



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

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

**Reactores Anaeróbicos como Dispositivos Ecológicos Para la  
Generación de Bioenergía a partir de Aguas Residuales de Granja:  
Revisión Sistemática**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO AMBIENTAL**

**AUTORES:**

Molina Pichihua Marycruz (ORCID: 0000-0003-3630-9061)

Mendoza Yarasca Harold Martin (ORCID: 0000-0003-3050-2477)

**ASESOR:**

Mg. Herrera Díaz Marco Antonio (ORCID: 0000-0002-8578-4259)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Tratamiento y Gestión de los Residuos

LIMA – PERÚ

2021

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo primeramente a Dios por ser mi guía y amigo incondicional, también se lo dedico a mi familia por ser mi ejemplo, fuente de mi inspiración, sacrificio y dedicación para la culminación exitosa de esta nueva meta, y para seguir adelante alcanzando nuevos sueños y propósitos. De la misma manera mi agradecimiento enorme a la universidad cesar vallejo.

## **AGRADECIMIENTOS**

Mi agradecimiento en primer lugar a Dios, por darme la fortaleza para alcanzar una de las grandes metas trazadas en mi vida, y de manera especial a la Universidad Cesar Vallejo, por haberme brindado acogida y responder a mis inquietudes y compartir sus experiencias y conocimientos.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTOS .....	iii
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	iv
ÍNDICE DE TABLAS .....	v
ÍNDICE DE FIGURAS .....	v
ÍNDICE DE GRÁFICOS .....	v
ÍNDICE DE ABREVIATURAS .....	vi
RESUMEN .....	vii
ABSTRACT .....	viii
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. MARCO TEÓRICO.....	4
III. METODOLOGÍA.....	16
3.1. Tipo y diseño de investigación .....	16
3.2. Categoría, subcategoría y matriz de categorización .....	16
3.3. Escenario de estudio.....	18
3.4. Participantes .....	18
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	18
3.6. Procedimiento .....	19
3.7. Rigor científico .....	20
3.8. Método de análisis de información.....	20
3.9. Aspectos éticos.....	21
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	22
V. CONCLUSIONES .....	31
VI. RECOMENDACIONES.....	32
REFERENCIAS.....	33
ANEXOS	

## ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. condiciones óptimas necesarios para operar 7 biorreactores</i>	6
<i>Tabla 2. Tabla del resumen de antecedentes de los tipos</i>	13
<i>Tabla 3. Matriz de categorización apriorística</i>	17
<i>Tabla 4. Rendimiento de los reactores anaeróbicos para la generación de bioenergía</i>	24
<i>Tabla 5. Factores que afectan a los reactores anaeróbicos</i>	28

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Vista transversal esquemática de un UASB, AF y AHF</i>	8
<i>Figura 2. Modelo de las pilas de combustible microbianas (MFC)</i>	10
<i>Figura 3. Tratamiento mediante reactor anaeróbico con deflectores</i>	11
<i>Figura 4. Diagrama esquemático de un diseño de reactor anaeróbico con deflectores</i>	12

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<i>Gráfico 1. Procedimiento de selección de artículos</i>	19
<i>Gráfico 2. Porcentaje de reactores anaeróbicos más empleados</i>	22
<i>Gráfico 3. Promedio de rendimiento de los reactores en la generación de bioenergía</i>	26

## RESUMEN

La presente revisión tuvo como objetivo analizar los aspectos más relevantes de los reactores anaeróbicos como dispositivos ecológicos para la generación de bioenergía a partir de residuos de granja, para lo cual se presentó una metodología aplicada, donde se 114 artículos científicos a nivel mundial, añadiendo al estudio 20 que cumplieron con los diversos criterios de selección.

Se obtuvo mediante la revisión sistemática que los reactores anaeróbicos más empleados para la generación de bioenergía a partir de aguas residuales de granja son 5; siendo el digestor anaeróbico de dos etapas (UASB) es el más empleado con un 42% de veces aplicado, seguido del reactor discontinuo (ASBR) con un 32% y el digestor anaeróbico (CSTR) con un 16%; el rendimiento de los reactores anaeróbicos para la generación de bioenergía a partir de aguas residuales de granja se encuentra en un promedio del 65% al 80% del total, y los reactores más usados como el UASB y CSTR presentan un promedio de rendimiento de los reactores anaeróbicos para la generación de bioenergía equivalentes al 75 y 80%; los factores que afectan a los reactores anaeróbicos que tratan las aguas residuales para la generación de bioenergía son 6 parámetros; Amoníaco y Nitrógeno, Sulfuro, Espuma, Volátil Grasa Ácidos grasos volátiles, Eliminación de estiércol y Esterilización.

**Palabras clave:** bioenergía, aguas residuales, agricultura, granjas, biogás, reactor anaeróbico

## ABSTRACT

The objective of this review was to analyze the most relevant aspects of anaerobic reactors as ecological devices for the generation of bioenergy from farm waste, for which an applied methodology was presented, where 114 scientific articles were published worldwide, adding to the study 20 that met the various selection criteria.

It was obtained through the systematic review that the most used anaerobic reactors for the generation of bioenergy from farm wastewater are 5; being the two-stage anaerobic digester (UASB) the most used with 42% of times applied, followed by the batch reactor (ASBR) with 32% and the anaerobic digester (CSTR) with 16%; the performance of anaerobic reactors for the generation of bioenergy from farm wastewater averages 65% to 80% of the total, and the most used reactors such as the UASB and CSTR present an average performance of anaerobic reactors for the generation of bioenergy equivalent to 75 and 80%; the factors affecting anaerobic reactors that treat wastewater for bioenergy generation are 6 parameters; Ammonia and Nitrogen, Sulfide, Foam, Volatile Fatty Acids, Manure Removal and Sterilization.

**Keywords:** bioenergy, wastewater, agriculture, farms, biogás, anaerobic reactor

## I. INTRODUCCIÓN

En las dos últimas décadas, debido a la globalización, los avances tecnológicos y el mayor crecimiento de la población, la demanda mundial de energía ha aumentado exponencialmente (Hashemi S. et al., 2019, .3). En esta demanda total de energía, el 80% del suministro se cubrió únicamente con combustibles fósiles (Cardoso Joao S. et al., 2019, p.2).

Los combustibles fósiles que consisten en carbón, gas natural y petróleo se descubrieron hace décadas a partir de materia vegetal y animal muerta que había sido comprimida y calentada durante millones de años por capas de sedimentos y rocas sobrecargadas (Luo S. y Weng Y., 2019, p.2). Estos combustibles fósiles pueden producir energía de alta eficiencia para soportar el motor de vehículos, dispositivos electrónicos y la vida diaria de las personas (Hardman Scott et al., 2016, p.2). Sin embargo, su naturaleza finita los convierte en fuentes de energía insostenibles (Santoro Carlos et al., 2017, p.1). Por lo tanto, existe la necesidad de combustibles renovables y sostenibles para sustituir a los combustibles fósiles y desarrollar la civilización industrial moderna (Loganath R. y Mazumder D., 2020, p.3).

Así también, en un mundo en el que la población crece continuamente junto con la expansión de las agroindustrias, es de fundamental importancia combinar las energías renovables y los sistemas eficientes de conversión de energía con el sector agroindustrial para mejorar la sostenibilidad de la industria de alimentos y bebidas (Abdeshahian P. et al., 2016, p.1).

El uso extensivo de fuentes renovables de energía primaria lleva a realizar esfuerzos adicionales en la integración óptima de diferentes procesos y flujos de energía, así como soluciones eficientes para el almacenamiento de energía eléctrica y térmica (Arshad M. et al., 2018, p.2).

En este sentido, la integración de los sistemas de poligeneración con la industria de la alimentación y las bebidas o la agricultura puede considerarse una vía prometedora para mejorar la economía circular y generar al mismo tiempo economías verdes nuevas y locales (Bustillo L. et al., 2016, p.1).

Para reducir el consumo de combustibles fósiles, la biomasa es un recurso importante para producir bioelectricidad, biocombustible y calor; donde actualmente, la



producción de bioelectricidad a partir de la biomasa atrae a muchos y se implementa en muchos lugares (Cunha M. et al., 2019, p.3). En varios países europeos, actualizaron su política y normativa para utilizar la bioelectricidad en su sector energético (Mahmoodi E. y Ebrahimi R., 2019, p.2).

Por ejemplo, Noruega genera prácticamente el 100% de las necesidades energéticas utilizando recursos energéticos renovables; hasta 2006 había alrededor de 3600 plantas de energía de biomasa fueron instaladas con una capacidad total de 51 GW (Mateo Ramírez F. et al., 2017, p.2). El suministro total de energía renovable era de alrededor del 26,5% de diversas fuentes, de las cuales sólo el 2,2% de la energía generada por biomasa (Ghosh S. et al., 2019, p.2).

Debido a ello se requiere implementar dispositivos como los reactores anaeróbicos que convierten la energía química contenida en energía eléctrica mediante los residuos orgánicos generados a partir de las de los animales vivos y de las aguas residuales de su procesamiento industrial es el principal recurso para producir biogás (Naderi K. et al., 2017, p.1).

El uso de material orgánico como aguas residuales en celdas de combustible microbiana (MFC) lo convierte en un dispositivo ecológico que ofrece un doble beneficio de generación de bioelectricidad y gestión de residuos (Ambreen R. y Sarfraz S., 2019, p.2).

Debido a ello, se plantea el problema general: ¿Cuáles son los aspectos más relevantes de los reactores anaeróbicos como dispositivos ecológicos para la generación de bioenergía a partir de residuos de granja?

PE1: ¿Cuáles son los reactores anaeróbicos más empleados para la generación de bioenergía a partir de aguas residuales de granja?

PE2: ¿Cuál es el rendimiento de los reactores anaeróbicos para la generación de bioenergía a partir de aguas residuales de granja?

PE3: ¿Cuáles son los factores que afectan a los reactores anaeróbicos que tratan las aguas residuales para la generación de bioenergía?

De igual modo se elaboró el objetivo general: Analizar los aspectos más relevantes de los reactores anaeróbicos como dispositivos ecológicos para la generación de bioenergía a partir de residuos de granja, y como objetivos específicos:

OE1: Determinar los reactores anaeróbicos más empleados para la generación de bioenergía a partir de aguas residuales de granja.

OE2: Definir el rendimiento de los reactores anaeróbicos para la generación de bioenergía a partir de aguas residuales de granja.

OE3: Identificar los factores que afectan a los reactores anaeróbicos que tratan las aguas residuales para la generación de bioenergía.

Debido a la necesidad de generación de bioenergía y una descripción general de la eficiencia del tratamiento de varios reactores anaeróbicos el presente estudio presenta una justificación teórica, ya que va abordar dichos puntos mediante la recolección y análisis de estudios recientes que permitan a los lectores conocer más acerca de los sistemas de acción de estos dispositivos ecológicos contribuyendo de una manera teórica con un estudios actualizados que puedan despertar interés y ampliar investigaciones.

## II. MARCO TEÓRICO

Hoy en día, la contaminación del aire y el calentamiento global son las principales preocupaciones surgidas en el entorno natural del ser humano (Barrera Ernesto L. et al., 2016, p.2). Este problema podría atribuirse a la enorme evolución de los gases de efecto invernadero (GEI), como el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el metano (CH<sub>4</sub>) y el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) que se han obtenido a partir de una vasta combustión de combustibles fósiles simultáneamente con el aumento de la población mundial (Nizami Abdul S. et al., 2017, p.2).

Es bien sabido que los GEI actúan como un factor determinante en el calentamiento global al rodear el calor reflejado por la superficie de la tierra, con la mayor contribución del CO<sub>2</sub> (60%) y el menor efecto del CH<sub>4</sub> (15%) (Yang Jie et al., 2019, p.234). Por otra parte, el intenso agotamiento de los recursos de combustibles fósiles debido a su enorme utilización con la brusca fluctuación de los precios del petróleo y de las fuentes de energía fósiles ha conducido a un aumento de las tendencias hacia la búsqueda de alternativas energéticas renovables y rentables (Neshat Soheil A. et al., 2017, p.11).

Hoy en día, existe un consenso generalizado en la sociedad y la comunidad científica de que estamos ante un grande problema de alcance global, que es el uso de energía no renovable (Yang Hongnan et al., 2019, p.2). El consumo irracional de combustibles fósiles debido al desarrollo industrial provoca emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) (por ejemplo, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O) y escasez de portadores de energía, por lo que el uso de fuentes de energía alternativas es un objetivo en todo el mundo (Ramm Patrice et al., 2020, p.1).

El sector ganadero es muy dinámico, alcanzando los veinte billones de animales y contribuyendo al 40-50% del Producto Interior Bruto (PIB) agrícola (Shen J. y Zhu J., 2018, p.3). La intensificación de la producción ganadera, a pesar de aportar beneficios económicos, conlleva un aumento de las emisiones de GEI, la deforestación y la pérdida de biodiversidad (Wang Fei et al., 2019, p.19). Según la FAO, las aves de corral son las que más han crecido en los últimos 50 años, llegando a quintuplicar su producción. A nivel mundial, la producción de pollo y huevos alcanza los 72 y 5 millones de t - 1 respectivamente, generando 606 millones de t de CO<sub>2</sub>-eq y -1 en emisiones (Ambuchi John J. et al., 2017, p.1).

