



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

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

**Producción de Hidrógeno mediante Fermentación  
Oscura. Revisión Sistemática, 2020**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
Ingeniera Ambiental**

**AUTORA:**

Vásquez Flores, Doris (ORCID: 0000-0003-3161-8359)

**ASESORA:**

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

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Tratamiento y Gestión de Residuos

LIMA – PERÚ

2020

### **Dedicatoria.**

Con mucho amor y cariño a mis queridos padres Benigno Vásquez Pinedo y Glenda Flores Flores, que son la fuente de inspiración de trabajo y esfuerzo.

A mi amado esposo Julio Paredes Arévalo que fue mi soporte en toda mi formación profesional y a mi querido hijo Julio Cesar Antonio por ser la fuente de inspiración en mi vida diaria para seguir adelante.

### **Agradecimiento.**

A Dios por cada minuto de vida que me da para seguir superando mis metas.

A la Mg. Rita Jaqueline Cabello Torres por guiarnos en este proceso de titulación y formar parte fundamental para la elaboración de esta tesis.

A todos mis compañeros y docentes con quienes compartí las aulas universitarias, porque de una u otra forma estuvieron ahí para apoyarnos en nuestro proceso de formación.

## Índice de Contenido

Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento.....	iii
Índice de Contenido.....	iv
Índice de Tablas.....	v
Índice de figuras.....	vi
Índice de abreviaturas.....	vii
Resumen.....	viii
Abstract.....	ix
I. INTRODUCCIÓN.....	10
II. MARCO TEÓRICO.....	12
III. METODOLOGÍA.....	20
3.1 Tipos y diseño de investigación.....	20
3.2 Categorías, Sub categorías y matriz de categorización apriorística.....	20
3.3 Escenario de estudio.....	24
3.4 Participantes.....	24
3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	24
3.6 Procedimientos.....	24
3.7 Rigor científico.....	26
3.8 Método de análisis de información.....	26
3.9 Aspectos éticos.....	26
IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	27
V. CONCLUSIONES.....	51
VI. RECOMENDACIONES.....	53
REFERENCIAS.....	54
ANEXOS.....	68

## Índice de Tablas

Tabla 1: Matriz de categorización Apriorística. ....	21
Tabla 2: Resumen de criterio de búsquedas. ....	25
Tabla 3: Parámetros para la elaboración de hidrógeno. ....	28
Tabla 4: Tipos de residuos utilizados en la fermentación oscura para la producción de hidrógeno. ....	31
Tabla 5: Condiciones operativas en la producción de hidrógeno mediante fermentación oscura.....	37
Tabla 6: Valores de las condiciones operativas de los autores estudiados. ....	40
Tabla 7: Tipos de Reactores utilizados en la producción de Hidrógeno. ....	42
Tabla 8: Pre tratamientos para la obtención de hidrógeno. ....	48

## Índice de figuras

Figura 1: Esquema de Fermentación oscura.....	15
Figura 2: Descripción general de la vía del hidrógeno por hidrogenasa (Producción de hidrógeno fermentativo). .....	16
Figura 3: Esquema de producción de hidrógeno en anaerobios facultativos. ....	16
Figura 4: Diferentes reactores utilizados en la producción de hidrógeno por fermentación oscura:.....	19

## Índice de abreviaturas

H <sub>2</sub>	:	Hidrógeno
pH	:	Potencial de Hidrógeno
T°	:	Temperatura
SV	:	Sólidos Volátiles
ST	:	Sólidos Totales
DQO	:	Demanda química de Oxígeno
THR	:	Tiempo de retención hidráulica
HPR	:	Rendimiento de producción de Hidrógeno
NaOH	:	Hidróxido de Sodio.
ADS	:	Fisión asistida con aceleradores
VFA	:	Ácido Grasos volátiles
GEI	:	Gases de efecto invernadero
UASB	:	Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente
FABR	:	Reactor anaeróbico de Lecho Fluidizado
FPPBR:		Biorreactor de placa plana
CSTR	:	Reactor de tanque agitado continuo
FBR	:	Reactor Reproductor Rápido

## Resumen

El problema de la contaminación ambiental debido a la emisión de gases de efecto invernadero no solo es producido por el uso de los combustibles fósiles sino también por el vertimiento de los residuos sólidos de tipo orgánico vertidos al ambiente o dispuestos en rellenos sanitarios sin ningún aprovechamiento energético. El objetivo de esta investigación ha sido evaluar la producción de hidrógeno mediante el proceso de fermentación oscura aprovechando los residuos sólidos. El tipo de diseño de investigación es descriptivo pura, básico y la metodología se basó en la técnica de recolección de información utilizado fue el análisis documental, se consideraron 62 artículos científicos de revistas indexadas no menor de 5 años considerados a partir del 2015, teniendo en cuenta las categorías y subcategorías como 1. tipos de sustratos, la producción de hidrógeno fue 236 mol H<sub>2</sub> / Mol lactato; 2. Condiciones operativas: como el pH 5.0 a 6.0, Temperatura, 37 mesofílicas y 80 termofílicas, TRH 24 h, DQO 83 g /L. Producción de hidrógeno, carga orgánica de 500 ml; 3. Tipo de reactores: UASB, AFBR, FPPBR, CSTR, FBR; 4. pre tratamiento: ácido diluidos, Congelamiento, térmico y ultrasónico.

**Palabras Clave:** hidrógeno, fermentación oscura, condiciones operativas, tipos de reactores, pre tratamientos.

## Abstract

The problem of environmental pollution due to the emission of greenhouse gases is not only produced by the use of fossil fuels but also by the dumping of solid organic waste dumped into the environment or disposed of in sanitary landfills without any energy use. The objective of this research has been to evaluate the production of hydrogen through the dark fermentation process taking advantage of solid waste. The type of research design is pure descriptive, basic and the methodology was based on the information collection technique used was the documentary analysis, 62 scientific articles from indexed journals of no less than 5 years were considered, considered from 2015, taking into account It counts the categories and subcategories as 1. types of substrates, the hydrogen production was 236 mol H<sub>2</sub> / Mol lactate; 2. Operating conditions: such as pH 5.0 to 6.0, Temperature, 37 mesophilic and 80 thermophilic, HRT 24 h, COD 83 g / L. Hydrogen production, organic load of 500 ml; 3. Type of reactors: UASB, AFBR, FPPBR, CSTR, FBR; 4. Pre treatment: dilute acid, Freezing, thermal and ultrasonic.

**Key Words:** hydrogen, dark fermentation, operating conditions, types of reactors, pre-treatments.

## I. INTRODUCCIÓN

Como consecuencia del calentamiento global existen diferentes estudios científicos realizados que sugieren cambios inmediatos en los sistemas energéticos existentes, los gases como el metano ( $\text{CH}_4$ ) forma parte de los gases de Efecto Invernadero (GEI), estos se forman a través de la degradación de la materia vegetal y animal, así como por el uso de combustibles fósiles, frente a ello es necesario reducir dichos gases, el ambiente y su protección resultan un problema para la industria moderna, se requiere la implementación de nuevas tecnologías que contribuyan con la disminución de residuos generados para el aprovechamiento de consumo de energías. (NEVZOROVA, T. y KUTCHEROV, V. 2019, parr.2).

Los combustibles son una mezcla de hidrocarburos, así como el hidrógeno que son la base para formar energías caloríficas y energía luminosa. Estos pueden ser clasificados según su fuente de origen (natural o fabricados a partir de otros materiales), entre ellos se encuentra el biogás como el hidrógeno ( $\text{H}_2$ ) conocido como gas natural comprimido (HCNG) (BHARATHIRAJA B, et al, 2017, p. 1).

Por este motivo el hidrógeno es considerado una buena alternativa como fuente de energía limpia y muy eficiente, el cual se obtiene por medio de recursos y residuos biodegradables se encuentra la biomasa y diferentes aguas residuales siendo una alternativa frente al uso de combustibles fósiles, convirtiéndose de esta manera en un combustible amigable con el ambiente, para este proceso existen bacterias fermentadoras que son capaces de elaborar hidrógeno ( $\text{H}_2$ ) (MURUGAN RS., et al., 2020, p. 1).

La fermentación oscura es una tecnología utilizada que permite convertir los residuos en fuente de energía como el biohidrógeno, convirtiéndose en una energía limpia y sostenible. (PARK, J., et al, 2020, párr. 1) Resulta que esta tecnología es de uso importante en la industria de producción de combustibles y la producción de fertilizantes entre otras actividades (PURANJAN, M., et al, 2019. P. 2)

Motivo por el cual esta investigación busca identificar los diferentes tratamientos y residuos que resulten más apropiados en la generación de combustibles amigables con el ambiente, el hidrógeno al ser esta una tecnología nueva y en constante

cambio requiere que la investigación sea de manera constante además de poder identificar cuáles son las condiciones adecuadas para la producción de hidrógeno. El pH óptimo o apropiado para la producción de hidrógeno por fermentación oscura puede variar según el tipo de sustrato cuyo rango es de 5,0 a 6,0 (LI, X., et al, 2020, p. 1). Así mismo se podría decir que la producción de hidrógeno está relacionada con ácidos acético y burítico que están asociados en equilibrio con sus homólogos iónicos (DAHIYA, S. y VENKATA MOHAN, S. 2019, p. 800).

El presente estudio justifica la búsqueda de tecnologías que permitan generar combustibles alternativos que puedan ser elaborados a partir de desechos y de gases que generan la degradación del ambiente. En base a ello, se planteó como problema general de la investigación ¿Cómo producir hidrógeno por fermentación oscura usando biomasa residual?, así mismo tiene como problemas específicos i. PE1: ¿Qué tipos de residuos se utilizan en la fermentación oscura para producir hidrógeno?, ii. PE2: ¿Qué condiciones operativas intervienen en la producción de hidrógeno por fermentación oscura?, iii. PE3: ¿Qué tipos de reactores intervienen en la fermentación oscura?, iv. PE4: ¿Qué pre tratamientos existen en la fermentación oscura? El estudio hará un aporte teórico sobre el tema, ya que se actualizan el conocimiento de los últimos 5 años recopilando datos de revistas indexadas el cual ayudó a identificar la alternativa más idónea a tener en cuenta para trabajos de investigación del tema a futuro. Existen artículos de investigación que no son muy accesibles en cuanto a la producción de hidrógeno mediante fermentación oscura. Al ser una tecnología adecuada para el ambiente resulta de gran importancia conocerlo. Son pocas los trabajos de investigación en cuanto a este tema en nuestro país.

Esta investigación plantea objetivo general: Identificar y analizar cuáles son los factores o condiciones que intervienen en el proceso de producción de hidrógeno por fermentación oscura, i. OE1: Identificar qué residuos orgánicos se utilizan en la fermentación oscura para producir hidrógeno, ii OE2: Describir las condiciones operativas en la fermentación oscura para producción de hidrógeno, iii OE3: Clasificar los tipos de reactores que interviene en la fermentación oscura, iv OE4: Identificar el pre tratamiento que existen en la fermentación oscura para la producción de hidrógeno.

