brewery wastewater for reuse: State of the art. *Desalination* [en línea]. Vol. 273(2-3): 235-247, junio 2011. [Fecha de consulta: 20 de abril de 2020].

Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2011.02.035>.

ISSN 0011-9164

104. SOOD, S [et al.]. *Comprehensive Biotechnology* [en línea]. Academic Press, 2011 [Fecha de consulta: 24 de abril de 2020]. 2.13 - Inoculum Preparation.

Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-088504-9.00090-8>.

ISBN 9780080885049

- 105.** SOGA, Kenichi [et al.]. Underground Sensing [en línea]. Academic Press, 2018 [fecha de consulta: 08 de mayo de 2020]. Capítulo 6. Fiber-Optic Underground Sensor Networks.

Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803139-1.00006-0>.

ISBN: 9780128031391

- 106.** SRISOWMEYA, G., CHAKRAVARTHY, M., y Nandhini, G. Critical considerations in two-stage anaerobic digestion of food waste – A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews [en línea]. Vol. 119: 1-14, 2019. [Fecha de consulta: 07 de mayo de 2020].

Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109587>.

ISSN: 1364-0321

- 107.** TAPIA, Susana [et al.]. Puesta en marcha de un reactor UASB para el tratamiento de aguas residuales de la crianza intensiva de cerdos. Agroind.sci [en línea]. Vol.8 (2): 137-145, 2018. [Fecha de consulta: 15 de junio de 2020].

Disponible en: <http://dx.doi.org/10.17268/agroind.sci.2018.02.09>

ISSN: 2226-2989

- 108.** TARTAKOVSKY, LEBRUN y GUIOT. High-rate biomethane production from microalgal biomass in a UASB reactor. Algal Research [en línea]. Vol. 7: 86- 91, 2015. [Fecha de consulta: 14 de mayo de 2020].

Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.algal.2014.12.004>

ISSN: 2211-9264

- 109.** TERRY, Adis, FERNÁNDEZ, Maikel Y ALMEIDA, Delys. Consideraciones generales para el desarrollo de una estrategia de granulación en reactores UASB. Tecnología química [en línea]. Vol. 18(1): 70-79, abril 2008. [fecha de Consulta 30 de Abril de 2020].

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=445543755009>

ISSN: 0041-8420.

- 110.** TING- YU, Wang y JIN, Huang. UASB-CASS Joint Technology Applied to Treatment of Brewery Wastewater 2011 International Conference on Computer Distributed Control and Intelligent Environmental Monitoring, Changsha [en línea]. 330-333, 2011. [Fecha de consulta: 16 de junio de 2020].

Disponible en: <https://doi.org/10.1109/CDCIEM.2011.521>

- 111.** TORRES, Patricia y PÉREZ, Andrea. Actividad metanogénica específica: una herramienta de control y optimización de sistemas de tratamiento anaerobio de aguas residuales. ingeniería de recursos naturales y del ambiente [en línea]. (9): 5-14, 2010 [fecha de consulta: 5 de mayo de 2020].

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=231116434001>

ISSN: 1692-9918

- 112.** VAN DER, Jac. The United Nations World Water Development [en línea]. Paris: UNESCO, 2009 [Fecha de consulta: 12 de septiembre de 2019].

Disponible

en:

[:https://books.google.com.pe/books?id=iZcRTaik6oIC&printsec=frontcover&dq=The+United+Nations+World+Water+Development&hl=es&sa](https://books.google.com.pe/books?id=iZcRTaik6oIC&printsec=frontcover&dq=The+United+Nations+World+Water+Development&hl=es&sa)

ISBN: 9789231040955.

- 113.** VAN LIER, Jules. High-rate anaerobic wastewater treatment: diversifying from end-of-the-pipe treatment to resource-oriented conversion techniques. *Water Science and Technology* [en línea]. Vol. 57(8):1137–1148, abril 2008. [Fecha de consulta: 30 de abril de 2020].