La producción avícola genera grandes cantidades de residuos (estiércol, yacijas, mortalidad en la granja y residuos de la incubadora) (Feng Shi Jin et al., 2018, p.230). Según su contenido en nutrientes, tradicionalmente se aplican al suelo sin tratamiento previo, lo que provoca olores incontrolados y emisiones de GEI a la ecosfera (0,023 kg de cabeza y -1), nitratos y lixiviados de fósforo a las aguas subterráneas, y a las aguas superficiales, junto con contaminación del suelo por patógenos, principalmente estafilococos y enterobacterias (Gerhardter Hannes et al., 2019, p.4).

Por ello, la preocupación por los impactos negativos de la fertilización excesiva con estiércol animal ha ido creciendo, siendo la combustión y la digestión anaeróbica (DA), alternativas para mejorar los perfiles ambientales (Ullah Atta et al., 2019, p.1).

Los recursos de energía renovable están reemplazando gradualmente las fuentes de combustibles fósiles convencionales por energía, lo que eventualmente daría lugar a una plataforma energética con menor contaminación ambiental y emisiones de gases de efecto invernadero (Nong Huyen T. et al., 2020, p.2).

Este escenario prevé un aumento de la generación de energía basada en recursos renovables para satisfacer la creciente demanda en las próximas décadas (Zahedi S. et al., 2017, p.2). En este contexto, la biomasa podría jugar un papel importante al ser considerada como una fuente renovable de alto potencial energético y una de las más sostenibles a nivel mundial (Kantola I. et al., 2017, p.7).

En concreto, debido a su potencial bioenergético, podría satisfacer la demanda de sectores como la energía, el transporte y la construcción (Bilal Muhammad et al., 2020, p.2). La bioenergía está referida entre varias fuentes de energía alternativas, específicamente los biocombustibles gaseosos (biogás, biometano, bio hidrógeno y gas de síntesis) (Zanbed Hossain M. et al., 2019, p.1). Además, se describe como adecuada para la generación de electricidad y/o calor, así como para el transporte automotor, teniendo en cuenta las menores emisiones contaminantes en comparación con los combustibles fósiles, generando puestos de trabajo e impulsando la economía local y nacional (Wang Zhengxin et al., 2021, p.1).

Por otro lado, casi la mitad del costo de las aguas residuales estándares actuales está relacionado con la entrada de energía en los procesos y el mayor porcentaje está relacionado con la aireación y el tratamiento de los lodos generados durante el proceso de tratamiento (Cao Shenbin et al., 2020, p.2). Estos altos costos y

dificultades para mantener la infraestructura de tratamiento dificultan la implementación de estrategias ambientales en países con limitaciones de suministro y tratamiento de residuo (Cao Shenbin et al., 2016, p.1).

Una forma de reducir el costo del tratamiento de aguas residuales es reducir directamente las entradas de energía necesarias en cada parte del proceso de tratamiento (Kotchaoen W. et al., 2021, p.9). En este contexto social crítico los reactores anaeróbicos de alta velocidad (HRAR), como tecnologías maduras en el mercado, representan una oportunidad por su simplicidad tecnológica y economía (Reyes Yasmani A. et al., 2021, p.1).

Entre finales de la década de 1960 y 1980 se introdujeron varios reactores anaeróbicos nuevos de alta velocidad: el filtro anaeróbico, el reactor de película fija de flujo descendente, el reactor de manto de lodo anaeróbico de flujo ascendente (UASB) y el reactor anaeróbico de lecho expandido / fluidizado (Patinvoh Regina J. et al., 2016, p.2).

La característica que distingue a todos estos reactores es su capacidad para realizar una digestión anaeróbica a velocidades mucho más rápidas de lo que era posible anteriormente (Liu Ximei y Zeng Ming, 2017, p.1). Esto permite un tratamiento de aguas residuales tan rápido como se podía lograr anteriormente con solo un proceso de lodo activado aeróbico y otros procesos aeróbicos de alta velocidad similares (Kenfack Joseph et al., 2017, p.1).

Pero mientras que los procesos aeróbicos consumen grandes cantidades de energía y producen lodos difíciles de manipular, los procesos anaeróbicos permiten la recuperación de una fracción considerable de la energía de entrada en forma de metano (Nesamalar J. et al., 2017, p.120).

En la tabla N°1 se resume las diferentes condiciones óptimas necesarios para operar varios tipos de reactores anaeróbicos.

*Tabla N°1: condiciones óptimas necesarios para operar 7 biorreactores*

<b>Tipo de biorreactor</b>	<b>Estrategias operacionales</b>
<b>CSTR</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Período de inicio: no requerido</li><li>• OLR: 22–40 g DQO / L / día</li><li>• TRH: 3-8 h</li><li>• Material de bioapoyo: no esencial</li></ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reciclaje de efluentes: No se requiere</li> <li>• Separación de sólidos gaseosos: No se requiere</li> </ul>
<b>PBR</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Período de inicio: 10-20 días</li> <li>• OLR: 1–40 g DQO / L / día</li> <li>• TRH: 0,5 a 4 h</li> <li>• Reciclaje de efluentes: No se requiere</li> <li>• Material de bioapoyo: esencial</li> <li>• Separación de sólidos gaseosos: beneficioso</li> </ul>
<b>FBR</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Período de inicio: 3 a 4 días</li> <li>• OLR: 20–40 g DQO / L / día</li> <li>• TRH: 0,25 a 4 h</li> <li>• Material de bioapoyo: esencial</li> <li>• Reciclaje de efluentes: obligatorio</li> <li>• Separación de sólidos gaseosos: beneficioso</li> </ul>
<b>UASB</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Período de inicio: 4 a 16 días</li> <li>• OLR: 25–50 DQO / L / día</li> <li>• TRH: 2-6 h</li> <li>• Material de bioapoyo: no esencial</li> <li>• Reciclaje de efluentes: No se requiere</li> <li>• Separación de sólidos gaseosos: esencial</li> </ul>
<b>ABR</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Período de inicio: 4 a 16 días</li> <li>• OLR: 10–30 g DQO / L / día</li> <li>• TRH: 6 a 8 h</li> <li>• Material de bioapoyo: no esencial</li> <li>• Reciclaje de efluentes: No se requiere</li> <li>• Separación de sólidos gaseosos: esencial</li> </ul>
<b>MBR</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Período de inicio: 3 a 4 días</li> <li>• Separación de sólidos gaseosos: beneficioso</li> <li>• Reciclaje de efluentes: No se requiere</li> <li>• Material de bioapoyo: No es necesario</li> <li>• OLR: 4–22 g DQO / L / día</li> <li>• TRH: 1-9 h</li> </ul>
<b>EGSB</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Período de inicio: 4 a 16 días</li> <li>• Separación de sólidos gaseosos: Requerido</li> <li>• Reciclaje de efluentes: obligatorio</li> <li>• Material de bioapoyo: no esencial</li> <li>• OLR: 20–50 g DQO / L / día</li> <li>• TRH: 4 a 10 h</li> </ul>

*Fuente: Sinharoy Arindam et al., 2020*

De acuerdo con la tabla N°1 se describe ABR, reactor anaeróbico con deflectores; CSTR, reactor de tanque agitado continuo; EGSB, lecho de lodo granular expandido; FBR, reactor de lecho fluidizado; MBR, biorreactor de membrana; PBR, biorreactor de lecho empacado; UASB, reactor de manto de lodos anaeróbicos de flujo ascendente.

Los procesos anaeróbicos también producen lodos muy granulares y fáciles de manipular; hasta ahora, todos estos reactores, y sus híbridos, se han utilizado en el tratamiento de varios tipos de aguas residuales biodegradables con considerable éxito, pero la tecnología UASB ha sido, con mucho, la más popular (Chang Y. y Wang

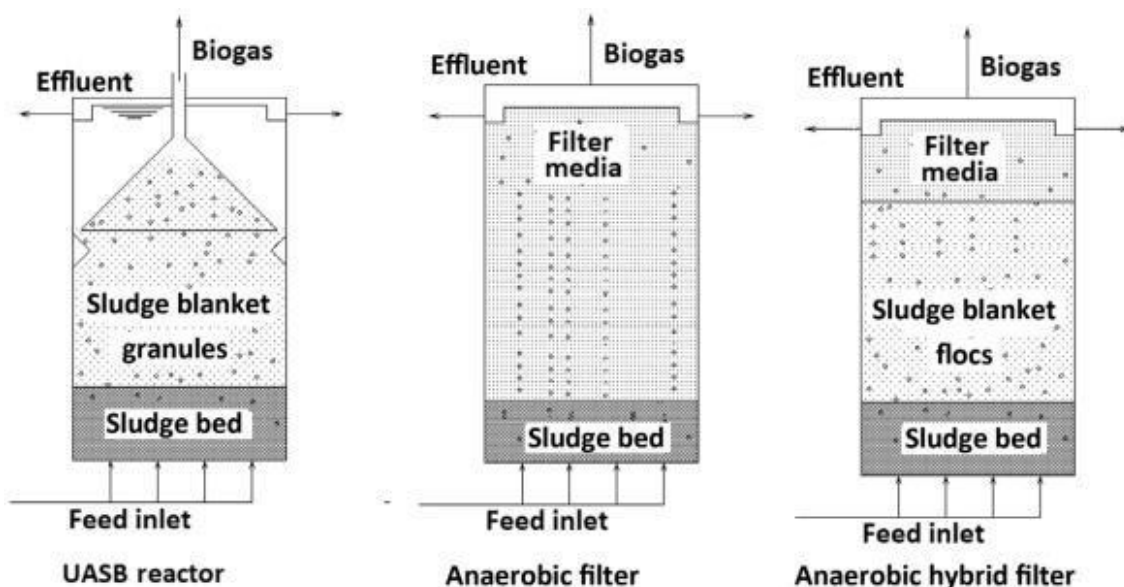
N., 2017, p.11). Más de 3000 sistemas a gran escala basados en esta tecnología están funcionando en todo el mundo y muchos más se encuentran en diferentes etapas de planificación y puesta en marcha (Brini Riadh et al., 2017, p.4).

La compacidad de los reactores UASB, su bajo costo operativo y la baja producción de lodos hacen que la tecnología UASB sea muy atractiva, además, también se generan cantidades sustanciales de energía 'limpia' en los reactores UASB en forma de metano (Mboowa Drake et al., 2017, p.5).

Un reactor UASB consta de una zona de fermentación con una capa de lodo granular suspendido y un compartimento de sedimentación superior, que realiza la separación de gas / líquido / sólido, como se ve en la Figura N°1 (Khan Syed et al., 2016, p.2). Esta configuración estimula la selección y el crecimiento de un consorcio biológico, altamente activo, en forma de aglomerados granulares (gránulos biológicos) de aproximadamente 3-4 mm de diámetro y una alta tasa de sedimentación (Di Berardino S., 2019, p.112).

Los gránulos producen gas y flotan con el efluente hasta el separador de gas / líquido / sólido, donde el gas se deposita y regresa al compartimiento inferior creando una capa de lodo. (Ver Figura N°1).

*Figura N°1: Vista transversal esquemática de un UASB, AF y AHF*



*Fuente: Di Berardino S., 2019*

Además, el mecanismo de granulación es la clave del éxito del digestor UASB, que permite el crecimiento de altas concentraciones de gránulos en el sistema y logra una eficiencia de remoción del 70% al 90%, incluso al recibir cargas orgánicas superiores a 15 horas de TRH. El biogás está compuesto de un 75% a un 85% de metano (Hiwot Tsegay, 2016, p.60).

El lodo del fondo tiene una concentración de aproximadamente 40 a 70 kg DQO / m<sup>3</sup> de reactor por día, a las 4 g de sólidos suspendidos volátiles (VSS) / l (Ding Lai chet et al., 2017, p.2).

Así mismo, las pilas de combustible microbianas (MFC) han surgido como una tecnología prometedora que puede superar estos problemas globales; utilizan bacterias para convertir la energía química de un sustrato particular contenido en las aguas residuales en energía eléctrica (Angeline Appadurai A. et al., 2017, p.4). Esto se logra cuando las bacterias transfieren electrones a un electrodo en lugar de hacerlo directamente a un aceptor de electrones (Nisar Jan et al., 2017, p.1).

Su viabilidad técnica ha sido probada recientemente y existe un gran entusiasmo en la comunidad científica de que los MFC podrían proporcionar una fuente de “electricidad verde” al explotar los desechos domésticos e industriales para generar energía (Hiwot Tsegay, 2017, p.312). Al usar materia orgánica en las aguas residuales como combustible, los contaminantes se eliminan del agua mientras se genera electricidad (Ali Ghaffar et al., 2016, p.1).

Los microbios microbianos de las pilas de combustible oxidan la materia orgánica en condiciones anaeróbicas en el compartimento anódico y transfieren los electrones resultantes directamente a un cátodo, donde los protones y electrones producidos en el ánodo podrían combinarse con oxígeno para formar agua (Uddin Waqar et al., 2016, p.5). La corriente puede producirse a partir de un sustrato simple (por ejemplo, acetato, lactato o glucosa), pero lo realmente innovador fue el hallazgo de que la corriente también se puede generar a partir de sustratos complejos como las aguas residuales domésticas e industriales; al utilizar materia orgánica en las aguas residuales como combustible (Fernández F. et al., 2016, p.2).

