



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL  
**Co-Digestión Anaerobia de Lodos de Plantas de Tratamiento de  
Aguas Residuales para Producir Biogás. Revisión Sistemática,  
2021**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO AMBIENTAL

**AUTOR:**

Garcia Garcia, Alfredo (ORCID: 0000-0002-8717-3777)

**ASESORA:**

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

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Tratamiento y Gestión de los Residuos

LIMA – PERÚ

2021

## **Dedicatoria**

**A Dios**, Por permitir que este día llegara, por haberme dado infinita salud en el logro de mis objetivos, y a **mi madre querida Victoria y hermanos** porque siempre estuvieron apoyándome en todo momento, por sus asistencias y su comprensión, por la Motivación constante directa e indirectamente en la elaboración de este escrito.

¡Gracias!

## **Agradecimiento**

A mi asesor Mg. Cabello Torres, Rita Jaqueline por su apoyo, asesoramiento y paciencia constante a lo largo de este gran proceso de desarrollo de esta investigación y a Katherine Xilena Cunya Alcántara por su infinito apoyo emocional y a todas las personas que indirectamente aportaron de alguna manera u otra a la mejora de este escrito.

## Índice de contenidos

Dedicatoria .....	ii
Agradecimiento .....	iii
Índice de contenidos .....	iv
Índice de figuras .....	v
Índice de tablas .....	vi
Índice de abreviaturas .....	vii
Resumen .....	viii
Abstract .....	ix
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. MARCO TEÓRICO .....	6
III. METODOLOGIA.....	24
3.1 Tipo y diseño de investigación.....	24
3.2 Categorías, subcategorías y matriz de categorización apriorística: .....	25
3.3 Escenario de estudio.....	29
3.4 Participantes.....	29
3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	29
3.6 Procedimientos.....	30
3.7 Rigor científico.....	33
3.8 Método de análisis de información .....	33
3.9 Aspectos éticos .....	33
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	34
V. CONCLUSIONES .....	69
Vi. RECOMENDACIONES .....	70
REFERENCIAS.....	71
ANEXOS .....	86

## Índice de figuras

Figura 1: Fases de Metabolismo principal de la digestión Anaeróbica.....	7
Figura 2: Grafico de tasa de formación de producto(r),concentración de sustrato(s) .....	8
Figura 3: Configuración de reactor UASB a escala de laboratorio del proceso de co-digestión anaeróbica. ....	11
Figura 4: Diagrama esquemático de reactores de tanque agitado semicontinuo (CSTR) a escala de laboratorio. ....	12
Figura 5: Pre-tratamiento térmico de micro algas ( clorella sp ) y lodos activos de platas de tratamiento de aguas residuales. ....	20
Figura 6: Pretratamiento Hidrotermal lodos activos y paja de arroz.....	22
Figura 7: Producción de metano con respecto al uso de tipos de lodos .....	39
Figura 8: Tipos de lodos usados frecuentemente en los diferentes estudios de co-digestión.....	40
Figura 9:reactores anaeróbicos usados en co-digestión .....	47
Figura 10: Clasificación de temperaturas utilizadas en la obtención de metano CH <sub>4</sub> (Mesófilicas).temperatura y Ph.....	55
Figura 11: tipos de sustratos usados en codigestión anaeróbica. ....	56
Figura 12: composición de sustratos.....	57
Figura 13: Tipos de inóculos que se usan con mayor frecuencia en co-digestión anaeróbica.....	62
Figura 14: Temperatura (promedio, máxima y mínima) de secado térmico. ....	67
Figura 15: Pre-tratamientos usados con mayor frecuencia en sustratos, inóculos y lodos residuales.....	68

## Índice de tablas

Tabla 1: Categorías, subcategorías y matriz de categorización apriorística .....	26
Tabla 2: Resumen de Criterios de Búsqueda.....	32
Tabla 3: OE1: Lodos Primarios. Tipos de lodos de tratamiento de aguas residuales.....	35
Tabla 4: OE2: Reactores Anaerobios. Tipos de Reactores que se usan en co-digestión anaerobia.....	41
Tabla 5: OE 3: Tipos de sustratos que se usan con mayor frecuencia en co-digestión anaerobia.....	48
Tabla 6: O3: Tipos de residuos utilizados en codigestión para la producción de Metano CH <sub>4</sub> . .....	53
Tabla 7: OE4 Tipos de inóculos que se usan con mayor frecuencia en co-digestión anaerobia.....	59
Tabla 8: OE 5: Pre-tratamientos usados con más frecuencia en el proceso de co-digestión Anaerobia.....	64

## Índice de abreviaturas

CA	: Cogestión anaeróbica
pH	: Potencial de Hidrógeno
T°	: Temperatura
SV	: Sólidos Volátiles
ST	: Sólidos Totales
DQOt	: Demanda química de Oxígeno total
DQOs	: Demanda química de Oxígeno soluble
THR	: Tiempo de retención hidráulica
UASB	: Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente
CSTR	: Reactor de tanque agitado continuo
VFA	: Ácido Grasos volátiles
PTAR	: Planta de tratamiento de Aguas Residuales.
MBP	: Potencial Bioquímico de Metano
UASB	: Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente
CSTR	: Reactor de tanque agitado continuo
FWD	: Desperdicio de alimentos
OFMSW	: Fracción orgánica de residuos sólidos urbanos

## Resumen

El problema del aumento de los lodos de depuradoras a nivel mundial se debe a la industrialización y el inmensurable desarrollo demográfico que se ha venido dando; Los lodos de depuradora son residuos, los cuales se emplean para diversos propósitos desde fuente de nutrientes hasta fuente de energías renovables. El objetivo de esta investigación ha sido Evaluar los Avances en La Co-Digestión Anaerobia de Lodos de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales en La Producción de Biogás. El tipo y diseño de esta investigación es de tipo aplicada y cualitativa, la metodología comprendió la revisión sistemática de artículos científicos en revistas indexadas. Los resultados mostraron que los lodos primarios presentan contenidos de solidos volátiles (SV) a 51.50%, Demanda química de oxígeno de 436000mg/L, lodos secundarios con Solidos volátiles (SV) 79.30%, Demanda Química de Oxígeno (101200mg/L) sin presencia de metales pesados, de otro lado los reactores más usados son Reactor anaeróbico de flujo ascendente (UASB), reactores de tanque agitado semicontinuo (CSTR) y Experimentos por lotes potencial Bioquímico de metano (BMP) la carga orgánica resulto un parámetro importante, suelen usarse en proporciones de 2.95 Kg SVm<sup>3</sup> D-1, con tiempos de retención hidráulica de 36.2 días , rangos de producción de metano es de 50,3 mL CH<sub>4</sub> / g-SV a 4500 mL CH<sub>4</sub> /g-SV y los inóculos más usados son lodos digeridos de plantas de tratamiento de aguas residuales, la mayor producción de metano registrada para pruebas mesófilicas fue de 664 mL/g SV bajo las siguientes condiciones de Temperatura de 39°C y un pH de 7,08.

Palabras clave: Co-digestión anaeróbica, Biogas, lodos activos, inóculos.

## Abstract

The problem of the increase in sewage sludge worldwide is due to industrialization and the immeasurable demographic development that has been taking place; Sewage sludge is waste, which is used for various purposes from a nutrient source to a renewable energy source. The objective of this research has been to Evaluate Advances in Anaerobic Co-Digestion of Sludge from Wastewater Treatment Plants in Biogas Production. The type and design of this research is applied and qualitative, the methodology included the systematic review of scientific articles in indexed journals. The results showed that the primary sludge presents contents of volatile solids (SV) at 51.50%, Chemical oxygen demand of 436000mg / L, secondary muds with volatile solids (SV) 79.30%, Chemical Oxygen Demand (101200mg / L) without presence of heavy metals, on the other hand the most used reactors are upflow anaerobic reactor (UASB), semi-continuous stirred tank reactors (CSTR) and Batch experiments Biochemical potential of methane (BMP) the organic load was an important parameter, they are usually used in proportions of 2.95 Kg SVm<sup>3</sup> D<sup>-1</sup>, with hydraulic retention times of 36.2 days, methane production ranges from 50.3 m / L CH<sub>4</sub> / g-SV to 4500 mL CH<sub>4</sub> / g-SV and the more inoculums Used are digested sludge from wastewater treatment plants, the highest methane production recorded for mesophilic tests was 664 mL / g SV under the following conditions of Temperature of 39 ° C and a pH of 7.08.

Keywords: Anaerobic co-digestion, Biogas, active sludge, inoculum.

## I. INTRODUCCIÓN

El problema del aumento de los lodos de depuradoras a nivel mundial se debe a la industrialización y el inmensurable desarrollo demográfico que se ha venido dando; una solución factible para afrontar esta problemática es la eliminación de lodos residuales a través de la digestión anaeróbica generando así una fuente de energía renovable (Nkinahamira et al., 2019, p.1).

Los lodos de depuradora son residuos, los cuales se emplean para diversos propósitos desde fuente de nutrientes hasta fuente de energías renovables, en informe de la Comisión Europea publicado en el 2010 se calculaba un reciclaje del 39% de estos lodos residuales, se observa que el uso de estos residuos es bajo debido a que puede poseer un alto volumen peligroso en contaminantes; se investigaron documentos desde el 2010 hasta el 2017 para evaluar las soluciones a este problema (Fijalkowski, Rorat, Grobelak, Kacprzak, 2017,p.1).

De acuerdo a Krzysztof et al. (2017) “Los procesos de lodos de depuradora (digestión anaeróbica, compostaje, incluso carbonización térmica) no son garantía para obtener un producto de alta calidad sin contaminantes. Por lo tanto, estos conocimientos deben investigarse en estudios futuros” (p. 9).

Siguiendo este lineamiento de investigación se observa que diversos autores han optado por usar el método de digestión anaeróbica debido a que es la forma tradicional de tratar los lodos de las plantas de tratamiento de aguas residuales, este fenómeno tiene la capacidad de minimizar los lodos y producir biogás, pero tiene algunas complicaciones porque tiene un tiempo de retención hidráulica extenso, una tasa de degradación orgánica menos eficiente y el rendimiento de biometano no es el óptimo (Munsik, Kim, Jung, Jeong, Donghee, 2020, p.1).

Velásquez, Venturini, Silva, Calle (2017, p.3), informaron que el método de digestión anaeróbica usado en Estados Unidos y casi todo Europa es tradicionalmente usado como la mono-digestión con un único sustrato, pero recientes estudios indican que han obtenido mejores resultados implementando el sistema de co-digestión mezclando lodos de depuradoras con diferentes sustratos

para la producción de biogás esto se ha logrado usando la nueva tecnología de co-digestión anaerobia, para ello se ha comparado ambos sistemas (mono-digestión y co-digestión) con la finalidad de constatar los resultados más favorables en cada proceso concluyendo así que el sistema de co-digestión posee mayor productividad para extraer recursos renovables (Pellera, Frantseska, Gidaracos, 2017, p. 2).

Arhoun, Villen, Gomez, Rodríguez, García, Vereda (2019, p.8), estudiaron el sistema de co-digestión con mezclas entre inóculos y sustratos, proceso de producción de biogás usando dos tipos de residuos: frutas/hortalizas y los lodos de depuradora mixta de una planta de tratamiento de aguas residuales municipales y observó que, cuanto mayor era la concentración del porcentaje de estos residuos en la mezcla de lodos, mayores son las tasas de producción de biogás y metano. En este proceso necesita un arranque microbiológico suficiente para mejorar la eficiencia de su rendimiento, existen diferentes inóculos que se pueden mezclar para la obtención de biogas, pero según investigaciones se ha llegado a la conclusión que un inóculo puede pasar por un pretratamiento para el enriquecimiento de sus propiedades antes de empezar el proceso (Li et al. 2019, p.1).

Sin embargo, la elección del sustrato adecuado es muy importante, se debe determinar y elegir en qué cantidades se va a mezclar evaluando las propiedades de cada sustrato e inóculo independientemente para evitar causar cualquier efecto inhibitorio, se espera que la co-digestión de dos o más sustratos con características complementarias proporcione un mejor equilibrio de nutrientes, rendimiento del digestor y rendimiento de biogás (Chakraborty, Karthikeyan, Ammaiappan, Wong, 2017, p.1).

En nuevas investigaciones se exponen diferentes pretratamientos experimentales aplicando los inóculos para obtener mejores resultados en el proceso de co-digestión, este paso conlleva como resultado la descomposición de compuestos orgánicos y la consiguiente generación de biogás y biometano más altos (Derovil, Galdino, Marques, Motta, Thome, 2020, p. 3). Para buscar la efectividad del inóculo se comparan diferentes enfoques en el pretratamiento que mejoran la hidrólisis y la producción de biogás en lodos activados, pero advierte que el mejor método de

pretratamiento puede variar para cada necesidad llegando a la conclusión que los pretratamientos son favorables para la Metanogénesis en la digestión anaeróbica posterior (Li et al., 2019, p.1).

Las formulas experimentales para la obtención de biogás a través del sistema de co-digestión varían de acuerdo a diferentes factores en el cual influye cada material que se use, cada factor tiene propiedades diferentes que alteran el proceso, por ejemplo, se ha desarrollado una nueva técnica implementada en un reactor anaeróbico discontinuo que consiste en la recirculación intermitente de biogás para la producción de más combustible verde ayudando a disminuir el costo de mantenimiento y operación (Latha, Velraj, Shanmugam y Sivanesan, 2018, p.26). Existen diferentes tipos de reactores que se usan para la co-digestión anaeróbica; Kumari, Suresh, Arisutha y Sudhakar (2018), utilizaron un reactor anaeróbico de flujo ascendente (UASB ), mezclando dentro lodos de depuradora y sustratos (FW y AW), se controló una serie de parámetros: pH, temperatura, demanda química de oxígeno, sólidos totales, sólidos volátiles, ácidos grasos volátiles, con la finalidad de lograr un aumento considerable en la producción de biogás de 4500 m/l (p.1).

La necesidad de evaluar los avances en la aplicación de esta tecnología justifica esta investigación, que ha buscado evaluar el estado actual de la Co-Digestión Anaerobia con Lodos Residuales de Plantas de Tratamiento de Aguas para la Producción de Biogás a través del estudio de datos científicos descritos en diferentes artículos o revistas indexadas cuyo análisis se presenta en el desarrollo de este documento.

La justificación metodológica de esta investigación radica en las limitaciones en la producción de biogás generado por el método convencional de mono-digestión con un bajo resultado en el aprovechamiento de lodos residuales, colocando así el sistema de co-digestión como una mejor metodología con mayor respuesta efectiva para la obtención de biogas (Xie, Wickham yNghiem, 2016, p.194).

Se expone la justificación teórica referida a los principios del proceso basado en los parámetros fisicoquímicas que gobiernan el proceso biológico y el aumento en la producción de biogás, se explican nuevas estrategias científicas para elevar la

eficacia en la eliminación de lodos residuales con el procesamiento de diferentes inóculos y sustratos produciendo así un subproducto como recursos naturales renovables (Awasthi et al.,2017, p.12).

El aspecto social se justifica en esta investigación al proponer una solución a la problemática de recursos naturales renovables, según Lee et al, (2019) afirma en base a sus experimentos que la co-digestión de diferentes sustratos y co-sustratos incrementa la producción de biogás en un porcentaje considerable lo cual ayuda a la reducción de la crisis energética mundial siendo esta una alternativa ecológica viable que ayude a la reducción de los gases de efecto invernadero (p.1).

Lo que se busca con esta tesis es ser un referente para investigaciones futuras que vayan dirigidos a la mejora del proceso de co-digestión anaerobia para la producción de Biogas con esto lograr solucionar diferentes aspectos; económico, social, ambiental y energético que conlleva esta problemática. Se han estudiado varias formas de valorizar económicamente los residuos de las depuradoras, buscando al mismo tiempo dar solución al problema de contaminación que generan (Mosquera et al.,2020, p.1).

Debido a la necesidad de optimizar este método se ha desarrollado esta investigación “Co-Digestión Anaerobia de Lodos de Plantas De Tratamiento de Aguas Residuales para Producir Biogás”, dando respuesta a un problema general:

¿Qué avances se conoce en la Co-Digestión Anaeróbica de Lodos de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales para Producir Biogás?

y como problemas específicos:

**PE1** - Cuáles son los tipos de lodos de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas que se usan con frecuencia en el proceso de co-digestión anaerobia?

**PE2** - ¿Cuáles son los tipos de reactores anaerobios que se usan con mayor frecuencia en el proceso de co-digestión anaerobia?

**PE3** - ¿Cuáles son los tipos de sustratos que se usan en la co-digestión anaerobia?

**PE4** ¿Cuáles los tipos de inóculos que se usan con mayor frecuencia en la co-digestión anaerobia?

**PE5** - ¿Cuáles son los pre-tratamientos que se aplican para optimizar la producción de metano?

Esta investigación tiene como objetivo general

Evaluar los Avances en la Co-Digestión Anaeróbica de Lodos de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Para Producir Biogás.

Y como objetivos específicos

**OE1:** Describir los tipos de lodos de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas que se usan con frecuencia en el proceso de co-digestión anaeróbica.

**OE2:** Analizar los tipos de reactores anaerobios que se usan con mayor frecuencia en el proceso de co-digestión anaeróbica

**OE3:** Analizar los tipos de sustratos que se usaran en la cogestión anaerobia.

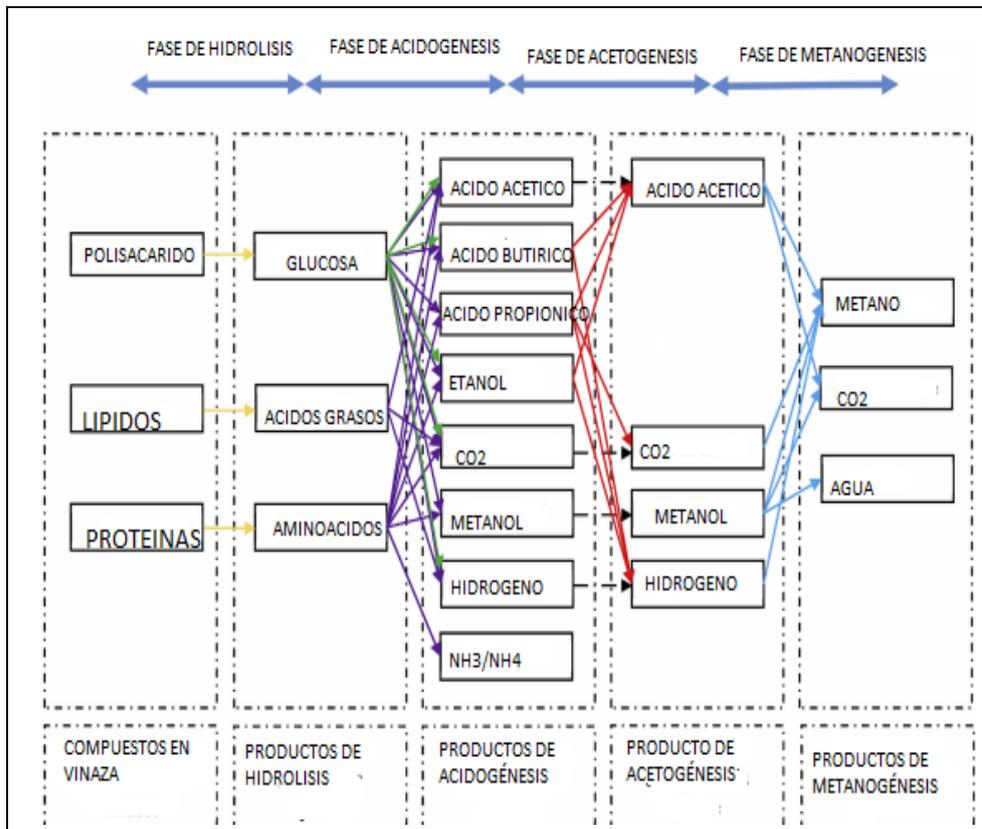
**OE4:** Analizar los tipos de inóculos que se usaran con mayor frecuencia en la cogestión anaeróbica.

**OE5:** Describir los pretratamientos que se aplican para optimizar la producción de metano.

## II. MARCO TEÓRICO

Metabolismo principal de la digestión Anaeróbica. Parsaee, Kiani, karimí (2019) Exponen que la **Hidrolisis** representa la etapa que inicia los procesos de la digestión anaerobia para la obtención de biogás, aquí la materia orgánica entra con toda su complejidad como moléculas insolubles (lípidos, proteínas y polisacáridos sin hidrolizar). Zhang et al (2019) las bacterias hidrolíticas harán el proceso de hidrolisis descomponiendo estos procesos de cadena muy larga en compuestos más simples, las proteínas se transforman en aminoácidos, polisacáridos en azúcares y lípidos en ácidos grasos seguidamente procede la etapa. Ali et al (2019) Argumenta que la fase **fermentativa o Acidogénesis** el producto del hidrolisis se fermentan e hidrolizan por un grupo de bacteria, las hidrolíticas acidogénica y acetogénicas que se transforman en productos más sencillos ácidos grasos (propionico, báltirico y ácido acético), aquí los ácidos grasos de cadena corta, son absorbidos y degradados liberándose hidrogeno ( $H_2$ ), así también existe un incremento en la demanda química de oxigeno (DQO) y la demanda bioquímica de oxigeno (DBQ) causada por la disipación de ácidos orgánicos. Quian et al (2019) Explica la etapa **Acetogénica** como un proceso donde se producen sustratos metanogénicos, alcoholes, y ácidos grasos volátiles que son productos que no se han convertido en Metano ( $CH_4$ ) durante la fase acidogénica, aquí se encuentran bacterias acetogénicas productoras de hidrogeno ( $H_2$ ), el producto que se obtendrá aquí será (Acetado,  $H_2$  y  $CO_2$ ). Ali et al (2019) Finalmente, el proceso de **Metanogénesis** es un proceso donde se obtiene metano en condiciones anaerobias, gracias a los productos que se obtuvieron en la fase acetogénica (Hidrogeno, acetato y dióxido de carbono), que son el alimento principal de dos grupos de bacterias metanogénicas (acetoclásticas y hidrogenofílicas). Con este proceso finaliza el proceso de digestión anaeróbica.