## II. MARCO TEÓRICO

Para el desarrollo de este capítulo de la investigación se analizaron diferentes trabajos realizados, teorías y conceptos que ayudaron al desarrollo y comprensión en la temática de estudio, los que se detallan a continuación.

DA SILVA MAZARELI, R. C., et al, 2020, párr. 1. Rutas enzimáticas para la producción de Hidrógeno y ácidos orgánicos a partir de la fermentación de residuos de banano por bacterias autóctonas: Optimización de pH y temperatura. Este proceso lo realizaron en un diseño racional compuesto central, en el procuraron encontrar un pH óptimo entre (5,09-7,91) y la temperatura entre (27,1-46,9 ° C) La producción y rendimiento máximo variaron entre 6.06 y 62.43 mL H<sub>2</sub> y 1.13-12.56 mL H<sub>2</sub>. h<sup>-1</sup>, respectivamente, logrando un pH de 7.0 a una temperatura de 37 ° C en reactores discontinuos alimentados con desechos de banano. Concluyendo que el pH influyó en la abundancia de microorganismos como *Clostridium* y *Lactobacillus*.

SEWWANDI, K. y NITISORAVUT, R. (2020), estudió el hierro nanovalente cero (nZVI) quitosano para mejorar la producción de biohidrógeno en fermentación oscura. El objetivo del trabajo fue mejorar la producción de biohidrógeno fermentativo en un experimento a escala de laboratorio. utilizó microorganismos como el *Enterobacter aerogenes* en condiciones mesofílicas de 37 ° C, rendimiento de hidrógeno de 243 m L/gramo de glucosa, pH inicial de 6.8, cultivo de 5 g / L con 3 g /L de extracto, inoculación de 1 mL de semilla por 12 h. Así mismo. Concluye que el (nZVI) mejoró la producción de H<sub>2</sub> 243 mLH<sub>2</sub>/g glucosa y sugiere realizar investigación de alto nivel y verificar el costo beneficio de las aplicaciones a gran escala.

PANIN, S, et al, (2020), en su estudio Producción de biohidrógeno y biogás a partir de residuos de vegetales triturados y Pulverizados por una microflora enriquecida en fermentación oscura, el objetivo de este estudio fue encontrar el residuo vegetal de alto potencial de producción de energía, en este estudio utilizaron residuos vegetales con inóculo de microflora enriquecido a través de un reactor (CSTR), pH 07, a 35 ° C, con un rendimiento y concentración de 151,67 mL H<sub>2</sub> / g VS por 7 días, Así mismo concluyen los cambios de pH afecta la producción de H<sub>2</sub>. La mayor

producción lograda de puré de cebolla. fue de 424,1 ml H<sub>2</sub>. Sugirió que la verduras procesadas o picadas se pueden utilizar sin ningún tipo de secado.

(LI, Y., et al, 2020), Producción de hidrógeno por foto- fermentación y distribución de electrones efluentes de fermentación oscura en modos discontinuo, semicontinuo y continuo, el objetivo es investigar la influencia del modo discontinuo, semicontinuo, y continuo en la producción de biohidrógeno a partir de (DFE), Se midieron células secas en cultivo por 5 min. A 10000 rpm y secaron a 105 ° C en todas las pruebas en reactores de 120 mL discontinuo y semicontinuo añadieron inóculo de 80 ml, THR de 12 a 48 h, HPR promedio de 7,65 ml / h. logrando un rendimiento de H<sub>2</sub> 54, 98 ml H<sub>2</sub> /g TOC (por lotes), 44.23 H<sub>2</sub> /g TOC (semicontinuo), 40.22ml H<sub>2</sub> /g TOC (continuo), concluyeron que la producción de hidrógeno en modo semicontinuo era una forma prometedor en el rendimiento del H<sub>2</sub>.

(MU, D., et al, 2020), estudió Producción simultánea de biohidrógeno a partir de la fermentación oscura de lenteja de agua y utilización de desechos para la producción de lípidos de microalgas, el objetivo, uso de microalgas en la producción de hidrógeno por fermentación oscura, en donde utilizaron plantas de lenteja de agua en sustancias ácida, alcalina y térmicamente a 60 ° C, durante 7 días luego en agua destilada a T ° entre 35 y 55 ° C, con un pH inicial de 7.0, rendimiento de 169. 30 mLg<sup>-1</sup> de peso seco, en THR 72 h. Concluyeron que el pH distinto al pretratamiento térmico sirvió para inhibir la metanogénesis, así mismo las algas tratados con ácidos diluidos resultó el más adecuado para la producción de hidrógeno.

(JIA, X., et al, 2020, párr.1). Mejora de la producción de hidrógeno y la recuperación de energía a través de la electrofermentación del efluente de fermentación oscura de los desechos alimentarios. Se realizó en reactor de CSTR, de 2L a 35 ± 1 ° C, (con 120 rpm) siembra de lodo de siembra 50 g, volumen de trabajo de 1,5 L, de 8 días, los reactores hicieron funcionar durante 6 meses, la tasa de carga orgánica (OLR) aumentó de 3,0 g VS / L d a 6 g VS / L d. con pH de 6,0 adicionando soluciones de HCL 1 M y NaOH 1 M. producción de hidrógeno de 0.83 L / d. Concluyeron que las mejores condiciones operativas para la producción de hidrógeno y las características electroquímicas fueron mediante ADS.

(PAILLET, F, et al, 2019). Mejora de la producción de biohidrógeno a partir de glicerol en ambiente micro oxidativo, El objetivo de este estudio fue optimizar un fermentador oscuro continuo que produzca hidrógeno a partir de glicerol, mediante el uso de condiciones microaeróbicas para promover anaerobios facultativos. Para ello se añadieron de manera continua peróxido de hidrógeno ( $H_2 O_2$ ) de flujo constante (0,252 ml/min). Utilizaron como inóculo mezcla de lodos anaeróbicos y anaeróbicos rendimiento máximo de  $H_2$   $403,6 \pm 94,7$  mmol  $H_2$  / mol de  $Gly_{consumido}$ ). Concluyeron que los microorganismos anaerobios estrictos dominaban en la comunidad microbiana siendo las principales productoras de  $H_2$ .

(CHENG, J., et al, 2019), Mejora de la producción fermentativa de hidrógeno y metano a partir de una floración de algas mediante el pre tratamiento hidrotermal/ácido de vapor. El objetivo fue mejorar la eficiencia de conversión de energía. La producción de Bio- $H_2$  oscuro se realizó en reactor de vidrio de 417 mL, se añadieron (25 ml) de inóculo, el pH 6.0 por 72 h durante 25 días. a una  $T^\circ$  de 35 °C. 44.1% producción de  $H_2$  de 25.0 ml / g (TVS). estos procesos fueron realizados en 3 grupos por triplicado. Concluyeron que el pretratamiento con ácido hidrotermal podría aumentar la conversión de energía. Sugieren que el ácido hidrotermal es más fuerte en hemicelulosa que el pretratamiento con ácido de vapor porque aumentó 44.1 % producción de  $H_2$  24.96 ml.

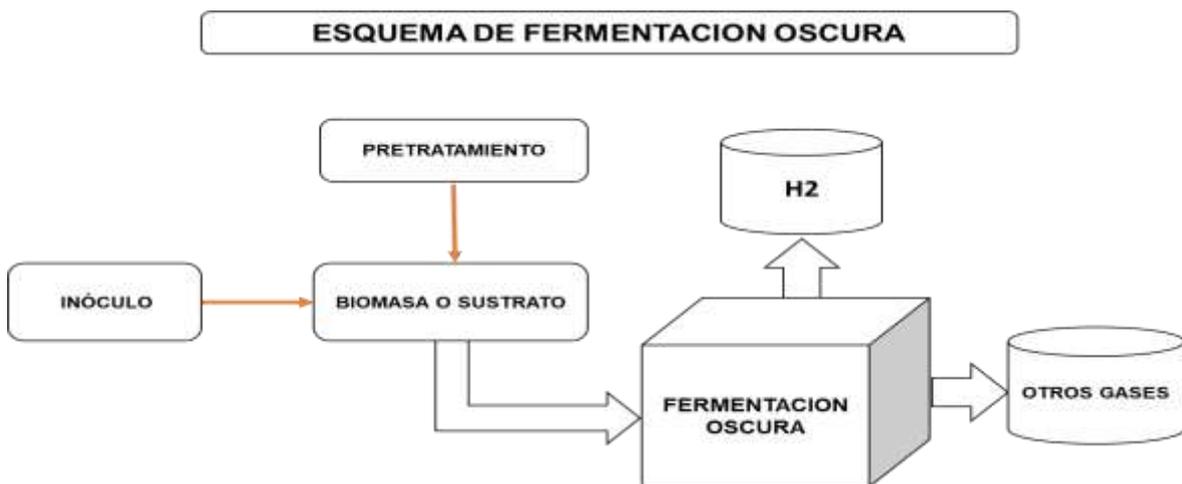
(MUÑOZ-PAEZ, K., et al, 2019), Efectos distintos del furfural, el hidroximetilfurfural y sus mezclas sobre la producción de hidrógeno por fermentación oscura y la estructura microbiana de un cultivo mixto, el objetivo de este estudio fue contrastar los impactos individuales del furfural y hidroximetilfurfural (HMF), tratado térmicamente. Este estudio trabajó con inóculo fue sometido a tratamiento térmico a 105 °C por 24 h. se realizaron fermentaciones oscuras por lotes de 160 mL, con 100 mL de medio mineral y 2g de inóculo, a 37 C con agitación de 150 rpm cada 12 h después de 360 h de incubación. Concluyeron en tratamientos individuales, el furfural varía de 0.1 g / L a 1.0 g /L. no inhibió la producción de hidrógeno.

(SPSIANO, D., 2018). Proceso de fermentación oscura como pretratamiento para desnaturalización sostenible de residuos que contienen amianto, tiene como objetivo realizar el tratamiento y la gestión de desechos que contiene amianto

(ACW), utilizaron disolventes orgánicos con (TS) de 42,8 g/L, (VS) 29,5 g /L y pH de 7,8. Partículas menores a 2.0 mm el cual secaron a 105 ° C por 1 h. mezclaron 500 ml de inóculo con 500 ml de agua destilada, la producción máxima H<sub>2</sub> fue de 465,4 mol de bio-H<sub>2</sub>. Concluyeron que la glucosa en condiciones mesofílicas condujo a la producción de bio-H<sub>2</sub> y (Ácido Graso Volátil) VFA. Este último disolvió la matriz del cemento. Recomienda que el balance energético podría mejorarse con un último proceso biológico.