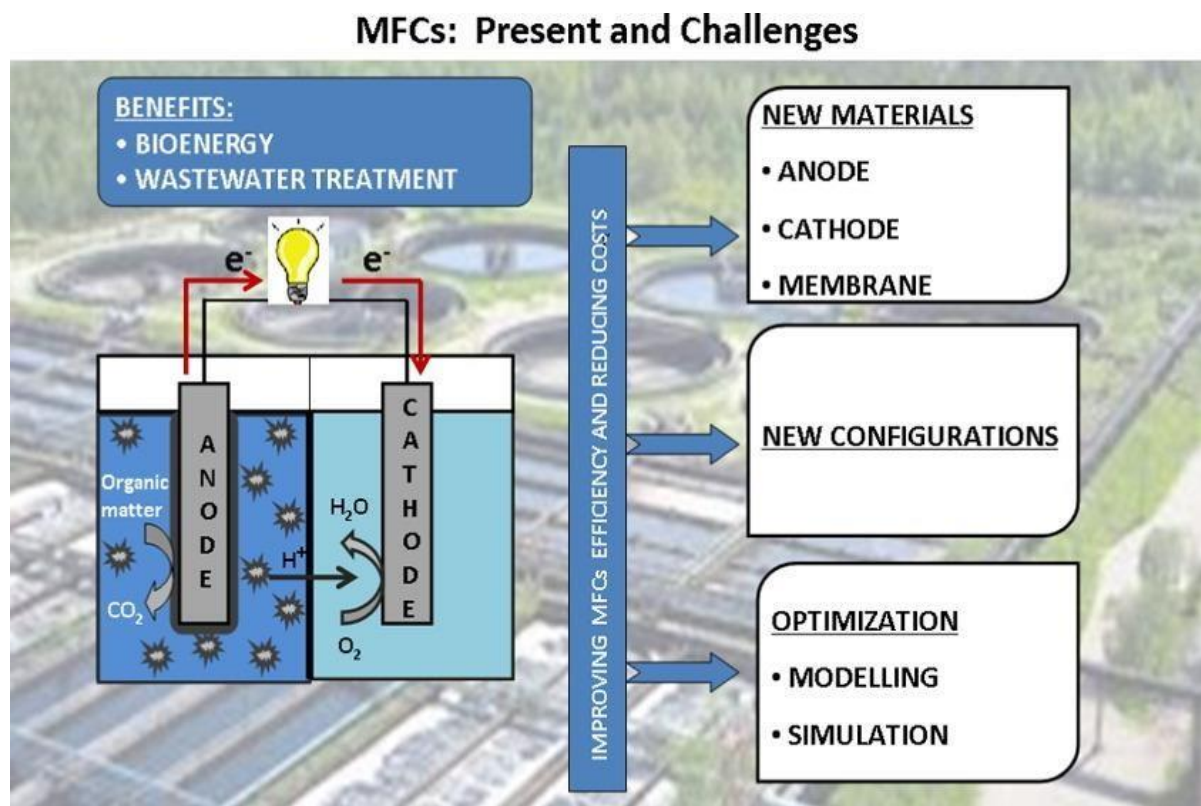
Además, el uso de membranas basadas en líquidos iónicos podría abrir este campo de mejora en los MFC; los líquidos iónicos podrían reducir el costo de las costosas membranas de intercambio de protones y mejorar la eficiencia de los MFC y los



líquidos iónicos (IL) son sales orgánicas que quedan como líquidos cerca de la temperatura ambiente (Sivagurunathan P. et al., 2017, p.211).

Consisten en un catión orgánico como imidazolio, piridinio, pirrolidinio, fosfonio, amonio y un anión inorgánico poliatómico o anión orgánico como tetrafluoroborato, hexafluorofosfato, cloruro, trifluorometilsulfonato, bis [(trifluorometil) sulfonil] imida) (Carrillo Reyes J. et al., 2016, p.97).

Figura N° 2: Modelo de las pilas de combustible microbianas (MFC)



Fuente: Hernández F. et al., 2016

Estructuralmente, una celda de combustible microbiana consta de dos cámaras conocidas como cámara de ánodo y cátodo (electrodos) separadas por una membrana de intercambio de protones (Sittijunda S. y Reungsang A., 2017, p.315). El lado del ánodo contiene los microorganismos activos electroquímicos mientras que el cátodo es abiótico. Los microbios (bacterias) actúan como biocatalizador que motiva la degradación de los materiales orgánicos para producir electrones que viajan hacia el lado del cátodo a través del circuito eléctrico (Kumar G. et al., 2017, p.217).

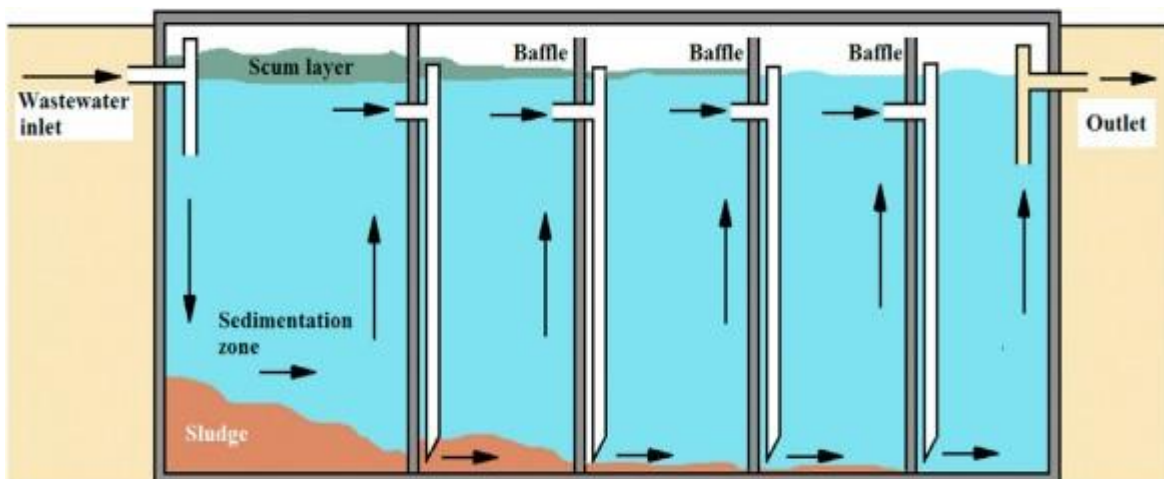
Estas bacterias se denominan “exoelectrógenos” (Exo- para exocelulares y “electrógenos” basados en la capacidad de transferir electrones directamente a una sustancia química o material que no es aceptor inmediato de electrones) (Lay Chyi

How et al., 2016, p.1). Los electrones atraviesan el circuito externo y llegan al cátodo, y los iones de hidrógeno se mueven hacia el cátodo y reaccionan con el oxígeno para formar agua en el circuito interno. Esto, por lo tanto, demuestra que los MFC son un candidato potencial a la "electricidad" verde (Boodhun B. et al., 2017, p.2).

Adicionalmente, el hidrógeno (H<sub>2</sub>) está reconocido como una energía limpia, renovable y respetuosa con el medio ambiente, con un rendimiento energético de combustión superior al de los hidrocarburos (Pal P., 2017, p.14). Además, evita por completo la emisión de contaminantes atmosféricos, como NO<sub>x</sub>, SO<sub>xy</sub> gases de efecto invernadero (Sivagurunathan P et al., 2016, p.11). Los procesos convencionales de producción de hidrógeno a partir de fósiles y agua implican un enorme consumo de energía y emisiones de gases de efecto invernadero (Li S. y Yang X., 2016, p.617).

Por tal motivo, los reactores anaeróbicos con deflectores (ABR) se dispone una serie de deflectores verticales que contienen una gran masa microbiana activa para forzar a las aguas residuales a fluir por debajo y por encima (o a través) de los deflectores que cubren toda la superficie de los deflectores, lo que permite el contacto entre las aguas residuales afluentes y la biomasa (Juliana F. y Róbson L., 2021, p. 2011). En la Figura N°3 se muestra el esquema de un ABR.

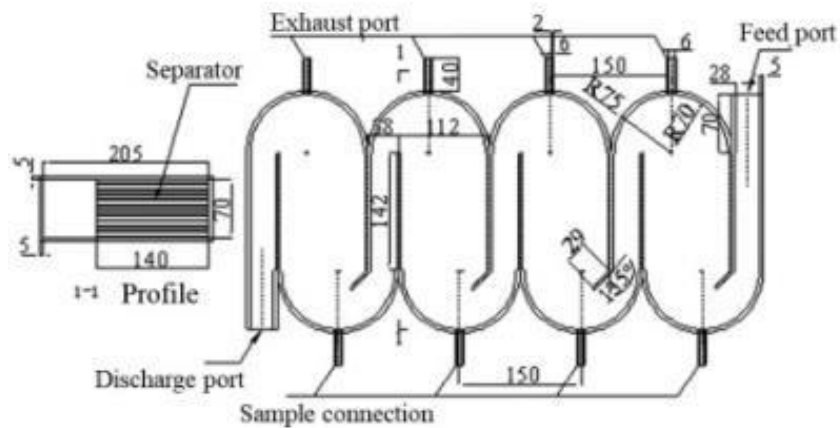
*Figura N°3: Tratamiento mediante reactor anaeróbico con deflectores*



*Fuente: Pal P., 2017*

Así también en la figura N°4 se muestra la estructura detalla el diagrama esquemático de un diseño de reactor anaeróbico con deflectores con un volumen total de 10 L.

*Figura N°4: Diagrama esquemático de un diseño de reactor anaeróbico con deflectores*



Fuent: Zhao Y. y Zhou T., 2021

Proporciona numerosas ventajas sobre otros reactores anaeróbicos más convencionales, incluida su alta resiliencia a las cargas de choque, el tiempo de retención de biomasa prolongado, la baja producción de lodos, etc. (Kumari S. y Das D., 2017, p.4). Este reactor producto de bio hidrógeno también es capaz de separar parcialmente diferentes fases del catabolismo anaeróbico, lo que brinda una buena protección a las poblaciones microbianas dentro del reactor frente a compuestos recalcitrantes y cambios repentinos en parámetros operacionales como pH y temperatura (Pal P., 2017, p.74).

La configuración del biorreactor es uno de los parámetros clave que afectan el rendimiento y la productividad volumétrica del biohidrógeno (Chelliapan S. et al., 2020, p.178). Además, el tiempo de puesta en marcha y el estado estable de rendimiento de un sistema pueden variar según el diseño del reactor, lo que afecta su rendimiento general a gran escala (Keskin T. et al., 2019, p.321).

En la tabla n°2, se detalla 15 antecedentes acerca de la aplicación de reactores anaeróbicos como dispositivos ecológicos.

Tabla N°2: Tabla del resumen de antecedentes de los tipos de reactores

Tipo de reactor	Objetivo	Resultado	Autor
Estanque anaeróbico	Presentar el sistema de estanques anaeróbicos de diseño novedoso en un matadero australiano en relación con el rendimiento del estanque y la producción potencial de biogás.	Los resultados del modelo de biogás sugieren una variación significativa en el beneficio económico de la energía de biogás, con la cantidad de biogás potencialmente variando diez veces (de 328 m <sup>3</sup> / da 3284 m <sup>3</sup> / d) dependiendo de los factores del sitio, como la eficiencia del estanque, la configuración del estanque y las prácticas operativas.	McCabe Bernadette K. et al., 2015
Digestor anaeróbico	Optimizar y evaluar el potencial de producción de bioenergía y la eficiencia de eliminación de DQO de un digestor anaeróbico semicontinuo de las aguas residuales de los mataderos	Las eficiencias de remoción de DQO y el rendimiento de metano en el digestor a escala piloto estuvieron en el rango de 43.39 a 84.54% y 0.09 ± 0.03 a 0.22 ± 0.02 m <sup>3</sup> / kg DQO removido, respectivamente, con la producción volumétrica máxima de metano (0.93 ± 0.17m <sup>3</sup> / día) se logró en el OLR de 1,16 kg m <sup>-3</sup> d <sup>-1</sup> correspondiente a un rendimiento óptimo de metano de 0,20 m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> por kg de DQO eliminado.	Worku Z. y Leta S., 2017
Digestor anaeróbico	La recuperación de energía y nutrientes de la torta de lodo (S) de las aguas residuales del sacrificio de aves de corral	El mayor rendimiento de metano (0,5032 m <sup>3</sup> kg VS <sup>-1</sup> ± 0,01) se obtuvo en el tratamiento S80P20 (68,2% CH <sub>4</sub> ± 0,14), lo que indica que la codigestión de la torta de lodo y la batata en esta proporción ha proporcionado un entorno óptimo para la actividad de los microorganismos debido al contenido equilibrado de nutrientes, la concentración de N total y P.	Damaceno Felipe M. et al., 2019
Digestor anaeróbico	Examinar la viabilidad de recuperar coagulante férrico de lodos de tratamiento de agua potable (DWTS) para la síntesis verde de nanopartículas de hierro (NP).	El mayor rendimiento de biogás se obtuvo a partir de 9 mg L <sup>-1</sup> de aditivo, lo que corresponde a una mejora de hasta el 37,6% sobre el reactor de control. Además, los NP de hierro mejoraron la eficiencia de reducción de DQO al 42%.	Yazdani Mohammad et al., 2019
Digestor anaeróbico	Investigar los potenciales de producción de biogás a	Los resultados mostraron que la digestión anaeróbica óptima	Latifi P. et al., 2019

