



Universidad César Vallejo

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**Revisión Sistemática de la Eficiencia del Tratamiento Biológico
de Residuos Agrícolas por Digestión Anaerobia y Nitrificación**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Ambiental

AUTORES:

Gonzales García, Junior Samir (ORCID: 0000-0003-3036-2785)

Ipanaque Silva, Maritza (ORCID: 0000-0002-6274-377X)

ASESOR:

Dr Fernando Antonio Sernaque Auccahuasi (ORCID: 0000-0003-1485-5854)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

Tratamiento y Gestión de Residuos

LIMA – PERÚ

2022

Dedicatoria

Este proyecto va dedicado especialmente a todas aquellas personas que nos ayudaron y nos brindaron todo su apoyo, conocimientos y consejos para la realización de nuestra Tesis.

A nuestros padres por ser pieza de vital importancia y nuestro soporte incondicional para no darnos por vencidos, Alentándonos en todo momento, durante la realización de nuestra Tesis.

A todos los integrantes de las familias Ipanaque Silva y Gonzales García, por todas las palabras motivadoras, por sus sabios consejos y enseñanzas que fueron muy útiles para el desarrollo y culminación de nuestra tesis.

También va dedicada a nuestros compañeros de la promoción 2014 de la carrera de Ingeniería Ambiental, en especial en memoria de nuestros compañeros; Chirito Flores Ricardo y Aguirre Macalupù Irvin, quienes, desde el cielo, estamos seguros que nos desean lo mejor.

Agradecimiento

Gracias a Dios por la vida de nuestros padres, también porque cada día bendice nuestras vidas con la hermosa oportunidad de estar y disfrutar al lado de las personas que más queremos

Agradecemos también a nuestro asesor de Tesis Dr Fernando Antonio Sernaque Auccahuasi, por habernos brindado todos los conocimientos, enseñanzas, consejos y experiencias transmitidas en cada clase, en cada asesoría.

También agradecemos a todos nuestros compañeros de clase, que, aunque no nos conocemos cara a cara, sabemos que quieren alcanzar esta meta propuesta, igual que nosotros, y también les desean lo mejor en su vida profesional a cada uno de los integrantes del Taller de Elaboración de Tesis, salón 345.

Para nosotros, este es un momento muy especial que espero perdure en el tiempo, no solo en la mente de las personas a quienes agradecí, sino también a todas aquellas que invirtieron su tiempo, enseñanzas para de alguna manera contribuir en la elaboración, desarrollo y culminación de nuestra Tesis.

Índice de contenido

Carátula	i
Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento.....	iii
Índice de contenido.....	iv
Índice de tablas	v
Índice de Figuras.....	v
Resumen	vi
Abstract.....	vii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	4
III. METODOLOGÍA.....	15
3.1. Tipo y diseño de investigación	15
3.2. Categorías y Subcategorías 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 datos	21
3.9. Aspectos éticos.....	22
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	23
V. CONCLUSIONES	53
VI. RECOMENDACIONES	54
REFERENCIAS.....	55

Índice de tablas

Tabla 1. Matriz de Consistencia.....	17
Tabla 2. <i>Caracterización de los residuos</i>	23
Tabla 3. <i>Rendimientos</i>	32
Tabla 4. <i>DBO y DQO</i>	43
Tabla 5. <i>Impacto ambiental</i>	46

Índice de Figuras

Figura 1 Etapas del proceso de digestión anaeróbica para la generación de biogás.....	12
Figura 2 Procedimientos.....	19

Resumen

En el presente estudio se buscó describir la eficiencia del tratamiento biológico de residuos agrícolas por digestión anaerobia y nitrificación. Para lo cual, se basó en un estudio cualitativo, con diseño no experimental, bibliográfico, analítico y descriptivo, explorándose 25 artículos por cada objetivo específico. Obteniéndose como resultados que, se comparó bibliográficamente los rendimientos del tratamiento biológico de residuos agrícolas por digestión anaerobia, notándose aumento de niveles de pH y metano, ejecutándose diferentes ensayos realizados, para encontrar el más óptimo, bordeando a una temperatura de 80°C aumentándose hasta un 261.08% en residuos de paja de arroz pretratada, apareciendo nuevas tecnologías como lo es la tridigestión anaeróbica, además, se puntualizó la reducción del DBO y DQO después del tratamiento de residuos agrícolas a través de la nitrificación, obteniéndose valores de DBO de 61%-99.6% y de DQO con valores entre 28%-99%, precisándose el impacto ambiental del tratamiento de residuos agrícolas. Concluyéndose que, con tales tratamientos se ha obtenido diferentes resultados de los indicadores propuestos.

Palabras claves. Nitrificación, digestión anaeróbica, residuos sólidos, tratamiento.

Abstract

In the present study, we sought to describe the efficiency of the biological treatment of agricultural residues by anaerobic digestion and nitrification. For which, it was based on a qualitative study, with a non-experimental, bibliographic, analytical and descriptive design, exploring 25 articles for each specific objective. Obtaining as results that, the yields of the biological treatment of agricultural residues by anaerobic digestion were compared bibliographically, noticing an increase in pH and methane levels, executing different tests carried out, to find the most optimal, bordering at a temperature of 80 ° C increasing up to 261.08% in pretreated rice straw residues, appearing new technologies such as anaerobic tridigestion, in addition, the reduction of BOD and COD was pointed out after the treatment of agricultural residues through nitrification, obtaining BOD values of 61% -99.6% and COD with values between 28%-99%, specifying the environmental impact of the treatment of agricultural waste. Concluding that, with such treatments, different results of the proposed indicators have been obtained.

Keywords. Nitrification, anaerobic digestion, solid waste, treatment.

I. INTRODUCCIÓN

La creciente preocupación por la contaminación ambiental, principalmente por las emisiones de gases de efecto invernadero ha llevado a diversos grupos científicos y sociales a buscar sistemas más sostenibles para disminuir las emisiones de estos gases, y se ha demostrado que la quema de residuos agrícolas es una de las fuentes no despreciables de CO₂, emisiones que conducen al calentamiento global (Ning, Ou & Lee, 2021 p.158; Basile, (Salladini, y otros, 2020 págs. 193-213) . Por lo cual, el tratamiento de residuos sólidos agrícolas es muy importante para desarrollar una producción de alimentos más limpia, es por eso, que los referidos residuos pueden ser benéficos al medio ambiente en la generación de energías limpias y renovables como es el caso del biogás conocido como gas estufa. En ese sentido, el aprovechamiento energético del estiércol de gallina, ganado y otros animales adquiere mayor relevancia en el desenvolvimiento de tecnologías que permitan una aplicación más simple, que de tratamiento a los residuos y a su vez potencia la generación de biogás. Esto como parte de una gestión integral de los residuos sólidos producidos. (Lorna Guerrero, 2021 p. 979)

La eliminación y el tratamiento adecuados de los residuos de procesamiento de alimentos son una parte importante de la producción de alimentos; sin embargo, la descomposición incontrolada de los desechos de fuentes agroindustriales puede resultar en la contaminación a gran escala de la tierra, el agua y el aire (Hansen, y otros, 2019 p. 673). Por lo cual, la economía circular tiende a ser fundamental en la reducción de la contaminación, y para la transición exitosa, esta necesitaría mecanismos que permitan equilibrar el desarrollo industrial y económico, la conservación y protección del medio ambiente, con estrategias para el uso eficiente de los recursos, incentivando la producción de bioenergía y biogás, siendo necesario un análisis detallado de su composición y características (Winans, Kendall y Deng, 2017, p.826). Complementando esta problemática, en la investigación de Mittal, Ahlgren y Shukla (2018, p.361), se menciona que desafortunadamente en India, que ha sido una economía agraria durante mucho tiempo, la producción total de biogás es de solo 2070 millones de m³/año, a pesar de su enorme potencial de 29 a 48 mil millones de m³/año.

Con el crecimiento de la población mundial, la seguridad de los alimentos, la energía y el agua se está volviendo más desafiante. Tanto la digestión anaeróbica (EA) como el compostaje son métodos biológicos de gestión de residuos que son enfoques plausibles para abordar este desafío mediante la reutilización de residuos orgánicos y la generación de productos de valor agregado (Hansen, y otros, 2019).

El presente trabajo de investigación tiene una justificación teórica ya que esta implica describir cuáles son las brechas del conocimiento existente hasta llegar a reducirlo en una información compleja, también debido a que cada día se va incrementando el calentamiento global, la contaminación ambiental y los gases de efecto invernadero, una de las causas es el uso desmesurado de fertilizantes químicos en la agricultura (Hansen, y otros, 2019).

Es por ello que es de suma importancia realizar la presente revisión sistemática, ya que radica en la necesidad de investigar acerca de los tratamientos biológicos de residuos agrícolas, debido a que estos residuos son un problema no resuelto. Se espera ayudar a comprender mejor los tratamientos biológicos de los residuos agrícolas y evaluar su eficacia. Asimismo, es fundamental enriquecer y enfocar una nueva evaluación debido a la falta de seguridad sanitaria que hay hoy en día (Hansen, y otros, 2019).

En base a esta problemática se plantea la siguiente formulación del problema general, ¿Cuáles son las eficiencias del tratamiento biológico de residuos agrícolas por digestión anaerobia y nitrificación?, a través de una revisión sistemática, y como problemas específicos, (1) ¿Cuáles son los rendimientos del tratamiento biológico de residuos agrícolas por digestión anaerobia y nitrificación?, a través de una revisión sistemática. (2) ¿Cuáles son las reducciones de DBO y DQO después del tratamiento de biológico por digestión anaerobia y nitrificación?, a través de una revisión sistemática (3) ¿Cuáles son los impactos ambientales del tratamiento de residuos agrícolas por digestión anaerobia y nitrificación?, a partir de una revisión sistemática.

Estableciendo como objetivo general el describir la eficiencia del tratamiento biológico de residuos agrícolas por digestión anaerobia y nitrificación, y como objetivos específicos, (1) comparar bibliográficamente los rendimientos del

tratamiento biológico de residuos agrícolas por digestión anaerobia, (2) puntualizar la reducción del DBO y DQO después del tratamiento de residuos agrícolas a través de la nitrificación, (3) precisar el impacto ambiental del tratamiento de residuos agrícolas por digestión anaerobia y nitrificación.

II. MARCO TEÓRICO

Suarez, et al., (2022) en su investigación titulada “Recuperación de energía a partir de residuos de alimentos y residuos de jardines y parques: codigestión anaeróbica versus tratamiento hidrotérmico y codigestión anaeróbica” evaluaron y compararon las factibilidades de la codigestión anaeróbica de dos de los bioresiduos más relevantes, los desechos de alimentos y los desechos de jardines y parques, con el tratamiento hidrotérmico de cada uno de los desechos y la codigestión anaeróbica de los biorresiduos crudos con el agua de proceso generada. También se analizaron los efectos sobre la estabilidad del proceso y la recuperación de energía. La digestión anaerobia fue la mejor opción para el tratamiento de residuos alimentarios desde el punto de vista energético, con un 81% de valorización de la energía almacenada en la materia prima, mientras que la mayor valorización energética de los residuos de jardines y parques se obtiene para la fracción sólida generada por el tratamiento hidrotermal (85,5%). Además, la codigestión anaeróbica de residuos de alimentos con un 5 % del agua de proceso generada a partir de residuos de jardines y parques mostró una recuperación de energía similar a la de los residuos de alimentos solamente (~80 %), mejorando así la estabilidad biológica del proceso.

Biesdorf Borth, et al. (2022) En su investigación titulada “Codigestión anaeróbica a escala piloto de alimentos y desechos de jardín: potencial de metano, rendimiento y análisis microbiano” sostuvieron como objetivo el evaluar los efectos de la codigestión de alimentos y residuos de jardinería en el desempeño del proceso anaeróbico y también en la comunidad microbiana involucrada, mediante la comparación de dos reactores a escala piloto (500 L). Para permitir la comparación entre mono digestión y codigestión, un reactor se operó solo con desechos de alimentos como sustrato, mientras que, en el otro, el 20% de los desechos de alimentos se sustituyó por desechos de jardín. Los resultados mostraron un mejor desempeño en la co-digestión, con una remoción del 83% en VS, 4 gVS^{-1} , una tasa de producción de biogás de 86 L por día, con un contenido promedio de metano de 67% y un retraso en la acidificación del sistema cuando se aplicó un OLR de 0.24 kgVS m^{-3} por día.

Jiang, et al., (2022) en su investigación titulada “Estudio sobre la codigestión anaeróbica de lodos de aguas residuales municipales y desechos de frutas y verduras: producción de metano, comunidad microbiana y análisis de matriz de emisión-excitación de fluorescencia tridimensional” se empleó la digestión anaeróbica como una estrategia energética baja en carbono para reducir el riesgo de contaminación ambiental. Desarrollando un sistema de codigestión anaeróbica basado en la estrategia de relación carbono-nitrógeno. Los resultados mostraron que la producción diaria de biogás fue mayor en el codigestor, y la tasa de producción volumétrica de biogás (VBPR) aumentó significativamente en 1,3 ~ 3 veces, y la VBPR más alta fue de 2,04 L por día con un OLR óptimo de 2,083 Kg L⁻¹ por día. Los resultados analíticos indicaron que la codigestión podría mejorar la biodegradabilidad de las materias primas, transformándolas en más AGV y biogás.

Ihoeghian, et al., (2022) en su investigación titulada “Co-digestión anaeróbica del contenido ruminal del ganado y desperdicios de alimentos para la producción de biogás: Establecimiento de relaciones de co-digestión y estudios cinéticos” se investigó la codigestión por lotes del contenido ruminal del ganado (CRC) y los desechos de alimentos (FW) para la producción de biogás en diferentes proporciones (CRC:FW) para evaluar la producción de biogás y la estabilidad del proceso. Los resultados mostraron que CRC y FW poseen características que son deseables para la producción de biogás como se ve en sus respectivos valores de sólidos totales (10,85 y 26,53 %), sólidos volátiles (89 y 86,83 %) y relación de carbono a nitrógeno (23,7 y 15,7). La codigestión mejoró la proporción de carbono a nitrógeno, el rendimiento de biogás y el pH del cosustrato en comparación con los sustratos individuales. Se encontró que la proporción de codigestión de 50:50 era óptima, ya que proporcionó el máximo rendimiento acumulativo de biogás de 320,52 ml/gVS añadido. La codigestión también mejoró el pH, características de los ácidos grasos volátiles (AGV) y del nitrógeno amoniacal total (TAN) durante la digestión. El modelo de cono fue capaz de representar adecuadamente la cinética del proceso. Estos hallazgos han proporcionado información muy útil sobre la codigestión de CRC y FW.

Almomani & Bhosale (2020) en su investigación titulada “Mejora de la producción de biogás a través de la codigestión anaeróbica de residuos agrícolas y

pretratamientos químicos” proponen una estrategia para optimizar la codigestión anaeróbica de los ASW y el estiércol de vaca (EC), identifica los factores clave que gobiernan el rendimiento de la codigestión y evalúa el efecto de NaHCO_3 tratamiento de alcalinidad para mejorar la economía y el rendimiento de la digestión anaeróbica (EA). Los resultados revelaron que la mayor producción acumulada de metano (CMP) de 297.99 NL / kgVS puede generarse mediante la codigestión de ASW y CD en una proporción de 60:40. Se logró una mejoría adicional a través del tratamiento de alcalinidad con 1,0 g de NaHCO_3 /gVS que conduce a una disminución en los contenidos de lignina, celulosa y hemicelulosa de la materia prima en un 3,5%, 10,5% y 15,9%, respectivamente, convirtiéndolos en fracciones solubles y mejorando el CMP en un 11,2-29,7% en función de la calidad del sustrato. La CMP mejorada en los sustratos tratados químicamente refleja un aumento del 19% en los ingresos generados. Los resultados confirman que la estrategia propuesta es un método eficaz para producir biogás a partir de la codigestión de ASW (Agricultural Solid Waste) y EC.

Bong, et al., (2018 pág. 1545) en su investigación titulada “La caracterización y el tratamiento de los residuos de alimentos para mejorar la producción de biogás durante la digestión anaeróbica - una revisión” sostuvieron como objetivo el relacionar las características del desperdicio de alimentos con el potencial de biogás y proponer mejoras en los procesos para mejorar la producción de biogás. El desperdicio de alimentos mostró variación en términos de análisis bromatológico, donde se informó que los carbohidratos eran alrededor de 11.8-74%, la proteína fue de 13.8-18.1% y los lípidos fueron de 3.78-33.72%. El rendimiento de biogás para la monodigestión de los residuos de alimentos fue de 0,27 a 0,642 $\text{m}^3 \text{CH}_4/\text{kg VS}$ y para la co-digestión de residuos de alimentos con otros sustratos fue de 0,272–0,859 $\text{m}^3 \text{CH}_4/\text{kg VS}$. Se ha concluido que la variación en la característica del desperdicio de alimentos, en términos de propiedades físicas y bioquímicas, puede afectar la eficiencia del tratamiento aplicado para la mejora del proceso, incluido el equilibrio de nutrientes, el tratamiento mecánico, el tratamiento térmico y la configuración de dos etapas. La codigestión sigue siendo un método eficaz para la producción de biogás a partir de residuos de alimentos.

Lorna Guerrero (2021) en su investigación titulada “*Tratamiento biológico de residuos agrícolas por digestión anaerobia y nitrificación – desnitrificación*” en donde se analizó la tasa de generación de biogás utilizando como sustrato inicial una mezcla de estiércol de gallina en una 90% y Opuntia Ficus Indica en una 10% y a una temperatura de 30 °C. El proceso se desarrolló acorde al ensayo de biodegradabilidad anaerobia. Posteriormente el residuo resultante de la digestión anaerobia se sometió al proceso de Nitrificación – Desnitrificación para la eliminación biológica del nitrógeno. El porcentaje de eliminación de materia orgánica en la digestión anaerobia fue del 43% y la tasa de generación de gas metano fue de 15.8 L CH₄/Kg ST con un tiempo determinado de 90 días. En el proceso de nitrificación – desnitrificación la tasa de eliminación de nitrógeno amoniacal fue de 54.7% con un tiempo de 46 días, esto a pesar de que en la etapa de nitrificación se obtuvo un 81% de conversión de nitrógeno amoniacal a otras formas de nitrógeno; la eficiencia de eliminación se redujo debido a que parte del nitrato sufrió amonificación y retorno a nitrógeno amoniacal debido principalmente a la alta relación C/N de 52.