Disponible en: <https://doi.org/10.2166/wst.2008.040>

- 114.** VAN LIER, Jules [et al.]. Celebrating 40 Years Anaerobic Sludge Bed Reactors for Industrial Wastewater Treatment. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology* [en línea]. Vol. 14(4):681-702, diciembre 2015. [Fecha de consulta: 30 de abril de 2020. ProQuest Central.

Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1007/s11157-015-9375-5>.

ISSN 15691705

- 115.** WANG, Rong [et al.]. Efficiency of porous burnt-coke carrier on treatment of potato starch wastewater with an anaerobic–aerobic bioreactor. *Chemical Engineering Journal* [en línea]. Vol. 148(1): 35–40, mayo 2009. [Fecha de consulta: 11 de mayo de 2020].

Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2008.07.028>.

ISSN:1385-8947

- 116.** WINKLER, M. [etal.]. Factors influencing the density of aerobic granular sludge. *Appl Microbiol Biotechnol* [en línea]. Vol. 97: 7459–7468, 2013. [Fecha de consulta: 09 de junio de 2020].

Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s00253-012-4459-4>

- 117.** XU, Shaoe [et al.]. Hydrogen and methane production by co-digesting liquid swine manure and brewery wastewater in a two-phase system. *Bioresource Technology* [en línea]. Vol. 293: 1-8, 2019. [Fecha de consulta 20 de mayo de 2020].

Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122041>.

ISSN: 0960-8524

- 118.** XU, Ying [et al.]. Perspective on enhancing the anaerobic digestion of waste activated sludge. *Journal of Hazardous Materials* [en línea]. Vol. 389: mayo 2019. [Fecha de consulta: 18 de enero de 2020].

Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121847>.

ISSN: 03043894

- 119.** XIU, Yuh [et al.]. Enzymatic pretreatment to enhance anaerobic bioconversion of high strength wastewater to biogas: A review. *Science of The Total Environment* [en línea]. Vol. 713, abril 2019. [Fecha de consulta: 15 de abril de 2020].

Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136373>

ISSN: 0048-9697.

120. YAHIA, Elhadi [et al.]. Postharvest Technology of Perishable Horticultural Commodities [en línea]. Woodhead Publishing, 2019 [fecha de consulta: 14 de mayo de 2020]. Capítulo 13: Controlled Atmosphere Storage.

Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813276-0.00013-4>.

ISBN: 9780128132760

121. ZHANG, Le [et al.]. Mixing strategies - activated carbon nexus: Rapid start-up of thermophilic anaerobic digestion with the mesophilic anaerobic sludge as inoculum. Bioresource Technology [en línea]. Vol. 302, 2020. [Fecha de consulta: 09 de mayo de 2020].

Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.122892>.

ISSN: 0960-8524

122. ZHANG, Cunsheng [et al.]. Reviewing the anaerobic digestion of food waste for biogas production. Renewable and Sustainable Energy Reviews [en línea]. Vol. 38: 383–392, octubre 2014. [Fecha de consulta: 19 de mayo de 2020].

Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.05.038>.

ISSN:1364-0321

123. ZHAO, Nannan [et al.]. Exoelectrogenic Anaerobic Granular Sludge for Simultaneous Electricity Generation and Wastewater. Environmental Science and Technology [en línea]. Vol. 53 (20):12130-12140, 2019. [Fecha de consulta: 09 de mayo de 2020].

Disponible en: <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b03395>

124. ZHOU, Man [et al.]. Methanogenic activity and microbial communities characteristics in dry and wet anaerobic digestion sludges from swine manure. *Biochemical Engineering Journal* [en línea]. Vol. 152: diciembre 2019. [fecha de consulta: 27 de octubre de 2019].

Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.bej.2019.107390>

ISSN: 1369703X

125. ZHU, Xinyu [et al.]. Characterization of the planktonic microbiome in upflow anaerobic sludge blanket reactors during adaptation of mesophilic methanogenic granules to thermophilic operational conditions. *Anaerobe* [en línea]. Vol. 46: 69 – 77, agosto 2017. [Fecha de consulta: 19 de octubre del 2019].

Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.anaerobe.2016.12.015>

ISSN: 10759964

ANEXOS

Anexo 1. Calculo de la velocidad de la carga orgánica (VCO)

$$VCO = C * \frac{Q}{V} \quad (8)$$

En donde:

VCO = gDQO / L*d o gSV / L*d

C= concentración de sustrato influyente, puede ser SV o DQO (g / L)

Q = caudal (L / d)

V = volumen del digestor anaeróbico (L).

Anexo 2. Prueba de la Actividad metanogénica específica (AME)

Él AME es una prueba que sirve para clasificar el mejor lodo anaerobio en base a su potencial de convertir un sustrato en CH₄ y CO₂ en un reactor a condiciones controladas. También puede ser usado para medir la actividad microbiana de un lodo anaerobio (Longaretti et al., 2019, p.1139). La AME se puede estimar encontrando la pendiente (m), se debe de construir la curva del volumen generado de CH₄ vs tiempo de la prueba y esto culmina cuando no exista presencia de cambios significativos en la curva (Zhou et al. 2019, p.5), como se muestra en la figura 19.

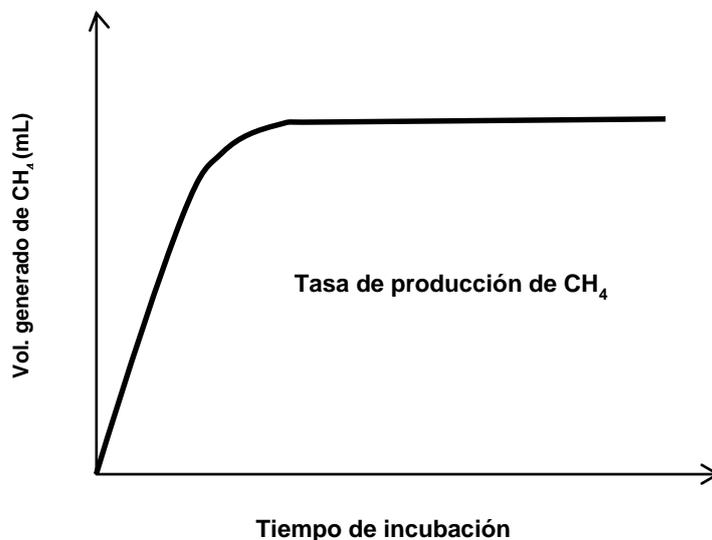


Figura 19. Punto de medición de la pendiente. Adaptado de Torres y Pérez, 2010, p.12

Para realizar la prueba de la AME se debe conocer el volumen inicial del lodo en el reactor a escala laboratorio, para ello se debe realizar un análisis de sólidos suspendidos volátiles. Para estimar la cuantificación del CH_4 existen diferentes métodos en el laboratorio, el uso de mediciones volumétricas es uno de los métodos que mayor se usa para las pruebas de AME, según Aquino et al (como se citó en Longaretti et al., 2019, p.1141), tal como se observa en la figura 20.