	partir de residuos de mataderos de aves de corral (desechos y lodos) en un proceso de codigestión anaeróbica por lotes.	de los desechos del matadero en un digestor de 20 litros podría conducir a una eliminación del 63% de VS y una reducción del 88% de la demanda química de oxígeno (DQO) durante un período de retención de 42 días.	
Proceso de biogás utilizando digestores (CSTR)	Controlar la digestión anaeróbica de las aguas residuales del matadero con la adición de oligoelementos para determinar la cantidad, la calidad y la estabilidad del proceso de biogás utilizando digestores CSTR operados a temperatura mesófila.	La adición de estos oligoelementos resultó en una mayor eficiencia de degradación, una mayor producción de biogás y una mejor estabilidad del proceso.	Schmidt Thomas et al., 2018
Proceso de biogás utilizando digestores (CSTR)	La dinámica de la comunidad microbiana durante la codigestión anaeróbica de estiércol de cerdo, desechos de mataderos pasteurizados y glicerina se estudiaron en un CSTR a escala de laboratorio.	La biodiversidad de las arqueas se restringió a unos pocos representantes de los géneros <i>Methanosaeta</i> y <i>Methanosarcina</i> , pero <i>Methanospirillum</i> sp. se detectó solo cuando se introdujo glicerina en la alimentación.	Rodríguez Abalde S. et al., 2019
Secuenciación de reactores discontinuos a tasas de carga orgánica (OLR) (An.SBR)	Se investigó la digestión anaeróbica de desechos sólidos de mataderos (SSW) y aguas residuales (SWW) con diferentes proporciones de mezcla (M 1 : 25% SSW / 75% SWW, M 2 : 50% SSW / 50% SWW y M 3 : 75% SSW / 25% SWW) en secuenciación de reactores discontinuos a tasas de carga orgánica (OLR) de 0,8, 1,6 y 3,2 kg VS m <sup>-3</sup> d <sup>-1</sup> .	Los resultados mostraron que el pretratamiento biológico (SSF), con bacterias <i>Bacillus</i> y <i>Lactobacillus</i> , integrado al proceso de digestión anaeróbica, es una estrategia atractiva para mejorar la bioconversión de la fracción orgánica de los desechos del matadero en metano.	Handous Nesrine et al., 2019
Filtro anaeróbico de flujo ascendente (UAF)	Se investigó el rendimiento de un filtro anaeróbico de flujo ascendente (UAF) para tratar agua de suero sanguíneo bovino en condiciones mesófilas.	El reactor se cargó hasta una tasa de carga orgánica de 2,5 kg m <sup>-3</sup> d <sup>-1</sup> de DQO total, logrando eficiencias de eliminación de DQO total y soluble de 90% y 92%, respectivamente. Un biogás máximo Se midió un rendimiento de 0,56 m <sup>3</sup> kg <sup>-1</sup> de DQO total eliminado.	Langone Michela et al., 2019
Reactor de digestión	Evaluar tres sistemas de DA de dos etapas a escala piloto de 197 L,	Los resultados muestran que el sistema con bioportadores tuvo un rendimiento de metano de	Wang Shunli et al., 2018

	con o sin bioportadores de bambú, que tratan los desechos de sangre de aves de corral a dos tasas de carga orgánica (OLR) (baja = 0,4 y alta = 0,7 g DQO L <sup>-1</sup> día <sup>-1</sup> ) en condiciones mesófilas (26 ± 2 ° C) durante 260 días.	192 mL g <sup>-1</sup> DQO agregado y remoción de DQO del 32.4% en el OLR alto, y rendimiento de metano de 384 mL g <sup>-1</sup> DQO agregado y remoción de DQO del 68.5% en el OLR bajo, que fueron significativamente más altos que los del sistema sin bioportadores (usados como control).	
Dos etapas anaeróbicas (Reactor híbrido UASB)	Se evaluó el rendimiento del tratamiento de las aguas residuales de los mataderos en un reactor de manto de lodo anaeróbico de flujo ascendente híbrido (HUASBR) que consta de un medio de polipropileno como superficie de crecimiento adherida.	El UASBR mejoró la eficiencia de eliminación de TOC en las aguas residuales de los mataderos hasta un máximo del 95,85% con una tasa de carga de TOC de 6,97 kg TOC / m <sup>3</sup> / d durante 10 h HRT. Se observó que la eficiencia de eliminación de TSS estuvo en el rango de (72-98)% durante todo el estudio.	Loganath R. y Mazumder D., 2018
Digestor anaeróbico de dos etapas	Medir el impacto de la eliminación de nitrógeno amoniacal total (TAN)	Los resultados de precipitación de estruvita (SP) mostraron que 6 de 9 combinaciones de reactivos dieron como resultado una eliminación de TAN superior al 70%. Los resultados de BMP indicaron que el tratamiento con SP al agregar Mg (OH) <sub>2</sub> y H <sub>3</sub> LaPO <sub>4</sub> resultó en una recuperación de nitrógeno del 57,6% y un aumento del 41,7% en el rendimiento de metano en relación con el sustrato sin SP.	Wang Shunli et al., 2016
UASB	Evaluar la viabilidad de los desechos de aves de corral para la generación de energía	La utilización de desechos de aves de corral para la generación de energía es factible y ambientalmente benigna.	Arshad Muhammad et al., 2018
Celda de combustible cátodo-microbiana	Explora el desempeño catalítico y eléctrico de una celda de combustible microbiana (MFC) implementada con aguas residuales de alta demanda química de oxígeno (DQO)	Se obtuvieron salidas de 72% en conversión de DQO, voltaje de 200 mV y densidad de potencia de 32 mW m <sup>-3</sup> , lo que demuestra que las aguas residuales de los mataderos son una buena materia prima para la ampliación de esta tecnología.	Mateo Ramírez F. et al., 2017

*Elaboración propia*

### **III. METODOLOGÍA**

#### **3.1. Tipo y diseño de investigación**

La presente investigación es cualitativa, ya que, de acuerdo con Ceroni Galloso M., (2010, p.4), la investigación cualitativa es considerada un proceso interactivo en el que las personas estudiadas enseñan al investigador sobre sus vidas.

El tipo de investigación es aplicada, donde este tipo es usado para aplicar los conocimientos adquiridos mediante la recolección de información y análisis, conocimientos que serán compartidos mediante la aplicación hacia un problema en específico (Veland Siri, et al., 2018, p.14). Este tipo de investigación fue considerado para este trabajo debido a que se busca resolver la problemática de los aspectos más relevantes de los reactores anaeróbicos como dispositivos ecológicos para la generación de bioenergía a partir de residuos de granja, para lo cual se llenará de información con los estudios ya existentes que se encuentren actualizados para analizarlos y resolver la problemática planteada.

descrita por Esteban, (2018, p. 3), como el enfoque de las vivencias o experiencias obtenidas de los autores, los cuales serán mostrados mediante un enfoque narrativo; y es de tópicos porque se va a centrar en un espacio o entorno en específico (Salgado A., 2007, p.73). Es así que se usa la narrativa, ya que, se va explorar literaturas para un objetivo de investigación relativamente precisa, siendo en este estudio el análisis de los aspectos más relevantes de los reactores anaeróbicos como dispositivos ecológicos para la generación de bioenergía a partir de residuos de granja, adicionando artículos que generen adquirir conocimientos cualitativos.

#### **3.2. Categoría, subcategoría y matriz de categorización**

Las categorías y sub categorías se encuentran plasmadas para profundizar en los objetivos y problemas específicos, tal como se muestra en la tabla N°2

Tabla N° 3: Matriz de categorización apriorística

<b>PROBLEMAS ESPECÍFICOS</b>	<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b>	<b>CATEGORÍAS</b>	<b>SUB CATEGORÍAS</b>	<b>UNIDAD DE ANALISIS</b>
¿Cuáles son los reactores anaeróbicos más empleados para la generación de bioenergía a partir de aguas residuales de granja?	Determinar los reactores anaeróbicos más empleados para la generación de bioenergía a partir de aguas residuales de granja.	Reactores anaeróbicos más empleados para la generación de bioenergía	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Estanque anaeróbico</li> <li>➤ Reactor anaeróbico</li> <li>➤ Digestor anaeróbico</li> <li>➤ Filtro anaeróbico</li> </ul>	(Kumar G. et al., 2017, p.217). (Di Berardino S., 2019, p.112).
¿Cuál es el rendimiento de los reactores anaeróbicos para la generación de bioenergía a partir de aguas residuales de granja?	Definir el rendimiento de los reactores anaeróbicos para la generación de bioenergía a partir de aguas residuales de granja.	Rendimiento de los reactores anaeróbicos para la generación de bioenergía	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Tipo de reactor</li> <li>➤ Modo de aplicación</li> <li>➤ Contenido de metano en biogás (%)</li> </ul>	(Chang Y. y Wang N., 2017, p.11). (Lay Chyi How et al., 2016, p.1).
¿Cuáles son los factores que afectan a los reactores anaeróbicos que tratan las aguas residuales para la generación de bioenergía?	Identificar los factores que afectan a los reactores anaeróbicos que tratan las aguas residuales para la generación de bioenergía.	Factores que afectan a los reactores anaeróbicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Inhibición de amoníaco y nitrógeno</li> <li>➤ Ácidos grasos volátiles</li> <li>➤ Compuestos de azufre</li> <li>➤ Eliminación de lodos</li> </ul>	(Liu Ximei y Zeng Ming, 2017, p.1). (Patinvoh Regina J. et al., 2016, p.2).

Fuente: Elaboración propia



### **3.3. Escenario de estudio**

El escenario de estudio es un lugar donde se va a realizar el estudio práctico de la investigación, parte esencial que brindará los resultados; dicho ello, los escenarios del presente estudio se encuentran en las diversas literaturas científicas encontradas a nivel mundial y entre los diversos escenarios de estudio que se han encontrado están los lugares de campo y de estudio como laboratorio donde se encuentran instalados los reactores anaeróbicos para la generación de bioenergía.

### **3.4. Participantes**

Al ser esta una revisión sistemática considerará a los participantes como la fuente de información, ya que estos permitirán poder hacer uso de los estudios literarios científicos de diversos países; siendo únicamente considerados artículos científicos, los participantes usados en el presente trabajo son scielo, scopus y sciencedirect, los cuales son portales de búsquedas de libre acceso a bases de datos bibliográficos y revistas científicas indizadas.

### **3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

El tipo de técnica usada en este estudio será el análisis documental, y el instrumento de recolección la ficha de análisis.

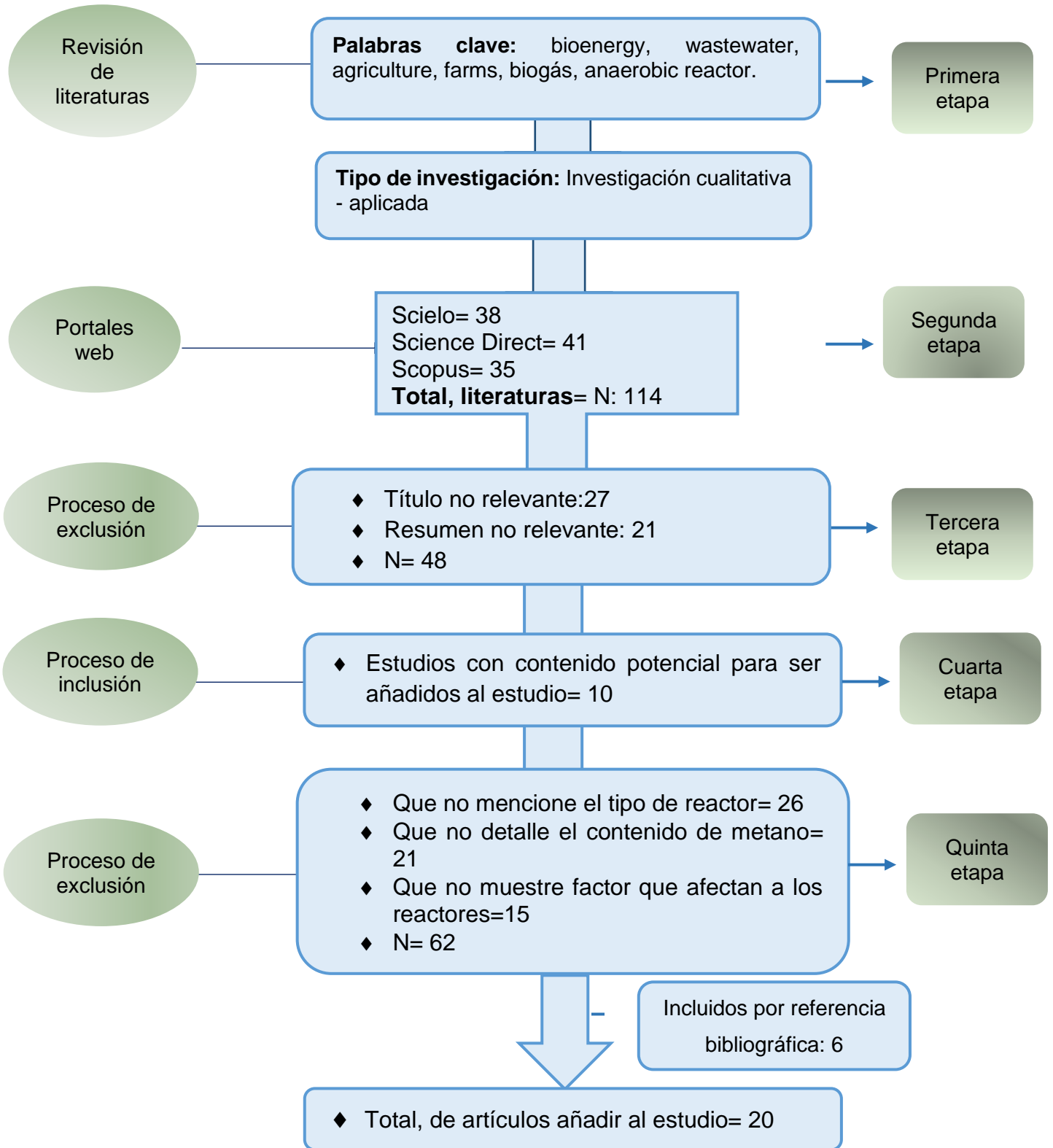
Este trabajo de investigación usará una técnica denominada análisis documental, así también el instrumento de recolección de datos será la ficha de análisis.