Weixin, y otros, 2021(pág. 125) Concluyeron que el biocarbón derivado de la pirólisis de la biomasa, mejora el rendimiento de la digestión anaeróbica mediante hábitats microbianos, reforzando las capacidades de amortiguación y promoviendo las conexiones bioeléctricas entre las bacterias fermentadoras y los metanógenos, mejorando así la estabilidad del sistema y acelerando la degradación de las sustancias refractarias. Presentaron un resumen exhaustivo acerca de las aplicaciones y rendimientos relacionados a las estrategias de biocarbón en el sistema de digestión anaeróbica; asimismo evaluaron los procesos típicos de producción de biocarbón y sus principales características, como la capacidad de adsorción e inmovilización, capacidad de amortiguación capacidad de transferencia de electrones y producción de efectos de mejora en la producción y purificación de biogás. Su estudio lo realizaron con 418 artículos científicos digestión anaeróbica y biocarbón, los artículos se obtuvieron en la Web of Science durante los períodos de 2011 a 2021.

(Bamba, y otros, 2021 pág. 15) Concluyendo que el pre tratamiento biológico tiene muchas ventajas, entre ellas que no requieren productos químicos, es poco

intensivo y no requiere condiciones especiales. Fabricaron digestores anaeróbicos a escala de laboratorio y se utilizaron en la codigestión de lodos de prensa y efluentes de destilería para investigar el efecto del pre tratamiento (biológico/enzimático y químico/alcalino) y la suplementación de nutrientes para mejorar la producción de biogás. Los resultados mostraron que el rendimiento máximo de biogás fue de 502.83 mL/g con un porcentaje máximo de metano (55%), pero cuando se le agregó nutrientes el rendimiento del biogás aumentó a 64.38%. Donde demostraron que el pretratamiento bioquímico tuvo mayor éxito para mejorar la producción de biogás mediante la codigestión anaeróbica de los lodos prensados de caña de azúcar y efluentes de destilería tratados con incorporación de enzimas hidrolíticas (es decir, lipasas, celulasas, proteasas y amilasas) el cual contrarrestó este efecto inhibitorio.

(Zamria, y otros, 2021 pág. 110), tuvieron como objetivo revisar el proceso la digestión anaeróbica utilizando la fracción de residuos sólidos urbanos (OFMSW) mediante digestión anaeróbica, el cual se utilizó como materia prima. Para la digestión anaeróbica implicaron tratamientos que lograron estabilizar la materia orgánica en ausencia de oxígeno, realizado por un consorcio de microorganismos y que se produce en las fases de hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis. El cual se desarrolló por diversos métodos; separación mecánica (MSOFMSW), el método de separación y recogida (SC-OFMSW) y el método de clasificación en origen (SS-OFMSW). Concluyeron que para OFMSW se requiere condiciones paramétricas específicas, un pH de 6,5-7,5, temperatura de 50-55 °C, tamaño de partícula entre 0,7 mm y 10 mm, una relación C: N de 20-30, OLR igual o superior a 6 kg VS/m³/día y HRT de 15-20 días.

(Tobias, y otros, 2020 pág. 105) Utilizaron sustratos lignocelulósicos típicamente utilizados en la agricultura, como ensilado de heno, la paja y el estiércol de varios animales. Estos residuos agrícolas sirvieron de base para la digestión anaeróbica. Sus ensayos se realizaron en dos bloques que consistía diversos intervalos de tiempo, en el bloque 1 los ensayos tuvieron de 5 a 15 días, en el bloque 2 se realizan después de 60 días. Demostraron que hay una diferencia en el aumento de los rendimientos del biogás, con ello aumenta el rendimiento, proporcionando así

mayor energía. Para la hierba y el ensilado de maíz, el estiércol de caballo y el estiércol de vacuno, incrementan los rendimientos máximos de metano, situándose entre el 0,3% y el 6,4%(utilizando bloque 1). En el caso del heno, el estiércol de pollo y la paja de triticale, los rendimientos se situaron entre el 8,1% y el 21,2% (utilizó bloque 2), el cual también demuestra que conforme va aumentando los días se incrementa el rendimiento del biogás.

(Sigurnja, y otros, 2019 págs. 265-274), describieron diversas maneras de recuperar amoníaco de residuos agrícolas con la finalidad de evaluar los rendimientos de los fertilizantes de los productos finales recuperados en entornos de invernaderos y campos completos, además comparó sus resultados con otros estudios publicados. Vía de limpieza de aire (PW1); vía de eliminación y recirculación de amoníaco (PW2), se empleó estiércol de animal tratado para el cual utilizó un digestor para que realice la digestión anaeróbica y así logró reducir la inhibición de nitrógeno e hidrógeno, las columnas del digestor oscilaban entre 35°C y 85°C, también utilizó NaOH para ajustar los valores de pH; en vía final de tubería, este método utilizó estiércol de ganado sin tratar, no se utilizó tratamiento biológico sino un uso aditivos para aumentar el pH con la finalidad de incrementar la emisión de NH₃. Inferieron que el nitrógeno de estiércol de animal (<1 % N) se puede concentrar hasta 3-9% de N, y esto varía de acuerdo a ácido utilizado.

(Fares, y otros, 2020 págs. 128-134) En sus resultados se evidenciaron que la codigestión de ASW y estiércol de vaca en relación 60:40 generan mayor producción de metano, aproximadamente 297,99 N/KgVS, lograron mejorar adicionándole un tratamiento con alcalinidad de 1.0 g de NaHCO₃ logrando así una reducción de contenido lignina, celulosa y hemicelulosa de la materia prima. Finalizaron que los sustratos tratados químicamente aumentaron un 19% del original. Utilizó desechos sólidos agrícolas y estiércol de animal, los cuales propusieron una estrategia para optimizar la codigestión anaeróbica de desechos sólidos agrícolas y estiércol de vaca. En su estudio identificaron factores claves que rigen el desempeño de la codigestión evaluando su alcalinidad con NaHCO₃.

(Herrera, y otros págs. 986-997), produjeron fertilizantes en forma de digestato y sulfato de amonio derivado de los residuos orgánicos del maíz, mediante digestión anaeróbica termofílica a escala completa, con el objetivo de medir los impactos ambientales relacionados con la producción y posterior uso agronómico del digestato en comparación con la producción y el uso de fertilizantes sintéticos (SF). Logrando así recuperar los nutrientes partir de residuos orgánicos el cual representa una gran oportunidad para diseñar un nuevo enfoque en la fertilización de los cultivos en el marco de la Economía Circular, cuando, El nitrógeno en el suelo dosificado con fertilizante orgánico obtenido de la digestión anaeróbica fue de 185 kg ha^{-1}

(Chuanren, y otros, 2022 págs. 113-118), estudiaron el rendimiento del biogás obtenido de la digestión anaeróbica, su producción neta de energía y la humificación del compost durante la digestión anaeróbica en estado sólido y el proceso híbrido de compostaje para el tratamiento de residuos alimenticios, los resultados mostraron de 15 y 21 días rendimiento bajo, después de los 30 días el rendimiento en un 8.3%, el carbono fijado en el humus del tratamiento con digestión anaeróbica 11,6%, concluyendo que la metanización orgánica y la inclinación de humificación del carbono en todo el sistema de SSAD se logra con compostaje aeróbico.

(Tao, y otros, 2022 págs. 126-132), utilizaron residuos agroganaderos, pellets de paja de arroz, estiércol de cerdo, pellets de sorgo, estiércol de ganado bovino y gallinaza, los cuales se sometieron a un tratamiento de deyecciones, que, mediante un sistema mixto, combina la digestión anaerobia y compost. Los estudios se realizaron a nivel semi piloto y piloto. En los estudios de nivel semi piloto se logró obtener información sobre viabilidad técnica del proceso eficiencia y factores que afectan nuestro estudio; en los resultados de la digestión anaeróbica arrojaron la eficiencia biológica del sustrato, producción específica del sustrato, en la digestión del estiércol de la gallinaza se obtuvo resultados menores que el estiércol de bovino

Los tratamientos biológicos son diversos tratamientos que se basan en la biodegradación de la materia orgánica tanto recogida de forma separada (FORS) o

de sus residuos de dicha recolección separada, en este último caso se combina con un tratamiento adicional (Soliva, 2020 pág. 74). Asimismo, los tratamientos biológicos tienen un papel clave en el cuidado del medio ambiente y la economía circular, para desviar así los residuos sólidos orgánicos del vertedero y la incineración de los desechos orgánicos, mejorando así la circularidad de los nutrientes biológicos; sin embargo, hay diversas cuestiones prácticas y técnicas que se deben abordar en la aplicación de un tratamiento biológico (Zhang, y otros, 2019 págs. 280-296).

Los residuos agrícolas se definen como residuos no deseados de las operaciones agrícolas, es decir, estiércol, ensilaje, fertilizantes, pesticidas y herbicidas; residuos de granjas, establos y ganado, carnicerías y mataderos, plásticos veterinarios u hortícolas, también se incluyen desechos forestales (Chandra, y otros, 2018 págs. 517-568); además son potencialmente dañino para el medio ambiente, es por ello que se llevan a cabo diversos tipos de investigación para convertir los residuos agrícolas en productos de valor agregado, ayudando así abordar los problemas de gestión de desechos, la utilización de estos residuos agrícolas en el campo agrícola marca la nueva estrategia para mejorar el rendimiento de los cultivos y reducir problemas ambientales causados por los fertilizantes convencionales (Ahmed, y otros, 2022 págs. 231-257).

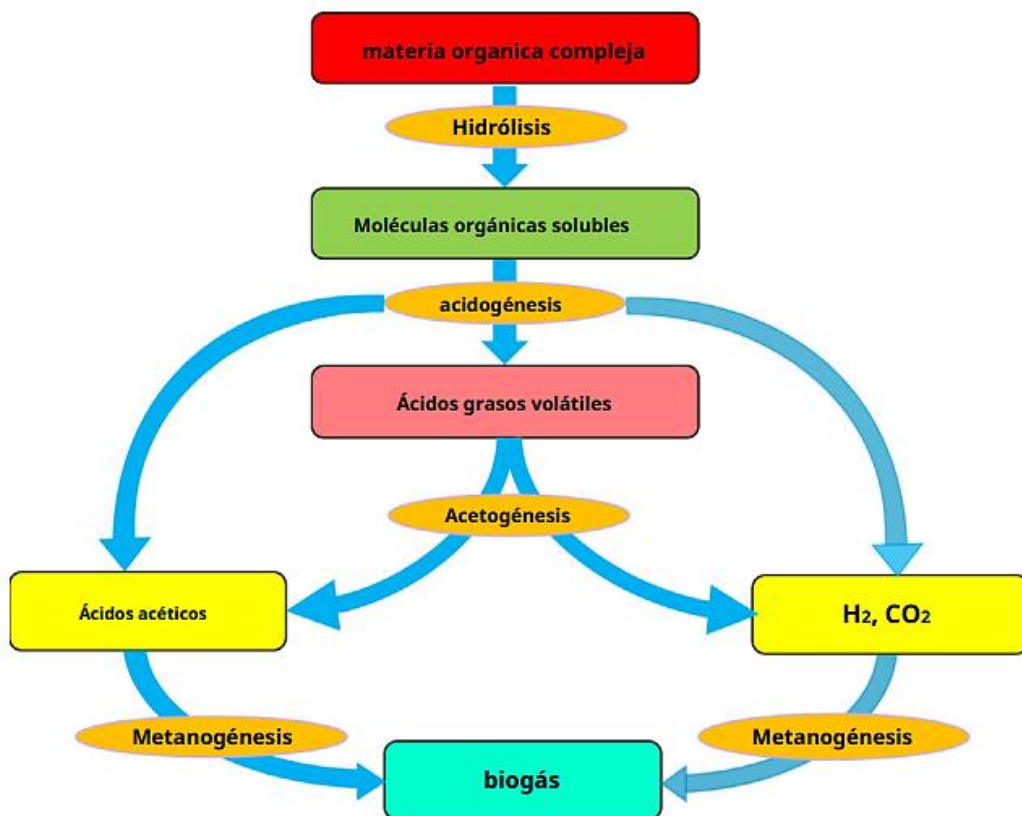
La digestión anaeróbica es un proceso microbiano complejo que implica una serie de reacciones metabólicas para la descomposición de la materia orgánica en biogás, al menos dos grandes poblaciones bacterianas fisiológicamente diferentes producen la conversión global de la materia orgánica en metano (50-70%) y dióxido de carbono (30-40%) (Toerien, 2003 págs. 385-416); también se descompone como fertilizante orgánico (Calavro, y otros, 2018 págs. 355-360). Por ejemplo, en la digestión anaeróbica del estiércol se ha utilizado para recuperar el metano y utilizarlo como biogás, y el digestato empobrecido en nutrientes (es decir, el subproducto de la digestión anaeróbica) se aplica generalmente como una enmienda marginal del suelo (Zied, y otros, 2019 págs. 492-499).

El proceso de la digestión anaeróbica se divide básicamente en cuatro etapas diferentes: hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis, lo cual se puede visualizar en la Figura 1 (Kumar & Samadder, 2017 p. 411). También se puede realizar la digestión anaeróbica monofásica (SPAD), en la que todos los

microorganismo se encuentran en el mismo medio del reactor, este mecanismo ha sido utilizado en los reactores de escala comercial debido a su menor costo, su funcionamiento es más sencillo pero realiza la misma operación en un solo reactor (Zheng, y otros, 2020 págs. 113-118). En los reactores por lotes de una sola etapa, todos los desechos se cargan simultáneamente y se permite que los cuatro procesos ocurran en el mismo reactor secuencialmente; el compost se vacía después de la conclusión de un período de retención determinado o el cese de la producción de biogás. (Meegoda, et al., 2018). Los reactores de tanque de agitación continua (CSTR) pueden utilizarse para reutilizar los residuos agrícolas para la producción de biogás con un alto rendimiento de metano (Logan, y otros, 2019 págs. 277-287).

Figure 1

Etapas del proceso de digestión anaeróbica para la generación de biogás



Nota. Obtenido de Kumar & Samadder (2020 pág. 3)

La **hidrólisis** es la primera etapa en la que la materia orgánica compleja, implicando así la conversión de la materia orgánica polimérica en monómeros como, carbohidratos, proteínas y grasas, se descompone en moléculas orgánicas

solubles, como azúcar, aminoácidos, ácidos grasos y otros compuestos relacionados. En la mayoría de los casos, la hidrólisis es el paso más lento o el que limita la velocidad debido a la formación de AGV y otros subproductos tóxicos. El paso de hidrólisis generalmente se acelera al proporcionar un pretratamiento a los sustratos (Ahmadi-Pirlou, *et al.*, 2017 pág. 99). Existe tres grupos claves de hidrolasas que están involucradas en el proceso de digestión anaerobia: glucosidasas, esterasas y peptidasas, que catalizan la ruptura de enlaces éster, enlaces glucósidos y enlaces péptidos (Wirth, y otros, 2012 pág. 41). Las bacterias comúnmente involucradas en la hidrólisis incluyen *Firmicutes*(*clostridios, bacilos*), *Bacteroidetes* y *gammaproteobacteria* (Subirats, y otros, 2022 págs. 114-120).

La segunda etapa es la **acidogénesis** (o fermentación) en la que los compuestos orgánicos reducidos de la etapa de hidrólisis se descomponen en ácidos grasos de cadena corta junto con hidrógeno (H₂), dióxido de carbono (CO₂) y otros subproductos (Ruming, y otros, 2021 págs. 124-130).

A diferencia de otras etapas, generalmente se cree que la acidogénesis avanza a un ritmo más rápido que todas las demás etapas de la digestión anaeróbica, con bacterias acidogénicas que tienen un tiempo de regeneración de menos de 36 h. Con la rapidez de esta etapa en mente, es importante tener en cuenta que, si bien la producción de VFA crea precursores directos para la etapa final de la metanogénesis, se informa ampliamente que la acidificación de VFA es una causa de falla del digestor (Zhao, y otros, 2021).

Un proceso anaeróbico algo similar está presente en el compostaje bokashi, una práctica de compostaje en la que los desechos de alimentos y un inoculante microbiano se dejan degradar anaeróbicamente, creando un producto final altamente ácido que se puede usar como fertilizante líquido y seco. Comúnmente se acepta que la digestión anaeróbica requiere interacciones simbióticas entre grupos específicos de microorganismo, algunos estudios han indicado que forman bacterias del ácido láctico (BAL), a menudo detectadas dentro de comunidades microbianas mesófilas productoras de hidrógeno, pueden apoyar la producción de hidrógeno durante la acidogénesis (Zhao, y otros, 2021 pág. 338).

La **acetogénesis** es la tercera etapa en la que los ácidos orgánicos formados en la etapa de acidogénesis se convierten en ácido acético, así como en H₂ y CO₂, mediante bacterias sintróficas, *Syntrophobacter wolinii* or *Syntrophomonas wolfei* (Borja, 2017 págs. 18-24), en condiciones de pH bajo (<5,7), concentraciones elevadas de ácidos grasos volátiles VFA (≥ 2 g/L) afectan negativamente la hidrólisis y la acetogénesis, convirtiéndose en tóxico para los metanógenos (Valenti, y otros, 2021 pág. 8).

El hidrógeno que se produce durante la acetogénesis aborda la discusión de una interesante relación sintrófica que está presente en la digestión anaeróbica: la transferencia de hidrógeno entre especies. Mientras que la acetogénesis es un productor de hidrógeno, una presión parcial excesiva resulta ser perjudicial para los microorganismos acetogénicos (Cazier, y otros, 2015).