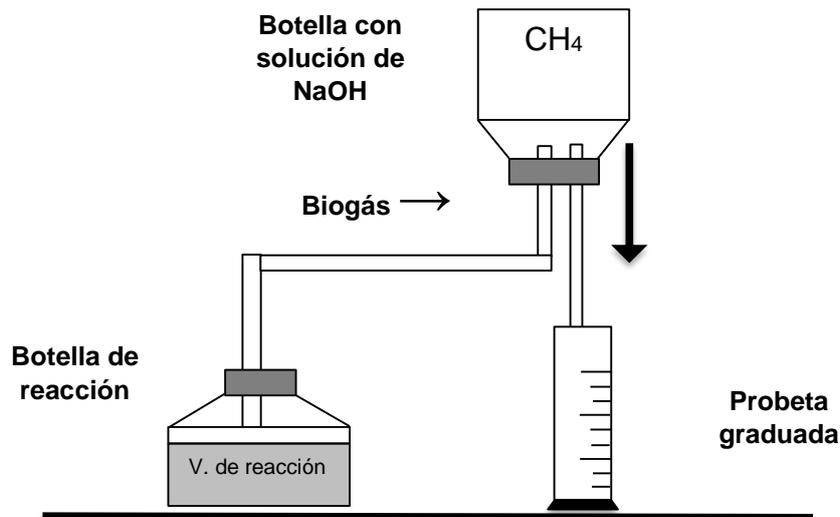


Figura 20. Montaje del AME. Adaptado de Longaretti et al., 2019, p.1141

La AME es expresado en unidades de gDQO/gSSV del inóculo, calculado a partir del volumen máximo de la producción de metano ($\text{mlCH}_4/\text{día}$) como lo plantea Aquino et al (como se citó en Longaretti et al., 2019, p.1141). Por su parte Foresti (como se citó en Torres y Pérez, 2010, p.11) sostiene que, para calcular la generación de CH_4 se debe tener en consideración la presión atmosférica y la temperatura al realizar el montaje de la AME. Para ello, se considera la reacción de la combustión de CH_4 en oxidación completa, por lo tanto, para una mol de CH_4 es necesario dos moles de O_2 a condiciones normales ($P=1 \text{ atm}$ y $T=273^\circ\text{K}$), 22.4 L de CH_4 equivalen a 64 g de DQO, es decir, se obtiene una relación 0.35 L de CH_4/gDQ , el cual permite calcular la materia orgánica transformada a CH_4 a partir de su volumen generado en el reactor. Esta relación es aplicada para condiciones normales, pero en otras condiciones de deberá aplicar el factor de corrección de temperatura y presión, tal como se presenta en la ecuación 8. Por otro lado,

Chernicharo (como se citó en Torres y Pérez, 2010, p.11) planteó las siguientes ecuaciones para calcular la AME.

$$K(t) = \frac{P * K}{R * (273 + t)} \quad (9)$$

En donde:

$K(t)$ = factor de corrección (g DQO/L) "

P = atm

R = 0.08206 atm*L/ mol*°K

K = MO digerida correspondiente a una mol de CH_4 (64 gDQO/mol)

t = temperatura de la prueba (°C)

Una vez obtenido el valor del factor de corrección $K(t)$, se procede a calcular el volumen teórico del CH_4 , a través de la ecuación 9.

$$V_{CH_4} = DQOCH_4 K(T) \quad (10)$$

En donde:

V_{CH_4} = volumen teórico de CH_4 producido (L)

$DQOCH_4$ = DQO inicial - DQO final en el reactor(gDQO)

Finalmente se calcula la AME, a través de la ecuación 10, considerando el volumen teórico del CH_4 generado.

$$AME(gDQO/gSTV * d) = \frac{m*24}{V_{CH_4}*M} \quad (11)$$

En donde:

m = pendiente máxima en la curva generada de CH_4

M = masa de lodo (Volumen del lodo en el reactor x Concentración inicial Lodo) (g)

Anexo 3. Prueba del potencial bioquímico de metano (PBM)

El PBM es una prueba que se efectúa en reactores a escala laboratorio, para determinar la producción de CH₄, a partir de la biodegradabilidad anaerobia de la MO de un sustrato por medio de la DA de un inóculo determinado utilizando diferentes proporciones entre el sustrato e inóculo, los valores son dados en mLCH₄/g SV. Además, los resultados obtenidos servirán para predecir el funcionamiento de un reactor anaerobio a escala industrial (Sánchez et al., 2016, p.192). La generación de metano producido en esta prueba se cuantifica por un método volumétrico, manométrico o de cromatografía de gases (Cárdenas et al., 2016, p.96). La prueba del PBM está sujeto a diversos factores que pueden agruparse en cuatro grupos, estos son: sustrato, inóculo, condiciones operacionales y experimentales (ver figura 21), para estos grupos es recomendable reportar y monitorear para obtener eficiencias en el comportamiento del estudio, con la finalidad de generar reportes y comparar con diversos estudios. (Cárdenas, 2016, p.98)