**Figura 1:** Fases de Metabolismo principal de la digestión Anaeróbica



**Fuente:** Adaptado de Kiani, karimí (2019)

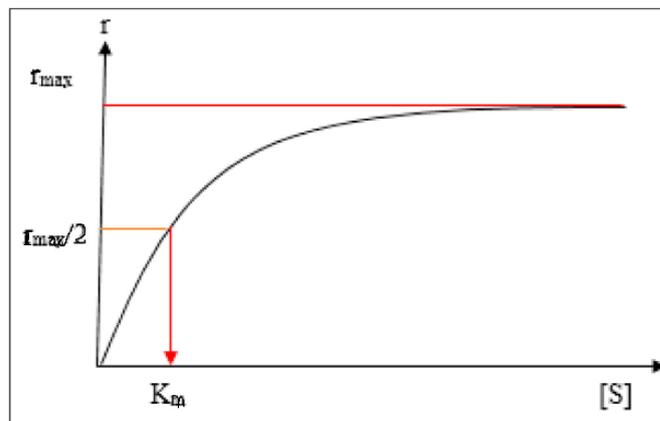
Som, Yahya (2020, p.6). **Cinética de crecimiento:** en una reacción biológica son varios los sustratos que participan en ella, para llevar a cabo reacciones biológicas deseadas las bacterias deben utilizar muchísimas enzimas, es así que en la velocidad de reacción biológica se usan metodologías para perfeccionar el rendimiento del sistema, ayudando a predecir la degradación y medir la tasa de crecimiento de microorganismos de las sustancias orgánicas, el modelo más usado es el modelo de Monod, el cual aplica una ecuación muy simple donde se pueden representar procesos biológicos que en general funcionan muy bien, este describe el crecimiento microbiano a través de una fórmula proporcionando curvas de mecanismos de ajustes en la cinética del crecimiento microbiano. **Crecimiento y comportamiento de Monod de cultivos bacterianos,** aquí el crecimiento biológico está estrechamente relacionado con la tasa de utilización del sustrato y

aplica la ecuación de Monod, la tasa negativa de utilización del sustrato está relacionada como un sustrato que se está disminuyendo y  $\mu_{\text{gramo}}$  el crecimiento específico se relaciona con el sustrato y su tasa de utilización  $r_{\text{su}}$ . Como se muestra en la ecuación siguiente:

$$r_{\text{su}} = - \frac{kXS}{K_s + S}$$

**Donde:**

**Figura 2:** Grafico de tasa de formación de producto( $r$ ), concentración de sustrato( $s$ )



**Fuente:** Adaptado de Som, Yahya (2020)

$r_{\text{su}}$ : sustrato, tasa de utilización.

$k$ : especificación máximafic tasa de utilización del sustrato

$X$ : (biomasa) concentración de organismos

$S$ : concentración de sustrato limitante del crecimiento

$K_s$ : constante de semisaturación

$$\mu = \mu_{\text{max}} \left( \frac{S}{S + k_s} \right)$$

**Aplicación del modelo de Monod.** La ecuación de Monod muestra una concentración de sustrato limitante de crecimiento ( $s$ ) en relación a la específica tasa de crecimiento ( $\mu$ ), en solución a granel. Som, Yahya (2020)

$\mu_{\max}$  = velocidad específica de crecimiento máxima.

$K_s$  = Constante de saturación, g/L

**Lodos de depuradora.** La gestión de lodos de plantas de tratamientos de aguas residuales es uno de los temas más controversiales, existe amplia preocupación pública por la posible presencia de peligrosos contaminantes en lodos de depuradora (Di Fraia, Figaj, Massarotti, Vanoli, 2018, p. 1). Se clasifican en tres tipos de lodos para eliminar estos contaminantes, los lodos primarios, secundarios y Mixtos (Canziani, Spinosa, 2019, p. 4).

**Lodos primarios.** Según Julio, Peláez, Molina (2016), en la investigación “Evaluación de la co-digestión anaerobia de lodos de aguas residuales municipales con residuos de alimentos” describe los lodos denominados primarios como lodos provenientes de la sedimentación primaria. La adición de los residuos de alimentos a los lodos de aguas residuales propicia el aumento de la producción de metano en la digestión, debido a que los residuos de alimentos brindan carbono orgánico a los lodos (p.51).

Gu et al (2020) describieron sobre el uso de una mezcla de lodos residuales primarios en co-digestión con residuos de alimentos, empleados en una y dos etapas para la producción de hidrógeno y metano usando reactores en experimentos por lotes MBP, en condiciones mesófitas y termófilas, las características de los lodos primarios fueron; 20,6% de sólidos totales, 51,5% sólidos volátiles. 28,4 de carbono, 3,4 % de hidrogeno, relación carbono nitrógeno (C/N) 21, el lodo fue refrigerado a 4°C antes de su uso, los rendimientos medios de metano (CH<sub>4</sub>) fueron de 364,9 (± 7,1) y 326,2 (± 27,9) mL CH<sub>4</sub>· g-SV<sup>-1</sup>.

**Lodos secundarios o activos.** Canziani, Spinosa (2019, p.5 ) describieron que en la segunda etapa denominada tratamiento secundario existe un segundo subproducto; los lodos secundarios o activos, son de textura limosa y coloración marrón gris, por su origen aun contienen un alto porcentaje de contaminantes orgánicos e inorgánicos entre ellos SS, SSV, Grasas, metales pesados (Zn, Pb, Cu),

organismos parásitos y Bacterias patógenas por otro lado Baldi, Pecorini, Lanneli (2019, pg.1) registraron muy buenos resultados en su investigación denominada; “Comparación de la co-digestión anaeróbica en una y dos etapas de residuos de alimentos y lodos activados para la producción de hidrógeno y metano, ya que obtuvieron materia orgánica estabilizada, un 97% de remoción de Ácidos Grasos Volátiles , un 26% y 9% en Solidos Volátiles , enriquecimiento del metano en un 61,2 % y un 70,1 % y un menor tiempo de retención hidráulica (TRH).

Ripoll, García, Pérez, Solera, (2019) estudiaron la co-digestión de lodos activos de depuradora haciendo una mezcla mediante la adición de aguas residuales de la destilería de vino de jerez. El objetivo fue identificar la influencia de aguas de vino de jerez con lodos activos sobre la biodegradabilidad y producción de biometano, se utilizaron experimentos por lotes de Potencial Bioquímico de Metano (PBM) a una temperatura mesófila de 35°C , con un volumen de 250ml , un tiempo de retención hidráulica de 25 días, con una producción de 229 NL/kg SV de Metano, una remoción de Ácidos Grasos Volátiles del 75%, remoción de Demanda Química de Oxígeno total de 54% y remoción de Solidos Volátiles de 54,5%, las características de los lodos activos fueron; 3,67 g/L de solidos totales , 2,69 g/L de solidos volátiles, 7,6 de pH, 53,9% de DQOt, 18,mg/L de Demanda Química de Oxígeno soluble, 5,2 de C/N, 3,53 gCaCO<sub>3</sub>/L de alcalinidad, la muestra se conservó a una temperatura de 4°C para conservar sus propiedades antes de entrar al reactor.

Por otro lado, SIMA Kashi et al. (2017) usaron lodos residuales activos en la aplicación de un diseño de mezcla para identificar relaciones e interacciones de los sustratos en la co-digestión anaeróbica de residuos de trampas de grasa y residuos de procesamiento de carne. Las características de los lodos activos fueron las siguientes, 2,97% de solidos totales, 2,49% de solidos volátiles, 7,15 de pH, 49700mg/L de DQOt , 7379mg/L, la muestra de mantuvo a 4°C antes de ser insertado en el reactores de experimentos por lotes el PBM, en condiciones mesófilas de 37°C con un volumen de trabajo de 450 ml e un tiempo de retención hidráulica (TRH) de 35 días, velocidad de carga orgánica de 4000 mg/SV , un pH de 7,18 , la co-digestión de lodos activos de depuradoras con sustratos ricos en grasas aumento el rendimiento del metano de 429 mL/g-SV a 602 mL/g-SV.

**Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente (UASB).** por sus siglas en inglés, su uso ayuda mucho en la digestión anaerobia y tratamiento de agua residual, es un reactor que opera con un flujo ascendente y régimen continuo, su operación apropiada elimina partículas ligeras y retiene componentes más pesados, en estos reactores los microorganismos se agrupan formando biogránulos y flóculos estableciendo microambientes que son ideales para las bacterias anaerobias especializadas en producir metano con los contaminantes complejos, otra de sus características es que necesitan un tiempo determinado para poder aplicar las tasas de carga (CHON Orgai et al, 2012, pg.3437).esta tecnología presenta ventajas de una alta eficiencia en generación de metano ( $\text{CH}_4$ ) y eliminación de DBO, DQO, SST y patógenos , sin embargo se debe tener en cuenta la presencia de amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) sobre todo cuando se alimenta al reactor con sustratos de estiércol de ganado y aguas negras (Wardhani , Amizera, Prima, 2021, p.108).

**Figura 3:** Configuración de reactor UASB a escala de laboratorio del proceso de co-digestión anaerobia.

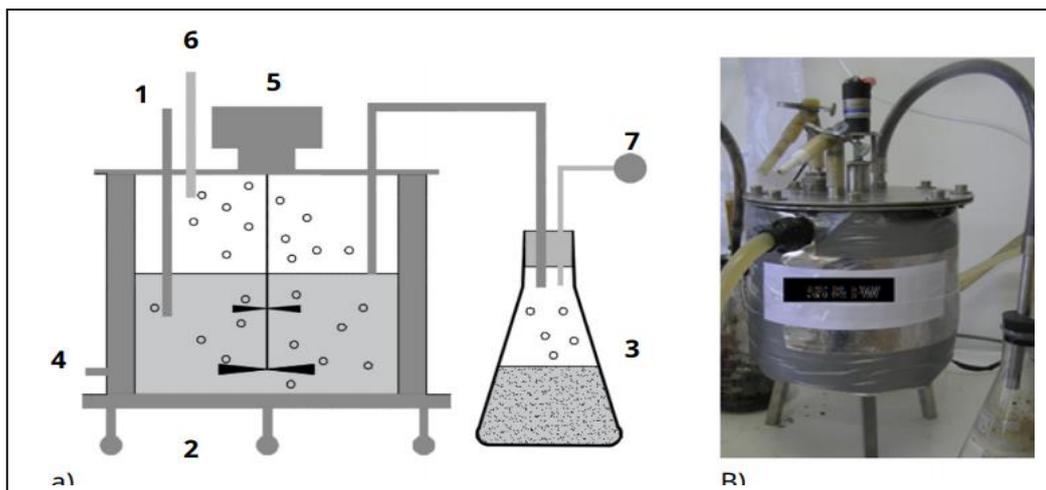


**Fuente:** Kumari, Suresh, Arisutha, Sudhakar, (2018).

Otras de las tecnologías de Digestión son los reactores químicos de tanque continuamente agitado (CSTR), cuentan con una o varios punto de entrada de líquidos así como de salida de subproductos, también posee un potente sistema

de agitación capaz de homogenizar toda la mezcla a digerir , para mantener la temperatura constante cuenta con una camisa de enfriamiento (Alvarez, Condorniu, Pina, 2018, pg.17) este es uno de los más sencillos en su operación y se aplica en procesos de tratamiento de aguas residuales, pero tiene deficiencias en comparación a otros tipos reactores cuando se desean manejar volúmenes más grandes de digestión, es común que se hayan realizado pruebas con diferentes sustratos como lodos de depuradoras residuos industriales y guano de animales, actualmente es el más usado cuando se habla de procesos de co-digestión, este facilita diferentes disoluciones los cuales hacen resistentes a un pH alto y residuos de Ácidos Grasos Volátiles de bajo pH (Cardozo et al, 2018, pg.41). Según Maragkaki et al. (2017, pg. 1,7) en su investigación con reactores CSTR a escala laboratorio, trabajó con lodos de depuradora, aguas residuales de alzamara, desperdicios de alimentos, y suero de queso, estos sustratos fueron digeridos en un proceso de co-digestión anaerobia optimizando la producción de biogás en 815 ml de CH<sub>4</sub>/L reactor/ d (5% v/v en la alimentación) y logrando una considerable reducción de Demanda Química de Oxígeno entre el 78% y el 48% según sea el escenario.

**Figura 4:** Diagrama esquemático de reactores de tanque agitado semicontinuo (CSTR) a escala de laboratorio.



**Fuente:** Maragkaki et al. (2017, pg.4), 1) bomba de efluente para reactor, 2) reactor de biogás, 3) botella de efluente, 4) calentamiento, 5) mezclador, 6) muestreo de gas y 7) bolsa colectora de gas.

Kumari, Suresh, Arisutha, Sudhakar (2018) analizaron los efectos de la co-digestión de sustratos de estiércol de vaca, residuos de cocina, jardín, florales, aguas residuales de lácteos y lodos de depuradora, el objetivo fue evaluar la eficiencia de producción de metano ( $\text{CH}_4$ ) en la co-digestión de diferentes sustratos, se trabajó con un reactor anaeróbico de flujo ascendente (UASB); estaba hecho de vidrio de borosilicato que tenía cuatro puertos de muestra; dos salidas de gas superiores; una entrada inferior y dos salidas de gas, una entrada y un separador gas-sólido-líquido, sus indicadores de operatividad fueron; temperatura mesófila de  $36^\circ\text{C}$ , volumen de 3 litros (L) de capacidad, un tiempo de retención Hidráulica (TRH) de 20 días y pH entre (7.3 - 7.8), se determinaron ácidos grasos volátiles entre 3500-500 mg / L, se trabajó en proporciones de 1: 2, las mezclas de co-sustratos usados fueron; residuos de cocina + lodos de depuradora con un residuo de jardín + lodos de depuradora, residuos florales + estiércol de vaca, aguas residuales de lácteos + estiércol de vaca, Se encontró que la tasa máxima de producción de biogás era de 4500 ml / día, porcentaje de eficiencia de eliminación de Demanda Química de Oxígeno después de 20 días se encuentra en el rango de 76 a 86%.

Baldi, Pecorini, Lanneli (2020) estudio la co-digestión anaeróbica en una y dos etapas de residuos de alimentos y lodos activados para la producción de hidrógeno y metano, su objetivo fue comparar procesos de co-digestión anaeróbica de una etapa y de dos etapas empleando una mezcla de residuos orgánicos urbanos y lodos de depuradora; se trabajó con reactores de tanque de agitación continuo (CSTR) de acero inoxidable (AISI 316) en dos etapas conectados en serie capaces de realizar las fases fermentativa y metanogénica separadas. La mezcla continua se movió mediante palas de mezcla conectadas a moto-reductores eléctricos, agua tibia lo calentaba por un baño termostático, este pasaba a través de cada revestimiento de los reactores para mantener la temperatura constante en condiciones mesófilas de  $37^\circ\text{C}$ , con un volumen total de 6 y 20 L litros y un volumen de trabajo de 3 y 12 litros, con una velocidad de carga (OLR) de  $16 \text{ kgSVT m}^{-3}\text{d}^{-1}$  y  $4 \text{ kgSVT m}^{-3}\text{d}^{-1}$ , Tiempo de retención hidráulica (TRH) de 36 días, ácidos grasos volátiles  $1500 \text{ mgL}^{-1}$  para reactor metanogénico y  $3500 \text{ mgL}$  para reactor fermentativo, las proporciones fueron 1:5 en peso de residuos de alimentos y lodos

activados y se adiciono lodo de semillas de inóculo producto de estiércol de ganado en condiciones mesófilicas, se determinó una mejor producción de metano para el proceso de dos etapas , producto de los reactores secuenciales se obtuvo un promedio de 6401 NLkg SVTd<sup>-1</sup> de metano (CH<sub>4</sub>), esto debido a la mejora en el proceso de hidrolisis con respecto al sustrato que contenía mayores cantidades de AGV, se logró reducir el tiempo de retención hidráulica y la eliminación de solidos volátiles.

**Reactor experimentos por lotes BMP.** Reyes et al (2016) explicaron los avances tecnológicos de los procesos de digestión anaeróbica que han conllevado a un gran desarrollo de técnicas que son de gran utilidad en la escala laboratorio para poder evaluar la obtención del Metano (CH<sub>4</sub>) mediante la degradación de la materia orgánica, las pruebas de potencial de biometano (PBM), fueron desarrolladas con el objetivo de dar a conocer de forma rápida si un residuo orgánico puede degradarse correctamente y así producir CH<sub>4</sub>.

Gu et al. (2020) estudiaron la co-digestión de residuos de alimentos y lodos de depuradora en condiciones mesofílicas y termofílicas con el objetivo de evaluar los efectos sobre la producción del metano, se trabajaron dos conjuntos reactores y se hicieron experimentos por lotes de potencial bioquímico de metano (PBM), cada conjunto de reactores constaba de 18 botellas de 500 ml, un rotor de mezcla mecánico, sistemas de absorción de dióxido de carbono y medición de gases con contador de microburbujas, los reactores se incubaron a 37°C y 55°C, se tomaron en cuenta dos TRH de 31 días para condiciones mesofílicas y 20 días para condiciones termofílicas a un pH de 7,63 logrando unas tasa de producción de metano de 364,9 m/L CH<sub>4</sub>·SV-1

Respecto a los **tipos de sustratos, es muy común el uso de la fracción orgánica de residuos sólidos urbanos (OFMSW)**, por lo general los desechos sólidos urbanos son todos los desechos que se producen en las ciudades, solo en E.E.U.U. separan los residuos industriales, peligrosos o de construcción en otra categoría de desecho, entonces la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos se componen en su mayoría por residuos biodegradables. La relación Carbono / Nitrógeno de OFMSW es alrededor de 11/21, el contenido de humedad es de 70%-82% aproximadamente, “la co-digestión de lodos de aguas residuales con OFMSW

en condiciones mesófitas logra una mejora en el rendimiento de metano del 59% al 89%" (Chow et al. 2020 p.3).

**Desperdicio de alimentos (FW).** Son los principales residuos orgánicos que se producen en la mayoría de los países, en Australia Occidental el porcentaje de estos residuos que termina como desperdicio es del 30% aproximadamente, la eliminación de estos residuos es un duro proceso debido al impacto ambiental que generan y a su alto contenido orgánico biodegradable. Por otro lado, se ha demostrado que la co-digestión anaeróbica es una tecnología eficiente para la utilización y valorización de este residuo en la producción de biogás y productos orgánicos como el compostaje (Ambrose, PHilipo, Suraishkumar, Karthikaichamy, Kantin, 2020, p.2).

La relación carbono / nitrógeno de estos sustratos son de 11-15 aproximadamente con un contenido de humedad del 82% al 86%, con estos datos se presenta una mejora del 16% al 48% en el rendimiento de metano, cuando se co-digería lodos de depuradora con FW se producía una mejora en el rendimiento de metano en comparación con la mono-digestión de lodos de aguas residuales. Esto cumple con las expectativas, porque el FW contiene propiedades más biodegradables para la digestión anaeróbica en comparación con los lodos de depuradora solos (Chow et al. 2020 p.3).

**Glicerol crudo.** Actualmente existen dos mercados de consumo de glicerol, el primero es el mercado con demanda de glicerol de alta pureza y el segundo es el uso de glicerol crudo de menor pureza de la producción de biodiésel. El glicerol y sus residuos asociados o tecnologías de valor añadido juegan un papel importante en la producción de biogás, es una materia orgánica de alta resistencia, usualmente el uso de glicerol crudo está limitado debido a las impurezas que afectan sus propiedades físicas, químicas y biológicas es difícil procesarlo por su bajo contenido en nitrógeno y pH extremo, están tratando el glicerol crudo como desecho industrial, sin embargo, lo utilizan como sustrato en la co-digestión anaeróbica de aguas residuales de baja resistencia, como lodos de depuradora. Cuando se realizan los experimentos los volúmenes de glicerol crudo no superan el 1% en volumen para que la mezcla con los lodos residuales sea efectiva, inclusive se han demostrado resultados con el aumento en la producción de metano de hasta un 115% - 176%

este último porcentaje se evidencia un aumento significativo debido a la optimización en el tratamiento del inóculo previo a la co-digestión (Chow et al. 2020 p.6).

**Grasa, aceite y glicerina (FOG).** Según Hao, Reyes, He (2020) estos residuos son considerados como un problema global para el mantenimiento de los sistemas de recolección de alcantarillado; cuando se mezclan los residuos de grasa, aceite y glicerina con lodo activado residual producen más metano que la mono digestión de FOG, estos depósitos que se forman en las alcantarillas son un agente potencialmente alto para la producción de gas renovable a través de la co-digestión anaeróbica con lodo activado residual. Se demuestra una producción de metano con una proporción de sustrato más inóculo de “0,25 + 1,2” siendo la máxima producción final de metano “685,7 24,1 ml / g SV” (p.2).