La técnica de análisis documental es descrita por Hernández et al., (2014, p. 415), como una forma de análisis donde el investigador estudiará y extraerá de manera objetiva la información hacia un documento, para que los lectores tengan un rápido acceso a lo que engloba el documento original, brindando información sintetizada. Esto se lleva a cabo usando la ficha de recolección la cual es en este trabajo el instrumento de recolección de datos.

En el anexo n°1, se visualiza la ficha propuesta donde se podrá tener una idea de la información que se detallará de cada estudio, generando una rápida lectura de lo que sería el documento inédito.

### **3.6. Procedimientos**

Gráfico N° 1: Procedimiento de selección de artículos



Elaboración propia

### **3.7. Rigor científico**

Este estudio con los criterios de dependencia, auditabilidad, transferencia y credibilidad; los cuales permiten que la investigación cumpla con el rigor científico.; de acuerdo con (Guba y Lincoln, 1989, pp. 241-243); se describe lo siguiente:

El criterio de dependencia se encuentra enfocado en la solidez de los datos, en que tan sólido y confiable es la información que se está brindando y esto se obtiene únicamente brindando la mayor cantidad de datos posibles. Este criterio es obtenido de diversas maneras a lo largo del estudio, una de ellas es ahondando en los sub categorías para profundizar en las categorías y dar mayores detalles a la hora de generar los resultados, para que estos no se encuentren débiles en sustento.

La credibilidad, es una aproximación a los resultados que presentaron investigadores que realizaron estudios prácticos, esto es, observar, indagar y analizar estudios que al ser comprendidos se aplican para la solución de un problema y estos dan como resultados respuestas similares a lo de otros autores y corroboran lo dicho por ello. Esto es obtenido mediante la discusión de resultados, donde se comprueba que los resultados generados son similares a lo que autores obtuvieron.

El criterio de transferibilidad, es la comprobación de que tan bien se puede acomodar un estudio en otro contexto. Este criterio se consigue dejando detallado la descripción de los autores, donde se llevó a cabo los estudios, entre otros datos y se puede afirmar que si se puede extender el presente estudio a otro contexto.

El criterio de auditabilidad se refiere al poder del investigador para seguir las pistas dejadas por el autor de un estudio y de esta manera continuar con la investigación aplicándolo a un nuevo estudio. Este criterio se consigue mediante la metodología usada, los cuales permiten que se indaguen datos y se puedan usar en este trabajo de investigación.

### **3.8. Método de análisis de información**

Para el método de análisis de la información se usó la matriz de categorización, en la cual se aplicaron 3 categorías:

- 1) Reactores anaeróbicos más empleados para la generación de bioenergía
- 2) Rendimiento de los reactores anaeróbicos para la generación de bioenergía
- 3) Factores que afectan a los reactores anaeróbicos

estos permiten describir los resultados generados por los objetivos y problemas específicos y las subcategorías que se describen son para profundizar en las subcategorías y brindan un mayor informe de los resultados. Las subcategorías establecidas son:

- ✚ Estanque anaeróbico
  - ✚ Reactor anaeróbico
  - ✚ Digestor anaeróbico
  - ✚ Filtro anaeróbico
- 
- ✚ Tipo de reactor
  - ✚ Modo de aplicación
  - ✚ Contenido de metano en biogás (%)
- 
- ✚ Inhibición de amoníaco y nitrógeno
  - ✚ Ácidos grasos volátiles
  - ✚ Compuestos de azufre
  - ✚ Eliminación de lodos

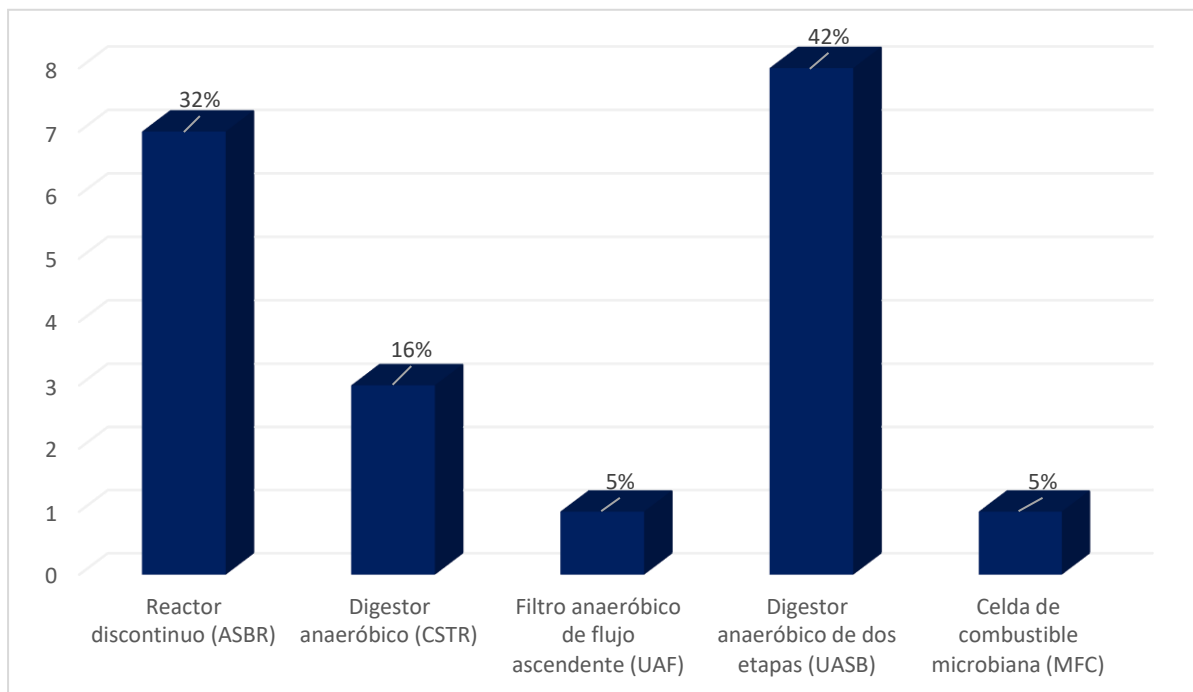
### **3.9. Aspectos éticos**

Los aspectos éticos con los que cumple este estudio son: autenticidad; siendo esto comprobado mediante el programa turnitin, por el cual pasó el presente estudio y se comprobó que es un estudio auténtico, así también se siguió con lo implantado por la universidad cesar vallejo (según resolución rectoral N° 0089-2019), además de la correcta cita de los estudios usados (según Norma ISO 690 y 690-2).

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La mejora de la actividad metabólica y la generación de bioenergía no oxidativa depende de la selección del diseño adecuado del biorreactor, es por ello, que se detalla en el gráfico 2 los reactores anaeróbicos más empleados para la generación de bioenergía.

*Gráfico N°2: Porcentaje de reactores anaeróbicos más empleados*



*Elaboración propia*

De acuerdo al 2, se tiene que los reactores anaeróbicos más empleados para la generación de bioenergía a partir de aguas residuales de granja son 5; siendo el digestor anaeróbico de dos etapas (UASB) es el más empleado con un 42% de veces aplicado, seguido del reactor discontinuo (ASBR) con un 32% y el digestor anaeróbico (CSTR) con un 16%.

Los autores que corroboran los resultados presentados son: Wang Shunli et al., 2018, Loganath R. y Mazumder D., 2018, Wang Shunli et al., 2016, Wang Shunli et al., 2018, Salehiyoun Ahmad R. et al., 2020, Del Nery V. et al., 2018, Montes Jesús A. et al., 2019, Sivaprakasam S. y Balaji K., 2021; siendo los que usaron el UASB para la generación de bioenergía.

Así también, Loganath R. y Mazumder D., 2018, p.3), manifiesta que el reactor de digestión anaeróbica más conocido y ampliamente utilizado es el reactor UASB;

debido que en el objetivo principal del funcionamiento de los reactores UASB es el tratamiento de aguas residuales de alta resistencia y la producción de bioenergía de este reactor es muy alta en comparación con los otros reactores AD.

Así mismo, Loganath R. y Mazumder D., (2018), indica que el UASB mejoró la eficiencia de eliminación de TOC en las aguas residuales de los mataderos hasta un máximo del 95,85% con una tasa de carga de TOC de 6,97 kg TOC / m<sup>3</sup> / d durante 10 h HRT y observó que la eficiencia de eliminación de TSS estuvo en el rango de (72-98) % durante todo el estudio, lo que lo convierte en un reactor efectivo para el uso de la generación de bioenergía.

Así también, los autores: Worku Z. y Leta S., 2017, Damaceno Felipe M. et al., 2019, Latifi P. et al., 2019, Handous Nesrine et al., 2019 y Jensen Paul D. et al., 2015, son quienes usaron el reactor discontinuo ASBR.

Thanh Pham Minh et al., 2016, manifiesta que el reactor ASBR debido a su operación secuencial, es un único reactor que ser utilizado como recipiente de reacción y también como tanque de decantación, para lograr la alta biomasa activa con un único HRT (Tiempo de retención hidráulica).

Pero Elreedy Ahmed et al., (2019, p.4), genera oposición a los resultados presentados, afirmando que el UASB es más eficiente que el reactor UASB, debido que al igual que el reactor UASB, el ASBR retiene la biomasa por la biofloculación seguida de la biogranulación y en comparación del UASB el ASBR consigue una alta recuperación de bioenergía con el estiércol animal y los biorresiduos con un contenido medio de sólidos totales.

Latifi P. et al., (2019), contrasta lo anteriormente dicho, demostrando en su estudio que los resultados mostraron que la digestión anaeróbica óptima de los desechos del matadero en un digestor de 20 litros podría conducir a una eliminación del 63% de VS y una reducción del 88% de la demanda química de oxígeno (DQO) durante un período de retención de 42 días.

Lo que es opuesto por Oktavritri Nuer et al., (2021, p.2), quien afirma que las celdas de combustible microbiana (MFC), tienen el potencial de ser aplicadas ampliamente en lugares que carecen de infraestructuras eléctricas y son ideales para ampliar la diversidad de combustibles que utilizamos para satisfacer nuestras necesidades

energéticas. Así también se encuentra Mateo Ramírez F. et al., (2017), quien afirma que, las MFC no necesitan aporte de energía para la aireación siempre que el cátodo se airea de forma pasiva, lo que lo hace diferente a los reactores anaeróbicos anteriormente mencionados.

Los rendimientos de los reactores anaeróbicos para la generación de bioenergía a partir de aguas residuales de granja se detallan en la tabla 4.