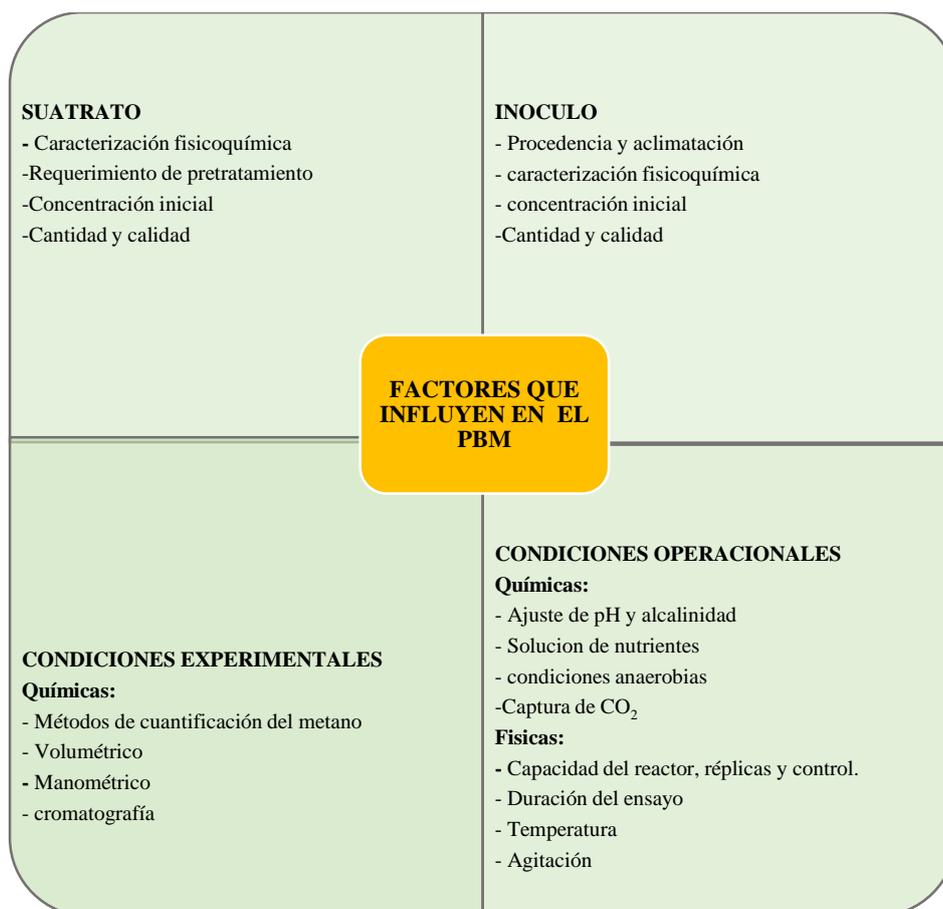


Figura 21. Factores del ensayo del PBM. Adaptado de Cárdenas, 2016, p.99

Anexo 4. Factores influyentes de la DA de efluentes de la producción de almidón en un reactor RAFA