Sin embargo, debido a la presencia de metanógenos hidrogenotróficos, el hidrógeno puede consumirse rápidamente mientras se mantienen las presiones parciales de hidrógeno a un nivel favorable a la acetogénesis mediante la creación de una reacción exergónica. El exceso de H₂ generado durante la acetogénesis inhibe la hidrólisis y la posterior generación de acetato la conversión (Cazier, y otros, 2015 págs. 106-113).

La última etapa es la **metanogénesis**, donde dos grupos diferentes de metanógenos producen metano. Un grupo divide el ácido acético en metano y dióxido de carbono, mientras que el otro grupo utiliza los productos intermedios (H₂ y CO₂) para la formación de metano. El proceso de digestión anaeróbica depende de varios factores, algunos de los cuales se han discutido en las secciones siguientes. (Kumar & Samadder, 2020 pág. 3).

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

Tipo de investigación

La presente investigación de tipo aplicado con enfoque cualitativo, debido a que se van a usar investigaciones y teorías complejas para describir el proceso más efectivo de digestión anaerobia y nitrificación, cuyo enfoque es cualitativo, ya que se van a ir descartando teorías que no son tan relacionadas al tema que se va a tratar.

La investigación cualitativa es un proceso por el cual identificamos constantemente todas los criterios y opciones metodológicas durante el proceso de investigación (Monje, 2012 pág. 33). De tipo aplicada porque tiene como objetivo utilizar teorías y conocimientos para crear modelos que puedan usarse o predecir la ocurrencia de fenómenos (Marotti, y otros, 2019 pág. 2).

De acuerdo con Moreno, et al. (2018), hacen referencia que las revisiones sistemáticas, son un resumen claro y bien estructurado de la información disponible, dirigida en un tema en específico.

Diseño de investigación

El diseño de la presente revisión sistemática, es no experimental, bibliográfico, analítico, y el procedimiento de trabajo comienza con la formulación de una pregunta específica y bien estructurada, en la que se establecen los objetivos; se tendrá en cuenta términos específicos para empezar la búsqueda de artículos útiles para responder a esa pregunta (Moreno, y otros, 2018 pág. 28). La búsqueda se realizará en la base de datos de artículos originales para identificar y luego se recolectarán los datos para el análisis estadístico y finalmente se presentarán los resultados de la búsqueda (Sánchez, y otros, 2018 pág. 55).

El diseño será no experimental, puesto que, en el presente estudio, no se realizará manipulación de las variables en cuestión, es decir solo se desarrollará un análisis de los documentos.

3.2. Categorías y Subcategorías y matriz de categorización

Para definir categorías y subcategorías se escogerán artículos que permitan diferenciarlas entre sí, para mayor detalle. Estas categorías y subcategorías nos ayudaran a que el proceso de selección de los artículos se realice de una forma más rápida y ordenada, excluyendo temas y artículos que no se centran en el tema principal de nuestra investigación, que en este caso es la digestión anaerobia y nitrificación de residuos agrícolas.

Tabla 1. Matriz de Consistencia

Problema General	Objetivo General	Categoría	Subcategoría
¿Cuál es la eficiencia del tratamiento biológico de residuos agrícolas por digestión anaerobia y nitrificación?	Describir la eficiencia del tratamiento biológico de residuos agrícolas por digestión anaerobia y nitrificación.	Microorganismo	Tipos de residuos
			Tipos de microorganismo
Problema específico	Objetivo específico	Categoría	Subcategoría
¿Cuáles son los rendimientos del tratamiento biológico de residuos agrícolas por digestión anaerobia y nitrificación?	Comparar bibliográficamente los rendimientos del tratamiento biológico de residuos agrícolas por digestión anaerobia	Eficiencia	Reducción de pH
¿Cuáles son las reducciones de DBO y DQO después del tratamiento de biológico por digestión anaerobia y nitrificación?	Puntualizar la reducción del DBO y DQO después del tratamiento de residuos agrícolas a través de la nitrificación		Reducción de DBO y DQO
¿Cuáles son los impactos ambientales del tratamiento de residuos agrícolas por digestión anaerobia y nitrificación?	Precisar el impacto ambiental del tratamiento de residuos agrícolas por digestión anaerobia y nitrificación.	Impacto	Índices de residuos
			Aprovechamiento energético

Fuente: elaboración propia

3.3. Escenario de estudio

Este estudio no tiene un escenario de investigación específico, porque es una revisión bibliográfica global acerca de los tratamientos biológicos de residuos agrícolas por digestión anaerobia y nitrificación, teniendo en cuenta diversos documentos (artículos científicos, libros, capítulos de libros, tesis).

Pero se están considerando los laboratorios donde se realizan los ensayos con las diferentes pruebas y métodos para la obtención de resultados que usaremos para identificar y describir la eficiencia de los tratamientos biológicos de residuos agrícolas.

3.4. Participantes

Los participantes de esta investigación van a ser artículos científicos que se encuentre publicados en revistas científicas internacionales y que traten acerca de los tratamientos biológicos de residuos agrícolas por digestión anaerobia y nitrificación. Asimismo, los participantes tienen que estar en las bases de datos de Ebsco, ProQuest, Sciencedirect, Scopus; y cada artículo científico debe tener antigüedad no mayor a 5 años, además de contener información precisa.

3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

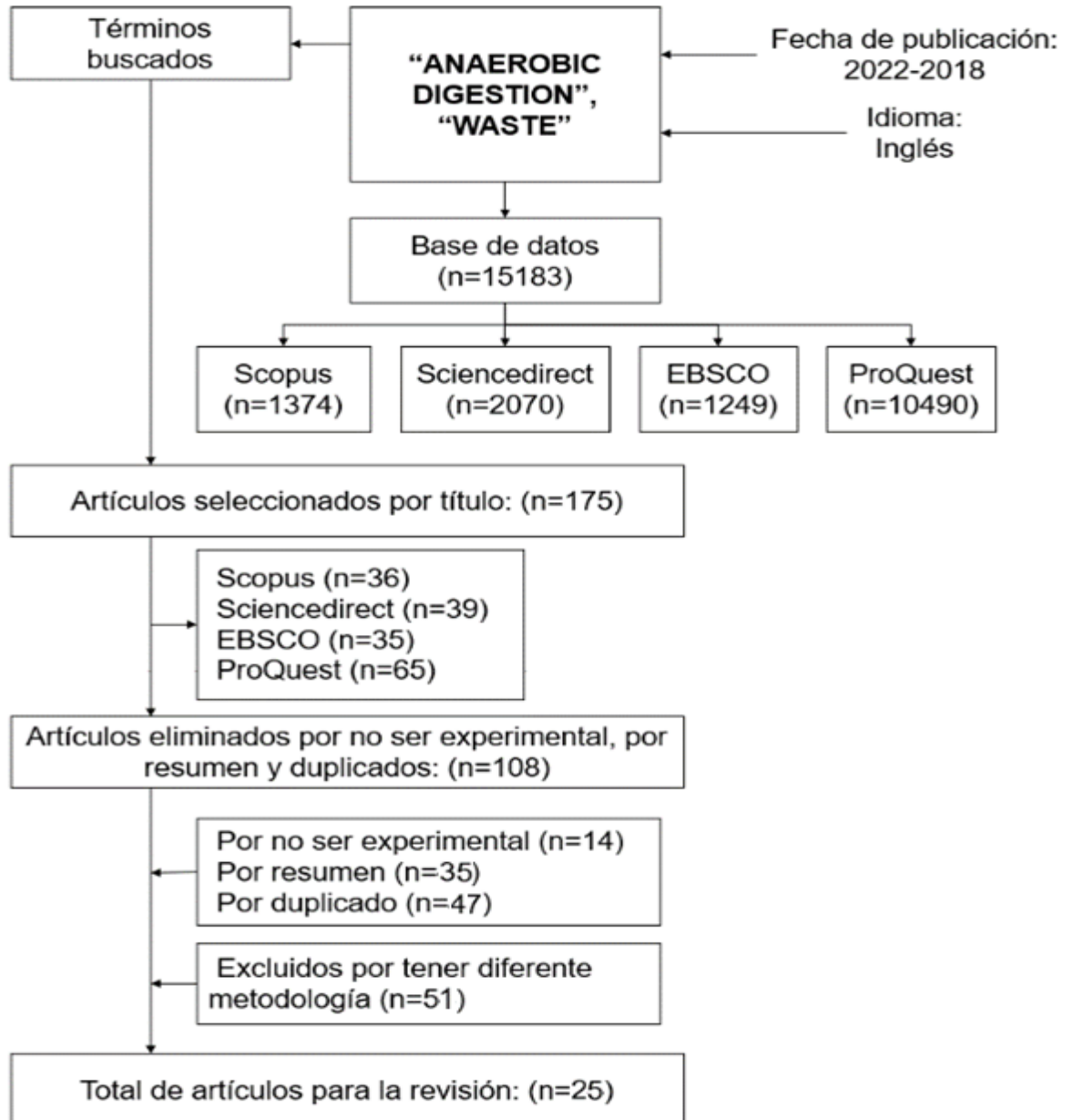
Se utilizará la técnica del análisis documental, que es el trabajo mediante el cual pasa a través de un proceso intelectual, en donde extraemos varios conceptos del documento para representarlos y facilitar el acceso a ellos (Cruz, 2020 pág. 2). Se puede inferir que el análisis documental es un conjunto de operaciones destinadas a presentar un documento y su contenido en una forma diferente al original (Frey, 2018 pág. 2). En un análisis documental también comprende el reconocimiento externo del artículo por factores como: autor, título, descripción conceptual, keyword (Peña, y otros, 2007 pág. 5).

Como instrumento se utilizó la ficha de análisis documental, puesto que es un instrumento estructurado y organizado que contiene una lista de criterios o actividades que se van a realizar en la investigación (Triad, 2016 pág. 1).

3.6. Procedimiento

Figure 2

Procedimientos



Nota. Elaboración propia

El procediendo que se realizará teniendo en cuenta la siguiente estructura:

- La formulación de la pregunta será el primer paso para realizar una búsqueda de información. Esta pregunta será clara, precisa y abordará resultados importantes de la intervención en estudio.
- Luego, se propondrá una estrategia de búsqueda para revelar artículos sobre el tema, siempre que cumplan con los criterios especificados anteriormente, así como el uso de una base de datos, teniendo en cuenta los criterios descritos. Una vez definidos los términos, se realizará una búsqueda de artículos relacionados con la pregunta principal, y cuando los resultados de la búsqueda estén disponibles, deberán presentarse de manera clara y concisa.
- Se seleccionarán los artículos con la intención de realizar una mejor clasificación, primero se clasificará en base de los títulos de artículos y resúmenes que estén disponibles, posteriormente se analizará los artículos a través de criterios propuesto, con la finalidad de facilitar la selección de artículos, asimismo, se realizará un diagrama de flujo para determinar el número inicial de artículos elegibles para ser eventualmente incluidos en el estudio, con las razones para su aclaración.
- Finalmente, de los artículos seleccionados se obtendrá toda la información relevante y que se asemeje a la pregunta inicial: cómo se realizó el estudio, nombre de autores, resultados obtenidos, entre otros.

3.7. Rigor científico

Rigor científico, se refiere a la concepción de construir un análisis sistemático que asegure que la información sea fiable, por ello que la investigación se basa en cuatro criterios fundamentales (Cortés, y otros, 2004 pág. 39): credibilidad, transferencia, consistencia o dependencia y confirmabilidad. En la presente investigación se aplica este rigor cumpliendo con todos los lineamientos estipulado en la Guía de elaboración de proyectos e informes de

la Universidad César Vallejo, asimismo, se establece el estilo de citación ISO 690, adaptándose a la redacción de referencias según lo menciona la norma.

La credibilidad, se aplica debido a que se debe evaluar situaciones en que la investigación pueda ser reconocida como creíble, para ello busca argumentos sólidos y prorrogables para plasmarlos en nuestra investigación.

El aspecto de transferencia, indica el alcance de la aplicación o el valor extrínseco de la investigación, es decir, repetir la búsqueda entre grupos, categorías o casos similares. Esto aplica en nuestra investigación ya que debemos de buscar información precisa en diferentes fuentes o artículos de investigación, donde nuestras variables de estudio se vean reflejadas, y de esa manera poder considerarse dentro de esta investigación.

La dependencia, es el grado que los diversos investigadores utiliza para recopilar datos similares al ámbito de investigación, para que se realice el análisis correspondiente con la finalidad de generar resultados análogos, así mismo, este criterio implica el grado de consistencia de resultados y hallazgos de la investigación (Bernal, 2010 pág. 80). Esto se aplica teniendo en cuenta que se tiene que buscar una información exacta en diferentes artículos de investigación, debido a que cada autor la interpreta de manera distinta, pero, que, de una manera general, tiene que estar relacionada entre sí. Porque dichos autores, toman referencias de otros artículos, para elaborar sus propios artículos o investigaciones.

La confirmabilidad o también conocida como auditabilidad, que es la habilidad que posee el investigador de orientarse por las ideas plasmadas en la investigación original, la confirmabilidad consiste monitorear el progreso de la investigación utilizado por el autor del estudio original y que conduzca a conclusiones semejantes (Lorne, 2018 pág. 3), es por ello que hemos citado cada autor que nos ayuda a completar nuestra investigación.

3.8. Método de análisis de datos

Para realizar el análisis de las investigaciones provenientes de artículos científicos se desarrollará una categorización de los principales aspectos que contengan la variable de estudio.

Los métodos de análisis de resultados de búsqueda de diferentes herramientas de recolección de datos fueron separados por directorios es decir información relacionada con tratamientos biológicos, digestión anaerobia, nitrificación. Esta información se separó en carpetas correspondientes, para facilitar la creación de bibliografía, los archivos que se encontraron en internet se guardaron en Word, para que no se pierdan y ayuden a facilitar el análisis de los mismos.

Por consiguiente, se realizó la discriminación con la lectura y análisis de todo el cuerpo de los documentos de recopilación, debido a que no todos los artículos encontrados estaban enfocados al objetivo del estudio de la presente investigación.

Se priorizaron los artículos, revistas científicas de las páginas ProQuest, Sciencedirect, Scopus, los cuales no deben tener más de 5 años de antigüedad, que, si tuvieron relación con las palabras clave, la unidad de estudio.

Se tomó citas y se ordenó en secuencia de acuerdo al orden de los objetivos específicos, por lo general se encontró con el desarrollo de estas las cuales se especificaron en los resultados

3.9. Aspectos éticos

Dentro de los aspectos éticos, se tiene en cuenta diversas consideraciones para garantizar su compromiso de proporcionar información fáctica sin alterar resultados. Con este fin es importante señalar que el Código de Ética en Investigación de la Escuela establece principios de gran importancia para nosotros como el respeto a las personas en términos de independencia, integridad, equidad y justicia, honestidad, seriedad científica y responsabilidad en la gestión de los resultados obtenidos. De este modo, la formación en

nuestra casa de estudios nos asegura el adecuado desarrollo de este estudio de cada investigación.

Asimismo, cabe resaltar que se está respetando la autoría de los artículos científicos que se están usando para la realización de esta investigación, y cuya manera de comprobarlo es el uso de Turnitin.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Objetivo general: Describir la eficiencia del tratamiento biológico de residuos agrícolas por digestión anaerobia y nitrificación.

Primer objetivo específico: Comparar bibliográficamente los rendimientos del tratamiento biológico de residuos agrícolas por digestión anaerobia.

Tabla 2. *Caracterización de los residuos*

Estudios	Digestión anaerobia
Liyanage, T.; Babel, S. (2022) - SCOPUS	<p>Los desechos de alimentos se usaron como materia prima y el lodo granular se usó como inóculo. Las muestras de desecho fueron luego molidas y almacenadas a 4°C hasta su uso. Se utilizaron dos temperaturas de pretratamiento diferentes con tres duraciones diferentes, que fueron 80 °C y 100 °C durante 30 min, 60 min y 90 min.</p> <p>La composición de los residuos de alimentos varía a medida que fluctúan las preferencias alimentarias. La VS y TS del sustrato y la materia prima fueron $90,94 \pm 0,89$ % y $21,91 \pm 0,8$ %, respectivamente, mientras que la VS y TS del inóculo fueron $89,01 \pm 3,8$ % y $4,54 \pm 0,5$ %, respectivamente. El TS de la materia prima se redujo a $5 \pm 0,5$ % diluyéndolo con agua destilada. El pH de la materia prima y del inóculo fue de</p>

Zheng, H., et al. (2022)- SCOPUS	5,2±0,4 y 7,83±0,10, respectivamente. El pH de la muestra se midió entre 4,5 y 6, después de mezclar con el inóculo. El pH final se ajustó a 7 mediante la adición de NaOH 1M. La relación C/N de la materia prima y el inóculo se calculó como 18,03:1 y 4,76:1, respectivamente. La relación C/N de la mezcla se determinó como 10,95:1.
Dell’Omo, P.; Spina, V. (2020)- SCOPUS	El efluente digerido de estiércol porcino (SMDE) que contiene altas concentraciones de nitrógeno amoniacal (1000, 1500 y 2000 mg L ⁻¹ , respectivamente) se utilizó de manera innovadora para pretratar la paja de arroz en sustitución de los productos químicos alcalinos a 30 °C durante 2d, 4d, 6d, 8d , y procesados aguas abajo en SSAD (digestión anaeróbica de estado sólido) cargados con digestato sólido de estiércol porcino (SDSM). Las masas de GRSMP (Tallos de caña gigante pretratados mecánicamente) y WSMP (Paja de Trigo Pretratada Mecánicamente) ascendieron al 96,8% y 98,9%, respectivamente, de las muestras procesadas. En ambos casos, la pérdida de procesamiento se debió principalmente a la reducción del contenido de humedad en los productos respecto a la materia prima.
Sumardiono, S.; et al. (2021)- SCOPUS	Las materias primas antes mencionadas se trocearon en un molino de cuchillas hasta una longitud media de aproximadamente 20 mm, que es una dimensión típica utilizada en plantas de digestión anaerobia. El proceso de digestión anaeróbica se llevó a cabo durante dos meses a 30,42 °C ± 0,05 °C, y la tasa de producción de biogás se midió cada dos días.