**Residuos agrícolas (AW).** Los desechos agrícolas son los desechos de animales, desechos de procesamiento de alimentos y desechos de cultivos, el mayor porcentaje por el cual está compuesto los AW son los desechos de animales como el estiércol los cuales presentan un alto contenido de nitrógeno y la presencia de gases de azufre, amoníaco y sulfuro de hidrógeno esto produce un exceso de nutrientes y materia orgánica en el digestor produciendo una capacidad de rendimiento mayor de metano en el proceso de co-digestión siempre y cuando el inóculo pase por un pre-tratamiento que ayude a equilibrar la mezcla para la obtención de biometano. La co-digestión de los desechos agrícolas más los lodos de depuradora muestran un aumento en el rendimiento de metano de hasta un 131% a comparación de la mono-digestión de los lodos residuales, se ha demostrado que el glicerol crudo es el mejor co-sustrato, seguido del desperdicio de alimentos (Chow et al. 2020 p.8).

También Martínez et al. (2018) estudiaron los efectos de la adición de biocarbón (biochar) en comunidades microbianas de co-digestión de residuos de lodos y cáscaras de cítricos, el objetivo fue evaluar la influencia de la adición de biocarbón en los factores anaeróbicos de co-digestión de cáscaras de naranja y lodos de depuradora, se trabajó con un reactor de tanque agitado continuo (CSTR) a temperatura mesofílica 37°C, volumen de 3 litros de capacidad con una velocidad de carga (OLR) de 1,49 kg SV m<sup>-3</sup> d<sup>-1</sup>, con un tiempo de retención hidráulica (TRH)

de 30 días , ácidos grasos volátiles (AGV)  $1790 \text{ mgL}^{-1}$  en proporciones de 1:1 , el sustrato usado Biochar elaborado a base de podas de viñedos tenía las características físico químicas siguientes; Solidos totales ( ST%)  $74,5 \pm 5,3 \text{ g kg}^{-1}$ , sólidos volátiles (SV%)  $0,7 \pm 0,2 \text{ g kg}^{-1}$ , pH 7,6, ácidos grasos volátiles (AGV)  $31,6 \pm 3,8 \text{ mg L}^{-1}$ , se introdujo  $10 \text{ g L}^{-1}$  de biochar en la co-digestión de residuos de cascaras de naranja y lodos residuales y se determinó que hay una mejora el rendimiento medio del metano en  $500 \text{ L CH}_4 \text{ kg SV}^{-1}$  bajo un régimen semi-continuo.

Xing, Han, Cao, Wang (2020) detallaron la aclimatación a largo plazo en la co-digestión anaeróbica de desechos de alimentos y estiércol de vaca, el objetivo fue evaluar la relación de mezcla de sustrato óptima y la relación de sustrato a inóculo, se trabajó con un biorreactor de tanque agitado continuo (CSTR) membrana a temperatura de  $39^\circ\text{C}$ , un pH  $5.60 \pm 0.07$ , alcalinidad de  $3,30 \text{ g de CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$ , volumen de 0.7 litros de capacidad con una velocidad de carga orgánica (OLR) de  $7.81 \text{ gSV L}^{-1} \text{ día}^{-1}$ , un tiempo de retención hidráulica (TRH) de 550 días , tiempo en el que fue aclimato, se usaron proporciones de 1:1 , el co-sustrato usado fue estiércol de vaca que contenía  $82,3 \text{ gL}^{-1}$  de solidos totales TS,  $81,2 \text{ gL}^{-1}$  solidos volátiles, DBO total  $212,6 \pm 5,5$  un pH de 4,3, proteínas  $3,07 \text{ gL}^{-1}$ , carbohidratos  $82,1 \text{ gL}^{-1}$ , ácido acético  $1980.5 \text{ mg DQO L}^{-1}$ , se obtuvo una producción de Metano de  $664 \text{ mL g}^{-1} \text{ SV}$ .

**Tipos de inóculos.** En un proceso de co-digestión es necesario el uso de poblaciones de microorganismos que aceleren el arranque de un sistema de digestión anaerobia, según Montecchiola (2019, pag.2) explica en su investigación sobre inóculos que fueron extraídos de digestores anaerobios de plantas de tratamiento de agua residuales (PTAR), donde lodos primarios y lodos activos fueron tratados en un tiempo de retención hidráulica (TRH) DE 25 días. Camacho, Villada, Hoyos (2017, pg.29) Explicaron que la introducción de inóculos de estiércol de vaca a un sistema de digestión anaeróbica de  $65^\circ\text{C}$  seca de residuos orgánicos urbanos es una de las etapas que mayor complicación trae para la co-digestión siendo indispensable el uso de un inóculo que este a la disposición y tenga las características apropiadas, aquí se consideraron tres etapas muy bien definidas como son; aclimatación de inóculo, aclimatación de residuo y por último la re-inoculación.

Wu, Kang (2020) Explicaron el análisis de mecanismo de rendimiento de la producción de metano a base de codigestión anaeróbica de lodos residuales activos y desperdicio de pescado, en esta investigación se usó como inóculos a los lodos digeridos anaeróbicos mesófilos se extrajeron de una planta de tratamiento de aguas residuales, Estos lodos fueron pre-digeridos A una temperatura de 37°C durante siete días antes de ser usados como inóculos, sus características físico químicas fueron; pH  $7,3 \pm 0$ , Solidos Totales de  $35133.5 \pm 99,7$  mg/L y Solidos Volátiles  $13433,3 \pm 5,8$  mg/ L

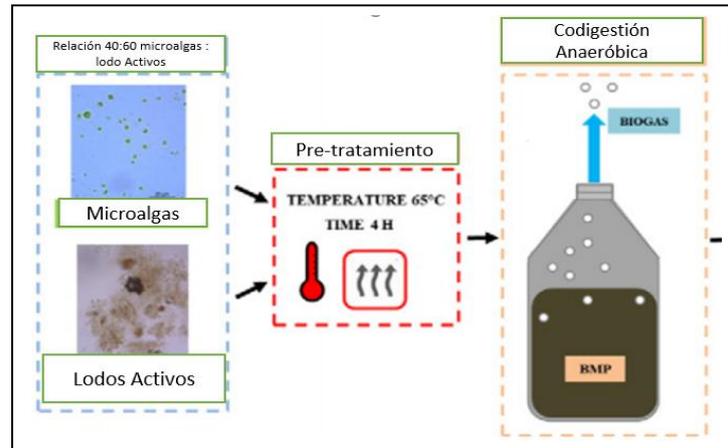
Baldi, Pecorini, Iannelli (2019), estudiaron obtención de hidrógeno y metano en dos sistemas de reactores anaeróbicos donde se trató la co-digestión de residuos de alimentos y lodos activados, su objetivo fue evaluar cuál de los sistemas de reactores es más eficiente para la producción de hidrogeno y metano, para enriquecer y acelerar los procesos de digestión del reactor de tanque agitado continuo (CSTR), se usó lodos activos como inóculo producto de una combinación de estiércol de ganado y residuos de comida extraídos de un reactor anaeróbico húmedo , estos lodos fueron pre-tratados mediante choque térmico a 105°C en un horno estático en vasos precipitados de 250ml , sus características físico químias fueron; pH de  $8.2 \pm 0,1$ ,  $61,9 \pm 0.4\%$  de solidos volátiles,  $2.6 \pm 0.0\%$  de solidos totales,  $0,6 \pm 0,1\%$  de proteínas,  $<0,3\%$  de lípidos y alcalinidad de  $7749 \pm 55$  mgCaCO<sub>3</sub> L<sup>-1</sup>, debido a la mejor hidrolisis de los sustratos e inóculos, con mayores cantidades de ácidos grasos volátiles que alimentaron el proceso continuo de dos reactores fermentativo y metanogénico se obtuvo la mayor producción de metano en un 70%.

**Pre-tratamiento secado térmico.** Se ha descubierto que el secado térmico es esencial para reducir el contenido de agua con el fin de mejorar la manipulación para aumentar el poder de calor y para reducir el contenido de patógenos, por lo general, los tratamientos térmicos se pueden categorizar en baja temperatura (menos de 100 ° C) y tratamientos de alta temperatura (más de 100 ° C). Se puede concluir que en la investigación de Di Fraia, Figaj, Massarotti, Vanoli (2018) “Un sistema integrado para el secado de lodos de depuradora mediante energía solar y una unidad combinada de calor y energía alimentada por biogás” se han utilizado varios tipos de secadores para el tratamiento de lodos que presentan una viabilidad

de un secador híbrido que se produce mediante “energía solar, un sistema de cogeneración alimentado por biogás procedente de la digestión anaeróbica de los lodos, y la energía producida por la unidad de cogeneración utilizado para abastecer las instalaciones de la EDAR”. Cada uno de estos procesos de secado tienen sus debilidades y sus fortalezas, pero organizándolas para trabajar juntas se puede llegar a obtener resultados de calidad (p.601).

Scarcelli, Serejo, Paulo, Boncz (2019) en su investigación de co-digestión de microalgas (*Clorella sp*) y lodos activados residuales pre-tratados térmicamente donde el objetivo del estudio fue evaluar la producción y rendimiento de metano durante la co-digestión de las mezclas de lodos y microalgas, los sustratos fueron sometidos a un pre-tratamiento térmico a baja temperatura 65°C durante 4 h en una estufa por separado, sus características químicas después del pre-tratamiento fueron; micro algas ( *clorella sp* ) mostro un aumento del 10% a 30% en la DQO soluble, así mismo los lodos activos aumento del 24% al 96%, con el pre-tratamiento térmico de los sustratos en base a la relación 40:60 en condiciones mesofílicas 37°C temperatura, los rendimientos del metano mejoraron en un 338 mL CH<sub>4</sub> g<sup>-1</sup> de acuerdo con los resultados de los experimentos por lotes de Potencial Bioquímico de Metano (BMP).

**Figura 5:** Pre-tratamiento térmico de micro algas ( clorella sp ) y lodos activos de plantas de tratamiento de aguas residuales.



**Fuente:** Adaptado de Scarcelli, Serejo, Paulo, Boncz (2019).

**Pre-tratamiento ultrasonido secuencial-térmico.** El ultrasonido se ha estudiado ampliamente durante las últimas décadas y se ha informado que esta tecnología da como resultado balances energéticos positivos a gran escala, recientemente este tratamiento se ha combinado con la hidrólisis térmica para mejorar la calidad del sustrato, esto podría conducir a una mejora en el rendimiento de metano, según Neumann, Barriga, Álvarez, González, Vidal (2018) en la investigación “Evaluación del rendimiento del proceso de digestión anaeróbica avanzada de lodos de depuradora, incluido el pre-tratamiento secuencial por ultrasonido - térmico (55 ° C)” realizaron el pre-tratamiento con el siguiente proceso: “El ultrasonido se aplicó utilizando un homogeneizador ultrasónico UP200ST a 26 kHz y con una energía específica de 2000 kJ kg<sup>-1</sup>ST. La energía específica se seleccionó en base a resultados e informes previos indicó que el umbral para la alteración del lodo en condiciones de laboratorio oscilaba entre 1.000 y 3.000 kJ kg<sup>-1</sup>ST” descubriendo como resultado que las temperaturas solubilizan eficazmente los lodos y aumentan su rendimiento de metano hasta un 50% (p.4).

**Pre-tratamiento hidrotermal.** Li et al. (2017) señala que el tratamiento hidrotermal se ha utilizado ampliamente para todo tipo de residuos biológicos ricos en agua, incluidos varios lodos, residuos de antibióticos y similares; muchos enfoques de pre-tratamiento, como el tratamiento térmico / hidrotermal, tratamiento ultrasónico, tratamiento alcalino y sus combinaciones se han estudiado para facilitar la deshidratación de lodos. Para el procesamiento hidrotermal, se emplea vapor de alta presión debido a sus diversas virtudes, durante el procesamiento hidrotermal, “las sustancias poliméricas extracelulares se desintegran para liberar el agua unida y las paredes de las células se destruyen para derramar el agua intracelular”, lo que mejora en gran medida la capacidad de deshidratación de los desechos biológicos similares a lodos anteriores, así como su biodegradabilidad (p.50).

Tian et al. (2020) explicaron en su investigación mono y co-digestión de lodos activados residuales y paja de trigo aplicando un pre-tratamiento hidrotermal, el objetivo fue determinar el rendimiento digestivo en mono y co-digestión de paja de trigo y lodos activados mediante pre-tratamiento hidrotermal en condiciones de temperatura (125, 150 y 175° C), el lodo y paja de trigo fueron pre-tratados hidrotermalmente por separado en diferentes reacciones de alta temperatura, la cual después del desarrollo de los experimentos , el pre-tratamiento a 175°C mostro las mejores condiciones en co-digestión , en este diseño experimental se agregó agua desionizada 200mL para 10,08 g de paja y lodos, en un tiempo de 60 minutos, las características de estos sustratos luego del pre-tratamiento fueron las siguientes; para lodos activados 5537,9 mg / L de Demanda química de oxígeno (DQOt), 264 mgL<sup>-1</sup> AGV y pH 6,70 , para la paja de trigo 3099,7 mgL<sup>-1</sup> de Demanda química de oxígeno (DQOt), 69,6mgL<sup>-1</sup> AGV y pH 7,27, con estas propiedades se obtuvo el mejor rendimiento y estabilización del reactor discontinuo a escala de laboratorio donde la producción de metano (CH<sub>4</sub>) fue de 225,7 mL g<sup>-1</sup> ·SV.

**Figura 6:** Pretratamiento Hidrotermal lodos activos y paja de arroz



. **Fuente:** Adaptado de Tian et al (2020).

**Pre-tratamiento de homogenización de alta presión.** Nabi et al. (2019) menciona que el pre-tratamiento de homogenización de alta presión se puede emplear eficazmente en la digestión anaeróbica de lodos, es un método emergente y se ha utilizado para la desintegración, con resultados positivos en los últimos años. Aun no se tiene claro cómo los compuestos orgánicos solubles y partículas contribuyen a la producción de biogás y los mecanismos correspondientes y pocos estudios hasta la fecha han informado sobre este aspecto por eso se decide estudiar sus efectos, en la investigación “Contribución de fracciones sólidas y líquidas de lodos de depuradora pre tratados mediante homogeneización a alta presión a la producción de biogás” preparan el inóculo en un homogeneizador de alta presión en este caso el lodo pre tratado se centrifugó a “8000 rpm durante 10 min con una máquina centrífuga y la fuerza centrífuga relativa fue de 6000 g”. Después de la centrifugación, el lodo se separó en partes líquidas y sólidas, los cuales fueron llevados a diferentes procesos en la mayor parte del biogás se produjo a partir del lodo sólido, que creció con el aumento de la presión de homogenización (p.2).

**Pre-tratamiento alcalino.** El pre-tratamiento con álcali térmico se puede considerar como una alternativa confiable para mejorar la degradación de la materia orgánica y duplicar el rendimiento de metano acelerando la etapa de hidrólisis y obtener un subproducto orgánico adecuado. En el estudio de Lee, Seyong, Cui, Kim

(2019), “Optimización de las condiciones de pretratamiento para la co-digestión anaeróbica de residuos alimentarios y lodos de depuradora” explican que la reacción térmica-alcalina es un proceso complejo “que descompone las macromoléculas en monómeros” usando residuos de alimentos de una depuradora en Yongin, Corea del Sur y lodos de una planta de tratamiento de aguas residuales municipal li-San en Goyang, (Corea del Sur) y experimentaron con diferentes temperaturas llegando a la conclusión de que el rendimiento máximo de metano de “484,3 ml de CH<sub>4</sub> g<sup>-1</sup> SV adicional se obtuvo en el rango de 140-200 ° C y > 100 meq L<sup>-1</sup>” demostrando así que el rendimiento de metano aumenta optimizando sistemáticamente diversas condiciones de pretratamiento (p.7).

### III. METODOLOGÍA

#### 3.1 Tipo y diseño de investigación

Esta investigación es de tipo aplicada debido a que el objetivo principal es ejercer teorías y conocimientos para usarlos en la resolución de problemas que se plantean en la búsqueda del conocimiento. (Hernández, Fernández y Bautista, 2014, pg. 25)

Esta investigación realizó una revisión y análisis sobre la codigestión anaerobia, empleando como materia prima diferentes tipos de lodos de depuradoras y aplicando diferentes pretratamientos a sustratos e inóculos mejorando así sus características físico químicas con el objetivo de generar nuevos conocimientos y metodologías que optimicen los mejores rendimientos para la producción de metano (CH<sub>4</sub>) en la codigestión anaerobia.

El diseño de investigación es cualitativo narrativo de tópicos ya que se recopiló información variada sobre los experimentos de codigestión anaerobia los cuales se realizaron en diversos laboratorios del mundo utilizando reactores de tanque agitado semicontinuo (CSTR), Reactor anaeróbico de flujo ascendente (UASB) y Experimentos por lotes BMP, de modo que, se puedan analizar aspectos sobresalientes en la obtención de metano. Entonces una investigación cualitativa recopila datos para poder analizarlos y comprenderlos y así poder dar respuesta a los objetivos de investigación planteados. (Hernández et al 2014, pg. 430)

Se hizo uso de unas tablas de Excel para poder extraer e ingresar información de artículos científicos que puedan contener variables de nuestra investigación tales como tipo de sustratos, lodos de depuradoras, pretratamientos, reactores e inóculos.

### **3.2 Categorías, subcategorías y matriz de categorización apriorística:**

A continuación, se presenta la matriz de categorización apriorística que se realiza en base a los objetivos y problemas específicos de la investigación, los cuales están divididos en categorías y subcategorías tal como se muestra en la tabla 1:

Tabla 1: Categorías, subcategorías y matriz de categorización apriorística

Matriz de categorización Apriorística				
O. ESPECIFICOS	PROBLEMAS ESPECIFICOS	CATEGORIAS	SUB CATEGORIAS	UNIDAD DE ANALISIS
1	Describir los tipos de lodos de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas que se usan con frecuencia en el proceso de co-digestión anaerobia	¿Cuáles son los tipos de lodos de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas que se usan con frecuencia en el proceso de co-digestión anaerobia?	Tipos de Lodos	Nkinahamira et al., 2019, p.1
				Fijalkowski, Rorat, Grobelak, Kacprzak (2017)
				Krzysztof et al. (2017)
				xie, wickham y nghiem (2016)
				Mosquera et al. (2020)
				Di Fraia, Figaj, Massarotti, Vanoli (2018)
				Julio, Peláez, Molina (2016),
				Gu et al. (2020)
2	Analizar los tipos de reactores anaerobios que	¿Cuáles son los tipos de reactores anaerobios que		Orgai Chon, Sen, kayaalp, ang,2012, pg.3437

	se usan con mayor frecuencia en el proceso de co-digestión anaerobia	se usan con mayor frecuencia en el proceso de co-digestión anaerobia?	<b>tipos de reactores anaerobios</b>	Reactor anaeróbico de flujo ascendente UASB.	Wardhani , Amizera, Prima, 2021,p.108
				Reactor de tanque completamente mezclado (CSTR).	Alvarez, Condorniu, Pina, 2018, pg.17)
					Cardozo et al, 2018, pg.41
				Reactores experimentos por Lotes BMP.	Reyes et al (2016)
3	Analizar los tipos de sustratos que se usaran en la co-digestión anaerobia	¿Cuáles son los tipos de sustratos que se usan en la co-digestión anaerobia?	<b>Tipos de sustratos</b>	Fracción orgánica de residuos de alimentos, algas sólidos urbanos	(Velásquez, Venturini, Silva, Calle, 2017, p.3).
				Desperdicio de alimentos	Pellera, Frantzeska, Gidaracos (2017)
				Grasa, aceite y grasa	(Arhoun, Villen, Gomez, Rodríguez, García, Vereda, 2019, p.8).
				Residuos agrícolas :	Li et al (2019)
				. Paja de arroz	(Chakraborty, Karthikeyan, Ammaiappan, Wong, 2017, p.1).
				. Papas	(Derovil, Galdino, Marques, Motta, Thome, 2020, p. 3).
				. Tallos de maíz / paja	Lee et al, (2019)
. Hierba / recortes	Según Hao, Reyes, He (2020)				
4	Analizar los tipos de inóculos que se usaran	¿Cuáles los tipos de inóculos que se usan con	<b>Tipos de inóculos</b>		Baldi, Pecorini, Iannelli (2019),
					Montecchiola (2019, pag.2)

	en la co-digestión anaerobia	mayor frecuencia en la co-digestión anaerobia?		Lodo deshidratado, lodo activo, lodo digerido.	Camacho, Villada, Hoyos (2017, pg.29)
5	Describir los pre-tratamientos que se aplican a los sustratos e inóculos para optimizar la producción de metano.	¿Cuáles son los pre-tratamientos que se aplican para optimizar la producción de metano?	<b>Tipos Pre-tratamiento</b>	Pre-tratamiento alcalino	Maraschin , Ferrari y Carissimi, 2020, p.1 / Munsik, Kim, Jung, Donghee,2020-
				Pretratamientos hidrotermales / alcalinos hidrotermales	Li et al. (2017)
				Pre- tratamiento secado térmico	Fraia, Figaj, Massarotti, Vanoli (2018)
				Pretratamiento de homogeneización de alta presión	Nabi et al. (2019)
				Pre tratamiento ultrasonido secuencial-térmico	Neumann, Barriga, Álvarez, González, Vidal (2018)
					Lee, Seyong, Cui, Kim (2019)

Fuente: Elaboración propia

### **3.3 Escenario de estudio**

Esta investigación no cuenta con un escenario de estudio definido, por tratarse de una revisión bibliográfica a nivel mundial sobre el proceso de co-digestión anaeróbica para la producción de biogás, teniendo en cuenta diversos documentos (artículos científicos, libros, capítulos de libros, tesis) principalmente las investigaciones que aporten un resultado positivo al proceso.