La fermentación oscura es una alternativa de tecnología que permite obtener biohidrógeno utilizando diferentes residuos orgánicos como materia prima (NAVARRO-DÍAZ, M., et al, 2019. p. 1) Este proceso se realiza en ausencia de luz donde actúan grupos de bacterias anaeróbicas. (SINGH, V. y Das, D., 2019, p.1), así mismo, es una alternativa tecnológica atractiva, que también puede utilizar otros desechos orgánicos como materia prima. (TIAN, H., et al 2019, p. 4). La biomasa renovable que se pueden utilizar son: biomasa de lignocelulosa, residuo orgánico, biomasa de algas entre otros. (YUKESH R., et al 2020, p. 8).

Figura 1: Esquema de Fermentación oscura.

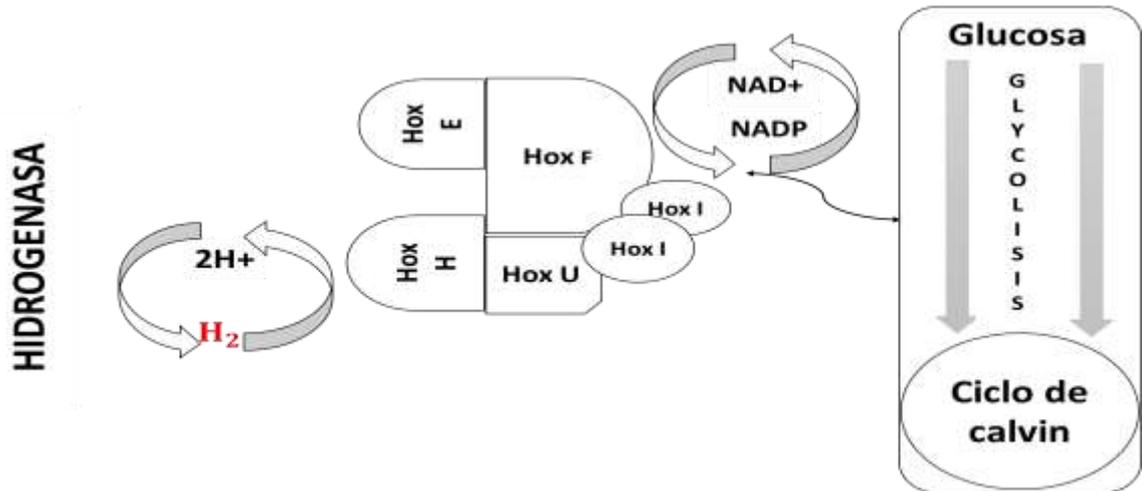


Fuente: Elaboración propia.

El Hidrógeno es considerado una energía limpia y de alta densidad energética (122 kj / g) tres veces mayor que los combustibles de hidrocarburos, con un poder calorífico (100 Btu / lb) resultando casi tres veces más alto que el metano. Debido a que el hidrógeno está generando agua sin presencia de GEI. (PURANJAN, M., et al, 2019, p.1). La tasa más alta de hidrógeno en la fermentación oscura debido a

que permite utilizar diferentes tipos de sustratos, como las que contienen lignocelulosa ya que son de fácil degradación y consume baja energía en la producción. (SRIVASTAVA, N., et al, p.3).

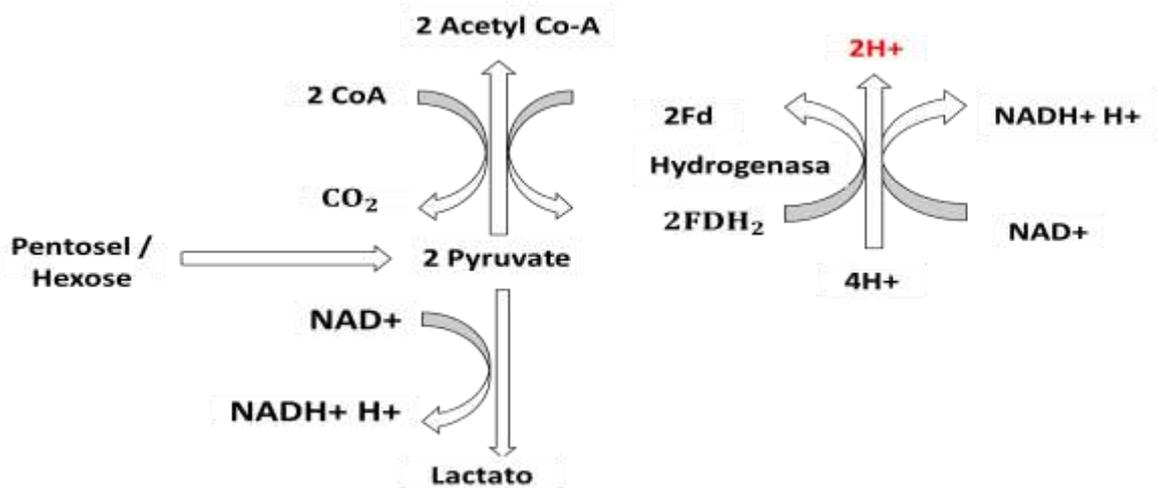
Figura 2: Descripción general de la vía del hidrógeno por hidrogenasa (Producción de hidrógeno fermentativo).



Fuente: Adaptado de PURANJAN, M., et al, 2019.

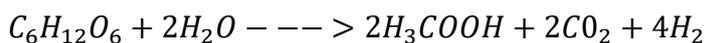
Producción de hidrógeno Fermentativo oscuro, es una tecnología de mucha eficacia y factibilidad en el proceso de producción de hidrógeno sin embargo a pesar de estas cualidades existen varios factores que limitan su producción a gran escala para poder ser comercializado.(CHEN, Y., YIN, Y. y WANG, J., párr. 1).

Figura 3: Esquema de producción de hidrógeno en anaerobios facultativos.



Fuente: Adaptado de PURUNJAN, M., 2019.

Ecuación 1. Proceso de elaboración de hidrógeno por fermentación oscura.



Por su parte (WANG, Y., et al, 2020, p. 2 y 8) manifiesta que los microorganismos mixtos (inóculos), están ligados en cuanto a la producción de hidrógeno, entre los que mayor aporte de hidrógeno brindan se encuentran al *Clostridium sp.*, *Romboustsia sp* y *Bacillus sp*, logrando una producción de Hidrógeno fue 126, 50 mL / g VS a un valor de pH de 6.0. Así mismo (MONTIEL-CORONA, V. 2015, PALOMO-BRIONES, R. y RAZO-FLORES, E. 2020, p. 1) da a conocer que la producción con inóculo de origen termofílico, lograron un rendimiento de 26.6 L H<sub>2</sub> / kg. Así mismo entre los residuos que se pueden utilizar para la producción de hidrógeno tenemos: Residuos agrícolas, residuos de madera o forestales, plantas acuáticas, basura urbana. Además, este proceso depende de dos grandes componentes en la elaboración de H<sub>2</sub>, producción de enzima; hidrogenasa y nitrogenasa, enzimas que catalizan una reacción química más simple.  $2H + +2e \leftrightarrow H_2$  (LUKAJTIS R., et al, 2019, p.668).

Para producir hidrógeno a partir de restos de algodón se tiene que tener en cuenta algunas consideraciones como valor óptimo del pH y una buena micro aireación esto con la finalidad de saber si este sustrato es apropiado para la producción de Hidrógeno en comparación con otra materia prima (SOLOWSKI, G., KONKOL, I. y CENIAN, A., 2020, pag.2.) En la tecnología de microalgas involucra varios géneros de bacterias que tiene la capacidad de fermentar carbohidratos, proteínas y lípidos presentes en las mismas utilizados para producir hidrógeno (BUITRÓN, et al., 2017, p.1)

Podemos encontrar diferentes Condiciones que operativas intervienen en la producción de hidrógeno por fermentación oscura. Entre ellas tenemos principalmente al pH que es un factor muy importante en la fermentación oscura ya que permite que el valor óptimo durante el proceso permitirá un adecuado desarrollo de los microorganismos presentes que ayudarán en la degradación del sustrato a utilizar.

El Tiempo de retención hidráulica (THR) se refiere al tiempo en que el volumen o fluido permanece en el recipiente o en el reactor, (LI, L., WANG, Y., y LI, Y., 2019, p. 107).

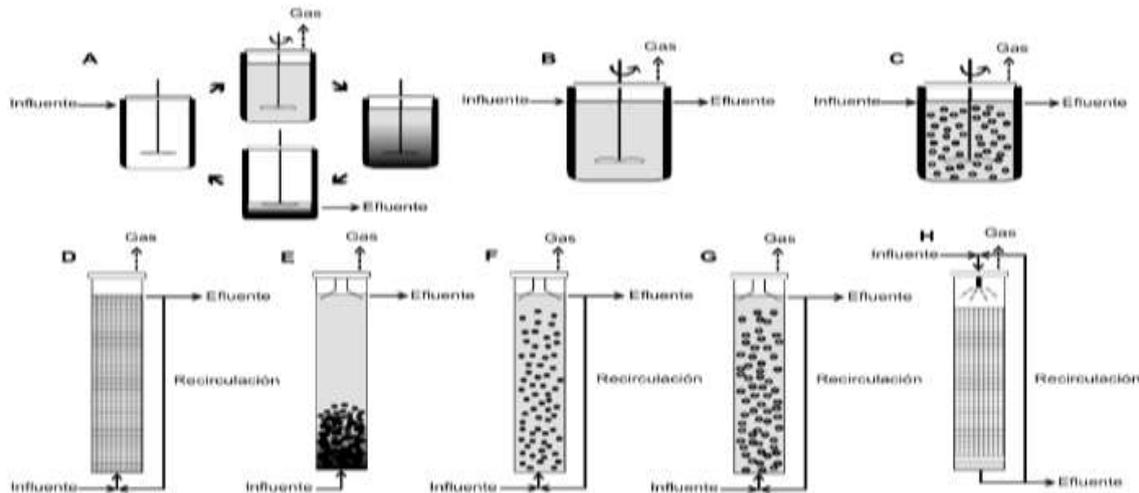
En cuanto a micro aireación, se utilizaron desechos textiles orgánicos (algodón) en los cuales se estudiaron la influencia de la micro aireación en la producción de hidrógeno y metano teniendo en cuenta los siguientes parámetros. Carga: 5 g VSS / L (Sólidos Volátiles Suspendidos); pH: se varió en el rango de 6.23 a 7.8; oxígeno: en pequeñas cantidades. Los índices de flujo de oxígeno variaron entre 1 y 4,6 ml/h. El mayor rendimiento de hidrógeno se alcanzó en (1,1 ml / g VSS) alcanzó su punto máximo bajo un caudal de oxígeno de 4,6 ml h y un pH valor de 6.4. (SOLOWSKI, G., KONKOL, I., CENIAN, A., 2020, p.2).