<p>Jun-Gyu, Park; Shin, Won-Beom; Shi, Wei-Qi; Jun, Hang-Bae. (2019)- ProQuest</p>	<p>La OLR se incrementó gradualmente en la operación de los dos reactores de 2 (S1, 0–364 d), a 4 (S2, 365–598 d) y 6 (S3, 599–657 d) kg-demanda química de oxígeno (DQO)/m³·día. Se operaron en una cámara de mantenimiento de temperatura con una temperatura fija de 35–37 °C. Se tomaron muestras del lodo de inóculo de la mesófila a escala completa. anaeróbico digestión reactor en la instalación de conversión de residuos de alimentos en energía con sede en la ciudad C y su pH, sólidos totales (TS) y sólidos volátiles (VS) fueron 7,41 %, 1,8 % y 1,4 %, respectivamente. Los desechos de alimentos que llegaban a la misma instalación se utilizaron para la inyección de sustrato. El pH, DQO total (TCOD), DQO soluble (SCOD), TS y VS de los residuos de alimentos utilizados como sustrato fueron 3,8 ± 0,7, 114,2 ± 11,8 g/L, 82,4 ± 7,1 g/L, 10,3 ± 1,1 % y 8,7 ± 0,8%, respectivamente. El sustrato se inyectó y liberó una vez al día en un reactor por lotes de secuenciación (SBR) en términos de OLR.</p>
<p>Feng, Kai; Wang, Qiao; Li, Huan; Du, Xinrui; Zhang, Yangyang (2021)- SCIENCE DIRECT</p>	<p>Se realizaron AD (digestión anaeróbica) monofásica (SPAD), AD bifásica sin control de pH (TPAD-pHUC) y TPAD con pH de fermentación controlado a 6,0 y 4,5.</p>
<p>Zhang, Lee; Yao, Dingding; Tsui, To-Hung; Loh, Kai-Chee; Wang, Chi-Hwa; Dai, Yanjun; Wah, Yen (2022)- SCOPUS</p>	<p>Se investigó un sistema híbrido biológico y térmico para convertir los desechos de alimentos que contienen plástico (PCFW) en energía renovable, centrándose en la evaluación del rendimiento, el análisis de la comunidad microbiana y la evaluación del balance energético.</p>

Zhu, Hongguang; Yang, Jing; Cheng, Xiaowei (2019)- SCOPUS	Se determinó los efectos de la proporción de cerdos muertos en la producción de biogás mediante la codigestión a temperatura media de estiércol de cerdo y cerdos muertos.
Xiao-Fei, Zhao; Yan-Qi, Yuan; Qing-Kong, Chen; Li, Qi; Huang, Yan; et al, (2021)- SCOPUS	Se utilizó como sustrato FW (desechos de alimentos) recolectado de un comedor escolar. Tan pronto como se recogieron las muestras, se retiraron las impurezas gruesas, como huesos y plásticos, y se colocaron en agua hirviendo para eliminar el aceite flotante de la superficie. Luego se sometió a separación sólido-líquido a través de un tamiz con malla de 2x2 mm, y la parte sólida obtenida se desmenuzó en partículas mediante un Robot-Coupe Shredder. Finalmente, los materiales se envasaron en bolsas de almacenamiento de plástico de 4 L y se conservaron en frío a -20 °C. Un día antes de su uso, la materia prima congelada se descongeló y se almacenó a 4 °C.
Wang, Xiaona; Guan, Weijie; Ma, Xinxin; Zhang, Shuang; Wang, Qunhui; Wu, Chuanfu (2022)- SCOPUS	Se investigó el rendimiento de la codigestión de los residuos de alimentos (FW) y el sustrato de hongos gastados (SMS) en condiciones anaeróbicas de alta temperatura, se investigaron los efectos de la codigestión de FW y SMS en diferentes proporciones de mezcla sobre la producción de metano.
Singh, Dilbaga; Malik, Kamla; Sindhu, Meena; Kumari, Nisha; Rani, Vijaya; Mehta, Shikha; Malik, Karmal; Ranga, Poonam; Sharma, Kashish; Dhull, Neeru; Malik, Shweta; Arya,	Se averiguó efecto de los IONP sintetizados que emplean un extracto de hoja no tóxico de Azadirachta indica como agente reductor, protector y estabilizador para aumentar la producción de biogás y metano del estiércol de ganado durante la digestión anaeróbica (DA). Además, el examen de espectro UV-visible de las nanopartículas sintetizadas reveló un pico alto a 432 nm. Usando

<p>Nisha SCOPUS</p>	<p>(2022)-</p>	<p>un microscopio electrónico de transmisión, el tamaño de partícula promedio de los IONP observados fue de 30 a 80 nm, con formas irregulares, ultrapequeñas y semiesféricas que estaban ligeramente agregadas y bien distribuidas. Los IONP tenían un índice de polidispersidad (PDI) de 219 nm y un potencial zeta de -27,0 mV. Se fabricó y probó un conjunto de seis biodigestores para ver cómo las concentraciones variables de IONP (9, 12, 15, 18 y 21 mg/L) influyeron en el biogás, la producción de metano y la composición química del efluente de AD a temperaturas mesófilas (35 ± 2°C).</p>
<p>Zambrano-Romero, Aracely; Villacis, Dario; Gabriel; Reyes; Antonio; Paul; Valeria</p>	<p>Ramirez- Trueba, Sierra-Alvarez, Leon-Reyes, Cardenas, Ochoa-Herrera, (2022)-</p>	<p>El desempeño de un sistema secuencial que consiste en un filtro de lecho de piedra caliza seguido de un biorreactor reductor de sulfato que trata ARD sintético durante 375 días y evaluar los cambios en la composición microbiana.</p>
<p>Caballero-Caballero, Magdaleno; Castillo, Gómez-Guerrero, Agustín; Vazquez, Alavez-Ramirez, Rafael; Bernabe, José</p>	<p>Chiñas- Fernando; Valdez- Idania; Montes (2022)-</p>	<p>Se probó los inóculos de lodo activado (AS), estiércol de cerdo (PM) y una mezcla de ellos (M) en relaciones de sustrato a inóculo (S/I) de 0,25, 0,50, 1,0, y 2,0, en términos de g sólidos volátiles (VS)/gVS. El sustrato consistió en una mezcla de hojas, bagazo y vinazas de la producción de mezcal. El estudio también analizó la composición microbiana (bacterias y arqueas) antes y después de la digestión anaeróbica y correlacionó el rendimiento con la abundancia de especies.</p>

<p>Song, Yingjin; Meng, Shuyan; Chen, Guanyi; Yan, Beibei; Zhang, Yingxiu; Tao, Junyu; Li, Yihang; Li, Jinlei (2021)- SCOPUS</p>	<p>La monodigestión y codigestión anaeróbica de tres materias primas (desechos de jardín, desechos de alimentos y residuos de tofu) se investigaron en condiciones mesófilas mediante ensayos bioquímicos de metano potencial. El rendimiento de la digestión del monosustrato en diferentes proporciones de sustrato/inóculo (S/I) (2:1, 1:1, 1:2) y el efecto sinérgico de la codigestión con diferentes proporciones de mezcla de materia prima fueron evaluados por el modificado Modelo de Gompertz e índice de rendimiento de codigestión (CPI).</p>
<p>Hurtado, Andrea; Hernández, Diana; Fuentes, Karol; Chaparro, Tatiana (2021)- SCOPUS</p>	<p>Este estudio comparó la EE utilizando el LHV ideal con la EE utilizando el LHV real en un reactor de digestión anaeróbica de dos fases que trata aguas residuales sintéticas. Adicionalmente, se estudió el desempeño del proceso y la estabilidad.</p>
<p>Li, Yi; Gong, Xinglong; Cui, Tiehao; Rong, Fangzhou; Zhang, Xuanxuan; Zhang, Zhen; Gu, Shiyan; Yi, Weiming (2021)- SCOPUS</p>	<p>Como materia prima se seleccionó estiércol de cerdo, donde se adicionó bentonita natural/microondas con 5% de contenido de materia seca (calentamiento por microondas 2, 4 y 8 min). La duración de la fermentación anaeróbica fue de 40 días a una temperatura de 35 °C, una cantidad de inóculo de 30 % de materia prima, 10 % de sólidos totales y un valor de pH de 7. Se incluyeron cinco tratamientos: el grupo CK se fermentó solo con estiércol de cerdo; grupo TP, la bentonita natural se añadió al estiércol de cerdo; El grupo 2WP fue el estiércol de cerdo con bentonita de microondas de 2 min; El grupo 4WP fue el estiércol de cerdo con bentonita de microondas de 4 min; El grupo 8WP fue el estiércol de cerdo con bentonita de microondas de 8 min. Cada</p>

tratamiento se repitió 4 veces para una alta precisión. Como tal, el objetivo del experimento fue explorar las características de producción de biogás de la bentonita natural/microondas añadida al estiércol de cerdo, los cambios morfológicos del metal pesado Cr y el efecto de pasivación en la fermentación anaeróbica. Se utilizaron un espectrómetro infrarrojo por transformada de Fourier (FTIR) y un microscopio electrónico de barrido/espectro dispersivo de energía (SEM-EDS) para caracterizar la microestructura y la morfología de los compuestos en los residuos de biogás después de la fermentación anaeróbica.

- Wang, Bingham; Ma, Jiaying; Zhang, Liangmao; Su, Yinglong; Xie, Yiqi; Ahmad, Zahoor; Xie, Bing (2021)- SCOPUS En combinación con la nueva regulación, la estrategia sinérgica y la ecología microbiana de la codigestión anaeróbica (AcoD) de los desechos de alimentos cocinados (CFW), los desechos de alimentos sin cocinar (UCFW) y la paja de arroz (RS) se analizaron en el estudio.
- Wang, Su; Shi, Fengmei; Li, Pengfei; Yang, Fengshan; Pei, Zhanjiang; Yu, Qiuyue; Zuo, Xin; Liu, Jie (2022)- SCOPUS La microestructura del biocarbón se caracterizó mediante microscopía electrónica de barrido (SEM) y análisis de Brunauer-Emmett-Teller (BET), y la sucesión microbiana y las vías metabólicas se analizaron mediante secuenciación de ARNr 16S para revelar los mecanismos moleculares.
- Hossain, Shahadat; Karim, Tahmid; Onik, Mahade; Kumar, Deepak; Rahman, Anisur; Yousuf, Abu; Uddin, Mohammad (2022)- SCOPUS La producción acumulada de biogás se monitoreó durante 35 días de operación en digestores por lotes con una proporción fija de materia prima a inóculo (F/I) 2. Se usaron lodos anaeróbicos (AS) y estiércol de vaca (CM) como inóculo en modos simples y mixtos. Varios parámetros del proceso, como el patrón de flujo del inóculo (una sola capa, multicapa y espiral), la temperatura de digestión
-

	(de 25 a 40 °C), los modos de inoculación (modo simple y mixto) y la proporción de inoculación (AS:CM = 1:1, 1 :2, 1:3 y 2:1) para determinar las condiciones óptimas de DAD para maximizar el rendimiento de biogás cargado de CH ₄ .
Hussaro, K. (2022)- SCOPUS	Las aguas residuales de atún (TW), el estiércol de elefante (EM), el estiércol de pollo (CM) y el aditivo químico (biocarbón de cáscara de palma aceitera o biocarbón OPS (OB)) se codigirieron en un reactor por lotes de secuenciación anaeróbica (ASBR) a temperatura mesófila de control (35±2°C) durante 55 días. Los procesos de codigestión anaeróbica se realizaron en 250 L ASBR con 130 L de área de fermentación y 120 L de espacio de cabeza dentro de 5 proporciones diferentes de TW/EM/CM/OB: D1 (TECB de 5:1:1:1), D2 (TECB de 5:1:1:2), D3 (TECB de 5:1:1:3), D4 (TECB de 5:1:1:4), (TECB de 5:1:1:0).
Roy, Chapol; Hoshiko, Yuki; Toya, Shotaro; Maeda, Toshinari (2022)- SCOPUS	La producción de metano aumentó a 2 mg/L y se inhibió a 100 mg/L de selenito de sodio durante la digestión anaeróbica de WSS (lodos de depuradora).
Cubero-Cardoso, Juan; Russo, Egidio; Serrano, Antonio; Trujillo-Reyes, Ángeles; Villa-Gomez, Denys; Esposito, Giovanni; Fermano (2022)- SCOPUS	El extrusionado de fresa (SE) es un subproducto derivado de la elaboración de productos con sabor a fresa. Una adecuada gestión de este sustrato supondría una nueva fuente de beneficio para el sector de los frutos rojos, en lugar de un costoso residuo a tratar. El objetivo fue evaluar el uso potencial de SE como carbón agrio para la producción de ácidos grasos volátiles (AGV) mediante fermentación anaeróbica a pH controlado (5 y 9) y sin control de pH (pH operativo alrededor de 7).

<p>Wang, Zhi; Sun, Yong; Qu, Jingbo; Yang, Fuli; Li, Jian; Yan, Beibei (2022)- SCOPUS</p>	<p>Para desarrollar la tecnología económica de pretratamiento de digestión anaeróbica (AD), se evaluó el rendimiento digestivo del tallo de maíz (CS) con la adición/pretratamiento de aguas residuales de despolimerización (DW). En este estudio, CS fue pretratado por DW durante 0 días (solo agregado) o 3 días, a saber, T0 y T1, respectivamente, y se realizó una AD mesófila con la suspensión completa (CS y DW).</p>
<p>Sillero, Leonor; Solera, Rosario; Perez, Montserrat (2022)- SCOPUS</p>	<p>Se estudió la tridigestión anaeróbica mesófila de lodos de depuradora (S), vinaza de vino (V) y estiércol de ave (PM) (49,5:49,5:1) para obtener biogás de una forma mejorada en comparación con la bidigestión de SV (50:50) y monodigestión de S. Se realizaron ensayos en digestores anaerobios, a escala de laboratorio, para comparar los beneficios a diferentes tiempos de retención hidráulica (TRH) (20, 15, 13, 10, 8 y 6 días).</p>
<p>Pasteris, Andrea; Heiermann, Monika; Theuerl, Susanne; Plogsties, Vincent; Jost, Carsten; Prochnow, Annette; Herrmann, Christiane (2022) - SCOPUS</p>	<p>La DA del ensilaje de sorgo se realizó en un reactor de tanque de agitación continua (CSTR) de una sola etapa y en un sistema de reactor de lecho de lixiviación (LBR) de dos etapas.</p>

Fuente: elaboración propia

Dónde:

Contenido de sólidos totales (TS) y contenido de sólidos volátiles (VS)

DA: Digestión anaeróbica

Tabla 3. Rendimientos

Estudios	Rendimientos
Liyanage, T.; Babel, S. (2022) - SCOPUS	Los resultados de la prueba BMP (Potencial de biometano) mostraron una generación inicial de metano en cada muestra, pero después de unos días la producción de metano disminuyó drásticamente debido a la acumulación de AGV (Ácidos grasos volátiles) que provoca una reducción en el pH. Estas reducciones de pH no son adecuadas para la metanogénesis. El mayor rendimiento de metano se observó en la muestra pretratada térmicamente a 80 °C durante 90 min. La producción de metano aumentó en un 11,24% en comparación con el control en un biorreactor de pequeña escala donde se utilizó una solución tampón de NaHCO ₃ para controlar el nivel de pH.
Zheng, H., et al. (2022)- SCOPUS	Después de realizarse el pretratamiento, la estructura de la superficie de la paja de arroz se destruyó, y las tasas de eliminación de lignina, celulosa y hemicelulosa fueron de 1,3 a 20,4 %, 1,3 a 26,3 % y 13,9 a 28,4 %, respectivamente. Las concentraciones de nitrógeno amoniacal en el sistema de pretratamiento se redujeron entre un 16,75% y un 75,47%. En el proceso posterior de

	<p>SSAD (digestión anaeróbica de estado sólido), los rendimientos acumulativos de metano en el digester cargado con paja de arroz pretratada aumentaron entre un 93,25 y un 261,08 %, y el tiempo de digestión técnica para alcanzar el 80% del rendimiento acumulativo máximo de metano (T80) se produjo entre 10 y 14 días antes. El mayor rendimiento diario de metano y el rendimiento acumulativo de metano de 7,37 mL/(g·VS_{added}·d) y 105,27 mL/(g·VS_{added}), respectivamente, se observaron en el digester cargado con 2000 mg/L de paja de arroz pretratada con amoníaco.</p>
Dell’Omo, P.; Spena, V. (2020)- SCOPUS	<p>Aumento del 49,1% y 137% en el rendimiento de metano para paja de trigo y caña gigante respectivamente (reactor discontinuo de 2 L; condición mesófila).</p>
Sumardiono, S.; et al. (2021)- SCOPUS	<p>La proporción 1:1 mostró mejores resultados en comparación con la 2:1, ya que permite que las bacterias alcancen el equilibrio metabólico. La mayor producción acumulada de biogás (27,91 mL/g TS) se generó cuando los desechos de sagú se sometieron a molienda (± 1 mm), pretratamiento con NaOH al 4% g/g TS y tratamiento con consorcio microbiano al 5% v/v a 1: 1 proporción de desechos sólidos de sagú al rumen.</p>
Jun-Gyu, Park; Shin, Won-Beom; Shi, Wei-Qi; Jun, Hang-Bae. (2019)- ProQuest	<p>El pH inicial de 7,70 no disminuyó, sino que aumentó continuamente a 8,31 durante cada período S1–S3; y la alcalinidad se mantuvo en una etapa inicial alrededor de 7585 mg/L como CaCO₃ y aumentó continuamente hasta 13 939 mg/L como CaCO₃ en la etapa S3. Esto indica que el reactor BEAD puede estabilizar rápidamente el pH y la</p>

	alcalinidad durante la operación inicial y mantener el pH estable en un OLR alto.
Feng, Kai; Wang, Qiao; Li, Huan; Du, Xinrui; Zhang, Yangyang (2021)- SCIENCE DIRECT	TPAD sin control de pH, que integra acidogénesis de 4 días y metanogénesis de 22 días, exhibió el mejor y constante rendimiento con un OLR de 3,7 g/(L·d) con una producción de metano superior a 370 ml/g.
Zhang, Lee; Yao, Dingding; Tsui, To-Hung; Loh, Kai-Chee; Wang, Chi-Hwa; Dai, Yanjun; Wah, Yen (2022)- SCOPUS	El biocarbón de gasificación mejoró el rendimiento de metano entre un 6% y un 30% en los procesos AD. Los resultados mostraron que la digestión anaeróbica (AD) de desechos de alimentos, desechos de alimentos que contienen polietileno (PE), desechos de alimentos que contienen poliestireno (PS) y desechos de alimentos que contienen polipropileno (PP) generaron un rendimiento de metano de 520.8, 395.6, 504.2 , y 479,8 mL CH ₄ /gVS, respectivamente
Zhu, Hongguang; Yang, Jing; Cheng, Xiaowei (2019)- SCOPUS	La relación afectaría significativamente el contenido promedio de metano y la tasa de degradación. Cuando la relación de adición estuvo en el rango de 3 a 15%, la producción de biogás estuvo entre 191,39 y 202,44 (L/kg VS). Los contenidos medios de metano fueron 50,67%, 50,35%, 41,83%, 45,53% y 44,57%, respectivamente. El tiempo requerido para alcanzar el 80% de la producción de biogás fue de 28, 34, 36, 65 y 63 días, respectivamente. La tasa de degradación de las materias primas disminuyó generalmente con el aumento de la proporción de adición.
Xiao-Fei, Zhao; Yan-Qi, Yuan; Qing-Kong, Chen; Li, Qi; Huang,	Los resultados mostraron que FW podía digerirse normalmente en el sistema AD dentro del TS de 3%-30%. El rendimiento volumétrico de metano del