### **3.4 Participantes**

La información para realizar esta investigación, se obtuvo a través de documentos, principalmente de artículos científicos y repositorios de diferentes universidades nacionales de las bases de datos académicas tales como: Science direct, Scopus, Cielo, Google académico, los cuales se utilizaron para almacenar la información plasmada en este documento de investigación.

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

Bojen (2009) señala que la investigación que desarrolla una técnica de análisis documentario, permite describir, analizar y filtrar información en este caso se ha filtrado información de los diferentes estudios científicos que se han publicado en plataformas virtuales, una vez hecho esto se aplicaron técnicas para poder sintetizar lo que los diferentes autores han querido demostrar, así de esta manera se adecuaron a los lineamientos del método científico (pg.27). Por otra parte se elaboró un documento Excel para establecer una base de datos, la cual incluyó la siguiente información detallada de los artículos que se ha revisado: parámetros físico-químicos (DQOs, DBOt, pH, ST, AGT, C/N,TS, VS, TRH), tipo de sustratos (sustratos, co-sustratos, inóculos), Pre-tratamientos (físico, químicos y biológicos), rendimientos de Biogás (instrumento de medición de metano, cantidad de metano), tipo de reactores (T° termófila y mesofila), autores, título de artículo, bibliografía).

### **3.6 Procedimientos**

Iniciamos esta investigación con la formulación del problema, luego se eligieron palabras claves del tema a analizar (variables de la investigación), para poder proseguir en la búsqueda de artículos para la recolección de información mediante a través de las bases de datos anteriormente ya mencionadas priorizando la búsqueda de información en el idioma inglés, de las cuales se obtuvo un aproximado de 40 artículos.

Como segundo paso se realizó una traducción y un posterior filtrado de los artículos para escoger y seleccionar la información que cumpla con las necesidades y aporte al tema de investigación, obteniendo una cantidad de 40 documentos analizados. La tercera y última etapa consistió en estructurar, analizar, plantear y esquematizar la información seleccionada que fue plasmada a lo largo de la presente investigación.

<b>Tipo de documento</b>	<b>Documentos referidos a</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Palabras claves de búsqueda</b>	<b>Criterios de inclusión</b>	<b>Criterios de exclusión</b>
Artículo científico	Co-digestión anaerobia rendimiento de metano, producción de biogás ,reactores anaerobios,BMP	40	Anaerobic co-digestion Methane using domestic, Bio-aumento Biogas, Biological co-pretreatment	Revistas indexadas, información menor a 5 años	Artículos de Revistas en base de datos no confiables, Artículos con 6 a más años de antigüedad, que no cumpla con la información (datos y resultados cuantitativos)
Libro	Lodos de depuradora, tipos de reactores, reactores UASB,CSTR, co-digestión, monodigestion	4	granular sludge, activated sludge, mixed sludge, treatment plants, co-digestion, anaerobic reactors	Libros con información menor a 7 años	Libros que no cuentan con bibliografía , así mismo que sean de fuentes no confiables.
Capítulo de libro	Plantas de tratamiento de aguas residuales ,pre-tratamientos alcalino, hidrotermal ,lodos primarios , secundarios, mixtos, monodigestion	3	Biological co-retreatment, anaerobic co-digestión strategies, optimize biogas production, parameters in anaerobic odigestion,residuos sólidos; digestión anaerobia; termófilo; estiércol de vaca; arranque	La base de datos confiables,	La antigüedad del capítulo libro sea mayor a 7 años
Tesis	Lodos residuales ,reactores UASB, producción de energía	1	active sludge, continuous, semi-continuous reactors	Trabajos de investigación de post-grado, tesis doctoral	Tesis de pre-grado mayor a 7 años de antigüedad

Informes y reportes	Comisión Europea	1	Producción de residuos orgánicos a nivel mundial	Informes de organismos con web oficial , información de los últimos 3 años.	Fuentes de web no institucionales ,
---------------------	------------------	---	--	---	-------------------------------------

**Tabla 2:** Resumen de Criterios de Búsqueda

### **3.7 Rigor científico**

El presente documento se redactó bajo un rigor científico estricto ya que esta cumple con criterios básicos que establecen la autenticidad, credibilidad y veracidad de la investigación., así mismo permita comparar estas con otras investigaciones y poder ser citadas en futuras investigaciones (Hernández, z, Fernández y Baptista, 2014, p,588).

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

En el análisis de la información elegida se ha tomado en cuenta los problemas de investigación, así como sus categorías y subcategorías que se encuentra en nuestra matriz de categorización apriorística.

### **3.9 Aspectos éticos**

Este documento de investigación fue redactado con fuentes de veracidad confiable, revistas indexadas de plataformas digitales de mayor búsqueda científica, se ha tenido en cuenta respetar los derechos de autores (citas y bibliografías), se tuvo como referencia el manual ISO 690 de la universidad Cesar Vallejo, se respetó los acuerdos de rigor científico en todos los resultados que se detallan en este documento de investigación.

#### **IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Los resultados mostrados a continuación se desarrollan en base a los objetivos de la investigación, estos fueron el resultado de la revisión de 40 artículos utilizados como antecedentes tanto para tipo de lodos, reactores, sustratos, pre-tratamientos e inóculos, donde se obtuvieron las siguientes resultados y discusiones.

**Tabla 3: OE1: Lodos Primarios. Tipos de lodos de tratamiento de aguas residuales**

LODO PRIMARIO	ST	SV	pH	DQO total	DQO soluble	C/N	AGV	T°de almacenamiento	Alcalinidad total	Referencias
PTAR Municipal	80,6 %	19,9 %	3.8					4°C	1300 mgCaCO3L	KUMARI,Suresh, Arisutha, Sudhakar (2018)
PTAR Municipal	20,6 %	51,5 %				21,0		4°C		Gu et al (2020)
PTAR Municipal	20,9 g/L	7,96 g/L	7,54			/			2,23 mgCaCO3L	Li, Li, Wang, Wang (2017)
PTAR Municipal	20,9 g/L	7,96 g/L	7,54			/				Li et al (2018)
PTAR Municipal	28,7 g kg-1	23,2g/L	5,66			4,72	2603 mg /L-1			Martínez et al (2018)
PTAR Municipal	2,26 %	0,74 %	5.41			9,61	2006 mg /L-1	4°C	713 mgCaCO3L	Grosser (2017)
PTAR Municipal	6,1 g/L	4,5 g / L	6,8					4°C		Scarcelli, Serejo, Paulo, Boncz (2019)
PTAR Municipal	91.46 g/L	7.56 g/L	6.5							Wang et al ( 2017)

*Fuente: Elaboración propia*

<b>LODO PRIMARIO</b>	<b>ST</b>	<b>SV</b>	<b>pH</b>	<b>DQO total</b>	<b>DQO soluble</b>	<b>C/N</b>	<b>AGV</b>	<b>T°de almacenamiento</b>	<b>Alcalinidad t.</b>	<b>Referencias</b>
PTAR Municipal	31,6 g/L	24 g/L	7,4	43,6g / L				4 °C		Maragkaki (2017)
PTAR Municipal	20,6%	51,5%				21,0		4 °C		Gu et al (2020)
PTAR Municipal	100 kg /dm 3	40,68 %	6,8	0,76 g/L			96,8 mg/L			Chakraborty et al 2017
PTAR Municipal	1.30%	1.10%	6	20,250 mg/kg						Xie et al (2016)
PTAR Municipal	29 mg/L	25 mg/L	5,9	43 mg/L	2,2 mg/L		0,6 mg/L		16 gCaCO3 /L	Agyeman, Elzbieta, Cetecioglu (2020)
PTAR Municipal	55.21%	21.17 %	6,7				7,42mg/L	4°C		Du, Tao, Li, Liu, Feng (2019)
PTAR Municipal	45,3 g/L	22,4 g/L	6,8	25,6 mg/L	41,7mg/L	6,3		4°C		Pan et al (2019)

*Fuente: Elaboración propia*

Lodo secundario o Activo	ST	SV	pH	DQOt	DQO soluble	C/N	AGV	T° de almacenamiento	Alcalinidad t	Referencias
PTAR municipal	2.10 %	79,3 %	7.1					4°C	5000 mgCaCO3/L	Baldi, Pecorini, Iannelli.2019
PTAR municipal	14,2 g / L	9,8g / L	7.02	12,7g / L				4°C	325 mgCaCO3/L	Hao, Reyes ,He ( 2020)
PTAR municipal	2,97 %	2,49%	7.15	49700mg/L	7370 mg/l			4°C		kashi et al (2017)
PTAR municipal	1,73 %	2,37%	6,49			11,7				Xing, Han, Cao, Wang (2020)
PTAR municipal	22,23 %	11,26%	8,53			8,56			7,85 gCaCO3 /L	Zhang ( 2019)
PTAR municipal	26 %	50,7%	7.1			10,7				Pirlou et al ( 2017)
PTAR municipal	3,5 %	19,190mg/L	6.58	5537,9 mg/L			264,0mg / L	4°		Tian et al (2020)
PTAR municipal	25 000 mg/L	21333mg/L	6.6	36 566 mg/L	3500 mg/L					Ambrose, PHilip, Suraishkumar, Karthikaichamy, Sen, (2020)
PTAR municipal	3,67 g/L	2,69 g/L	7,6	53,9 mg/L	19,0 mg/L	5.2		4°C	3,53 gCaCO3 /L	Ripoll, García, Pérez, Solera (2019)
PTAR municipal	1%	179 gVS L 1	6,6	1,31 mg/L			0,33 mg/L	4°C		Montecchio et al (2019)
PTAR municipal	4.6%	12.5%	7°C							Naran et al (2016)
PTAR municipal	29181,5 mg /L	14561,2 mg /L	6,9				9002.9 mg DQO / L			Wu y Kang (2020)

Fuente: Elaboración propia

Lodo secundario o Activo	ST	SV	pH	DQOt	DQO soluble	C/N	AGV	T° de almacenamiento	Alcalinidad t	Referencias
PTAR municipal	2,5 %	21.60%	7,1		6325 mg/l				2100 gCaCO3 /L	Lati et al (2019)
PTAR municipal	3,67 %	2,69 %	7,6	53,9 kg / m 3				4°C	3,53 gCaCO3 /L	Ripoll et al (2019)
PTAR municipal	100,0 mg /L	70,0 mg / L	6.12	101,2 g/L	5,0 mg/l			4°		Lee et al (2019)
PTAR municipal	31,6 g/L	24 g/L	7,4	43,6 g / l				4C°		Maragkaki et al (2017)
PTAR municipal	1,73%	78,6%	6,49			11,7		4C°		Reza et al (2019)
PTAR municipal	10.15%	58,53%	7.6	103 g/ L						Santos Filho (2020)
PTAR municipal	5.30 %	4.10%	6.5	15g/ l						Zahedi et al (2020)
PTAR municipal	22. 8 g /L	18,1 g/ L	5,7		1.8 g/ L					Yan et al (2019)
PTAR municipal	4,13 %	78,54%	6.29		5600mg/ L			4°C		Kaur, Johnravindar, Wong ( 2020 )
PTAR municipal	3,79 %	2.15%	7.03					4°C		Zhu et al. (2020)

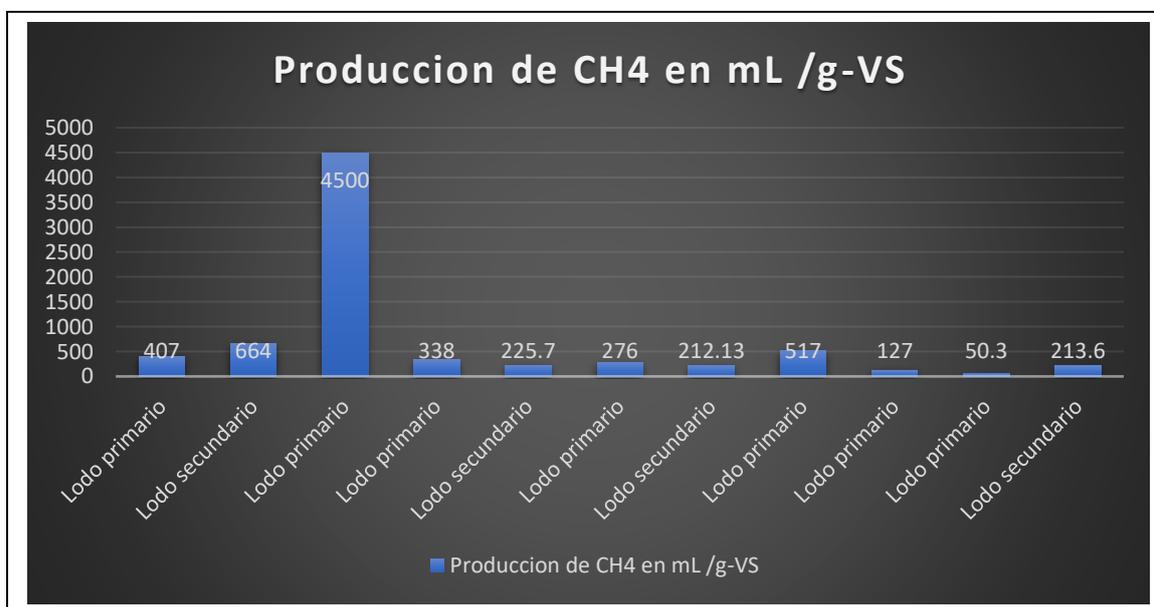
pH	PROMEDIO:6.8	MAXIMO: 8.5	MINIMO: 5.6
----	--------------	-------------	-------------

Fuente: Elaboración Propia

Como resultado podemos deducir que el promedio del pH de los lodos es de 6.8 con una máxima de 8.5 (Zhang 2019) y una mínima de 5.6 (Martínez et al 2018).

Así mismo también se pudo deducir que el promedio de Solidos Volátiles (SV) de lodos primarios fue de 29.03 % y de lodos secundarios 33.13%, con una máxima de 51.50% lodos primarios (Gu et al 2020) y 79.30 % para lodos secundarios (Baldi, Pecorini, Iannelli.2019), una mínima de 1.10% para lodos primarios (Xie et al 2016) y 2.15% para lodos secundarios (Zhu et al. 2020).

También se pudo identificar que el promedio de Solidos Totales (ST) de las condiciones fisicoquímicas de los lodos primarios fue de 26.19% y 79.90% para lodos secundarios, con una máxima de 80.60% para lodos primarios (KUMARI, Suresh, Arisutha, Sudhakar, 2018) y 26% para lodos secundarios, una mínima de 1.30% para lodos primarios (Xie et al, 2016) y 1.73% para lodos secundarios (Reza et al, 2019).

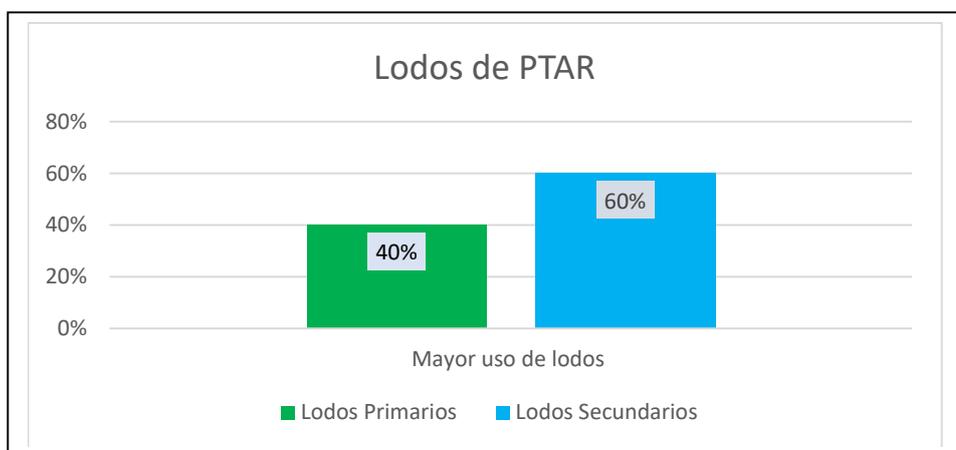


**Figura 7:** Producción de metano con respecto al uso de tipos de lodos

Se puede deducir de la Figura 7, que la mayor producción de metano fue de KUMARI, Suresh, Arisutha, Sudhakar (2018), 4500 mLCH<sub>4</sub>/gSV estudio la

codigestión con lodos primarios, siendo sus características fisicoquímicas 19,9% de sólidos volátiles y 80.6% sólidos totales y un pH de 3.8. así también (LI, Li, Wang, Wang 2017), en su estudio se puede evidenciar que no hay similitud con los resultados de PAM et al (2019) ya que obtuvo una producción de muy baja de CH<sub>4</sub> 50,3 mL/g-SV usando los mismos lodos primarios pero con diferentes características fisicoquímicas, 45.3 g/L de Sólidos totales y 22.4 g/L sólidos volátiles y un pH de 6.8. Así mismo se pudo evidenciar que XING, Han, Cao, Wang (2020) obtuvo la segunda producción más alta de Metano de 664 mL CH<sub>4</sub> /gVS usando lodos secundarios y LEE et al (2019) obtuvo 517,3 mLCH<sub>4</sub> gramo – 1 usando lodos primarios.

GU et al, (2020) obtuvo una producción de metano de 364,9 mL CH<sub>4</sub>· SV-1 y esto debido al porcentaje de sólidos volátiles de 51.50% y Sólidos Totales de 20.6 % características fisicoquímicas de los lodos primarios que uso en codigestión con residuos de alimentos.



**Figura 8:** Tipos de lodos usados frecuentemente en los diferentes estudios de co-digestión.

De acuerdo con los resultados obtenidos en la figura 8, se determinó que los lodos Secundarios o activos de plantas de tratamiento y aguas residuales domésticas fueron reutilizados con mayor frecuencia, obteniendo un 60 % y ocupando el primer lugar de la literatura científica, de igual manera se determinó que los lodos primarios ocuparon el segundo puesto con un 40% de su reutilización en los diferentes experimentos de co-digestión.

**Tabla 4:** OE2: Reactores Anaerobios. Tipos de Reactores que se usan en co-digestión anaerobia.

TIPO DE REACTOR	N° de reactores	Condiciones de T°	Vol.(L)	Tiempo de Retención Hidráulica (TRH)	Velocidad carga orgánica (OLR)	tasa de producción de metano CH4	Ácidos Grasos Volátiles (AGV)	Remoción DQO	pH	Remoción de SV	referencia
Reactor de tanque agitado continuo (CSTR)	3	37°C	6	3,3 días	16 kgTVS m <sup>3</sup> D <sup>-1</sup> .	640 NLkgTVS 1D	3500 mg L	-	5.54	26%	Baldi, Pecorini, Iannelli (2019)
		37°C	20	12,6 días	4 kgTVS m <sup>3</sup> D <sup>-1</sup> .		1500 mg L	-	7.35	9%	
Reactor de tanque agitado continuo (CSTR)	2	37°C		7.5 días	11,2gVS / L / d.	350 mL CH <sub>4</sub> / Gvs		-		97%	Li, Li, Wang, Wang (2017)
		55°C	3L	3 días	30,2 gVS / L / d.	407 mL CH <sub>4</sub> / gVS		-		97%	
Reactor de tanque agitado continuo (CSTR)	1	35°C	3L	7.5 días		295 mL-CH <sub>4</sub> / gTS		-			Li et al (2018)
Reactor de tanque agitado continuo (CSTR)	1	37°C	3L	30 días	1,49kg VS m <sup>-3</sup> D <sup>-1</sup>	640L CH <sub>4</sub> kg VS <sup>-1</sup>	1790 mg L	-			Martínez et al (2018)
reactores de tanque agitado semicontinuo (CSTR)	1	39 ° C	0,7 L	45 días	7.81g VS / L / día	664 mL / g VS	1132mg DQO / L	-	5.60		Xing, Han, Cao, Wang (2020)
Reactor anaeróbico de flujo ascendente (UASB)	1	36°C	1L	20 días		4500 ml / día	3500-500mg / L	-	7,5		Kumari, Suresh, Arisutha, Sudhakar (2018)
reactores de tanque agitado semicontinuo (CSTR)	6	35°C	3L	8 días	5.4kg TCOD m <sup>-3</sup> d	400 L CH <sub>4</sub> kg VS <sup>-1</sup>		-	7.3 - 7.8		Zahedi, Solera, Perez (2020)

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 4:** OE2: Reactores Anaerobios. Tipos de Reactores que se usan en co-digestión anaerobia

TIPO DE REACTOR	N° de reactores	Condiciones de T°	volu.(L)	Tiempo de Retención Hidráulica (TRH)	Velocidad carga orgánica (OLR)	tasa de producción de metano CH4	Ácidos Grasos Volátiles (AGV)	Remoción DQO	pH	Remoción de SV	referencia
reactores de tanque agitado semicontinuo (CSTR)	2	37°C	6L	12días	3,08 gVS / ld	13,22 L /dia	493 mg / l	30682 mg/L	6,7		Grosser (2017)
experimentos por lotes BMP	3	30 °C	120 ml	75 días		338mL CH4 gramo - 1					Scarcelli, Serejo, Paulo, Boncz (2019)
experimentos por lotes BMP	3	37 °C	200 mL	42días	0.5 g/VS	685,7 ml / gVS	no presentado		7.0		Hao, Reyes ,He ( 2020)
experimentos por lotes BMP	3	37 °C	500 mL,	35días	4000 mg/ vs	602 mL / g-VS	no presentado	35%	7.18	33.80%	kashi et al (2017)
experimentos por lotes BMP	4	37°C	400ml	50días	1,5 kgVS / m 3 día	550 NLCH 4 / kgVS					Montecchio et al (2019)
experimentos por lotes BMP	3	35°C	1L	45 DIAS		49,04 / kg VS	0,86mg/L		7.3	13,33 %	Zhang ( 2019)
experimentos por lotes BMP	2	37°C	2L	20 días.	1,9 kg VS / m 3 · Día	0,63m 3 CH 4 / L · día	156 mg HAc / L	53,2%	6,0	46,8%	Bundó ( 2019)
experimentos por lotes BMP	3	37 ° C	1000 ml	18 días		280 NmL / g VS)			7	67,5%,	Pirlou et al ( 2017)
experimentos por lotes BMP	3	175°C	450 ml	6.4 días		225,7 mL / g · VS	2581,4 mg / L		6.9	66,1%	Tian et al (2020)
Reactor de tanque agitado continuo (CSTR)	3	37 °C	4L	24 días	1,3 kg VS m 3 D 1	815 ml de CH 4 / L	no hubo presencia	84%	7,7	22,7%	Maragkaki (2017)