*Tabla N°4: Rendimiento de los reactores anaeróbicos para la generación de bioenergía*

<b>Tipo reactor</b>	<b>de</b>	<b>Modo de aplicación</b>	<b>de</b>	<b>Generación de metano</b>	<b>Contenido de metano biogás</b>	<b>de</b>	<b>Autor</b>
<b>Reactor anaeróbico con deflectores (ABR)</b>		Escala piloto		111 m <sup>3</sup> /d	52%		Mccabe Bernadette K. et al., 2015
<b>Reactor discontinuo (ASBR)</b>		Escala piloto		0.65 m <sup>3</sup> /d	70.15%		Worku Z. y Leta S., 2017
<b>Reactor discontinuo (ASBR)</b>		Escala laboratorio		0.50323 kg VS- 1	68.2		Damaceno Felipe M. et al., 2019
<b>Digestor anaeróbico (CSTR)</b>		Escala laboratorio		9 mg/L	75%		Yazdani Mohammad et al., 2019
<b>Biorreactor discontinuo (ASBR)</b>		Escala piloto		0,631m <sup>3</sup> /kg	71%		Latifi P. et al., 2019
<b>Proceso de biogás utilizando digestores (CSTR)</b>	<b>de</b>	Escala laboratorio		332 mlN g-DQO 1	75%		Schmidt Thomas et al., 2018
<b>Proceso de biogás utilizando digestores (CSTR)</b>	<b>de</b>	Escala laboratorio		0.38 m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /kgVS	71%		Rodríguez Abalde S. et al., 2019

<b>Secuenciación de reactores discontinuos a tasas de carga orgánica (ASBR)</b>	Escala laboratorio	0,38 m3 kg VS <sup>-1</sup> added	52%	Handous Nesrine et al., 2019
<b>Reactor discontinuo secuencial (ASBR)</b>	Escala piloto	250–300 L kg <sup>-1</sup> VS	75%	Jensen Paul D. et al., 2015
<b>Filtro anaeróbico de flujo ascendente (UAF)</b>	Escala laboratorio	0.56 m3 kg <sup>-1</sup>	NA	Langone Michela et al., 2019
<b>Digestor anaeróbico de dos etapas (UASB)</b>	Escala piloto	192 mL/g DQO añadido	68.5%	Wang Shunli et al., 2018
<b>Dos etapas anaeróbicas (Reactor híbrido UASB)</b>	Escala laboratorio	61.5 L/d	64%	Loganath R. y Mazumder D., 2018
<b>Reactor de digestor anaeróbico de dos etapas (UASB)</b>	Escala laboratorio	195 a 1246 mg/L	70%	Wang Shunli et al., 2016
<b>Reactor de digestión anaeróbico de dos etapas (UASB)</b>	No indica	22,7 kWh × 109	83%	Wang Shunli et al., 2018
<b>(UASB)</b>	Escala piloto	1,5 kgVS / m 3.día	60%	Salehiyoun Ahmad R. et al., 2020
<b>Celda de combustible microbiana (MFC)</b>	Escala laboratorio	No indica	72%	Mateo Ramírez F. et al., 2017
<b>Reactor discontinuo</b>	Escala piloto	No indica	93%	Aziz Hamidi A. et al., 2018

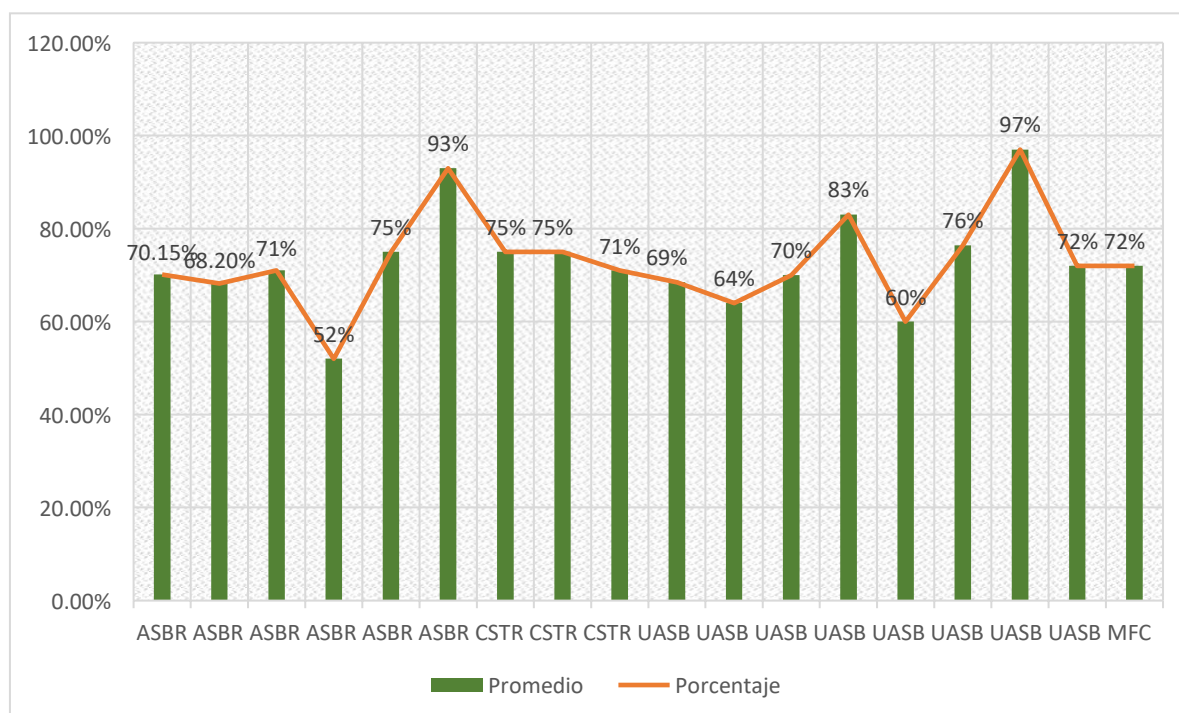


**secuencial  
(ASBR)**

<b>Reactor UASB</b>	Escala piloto	32.27 kgCOD. m <sup>-3</sup> .d <sup>-1</sup>	76,4%	Del Nery V. et al., 2018
<b>Reactor UASB</b>	No indica	8.4 m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> m <sup>-3</sup> d <sup>-1</sup>	97%	Montes Jesús A. et al., 2019
<b>Reactor UASB</b>	Escala piloto	2,33 kg DQO / m <sup>3</sup> . d	72%	Sivaprakasam S. y Balaji K., 2021

*Elaboración propia*

*Gráfico N°3: Promedio de rendimiento de los reactores en la generación de bioenergía*



*Elaboración propia*

De acuerdo a los resultados mostrados en el gráfico 3 respecto a la tabla 4 mediante una comparación de diversas literaturas a nivel mundial para definir el rendimiento de los reactores anaeróbicos para la generación de bioenergía a partir de aguas residuales de granja se tiene que, el rendimiento de los reactores anaeróbicos está en un promedio del 65% al 80%.

Además, Mateo Ramírez F. et al., (2017, p.2), demuestra que las aguas residuales de los mataderos son una buena materia prima para la ampliación de estas tecnologías y el tratamiento de aguas residuales de matadero de alta carga presentan buena depuración y eficiencia de rendimiento eléctrico.

Ello es corroborado por Worku Z. y Leta S., 2017, quien con un reactor ASBR a escala piloto presentó una generación de metano del 0.65m<sup>3</sup>/día lo que equivale a una generación de biogás del 70.15%.

Así también, Latifi P. et al., 2019 a escala piloto usando el mismo reactor presentó una generación de metano del 0,631m<sup>3</sup>/kg y un 75% de contenido de metano en biogás. Ello es también respaldado por Aziz Hamidi A. et al., 2018, con un porcentaje del 93%.

Por otro lado, Schmidt Thomas et al., (2018), en la tabla 2 afirma que la adición de oligoelementos resulta en una mayor eficiencia de degradación, una mayor producción de biogás y una mejor estabilidad del proceso.

Así mismo, Handous Nesrine et al., 2019, manifiesta en sus resultados que el pretratamiento biológico (SSF), con bacterias *Bacillus* y *Lactobacillus*, integrado al proceso de digestión anaeróbica, es una estrategia atractiva para mejorar la bioconversión de la fracción orgánica de los desechos del matadero en metano.

Arshad Muhammad et al., 2018, apoya los resultados presentando, que la utilización de desechos de aves de corral para la generación de energía es factible y ambientalmente benigna.

En un estudio realizado por Aziz Hamidi A. et al., (2018, p.11), cuatro reactores ASBR fueron operados con tres fibras diferentes, tales como la fibra de yute, la fibra de bio-fringe, y la fibra de poliéster conjugado siliconada y el cuarto reactor fue operado con un mezclador de las fibras antes mencionadas. La concentración final de DQO se obtuvo como 45 mg/L con respecto a esta eliminación se obtuvo como 93% el promedio que cumple con los límites de descarga de muchas normas y en el caso de cada fibra, se identificó la tasa de generación de biogás, lo que significa que el sistema se puede optimizar y también puede ser útil para el desarrollo de reactores a escala industrial.

Así mismo, respaldando los resultados mostrados en el gráfico 3, los autores que usaron el reactor ASBR demuestran que el promedio de generación de biogás usando aguas residuales de granja se encuentran en un promedio del del 65 al 70%; Worku Z. y Leta S., 2017, Damaceno Felipe M. et al., 2019, Latifi P. et al., 2019, Handous Nesrine et al., 2019, Jensen Paul D. et al., 2015, Aziz Hamidi A. et al., 2018.

Mientras que los autores que usaron UASB y CSTR presentan un promedio de rendimiento de los reactores anaeróbicos para la generación de bioenergía equivalentes al 75 y 80%. Ello es demostrado por Wang Shunli et al., 2018, Loganath R. y Mazumder D., 2018, Wang Shunli et al., 2016, Wang Shunli et al., 2018, Schmidt Thomas et al., 2018, Rodríguez Abalde S. et al., 2019.

Los residuos y las aguas residuales del matadero eran un buen candidato para el proceso de digestión anaeróbica debido a su elevado BMP (Potencial de metano bioquímico), pero hay muchos factores que afectan al tratamiento de los residuos y las aguas residuales del matadero que deben abordarse antes de iniciar la operación; debido a ello se busca identificar los factores que afectan a los reactores anaeróbicos que tratan las aguas residuales para la generación de bioenergía se encuentran descritas en la tabla N°5.

*Tabla N°5: Factores que afectan a los reactores anaeróbicos*

<b>Parámetros</b>	<b>Motivo de la causa</b>	<b>Impacto</b>	<b>Fuentes</b>
<b>Amoníaco y Nitrógeno</b>	Degradación de las proteínas	Liberación de amoníaco y tóxicos componentes	Handous Nesrine et al., 2019, Jensen Paul D. et al., 2015, Wang Shunli et al., 2016, Wang Shunli et al., 2018
<b>Sulfuro</b>	Tóxico para las bacterias anaerobias	Disminución del biogás Cantidad y Calidad Causa la corrosión en paredes y tuberías	Langone Michela et al., 2019, Wang Shunli et al., 2018, Yazdani Mohammad et al., 2019,
<b>Espuma</b>	Grasas, lípidos proteínas y AGV	Reducción en la producción de biogás	Mccabe Bernadette K. et al., 2015, Rodríguez Abalde S. et al., 2019
<b>Volátil Grasa Ácidos</b>	Principalmente lípidos y proteínas	Inhibición de todo el proceso de EA	Loganath R. y Mazumder D., 2018, Latifi P. et al., 2019,

<b>grasos volátiles</b>		proceso y reducir el pH	Schmidt Thomas et al., 2018
<b>Eliminación de estiércol</b>	Acumulación de alto contenido de amoníaco y AGV	Liberación del amoníaco y el óxido nitroso al medio ambiente, por lo que el mal olor genera problemas de la salud pública	Mateo Ramírez F. et al., 2017, Aziz Hamidi A. et al., 2018, Del Nery V. et al., 2018, Montes Jesús A. et al., 2019
<b>Esterilización</b>	Patógenos	Problemas frecuentes para la salud pública	Worku Z. y Leta S., 2017, Damaceno Felipe M. et al., 2019, Salehiyoun Ahmad R. et al., 2020, Sivaprakasam S. y Balaji K., 2021

*Elaboración propia*

Los factores críticos que afectan al proceso de AD (digestión anaeróbica) en el tratamiento de las aguas residuales son 6 parámetros; Amoníaco y Nitrógeno, Sulfuro, Espuma, Volátil Grasa Ácidos grasos volátiles, Eliminación de estiércol y Esterilización.

Entre los parámetros mencionados, uno de los que más afecta a los reactores anaeróbicos es el sulfuro de hidrógeno; este sustrato se disuelto en agua con una mayor solubilidad a razón de 4 g/L a 20 °C y esta actividad inhibe el proceso de AD incluso a una concentración muy baja, como 50 mg/L (Yan Li et al., 2018, p.7).

Así mismo, Langone Michela et al., (2019), menciona que el biogás no sólo produce sulfuro de hidrógeno, sino que también induce la conversión de sulfuro de hidrógeno en ácido sulfúrico durante el transporte del biogás y esta generación de ácido afecta a la tubería y al motor por la corrosión.

Esto debido a que el amonio es el principal inhibidor que se produce a partir de la degradación de las proteínas durante las etapas de hidrólisis y acidogénesis (Handous Nesrine et al., 2019). Adicionando a lo anteriormente dicho, Wang Shuli et al., (2016, p.2), señala que generalmente, en el proceso de AD el amoníaco se produce en dos formas, a saber, amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) y amoníaco libre ( $\text{NH}_3$  disuelto) y cuando la concentración de amoníaco supera los 3000 mg/L, se convierte en un inhibidor del crecimiento microbiano en el proceso de AD.

Otro factor que afecta a los reactores anaeróbicos es la generación de espumas; el mayor agente causante de la espuma, en comparación con los lípidos y junto con las diversas condiciones operativas críticas (pH, Temperatura y mezcla) (He Qin et al., 2017, p.6).

Además, debido a la formación de espuma en un promedio de 20-50% del biogás se pierde lo que resulta en los problemas de mantenimiento (atascado en las tuberías de recogida de gas y el derrame de espuma en los digestores) en los reactores de AD (Rodríguez Abalde S. et al., 2019).