<p>Yan; et al, (2021)- SCOPUS</p>	<p>AD seco aumentó entre 5,2 y 10,6 veces más que el del AD húmedo y el tiempo de degradación de la unidad de sustrato se redujo entre un 35 % y un 71 %. Los indicadores de estabilidad del sistema de la AD seca, como el pH, VFA/TA, TAN y sal, permanecen dentro del umbral de supresión después de la digestión. dry-AD tenía ventajas obvias.</p>
<p>Wang, Xiaona; Guan, Weijie; Ma, Xinxin; Zhang, Shuang; Wang, Qunhui; Wu, Chuanfu (2022)- SCOPUS</p>	<p>Los resultados mostraron que la codigestión de FW y SMS tuvo un efecto sinérgico positivo [índice de sinergia (SI) = 106,87–131,09 % > 100 %], y cuando la proporción de mezcla de FW/SMS (base sólida volátil) fue de 7:3, la producción de metano del sistema de codigestión aumentó un 15,92% y un 69% en comparación con la fermentación simple de FW y SMS, respectivamente. Los resultados experimentales también demuestran que la codigestión tuvo un nitrógeno amoniacal total/libre más bajo, un pH y un valor de alcalinidad adecuados, y una estabilidad del sistema más rápida en comparación con la fermentación única.</p>
<p>Singh, Dilbaga; Malik, Kamla; Sindhu, Meena; Kumari, Nisha; Rani, Vijaya; Mehta, Shikha; Malik, Karmal; Ranga, Poonam; Sharma, Kashish; Dhull, Neeru; Malik, Shweta; Arya, Nisha (2022)- SCOPUS</p>	<p>Con 18 mg/L de IONPs, la producción específica máxima de biogás y metano fue de 136,74 L/g de sólidos volátiles (SV) y 64,5 %, respectivamente, en comparación con el control ($p < 0,05$), que proporcionó solo 107,09 L/g y 51,4 %, respectivamente. La producción de biogás y metano aumentó un 27,6 % y un 25,4 %, respectivamente, utilizando IONP de 18 mg/l en comparación con el control. En todos los tratamientos, el pH del efluente aumentó, mientras que los ácidos grasos volátiles totales, los sólidos totales, los sólidos volátiles, el contenido de</p>

<p>Zambrano-Romero, Aracely; Ramirez-Villacis, Dario; Trueba, Gabriel; Sierra-Alvarez, Reyes; Leon-Reyes, Antonio; Cardenas, Paul; Ochoa-Herrera, Valeria (2022)- SCOPUS</p>	<p>carbono orgánico y la actividad deshidrogenasa disminuyeron. La degradación total de sólidos fue mayor (43,1 %) en el estiércol de ganado + 18 mg/L de IONP (T5).</p> <p>El sistema de tratamiento fue eficaz para aumentar el pH del ARD de 2,7 a 7,5 y eliminó las concentraciones totales de Cu(II) y Zn(II) hasta en un 99,8 % y 99,9 %, respectivamente. La presencia de sulfato en ARD promovió la sulfidogénesis y cambió la diversidad y estructura de las comunidades microbianas. <i>Methansarcina</i> spp. fue la variante de secuencia de amplicón más abundante (ASV); sin embargo, no se detectó producción de metano. Los índices de biodiversidad disminuyeron con el tiempo con la operación del biorreactor, mientras que la abundancia de SRB se mantuvo estable. <i>Desulfobacteraceae</i>, <i>Desulfococcus</i>, <i>Desulfobulbaceae</i> y <i>Desulfovibrio</i> se hicieron más abundantes, mientras que <i>Desulfuromonadales</i>, <i>Desulfotomaculum</i> y <i>Desulfobacca</i> disminuyeron. <i>Geobacter</i> y <i>Syntrophobacter</i> se enriquecieron con el tiempo de operación del biorreactor.</p>
<p>Caballero-Caballero, Magdaleno; Chiñas-Castillo, Fernando; Gómez-Guerrero, Agustín; Valdez-Vazquez, Idania; Alavez-Ramirez, Rafael; Montes Bernabe, José (2022)- SCOPUS</p>	<p>Los reactores AS alcanzaron la mayor producción de metano de 498 ± 67 mL (166 mL/gVS), seguidos por los reactores PM y M que produjeron 188 ± 39 mL cada uno (63 mL/gVS), todos a una relación de 0,25 S/l. A una relación de 0,50 S/l o superior, la producción de metano se detuvo debido a una cantidad insuficiente de microorganismos que estaban activos durante el proceso. Los reactores AS mantuvieron el pH entre 6,8 y 7,5 en todas las relaciones S/l con una acumulación insignificante</p>

de ácidos grasos volátiles. Por el contrario, los reactores PM y M llevaron a una acumulación de ácidos grasos volátiles de hasta 12,2 g/L, por lo que el pH se volvió ácido, con un rango de 4,9 a 5,8. Los reactores AS contenían la mayor diversidad alfa.

Song, Yingjin; Meng, Shuyan; Chen, Guanyi; Yan, Beibei; Zhang, Yingxiu; Tao, Junyu; Li, Yihang; Li, Jinlei (2021)- SCOPUS

Los resultados mostraron que el rendimiento de metano de diferentes sustratos para monodigestión aumentó al disminuir la relación S/I. En comparación con la rápida disminución del pH de la monodigestión de residuos de alimentos y residuos de tofu, la codigestión podría aliviar la acidificación y mejorar la capacidad de amortiguación del sistema. A medida que cambiaban las proporciones de mezcla de las materias primas, podían ocurrir efectos sinérgicos (CPI = 1,09) o antagónicos (CPI = 0,89). El rendimiento de metano fue el más alto (370,54 ml/g VS) cuando la proporción de mezcla de desechos de jardín, desechos de alimentos y residuos de tofu fue de 3:4:3. El modelo de Gompertz modificado se ajustó bien a los datos experimentales y reveló que el aumento de los desechos del jardín tuvo un efecto considerable en el acortamiento de la fase de latencia debido a que se evitaba una reducción rápida del pH.

Hurtado, Andrea; Hernández, Diana; Fuentes, Karol; Chaparro, Tatiana (2021)- SCOPUS

Los resultados mostraron que el valor de EE calculado con LHV_{ideal} fue, en promedio, un 35 % más alto que el evaluado con LHV_{real} ; estas diferencias son relevantes para la estimación de la energía real y también para aplicaciones prácticas. Al mismo tiempo, el índice alcalinidad intermedia/alcalinidad parcial del tampón demostró

ser más preciso que el valor de pH para analizar la estabilidad del proceso. Con respecto a la demanda química de oxígeno, la eficiencia de remoción en la fase metanogénica disminuyó drásticamente al utilizar el 100% de la fase acidogénica.

Li, Yi; Gong, Xinglong; Cui, Tiehao; Rong, Fangzhou; Zhang, Xuanxuan; Zhang, Zhen; Gu, Shiyang; Yi, Weiming (2021)- SCOPUS

Los resultados muestran que la producción total de gas, la fracción de volumen promedio de metano, la proporción de estado residual de Cr y el efecto de pasivación efectivo del estiércol de cerdo con bentonita en la fermentación anaeróbica fueron significativamente más altos que los del estiércol de cerdo solo. Específicamente, estos índices en el tratamiento de modificación por microondas de corta duración (2 y 4 min) fueron significativamente más altos que los del tratamiento con bentonita natural ($P < 0,05$). Los índices fueron inferiores a los de los tratamientos con tiempo corto, donde el mejor tiempo de calentamiento por microondas de la bentonita fue de 4 min. Los datos de FTIR mostraron que los contenidos de carbohidratos, carboxilatos y compuestos alifáticos se redujeron en el residuo de biogás después de la fermentación anaeróbica, mientras que el contenido de compuestos aromáticos aumentó significativamente. Además, el tratamiento del estiércol de cerdo con bentonita promovió la conversión de materia orgánica en humus, intensificando así la humificación de los residuos de biogás. Las imágenes de SEM-EDS mostraron que el estiércol de cerdo estaba compuesto inicialmente de materia orgánica irregular de gran tamaño y luego se transformaba en pequeñas

	partículas de humus después de la fermentación anaeróbica.
Wang, Bingham; Ma, Jiaying; Zhang, Liangmao; Su, Yinglong; Xie, Yiqi; Ahmad, Zahoor; Xie, Bing (2021)- SCOPUS	Los resultados mostraron que el máximo rendimiento acumulativo de metano (CMY) y el índice sinérgico se obtuvieron cuando se mezclaron CFW y UCFW en una proporción de 1:1 (basado en el contenido de sólidos volátiles). El mayor CMY $452,94 \pm 0,99$ mL/g-VS se obtuvo cuando la relación de CFW, UCFW y RS fue 0,81:0,09:0,10, que fue 16,29%, 36,20% y 121,84% superior a su monodigestión, respectivamente. El AcoD promovió el potencial de metano al prolongar el tiempo de liberación de materia orgánica y ralentizar la tasa de hidrólisis.
Wang, Su; Shi, Fengmei; Li, Pengfei; Yang, Fengshan; Pei, Zhanjiang; Yu, Qiuyue; Zuo, Xin; Liu, Jie (2022)- SCOPUS	La adición de biocarbón de paja de arroz aumentó la producción de gas durante la fermentación anaeróbica. SEM reveló que numerosos cocos y microbacterias se aglomeraron y adhirieron a la superficie y los poros del biocarbón, que se reveló mediante análisis BET como un buen hábitat para los microorganismos. Después de la digestión anaeróbica, el área de superficie específica y el volumen total de poros del biocarbón disminuyeron. La secuenciación del gen 16S rRNA mostró que el biocarbón afectaba la abundancia de ciertas bacterias y arqueas.
Hossain, Shahadat Karim, Tahmid; Onik, Mahade; Kumar, Deepak; Rahman, Anisur; Yousuf, Abu; Uddin, Mohammad (2022)- SCOPUS	El estudio del patrón de flujo del inóculo mostró que el digester con configuración de inóculo multicapa generó un biogás acumulativo máximo de 555 mL con una tasa de producción de 195 mL/día (a 25 °C). Se encontró que la tasa de producción de biogás y la producción acumulada de biogás aumentan con el aumento de la temperatura y los

valores máximos de 380 mL/día y 1515 mL respectivamente se observaron a 37 °C. El modo mixto de inoculación que contenía AS y CM aumentó el rendimiento de biogás en condiciones previamente optimizadas. Los resultados finales mostraron que el digestor con un patrón de flujo de inóculo multicapa a 37 °C produjo 1850 ml de biogás acumulado con 1256,58 ml de CH₄/kg de sólido volátil (VS) cuando el inóculo mixto se usó en la relación AS:CM—1:2.

Hussaro, K. (2022)- SCOPUS La materia prima ajustada para una relación C/N óptima mediante la mezcla de biocarbón OPS dio como resultado un rendimiento de producción de biogás y un contenido de metano significativamente más altos al mezclar sin biocarbón OPS en las materias primas. En la segunda etapa (entre los días 21 y 44), el resultado encontró que D2 con una relación C/N óptima de 25,73 generó la mayor producción acumulada de biogás, rendimiento de biogás, contenido de metano, rendimiento de metano, que fue de 3.694,88 L, 0,87 L/ kg alimentación.día, 75 % y 0,58 % CH₄/kg alimentación.día, respectivamente. D2 tuvo una producción de biogás de más del 5 %, 20 %, 25 % y 30 % que D3, D1, D5 y D4, respectivamente. D4 se operó con biocarbón de OPS más alto que D1-D3, lo que supuso una inhibición en la fase de metanogénesis a una baja producción de biogás.

Roy, Chapol; Hoshiko, Yuki; Toya, Shotaro; Maeda, Toshinari (2022)- SCOPUS La actividad hidrolítica aumentó en correlación con el aumento de las concentraciones de selenito de sodio (0 a 100 mg/L). En la etapa de acidogénesis, el ácido acético se acumuló a concentraciones

superiores a 25 mg/L de selenito de sodio mientras que se consumió durante 10 días a la concentración de 2 mg/L de selenito de sodio. Además, la concentración de ácido propiónico disminuyó y la de ácido butírico aumentó a 100 mg/L de selenito de sodio. Aunque las actividades metanogénicas se inhibieron totalmente con 100 mg/L de selenito de sodio, se observó una alta actividad metanogénica hidrogenotrófica con 2 mg/L de selenito de sodio. La abundancia de metanógenos hidrogenotróficos (*Methanospirillum* y *Methanocorpusculum*) aumentó en el WSS a 2 mg/L de selenito de sodio. Además, los resultados de los experimentos de cultivo puro utilizando *Methanosarcina acetivorans* C2A muestran que la promoción o inhibición del crecimiento se observó a 2 mg/L o a 100 mg/L de selenito de sodio.

Cubero-Cardoso, Juan; Russo, Egidio; Serrano, Antonio; Trujillo-Reyes, Ángeles; Villa-Gomez, Denys; Esposito, Giovanni; Feroso, Fernando (2022)- SCOPUS

La digestión anaeróbica a pH 7 dio como resultado una acumulación insignificante de AGV, siendo degradados principalmente a metano. La operación a los otros pH resultó en una marcada caída en la producción de metano y, por lo tanto, en la acumulación de AGV. A pH 9, alrededor del 50 % de la DQO_{tot} alimentada (demanda química total de oxígeno) se acumuló como AGV. El ácido acético representó el 61% de estos AGV totales. La operación a pH 5 resultó en una menor acumulación de AGV, es decir, 15 % de DQO total alimentado, aunque el perfil de AGV fue más complejo que a pH 9. Los ácidos propiónico y butírico representaron el 43 % y el 32 %, respectivamente, del total de AGV acumulados a pH 5.

<p>Wang, Zhi; Sun, Yong; Qu, Jingbo; Yang, Fuli; Li, Jian; Yan, Beibei (2022)- SCOPUS</p>	<p>Los resultados mostraron que la adición de DW introdujo sustratos digestivos, es decir, ácido acético, en el sistema, lo que promovió la hidrólisis de CS. La adición/pretratamiento de DW cambió el contenido de azúcar reductor (RS), el pH y el contenido de ácidos grasos volátiles (AGV), y luego aumentó la producción acumulada de metano. La máxima producción acumulada de metano se logró en T1 (160,77 mL/g VS), seguido por T0 (152,87 mL/g VS) y el grupo control (CK, 138,29 mL/g VS).</p>
<p>Sillero, Leonor; Solera, Rosario; Perez, Montserrat (2022)- SCOPUS</p>	<p>De los resultados obtenidos, la tridigestión anaeróbica de los residuos arrojó los mejores resultados, con una eficiencia de remoción de demanda química total de oxígeno (TCOD) del 51%, eficiencia de remoción de sólidos volátiles (VS) del 57% y valores de rendimiento de metano de 261 mLCH₄/gVSañadido a una TRH de 13 días. En relación a los patógenos, ambos estudios de co-digestión abordados lograron inactivar suficientes patógenos en el efluente para ser clasificados como biosólidos clase A.</p>
<p>Pasteris, Andrea; Heiermann, Monika; Theuerl, Susanne; Plogsties, Vincent; Jost, Carsten; Prochnow, Annette; Herrmann, Christiane (2022) - SCOPUS</p>	<p>El sistema LBR de dos etapas reveló mayores rendimientos de metano (434 LN kgVS⁻¹) en comparación con el CSTR de una sola etapa (308 LN kgVS⁻¹). El contenido de metano del biogás osciló entre 53 y 59 % en ambos sistemas. Solo el CSTR exhibió acumulación de ácidos, liderado por la concentración de ácido propiónico (2.0 g L⁻¹). La capacidad de amortiguamiento del sistema LBR de dos etapas fue superior al CSTR. En ambos sistemas se presentaron interrupciones técnicas y declinación constante del contenido de amonio,</p>

asociadas a características propias del sorgo fibroso.

Fuente: elaboración propia

Dónde:

OLR: Tasa de carga orgánica.

ARD: Drenaje ácido de roca

La eficiencia energética (EE)

Valores caloríficos inferiores (LHV)

AGV: ácidos grasos volátiles.

Reactor de tanque de agitación continua (CSTR)

Reactor de lecho de lixiviación (LBR)

Segundo objetivo específico: Puntualizar la reducción del DBO y DQO después del tratamiento de residuos agrícolas a través de la nitrificación.