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 4:** OE2: Reactores Anaerobios. Tipos de Reactores que se usan en co-digestión anaerobia

TIPO DE REACTOR	N° de reactores	Condiciones de T°	volu.(L)	Tiempo de Retención Hidráulica (TRH)	Velocidad carga orgánica (OLR)	tasa de producción de metano CH4	Ácidos Grasos Volátiles (AGV)	Remocion DQO	pH	Remoción de SV	refreencia
Experimentos por lotes BMP	18	37 °C	500 mL	31 días		364,9 mL CH4· VS-1			7,63		Gu et al (2020)
	18	51 °C	501 mL	20 días		326,2 mL CH4·GVS-1			7,75		
Reactor de tanque agitado continuo (CSTR)	1	55°C	1 Litro	3 días	1 gVS / l. Día	276 ml /gVS)	21%	73,8%	5.1 - 7.8	69%	Ambrose, PHilip, Suraishkumar, Karthikaichamy, Sen, (2020)
	1	37°C	1Litro	17 días	1,3 gVS / l. Día	79ml /gVS	15%	81,6%	4.3 - 7.4	55%	
Experimentos por lotes BMP	3	35°C	250ml	25días		229 NL / kg SV	75%	54%		54,5%	Ripoll, García, Pérez, Solera (2019)
Reactor de tanque agitado continuo (CSTR)	5	37°C	500ml	50días	1,5 kgVS / m 3 día	550 NLCH 4 / kgVS					Montecchio et al (2019)
Reactor de tanque agitado continuo (CSTR)	2	55°C	120 ml	80días	360 kJ / L	33.70%	4.5 ± 0,1	7.10%	12.7		Naran et al (2016)
Reactor de tanque agitado continuo (CSTR)	1	35°C	8L	210días	19,4 kg DQO m-3 D-1,	6,4 m3 CH4metro-3D-1.		94.70%	5,1 - 3,5,		Rico et al (2014)
Reactor de tanque agitado continuo (CSTR)	1	37°C	300ml	20días		212,3 ml / g VS	18364,7 mg / L,	18025.10 mg DQO / L,	7,3 ± 0,		Wu y Kang (2020)

**Tabla 4:** OE2: Reactores Anaerobios. Tipos de Reactores que se usan en co-digestión anaerobia

TIPO DE REACTOR	N° de reactores	Condiciones de T°	volu.( L)	Tiempo de Retención Hidráulica (TRH)	Velocidad carga orgánica (OLR)	tasa de producción de metano CH4	Ácidos Grasos Volátiles (AGV)	Remoción DQO	pH	Remoción de SV	referencia
Reactor anaerobico de flujo ascendente (UASB)	1	39 ° C	2.5 L	20 días		0,276 dm <sup>3</sup> kg	80%		6,5 - 7.0		Chakraborty et al (2017)
Reactor anaerobico de flujo ascendente (UASB)	1	36°C	1L	50 días		0.631 m <sup>3</sup> / kg-VS		6325 mg/L	7.4		Lati et al (2019)
reactores de tanque agitado semicontinuo (CSTR)	6	35°C	250ml	25 días		229 NL / kgSV		53,9 kg / m <sup>3</sup>	7.3		Ripoll et al (2019)
reactores de tanque agitado semicontinuo (CSTR)	2	37°C	4L	30 días	1.6 g VS	517,3 ml	84 ± 5%	12652 ± 231 mg	7.5		Lee et al (2019)
Reactores discontinuos ( escala laboratorio)	3	30 °C	4l	24 días	1,3 kg VS m <sup>3</sup> D <sup>-1</sup>	815 ml / L		84%	7,4		Maragkaki et al (2017)
Reactor discontinuos a escala laboratorio	3	37 °C	400 ml	50 días	¼ 1,5 kgVS / m <sup>3</sup> .	2300 Nm <sup>3</sup> / día		1342 mgO <sub>2</sub> / L	6.7		Reza et al (2019)
experimentos por lotes BMP	3	37 C°	3L	73 días	7,5 kg	965,55 NL					Dos Santos (2020)
experimentos por lotes BMP	4	37°C	1L	23 días	4 kgVS / m <sup>3</sup>	3,00 mgC / días / gCOD					Cardona et al (2019)
Experimentos por lotes BMP	1	37°C	2L	180 días	8.2 y 5.4 kg T	0,9 L CH <sub>4</sub> D <sup>-1</sup>	0,66 ± 0,10		7.3		Zahedi et al (2020)
Experimentos por lotes BMP	3	35°C	1L	14 días	0,4 kg / m <sup>3</sup> /d	127 mL / g VS			8		Xie et al (2016)

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 4** OE2: Reactores Anaerobios. Tipos de Reactores que se usan en co-digestión anaerobia

TIPO DE REACTOR	N° de reactores	Condiciones de T°	volu.(L)	Tiempo de Retención Hidráulica (TRH)	Velocidad carga orgánica (OLR)	tasa de producción de metano CH4	Ácidos Grasos Volátiles (AGV)	Remoción DQO	pH	Remoción de SV	referencia
Experimentos por lotes BMP	1	35°C	13,3 L	30 días	2,68 %	39,2%		1354,8 mg DQO / L			Yan et al (2019)
Experimentos por lotes	15	35 ° C	500 ml	30 días	6,7 gVS / Ld-1.	<b>381,9 LCH4 /kg VS</b>	67,5%		6,0-6.5	41,62%	Kaur, Johnravindar, Wong ( 2020 )
Experimentos por lotes	15	36 ° C	450 ml	7 días	2 gCOD / gVS.	73.4 NmL CH4	4841 mg DQO / L		6,0-8,0		Agyeman, Elzbieta, Cetecioglu ( 2020)
Experimentos por lotes	2	35 ° C	500 ml	22 días	400g	412.5ml / g VS					Du, Tao, Li, Liu, Feng (2019)
Experimentos por lotes BMP	2	37°C	120 ml	58 días	0,3 g	50,3 mL / g-VS / día)	1577,2 mg / L	76%	6.8 a 7.2		Pan et al (2019)
Experimentos por lotes	5	37°C	500 m	12		213,6mL / g VS	13000 mg / L		5.0-5.2		Zhu et al. (2020)
<b>Temperatura</b>		<b>TRH</b>			<b>pH</b>		<b>Volumen</b>				
Promedio	40.8 °C	Promedio	36.2 dias	Promedio	6.9	Promedio	2.1 L				
Mínima	30.0 °C	Mínima	3 dias	Minina	4.3	Mínima	0.1 L				
Máxima	175.0 °C	Máxima	210 dias	Máxima	12.7	Máxima	20 L				

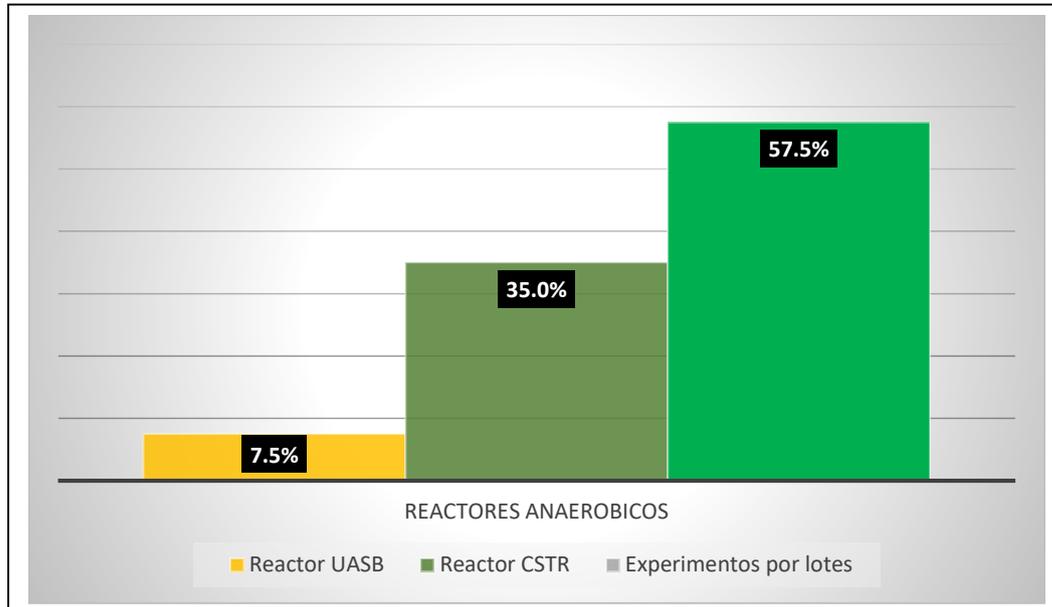
Fuente: Elaboración Propia.

De acuerdo a los resultados obtenidos para los reactores, la temperatura promedio alcanzada fue de 40.8°C con una máxima de 175°C (Tian et al 2020) y una temperatura mínima registrada de 30°C (Scarcelli, Serejo, Paulo, Boncz 2019). estos resultados no se aproximan a los que menciona Gu et al (2020 pg.5) que cuando se incubaba en condiciones de temperatura termófilas superiores a 45°C se obtienen valores mucho más alto de producción de CH<sub>4</sub> ya que se acelera la degradación de, carbohidratos, proteínas y lípidos.

también se observó que el Tiempo de Retención Hidráulica (TRH) presento un promedio de 36.2 días, una mínima de 3 días (Ambrose, 2020), y una máxima de 210 días (Rico et al. 2014). Estos resultados no se aproximan a los que menciona Grosser (2017, pg.6) explica que la tasa de producción de metano y la velocidad de carga orgánica (OLR) se incrementan con la disminución del Tiempo de Retención Hidráulica de 20 a 12 días, aumentando la tasa de producción de metano en un 46%. y la velocidad de carga orgánica de  $1,88 \pm 0.08$  hasta  $3,08 \pm 0.07$ gVS/L/d.

También se pudo observar un pH con un promedio de 6.9, una mínima de 4.3 (Tian et al. 2020), y una máxima de 12.7 (Naran et al. 2016). Estos valores encontrados de pH no se aproximan a los que mencionan Zahedi et al (2020, pg.5) que, el rango de pH debe estar en un rango de 7.3 y 7.8 para óptimo funcionamiento del reactor y actividad de los organismos metanogénicos, estos resultados se reafirman con las investigaciones de Maragkaki (2017, pg.4) el ph optimo debe permanecer en un rango de trabajo óptimo de 7.4 y 8.0, sin embargo, Tian et al (2020, pg.8) afirma que el proceso puede soportar un rango entre 6.8 y 7,2 de pH.

Por ultimo con respecto al volumen de los reactores se puede observar un promedio de 2.1 Litros, una mínima de 0.1 L (Pirlou et al. 2017) y una máxima de 20L (Gu et al 2020).



**Figura 9:**reactores anaeróbicos usados en co-digestión

Los resultados encontrados según lo presentación en la figura 9, los reactores que se usan con mayor frecuencia en los procesos de co-digestión son los de tipo experimentos por lotes con un 57,5%, seguido del reactor de tanque agitado continuo (CSTR) con un uso del 35% y por ultimo con un menor uso los Reactor anaeróbicos de flujo ascendente (UASB) con un uso del 7.5%.

**Tabla 5:** OE 3: Tipos de sustratos que se usan con mayor frecuencia en co-digestión anaerobia

sustrato	caracterización des sustrato	ST	SV	T°	pH	AGV	DQO total	DQO soluble	Proteína	Carbohidratos	alcalinidad total	C/N	Referencias
Residuos de alimentos orgánicos	Pasta, pan, residuos vegetales y cáscaras , de cítricos	2.10%	79,3 %		7.1				0,9 ± 0,1	<0,1	5000 ± 88 mgCaCO3 L <sup>-1</sup>		Baldi, Pecorini, Iannelli (2019)
Residuos de alimentos orgánicos	15% de arroz, un 10% de fideos, 10% cerdo, 5% pollo, 5% huevo, 20% repollo, 20% papa, 13.8% zanahoria 1% aceite y 0.2% sal de mesa	91,3 %	79,7 %		5,34								Li, Li, Wang, Wang (2017)
cascaras de naranja		302%	311%		5,15	70mg L <sup>-1</sup>				/		53,3	Martínez et al (2018)
Residuos de alimentos orgánicos		113,7	95,9%		7.08				3,80 ± 0,12	1,36 g / L			Xing, Han, Cao, Wang (2020)
Estiercol de vaca		82,3%	81,2%		4.34				3,07 g/L	82,1 %			Kumari, Suresh, Arisutha, Sudhakar (2018)
Agua residual de destileria de vino		1.30%	0,9 %		6.1	0,9 g L <sup>-1</sup>	27 kg m <sup>-3</sup>	25 Kgm <sup>-3</sup>					Zahedi, Solera, Perez (2020)
Residuos de alimentos orgánicos	papa 55% , frutas y verduras 28% , pan 5%, pape l 2%, arroz, pasta y grañones de trigo sarraceno 10%	19,31 %	0,96%	4°C									Grosser (2017)
Los materiales ricos en grasa		60,48 %	0,95%	4°C									Grosser (2017)
Biomasa de microalgas (Clorella sp)		34,4 g /L	27,0 g /L		8,1				50,3 %	23,1 %			Scarcelli, Serejo, Paulo, Boncz (2019)

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 5:** OE 3: Tipos de sustratos que se usan con mayor frecuencia en co-digestión anaerobia

sustrato	Caracterización des sustrato	ST	SV	T°	pH	AGV	DQO total	DQO soluble	Proteína	Carbohidratos	alcalinidad total	C/N	Referencias
Grasas de residuos de una comida		662 g/L	649,0 g /L				979,6 51,5g / L						Hao, Reyes ,He ( 2020)
Residuos de procesamiento de carne		1.01%	0.66%		7,48		9430 mg/L						kash et al (2017)
Residuos de trampas de grasas		16.28%	13,89%	4° C	5.23	2091 g/L	245750 mg/L						
Estiércol de cerdo		28,27%	20,40%		7,67							11,65	Zhang ( 2019)
Rastrojo de maíz		91,82%	78,91%									40,81	
pepino		21,61%	15,04%									11,36	
Microalgas clorella sp.		23%	13.50%	4 ° C					58%	15%			Bundó ( 2019)
sólidos urbanos	35% de frutas, 25% de papa, 32% de vegetales, 6% de desperdicio de alimentos y 2% de pape	23%	74,1 %		7.3							28,67	Pirlou et al ( 2017)
Paja de trigo		90,2%	0.88%		7.27	69,6 g/L	3099,7 mg/L						Tian et al (2020)
Residuos de alimentos orgánicos		122,6 g/log/kg	107,0 g/log/kg		7,4								
residuos alimentos orgánicos	arroz (60%), verduras (25%), carne magra (10%) y aceite (5%)	24,9%	99,2 %			55,4 g/L							Gu et al (2020)

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 5:** OE 3: Tipos de sustratos que se usan con mayor frecuencia en co-digestión anaeróbica

sustrato	Caracterización des sustrato	ST	SV	T°	pH	AGV	DQO total	DQO soluble	Proteína	Carbohidratos	alcalinidad total	C/N	Referencias
Residuos hortofrutícolas	Repollo 25%, Berenjena20%, Calabacín25%, Patata20% Brócoli 5%, Tomate 1% Nectarina 4%.	37 000 mg / L	35810 mg/L		5,0		50 800 mg/ L	29 100 mg/ L					Ambrose, Philip, Suraishkumar, Karthikaichamy, Sen, (2020)
Aguas residuales de la destilería de vino de Jerez		1,47 %	1.06%	4°C	6.4		24,6 kg / m3	20,7 kg / m3			0,019 gCaCO3 / L	17,5	Ripoll, García, Pérez, Solera (2019)
residuos de alimentos organicos	n 35% de pan, un 25% de arroz hervido, un 25% de repollo y un 15% de cerdo hervido	39,00%	97,13%		4.5								Kaur, Johnravindar, Wong ( 2020 )
Biocarbon	podas de viñedos	74,5 g kg-1	0,7g kg-1		15,9						10 g L-1		Martínez et al (2018)
Residuos de alimentos organicos		1%	179 gVS L 1	4°C	6,6								Montecchio et al (2019)
Residuos de alimentos organicos		49,4 %	41,2 %		7		76,3%						Naran et al (2016)
suero de queso	Granja	55,1 g/L	47,8g/L						20%				Rico et al (2014)
Desechos de pesacado		0,46 g/g	97,9 %,		6,2	18364,7 mg/L			0.85 g.	2236,9 mg DQO / L,			Wu y Kang (2020)
Residuos de alimentos		15 kg m 3)	16 kg m 3		6.5 ± 6,8	700 g /kg					a> 2,5g CaCO3 / L		Chakraborty et al 2017
Residuos de mataderos de aves de corral	Mataderos de aves de corral de Baharan - Irán	0,77%	27%	4°C	7.4		88%						Lati et al (2019)

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 5:** OE 3: Tipos de sustratos que se usan con mayor frecuencia en co-digestión anaeróbica

sustrato	Caracterización des sustrato	ST	SV	T° ALMACENAMIENTO	pH	AGV	DQO total	DQO soluble	Proteína	Carbhidratos	alcalinidad total	C/N	Referencias
Aguas residuales de vino		1,47 %	1.06%	4°C	6.4		24,6 kg / m <sup>3</sup>				0,019 g CaCO <sub>3</sub> / L	17,5	Ripoll et al (2019)
Residuos de alimentos		150,0	140,0 %		4,27		191,7 g/L						Lee et al (2019)
Residuos de alimentos		122,6 g / log / kg	107,0 g / log/kg		4,2		151,3 g/L						Maragkaki et al (2017)
Suero de queso		44,1 g / log / kg	35,4 g / log / kg		3,9		61,8 g / L						
Aguas residuales de almazara		62,3 %	52%		5,1		97 g/L				50 g CaCO <sub>3</sub> / L		
Residuos de mataderos		1,73 %	78,6 %		6,49								Reza et al (2019)
Residuos de alimentos orgánicos		2,30%	3,5%	4°C	8,5								Dos Santos (2020)
Pasto de jardín		6,32%	2,4%				95 g / L						Cardona et al (2019)
Aguas residuales de destilería de vino		1.30%	0,9 %	4°C	6.10	0,9 g / L - 1	25 kg m - 3						Zahedi et al (2020)
residuos de alimentos		17,4 %	16,1%		6,45		333 mg/kg						Xie et al (2017)
Aceite de refinación residual		902,6 g/L	902.5 g/L		7,8								Yan et al (2019)

**Fuente:** Elaboración Propia

**Tabla 5:** OE 3: Tipos de sustratos que se usan con mayor frecuencia en co-digestión anaeróbica

sustrato	Caracterización des sustrato	ST	SV	T°	pH	AGV	DQO total	DQO soluble	Proteína	Carbohidratos	alcalinidad total	C/N	Referencias
Residuos orgánicos	bebidas alcohólicas y gaseosas, alimentos, lácteos, frutas, grasas y aceites	54g/L	48 g/L		4,1	2,4mg/L	148g/L	77g/L			144g CaCO <sub>3</sub> /L		Agyeman, Elzbieta, Cetecioglu (2020)
Spirulina platensis		93,49%	91,16%										Du, Tao, Li, Liu, Feng (2019)
Desechos de alimentos orgánicos	arroz, vegetales, carne, aceite,	9,90%	15,47 g									17,86	Du, Tao, Li, Liu, Feng (2019)
Desechos de alimentos orgánicos	arroz, verduras y carne	51,8 g/L	47,1 g/L		4,4		69,7 g/L	45,5 g/L	3129,5 g/L	13549 mg/L		17,1	Pan et al (2019)
residuos de alimentos orgánicos	arroz, verduras, carne, huevos	16,78 %	16,33%		4.5							21,50	Zhu et al. (2020)

pH	
Promedio	6.2
Valor máximo	7.4
Valor mínimo	4.3

**Fuente:** Elaboración propia

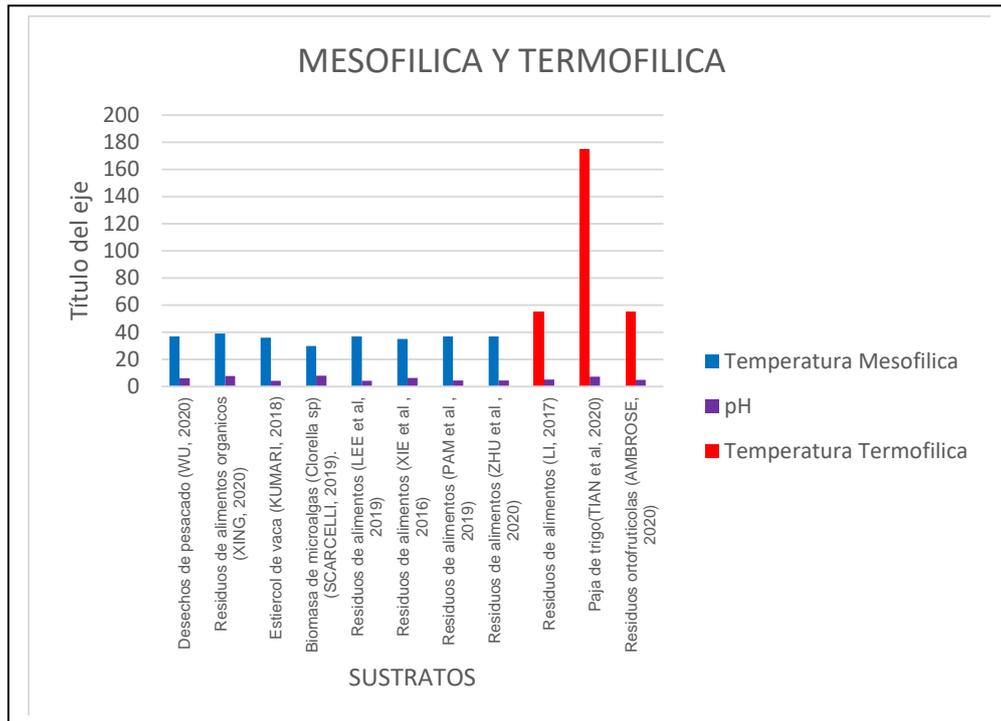
**Tabla 6: O3: Tipos de residuos utilizados en codigestión para la producción de Metano CH4.**