## V. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados presentados para analizar los aspectos más relevantes de los reactores anaeróbicos como dispositivos ecológicos para la generación de bioenergía a partir de residuos de granja se puede concluir los siguientes puntos:

- 1) Los reactores anaeróbicos más empleados para la generación de bioenergía a partir de aguas residuales de granja son 5; siendo el digester anaeróbico de dos etapas (UASB) es el más empleado con un 42% de veces aplicado, seguido del reactor discontinuo (ASBR) con un 32% y el digester anaeróbico (CSTR) con un 16%; debido a que el reactor de digestión anaeróbica más conocido y ampliamente utilizado es el reactor UASB, puesto que, el objetivo principal del funcionamiento de los reactores UASB es el tratamiento de aguas residuales de alta resistencia y la producción de bioenergía de este reactor es muy alta en comparación con los otros reactores AD.
- 2) El rendimiento de los reactores anaeróbicos para la generación de bioenergía a partir de aguas residuales de granja se encuentra en un promedio del 65% al 80% del total, y los reactores más usados como el UASB y CSTR presentan un promedio de rendimiento de los reactores anaeróbicos para la generación de bioenergía equivalentes al 75 y 80%.
- 3) Los factores que afectan a los reactores anaeróbicos que tratan las aguas residuales para la generación de bioenergía son 6 parámetros; Amoníaco y Nitrógeno, Sulfuro, Espuma, Volátil Grasa Ácidos grasos volátiles, Eliminación de estiércol y Esterilización, siendo el sulfuro de hidrógeno uno de los que más afecta a los reactores anaeróbicos, ya que inhibe el proceso de AD incluso a una concentración muy baja, además la conversión de sulfuro de hidrógeno en ácido sulfúrico durante el transporte del biogás afecta a la tubería y al motor por la corrosión.

## **VI. RECOMENDACIONES**

En base a la revisión sistemática realizada se puede realizar las siguientes recomendaciones académicas.

- 1) Se recomienda inducir la descarga cero de desechos mediante la conversión de desechos orgánicos en bioenergía, ya que, la gestión de residuos es fundamental y, teniendo en cuenta su importancia de minimizar el problema y la amenaza de los residuos, se recomienda eficazmente la estrategia de conversión de residuos orgánicos.
- 2) Se recomienda realizar estudios prácticos comparativos de la forma en que se produce la bioenergía a través de procesos de conversión eficientes como el biogás, bioetanol, biocarbón.
- 3) Así mismo se recomienda realizar estudios demostrando la relación que presenta la producción de bioenergía a partir de residuos orgánicos y la mitigación de la generación de residuos y su vertido en la tierra

## REFERENCIAS

1. Abdeshahian, P., Lim, J. S., Ho, W. S., Hashim, H., & Lee, C. T. (2016). Potential of biogas production from farm animal waste in Malaysia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60, 714-723. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.01.117>
2. ALI, Ghaffar, et al. Utilization of rice husk and poultry wastes for renewable energy potential in Pakistan: An economic perspective. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2016, vol. 61, p. 25-29. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.03.014>
3. AMBUCHI, John J., et al. Response of anaerobic granular sludge to iron oxide nanoparticles and multi-wall carbon nanotubes during beet sugar industrial wastewater treatment. *Water research*, 2017, vol. 117, p. 87-94. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.03.050>
4. Ambreen, R., Hussain, S., & Sarfraz, S. (2019). Anaerobic biotechnology for industrial wastewater treatment. *International Journal of Economic and Environmental Geology*, 61-65. Disponible en: <https://doi.org/10.46660/ijeeg.Vol0.Iss0.0.29>
5. ANGELINE, Appadurai Anitha, et al. Power generation enhancement with hybrid thermoelectric generator using biomass waste heat energy. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 2017, vol. 85, p. 1-12. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2017.02.015>
6. Arshad, M., Bano, I., Khan, N., Shahzad, M. I., Younus, M., Abbas, M., & Iqbal, M. (2018). Electricity generation from biogas of poultry waste: An assessment of potential and feasibility in Pakistan. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, 1241-1246. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.09.007>
7. AZIZ, Hamidi Abdul, et al. Poultry slaughterhouse wastewater treatment using submerged fibers in an attached growth sequential batch reactor. *International journal of environmental research and public health*, 2018, vol. 15, no 8, p. 1734. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/ijerph15081734>



8. BARRERA, Ernesto L., et al. A comparative assessment of anaerobic digestion power plants as alternative to lagoons for vinasse treatment: life cycle assessment and exergy analysis. *Journal of Cleaner Production*, 2016, vol. 113, p. 459-471. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.11.095>
9. BOODHUN, Bibi Shahine Firdaus, et al. Research perspectives on constraints, prospects and opportunities in biohydrogen production. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2017, vol. 42, no 45, p. 27471-27481. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2017.04.077>
10. BILAL, Muhammad; IQBAL, Hafiz MN. Recent advancements in the life cycle analysis of lignocellulosic biomass. *Current Sustainable/Renewable Energy Reports*, 2020, p. 1-8. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s40518-020-00153-5>
11. BRINI, Riadh; AMARA, Mohamed; JEMMALI, Hatem. Renewable energy consumption, International trade, oil price and economic growth inter-linkages: The case of Tunisia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2017, vol. 76, p. 620-627. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.03.067>
12. Bustillo-Lecompte, C. F., Ghafoori, S., & Mehrvar, M. (2016). Photochemical degradation of an actual slaughterhouse wastewater by continuous UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> photoreactor with recycle. *Journal of environmental chemical engineering*, 4(1), 719-732. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2015.12.009>
13. CAO, Shenbin, et al. Nitrite production in a partial denitrifying upflow sludge bed (USB) reactor equipped with gas automatic circulation (GAC). *Water research*, 2016, vol. 90, p. 309-316. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2015.12.030>
14. CAO, Shenbin, et al. Corrigendum to " Nitrite production in a partial denitrifying upflow sludge bed (USB) reactor equipped with gas automatic circulation (GAC)"[*Water Res.* 90 (1)(2016) 309-316]. *Water research*, 2020, vol. 173, p. 115660. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.115660>
15. CARDOSO, João; SILVA, Valter; EUSÉBIO, Daniela. Techno-economic analysis of a biomass gasification power plant dealing with forestry residues blends for electricity production in Portugal. *Journal of cleaner production*,

2019, vol. 212, p. 741-753. Disponible en:  
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.054>

16. CARRILLO-REYES, Julián, et al. Cell wash-out enrichment increases the stability and performance of biohydrogen producing packed-bed reactors and the community transition along the operation time. *Renewable Energy*, 2016, vol. 97, p. 266-273. Disponible en:  
<https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.05.082>
17. CHANG, Yen-Chiang; WANG, Nannan. Legal system for the development of marine renewable energy in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2017, vol. 75, p. 192-196. Disponible en:  
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.10.063>
18. Chelliapan, S., Arumugam, N., Md. Din, M. F., Kamyab, H., & Ebrahimi, S. S. (2020). Anaerobic treatment of municipal solid waste landfill leachate. *Bioreactors*, 175–193. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-821264-6.00011-5>
19. Cunha, M. P., Ferraz, R. M., Sancinetti, G. P., & Rodriguez, R. P. (2019). Long-term performance of a UASB reactor treating acid mine drainage: effects of sulfate loading rate, hydraulic retention time, and COD/SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> ratio. *Biodegradation*, 30(1), 47-58. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10532-018-9863-8>
20. DAMACENO, Felipe Martins, et al. Anaerobic co-digestion of sludge cake from poultry slaughtering wastewater treatment and sweet potato: Energy and nutrient recovery. *Renewable Energy*, 2019, vol. 133, p. 489-499. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.10.070>
21. DEL NERY, Valéria, et al. Hydraulic and organic rates applied to pilot scale UASB reactor for sugar cane vinasse degradation and biogas generation. *Biomass and bioenergy*, 2018, vol. 119, p. 411-417. Disponible en:  
<https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2018.10.002>
22. DI BERARDINO, Santino Eugenio. Production of biogas/bioSNG from anaerobic pretreatment of milk-processing wastewater. *En Substitute Natural*

Gas from Waste. Academic Press, 2019. p. 397-424. Disponible en:

<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815554-7.00015-5>

23. DING, Lai Chet, et al. Thermoelectric power generation from waste heat of natural gas water heater. *Energy Procedia*, 2017, vol. 110, p. 32-37. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.101>
24. ELREEDY, Ahmed; FUJII, Manabu; TAWFIK, Ahmed. Psychrophilic hydrogen production from petrochemical wastewater via anaerobic sequencing batch reactor: techno-economic assessment and kinetic modelling. *international journal of hydrogen energy*, 2019, vol. 44, no 11, p. 5189-5202. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.09.091>
25. FENG, Shi-Jin, et al. CFD modeling of hydro-biochemical behavior of MSW subjected to leachate recirculation. *Environmental Science and Pollution Research*, 2018, vol. 25, no 6, p. 5631-5642. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0888-z>
26. Fernández, F. H., de los Rios, A. P., García, M. S., Blanco, L. L., Godinez, C., & Medina, J. Q. (2015). Recent progress and perspectives in microbial fuel cells for bioenergy. *Fuel Processing Technology*, 138, 284-297. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2015.05.022>
27. GERHARDTER, Hannes, et al. Modelling convective heat transfer to non-spherical particles. *Powder Technology*, 2019, vol. 343, p. 245-254. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2018.11.031>
28. Ghosh, S. K. (Ed.). (2019). *Sustainable Waste Management: Policies and Case Studies: 7th IconSWM--ISWMAW 2017, Volume 1*. Springer. Disponible en: ISBN: 978-981-13-7071-7
29. HARDMAN, Scott, et al. Consumer attitudes to fuel cell vehicles post trial in the United Kingdom. *international journal of hydrogen energy*, 2016, vol. 41, no 15, p. 6171-6179. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2016.02.067>
30. HANDOUS, Nesrine, et al. Two-stage anaerobic digestion of meat processing solid wastes: methane potential improvement with wastewater addition and

- solid substrate fermentation. *Waste and biomass valorization*, 2019, vol. 10, no 1, p. 131-142. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s12649-017-0055-2>
31. HASHEMI, Seyed Sajad; KARIMI, Keikhosro; KARIMI, Abdul Majid. Ethanol ammonia pretreatment for efficient biogas production from sugarcane bagasse. *Fuel*, 2019, vol. 248, p. 196-204. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.03.080>
  32. HE, Qin, et al. Investigation of foaming causes in three mesophilic food waste digesters: reactor performance and microbial analysis. *Scientific reports*, 2017, vol. 7, no 1, p. 1-10. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/s41598-017-14258-3>
  33. HIWOT, Tsegay. Determination of oil and biodiesel content, physicochemical properties of the oil extracted from avocado seed (*Persea Americana*) grown in Wonago and Dilla (gedeo zone), southern Ethiopia. *Chem. Int*, 2017, vol. 3, no 3, p. 311-319. Disponible en: ISSN: 2410-9649
  34. HIWOT, Tsegay. Determination of oil and biodiesel content, physicochemical properties of the oil extracted from avocado seed (*Persea americana*) grown in Wonago and Dilla (gedeo zone), southern Ethiopia. *World Scientific News*, 2016, vol. 58, p. 133-147.
  35. JENSEN, Paul D., et al. Analysis of the potential to recover energy and nutrient resources from cattle slaughterhouses in Australia by employing anaerobic digestion. *Applied Energy*, 2014, vol. 136, p. 23-31. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.09.009>
  36. Juliana Ferreira Soares Róbson Ilha. Chapter 10 - Applications of bioelectrochemical systems in wastewater treatment. *Bioremediation, Nutrients, and Other Valuable Product Recovery. Using Bioelectrochemical Systems*. 2021, Pages 205-229. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821729-0.00011-7>
  37. KANTOLA, I. B.; MASTERS, M. D.; DELUCIA, E. H. Soil particulate organic matter increases under perennial bioenergy crop agriculture. *Soil Biology and Biochemistry*, 2017, vol. 113, p. 184-191. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2017.05.023>

38. KENFACK, Joseph, et al. How can we promote renewable energy and energy efficiency in Central Africa? A Cameroon case study. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2017, vol. 75, p. 1217-1224. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.108>
39. Keskin, T., Nalakath Abubackar, H., Arslan, K., & Azbar, N. (2019). Biohydrogen Production From Solid Wastes. *Biohydrogen*, 321–346. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/b978-0-444-64203-5.00012-5>
40. KHAN, Syed Abdul Rehman; ZAMAN, Khalid; ZHANG, Yu. The relationship between energy-resource depletion, climate change, health resources and the environmental Kuznets curve: Evidence from the panel of selected developed countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2016, vol. 62, p. 468-477. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.04.061>
41. KOTCHAROEN, Wilasinee, et al. Effect of salinities on nitrogen removal performance of DHS-USB system and growth of *Epinephelus bruneus* in closed recirculating aquaculture system. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 2021, vol. 164, p. 105299. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2021.105299>
42. KUMAR, Gopalakrishnan, et al. Microbial responses to various process disturbances in a continuous hydrogen reactor fed with galactose. *Journal of bioscience and bioengineering*, 2017, vol. 123, no 2, p. 216-222. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jbiosc.2016.08.006>
43. KUMARI, Sinu; DAS, Debabrata. Improvement of biohydrogen production using acidogenic culture. *International journal of hydrogen energy*, 2017, vol. 42, no 7, p. 4083-4094. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2016.09.021>
44. LANGONE, Michela, et al. Anaerobic digestion of blood serum water integrated in a valorization process of the bovine blood treatment. *Biomass and Bioenergy*, 2019, vol. 120, p. 1-8. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2018.10.015>
45. LATIFI, Pooria; KARRABI, Mohsen; DANESH, Shahnaz. Anaerobic co-digestion of poultry slaughterhouse wastes with sewage sludge in batch-mode