Tabla 4. DBO y DQO

Estudios	DBO	DQO
Chávez, A.; Ramírez, T.; Casallas, N. (2018) - EBSCO	Reducción de DBO en 99,6%	Reducción de DQO en 98%
Butzen, E.; Santos, G.; Fortuna, S.; Brião, V. (2020) - PROQUEST	DBO se eliminó en aproximadamente en un 88%	DQO se eliminó en aproximadamente un 90%.
Cárdenas-Calvachi, G.; Sánchez-Ortiz, I. (2020) - PROQUEST	DBO se eliminó en aproximadamente en un 94.4%	DQO se eliminó en aproximadamente un 91.7%.
Bezerra, A.; et al. (2020) - PROQUEST	DBO se eliminó en aproximadamente en un 98%	DQO se eliminó en aproximadamente un 81.17%.

de Oliveira, T.; et al. (2019) - PROQUEST	DBO se eliminó en aproximadamente en un 93.23%	DQO se eliminó en aproximadamente un 87.08%.
dos Santos, M.; et al. (2020) - PROQUEST	DBO se eliminó en aproximadamente en un 85.9%	DQO se eliminó en aproximadamente un 74.8%.
Penna, M.; et al. (2019) -EBSCO	DBO se eliminó en aproximadamente en un 90.5%	DQO se eliminó en aproximadamente un 67.2%.
Sertkaya, C.; Yurtay, N. (2018) - EBSCO	DBO se eliminó en aproximadamente en un 90%	DQO se eliminó en aproximadamente un 87%.
Darío, H.; Laura, M.; Escalada, G.; López, I.; Dwojak, A.; Litter, M. (2022)SCIENCEDIRECT	DBO se eliminó en aproximadamente en un 90%	DQO se eliminó en aproximadamente en un 90%
Hussain, A.; Lee, J.; Reid, R.; Lee, H. (2018)- SCIENCEDIRECT	DBO se eliminó en aproximadamente en un 80-91%	DQO se eliminó en aproximadamente en un 92-99%
Lucas, E.; Victoretti, M.; Araújo, B.; Domingues, M.; Carlos, J.; (2019)- SCIENCEDIRECT	DBO se eliminó en aproximadamente en un 97%	DQO se eliminó en aproximadamente en un 96%
El Morabet, R.; Khan, A.; Mallick, J.; Khan, N.; Ahmed, S.; Dhingra, A.; Rahman, A.; Alsubih, M.; Alqadhi, S.; Bindaja, A. (2020)- SCIENCEDIRECT	DBO se eliminó en aproximadamente en un 92%	DQO se eliminó en aproximadamente en un 29%
Ahmad, S.; Rajpal, A.; Kazmí, A. (2021) - SCIENCEDIRECT	DBO se eliminó en aproximadamente en un 91%	DQO se eliminó en aproximadamente en un 90%
Alsubih, M.; El morabet, R.; Abad, R.; Khan, R.; Khan, N.; Rahman, R.; Sharma, G. (2021)- SCIENCEDIRECT	DBO se eliminó en aproximadamente en un 69%	DQO se eliminó en aproximadamente en un 72%

Khan, N.; El Morabet, R.; Abad, R.; Ahmed, S.; Dhingra, A.; Alsubih, M.; Khan, A. (2020)- SCIENCE DIRECT	DBO se eliminó en aproximadamente en un 61%	DQO se eliminó en aproximadamente en un 28%
Fonseca, G.; Almeria, R.; Frederigi, R.; Bueno, G.; Lucas, E. (2021) - SCIENCE DIRECT	DBO se eliminó en aproximadamente en un 98%	DQO se eliminó en aproximadamente en un 86%
Manirakiza, B.; Cemenovich, A. (2021) - SCIENCE DIRECT	DBO se eliminó en aproximadamente en un 75.6%	DQO se eliminó en aproximadamente en un 67.3%
Nneka, P.; Mierzwa, J.; Prakash, D. (2020)- SCIENCE DIRECT	DBO se eliminó en aproximadamente en un 90.6%	DQO se eliminó en aproximadamente en un 92.1%
Dinh, N.; Nguyen, T.; Kumar, A.; Duc, L.; Phuong, N.; Nguyen, D.; Chung, J.; Chang, S.; Tuan, P. (2021)- SCIENCE DIRECT	DBO se eliminó en aproximadamente en un 64.1%	DQO se eliminó en aproximadamente en un 76.4%
Chand, N.; Suthar, S.; Kumar, K. (2021)- SCIENCE DIRECT	DBO se eliminó en aproximadamente en un 96.07%	DQO se eliminó en aproximadamente en un 94.77%
Rajpal, A.; Srivastava, G.; Bhatia, A.; Singh, J.; Ukai, Y.; Kazmi, A. (2021)- SCIENCE DIRECT	DBO se eliminó en aproximadamente en un 95%	DQO se eliminó en aproximadamente en un 90%
Saeed, T.; Miah, J.; Majed, N.; Alam, K.; Khan, T. (2021)- SCIENCE DIRECT	DBO se eliminó en aproximadamente en un 89%	DQO se eliminó en aproximadamente en un 76%
Horng, N.; Chiemchaisri, C.; Chiemchaisri, W.; Shoda, M. (2020)- SCIENCE DIRECT	DBO se eliminó en aproximadamente en un 76%	DQO se eliminó en aproximadamente en un 70%
Hamada, M.; Ibaid, Z.; Shatat, M. (2021)- SCIENCE DIRECT	DBO se eliminó en aproximadamente en un 98%	DQO se eliminó en aproximadamente en un 98%

Lombard-Latunea, R.; Pelus, L.; Finac, N.; L'Etang, F.; Guennec, B.; Molle, P. (2018)- SCIENCE DIRECT	DBO se eliminó en aproximadamente en un 97%	DQO se eliminó en aproximadamente en un 95%
--	---	---

Fuente: elaboración propia

Donde:

DQO: demanda química de oxígeno

DBO: demanda bioquímica de oxígeno

Tercer objetivo específico: Precisar el impacto ambiental del tratamiento de residuos agrícolas por digestión anaerobia y nitrificación.

Tabla 5. *Impacto ambiental*

Estudios	Rendimientos
Liyanage, T.; Babel, S. (2022) - SCOPUS	Se llegará a utilizar como método para aumentar la producción de metano. Desde un punto de vista económico, es más adecuado para materias primas menos digeribles, como desechos de jardín o desechos agrícolas, que los desechos de alimentos, ya que requiere energía.
Zheng, H., et al. (2022)- SCOPUS	Se llega a reducir la contaminación ambiental, además se estimula el desarrollo sostenible de las granjas porcinas y se promueve la neutralidad del carbono y el desarrollo económico a través de la producción efectiva de bioenergía
Dell'Omo, P.; Spina, V. (2020)- SCOPUS	Se ha demostrado que los resultados de las pruebas de BMP (Potencial de biometano) dan una buena predicción de la producción real de biogás, los resultados del presente estudio sugieren que el pretratamiento investigado podría implementarse con éxito para mejorar la producción de metano y eficiencia en digestores anaerobios. Detallándose

	que, el costo adicional por la energía adicional generada por el pretratamiento es totalmente compatibles con los precios de venta vigentes, lo cual es bueno al medio ambiente.
Sumardiono, S.; et al. (2021)- SCOPUS	Los residuos sólidos de sagú son una fuente potencial de producción de energía renovable en forma de biogás, siendo una fuente amigable al medio ambiente.
Jun-Gyu, Park; Shin, Won-Beom; Shi, Wei-Qi; Jun, Hang-Bae. (2019)- ProQuest	Las comunidades densas activadas electroquímicamente de bacterias exoelectrogénicas y bacterias oxidantes de AGV impidieron que los ácidos grasos volátiles (AGV) se acumularan dentro del reactor BEAD. Esto mantuvo condiciones estables de pH y alcalinidad, lo que finalmente contribuyó a una producción estable de metano.
Feng, Kai; Wang, Qiao; Li, Huan; Du, Xinrui; Zhang, Yangyang (2021)- SCIENCE DIRECT	La separación de fases disminuyó la proporción de bacterias a arqueas en la metanogénesis. El control del pH mejora la conversión de proteína a metano en TPAD.
Zhang, Lee; Yao, Dingding; Tsui, To-Hung; Loh, Kai-Chee; Wang, Chi-Hwa; Dai, Yanjun; Wah, Yen (2022)- SCOPUS	Los rendimientos mejorados de metano en los digestores modificados con biochars podrían atribuirse parcialmente al enriquecimiento selectivo del género Methanosarcina, lo que conduce a un equilibrio mejorado entre las vías de metanogénesis hidrogenotrófica y acetoclástica.
Zhu, Hongguang; Yang, Jing; Cheng, Xiaowei (2019)- SCOPUS	Con un tiempo de retención hidráulica (HRT) de 30 días y la proporción de adición en el rango de 0 a 6% para un digestor continuo. Podría obtener una mejor producción de gas y una mayor utilización de materia prima.

Xiao-Fei, Zhao; Yan-Qi, Yuan; Qing-Kong, Chen; Li, Qi; Huang, Yan; et al, (2021)- El sistema TS (sólidos totales) entre 15% y 20% se puede utilizar como valor recomendado en el diseño de ingeniería de digestión anaeróbica para tratar los residuos de alimentos.

SCOPUS

Wang, Xiaona; Guan, Weijie; Ma, Xinxin; Zhang, Shuang; Wang, Qunhui; Wu, Chuanfu La codigestión de FW y SMS para producir metano tiene cierta viabilidad técnica, pero ayuda a reducir los niveles de desechos alimenticios.

(2022)- SCOPUS

Singh, Dilbaga; Malik, Kamla; Sindhu, Meena; Los IONP mejoraron el rendimiento de biogás y metano en comparación con los controles.

Kumari, Nisha; Rani, Vijaya; Mehta, Shikha; Malik, Karmal; Ranga, Poonam; Sharma, Kashish; Dhull, Neeru; Malik, Shweta; Arya, Nisha (2022)-

SCOPUS

Zambrano-Romero, Aracely; Ramirez-Villacis, Dario; Trueba, Gabriel; Sierra-Alvarez, Reyes; Leon-Reyes, Antonio; Cardenas, Paul; Ochoa-Herrera, Valeria Los ASV con abundancia relativa <2% al inicio representaron el 65% de la comunidad microbiana y el 21% al final del período de estudio. Por lo tanto, los resultados muestran que la comunidad microbiana perdió gradualmente diversidad mientras que el sistema de tratamiento fue altamente eficiente para remediar ARD.

(2022)-

SCOPUS

Caballero-Caballero, Magdaleno; Chiñas-Castillo, Fernando; Gómez-Guerrero, El inóculo de AS en una relación de 0.25 S/l proporcionó la cantidad y el tipo adecuados de microorganismos (como Methanosarcina) y también la capacidad amortiguadora para mejorar

<p>Agustín; Valdez- Vazquez, Idania; Alavez-Ramirez, Rafael; Montes Bernabe, José (2022)- SCOPUS</p>	<p>notablemente la puesta en marcha de un digestor anaerobio que trataba los residuos mixtos de agave.</p>
<p>Song, Yingjin; Meng, Shuyan; Chen, Guanyi; Yan, Beibei; Zhang, Yingxiu; Tao, Junyu; Li, Yihang; Li, Jinlei (2021)- SCOPUS</p>	<p>La estructura de la comunidad microbiana cambió con la adición del sustrato. El aumento del desperdicio de alimentos y los residuos de tofu contribuyeron al enriquecimiento de Methanosarcina. La composición de la comunidad de arqueas, especialmente la proporción de Methanosaeta, se alteró con la proporción de desechos del jardín.</p>
<p>Hurtado, Andrea; Hernández, Diana; Fuentes, Karol; Chaparro, Tatiana (2021)- SCOPUS</p>	<p>Este proceso, pudo reducir el nivel de los residuos.</p>
<p>Li, Yi; Gong, Xinglong; Cui, Tiehao; Rong, Fangzhou; Zhang, Xuanxuan; Zhang, Zhen; Gu, Shiyang; Yi, Weiming (2021)- SCOPUS</p>	<p>La adición de bentonita de microondas promovió de manera eficiente el proceso de humificación de los residuos de biogás. La razón fue que la superficie de la bentonita cambió de lisa y densa a áspera y porosa después del calentamiento por microondas, donde se proporcionaron más sitios de adsorción para el metal pesado Cr, mejorando así la capacidad de pasivación del humus y la bentonita sobre los metales pesados. El hallazgo puede proporcionar una referencia científica para la pasivación de metales pesados mediante la fermentación anaeróbica de estiércol de ganado, reduciendo aún más la contaminación de metales</p>

	pesados en fertilizantes de biogás para la utilización segura de desechos.
Wang, Bingham; Ma, Jiaying; Zhang, Liangmao; Su, Yinglong; Xie, Yiqi; Ahmad, Zahoor; Xie, Bing (2021)- SCOPUS	AcoD aumentó la diversificación de especies y la abundancia relativa de bacterias de fermentación en los digestores, y Methanosaeta predominó en las comunidades metanógenas. Se demostró una estrategia AcoD limpia y sostenible para la eliminación segura de los desechos alimentarios urbanos y reveló la variación de la comunidad microbiana, que puede proporcionar una base para la recuperación eficiente de bioenergía a partir de la basura doméstica urbana.
Wang, Su; Shi, Fengmei; Li, Pengfei; Yang, Fengshan; Pei, Zhanjiang; Yu, Qiuyue; Zuo, Xin; Liu, Jie (2022)- SCOPUS	El biocarbón no tuvo un efecto obvio sobre la función de la flora bacteriana, pero inhibió el metabolismo de los carbohidratos por parte de las bacterias y la biosíntesis y el metabolismo de los glicanos por parte de las arqueas en el sistema de fermentación anaeróbica, al tiempo que promovía el metabolismo de los lípidos por parte de las arqueas. La adición de biochar inhibió la producción de ácido acético en el sistema de fermentación anaeróbica y promovió la producción de metano en base a los niveles de hidrógeno y dióxido de carbono.
Hossain, Shahadat; Karim, Tahmid; Onik, Mahade; Kumar, Deepak; Rahman, Anisur; Yousuf, Abu; Uddin, Mohammad (2022)- SCOPUS	La producción de biogás con esta importante cantidad de CH ₄ justifica el uso del proceso DAD para la generación de energía (biogás) a partir de materia prima de biomasa (RSM) ampliamente disponible, lo que ofrece diversas ventajas para el medio ambiente.
Hussaro, K. (2022)- SCOPUS	Este sistema de codigestión anaeróbica D1-D3 puede considerarse como el sistema de elección

	correcto para el tratamiento de aguas residuales de atún que brinda un beneficio en la producción de energía renovable (biogás).
Roy, Chapol; Hoshiko, Yuki; Toya, Shotaro; Maeda, Toshinari (2022)- SCOPUS	El selenito de sodio tiene un efecto doble durante la digestión anaeróbica de WSS (lodos de depuradora), como lo demuestran los resultados de que la producción de metano se promovió a una concentración baja y se inhibió a una concentración alta.
Cubero-Cardoso, Juan; Russo, Egidio; Serrano, Antonio; Trujillo-Reyes, Ángeles; Villa-Gomez, Denys; Esposito, Giovanni; Feroso, Fernando (2022)- SCOPUS	Una adecuada gestión de este sustrato trae beneficio para el sector de los frutos rojos, en lugar de un costoso residuo a tratar.
Wang, Zhi; Sun, Yong; Qu, Jingbo; Yang, Fuli; Li, Jian; Yan, Beibei (2022)- SCOPUS	La adición de DW facilitó levemente la etapa hidrolítica y acidogénica, y el pretratamiento facilitó aún más esta etapa.
Sillero, Leonor; Solera, Rosario; Perez, Montserrat (2022)- SCOPUS	Se detalla que, la tridigestión anaeróbica como una tecnología prometedora, que permite valorizar los residuos orgánicos, obtener biogás y biosólidos clase A, avanzando hacia una bioeconomía circular.
Pasteris, Andrea; Heiermann, Monika; Theuerl, Susanne; Plogsties, Vincent; Jost, Carsten; Prochnow, Annette; Herrmann,	El biogás producido puede ser controlado por la demanda y adaptable regionalmente, pero se requieren materias primas sostenibles. La DA de la biomasa de sorgo se puede realizar de manera efectiva en condiciones controladas, generando altos rendimientos de metano en ambos tipos de sistemas.

Christiane (2022) -

SCOPUS

Fuente: elaboración propia

Donde:

DA: Digestión anaeróbica

DAD: Digestión anaeróbica seca.

DW: aguas residuales de despolimerización .

V. CONCLUSIONES

- Se logró describir la eficiencia del tratamiento biológico de residuos agrícolas por digestión anaerobia y nitrificación, evidenciándose los resultados a través de indicadores del pH, DQO, DBO y metano.
- Se comparó bibliográficamente los rendimientos del tratamiento biológico de residuos agrícolas por digestión anaerobia, notándose aumento de niveles de pH y metano, ejecutándose diferentes ensayos realizados, para encontrar el más óptimo, bordeando a una temperatura de 80°C aumentándose hasta un 261.08% en residuos de paja de arroz pretratada, apareciendo nuevas tecnologías como lo es la tridigestión anaeróbica.
- Se puntualizó la reducción del DBO y DQO después del tratamiento de residuos agrícolas a través de la nitrificación, obteniéndose valores de DBO de 61%-99.6% y de DQO con valores entre 28%-99%.
- Se precisó el impacto ambiental del tratamiento de residuos agrícolas por digestión anaerobia y nitrificación, manifestándose que, con estos tratamientos se logra aumentar los niveles de metano, aumentándose la producción de energía renovable, disminuyendo proporción de bacterias, facilitándose la bioeconomía circular.

VI. RECOMENDACIONES

- Realizar un estudio más profundo en base a más indicadores sobre el tratamiento biológico de residuos agrícolas por digestión anaerobia y nitrificación,
- Explorar nuevas tecnologías evaluándose los niveles de aumento de pH y metano, obteniéndose indicadores óptimos.
- Realizar un plan de reducción de DBO y DQO después del tratamiento de todo tipo de residuos a través de la nitrificación.
- Ejecutar experimentación con distintos ensayos en una determinada zona, para evaluar el impacto ambiental que deja el tratamiento de los residuos.