La biomasa de microalgas se puede realizar en meso (aerobias) y termofílicas (anaeróbicas). En condición termófila los rendimientos de hidrógeno pueden tener una variación de 56 a 135 ml / g VS, y en condiciones mesofílicas en un rango de 36, 5 a 113 ml/ g VS (BUITRÓN, G., et al., 2017, p.11).

Los tipos de reactores intervienen en la fermentación oscura que se puede emplear es el Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente (UASB), es de bajo costo operacional y baja generación de lodos, este tipo de reactor es utilizado tratamiento de aguas residuales y métodos biológicos con inóculos mixtos. (WU, J., et al 2020 p. 1) y (CHEN, H., et al, 2019, p.1) manifiestan que este tipo de reactor es utilizado en el tratamiento de aguas residuales. (YUKESH, KANNAH, R., et al, 2020, p. 3), este reactor tiene una alta velocidad de sedimentación lo que le permite tener resistencia a un sistema de alta carga hidráulica (GOPALAKRISHNAN, B. KHANNA, N. y DAS, D., 2019, p.107). Por otro lado, este proceso involucra fermentadores oscuros como: reactores empacados y reactores anaeróbicos de lecho fluidizado (AFBR) para la producción de H<sub>2</sub>. (RAMÍREZ-MORALES, J.E., TORRES ZÚÑIGA, I. y BUITRÓN, G., 2015), indica que el reactor de tanque agitado continuo (CSTR) logra en promedio una productividad de hidrógeno 25,4 L H<sub>2</sub>/L/d, en 4 h de HRT. Además, existen otros reactores como el reactor anaeróbico de Lecho Fluidizado (AFBR) (RODRIGUES RAMOS, R y LUIZ, SILVA, E., 2018, p. 1), entre los cuales tenemos Biorreactor de placa plana (FPPBR) que fue utilizado por

(GHOSH, S., DUTTA, S. y CHOWDHURY, R., 2020, p. 2), Reactor de tanque agitado continuo (CSTR), fue empleado en su trabajo de investigación (NUALSRI, Ch., KONGAN, P. y REUNGSANG, A, 2016, p. 6)

Figura 4: Diferentes reactores utilizados en la producción de hidrógeno por fermentación oscura:



DATOS: A - Reactor anaerobio de lote secuencial (ASBR); B – Reactor de tanque agitado (CSTR); C - Reactor de tanque agitado con lodo inmobilizado; (CIGSB); D – Reactor de lecho empacado (PBR); E – Reactor de lecho granular de flujo ascendente (UASB); F – Reactor de lecho granular expandido (EGSB); G – Reactor de lecho fluidizado (FBR); H – Reactor de filtro percolador (TBR).

Fuente: CONTRERAS, Carlos A. 2015, p. 14.

En los pre tratamientos se utiliza ácidos diluidos, este hace que las células liberen sus moléculas biológicas intracelulares, la eficacia de este sistema está determinada por la reducción de la recuperación de azúcares y formación de potenciales inhibidores de producción de hidrógeno como el furfural, el 5-hidroximetilfurfural, Además la *Chorella vulgaris blomosa*. Así mismo la disrupción celular física es otra categoría de pre tratamiento en el cual es posible encontrar calentamientos en seco y húmedo, calentamiento de alta presión (BUITRÓN, G., et al, 2017 p. 8.) Así mismo el uso de inóculos en el pre tratamiento es una forma de estimular a que las bacterias que se utilizaron cumplan su función de manera satisfactoria. (SOLOWSKQUI, G., et al 2018, p. 3154)

### **III. METODOLOGÍA.**

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

El tipo y diseño de acuerdo a los datos del estudio el cual es de carácter documental pues analiza publicaciones compiladas en relación al tema y descriptivo, según el grado de abstracción es de investigación pura (básica), ya que la investigación busca aumentar la teoría, el cual se relaciona con nuevos conocimientos de las prácticas que puedan hacer referencia los análisis teóricos. Sirve para descubrir y analizar preguntas de investigación, con el apoyo de la revisión de literatura para apoyar los planteamientos del problema, el tipo de trabajo realizado es de carácter documental pues analiza las publicaciones compiladas en relación al tema. El enfoque de esta investigación es cualitativo narrativo de tópicos pues se describió y se analizó los hallazgos en base a las preguntas de la investigación generadas con el apoyo de la literatura los cuales se basaron de acuerdo al planteamiento del problema y los objetivos del estudio de trabajo sobre la producción de hidrógeno mediante fermentación oscura y se realizó una recopilación de datos de investigaciones análisis documental y describir los sucesos y hallazgos el cual se realizaron diferentes investigaciones. (DOMINGUEZ, JB., 2015, p.14, 51)

#### **3.2 Categorías, Sub categorías y matriz de categorización apriorística.**

Este documento sirvió como guía para el contenido de la información requerida, ya que de acuerdo a ellos se tomaron en cuenta los diferentes aspectos del estudio considerando los objetivos del tema investigado, estas categorías fueron clasificadas como: 1. Tipos de sustratos: Mesofílicas, Lactato, Manosa Monohidra, Glucosa monohidrato, alimento hidrolizado enzimático, Glicerol crudo y manzana hidrolizado de orujo, jugo de remolacha azucarera, residuos biológicos mixtos, lodos concentrados, medio base de vinaza suplementado con jugo de caña de azúcar, residuos de algodón; Sustrato en condiciones termofílicas: hidrosato de paja de trigo, efluentes de molinos de aceite de palma; 2. Condiciones operativas: pH, THR, sólidos volátiles, temperatura, carga orgánica: 3. Tipos de reactores: UASB, FABR, FPPBR, CSTR, FBR; 4. Pre tratamientos: Ácidos diluidos, congelamiento, térmico y ultrasónico.

Tabla 1: Matriz de categorización Apriorística.

<b>Matriz de categorización apriorística</b>				
<b>Objetivos específicos</b>	<b>Problemas específicos</b>	<b>Categorías</b>	<b>Sub categorías</b>	<b>Unidad de análisis</b>
<i>Identificar qué residuos orgánicos se utilizan en la fermentación oscura para producir hidrógeno.</i>	<i>¿Qué tipos de residuos se utilizan en la fermentación oscura para producir hidrógeno?</i>	<i>RESIDUOS EN MESOFÍLICAS</i>	<i>Lactato</i>	<i>NOBLECOURT, G., et al, 2018.</i>
			<i>Manosa monohidra</i>	<i>PURANJAN, M., et al 2017.</i>
			<i>Glucosa monohidrato</i>	<i>HAMILTON, C., et al, 2018.</i>
			<i>Alimento hidrolizado enzimático de residuos</i>	<i>HAN, W., et al., 2015</i>
			<i>Glicerol crudo y manzana hidrolizado de orujo</i>	<i>PACHAPUR, VL., et al, 2015.</i>
			<i>Jugo de remolacha azucarera</i>	<i>DHAR, BR., et al, 2015.</i>
			<i>Residuos biológicos mixtos</i>	<i>PATEL, SK., et al, 2020</i>
			<i>Lodos concentrados</i>	<i>WANG, D., et al, 2018.</i>
			<i>Glicerol crudo y manzana hidrolizado de orujo</i>	<i>ARGUN, S. y DAO, S., 2017.</i>
			<i>Medio base de vinaza suplementado con jugo de caña de azúcar</i>	<i>SYDNEY, EB., et al, 2018.</i>

			Molino de aceite de palma efluente	SINGH, L., et al, 2018.
			Residuos de algodón.	CIVELEK H., et al 2020
		RESIDUOS EN TERMOFÍLICAS	Hidrosato de paja de trigo	SILVA-ILLANES, F., et al 2017.
			efluentes de molinos de aceite de palma	DRESCHKE, G., et al 2019.
Describir las condiciones operativas en la fermentación oscura para producción de hidrógeno.	¿Qué condiciones operativas intervienen en la producción de hidrógeno por fermentación oscura?	Condiciones operativas	pH, HTR, sólidos volátiles, temperatura, carga orgánica	ALVARES, C., et al, 2020.
				KHONGKLIANG, et al, 2019.
				DRESCHKE, G., et al 2019.
Clasificar los tipos de reactores que intervienen en la fermentación oscura.	¿Qué tipos de reactores intervienen en la fermentación oscura?	Tipos de Reactores.	UASB (Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente)	MAHMUD, S.S., et al 2019.
			Reactor de Lecho Fluidizado Anaeróbico (FABR)	RODRIGUES RAMOS, L y LUIZ SILVA, E, 2018.
			Biorreactor de placa plana. (FPPBR)	GHOSH, S. , DUTTA, S. y CHOWDHURY,R., 2020.

			Reactor de tanque agitado continuo (CSTR)	NUALSRI, Ch., KONGAN P. y REUNGSANG, A., 2016.
			Reactor de Lecho Fluidizado(FBR)	DESSÍ, P., et al, 2018.
			Reactor de lecho de lodos expandidos granulares (EGSB)	WEIDE, T., et al, 2020.
Identificar los pre tratamientos que existen en la fermentación oscura para la producción de hidrógeno.	¿Qué pre tratamientos existen en la fermentación oscura?	Pre- tratamiento	Ácidos diluidos ( <i>Chorella vulgaris</i> blomosa).	BUITRÓN, G., et al,2017.
			Ácidos alcalinos y Ácidos.	
			Ácidos y alcalinos	YONGDONG. Ch., et al, 2020.
			Congelamiento	LIU, X, et al., 2020
			Térmico	MAHATA, C., et al, 2021
			Ultrasónico	NIU, Q., et al, 2019.

**Fuente:** Elaboración propia.

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

La presente investigación al ser de carácter de revisión sistemática no tiene un escenario de trabajo definido, ya que consistió en la revisión de varios artículos científicos referente al tema de investigación, los cuales fueron trabajos previos de artículos de revistas indexadas.

### **3.4 Participantes**

Al ser de carácter bibliográfico el trabajo fue realizado exclusivamente por el autor de la tesis con el apoyo del asesor, el cual se realizó mediante recopilación de datos de revistas científicas, libros electrónicos, según la importancia y relevancia del tema, estos fueron recopilados de base de datos como: ScienceDirect, Scielo, Google Académico, Scopus y Ebsco. seleccionados con 5 años de antigüedad como máximo.

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

En este trabajo bibliográfico se obtuvo información de fuentes secundarias de artículos científicos en el cual destaca la técnica de análisis documental. La búsqueda de datos o revisión sistemática se realizó en base a la temática del trabajo de investigación. (DOMINGUEZ, 2015, p.52). Los cuales se seleccionaron de acuerdo a las categorías y subcategorías, además se consideró la antigüedad de los artículos y la relevancia de acuerdo el tema.