- bioreactors (effect of inoculum-substrate ratio and total solids). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2019, vol. 107, p. 288-296. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.03.015>
46. LAY, Chyi-How, et al. Biohydrogen production in an anaerobic baffled stacking reactor: Recirculation strategy and substrate concentration effects. *Biochemical Engineering Journal*, 2016, vol. 109, p. 59-64. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.bej.2016.01.001>
47. Li, S., & Yang, X. (2016). Biofuel production from food wastes. *Handbook of Biofuels Production*, 617–653. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-100455-5.00020-5>
48. LIU, Ximei; ZENG, Ming. Renewable energy investment risk evaluation model based on system dynamics. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2017, vol. 73, p. 782-788. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.02.019>
49. LOGANATH, Radhakrishnan; MAZUMDER, Debabrata. Performance study on enlarged-clarifier hybrid upflow anaerobic sludge blanket reactor for treating the slaughterhouse wastewater. *Water and Environment Journal*, 2020, vol. 34, p. 516-528. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/wej.12555>
50. LOGANATH, R.; MAZUMDER, Debabrata. Determination of kinetic coefficients of anaerobic treatment of slaughterhouse wastewater. *Journal of the Indian Chemical Society*, 2018, vol. 95, no 4, p. 467-473.
51. LOGANATH, R.; MAZUMDER, Debabrata. Performance study on organic carbon, total nitrogen, suspended solids removal and biogas production in hybrid UASB reactor treating real slaughterhouse wastewater. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2018, vol. 6, no 2, p. 3474-3484. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2018.05.031>
52. LUO, Shuman; WENG, Yang. A two-stage supervised learning approach for electricity price forecasting by leveraging different data sources. *Applied energy*, 2019, vol. 242, p. 1497-1512. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.03.129>

53. Mahmoodi-Eshkaftaki, M., & Ebrahimi, R. (2019). Assess a new strategy and develop a new mixer to improve anaerobic microbial activities and clean biogas production. *Journal of Cleaner Production*, 206, 797-807. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.09.024>
54. Mateo-Ramírez, F., Addi, H., Hernández-Fernández, F. J., Godínez, C., Perez de los Rios, A., Lotfi, E. M., ... & Lozano Blanco, L. J. (2017). Air breathing cathode-microbial fuel cell with separator based on ionic liquid applied to slaughterhouse wastewater treatment and bio-energy production. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 92(3), 642-648. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/jctb.5045>
55. MATEO-RAMÍREZ, Francisco, et al. Air breathing cathode-microbial fuel cell with separator based on ionic liquid applied to slaughterhouse wastewater treatment and bio-energy production. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 2017, vol. 92, no 3, p. 642-648. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/jctb.5045>
56. MBOOWA, Drake, et al. Qualitative determination of energy potential and methane generation from municipal solid waste (MSW) in Dhanbad (India). *Energy*, 2017, vol. 123, p. 386-391. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.02.009>
57. MONTES, Jesús A., et al. Biogas production from the liquid waste of distilled gin production: Optimization of UASB reactor performance with increasing organic loading rate for co-digestion with swine wastewater. *Bioresource technology*, 2019, vol. 274, p. 43-47. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.11.060>
58. MCCABE, Bernadette K., et al. A case study for biogas generation from covered anaerobic ponds treating abattoir wastewater: Investigation of pond performance and potential biogas production. *Applied Energy*, 2015, vol. 114, p. 798-808. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.10.020>
59. Naderi, K. V., Bustillo-Lecompte, C. F., Mehrvar, M., & Abdekhodaie, M. J. (2017). Combined UV-C/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-VUV processes for the treatment of an actual slaughterhouse wastewater. *Journal of Environmental Science and Health*,



Part B, 52(5), 314-325. Disponible en:  
<https://doi.org/10.1080/03601234.2017.1281650>

60. NESAMALAR, J. Jeslin Drusila; VENKATESH, P.; RAJA, S. Charles. The drive of renewable energy in Tamilnadu: Status, barriers and future prospect. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2017, vol. 73, p. 115-124. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.01.123>
61. NESHAT, Soheil A.; MOHAMMADI, Maedeh; NAJAFPOUR, Ghasem D. Photosynthesis assisted anaerobic digestion of cattle manure leachate in a hybrid bioreactor: an integrated system for enhanced wastewater treatment and methane production. *Chemical Engineering Journal*, 2017, vol. 330, p. 616- 624. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2017.08.001>
62. NISAR, Jan, et al. Enhanced biodiesel production from Jatropha oil using calcined waste animal bones as catalyst. *Renewable Energy*, 2017, vol. 101, p. 111-119. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.08.048>
63. NIZAMI, Abdul-Sattar, et al. Waste biorefineries: enabling circular economies in developing countries. *Bioresource technology*, 2017, vol. 241, p. 1101-1117. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.05.097>
64. NONG, Huyen Thu Thi, et al. Development of sustainable approaches for converting the agro-weeds *Ludwigia hyssopifolia* to biogas production. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 2020, p. 1-9. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138109>
65. OKTAVITRI, Nur Indradewi, et al. Enhancing pollutant removal and electricity generation in Sediment Microbial Fuel Cell with nano zero-valent iron. *Environmental Technology & Innovation*, 2021, p. 101968. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101968>
66. PAL, P. *Industry—Specific Water Treatment: Case Studies*. *Industrial Water Treatment Process Technology*; Butterworth-Heinemann: Oxford, UK, 2017, p. 243-511. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-810391-3.00006-0>



67. Pal, P. (2017). Biological Treatment Technology. *Industrial Water Treatment Process Technology*, 65–144. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-810391-3.00003-5>
68. PATINVOH, Regina J., et al. Biological pretreatment of chicken feather and biogas production from total broth. *Applied biochemistry and biotechnology*, 2016, vol. 180, no 7, p. 1401-1415. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s12010-016-2175-8>
69. RAMM, Patrice, et al. Ammonia removal during leach-bed acidification leads to optimized organic acid production from chicken manure. *Renewable Energy*, 2020, vol. 146, p. 1021-1030. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.07.021>
70. REYES, Yasmani Alba; BARRERA, Ernesto L.; CHENG, Ke-ke. A review on the prospective use of chicken manure leachate in high-rate anaerobic reactors. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2021, vol. 9, no 1, p. 104695. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104695>
71. RODRÍGUEZ-ABALDE, Ángela, et al. Characterization of microbial community dynamics during the anaerobic co-digestion of thermally pre-treated slaughterhouse wastes with glycerin addition. *Bioprocess and biosystems engineering*, 2019, vol. 42, no 7, p. 1175-1184. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s00449-019-02115-8>
72. SALEHIYOUN, Ahmad Reza, et al. Anaerobic co-digestion of sewage sludge and slaughterhouse waste in existing wastewater digesters. *Renewable Energy*, 2020, vol. 145, p. 2503-2509. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.08.001>
73. SANTORO, Carlo, et al. Microbial fuel cells: From fundamentals to applications. A review. *Journal of power sources*, 2017, vol. 356, p. 225-244. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2017.03.109>
74. SCHMIDT, Thomas, et al. Effect of trace element addition and increasing organic loading rates on the anaerobic digestion of cattle slaughterhouse wastewater. *Bioresource technology*, 2018, vol. 264, p. 51-57. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.05.050>

75. SHEN, Jiacheng; ZHU, Jun. Kinetics of poultry litter in a leach bed reactor with agitation based on two mechanisms: enzymatic hydrolysis and direct solubilization. *Biochemical Engineering Journal*, 2018, vol. 135, p. 115-122. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.bej.2018.04.007>
76. SINHAROY, Arindam; KUMAR, Manoj; PAKSHIRAJAN, Kannan. An overview of bioreactor configurations and operational strategies for dark fermentative biohydrogen production. *Bioreactors*, 2020, p. 249-288. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821264-6.00014-0>
77. SITTIJUNDA, Sureewan; REUNGSANG, Alissara. Fermentation of hydrogen, 1, 3-propanediol and ethanol from glycerol as affected by organic loading rate using up-flow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2017, vol. 42, no 45, p. 27558-27569. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2017.05.149>
78. SIVAGURUNATHAN, Periyasamy, et al. Effect of hydraulic retention time (HRT) on biohydrogen production from galactose in an up-flow anaerobic sludge blanket reactor. *international journal of hydrogen energy*, 2016, vol. 41, no 46, p. 21670-21677. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2016.06.047>
79. SIVAGURUNATHAN, Periyasamy, et al. Recovering hydrogen production performance of upflow anaerobic sludge blanket reactor (UASBR) fed with galactose via repeated heat treatment strategy. *Bioresource technology*, 2017, vol. 240, p. 207-213. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.03.062>
80. SIVAPRAKASAM, S.; BALAJI, K. Biodegradation performance of UASFF reactor in treating Dairy wastewater under various organic Loading rate. *Materials Today: Proceedings*, 2021, vol. 43, p. 1167-1172. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.08.610>
81. THANH, Pham Minh, et al. Trace metal speciation and bioavailability in anaerobic digestion: A review. *Biotechnology advances*, 2016, vol. 34, no 2, p. 122-136. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2015.12.006>


82. UDDIN, Waqar, et al. Biogas potential for electric power generation in Pakistan: A survey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2016, vol. 54, p. 25-33. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.09.083>
83. ULLAH, Atta, et al. An overview of Eulerian CFD modeling and simulation of non-spherical biomass particles. *Renewable Energy*, 2019, vol. 141, p. 1054-1066. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.04.074>
84. WANG, Shunli, et al. Treatment of slaughterhouse blood waste using pilot scale two-stage anaerobic digesters for biogas production. *Renewable Energy*, 2018, vol. 126, p. 552-562. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.03.076>
85. WANG, Shunli, et al. Struvite precipitation as a means of recovering nutrients and mitigating ammonia toxicity in a two-stage anaerobic digester treating protein-rich feedstocks. *Molecules*, 2016, vol. 21, no 8, p. 1011. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/molecules21081011>
86. WANG, Shunli; JENA, Umakanta; DAS, Keshav C. Biomethane production potential of slaughterhouse waste in the United States. *Energy Conversion and Management*, 2018, vol. 173, p. 143-157. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.07.059>
87. WANG, Zhengxin, et al. The role of machine learning to boost the bioenergy and biofuels conversion. *Bioresource Technology*, 2021, p. 126099. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126099>
88. WANG, Fei, et al. Performance of anaerobic digestion of chicken manure under gradually elevated organic loading rates. *International journal of environmental research and public health*, 2019, vol. 16, no 12, p. 2239. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/ijerph16122239>
89. WORKU, Zemene; LETA, Seyoum. Anaerobic digestion of slaughterhouse wastewater for methane recovery and treatability. *Int. J. Sustain. Green Energy*, 2017, vol. 6, no 5, p. 84-92.
90. YAN, Li, et al. Hydrogen sulfide formation control and microbial competition in batch anaerobic digestion of slaughterhouse wastewater sludge: Effect of initial

sludge pH. *Bioresource technology*, 2018, vol. 259, p. 67-74. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.03.011>

91. YANG, Hongnan, et al. Comparison of three biomass-retaining reactors of the ASBR, the UBF and the USR treating swine wastewater for biogas production. *Renewable Energy*, 2019, vol. 138, p. 521-530. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.01.124>
92. YANG, Jie, et al. Anaerobic mono-digestion of pig manure in a leach bed coupled with a methanogenic reactor: Effects of the filter media. *Journal of Cleaner Production*, 2019, vol. 234, p. 1094-1101. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.054>
93. YAZDANI, Mohammad, et al. Improvement of biogas production from slaughterhouse wastewater using biosynthesized iron nanoparticles from water treatment sludge. *Renewable Energy*, 2019, vol. 135, p. 496-501. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.12.019>
94. ZABED, Hossain M., et al. Recent advances in biological pretreatment of microalgae and lignocellulosic biomass for biofuel production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2019, vol. 105, p. 105-128. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.01.048>
95. ZAHEDI, S., et al. Seeking to enhance the bioenergy of municipal sludge: Effect of alkali pre-treatment and soluble organic matter supplementation. *Waste Management*, 2017, vol. 68, p. 398-404. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.07.008>
96. Zhao Youcai Zhou Tao. Chapter 6 - Design and optimization of a biohydrogen production reactor. *Biohydrogen Production and Hybrid Process Development. Energy and Resource Recovery from Food Waste*. 2021, Pages 445-478. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821728-3.00006-2>

# ANEXOS

## Anexo 1: Ficha de recolección de datos

	<b>FICHA DE ANÁLISIS DE CONTENIDO</b>	
<b>Páginas utilizadas:</b>	<b>Año de publicación:</b>	<b>Lugar de publicación:</b>
<b>Tipo de investigación:</b>		
<b>Palabras claves:</b>		
<b>Objetivos:</b>		
<b>Tipos de reactores anaeróbicos:</b>		
<b>Metodología:</b>		
<b>Resultados:</b>		

*Elaboración propia*