REFERENCIAS

AGRICULTURAL wastes co-densification: A solution for seasonal feedstock storage and anaerobic digestion performance improvement. TAO, Luo, et al. 2022. *Bioresource Technology*. India: s.n., 2022. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852421016874>
ISSN: 0960-8524

AHMAD, S., RAJPAL, A. and KAZMÍ, A. *Upgradation of conventional MBBR into Aerobic/Anoxic/Aerobic configuration: A case study of carbon and nitrogen removal based sewage treatment plant*. 2021. Uttarakhand: Journal of Water Process Engineering, 2021, Vol. 40. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2021.101921>.

AHMADI-PIRLOU, MANSOUR, et al. *Mesophilic co-digestion of municipal solid waste and sewage sludge: Effect of mixing ratio, total solids, and alkaline pretreatment*. 2017. s.l. : International Biodeterioration & Biodegradation, 2017, Vol. 125.
ISSN: 0964-8305.

AHMED, Manal, et al. 2022. Fruit peel waste-to-wealth: Bionanomaterials production and their applications in agroecosystems. *Agri-Waste and Microbes for Production of Sustainable Nanomaterials*. Egipto: Plant Pathology Research Institute, 2022.

ALMOMANI, Fares and BHOSALE, Rahul R. *Enhancing the production of biogas through anaerobic co-digestion of agricultural waste and chemical pre-treatments*. 2020. s.l. : Chemosphere, 2020, Vol. 255. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S004565352030998X>
ISSN: 0045-6535.

ALSUBIH, M., et al. *Performance evaluation of aerobic fluidized bed bioreactor coupled with tube-settler for hospital wastewater treatment*. 2021. 5, Mohammedia : Journal of Environmental Chemical Engineering, 2021, Vol. 9. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213343721008733>
ISSN: 2213-3437

ANAEROBIC co-digestion of cattle rumen content and food waste for biogas production: Establishment of co-digestion ratios and kinetic studies. IHOEGHIAN, Newton A, [et al]. 2022. s.l. : Bioresource Technology Reports, 2022, Vol. 18. ISSN: 2589-014X.

APPLICATION of a Fenton process after a biological nitrification treatment: A successful case for leachate treatment. 2022. DARÍO, H., [et al.]. Posadas : Case Studies in Chemical and Environmental Engineering, 2022, Vol. 5.

ASSESSMENT of energy efficiency and performance in a two-phase anaerobic process for organic matter removal. HURTADO, Andrea, [et al]. 2021. 3, Bogotá : Water Science and Technology, 2021, Vol. 84. 2021. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34388126/>

A REVIEW of the Processes, Parameters, and Optimization of Anaerobic Digestion. MEEGODA, Jay N, [et al]. 2018. 10, s.l. : Internacional Journal of Environmental Research and Public Health, 2018, Vol. 15. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6210450/>

BAMBA, J. N. Y., ALMENDRALA, M. C. and CAPARANGA, A. R. 2021. Effect of Biochemical Pretreatment and Nutrient Supplementation on Anaerobic Co-Digestion of Sugarcane Press Mud and Distillery Effluent. *International Conference on Future Environment and Energy.* Philippines : School of Chemical, Biological and Materials Engineering and Sciences, 2021. Disponible en: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/801/1/012001/meta>

BASILE, Angelo, et al. 2020. Waste feedstocks for sustainable chemicals and fuels. *Studies in Surface Science and Catalysis.* 2020. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780444643377000112>

BERNAL, César. 2010. *Metodología de la investigación.* COLOMBIA : PEARSON EDUCACIÓN, 2010. 978-958-699-128-5.

BEZERRA, A., et al. *Desempeño de filtros lentos de arena en el postratamiento de efluentes del centro textil del estado de Pernambuco.* 2020. 6, Taubaté : Revista Ambiente & Água, 2020, Vol. 15.

BIESDORF BORTH, Priscila Liane, et al. *Pilot-scale anaerobic co-digestion of food and garden waste: Methane potential, performance and microbial analysis*. 2022. s.l. : Biomass and Bioenergy, 2022, Vol. 157. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0961953421003664> ISSN: 0961-9534.

BIOLOGICAL treatment of saline domestic wastewater by using a down-flow hanging sponge reactor. DINH, N., [et al.]. Gujarat : Chemosphere, 2021, Vol. 283. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653521015733> ISSN: 0045-6535

BIOMASS hydrolysis inhibition at high hydrogen partial pressure in solid-state anaerobic digestion. CAZIER, E. A. [et al.]. *Bioresource Technology*. Francia : Laboratoire de Biotechnologie de l'Environnement, 2015. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852415005623> ISSN: 0960-8524

BIOSTIMULATION of Anaerobic Digestion Using Iron Oxide Nanoparticles (IONPs) for Increasing Biogas Production from Cattle Manure. SINGH, Dilbaga, et al. 2022. 3, Hisar : Nanomaterials, 2022, Vol. 12. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2079-4991/12/3/497>

BONG, Cassendra Phun Chien, et al. *The characterisation and treatment of food waste for improvement of biogas production during anaerobic digestion – A review*. 2018. s.l. : Journal of Cleaner Production, 2018, Vol. 172. ISSN: 0959-6526. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652617325088> ISSN 0959-6526

BORJA, Rincón. 2017. Biogas Production. *Reference Module in Life Sciences*. España : s.n., 2017.

BUTZEN, E., et al. *Biorreactor de membrana para tratamiento de aguas residuales de centros comerciales*,. 2020. 2, Taubaté : Revista Ambiente & Água, 2020, Vol. 15.

CABALLERO-CABALLERO, Magdaleno, et al. *Activated sludge as inoculum improves methane production and community functionality during the anaerobic digestion of mixed agave wastes*. 2022. Oaxaca : Biomass Conversion and Biorefinery, 2022. 21906815. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s13399-022-02718-4>

CÁRDENAS-CALVACHI, G. and SÁNCHEZ-ORTIZ, I. *Sistema acuícola recirculante con reactor de lecho fluidizado trifásico: Eliminación de carbono y nitrógeno*. 2020. 97, Medellín : Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia, 2020.

CALAVRO, Paolo and PANZERA, María. 2018. Anaerobic digestion of ensiled orange peel waste: preliminary batch results. *Thermal Science and Engineering Progress*. 2018. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2451904917303396>
ISSN 2451-9049

CHAND, N., SUTHAR, S. and KUMAR, K. *Wastewater nutrients and coliforms removals in tidal flow constructed wetland: Effect of the plant (Typha) stand and biochar addition*. 2021. New Delhi : Journal of Water Process Engineering, 2021, Vol. 43. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214714421003792>
ISSN: 2214-7144

CHANDRA, Vimal and BAUDDH, Kuldeep. 2018. Recent Advances, Challenges, and Opportunities in Bioremediation of Hazardous Materials. *Phytomanagement of Polluted Sites*. India : Elsevier Inc. All, 2018.

CHÁVEZ, A., RAMÍREZ, T. and CASALLAS, N. *Nitrificación en el tratamiento de lodos de lixiviados en un reactor biológico discontinuo secuencial - SBBR*. 2018. 1, Nueva Granada : Producción Más Limpia, 2018, Vol. 13, pp. 75-82. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-04552018000100075
ISSN: 1909-0455.

CHANGES of Bacterial Communities in an Anaerobic Digestion and a Bio-Electrochemical Anaerobic Digestion Reactors According to Organic Load. JUN-

GYU, Park, et al. 2019. 15, s.l.: Energies, 2019, Vol. 12. Disponible en: <https://www.mdpi.com/1996-1073/12/15/2958>

CO-DIGESTION of garden waste, food waste, and tofu residue: Effects of mixing ratio on methane production and microbial community structure. SONG, Yingjin, et al. 2021. 5, Lhasa: Journal of Environmental Chemical Engineering, 2021, Vol. 9. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213343721008782>
ISSN: 2213-3437,

COMPARATIVE study of submerged membrane bioreactor and extended aeration process coupled with tubesettler for hospital wastewater treatment. EL MORABET, R., [et al.]. 2020. 6, Mohammedia: Alexandria Engineering Journal, 2020, Vol. 59. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1110016820304099>
ISSN: 1110-0168

CORTÉS, Manuel and IGLESIAS, Miriam. 2004. *Generalidades sobre Metodología.* México: s.n., 2004.

CRUZ, María. 2020. *El análisis documental: indización y resumen en bases de datos especializadas.* 2020.

DEEPER insights into effect of activated carbon and nano-zero-valent iron addition on acidogenesis and whole anaerobic digestion. RUMING, Wanga, et al. 2021. *Bioresource Technology.* China: s.n., 2021. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33450626/>

DELL'OMO, P. and SPENA, V. *Pretratamiento mecánico de biomasa lignocelulósica para mejorar la producción de biogás: Comparación de resultados para caña gigante y paja de trigo.* 2020. 117798, Roma: Energy, 2020, Vol. 203.

DOF/DAF comparación para el tratamiento de aguas residuales de la industria láctea. DOS SANTOS, M., [et al.]. 2020. 5, Viçosa: Revista Ambiente e Água, 2020, Vol. 15. 1980-993X.

EFECTOS del pretratamiento y la proporción de desechos sólidos de sagú a rumen en la producción de biogás a través de la digestión anaeróbica en estado sólido., SUMARDIONO, S., et al. 2021. 7491, Indonesia : Sustainability, 2021, Vol. 13.

EFFECT of different concentrations of sodium selenite on anaerobic digestion of waste sewage sludge. ROY, Chapol, [et al]. 2022. Kitakyushu : Environmental Technology and Innovation, 2022, Vol. 27.
ISSN: 23521864.

EFFECTS of enzyme addition on biogas and methane yields in the batch anaerobic digestion of agricultural waste (silage, straw, and animal manure). TOBIAS, Weide, [et al]. 2020. *Biomass and Bioenergy*. United Kingdom : s.n., 2020. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953419303915>
ISSN: 0961-9534

EFFECTS of digestion duration on energy efficiency, compost quality, and carbon flow during solid state anaerobic digestion and composting hybrid process. CHUANREN, Qi, [et al.]. *Science of The Total Environment*. s.l. : España, 2022. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S004896972106441X>
ISSN: 0048-9697

EFFECT of effluent recirculation on nutrients and organics removal performance of hybrid constructed wetlands: Landfill leachate treatment. SAEED, T., [et al]. 2021. Dhaka: Journal of Cleaner Production, 2021, Vol. 282. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652620354731>
ISSN: 0959-6526

EFFECT of pig manure with bentonite on chromium passivation in anaerobic fermentation. LI, Yi, [et al]. 2021. 8, Shenyang: Nongye Gongcheng Xuebao/Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2021, Vol. 37. 10026819. Disponible en: <http://www.tcsae.org/nygcxben/article/abstract/20210822>

ENERGY recovery from food waste and garden and park waste: Anaerobic co-digestion versus hydrothermal treatment and anaerobic co-digestion. SUAREZ, Eneko, et al. 2022. s.l. : Chemosphere, 2022, Vol. 297.

ISSN: 0045-6535.

ENHANCING the recovery of volatile fatty acids from strawberry extrudate through anaerobic fermentation at different pH values. 2022. CUBERO-CARDOSO, Juan, et al. Sevilla : Environmental Technology and Innovation, 2022, Vol. 28. 23521864.

FARES, Almomani and RAHUL, Bhosale. 2020. Enhancing the production of biogas through anaerobic co-digestion of agricultural waste and chemical pre-treatments. *Chemosphere*. Amsterdam, : s.n., 2020. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S004565352030998X>

ISSN: 0045-6535

FREY, Bruce. 2018. *The SAGE encyclopedia of educational research, measurement, and evaluation.* 2018.

HAMADA, M., IBAID, Z. and SHATAT, M. *Performance of citrus charcoal and olivepomace charcoal as natural substrates in the treatment of municipal wastewater by vertical flow subsurface constructed wetlands.* 2021. Gaza Strip : Bioresource Technology Reports, 2021, Vol. 15. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2589014X21001791>

ISSN: 2589-014X

HANSEN, ConlyL and CHEONG, Dae Yeol. 2019. Agricultural Waste Management in Food Processing. *Handbook of Farm, Dairy and Food Machinery Engineering.* Tercera. s.l. : Elseiver, 2019, pp. 673-716. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128148037000269>.

ISBN: 9780128148037

HORIZONTAL sub surface flow Constructed Wetlands coupled with tubesettler for hospital wastewater treatment. KHAN, N., [et al]. 2020. Abha : Journal of Environmental Management, 2020, Vol. 267.

HUSSARO, K. *Effects of Oil Palm Shell Biochar to Tuna Wastewater on Biogas Production and Methane Yield by Anaerobic Sequencing Batch Reactor (ASBR): Mesophilic Condition.* 2022. 4, Phutthamonthon : GMSARN International Journal, 2022, Vol. 16. 19059094.

IMPACT of temperature, inoculum flow pattern, inoculum type, and their ratio on dry anaerobic digestion for biogas production. HOSSAIN, Shahadat, [et al]. 2022. 1, NY : Scientific Reports, 2022, Vol. 12. 20452322. Disponible en: <https://www.nature.com/articles/s41598-022-10025-1#citeas>

INVESTIGATING the performance of internet of things based anaerobic digestion of food waste. LOGAN, Mohanakrishnan, et al. 2019. *Process Safety and Environmental Protection*. Tailandia : s.n., 2019. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957582019304239>

ISSN: 0957-5820

KUMAR, Atul and SAMADDER, S R. *A review on technological options of waste to energy for effective management of municipal solid waste.* 2017. s.l. : Waste Management, 2017, Vol. 69.

ISSN: 0956-053X.

KUMAR, Atul and SAMADDER, S R. *Performance evaluation of anaerobic digestion technology for energy recovery from organic fraction of municipal solid waste: A review.* 2020. s.l. : Energy, 2020, Vol. 197.

ISSN: 0360-5442.

LIYANAGE, T. and BABEL, S. *Mejora de la producción de metano en la digestión anaeróbica de residuos alimentarios mediante pretratamiento térmico.* 2022. 1, s.l. : Environment and Natural Resources Journal, 2022, Vol. 20.

LORNA GUERRERO, Mario José Lucero. *Tratamiento biológico de residuos agrícolas por digestión anaerobia y nitrificación - desnitrificación.* 2021. 3, s.l. : Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales, 2021, Vol. 14.

ISSN: 0718-378X.

LORNE, Hofseth. 2018. *Getting rigorous with scientific rigor.* s.l. : College of Pharmac, 2018. Vol. 39.

MANIRAKIZA, B. and CEMENOVICH, A. *Bioaugmentation of nitrifying bacteria in up-flow biological aerated filter's microbial community for wastewater treatment and analysis of its microbial community.* 2021. Kigali : Scientific African, 2021, Vol. 14.

Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2468227621002854>

ISSN: 2468-2276

MAROTTI, Adriana and WOOD, Thomaz. 2019. What is applied research anyway?

2019, Vol. 26, 4. Disponible en: <https://bit.ly/3NF7h4v>

ISSN: 2177-8736

MITTAL, Shivika, AHLGREN, Erik O and SHUKLA, P R. *Barriers to biogas dissemination in India: A review*. 2018. s.l. : Energy Policy, 2018, Vol. 112. ISSN:

0301-4215.

MICROBIAL mechanism of enhancing methane production from anaerobic digestion of food waste via phase separation and pH control. FENG, Kai, [et al.].

2021. Shenzhen: Journal of Environmental Management, 2021, Vol. 288.

Disponible

en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479721005223>

ISSN: 0301-4797

MONJE, Carlos. 2012. *Metodología de la investigación cuantitativa y cualitativa* .

Colombia : s.n., 2012.

MORENO, Begoña, et al. 2018. Revisiones Sistemáticas: definición y nociones

básicas. 2018, Vol. 11, 3.

NING, Fuer, OU, Sheng-Jung and LEE, Yann-Long. *Cognitive Research on the Development of Agricultural Waste Resource Treatment Technology for a Sustainable Environment*. 2021. Chongqing, China : IOP Conference Series: Earth

and Environmental Science, 2021, Vol. 811. Disponible en:

<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/811/1/012002>

NNEKA, P., MIERZWA, J. and PRAKASH, D. *Evaluation of aerobic biological process with post-ozonation for treatment of mixed industrial and domestic wastewater for potential reuse in agriculture*. 2020. Guildford: Bioresource

Technology, 2020, Vol. 318. Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852420314747>

ISSN 0960-8524

MULTI-ADVANTAGEOUS sorghum as feedstock for biogas production: A comparison between single-stage and two-stage anaerobic digestion systems. PASTERIS, ANDREA, [et al]. 2022. Potsdam : Journal of Cleaner Production, 2022, Vol. 358. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652622015931>
ISSN: 0959-6526

PENNA, M., et al. *Uso de processo oxidativo avançado para o tratamento de efluente de indústria de celulose.* 2019. 2, Curitiba : O Papel. fev, 2019, Vol. 80. ISSN: 0031-1057.

PEÑA, Tania and PIRELA, Johann. 2007. *La complejidad del análisis documental.* Argentina : Revista del Instituto de Investigaciones, 2007.

PILOT-SCALE investigation on the feasibility of simultaneous nitrification and denitrification (SND) in a continuous flow single-stage membrane bioreactor. LUCAS, E., [et al]. 2019. São Paulo : Journal of Water Process Engineering, 2019, Vol. 32. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214714419304817>
ISSN: 2214-7144

POLLUTANT removal, electricity generation and microbial community in an electrochemical membrane bioreactor during co-treatment of sewage and landfill leachate. FONSECA, G., [et al.]. 2021. 5, São Paulo : Journal of Environmental Chemical Engineering, 2021, Vol. 9. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213343721011829>
ISSN: 2213-343

PRODUCTION and performance of bio-based mineral fertilizers from agricultural waste using ammonia (stripping-)scrubbing technology. SIGURNJA, et al. 2019. *Waste Management.* Italia : s.n., 2019. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X19301758>
ISSN: 0956-053X,

OPTIMIZATION to maximize nitrogen removal and microbial diversity in PVA-gel based process for treatment of municipal wastewater. RAJPAL, A., [et al]. 2021.