N°	Referencias	DQO inicial (mg/L)	TRH (horas)	VCO gDQO/(L/d)	Temperatura °C	pH	Rendimiento de CH ₄ (mLCH ₄ /gDQO)
1	Cremones et al., 2020, pp. 2- 11	4,850	26.7	8	37	7	0.25
2	Intanoo, Chaimongkol y Chavadej, 2016, pp. 6107-6114	1,120	24	8	37	6.5	0.26
3	Hinken et al., 2014, pp.83-93	1,900	30	2.6	32	6.6	0.28
4	Racho y Pongampornnara, 2019, pp. 746 -750	3,000	36	7.5	25	7	0.28
5	Khongkliang, Kongjan y OThong, 2015, pp. 828-832	3,450	12	6.7	28	6.3	0.31
6	Jiraprasertwong, Maitriwong y Chavadej, 2019, pp.192- 201	1,050	24	5	37	6.8	0.32
7	Lu et al., 2015, pp. 266-270	1,000	24	4	35	7	0.33
8	Antwi et al., 2017, 105-116	3,000	36	7.9	35	7.9	0.48
Promedio y desviación estándar		2,421 ± 1,388.3	26.6 ± 7.8	6.2 ± 2.1	33.3 ± 4.6	6.9 ± 0.5	0.31 ± 0.07

Fuente: elaboración propia

Anexo 5. Factores influyentes de la DA de efluentes de la producción de etanol en un reactor RAFA

N°	Referencias	DQO inicial (mg/L)	TRH (horas)	VCO gDQO/(L/d)	Temperatura °C	pH	Rendimiento de CH ₄ (mLCH ₄ /gDQO)
1	Barros, Duda y Oliveira, 2016, pp. 628-638	1,866	43.2	12.5	30	6.7	0.19
2	Nualsri, Kongjan y Reungsang, 2016, pp. 17886-17893	2,500	72	2.5	30	7.5	0.23
3	Barros et al., 2017, pp. 371- 381	3,154	11	8	55	7.1	0.25
4	Buitrón et al., 2014, pp. 19249-19254	1,636	24	5	35	7.2	0.26
5	Santana, Duda y Oliveira, 2019, pp.2-10	3.930	38	8.9	55	7.4	0.28
6	Del Nery et al., 2018, pp. 412-416	1,440	14.2	8.6	22	7.8	0.30
7	Llanes et al., 2019, pp. 9-27	2,160	57.6	10	35	7.3	0.35
8	Nunes et al., 2016, pp. 246- 252	2,400	10.2	15	55	7	0.40
Promedio y desviación estándar		2,386 ± 825.1	33.8 ± 23	8.8 ± 3.9	39.6 ± 13	7.3 ± 0.3	0.28 ± 0.07

Fuente: elaboración propia

Anexo 6. Factores influyentes de la DA de efluentes de cervecería en un reactor RAFA

N°	Referencias	DQO inicial (mg/L)	TRH (horas)	VCO gDQO/(L/d)	Temperatura °C	pH	Rendimiento de CH ₄ (mLCH ₄ /gDQO)
1	Jiménez et al., 2016, pp. 2697-2703	1,800	7	7.4	27	6.8	0.25
2	Xu et al., 2019, pp. 2-8	3,485	12	8.61	37	7.5	0.27
3	Enitan et al., 2015, pp. 675-681	2,006	13	9.2	29	6.9	0.29
4	Oktem y Tufekci, 2006, pp.248-251	2,000	31.2	7	35	7.1	0.30
5	Godoy et al., 2014, pp.158-162	2,090	9.5	6.8	34	6.8	0.33
6	Li y Mulligan, 2004,pp. 89-94	1100	12	6	35	7	0.38
7	Enitan et al., 2018, pp.2-6	1,140	24	8	35	7.2	0.38
8	Ting-yu y Jin, 2011, pp. 330-333	2,500	20	6	32	6.6	0.40
Promedio y desviación estándar		2,015 ± 760.7	16.1 ± 8.2	7.4 ± 1.2	33 ± 3.4	7 ± 0.3	0.33 ± 0.06

Fuente: elaboración propia

Anexo 7. Ficha de recolección de datos

Autor (es)		
Objetivos		
Metodología	Reactor RAFA para la producción de metano	
	tipo de efluentes industriales: la alimentaria (Cervecería y producción de almidón), curtiembre y etanol.	
	Factores que influyen en la digestión anaerobia	
	Lodos anaerobios	
Resultados		
Conclusiones		

Fuente: elaboración propia