### **3.6 Procedimientos.**

Para la recopilación de datos se revisó diferentes artículos científicos de acuerdo al tema de investigación, cual se utilizaron palabras claves en inglés y español: dark fermentation, pre treatments, qualities of biohidrogen, Dark fermentation hydrogen, Manufacture of hydrogen from, tipos de reactores, fermentación oscura, el cual fueron buscados en la base de datos de :ScienceDirect, Scielo y Google Académico, Scopus, Ebsco, Estos artículos se analizaron de forma minuciosa, como registro de antigüedad de estos artículos es no menor de 5 años y los criterios de exclusión fueron: por no contener información relevante de acuerdo al tema y por no ser artículos indexados y aquellos que no fuesen de fuentes confiables.

Tabla 2: Resumen de criterio de búsquedas.

Tipo de documento	Documentos referidos a	CANT.	Palabras clave de búsqueda	Criterios de inclusión	Criterios de exclusión	
	GEI	2	greenhouse gases	menores a 5 años de antigüedad a partir del 2015	Mayores a 5 años de antigüedad del 2014 hacia abajo.	
	Combustibles	2	Fuels			
	Fermentación oscura	10	Dark fermentation			
Artículo científico	Hidrógeno	6	Hydrogen			
	tipos de residuos	Mesofílicas	10			residues types of mesophilic
		Termofílicas	6			residues types of thermophilicophilic
		condiciones operativas	6			operating condition
tipos de reactores		10	types of reactors			
	condiciones operativas	8	operating conditions			
Libro	metodología	2	tipos y diseños de investigación			

Fuente: Adaptado de Guía detallada para elaboración de informe. UCV.

### **3.7 Rigor científico.**

Los artículos utilizados se fundamentaron en descripciones teóricas de autores de revistas indexadas, el cual dará credibilidad de que dichas investigaciones son confiables que contengan dependencia, credibilidad, transferencia confirmación y autenticidad (HERNANDEZ, FERNANDEZ Y BAPTISTA, P. 453-459). Además, estos artículos permiten comprender los métodos e instrumentos utilizados que garanticen la credibilidad de las bases científicas.

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

La información se agrupó de acuerdo a las categorías y subcategorías para el desarrollo de todo el trabajo de investigación, comprendieron en lo siguiente: 1. Sustrato en condiciones mesofílicas (Lactato, Manosa monohidra, Glucosa monohidrato, Alimento hidrolizado enzimático de residuos, Glicerol crudo y manzana hidrolizado de orujo, Jugo de remolacha azucarera, Residuos biológicos mixtos, Lodos concentrados, Glicerol crudo y manzana hidrolizado de orujo;, Medio base de vinaza suplementado con jugo de caña de azúcar, Molino de aceite de palma efluente, Residuos de algodón); Sustratos en condiciones Termofílicas (Hidrosato de paja de trigo, efluentes de molinos de aceite de palma); 2. Condiciones operativas (pH, HTR, sólidos volátiles, temperatura, carga orgánica), 3. Tipos de reactores (UASB Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente, Reactor de Lecho Fluidizado Anaeróbico FABR, Biorreactor de placa plana FPPBR, Reactor de tanque agitado continuo CSTR , Reactor reproductor rápido FBR 4. Pre tratamientos ácidos diluidos, Congelamiento, Térmico, Ultrasónico. Los cuales se inició la búsqueda de información utilizando palabras claves en inglés.

### **3.9 Aspectos éticos.**

Este trabajo de investigación fue elaborado con citas de fuentes confiables como revistas indexadas, se respetó citas de autores y las referencias bibliográficas, teniendo como referencia el manual ISO 690 de la Universidad César Vallejo, los resultados son respaldados de acuerdo a los criterios de rigor científico según normativa. Se desarrolló en base a las categorías y sub categorías de investigación fundamentados en los objetivos del tema estudiado, con respecto a trabajos que antecedieron a esta tesis para poder realizar el análisis correspondiente.

#### **IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES.**

Los resultados se desarrollaron en base a los objetivos de la investigación.

En la producción de hidrógeno es fundamental el control y seguimiento de parámetros, al entrar en deficiencia de los mismos los niveles de producción de hidrógeno puede verse afectado. Dentro de los parámetros que tienen gran importancia y relevancia en la producción de hidrógeno podemos encontrar al pH y la temperatura, además se realizó las comparaciones y discusiones de los resultados según el desarrollo de la temática.

el cual se detalla en el cuadro N° 3.

Tabla 3: Parámetros para la elaboración de hidrógeno.

<b>CUADRO DE PARÁMETROS DE ELABORACIÓN DE HIDRÓGENO (Mínimo , Máximo y Promedio)</b>						
<b>Nº</b>		<b>SUSTRATO</b>	<b>T °</b>	<b>PH</b>	<b>Max H2</b>	<b>Autor</b>
1	<i>Mesofílicas</i>	<i>Lactato</i>	35	6	0,4 mol H <sub>2</sub> – Mol lactato	NOBLECOURT, G., et al, 2018.
2		<i>Manosa monohidra</i>	35	6.5	236 ml H <sub>2</sub> / g demanda química de oxígeno (DQO).	PURANJAN, M., et al 2017.
3		<i>Glucosa monohidrato</i>	30	7.3	1,43 mol H <sub>2</sub> . mol glucosa	HAMILTON, C., et al, 2018.
4		<i>Alimento hidrolizado enzimático de residuos</i>			85,6 ml / g de residuos de alimentos	HAN, W., et al., 2015
5		<i>Glicerol crudo y manzana hidrolizado de orujo</i>	30	6.5	26,07 ± 1,57 mol H <sub>2</sub> / L de medio	PACHAPUR, VL., et al, 2015.
6		<i>Jugo de remolacha azucarera</i>	37	5.5 ± 0.2	3,2 mol H <sub>2</sub> / mol hexosa	DHAR, BR., et al, 2015.
7		<i>Residuos biológicos mixtos</i>	37	7.5	84 L / kg TS	PATEL, SK., et al, 2020.
8		<i>Lodos concentrados</i>	35	9.5	15,6 ml por gramo / VSS	WANG, D., et al, 2018.

9		<i>Glicerol crudo y manzana hidrolizado de orujo</i>	37	5	$(0,58 \pm 0,13 \text{ mol H}_2 \text{ mol}^{-1} \text{ glicerol})$	ARGUN, S. y DAO, S., 2017.
10		<i>Medio base de vinaza suplementado con jugo de caña de azúcar</i>	37	7	$1,59 \pm 0,21 \text{ mol H}_2 / \text{mol glucosa}$	SYDNEY, EB., et al, 2018.
11		<i>Algodón</i>			33.5 ml H <sub>2</sub> /g VS	CIVELEK, H., et al 2020.
12	Termofílicas	<i>Hidrosato de paja de trigo</i>	70	6.5	$212,0 \pm 6,6 \text{ ml-H}_2 / \text{g-azúcares}$	SILVA-ILLANES, F., et al 2017.
13		<i>efluentes de molinos de aceite de palma</i>	80	7	$3.4 \text{ ml-H}_2 / \text{glucosa}$	DRESCHKE, G., et al 2019.
<b>PROMEDIO</b>		<b>T° y pH</b>	<b>31.64</b>	5.62		
<b>Max:</b>		<b>T° y pH</b>	37	9.5		
<b>Min:</b>		<b>T° y pH</b>	30	5		
<b>Termofílica</b>		<b>T y pH</b>	75	6.75		

Fuente: Elaboración propia.

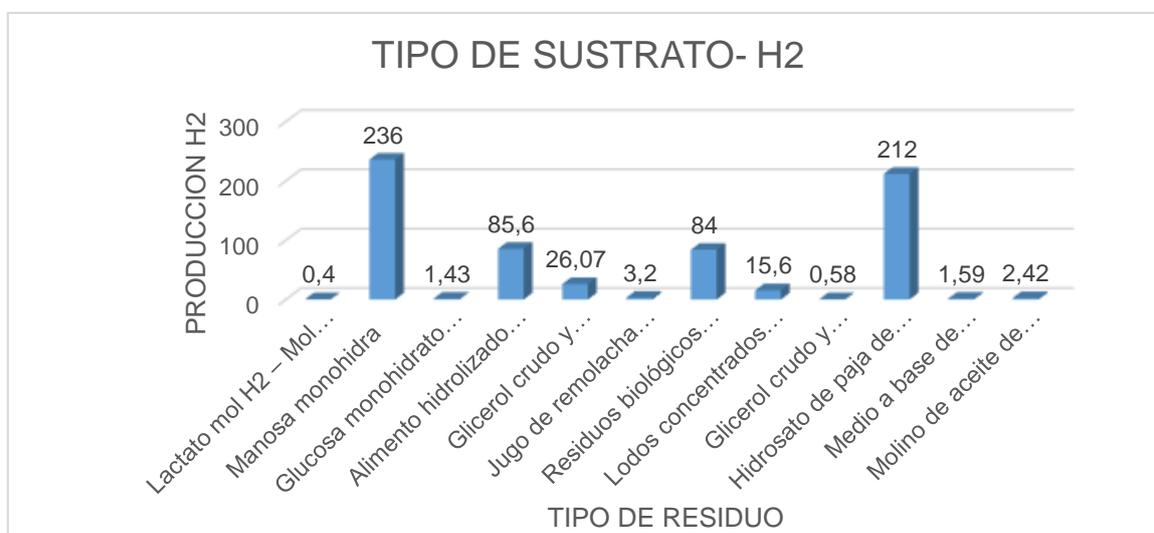
Como resultado podemos deducir que el promedio de la temperatura de los sustratos es de 31.64 ° C según los datos presentados en la tabla según los sustratos estudiados. De los datos obtenidos según la clasificación por categorías (sustratos de condiciones mesofílicas) se puede notar similitud porque ellos presentan las temperaturas más elevada fue 37 ° C (DHAR, BR., et al, 2015), (PATEL, SK., et al, 2020) (ARGUN, S. y DAO, S., 2017) (SYDNEY, EB., et al, 2018.) por otra parte la temperatura más baja de 30 ° C de (HAMILTON, C., et al, 2018) y (PACHAPUR, VL., et al, 2015, p. 4).

Otro parámetro muy importante es el pH con un promedio de 5,6 con una máxima de 9.5 (Wang, et. al 2018) y un pH mínimo registrado es de 5.0 de (ARGUN, S., y DAO, S., 2017, p. 5)

(DA SILVA MAZARELI) mencionó que los rangos óptimos de pH (5,09-7.91) y temperatura (27,1-46,9 ° C). Logrando obtener como resultado de su investigación un pH de 7 y T ° 37. Motivo por el cual podemos deducir que los rangos de temperaturas y pH que obtuvieron los trabajos estudiados se encuentran dentro de los rangos establecidos,

El resultado más óptimo de producción de hidrógeno en cuanto al tipo de sustrato fue de 236 mol H<sub>2</sub> / Mol lactato.

Gráfico N° 01: Producción de hidrógeno según tipo de residuo.



Fuente: Elaboración propia

Resultado del objetivo 1, Tipos de residuos presentamos la siguiente tabla de datos.

Tabla 4: Tipos de residuos utilizados en la fermentación oscura para la producción de hidrógeno.