Ehime : Environmental Technology & Innovation, 2021, Vol. 21. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S235218642031614X>
ISSN: 2352-1864

RESILIENCE and reliability of compact vertical-flow treatment wetlands designed for tropical climates. LOMBARD-LATUNEA, R., [et al]. 2018. Villeurbanne : Science of The Total Environment, 2018, Vol. 642. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969718320989>
ISSN: 0048-9697

REUSO de águas cinzas: estudo de caso da eficiência de dois tipos de filtros intermitentes de areia no tratamento de água cinza sintética. DE OLIVEIRA, T., [et al.]. 2019. 32, Santa Maria : Ciencia e Natura, 2019, Vol. 41. Disponible en: <https://bit.ly/3z9CngR>
ISSN: 2179-460X.

SÁNCHEZ, Hugo, REYES, Carlos and MEJÍA, Katia. 2018. *Manual de terminos en investigacion cientifica, tecnologica y humanistica.* Lima : Universidad Ricardo Palma, 2018. 978-612-47351-4-1.

SERTKAYA, C. and YURTAY, N. *Estimación de parámetros de aguas residuales basada en el sistema inmunológico artificial.*,. 2018. 26, Sakarya : Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences, 2018.

SILLERO, Leonor, SOLERA, Rosario and PEREZ, Montserrat. *Improvement of the anaerobic digestion of sewage sludge by co-digestion with wine vinasse and poultry manure: Effect of different hydraulic retention times.* 2022. Cádiz : Fuel, 2022, Vol. 321. 00162361.

SOLIVA, M. 2020. *Guía metodológica para la implementación de la recogida selectiva de la materia orgánica.* Castilla : s.n., 2020.

STUDY on anaerobic co-digestion of municipal sewage sludge and fruit and vegetable wastes: Methane production, microbial community and three-dimension fluorescence excitation-emission matrix analysis. JIANG, Xinru, [et al]. 2022. s.l. : Bioresource Technology, 2022, Vol. 347.
ISSN: 0960-8524.

SUBIRATS, Jessica, SHARP, Hannahe and TOPP, Edward. 2022. Fate of Clostridia and other spore-forming Firmicute bacteria during feedstock anaerobic digestion and aerobic composting. *Journal of Environmental Management*. Canadá : Elsevier Science, 2022. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030147972200216X>
ISSN: 0301-4797

TOERIEN, Hattingh. 2003. Anaerobic digestion I. The microbiology of anaerobic digestion. *Water Research*. Sudáfrica : s.n., 2003.

TREATMENT of municipal landfill leachate at different stabilization stages in two-stage membrane bioreactor bioaugmented with Alcaligenes faecalis no. 4. HORNG, N., [et al.]. 2020. Bangkok : Bioresource Technology Reports, 2020, Vol. 11. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2589014X20301493>
ISSN: 2589-014X

TRIAD. 2016. *An introduction to document analysis*. 2016.

UPFLOW anaerobic-microaerobic fixed biofilm reactor integrating methanogenesis with partial nitrification. HUSSAIN, A., et al. 2018. Ontario : Chemical Engineering Journal, 2018, Vol. 348. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1385894718308039>
ISSN: 1385-8947

VALENTI, Francesca, et al. 2021. Effects of Mediterranean agricultural residues on microbial community and anaerobic digestion performance. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*. 2021.

WANG, Bingham, et al. *The synergistic strategy and microbial ecology of the anaerobic co-digestion of food waste under the regulation of domestic garbage classification in China*. 2021. Shanghai : Science of the Total Environment, 2021, Vol. 765. 00489697.

WANG, Su, et al. *Effects of rice straw biochar on methanogenic bacteria and metabolic function in anaerobic digestion*. 2022. 1, Harbin : Scientific Reports, 2022, Vol. 12. 20452322.

WANG, Xiaona, et al. *Enhancement of Food Waste Thermophilic Anaerobic Digestion with Supplementing Spent Mushroom Substrate: Synergistic Effect and Stability*. 2022. 6, Beijing : Waste and Biomass Valorization, 2022, Vol. 13.

WANG, Zhi, et al. *Effects on mesophilic anaerobic digestion performance of corn stalk with the addition/pretreatment of depolymerization wastewater*. 2022. Harbin : Fuel, 2022, Vol. 322. 00162361.

WASTE feedstocks for sustainable chemicals and fuels. SALLADINI, Annarita, [et al]. 2020. *Studies in Surface Science and Catalysis*. Italia : Kinetics Technology, 2020. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780444643377000112>
ISBN 9780444643377

WINANS, K, KENDALL, A and DENG, H. *The history and current applications of the circular economy concept*. 2017. 1, s.l. : Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2017, Vol. 68.
ISSN: 1364-0321.

WIRTH, Roland, et al. 2012. Characterization of a biogas-producing microbial community by short-read next generation DNA sequencing. s.l. : Biotechnology for Biofuels, 2012.

XIAO-FEI, Zhao, et al. *Effect of total solids contents on the performance of anaerobic digester treating food waste and kinetics evaluation*. 2021. Chongqing : E3S Web of Conferences, 2021, Vol. 272.

ZAMBRANO-ROMERO, Aracely, et al. *Dynamics of Microbial Communities during the Removal of Copper and Zinc in a Sulfate-Reducing Bioreactor with a Limestone Pre-Column System*. 2022. 3, Quito : International Journal of Environmental Research and Public Health, 2022, Vol. 19. 16617827.

ZAMRIA, et al. 2021. A comprehensive review on anaerobic digestion of organic fraction of municipal solid waste. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. United Kingdom : s.n., 2021.

ZHANG, LEE, et al. *Plastic-containing food waste conversion to biomethane, syngas, and biochar via anaerobic digestion and gasification: Focusing on reactor*

performance, microbial community analysis, and energy balance assessment. 2022. Singapore : Journal of Environmental Management, 2022, Vol. 306.

ZHANG, Le and Zhang, Jingxin. 2019. Enhanced biogas production from anaerobic digestion of solid organic wastes: Current status and prospects. *Bioresource Technology Reports*. Singapur : s.n., 2019.

ZHAO, Danyang, et al. 2021. Mitigation of acidogenic product inhibition and elevated mass transfer by biochar during anaerobic digestion of food waste. *Bioresource Technology*. China : Hunan International Scientific and Technological Cooperation Base of Agricultural , 2021.

ZHENG, Guodi, et al. 2020. Emission characteristics and health risk assessment of VOCs from a food waste anaerobic digestion plant: A case study of Suzhou, China. *Environmental Pollution*. China : s.n., 2020.


ZHENG, H., et al. *Digestión anaeróbica en estado sólido de paja de arroz pretratada con efluente digerido de estiércol porcino*,. 2022. 131252, Guangzhou : Journal of Cleaner Production, 2022, Vol. 348.

ZHU, Hongguang, YANG, Jing and CHENG, Xiaowei. *Application of Modified Gompertz Model to Study on Biogas production from middle temperature co-digestion of pig manure and dead pigs*. 2019. Shanghai : E3S Web of Conferences, 2019, Vol. 118. Disponible en: <https://bit.ly/3Nlz9oe>

ZIED, Khiari, KALUTHOTA, Soba and NICK, Savidov. 2019. Aerobic bioconversion of aquaculture solid waste into liquid fertilizer: Effects of bioprocess parameters on kinetics of nitrogen mineralization. *Aquaculture*. Canadá : s.n., 2019. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0044848618310512>

ISSN: 0044-8486

ANEXO

	FICHA DE ANÁLISIS DE CONTENIDO
TÍTULO: La caracterización y el tratamiento de los residuos de alimentos para mejorar la producción de biogás durante la digestión anaeróbica: una revisión.	
AUTOR (ES): Phum et al.	AÑO DE PUBLICACION: 2018
PARTICIPANTES: Science Direct	PÁGINAS EMPLEADAS : 126 - 130
PALABRAS CLAVES:	Eficiencia, digestión anaeróbica, residuos agrícolas, Co-digestión Degradación bioquímica.
TRATAMIENTO USADO:	Digestión anaeróbica.
RESIDUO AGRÍCOLA:	Residuos de alimentos
CONCLUSIÓN :	Concluyó que la que la variación de las características de los residuos alimentarios, en términos de propiedades físicas y bioquímicas, puede afectar a la eficacia del tratamiento aplicado para la mejora del proceso, incluyendo el balance de nutrientes, el tratamiento mecánico, el tratamiento térmico y la configuración en dos etapas



FICHA DE ANÁLISIS DE CONTENIDO

TÍTULO: Tratamiento biológico de residuos agrícolas por digestión anaerobia y nitrificación – desnitrificación

AUTOR (ES): Lucero y Guerrero

AÑO DE PUBLICACION: 2021

PARTICIPANTES: Science Direct

PÁGINAS EMPLEADAS : 126-130

PALABRAS CLAVES:

Eficiencia, digestión anaeróbica, residuos agrícolas , Co-digestión, nitrificación, desnitrificación

TRATAMIENTO USADO:

Digestión anaeróbica.

RESIDUO AGRÍCOLA:

Estiércol de gallina, Opuntia Ficus,

CONCLUSIÓN :

Concluyó que en la digestión anaerobia el porcentaje de eliminación de materia orgánica y por ende la producción de biogás no fue satisfactoria en comparación a datos de producción teóricos encontrado en bibliografía. por lo cual se puede inferir que el mismo tuvo interferencia de sustancias inhibitorias como lo es el nitrógeno amoniacal, dado que ambos componentes del sustrato de la AD lo contienen. En cuanto a nutrientes del proceso en conjunto se obtuvo una eliminación total de 90% del nitrógeno NTK y de fosforo un 75%.



FICHA DE ANÁLISIS DE CONTENIDO

TÍTULO: Avances, desafíos y oportunidades recientes en la biorremediación de materiales peligrosos

AUTOR (ES): Ramírez y Gohil.

AÑO DE PUBLICACION: 2019

PARTICIPANTES: ScienceDirect

PÁGINAS EMPLEADAS : 517-568

PALABRAS CLAVES:

Avances recientes, desafíos y oportunidades en la biorremediación de materiales peligrosos, biorremediación

TRATAMIENTO USADO:

Digestión anaeróbica.

RESIDUO AGRÍCOLA:

Residuos sólidos agrícolas

CONCLUSIÓN :

Concluyó que a biorremediación incluye una plétora de estrategias y métodos que actualmente están ganando más interés científico y público por su seguridad y rentabilidad y que hay diferentes tipos de residuos, como los domésticos, los agrícolas y los industriales, que deben ser tratados para proteger el medio ambiente y mantenerlo limpio



FICHA DE ANÁLISIS DE CONTENIDO

TÍTULO: Tratamiento biológico de residuos agrícolas por digestión anaerobia y nitrificación – desnitrificación

AUTOR (ES): Ahmed et al.

AÑO DE PUBLICACION: 2022

PARTICIPANTES:
ScienceDirect

PÁGINAS EMPLEADAS : 231-257

PALABRAS CLAVES:

Fruit peel waste-to-wealth: Bionanomaterials production and their applications in agroecosystems

TRATAMIENTO USADO:

Digestión anaeróbica.

RESIDUO AGRÍCOLA:

Residuos sólidos agrícolas, cáscaras de fruta

CONCLUSIÓN :

Concluyó que para la biosíntesis de cáscaras de fruta no se necesita ningún químico para sintetizar los residuos, y que los desechos de cáscaras de frutas de diferentes hortícolas generan algunos bionanomateriales para mejorar la producción de biogas



FICHA DE ANÁLISIS DE CONTENIDO

TÍTULO: Mejora de la producción de metano en la digestión anaeróbica de residuos alimentarios mediante pretratamiento térmico

AUTOR (ES): Liyanage, T.;
Babel, S.

AÑO DE PUBLICACION: 2022

PARTICIPANTES:
SCOPUS

PÁGINAS EMPLEADAS : 128-136

PALABRAS CLAVES:

Food waste/ Anaerobic Digestion/ Bio-methane/
Pretreatment/ Buffer/Bioreactor

TRATAMIENTO USADO:

Digestión anaeróbica.

RESIDUO AGRÍCOLA:

Residuos alimentarios, residuos domiciliarios

CONCLUSIÓN :

Concluyó que el uso potencial del pretratamiento térmico tiene dos beneficios principales. Uno es el aumento de la producción de metano y el otro beneficio es que el pretratamiento térmico puede actuar como un proceso de acondicionamiento del sustrato



FICHA DE ANÁLISIS DE CONTENIDO

TÍTULO: Digestión anaeróbica en estado sólido de paja de arroz pretratada con efluente digerido de estiércol porcino.

AUTOR (ES): Zheng, H., et al.

AÑO DE PUBLICACION: 2022

PARTICIPANTES:
SCOPUS

PÁGINAS EMPLEADAS : 150-165

PALABRAS CLAVES:

Rice straw, Effluent from swine manure digester, Pretreatment, Solid-state anaerobic digestion

TRATAMIENTO USADO:

Digestión anaeróbica.

RESIDUO AGRÍCOLA:

Residuos sólidos, residuos orgánicos, paja de arroz, estiércol de porcino

CONCLUSIÓN :

Concluyó que el novedoso enfoque integrado para la reutilización de efluente de digerido de estiércol porcino, paja de arroz y digestato sólido de estiércol porcino no solo redujo la contaminación ambiental, sino que también estimuló el desarrollo sostenible de las granjas porcinas y promovió la neutralidad del carbono y el desarrollo económico a través de la producción efectiva de bioenergía. Se podría esperar una prueba a gran escala y una amplia aplicación de este enfoque en el futuro.



FICHA DE ANÁLISIS DE CONTENIDO

TÍTULO: Pretratamiento mecánico de biomasa lignocelulósica para mejorar la producción de biogás: Comparación de resultados para caña gigante y paja de trigo.

AUTOR (ES): Dell’Omo, P.; Spena, V.

AÑO DE PUBLICACION: 2020

PARTICIPANTES:
SCOPUS

PÁGINAS EMPLEADAS : 117-128

PALABRAS CLAVES:

Anaerobic digestion, Biogas, Giant reed, Wheat straw, Pretreatment

TRATAMIENTO USADO:

Digestión anaeróbica.

RESIDUO AGRÍCOLA:

Residuos sólidos, tallos de caña gigante y paja de trigo

CONCLUSIÓN :

Concluyó que la digestión de la caña gigante y la paja de trigo se mejoró mediante un dispositivo mecánico a gran escala. El pretratamiento aumentó enormemente la producción de metano de Arundo Donax (+137%). El pretratamiento incrementó la producción de metano a partir de paja de trigo (+49,1%). La producción neta de energía eléctrica se incrementó en un 118 % para la caña y en un 41 % para la paja. El proceso investigado puede mejorar con éxito la eficiencia de producción de biometano.



FICHA DE ANÁLISIS DE CONTENIDO

TÍTULO: Efectos del pretratamiento y la proporción de desechos sólidos de sagú a rumen en la producción de biogás a través de la digestión anaeróbica en estado sólido.

AUTOR (ES): Sumardiono, S.; et al.

AÑO DE PUBLICACION: 2021

PARTICIPANTES:
SCOPUS

PÁGINAS EMPLEADAS : 109-118

PALABRAS CLAVES:

anaerobic digestion; biogas; pretreatment; solid-state anaerobic digestion method; solid sago waste

TRATAMIENTO USADO:

Digestión anaeróbica en estado sólido

RESIDUO AGRÍCOLA:

Desechos sólidos de sagú a rumen

CONCLUSIÓN :

Concluyó la mayor producción acumulada de biogás (27,91 mL/g TS) se generó mediante la molienda (± 1 mm) de desechos sólidos de sagú, pretratamiento con NaOH y adición de consorcio microbiano en una proporción de 1:1 de desechos sólidos de sagú al rumen. La combinación de estas variables se convierte en el mejor polvo sólido fino que hace que aumente el área superficial y la presencia de NaOH hace que la lignina y la hemicelulosa se descompongan. Además, el consorcio microbiano, que consiste en microorganismos, crea un proceso sinérgico para producir alto biogás.



FICHA DE ANÁLISIS DE CONTENIDO

TÍTULO: Cambios de las comunidades bacterianas en un reactor de digestión anaeróbica y uno bioelectroquímico de digestión anaeróbica según la carga orgánica

AUTOR (ES): Jun-Gyu, Park; Shin, Won-Beom; Shi, Wei-Qi; Jun, Hang-Bae.

AÑO DE PUBLICACION: 2019

PARTICIPANTES:
ProQuest

PÁGINAS EMPLEADAS : 258-269

PALABRAS CLAVES:

Digestión anaeróbica bioelectroquímica (BEAD) ; comunidades bacterianas ; solución a granel ; tasa de carga orgánica ; Desechos alimentarios

TRATAMIENTO USADO:

Digestión anaeróbica.

RESIDUO AGRÍCOLA:

Desechos alimentarios

CONCLUSIÓN :

Concluyó que el reactor BEAD mantuvo estable la eliminación de DQO y la producción de metano en $6,0 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{día}$, el OLR máximo del reactor AD para un funcionamiento óptimo fue solo de hasta $4,0 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{día}$. La disminución del pH y la alcalinidad y la acumulación de AGV son los principales problemas en la digestión anaeróbica de alta carga de desechos de alimentos fácilmente descomponibles. Estos dos problemas también son factores importantes que destruyen la condición óptima para el reactor AD a $6,0 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{día}$. En el reactor BEAD, la comunidad densa activada bioelectroquímicamente de

	<p>bacterias exoelectrogénicas y bacterias oxidantes de AGV impidió la acumulación de AGV con el suministro de voltaje. La hidrólisis rápida y la acidogénesis fueron aceleradas por bacterias fermentativas exoelectrogénicas, luego los AGV producidos fueron descompuestos rápidamente por bacterias oxidantes de AGV. En conclusión, las reacciones bioelectroquímicas podrían mantener las condiciones de pH y alcalinidad, lo que en última instancia contribuye a la producción estable de metano</p>
--	--