Estudios	Proceso según T°	Tipos de Residuos	Metodología	Resultados	Autor
Efectos de la velocidad de carga y la temperatura sobre la codigestión aeróbica de residuos de alimentos y lodos activados por residuos en un sistema de alimentación de alta frecuencia.	Residuos en condiciones termofílicas	Residuos de alimentos orgánicos	Los procesos se desarrollaron en valores de Temperaturas 55°C y un pH de 5,34.	407 mL CH <sub>4</sub> /gSV	LI, Li, Wang, Wang (2017)
codigestión mesófila de residuos de alimentos y lodos activados de residuos en un CSTR de alimentación de alta frecuencia	Residuos en condiciones mesófilicas	Residuos de alimentos orgánicos	se desarrolló con Temperatura de 39°C y un pH de 7,08.	664 mL CH <sub>4</sub> / gSV	XING, Han, Cao, Wang (2020)
Codigestión anaeróbica de diferentes residuos en un reactor UASB		Estiércol de vaca	hicieron uso de una Temperatura de 36°C y un pH de 4.34.	4500 mL/ día	KUMARI,Suresh, Arisutha, Sudhakar (2018)
codigestión de microalgas pretratadas térmicamente y lodos activados residuales y estimación de sus parámetros cinéticos		Biomasa de microalgas (Clorella sp)	se mantuvo una temperatura de 30°C y un pH de 8.1	338mL CH <sub>4</sub> gramo - 1	SCARCELLI, Serejo, Paulo, Boncz (2019)
Mono y codigestión de lodos activados residuales y paja de trigo efectos del pretratamiento hidrotermal	Residuos en condiciones termofílicas .	Paja de trigo	una temperatura de 175°C y un pH de 7.27 .	225,7 mL / g · SV	TIAN et al (2020)
Codigestión anaeróbica de desechos de frutas y verduras Y lodos activados , pretratamiento de lodos híbridos Microondas y peróxido de hidrógeno	Residuos en condiciones termofílicas .	Residuos hortofrutícolas	la codigestión se desarrolló a una temperatura de 55°C y un pH de 5	276 mL /gSV	AMBROSE, Philip, Suraishkumar, Karthikaichamy, Sen, (2020)
Codigestión anaeróbica de lodos residuales activados y desperdicio de pescado	Residuos en condiciones mesófilicas	Desechos de pescado	se trabajó a una temperatura de 37°C y un pH de 6.2 .	212,3 mL/gSV	WU y Kang (2020)
codigestión anaeróbica de residuos alimentarios y lodos de depuradora Optimización de las condiciones de pretratamiento.		Residuos de alimentos	temperatura de 37°Cy un pH de 4.27	517,3 mL/gSV	LEE et al (2019)
codigestión anaeróbica de residuos orgánicos y lodos de depuradora Efecto sinérgico.		Residuos de alimentos	temperatura de 35°C y un pH de 6.45	127 mL / gSV	XIE et al (2017)
codigestión anaeróbica mesófila y los mecanismos de estimulación subyacentes en lodos de depuradora y los residuos de alimentos.		Residuos de alimentos	Temperatura de 37°C y un pH de 4.4	50,3 mL / gSV / día	PAM et al (2019)
Codigestión anaeróbica mesófila mejorada de desechos de alimentos y lodos residuales mediante el uso de hematita (α-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) bentonita soportada como aditivo.		Residuos de alimentos	Temperatura de 37°C y un pH de 4.5	213,6mL / g SV	ZHU et al. (2020)

Según la tabla 6 los tipos de residuos los valores y cantidades de producción de metano (CH<sub>4</sub>) puede ser distintas. Por lo cual se puede visualizar diferencia en temperaturas, potencial de hidrogeno. El sustrato que obtuvo la mayor producción de metano fueron los residuos de estiércol de vaca 4500 mLCH<sub>4</sub> /gSV (KUMARI, Suresh, Arisutha, Sudhakar, 2018). así también la temperatura se clasifico en dos grupos Temperaturas menores a 50°C son consideradas mesófilicas, en este grupo la de mayor T° fue de 39°C del sustrato de Residuos de alimentos orgánicos (XINGG, Han, Cao, Wang,2020) así mismo las el grupo de T° mayores a 50°C se consideraron termofilicas e este grupo la de mayor T° fue 175°C del sustrato de paja de trigo el cual fue sometido a un pretratamiento hidrotermal durante 1 hora (TIAN et al, 2020) .en cuanto al pH más alto 8.1 lo obtuvo la Biomasa de microalgas (Clorella sp).(CARCELLI, Serejo, Paulo, Boncz, 2019).

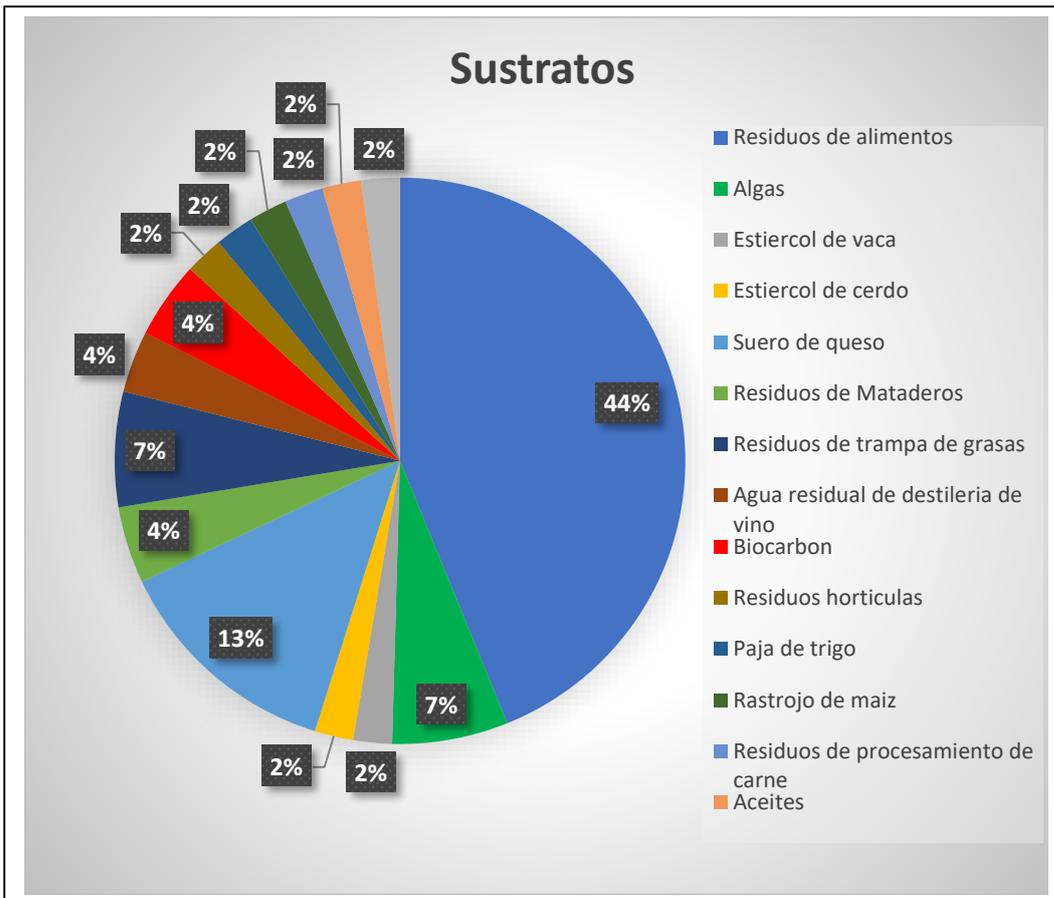
Según la tabla 5 también se usó biocarbón producto de podas de viñedos como sustrato el cual es rico en fosforo , la adición de este sustrato en codigestión con lodos de depuradora y cascaras de naranja permitió la formación de co-cultivos que optimizaron una producción media de metano 500L CH<sub>4</sub> kg SV-1 , la adición de cascaras de naranja y lodos puede inhibir el sistema , pero la adicionandole biocarbón evita la descomposición del sistema, debió a su capacidad de absorción de inhibidores (Martínez et al 2018).

por otra parte entre los estudios que se investigaron en cuanto al parámetro de pH se puede observar que los valores de (Xing, Han, Cao, Wang, 2020). Ph 7.08 y (Tian et al 2020). pH 7.27, Estos valores encontrados de pH se aproximan a los que mencionan Zahedi et al (2020, pg.5) que el rango de pH debe estar en un rango de 7.3 y 7.8 para óptimo funcionamiento del reactor y actividad de los organismos metanogénicos.



**Figura 10:** Clasificación de temperaturas utilizadas en la obtención de metano CH<sub>4</sub> (Mesófilicas).temperatura y Ph.

Data: 11 sustratos, 9 de ellos presentan una T° < 50° y son denominadas mesófilicas y dos de ellos termófilos por presentar T° > 50°C. obteniendo como mayor temperatura el sustrato de paja de trigo.



**Figura 11:** tipos de sustratos usados en codigestión anaeróbica.

El promedio del pH de los sustratos fue 6.2 con una máxima de 15.9 (Martínez et al. 2018) y un pH mínimo registrado de 3.9 (Maragkaki et al 2017).

Según lo presentado en la figura 11, los sustratos que se usaron con mayor frecuencia en co-digestión son los residuos de Alimentos que representaron un 44%, seguido de residuos de suero de queso al 13%, residuos de algas al 7%, residuos de mataderos 4%, aguas residuales de destilería de vino al 4% , residuos de Biocarbón 4% y paja de trigo, rastrojo de maíz, residuos de procesamiento de carne, pasto de jardín, aceites, residuos hortícolas, residuos de trampa de grasa, estiércol de cerdo, estiércol de vaca que representan un 2%.

Los resultados encontrados con respecto al uso de sustratos en co-digestión, la Figura 4 muestra un uso del 44% de sustratos de residuos de alimentos, por su elevado porcentaje de uso los sustratos de residuos de alimentos podrían representarse como eficientes para la obtención de metano en co-digestión

anaeróbica. Según Kaur, Johnravindar, Wong (2020) detallaron el uso de Biocarbón en la co-digestión de residuos de alimentos y lodos residuales con el objetivo de obtener una mayor producción de metano y una mayor degradación de Ácidos Grasos Volátiles, aquí se usaron reactores en prueba de potencial de metano en condiciones mesófilicas (35°C), con un tiempo de retención hidráulica (TRH) de 30 días, un pH entre (6.0 y 6.5). Las características del biocarbón fueron; 9,94 pH, 68% de carbono, 1,39% de nitrógeno, 0,14% de fósforo, 1,46% de potasio y 21% de cenizas, es así que la co-digestión de biocarbón con lodos de depuradora obtuvieron un rendimiento del metano de 16% a 55,2% (381,9 LCH<sub>4</sub> kg<sup>-1</sup> SV), con una reducción considerable del 67.5 % de los AGV y representando una oportunidad para aumentar su carga orgánica sin temor a una inhibición del sistema. Montecchio et al (2019) usó residuos de alimentos de co-digestión con lodos residuales, en Reactores de tanque agitado continuo (CSTR), a una temperatura mesófila (37°C), TRH de 50 días, logrando (550 NLCH<sub>4</sub> kg<sup>-1</sup>SV), esta representa una mayor eficiencia de producción de metano que la co-digestión con Biocarbón explicada por Kaur, Johnravindar, Wong (2020), la diferencia es que la co-digestión de Biocarbón con lodos de depuradora tuvo un tiempo de RTH de 20 días menos que Montecchio et al (2019).



**Figura 12:** composición de sustratos

De acuerdo a la Figura 12 podemos observar que en el proceso de co-digestión anaeróbica el 70 % de autores estudiados no caracterizaron el sustrato utilizado en codigestión un claro ejemplo es Yan et al (2019) utilizo como sustrato residuos de alimentos en el proceso de co-digestión con lodos residuales, así mismo el 17 % de otros autores caracterizaron el sustrato pero no detallaron datos porcentuales, Agyeman, Elzbieta, Cetecioglu (2020) utilizaron sustratos de residuos de alimentos (bebidas alcohólicas, gaseosas, alimentos, lácteos, frutas, grasas y aceites) en co-digestión con lodos de depuradoras, y por último el 13% de autores si caracterizo la composición de su sustrato con datos porcentuales, ejemplo claro es Ambrose (2020) utilizo sustratos de residuos de alimentos (Repollo 25%, Berenjena20%, Calabacín 25%, Patata20%,Brócoli 5%, Tomate 1%,Nectarina 4%) en co-digestión con lodos residuales.

**Tabla 7:** OE4 Tipos de inóculos que se usan con mayor frecuencia en co-digestión anaerobia

INOCULO	extraído	SV	ST	pH	T° de almacenamiento	Alcalinidad	DQOT	DQOS	AGV	REFERENCIA
lodos activo de estiércol de ganado y residuos de comida	reactor anaeróbico húmedo	61,9 %	2.60%	8.2		7749 mgCaCO3 L 1				Baldi, Pecorini, Iannelli (2019)
lodo activo digerido de cervecería	PTAR de una cervecería	30,2g L - 1	15,1g / L	7,75						Xing, Han, Cao, Wang (2020)
lodos de digester anaerobio	digestor anaeróbico de SS a escala de laboratorio de 5 L que opera en condiciones estables a 20 d HRT dentro del rango de temperatura mesófila (35°C). °	3.20%	2.30%	7,6	4°C				0.4 g/L	Zahedi, Solera, Perez (2020)
biomasa anaeróbica adaptada	extraído de EDAR municipal, después se adaptó un mes antes a biomasa de micro algas y lodos activados	23,8 g L - 1	30,1 g L - 1	7,0						Scarcelli, Serejo, Paulo, Boncz (2019)
lodo de estiércol de cerdo	aguas residuales	32,7%	61,2%	7,44	4°C	no se determino				Hao, Reyes ,He ( 2020)
lodo de estiércol de vaca	de un biorreactor anaeróbico									
Lodos activos	de PTAR	2.13%	2,91%	7.28	4 °		40300mg/l	3210mg/L	80mg / L	kashi et al (2017)
lodos activados residuales	PTAR	11,26	22,23	8,53		7,85g / l				Zhang ( 2019)
lodos activados residuales	PTAR	18,970mg/L	5,5%		4°C					Tian et al (2020)

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 6:** OE4 Tipos de inóculos que se usan con mayor frecuencia en co-digestión anaerobia

INOCULO	extraído	SV	ST	pH	T° de almacenamiento	Alcalinidad	DQOT	DQOS	AGV	REFERENCIA
lodos de desechos de alimentos	PTAR	37,82%	2,36%	8,36						Gu et al (2020)
El lodo digerido	puerto de muestreo del digestor anaeróbico de PTAR	36.63%	5.9%	9.13						Gu et al (2020)
lodo activo	n reactor de tanque con agitación continua (CSTR)	1,21	2,09	7.8		5,81 mgCaCO <sub>3</sub> L <sup>-1</sup>	19,9 g/L	9,7g/L		Ripoll, García, Pérez, Solera (2019)
lodos activos	de PTAR	1%	179 gVS L <sup>-1</sup>	6,6	4°C					Montecchio et al (2019)
Lodos digerido	PTAR	3.4	4.6 ± 0,1				7.10%			Naran et al (2016)
lodos digeridos	de PTAR	43,1 g VSS kg <sup>-1</sup>		7.8						Rico et al (2014)
lodos digeridos pre-tratados	de PTAR	13433,3 mg / L,	35133.5 mg / L,	7,3	4°C				18364,7 mg / L,	Wu y Kang (2020)
Desechos de alimentos	de PTAR	16 kg m <sup>-3</sup>	15 kg m <sup>-3</sup>	6,8			0,75 g/L	0,76 g/L	700 g kg	Chakraborty et al 2017
Lodos de residuos de mataderos de aves	de PTAR	27%	0.77%	7.4	4°C					Lati et al (2019)

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 6:** OE4 Tipos de inóculos que se usan con mayor frecuencia en co-digestión anaerobia.

INOCULO	extraído	SV	ST	pH	T° de almacenamiento	Alcalinidad	DQOT	DQOS	AGV	REFERENCIA
Aguas residuales de vinícola	de PTAR	1,21 %	2,09 %	7.8		5,81 g CaCO <sub>3</sub> / L	19,9 (kg / m <sup>3</sup> )			Ripoll et al (2019)
Lodos de Desechos de alimentos	de PTAR	60 %,		6.8	4°C					Lee et al (2019)
Lodos de residuos	de PTAR	48,5 %	2,97 %	7,45		0,14				Reza et al (2019)
lodos de residuos de biomasa	de PTAR	58,59%	13.15%	8.52	4C°					Dos Santos (2020)
lodos de residuos de alimentos	de PTAR				4C°		13 (gO <sub>2</sub> / L)			Cardona et al (2019)
Lodos activos de depuradora	de PTAR	2.30%	3.20%	7,6			9 kg m <sup>-3</sup>		0.4 ± 0,1 (g L <sup>-1</sup> )	Zahedi et al (2020)
lodos digeridos	de PTAR	1.40%	2.40%	7,50	4c°		11,250 mg / kg			Xie et al (2016)
Lodo digerido	de PTAR	72,49%	3,0 %	7.12	4c°			2200 mg/L		Kaur, Johnravindar, Wong (2020)
Lodo digerido	de PTAR	21 g/L	13 g/L	7		770 g CaCO <sub>3</sub> / L	24 g/L	1,6 g/L	0,3 g/L	Agyeman, Elzbieta, Cetecioglu (2020)
lodo digerido	de PTAR	49,77%	9.26%							Du, Tao, Li, Liu, Feng (2019)
lodo digerido	Reactor CSTR	14,7 g/L	30,2 g/L	7,0	4°C		25,8 g/L	0,4 g/L		Pan et al (2019)
lodo digerido	de PTAR	1.01%	2,64%	7,20						Zhu et al. (2020)

pH	
Promedio	7.57
Máximo	9.13
Mínimo	6.60

**Fuente:** Elaboración propia

Como resultado de la tabla 6 podemos deducir que el promedio del pH de los inóculos fue de 7.57 con una máxima de 9.13 (Gu et al 2020) y un pH mínimo registrado de 6.60 ( Montecchio et al 2019)



**Figura 13:** Tipos de inóculos que se usan con mayor frecuencia en co-digestión anaeróbica.

Según lo presentado en la figura 13, se puede identificar que existen 3 tipos de inóculos que fueron utilizados con mayor frecuencia; los lodos digeridos de PTAR que representan el 28% y los lodos activos de PATAR junto con los lodos de desechos de alimentos representaron el 22%, así mismo se puede ver que los otros inóculos solo representaron un 3% en su uso. Estos resultados obtenidos coinciden con lo que menciona Agyeman, Elzbieta, Cetecioglu (2020, pg.32) emplear inóculos de lodos digeridos en las mezclas de codigestión y lograr una buena relación de sustrato inóculo (S/I) de 2-4 gCOD/gSSV se maximizara las producciones de Ácidos Grasos Volátiles sustancias que según Ali et al (2019) en la fase fermentativa o Acidogénesis el producto del hidrolisis se fermenta por organismos metanogénicos y se transforman en productos más sencillos ácidos grasos (propionico, báltico y

ácido acético), aquí los ácidos grasos de cadena corta, son absorbidos y degradados liberándose hidrogeno ( $H_2$ ) , la cual en la siguiente fase de Metanogénesis se liberara el metano ( $CH_4$ ),  $CO_2$  y  $H_2O$ .