<b>ESTUDIOS</b>	<b>PROCESO SEGÚN Tº</b>	<b>TIPOS DE RESIDUOS</b>	<b>METODOLOGÍA</b>	<b>RESULTADOS (H2)</b>	<b>AUTOR</b>
<i>Producción de hidrógeno por fermentación oscura a partir de desechos alimenticios desempaquetados pre-fermentados</i>	<i>Residuos en condiciones Mesofílicas</i>	<i>Lactato</i>	<i>Los procesos se desarrollaron con valores de Temperatura 35 °C y un pH de 6.</i>	<i>0,4 mol H<sub>2</sub> – Mol lactato</i>	<i>NOBLECOURT, A., et al, 2018.</i>
<i>Producción de Hidrógeno Fermentativo a partir de la sepa mesófila indígena Bacillus anthracis PUNAJAN 1 recién aislado de la planta de aceite de palma de efluente,</i>		<i>Manosa monohidra</i>	<i>Se desarrolló con temperatura de 35 °C y pH de 6.5.</i>	<i>236 ml H<sub>2</sub> / g demanda química de oxígeno (DQO).</i>	<i>PURANJAN, M., et al, 2017</i>
<i>Efecto de la fuente de Nitrógeno sobre el metabolismo de la producción de hidrógeno.</i>		<i>Glucosa monohidrato</i>	<i>Utilizaron una temperatura de 30 °C y un pH 7.3</i>	<i>1,43 mol H<sub>2</sub>. mol glucosa</i>	<i>HAMILTON, C., et al, 2018.</i>

<i>Producción de biohidrógeno a partir de hidrolizado de desechos de alimentos reactores de lodos inmovilizados mixtos continuos.</i>		<i>Alimento hidrolizado enzimático de residuos</i>		<i>85,6 ml / g de residuos de alimentos</i>	<i>HAN, W., et al, 2015.</i>
<i>Producción de biohidrógeno por co-fermentación de glicerol crudo e hidrolizado de orujo de manzana usando cocultivo de Enterobacter aerogenes y Clostridium butyricum.</i>		<i>Glicerol crudo y manzana hidrolizado de orujo</i>	<i>Se tuvo en consideración temperatura 30 ° C y pH de 6.5.</i>	<i>26,07 ± 1,57 mol H<sub>2</sub> / L de medio</i>	<i>PACHAPUR, VL., et al, 2015.</i>
<i>Producción de Hidrógeno a partir de jugo de remolacha azucarera mediante un proceso integrado de biohidrógeno de fermentación oscura y celda de electrólisis microbiana.</i>		<i>Jugo de remolacha azucarera</i>	<i>Con Temperatura de 37 ° C y pH entre 5.5 ± 0.2</i>	<i>3,2 mol H<sub>2</sub> / mol hexosa</i>	<i>DHAR, BR., et al, 2015.</i>
<i>Producción de hidrógeno biológico de fermentación oscura a partir de residuos biológicos mezclados utilizando cultivos mixtos.</i>		<i>Residuos biológicos mixtos</i>	<i>Temperatura 37 °C y pH de 7.5</i>	<i>84 L / kg TS</i>	<i>PATEL, LEE, KALIA, 2017.</i>

<i>El amoniac libre mejora la producción de hidrógeno fermentativo oscuro a partir de lodos activados residuales.</i>		<i>Lodos concentrados</i>	<i>temperatura de 35 ° C y pH de 9.5</i>	<i>15,6 ml por gramo / VSS</i>	<i>WANG, D., et al, 2018.</i>
<i>Producción de biohidrógeno a partir de pulpa de melocotón residual por fermentación oscura : efecto de la adición de inóculo.</i>		<i>Glicerol crudo y manzana hidrolizado de orujo</i>	<i>Temperatura de 37 ° C y pH de 5.</i>	<i>(0,58 ± 0,13 mol H2 mol –glicerol</i>	<i>ARGUN, Dao, 2017</i>
<i>Selección y bioprospección de consorcios anaeróbicos para la producción de biohidrógeno y ácidos grasos volátiles en un medio de base de vinaza a través de fermentación oscura .</i>		<i>Medio base de vinaza suplementado con jugo de caña de azúcar</i>	<i>Temperatura 37 °C y pH de 7.</i>	<i>1,59 ± 0,21 mol H2 / mol glucosa</i>	<i>SYDNEY , E B., et al , 2018.</i>
<i>Producción de biohidrógeno de la planta de aceite de palma efluente usando Clostridium butircum</i>		<i>Molino de aceite de palma efluente</i>	<i>Temperatura de 35 y pH de 6.5</i>	<i>2,42 mol H 2 / mol manosa</i>	<i>SINGH, L., et al, 2018.</i>

<i>Producción de bioenergía a partir de pajitas de algodón utilizando diferentes métodos de pretratamiento</i>		<i>Algodón</i>	<i>La pajitas de algodón fueron sometidos a secado a 60 °C, luego a pretratamiento químico (ácido clorhídrico al 1% durante 20 minutos a 120 °C y tratamiento físico utilizaron un catalizador Pt/ vulcan XC, la tasa de carga fue de 140 metros gPt.cm.</i>	<i>En función a los métodos de obtención de H<sub>2</sub>, se obtuvieron 33.5 ml H<sub>2</sub>/g VS, 20% más alto que otros tratamientos (en pretratamiento ácido) resultando un 55 % de Biohidrógeno. En comparación con otros gases.</i>	<i>CIVELEK, H., et al 2020.</i>
<i>Impacto del tiempo de retención hidráulica (HRT) y pH en la producción de hidrógeno fermentativo oscuro a partir de glicerol.</i>	<i>Residuos en condiciones Termofílicas</i>	<i>Hidrosato de paja de trigo</i>	<i>Temperatura de 70 °C y pH 6.5. TERMOFÍLICA</i>	<i>212,0 ± 6,6 ml-H<sub>2</sub> /g-azúcares</i>	<i>SILVA, F., et al, 2017.</i>
<i>Producción continua de Biohidrógeno de alta tasa por Thermotoga neapolitana hipertermofílica.</i>		<i>Molino de aceite de palma efluente</i>	<i>Temperatura de 80<sup>a</sup> y pH de 7. TERMOFÍLICA</i>	<i>3,4 molH<sub>2</sub>/mol glucosa,</i>	<i>DRESCH KE, G., et al 2019.</i>

Fuente: Elaboración propia.

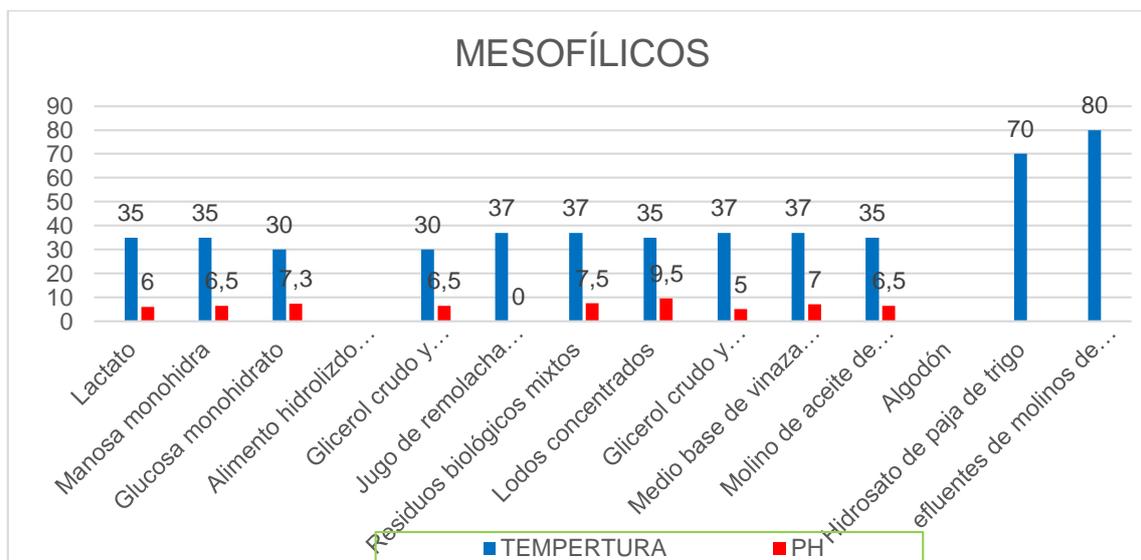
Según el tipo de residuo las cantidades o valores de producción de Hidrógeno pueden ser indistintos. Motivo por el cual se puede observar diferentes tipos de temperaturas, potencial de Hidrógeno, entre los cuales podemos observar que el sustrato de manosa mono hidrata, obtuvo mayor producción fue 236 ml H<sub>2</sub>/g. (PURANJAN, M., et al, 2017). Además, temperatura se clasificó en dos grupos T ° < a 50 ° C son considerados mesofílicas siendo de mayor temperatura de 37 ° C sustrato de Jugo de remolacha azucarera (DHAR, et al, 2015), residuos biológicos mixtos (PATEL, SK., et al, 2020.), glicerol crudo y manzana hidrolizado de orujo (ARGUN, S., y DAO, S., 2017), Medio base de vinaza suplementado con jugo de caña de azúcar, (SYDNEY, EB., et al, 2018) más elevada utilizada lo obtuvo el hidrosato de paja de trigo con 70 ° C (SILVA, F., et al, 2017), así mismo en cuanto a las que están a T ° > a 50 ° C son considerados Termofílicas, el cual tuvo mayor temperatura con 80 ° C el sustrato de efluentes de molinos de aceite de palma (DRESCHKE, G., et al, 2019), el pH más alto lo obtuvo los lodos concentrados de 9.5 entre mesofílicas y Termofílicas. (WANG, D., et al, 2018).