**Tabla 8:** OE 5: Pre-tratamientos usados con más frecuencia en el proceso de co-digestión Anaerobia.

Pretratamiento	sustrato	sustancia a usar	tamaño de sustancia Pretratada	tiempo de pretratamiento	método de pretratamiento	diluyente	pH	ST	T° de operación	T° de almacenamiento	BIBLIOGRAFIA
Mecánico : trituración de alimentos	pasta, pan, residuos vegetales y cáscaras de cítricos				procesador de alimentos	agua de grifo					Baldi, Pecorini, Iannelli (2019)
Mecánico : Trituración de alimentos	proporciones 4:1 lodos y residuos de alimentos , antes de la codigestión				Licadora 10 minutos	agua de grifo		9,5%			Li, Li, Wang, Wang (2017)
Mecánico : trituración de alimentos	proporciones 4:1 lodos y residuos de alimentos , antes de la codigestión				Licadora			9.50%			Li,et al (2018)
Mecánico : picado de alimentos	cascaras de naranja		2-5mm		cuchillo						Martínez et al (2018)
Mecánico: se molido en condiciones de laboratorio	Materiales ricos en grasa				licuadora					20°C incubación	Grosser (2017)
Físico: secado térmico de baja temperatura (65°C)	lodos activos de algas (Clorella sp)			4 horas en una estufa							Scarcelli, Serejo, Paulo, Boncz (2019)
Físico: secado térmico de baja temperatura (menos de 100 °C)	El rastrojo de maíz y pepino		40 mm-5cm						ambiente		Zhang ( 2019)
Químico	lodos activos	álcali, hidróxido de sodio( NaOH )									Li et al (2019)
ultrasonido	lodos activos										Li et al (2019)

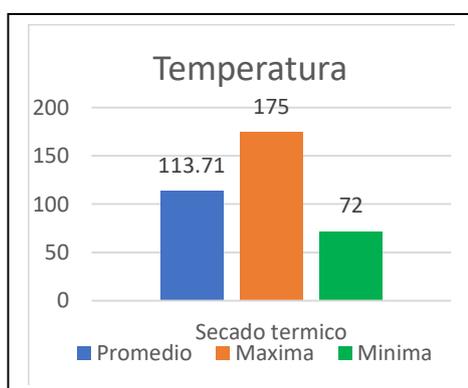
Pre-tratamiento	Sustrato pre-tratado	sustancia a usar	tamaño de sustancia Pre-tratada	tiempo de pre-tratamiento	método de pre-tratamiento	Diluyente	pH	ST	T° de operación	T° de almacenamiento	BIBLIOGRAFIA
Alcalino	sólidos urbanos mezclados: (35% de frutas, 25% de papa, 32% de vegetales, 6% de desperdicio de alimentos y 2% de pape)	hidróxido de sodio( NaOH )		24 horas	se mezcló con una concentración del 6% en peso con NaOH		7				Pirlou et al (2017)
Reducción de Tamaño: triturado en pedazos	sólidos urbanos orgánicos		2-5 mm		cortador eléctrico.					4°C	
Reducción de Tamaño: se muele en un tamaño más pequeño	La paja de trigo		utilizando tamices de malla 20 y 100.		Tian et al (2020)						TIAN et al (2020)
Secado térmico	10,08 g de paja de trigo más lodos activos			60 minutos	calderas de reacción de alta temperatura	agua desionizada 200 mL			175°C		
mezclador mecánico	residuos de comida, 80% verduras, 10% de frutas y		4,0 mm								Maragkaki (2017)
Secado térmico	10% de ensaladas.			1 semana	horno de laboratorio		6,0	47 g/L	105 ° C		
Reducción de Tamaño	arroz (60%), verduras (25%), carne magra (10%) y aceite (5%)				se molió, homogeneizó y almacenó Molino			24,9%		4°C	Gu et al (2020)
1. Secado térmico	450 ml de Residuos hortofrutícolas combinado con lodos activos			2 minutos	horno microondas a escala de laboratorio			28.6 g/l	80 ° C		Ambrose, PHilip, Suraishkumar, Karthikaichamy, Sen, (2020)
2. oxidativo		peróxido de hidrógeno (1% >(p / p) de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> / TS							se enfrió a T° Ambiente		
3.Secado Térmico				3 minutos	horno microondas a escala de laboratorio				80°C		

Pretratamiento	Sustrato pre-tratado	sustancia a usar	tamaño de sustancia Pretratada	tiempo de pretratamiento	método de pretratamiento	diluyente	pH	ST	T° de operación	T° de almacenamiento	BIBLIOGRAFIA
Secado térmico	Residuos de alimentos	álcali			autoclave				120°C		Xie et al (2016)
Secado térmico	Residuos de alimentos	álcali		60 min					140 ° C		Yan et al (2019)
Químico	lodo y desperdicio de alimento (1:7)	biocarbón WSP551			se utilizó 15 g / L		9,94				Kaur, Johnravindar, Wong ( 2020 )
alcalino	mezcla de lodo y desperdicio de alimento en el reactor	cal (CaO) para estaabilizar el pH			2%						Kaur, Johnravindar, Wong ( 2020 )
Reducción de Tamaño térmico de baja temperatura	Residuos orgánicos				mecánico y trituración de alimentos						Agyeman, Elzbieta, Cetecioglu ( 2020)
deshidratación al vacío	Residuos orgánicos molidos			61 minutos					71°C		Agyeman, Elzbieta, Cetecioglu ( 2020)
Reducción de Tamaño: trituración de alimentos	Spirulina platensis (algas )									ambiente	Du, Tao, Li, Liu, Feng (2019)
Alcalina : Deshidratación Mecánica	desechos de alimentos ( arroz, vegetales, carne, aceite)				trituradora de alimentos					4°C	Du, Tao, Li, Liu, Feng (2019)
Reducción de Tamaño: trituración de alimentos	lodo primario y el lodo residual activado	poliacrilamida									Du, Tao, Li, Liu, Feng (2019)
térmico de alta temperatura	desechos de alimentos(arroz, verduras y carne)		tamiz de malla 10							4°C	Pan et al (2019)
Reducción de Tamaño: trituración de Bentonita pre-tratada.	$\alpha$ -Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -bentonita			durante 120minutos .			10,61	91,99 %	105 ° C y se quema a 600 ° C		Zhu et al (2020)
Reducción de Tamaño: trituración de Bentonita pre-tratada.	$\alpha$ -Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -bentonita		se tamizo en una Pantalla de 200 mallas		se usó un mortero y se molió en un fine polvo después de tratamiento térmico	se lavó 2-3 veces con agua destilada					Zhu et al (2020)

Fuente: Elaboración propia.

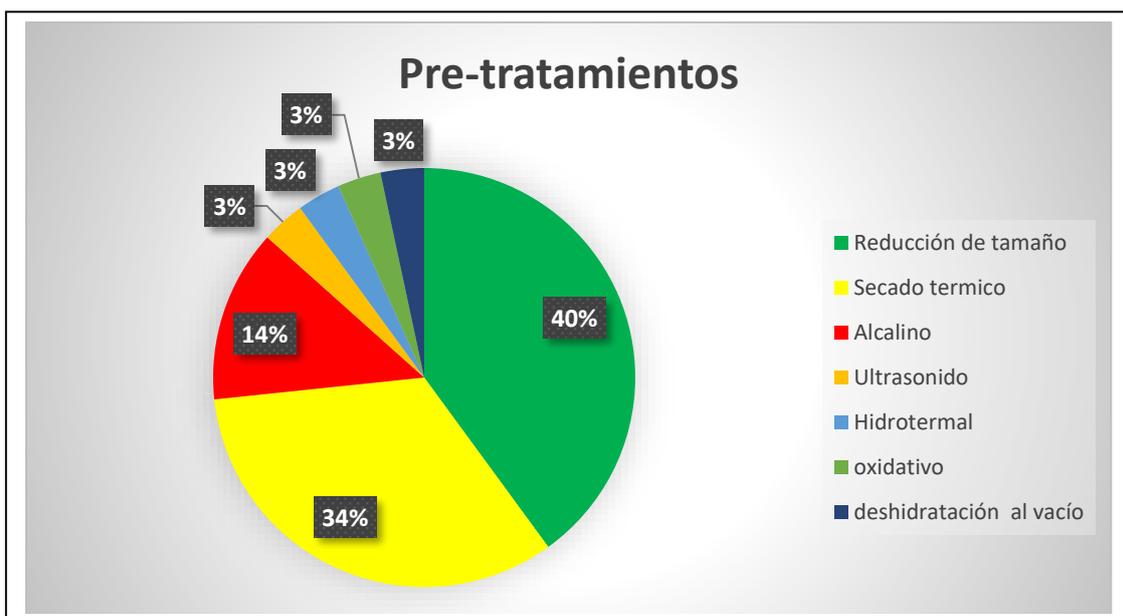
Con respecto a las condiciones operativas en el uso de los pretratamientos de secado térmico, estos se pudieron categorizar en baja temperatura (menos de 100 °C) y tratamientos de alta temperatura (más de 100 °C),

es así que de los resultados obtenidos según la figura 14 podemos deducir el promedio de temperatura del pretratamiento de secado término fue de 113.71°C con una máxima de 175°C (TIAN et al, 2021). y una mínima de 71°C (AGYEMAN, Elzbieta, Cetecioglu, 2020). Así también se evaluó el tiempo de pretratamiento obteniendo el de mayor tiempo que fue de una semana (Maragkaki, 2017), un promedio de 60.5 minutos y un mínimo de 2 minutos (AMBROSE, PHILIP, Suraishkumar, Karthikaichamy, Sen, 2020) , Se puede concluir que en las investigaciones el de valor elevado fue un secado térmico de alta temperatura de 175°C , donde se utilizó calderas de reacción de alta temperatura, en un tiempo de 60 minutos teniendo como sustrato la paja de trigo , se pudo obtener un producción de Metano de 225,7 mL / g · (VS TIAN et al, 2021). estos resultados no coinciden con las cantidades de CH<sub>4</sub> obtenidos por (Maragkaki, 2017) debido a que en su estudio también utilizo secado térmico de alta temperatura 105°C , donde utilizo horno de laboratorio durante una semana teniendo como sustrato residuos de comida, se pudo obtener una producción de metano de 815 ml de CH<sub>4</sub> / L. también se pudo observar que (YAN et al 2019) logro un buen rendimiento de metano usando residuos de alimentos en condiciones de secado térmico de alta temperatura 140°C, se obtuvo CH<sub>4</sub> de 1354,8 mg DQO / L, en este estudio las unidades de producción de metano fueron diferentes a los autores anteriores.



**Figura 14:** Temperatura (promedio, máxima y mínima) de secado térmico.

En el pretratamiento mecánico reducción de tamaño se pudo observar que el sustrato que se le aplicó menor granulometría fueron a cáscaras de naranja y residuos sólidos orgánicos 2-5 mm (Pirlou et al 2017) producción de metano de 280 NmL / g SV y (Martínez et al 2018) producción de metano de 500L CH<sub>4</sub> kg SV<sup>-1</sup>. Así también el de mayor granulometría que fue de 40 mm- 5cm (Zhang, 2019) este obtuvo una producción de metano (CH<sub>4</sub>) de 49,04 / kg SV



**Figura 15:** Pre-tratamientos usados con mayor frecuencia en sustratos, inóculos y lodos residuales.

Según lo presentado en la figura 15, se puede identificar que el pre-tratamiento de reducción de tamaño (trituration, molienda, corte), se usó con mayor frecuencia tanto para lodos y sustratos, representando el 40% en la literatura científica revisada, así mismo el secado térmico también representó un uso mayoritario con un 34% y pre-tratamiento alcalino con un 14%, los demás pretratamientos usados representaron solo un 3%.

## V. CONCLUSIONES

**OE G:** La codigestión es una técnica que permite experimentar a través de ensayos, utilizando diferentes sustratos, inóculos, pretratamientos, tipos de reactores, lodos de depuradora y condiciones operativas, destacando la importancia de cada una de estas en la obtención de metano (CH<sub>4</sub>).

**OE.1** Se describieron dos tipos de lodos primarios y secundarios así también características físico químicas como; temperatura de almacenamiento, Promedio de Sólidos Volátiles (SV), Promedio de Sólidos Totales (ST).

**OE.2** Se Analizaron 3 tipos de reactores anaerobios, reactor de tanque agitado continuo (CSTR), de flujo ascendente (UASB) y de experimentos por lotes BMP, se analizaron parámetros de control como; temperaturas Mesófilicas y termofilicas, Tiempo promedio de Retención hidráulica, pH promedio y los volúmenes de los reactores.

**OE.3** Se Analizaron 15 tipos de sustratos de diferente procedencia que se utilizaron en co-digestión anaeróbica, los residuos de Alimentos representando un 44%, seguido de residuos de suero de queso al 13%. Residuos de algas al 13%, residuos de mataderos al 4%, aguas residuales de destilería de vino al 4%, residuo de biocarbón 4%.

**OE.4** Se Analizaron 12 tipos de inóculos de los cuales 3 tipos de inóculos que fueron utilizados con mayor frecuencia; los lodos digeridos de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales que representan el 28% y los lodos activos de PTAR junto con los lodos de desechos de alimentos representaron el 22%, También se pudo determinar el promedio de pH de los inóculos fue de 7.57 con una máxima de 9.13.

**OE.5** Se Describieron 7 Pre-tratamientos entre ellos Mecánico -reducción de tamaño representando el 40% en la literatura científica revisada, así mismo el secado térmico también represento un uso mayoritario con un 34% y químicos alcalinos en un 14%.

## Vi. RECOMENDACIONES

**OE G:** se recomienda seguir investigando a más profundidad el tema tratado, con el fin de seguir enriqueciendo la teoría para la producción de metano y así poder llevarla a la praxis en futuras investigaciones a gran escala.

**OE 1:** Elegir el mejor lodo de plantas de tratamiento de aguas residuales que presente propiedades físico químicas detalladas, C, H, O, N, C/Proteínas, ST, SV, alcalinidad y otras, las cuales pueda ayudar a una mejor caracterización del sustrato.

**OE.2:** Se debe tener en cuenta los principales parámetros de operación del reactor para poder trabajar con datos cuantitativos que nos permitan hacer comparaciones de eficiencia en la producción de metano.

**OE.3:** Se debe de caracterizar en porcentajes todos los tipos de sustratos que se vayan a usar e un proceso de codigestión, así podremos saber al detalle qué tipo de sustancias están presentes y evitar una inhibición del sistema anaerobio.

**OE.4:** Se recomienda estudiar a profundidad el uso de los residuos de lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales domesticas como inóculos, con previo tratamiento para acelerar los procesos de digestión anaerobia dentro de un reactor reduciendo el tiempo de retención hidráulico y optimizando la producción de Biogás.

**OE.5** Aplicar pre-tratamientos a sustratos que puedan demandar un tiempo de retención hidráulica mayor, facilitando así que los organismos anaerobios puedan sintetizar y procesar de la mejor manera posible los diferentes compuestos orgánicos.

## REFERENCIAS

1. AHMAD Reza [et al], Anaerobic co-digestion of sewage sludge and slaughterhouse waste in existing wastewater digesters. *Renewable Energy* [en línea] Volume 145, January 2020, Pages 2503-2509 [28 de mayo del 2021]  
Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.08.001>  
ISSN: 0960-1481
2. AE Maragkaki [et al]. Improved biogas production from anaerobic co-digestión of sewage sludge with a thermally dried mixture of food waste, cheese whey and oil mill wastewater. *Waste management* [en línea] Volume 71, January 2018, Pages 644-651 [27 de mayo del 2021]  
Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2017.08.016>  
ISSN: 0956-053X.
3. ANNA Grosser, The influence of decreased hydraulic retention time on the performance and stability of co-digestion of sewage sludge with grease trap sludge and organic fraction of municipal waste, *Journal of Environmental Management* [en línea], Volume 203, Part 3, 1 December 2017, Pages 1143-1157, [Fecha de consulta: 04 de Abril del 2021].  
Disponible en : <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.04.085>  
ISSN: 0301-4797.
4. BOWEN, Glen. Document Analysis as a Qualitative Research Method. *Qualitative Research Journal* [en línea]. Vol. 9(2): 27-40, 2009. [Fecha de consulta: 11 de mayo de 2020].  
Disponible en: <https://doi.org/10.3316/QRJ0902027>.  
ISSN: 1443-9883.
5. BALDI, F., Pecorini, I., & Iannelli, R. (2019). Comparison of single-stage and two-stage anaerobic Co-Digestion of food waste and activated sludge for hydrogen and methane production. *Renewable Energy* [en Línea], Volume 143, December 2019, Pages 1755-1765, [ fecha de consulta: 05 de mayo del 2021].  
Disponible : <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.05.122>

ISSN: 960-1481

6. BARRERA, Cardoso[et al], Systematization of theoretical aspects on full scale anaerobic digestion technologies, *Tecnología Química* [ en línea], Vol. 38 Num.1,36-57, 20 de diciembre del 2017, [fecha e consulta: 07 de mayo del 2021].

Disponible en : <https://doi.org/10.1590/2224-6185.2018.1.%25x>

ISSN: 2224-6185

7. BAO-SHAN Xing[et al], Effects of long-term acclimatization on the optimum substrate mixture ratio and substrate to inoculum ratio in anaerobic codigestion of food waste and cow manure, *Bioresource Technology* [en línea], Volume 317, December 2020, 123994,[Fecha de consulta: 01 de mayo del 2021].

Disponible en : <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123994>

ISSN: 0960-8524

8. BRAHIM, Arhoun [et al], Anaerobic co-digestión of mixed sewage sludge and waste from the fruit and vegetable wholesale market: composition and effect of seasonality, *Ingeniería de procesos del agua* [ en línea ], volumen 31, 100848,21 de mayo del 2019,[ Fecha de consulta; 12 de mayo del 2021].

Disponible en : <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2019.100848>

ISSN: 2214-7144

9. CARDONA [et al]. Co-digestion of wastewater sludge: Choosing the optimal blend [en línea] fecha de consulta: 7 de marzo del 2019, *Waste Management*, disponible en <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.03.016>,

ISSN: 0956-053X.

10. CARCELLI Guenka [et al], Evaluation of biomethanization during co-digestion of thermally pretreated microalgae and waste activated sludge, and estimation of its kinetic parameters, *Science of The Total Environment* [en línea ], Volume 706, 1 March 2020, 135745, [Fecha de consulta:06 de Abril del 2021].

Disponible en : <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135745>

ISSN: 0048-9697.

11. CHONG, Siewhui, Sen, kayaalp. The performance enhancements of upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactors for domestic sludge treatment – A State-of-the-art review. *Water Research* [en línea]. Vol. 46(11): 3434–3470, julio 2012. [Fecha de consulta: 01 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2012.03.066>.  
ISSN: 0043-1354
12. DEBKUMAR, Chakraborty[et al]. Co-digestion of chemically enhanced primary treated sludge and food waste in a continuous stirred tank reactor. *Biomass and Bioenergy* [en línea] Volume 111, April 2018, Pages 232-240.. [26 de mayo del 2021]  
Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2017.06.002>  
ISSN: 0961-9534
13. DEROVIL Antonio [et al]. Development of a horizontal reactor with radial agitation to synthesize bio-methane from biomass waste and domestic sewage sludge. *Cleaner Production Magazine*, [en línea] Volume 257, June 1, 2020, 120616. [ 28 de mayo del 2021]  
Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120616>  
ISSN: 0959-6526
14. ERDENEBAYAR Naran, Umair Ali Toor, Dong-Jin Kim.. Effect of pretreatment and anaerobic co-digestión of food waste and residual activated sludge on stabilization and methane productio. *Biodeterioration and international biodegradation*. [en línea] Volume 113, September 2016, pages 17-21 [25 de mayo del 2021]  
Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2016.04.011>  
ISSN :0964-8305
15. E. JUDITH Martínez [et al], Codigestion of sludge and citrus peel wastes: Evaluating the effect of biochar addition on microbial communities, *Biochemical Engineering Journal* [en línea], Volume 137, 15 September 2018, Pages 314-325, [ Fecha de Consulta: 18 de mayo del 2021].  
Disponible en : <https://doi.org/10.1016/j.bej.2018.06.010>

16. FANG Zhang [et al], Synergetic alginate conversion by a microbial consortium of hydrolytic bacteria and methanogens, *Water Research* [en línea], Volume 163, 15 October 2019, 114892,[Fecha de consulta: 30 de mayo del 2021].

Disponible en : <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.114892>

ISSN: 0043-1354

17. Fijalkowski, K., Rorat, A., Grobelak, A., & Kacprzak, M. J. The presence of contaminations in sewage sludge – The current situation. *Journal of Environmental Management*, 203, 1126–1136. Disponible doi:10.1016/j.jenvman.2017.05.068

18. F. BALDI, I. Pecorini B, R. Iannelli, Comparison of single-stage and two-stage anaerobic co-digestion of food waste and activated sludge for hydrogen and methane production, *Renewable Energy* [et al ], Volume 143, December 2019, Pages 1755-1765, [ Fecha de consulta: 17 de mayo del 2021].

Disponible en : <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.05.122>

ISSN: 0960-1481

19. GU, Liu [et al]. Anaerobic Co-digestion of Food Waste and Sewage Sludge under Mesophilic and Thermophilic Conditions: Focusing on Synergistic Effects on Methane Production. *Bioresource Technology*, 122765. doi:10.1016/j.biortech.2020

ISSN: 122765

20. GUNEET, Kaura [et al], Enhanced volatile fatty acid degradation and methane production efficiency by biochar addition in food waste-sludge co-digestion: A step towards increased organic loading efficiency in co-digestion, *Bioresource Technology* [ en Linea ], Volume 308, July 2020, 123250, [Fecha de consulta: 29 de mayo del 2021 ].