La adición de otros compuestos como el biocarbón cargado de fosfato puede acortar la fase de proceso de biodegradación de la materia prima a utilizar en la producción de hidrógeno, de ahí podemos deducir que el tipo de materia prima para la producción será lo más adecuado son los desechos orgánicos pues presentan mayor facilidad de degradarse y ser consumidos por las bacterias o microorganismos que aceleran este proceso. (REZAEITAVABE, F., et al, 2020, p. 6)

Otros tipos de sustratos que también puede ser utilizado para la producción de hidrógeno podemos encontrar a microalgas conocida como lenteja de agua, los cuales tiene que ser sometidos a pretratamientos y en condiciones termofílicas, para luego ser fermentada en condiciones mesofílicas logrando una buena producción de hidrógeno de 169.30 mL g<sup>-1</sup> de peso seco. (MU, D., et al, 2020),

Por otra parte, entre los estudios investigados en cuanto al parámetro de pH se pudo observar que los valores obtenidos por (WANG, D., et al, 2018), pH 9.5, no se encuentra en concordancia con los datos de condiciones óptimas sugeridas pH entre 5.09 – 7.91 (DA SILVA MAZARELI, R. C., et al, 2020, párr. 1)

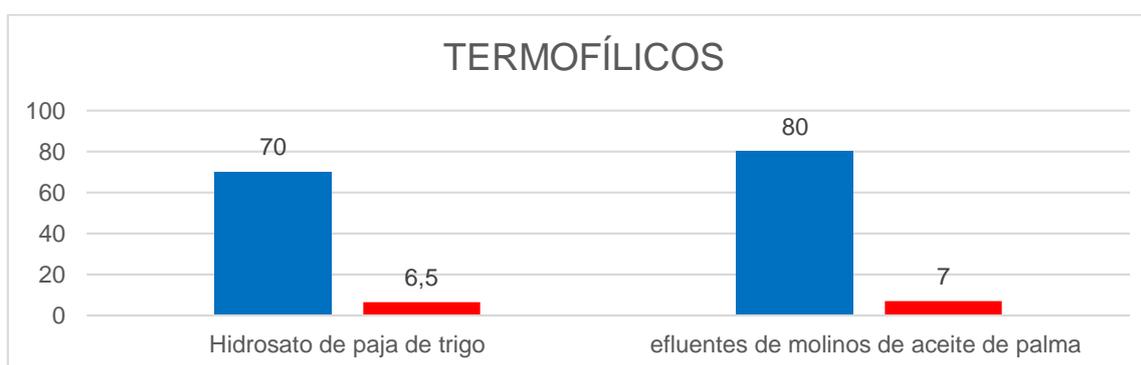
Gráfico N° 02: Clasificación según temperaturas utilizadas en la producción de Biohidrógeno (Mesofílicas). En el cual se muestra temperatura y pH.



Fuente: Elaboración propia

Data: 12 tipos de sustratos  $T^{\circ} < 0$  es Alimento Hidrolizado (HAN, W., et al, 2015) y  $T^{\circ} > 70^{\circ} C$ , es el Hidrosato de paja de trigo. (SILVA, F., et al, 2017)

Gráfico N° 03: Clasificación según temperaturas utilizadas en la producción de Biohidrógeno (Termofílicas). En el cual se muestra temperatura y pH.



Fuente: Elaboración propia.

Data: 14 tipos de sustrato 12 de ellos tienen  $T^{\circ} < 50^{\circ} C$  por lo tanto son considerados mesofílicas y 2 de ellos termófilos por tener  $T^{\circ} > 50^{\circ} C$ . Resultando el de mayor  $T^{\circ}$  Efluentes de molinos de aceite de palma. Se puede deducir que el registro de datos de menor rango es la no presencia de parámetros, pH, HTR, en algunos autores (SPASIANO, D., et al., 2018, p. 3).

## Resultados Objetivo 2: Condiciones operativas.

Tabla 5: Condiciones operativas en la producción de hidrógeno mediante fermentación oscura.

<b>ESTUDIOS</b>	<b>CONDICIONES OPERATIVAS</b>	<b>METODOLOGÍA</b>	<b>RESULTADOS</b>	<b>AUTOR</b>
<i>Producción de hidrógeno a partir de suero de queso en polvo por Enterobacter</i>	<i>pH, temperatura, concentración o volumen de sustrato</i>	<i>En este estudio se evaluaron condiciones de pH en un rango de 3.4 a 10.1, Temperaturas en un rango de 15 a 55.2 ° C. y volumen o concentración de sustrato CWP (g dm<sup>-3</sup>) entre 3.6 a 41.4.</i>	<i>Se obtuvieron rendimientos de hidrógeno en un rango de 0,71 a 0,80 mol de H<sub>2</sub>/1 de lactosa. Los rendimientos más bajos se dieron en un rango de 0.01-0.07 mol H<sub>2</sub> mol/1 de lactosa.</i>	<i>ÁLVAREZ, C., et al, 2020.</i>
<i>Producción de hidrógeno de alta eficiencia a partir de efluentes de molinos de aceite de palma mediante fermentación oscura en dos etapas y electrólisis microbiana</i>	<i>pH, temperatura, so, DQO.</i>	<i>El proceso se inició con la extracción del aceite de la semilla de la pepita de la palma, trabajaron con 200 ml con cargas iniciales de DQO, de 83 y un pH inicial de 6.0 a 55 ° de temperatura. Se utilizó un reactor de UASB, con un volumen de trabajo de 200 ml.</i>	<i>Se obtuvieron los rendimientos de DQO de 66 g/L y un pH de 6.5 con una tasa de producción de hidrógeno de 236 ml H<sub>2</sub>/psg COD., con voltaje de 0,7 v.</i>	<i>KHONGKLIAN G, et al, 2019.</i>

<i>en condiciones termofílicas.</i>				
<i>Producción continua de Biohidrógeno de alta tasa por Thermotoga neapolitana hipertermofílica.</i>	<i>pH, temperatura,</i>	<i>El experimento se llevó a cabo en un reactor de tanque agitado continuamente CSTR, de 3 l. con un volumen de trabajo de 2 L con una temperatura constante de 80 ° C, con un pH de 7, THR de 24 h, caudal de 83,3 ml el volumen fue controlado mediante zona de nivel.</i>	<i>En 6 días el THR bajo de 24 a 6 horas y producción de hidrógeno de 3,4 mol H<sub>2</sub>/mol glucosa.</i>	<i>DRESCHKE, G., et al 2019.</i>
<i>Lote de fermentación oscura de residuos de alimentos hidrolizados enzimáticamente para la producción de hidrógeno</i>	<i>Temperatura, pH, carga orgánica, carga de inóculo, THR.</i>	<i>Se realizó en un fermentador de 3 L, con un volumen de 500 ml de carga de residuo de alimentos, a 37 ° C, concentración de inóculo de semillas fue de 4,3 g / L, con una agitación de 300 rpm, manteniendo un pH controlado de 4.0 a 6.6, el pretratamiento fue en baño de agua de 100 ° C por 6 h.</i>	<i>Este trabajo tuvo un rendimiento de hidrógeno de 39,14 ml de H<sub>2</sub> / g de desperdicio de alimentos. Tasa de producción de hidrógeno de 92.56 ml / h.</i>	<i>HAN, W., et al, 2015</i>

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados encontrados con respecto a las condiciones operativas más relevantes son aquellas que tuvieron mayor consideración en las diferentes investigaciones como son el pH y Temperatura, siendo los de valor elevado el pH de 7 y temperatura de 80 ° C por (DRESCHKE, G., et al 2019), Sin embargo, otras investigaciones consideraron de gran importancia otros parámetros con valores más altos como , DQO 83 g /L,(ÁLVAREZ, C, et al, 2020) TRH 24 h (DRESCHKE, G., et al 2019) y carga orgánica 500 ml (HAN, W., et al, 2015) y (LI, Y., et al, 2020). Por su parte otras investigaciones (JIA, X., et al, 2020, párr.1) y (MU, D., et al, 2020), consideran el tiempo de retención hidráulica en sus investigaciones establecieron rangos que van de 12 a 72 h siendo estos semejantes a los valores estudiados en esta investigación.

Sin embargo, la investigación que no tuvo muchos parámetros evaluados o descritos fue el de (ÁLVAREZ, C, et al, 2020) que sólo evaluó 4 condiciones de los 8 estudiados.

Todos estos valores se detallan en el Tabla N° 07 y gráfico N° 03

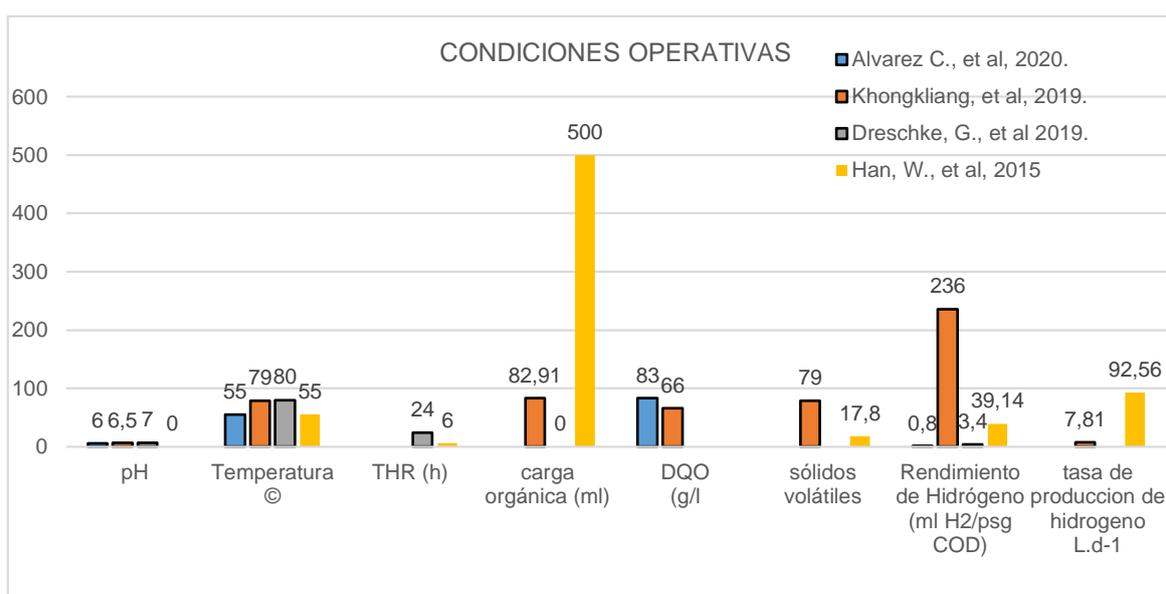
Tabla 6: Valores de las condiciones operativas de los autores estudiados.

<b>TEMA:</b>	<b>pH</b>	<b>T°</b>	<b>THR (h)</b>	<b>carga orgánica (ml)</b>	<b>DQO (g/l)</b>	<b>Sól. Vol.</b>	<b>H2 (ml H2/ psg COD)</b>	<b>tasa de producción de H2 L.d-1</b>	<b>Autor.</b>
<i>Producción de hidrógeno a partir de suero de queso en polvo por Enterobacter</i>	6	55			83		0,8		ÁLVAREZ, C., et al, 2020.
<i>Producción de hidrógeno de alta eficiencia a partir de efluentes de molinos de aceite de palma mediante fermentación oscura en dos etapas y electrólisis microbiana en condiciones termofílicas.</i>	6,5	79		82,91	66	79	236	7,81	KHONGKLIAN, G, et al, 2019.
<i>Producción continua de Biohidrógeno de alta tasa por Thermotoga neapolitana hipertermofílica.</i>	7	80	24	83,3	0	0	3,4		DRESCHKE, G., et al 2019.
<i>Lote de fermentación oscura de residuos de alimentos hidrolizados enzimáticamente para la producción de hidrógeno</i>	6.6	55	6	500		17,8	39,14	92,56	HAN, W., et al, 2015

Fuente: Elaboración propia.