Disponible en : <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123250>

ISSN: 0960-8524

21. HERALDO Wilson [et al]. "Anaerobic Codigestion of Activated Sludge and Fruit and Vegetable Waste: Evaluation of Mix Ratio and Impact of Hybrid Sludge Pretreatment (Microwave and Hydrogen Peroxide) on Two-Stage Digester Stability and Biogas Performance" [en línea] fecha de consulta: 3 de julio de 2020.  
Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101498>
22. HERALDO Wilson [et al], Anaerobic co-digestion of activated sludge and fruit and vegetable waste: Evaluation of mixing ratio and impact of hybrid (microwave and hydrogen peroxide) sludge pre- treatment on two-stage digester stability and biogas yield, *Journal of Water Process Engineering* [ en línea ], Volume 37, October 2020, 101498, [Fecha de consulta: 27 de mayo del 2021].  
Disponible en : <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101498>  
ISSN: 2214-7144
23. HERNÁNDEZ, Roberto, FERNÁNDEZ, Carlos y BAPTISTA, María. Metodología de la Investigación [en línea]. 6ta ed. México: McGraw-Hill/Interamericana Editores S.A. de C.V. [Fecha de consulta: 18 de abril de 2021].  
Disponible en:  
<https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>
24. HERALD, Wilson [et al], Anaerobic co-digestion of activated sludge and fruit and vegetable waste: Evaluation of mixing ratio and impact of hybrid (microwave and hydrogen peroxide) sludge pre- treatment on two-stage digester stability and biogas yield, *Journal of Water Process Engineering* [en línea], Volume 37, October 2020, 101498, [Fecha de consulta: 10 de mayo de 2021].  
Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101498>

25. ISAAC Owusu-Agyeman, Plaza Elzbieta, Zeynep Cetecioglu, Production of volatile fatty acids through co-digestion of sewage sludge and external organic waste: Effect of substrate proportions and long-term operation, *Waste Management* [en línea], Volume 112, 1 July 2020, Pages 30-39, [ Fecha de Consulta: 29 de mayo del 2021].
- Disponible en : <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.05.027>  
ISSN: 0956-053X
26. JUAN Gu [et al], Anaerobic co-digestion of food waste and sewage sludge under mesophilic and thermophilic conditions: Focusing on synergistic effects on methane production, *Bioresource Technology*[en línea], Volume 301, April 2020, 122765,[Fecha de consulta: 03 de junio el 2021].
- Disponible en : <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.122765>  
ISSN: 0960-8524
27. JIAHOU Hao, Francis L. de los Reyes, Xia He. Fat, oil, and grease (FOG) deposits yield higher methane than FOG in anaerobic co-digestion with waste activated sludge, *Journal of Environmental Management* [ en línea], Volume 268, 15 August 2020, 110708, [ Fecha de consulta: 22 de mayo del 2021].
- Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110708>  
ISSN: 0301-4797
28. JIAXING Zhang [ et al ], Anaerobic cultivation of waste activated sludge to inoculate solid state anaerobic co-digestion of agricultural wastes: Effects of different cultivated periods, *Bioresource Technology* [en línea], Volume 294, December 2019, 122078,[Fecha de consulta: 23 de mayo del 2021].
- Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122078>  
ISSN: 0960-8524
29. KHUSHBOO Kumari [et al]. Anaerobic co-digestion of different wastes in a UASB reactor. *Gestión de residuos* [ en línea]. [Fecha de consulta: 4 de mayo del 2018].

Disponible: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956053X1830299X?via%3Dihub>,  
ISSN:0956-053X

30. LAËTITIA Cardona [et al]. Co-digestion of wastewater sludge: Choosing the optimal blend. *Waste Management* [en línea] Volume 87, 15 March 2019, Pages 772-781 [29 de mayo del 2021]  
Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.03.016>  
ISSN: 0956-053X
31. LI, Chunxing [et al], Hydrothermal and alkaline hydrothermal pretreatments plus anaerobic digestion of sewage sludge for dewatering and biogas production: *Bench-scale research and pilot-scale verification*, *Water Research* [en línea], Volume 117, 15 June 2017, Pages 49-57, [Fecha de consulta: 25 de marzo de 2017].  
Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2017.03.047>
32. MARAGKAKI [et al], Improving biogas production from anaerobic co-digestion of sewage sludge with a thermal dried mixture of food waste, cheese whey and olive mill wastewater, *Waste Management* [en línea], Volume 71, January 2018, Pages 644-651, [ Fecha de consulta: 26 de mayo del 2021].  
Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.08.016>  
ISSN: 0956-053X
33. MINGYU Qian [et al] Efficient acetogenesis of anaerobic co-digestion of food waste and maize straw in a HSAD reactor, *Bioresource Technology* [en línea], Volume 283, July 2019, Pages 221-228, [Fecha de revisión: 31 de mayo del 2021].  
Disponible en : <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.03.032>  
ISSN: 0960-8524

34. MANAL Ali [et al], Regulating acidogenesis and methanogenesis for the separated bio-generation of hydrogen and methane from saline-to-hypersaline industrial wastewater, *Journal of Environmental Management*[en línea], Volume 250, 15 November 2019, 109546, [Fecha de revisión].  
Disponible en : <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109546>  
ISSN: 0301-4797
35. MOSTAFA Parsaee [et al], review of biogas production from sugarcane vinasse, *Biomasa y Bioenergía* [en línea], Volumen 122 , marzo de 2019 , páginas 117-125, [Fecha de consulta: 31 de abril del 2021].  
Disponible en : <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2019.01.034>  
ISSN: 0961-9534
36. MONTECCHIO Daniele [et al ]. Anaerobic co-digestion of food waste and waste activated sludge: ADM1 modelling and microbial analysis to gain insights into the two substrates' synergistic effects. *Waste Management*[en línea] Volume 97, September 2019, Pages 27-37 [25 de mayo del 2021].  
Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.07.036>  
ISSN: 0956-053X
37. MUNSIK Parque [et al]. Optimization and comparison of methane production and residual characteristics in mesophilic anaerobic digestion of sewage sludge by hydrothermal treatment. *Revista quimiosfera* [en línea], 4 de octubre de 2020,  
Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemospHere.2020.128516>  
SSN: 0045-6535.
38. MARTINEZ, Judith [et al] 2018, Codigestion of sludge and citrus peel wastes: Evaluating the effect of biochar addition on microbial communities, *Biochemical Engineering Journal*[en línea], Volume 137, 15 September 2018, Pages 314-325,[Fecha de consulta: 03 de abril del 2021].  
Disponible en : <https://doi.org/10.1016/j.bej.2018.06.010>

39. MARÍA Solé-Bundó [et al]. Co-digestion of microalgae and primary sludge: Effect on biogas production and microcontaminants removal, *Science of The Total Environment* [en línea], Volume 660, 10 April 2019, Pages 974-981, [Fecha de consulta: 15 de mayo del 2021].  
DISPONIBLE EN: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.011>  
ISSN: 0048-9697.
40. MOHAMMAD Nabi [et al]. Contribution of solid and liquid fractions of sewage sludge pretreated by high pressure homogenization to biogas production, *Bioresource Technology* [en línea], Volume 286, August 2019, 121378, [ fecha de consulta: 24 de abril de 2019].  
Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.121378>
41. NKINAHAMIRA, Suanon [et al]. Occurrence, geochemical fractionation, and environmental risk assessment of major and trace elements in sewage sludge. *Journal of Environmental Management*, 249, 109427. doi: 10.1016/j.jenvman.2019.109427.
42. NEUMANN, Patricio[et al],2018,Process performance assessment of advanced anaerobic digestion of sewage sludge including sequential ultrasound–thermal (55 °C) pre-treatment, *Bioresource Technology* [en línea] Volume 262, August 2018, Pages 42-51,[Fecha de consulta: 15 March 2018].  
Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.03.057>
43. PIRLOU Mansour [et al]. co-digestion of municipal solid waste and sewage sludge: Effect of mixing ratio, total solids, and alkaline pretreatment, *International Biodeterioration & Biodegradation* [en línea], Volume 125, November 2017, Pages 97-104, [Fecha de consulta:05 de mayo del 2021].  
Disponible en : <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2017.09.004>  
ISSN: 0964-8305

44. PELLERA, F.-M. Anaerobic digestion of solid agroindustrial waste in semi-continuous mode: Evaluation of mono-digestion and co-digestion systems. *Waste Management*, 68, 103–119. doi:10.1016/j.wasman.2017.06.026
45. POORIA Lati fi, Mohsen Karrabi, Shahnaz Danesh. Anaerobic co-digestión of poultry slaughterhouse waste with sewage sludge in batch mode bioreactors (effect of the inoculum-substrate ratio and total solids). *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [en línea] Volume 107, June 2019, pages 288-296. [27 de mayo del 2021]  
Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.03.015>  
ISSN:1364-0321
46. POORIA Lati fi, Mohsen Karrabi, Shahnaz Danesh, Anaerobic co-digestion of poultry slaughterhouse wastes with sewage sludge in batch-mode bioreactors (effect of inoculum-substrate ratio and total solids), *Renewable and Sustainable Energy Reviews*[en línea], Volume 107, June 2019, Pages 288-296,[Fecha de consulta: 01 de mayo del 2021].  
Disponibel en: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.03.015>  
ISSN: 1364-0321
47. QIAN Li [et al]. Responses of microbial capacity and community on the performance of mesophilic co-digestion of food waste and waste activated sludge in a high-frequency feeding CSTR, *Bioresource Technology* [en línea], Volume 260, July 2018, Pages 85-94,[Fecha de consulta: 21 de abril del 2021].  
Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.03.087>  
ISNN: 0960-8524
48. RUILIN Zhu [et al]. Enhanced mesophilic anaerobic co-digestion of waste sludge and food waste by using hematite ( $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) supported bentonite as additive, *Bioresource Technology* [en línea], Volume 313, October 2020, 123603, [Fecha de Consulta].  
Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123603>

ISSN: 0960-8524

49. SOM Ayun y AsdarinaYahya, Kinetics and performance study of ultrasonic-assisted membrane anaerobic system using Monod Model for Palm Oil Mill Effluent (POME) treatment, *Cleaner Engineering and Technology [en línea]*, Volume 2, June 2021, 100075, [Fecha de consulta:10 de junio del 2021].

Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.clet.2021.100075>

ISSN: 2666-7908

50. SIMA Kashi [et al]. on of a mixture design to identify the effects of substrates ratios and interactions on anaerobic co-digestion of municipal sludge, grease trap waste, and meat processing waste, *Journal of Environmental Chemical Engineering[en línea ]*, Volume 5, Issue 6, December 2017, Pages 6156-6164,[Fecha de consulta:18 de abril del 2021].

Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2017.11.045>

ISSN: 2213-3437

51. SIMONA Di Fraia, Rafal Damian Figaj, Nicola Massarotti, Laura Vanoli. "An integrated system for drying sewage sludge using solar energy and a combined heat and power unit powered by biogas" [en línea] fecha de consulta: 1 de septiembre de 2018,

Disponible en:<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.06.018>

52. SIMA Kashi , Behzad Satari , Magnus Lundin , Ilona Sárvári Horváth , Maazuza Othman, Application of a mixture design to identify the effects of substrates ratios and interactions on anaerobic co-digestion of municipal sludge, grease trap waste, and meat processing waste, *Journal of Environmental Chemical Engineering [En línea]*, Volume 5, Issue 6, December 2017, Pages 6156-6164, [Fecha de consulta: 24 de mayo del 2021].

Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2017.11.045>

ISSN: 2213-3437

53. SIHUANG Xie, Richard Wickham, Long D. Nghiem. Synergistic effect from anaerobic co-digestion of sewage sludge and organic wastes. *International Biodeterioration & Biodegradation* [en línea] Volume 116, January 2017, Pages 191-197 [29 de mayo del 2021]  
Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2016.10.037>  
ISSN: 0964-8305
54. S. ZAHEDI a, B, R. Solera a, M. Pérez a. An eco-friendly way to valorize winery wastewater and sewage sludge: Anaerobic co-digestion. *Biomass and Bioenergy* [en línea] Volume 142, November 2020, 105779. [29 de mayo del 2021]  
Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2020.105779>  
ISSN: 0961-9534
55. Tomás Ramón Rivero Álvarez, , Rafael Trujillo Codorniú, , Israel Francisco Benítez Pina, PI and PID Temperature and Product Concentration Control in a Chemical Plant producing propilenglicol, *Journal of Engineering and Technology for Industrial Applications*[ en línea ],Vol:4,Junio 30 del 2018, [ Fecha de consula: 08 de mayo del 2021].  
Disponible en: <https://dx.doi.org/10.5935/2447-0228.20180028>  
ISSN: 2447-0228
56. LI, Qian Li, Hao , Gaojun Wang, Xiaochang Wang, Effects of loading rate and temperature on anaerobic co-digestion of food waste and waste activated sludge in a high frequency feeding system, looking in particular at stability and efficiency, *Bioresource Technology* [en línea], Volume 237, August 2017, Pages 231-239, [Fecha de consulta: 18 de mayo del 2021].  
Disponible en : <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.02.045>  
ISNN: 0960-8524

57. YANG Pana [et al]., Synergistic effect and biodegradation kinetics of sewage sludge and food waste mesophilic anaerobic co-digestion and the underlying stimulation mechanism, *Fuel* [ en línea], Volume 253, 1 October 2019, Pages 40-49 [ Fecha de Consulta: 30 de mayo del 2021]. Disponible en : <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.04.084>  
ISSN: 0016-2361
58. YUQI Wu , Canción de Kang. Anaerobic Co-digestión of Activated Sludge Residues and Fish Waste: Methane Production Performance and Mechanism Analysis. *Cleaner Production Magazine*. [en línea] Volume 279, Jan 10, 2021, 123678. [25 de mayo del 2021]  
Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123678>  
ISSN: 0959-6526
59. WENJING, Tian [et al], Effects of hydrothermal pretreatment on the mono- and co-digestion of waste activated sludge and wheat straw, *Science of The Total Environment* [en línea ], Volume 732, 25 August 2020, 139312, [Fecha de consulta 18 de abril de 2021].  
Disponible en : <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139312>  
ISSN: 0048-9697
60. WONBAE Lee [et al], Parque Seyong, Fenghao Cui, Moonil Kim. Optimizing pre-treatment conditions for anaerobic co-digestion of food waste and sewage sludge. *Journal of Environmental Management*. [volumen] Volume 249, 1 November 2019, 109397. [27 de mayo del 2021]  
Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109397>  
ISSN: 0301-4797
61. WANG wang [et al]. In-situ alkaline enhanced two-stage anaerobic digestion system for waste cooking oil and sewage sludge co-digestion. *Waste Management* [en línea] Volume 120, 1 February 2021, Pages 221-229 [29 de mayo del 2021]  
Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.11.047>

ISSN: 0964-8305

62. WEI Li, Anran Fang, Bingfeng Liu, Guojun Xie, Yu Lou, Defeng Xing. Effect of different Co-treatments of activated sludge residues on biogas production and conformation of the microbial community in subsequent anaerobic digestion [en línea], fecha de consulta: 28 de junio de 2019] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.122098>
63. WANG xuemei [et al] 2017, Study on improving anaerobic co-digestion of cow manure and corn straw by fruit and vegetable waste: Methane production and microbial community in CSTR process, *Bioresource Technology* [en línea], Volume 249, February 2018, Pages 290-297, [Fecha de consulta: 10 de abril del 2021]. Disponible en : <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.10.038>
- ISSN: 0949-7523
64. WONBAE Lee, Parque Seyong, Fenghao Cui, Moonil Kim. Optimización de las condiciones de pretratamiento para la codigestión anaeróbica de residuos alimentarios y lodos de depuradora [en línea] fecha de consulta: 20 agosto 2019 disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109397>
65. VANESSA Ripoll , Cristina Agabo-García , Montserrat Pérez , Rosario Soler. Improvement of the biomethane potential of the anaerobic co-digestión of sewage sludge by adding wastewater from the "Jerez wine" distillery. *Cleaner Production Magazine* [en línea] Volume 251, April 1, 2020, 119667 [27 de mayo del 2021] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119667> ISSN : 0959-6526
66. VELÁSQUEZ Piñas [et al] (2018). Technical assessment of mono-digestion and co-digestion systems for the production of biogas from anaerobic digestion in Brazil. *Renewable Energy* [en línea], Volume 117, March 2018, Pages 447-458, [Fecha de consulta: 13 mayo del 2021]. Disponible en : <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.10.085> ISSN: S0960-1481

67. XINRUI Du, Yi Tao, Huan Li, Yueling Liu, Kai Feng, Synergistic methane production from the anaerobic co-digestion of *Spirulina platensis* with food waste and sewage sludge at high solid concentrations, *Renewable Energy*[en línea], Volume 142, November 2019, Pages 55-61,[Fecha de consulta:11 de junio del 2021].

Disponible en : <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.04.062>

ISSN: 0960-148

## ANEXOS

### Anexo 01: Matriz de Categorización Apriorística

Matriz de categorización Apriorística				
O. ESPECIFICOS	PROBLEMAS ESPECIFICOS	CATEGORIAS	SUB CATEGORIAS	UNIDAD DE ANALISIS
1	<p>Describir los tipos de lodos de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas que se usan con frecuencia en el proceso de co-digestión anaerobia</p>	<p>¿Cuáles son los tipos de lodos de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas que se usan con frecuencia en el proceso de co-digestión anaerobia?</p>	<p><b>Tipos de Lodos</b></p> <p>Lodos Primarios Y Lodos Activos o Secundarios</p>	<p>Nkinahamira et al., 2019, p.1</p> <p>Fijalkowski, Rorat, Grobelak, Kacprzak (2017)</p> <p>Krzysztof et al. (2017)</p> <p>xie, wickham y nghiem (2016)</p> <p>Mosquera et al. (2020)</p> <p>Di Fraia, Figaj, Massarotti, Vanoli (2018)</p> <p>Julio, Peláez, Molina (2016),</p> <p>Gu et al. (2020)</p>
2	<p>Analizar los tipos de reactores anaerobios que se usan con mayor frecuencia en el proceso de co-digestión anaerobia</p>	<p>¿Cuáles son los tipos de reactores anaerobios que se usan con mayor frecuencia en el proceso de co-digestión anaerobia?</p>	<p><b>tipos de reactores anaerobios</b></p> <p>Reactor anaeróbico de flujo ascendente UASB.</p> <p>Reactor de tanque completamente mezclado (CSTR).</p> <p>Reactores experimentos por Lotes BMP.</p>	<p>Orgai Chon, Sen, kayaalp, ang,2012, pg.3437</p> <p>Wardhani , Amizera, Prima, 2021,p.108</p> <p>Alvarez, Condoniu, Pina, 2018, pg.17)</p> <p>Cardozo et al, 2018, pg.41</p> <p>Maragkaki et al , 2017, pg. 1,7</p> <p>Reyes et al (2016)</p>

3	Analizar los tipos de sustratos que se usaran en la co-digestión anaerobia	¿Cuáles son los tipos de sustratos que se usan en la co-digestión anaerobia?	<b>Tipos de sustratos</b>	Fracción orgánica de residuos de alimentos, algas sólidos urbanos Desperdicio de alimentos Grasa, aceite y grasa Residuos agrícolas : <ul style="list-style-type: none"> <li>. Paja de arroz</li> <li>. Papas</li> <li>. Tallos de maíz / paja</li> <li>. Hierba / recortes</li> <li>. Estiércol de cerdo</li> <li>. Estiércol de vaca</li> </ul>	(Velásquez, Venturini, Silva, Calle, 2017, p.3).
					Pellera, Frantseska, Gidarakos (2017)
					(Arhoun, Villen, Gomez, Rodríguez, García, Vereda, 2019, p.8).
					Li et al (2019)
					Chakraborty, Karthikeyan, Ammayappan, Wong, 2017, p.1
					(Derovil, Galdino, Marques, Motta, Thome, 2020, p. 3).
					Lee et al, (2019)
Según Hao, Reyes, He (2020)					
4	Analizar los tipos de inóculos que se usaran en la co-digestión anaerobia	¿Cuáles los tipos de inóculos que se usan con mayor frecuencia en la co-digestión anaerobia?	<b>Tipos de inóculos</b>	Lodo deshidratado, lodo activo, lodo digerido.	Baldi, Pecorini, Iannelli (2019),
					Montecchiola (2019, pag.2)
					Camacho, Villada, Hoyos (2017, pg.29)
5	Describir los pre-tratamientos que se aplican a los sustratos e inóculos para optimizar la producción de metano.	¿Cuáles son los pre-tratamientos que se aplican para optimizar la producción de metano?	<b>Tipos Pre-tratamiento</b>	Pre-tratamiento alcalino	Maraschin , Ferrari y Carissimi, 2020, p.1 / Munsik, Kim, Jung, Donghee,2020-
				Pretratamientos hidrotermales / alcalinos hidrotermales	Li et al. (2017)
				Pre- tratamiento secado térmico	Fraia, Figaj, Massarotti, Vanoli (2018)
				Pretratamiento de homogeneización de alta presión	Nabi et al. (2019)
				Pre tratamiento ultrasonido secuencial-térmico	Neumann, Barriga, Álvarez, González, Vidal (2018)
					Lee, Seyong, Cui, Kim (2019)



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

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

## **Declaratoria de Originalidad del Autor**

Yo, ALFREDO GARCIA GARCIA estudiante de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA y Escuela Profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO, declaro bajo juramento que todos los datos e información que acompaña la Tesis titulada: **Co-Digestión Anaerobia de Lodos de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales para Producir Biogás. Revisión Sistemática, 2021**, es de mi autoría, por lo tanto, declaro que la Tesis:

1. No ha sido plagiado ni total, ni parcialmente.
2. He mencionado todas las fuentes empleadas, identificando correctamente toda cita textual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes.
3. No ha sido publicado ni presentado anteriormente para la obtención de otro grado académico título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

<b>Apellidos y Nombres del Autor</b>	<b>Firma</b>
ALFREDO GARCIA GARCIA  DNI: 47198442  ORCID: 0000-0002-8717-3777	