La mayor producción de hidrógeno que obtuvo de las investigaciones fue 3,4 mol H<sub>2</sub>/mol de glucosa, así mismo pH 7 y la temperatura 80 C, con mayores valores (DRESCHKE, G., et al, 2019), En cuanto a Tiempo de retención hidráulica solo se registró en 2 de los trabajos estudiados, (DRESCHKE, G., et al 2019) y (HAN, W., et al, 2015), así mismo este trabajo tuvo la carga orgánica más elevada de 500 (HAN, W., et al, 2015) Otras condiciones como la Demanda Química de Oxígeno de 83 L / g DQO con mayores valores lo obtuvo (ÁLVAREZ, C., et al, 2020).

Gráfico N° 04: Condiciones Operativas en la producción de hidrógeno por fermentación oscura.



Fuente: Elaboración propia.

Los valores obtenidos en cuanto a condiciones operativas nos demuestran que algunos autores utilizan diferentes medidas o intervalos para calcular en este caso el rendimiento del hidrógeno alguno considera mol H<sub>2</sub>/mol glucosa (ÁLVAREZ, C., et al, 2020), (DRESCHKE, G., et al 2019) y otros ml H<sub>2</sub>/psg COD (KHONGKLIANG, P., et al, 2019). El cual denota una diferencia elevada en el gráfico.

### Resultados Objetivo 3: Tipos de reactores.

Tabla 7: Tipos de Reactores utilizados en la producción de Hidrógeno.

<b>ESTUDIOS</b>	<b>TIPOS DE REACTORES</b>	<b>METODOLOGÍA</b>	<b>RESULTADOS</b>	<b>AUTORES</b>
<i>Rendimiento operativo del biorreactor de manto de lodo anaeróbico de flujo ascendente(UASB) para la producción de biohidrógeno mediante lodo autogranulado utilizando efluente de molino de aceite de palma pretratado (POME) como fuente de carbono</i>	<i>UASB (Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente) sometido a hidrólisis con ácido</i>	<i>El efluente del molino de aceite de palma (POME) sometido a hidrólisis con ácido nítrico al 1%, con un (THR) agregando pepita tratada al reactor, entre 48 y 3 horas con ciclo constante de 24 h.</i>	<i>El rendimiento del hidrógeno fue de 2,45 mol H<sub>2</sub> / mol de azúcar y una tasa de producción de 11,75 LH<sub>2</sub> / L POMA a TRH de 6 h</i>	<i>MAHMUD, S.S., et al 2019.</i>
<i>Producción continua de hidrógeno a partir de la co-fermentación de vinaza de caña de azúcar y suero de queso en un reactor de lecho</i>	<i>Reactor anaeróbico de Lecho Fluidizado Anaeróbico (AFBR)</i>	<i>Este proceso se llevó a cabo en un reactor AFBR, de volumen de 1980 cm<sup>3</sup>, utilizando como inóculo lodo granular anaeróbico, el pH del lodo fue de 7.06 y SV de</i>	<i>Con este reactor se logró obtener un rendimiento máximo de Hidrógeno (HY) de 1.01 ± 0,06 mol H<sub>2</sub>. G DQO<sup>-1</sup>, tasa de producción 2,54 ± 0,39 LH<sub>2</sub>.d<sup>-1</sup>. L<sup>-1</sup> y contenido</i>	<i>RODRIGUES RAMOS, L. y LUIZ SILVA, E., 2018</i>

<p><i>fluidizado anaeróbico termofílico</i></p>		<p><i>41,3 g L y como sustrato agua residual, con una temperatura y de 55 C, pH de los reactores 4.26 a 4,95 se adicionaron 6 mol de NaOH.L, luego de inoculado después de un TRH de 8h.</i></p>	<p><i>de H2 de 47,3 ± 2.9 % respectivamente.</i></p>	
<p><i>Mejora de la producción de hidrógeno a través de la fermentación foto oscura integrada en un fotobiorreactor de placa plana: modelado matemático y optimización de eficiencia energética.</i></p>	<p><i>Biorreactor de placa plana. (FPPBR)</i></p>	<p><i>Para este tipo de reactor utilizaron la técnica de lotes repetidos, para la optimización del incremento de producción de hidrógeno utilizaron bacterias fermentadoras como el C. acebutylicum (fermentativo oscuro) y Rhodopseudomonas sp.</i></p>	<p><i>Con el uso de este biorreactor lograron obtener un hidrógeno acumulado máximo de 4.44 mol de H2/ mol de glucosa, el cual tuvo un incremento de 96 veces (196, 75%) de producción de hidrógeno. El rendimiento óptimo fue casi 2,24 veces mayor que el rendimiento (1,98 mol H2 / mol de glucosa).</i></p>	<p><i>GHOSH, S. , DUTTA, S. y CHOWDHURY, R., 2020.</i></p>

<p><i>Integración directa de reactores CSTR UASB para la producción de hidrógeno y metano en dos etapas a partir de jarabe de azúcar de caña.</i></p>	<p><i>Reactor de tanque agitado continuo (CSTR)</i></p>	<p><i>Utilizaron un sistema de fermentación integrado de dos etapas en el cual produjeron hidrógeno y metano con reactores CSTR y UASB, HTR inicial de 12 h y 12 días respectivamente.</i></p>	<p><i>Con este reactor se obtuvo una producción de hidrógeno de según tiempo de retención hidráulico desde las 2-12 horas el máximo rendimiento se logró en el THR de 3 horas con 1,32 ± 0,16. molH<sub>2</sub>/mol hexosa.</i></p>	<p><i>NUALSRI, Ch., KONGAN, P. y REUNGSAN G, A, 2016.</i></p>
<p><i>Termófilo versus mesofílicas oscuro fermentación en reactores de lecho fluidizado alimentados con xilosa: producción de biohidrógeno y comunidad microbiana activa</i></p>	<p><i>Reactor de lecho fluidizado FBR</i></p>	<p><i>En este reactor trabajaron lodo activado el cual trataron térmicamente a 90 ° C durante 15 min. El funcionamiento fue con 300 ml de carbón activado como material portador para la adhesión de biomasa. Con un pH de 5.y temperaturas que van de 55 a 70 ° C.</i></p>	<p><i>En todas las temperaturas investigadas (55-70 ° C) en el día 52 se logró un máximo rendimiento de hidrógeno de 1,3 mol H<sub>2</sub>/mol de xilosa. En condiciones termofílicas. Así mismo en condiciones mesofílicas obtuvieron, 1.0 mol H<sub>2</sub>/xilosa. A 37 °C.</i></p>	<p><i>DESSÍ, P., et al, 2018.</i></p>

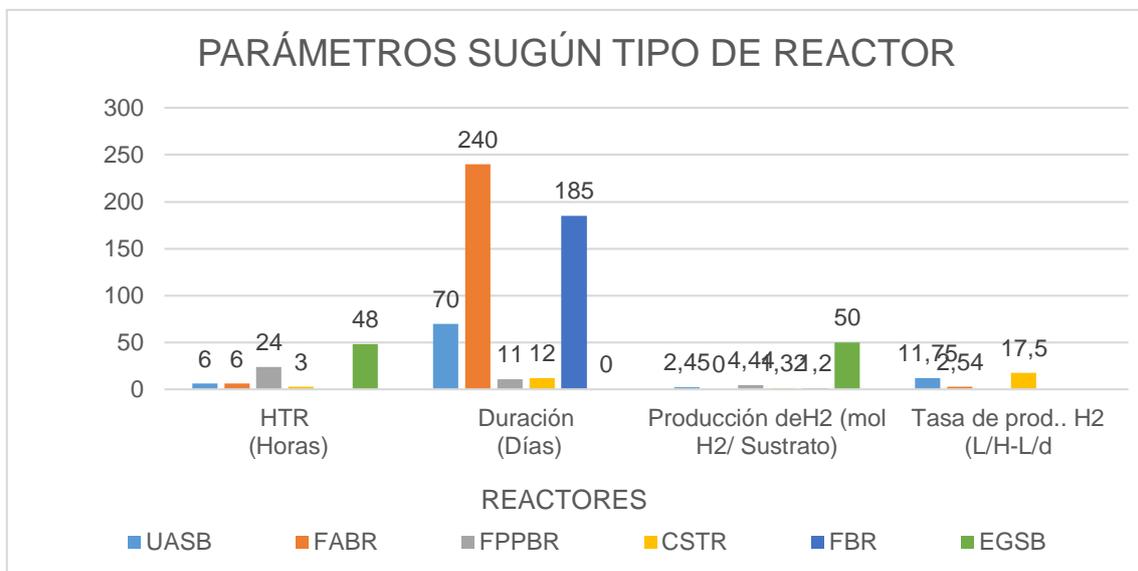
<p><i>Comparación de la fermentación oscura termófila e hipertermófila con la metanogénesis mesófila posterior en reactores de lecho de lodo granular expandido.</i></p>	<p><i>Reactor de lecho de lodos expandidos granulares EGSB</i></p>	<p><i>En este reactor de lecho granular trabajaron teniendo en cuenta ciertos parámetros o condiciones operativas como temperaturas termofílicas de 60 ° C y hipertemofílicas de 80 ° C, con demanda química de oxígeno (DQO) de 22 g 7 L y tiempos de retención hidráulica de 9 a 48 h, con carga orgánica de (OLR)de 11 a 60 g DQO / L / d.</i></p>	<p><i>Teniendo en cuenta estas condiciones trabajadas se obtuvo un rendimiento de 50 L / Kg de DQO de hidrógeno (HY) , y una producción máxima de hidrógeno de 3,0 m3 / m3 / d. en 9 h de tiempo de retención hidráulica (THR).</i></p>	<p><i>WEIDE T., et al, 2020.</i></p>
--	--	---	---	--------------------------------------

Fuente: Elaboración propia

Los resultados del estudio según tipo de reactores fueron: El reactor UASB (Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente) utilizando en tratamiento de aguas residuales, obtuvo una producción de hidrógeno de 2,45 mol H<sub>2</sub> / mol de glucosa. (MAHMUD, SS., et al 2019), en cuanto al reactor de lecho fluidizado Anaeróbico (FABR) se obtuvo una producción de 1.01 mol H<sub>2</sub> / g DQO (RODRIGUES RAMOS, L. y LUIZ SILVA, E., 2018). Así mismo el reactor de placa plana (FPPBR) tuvo una producción de 4.44 mol de Hidrógeno/ mol de glucosa. (GHOSH, S., DUTTA, S. y CHOWDHURY, R. 2020), Reactor de tanque agitado continuo (CSTR) tuvo una producción de hidrógeno 1, 32 +- 0,16. Mol H<sub>2</sub> /mol hexosa (NUALSRI, Ch., KONGAN, P. y REUNGSANG, A, 2016), Reactor de lecho fluidizado (FBR), obtuvieron 1.0 mol H<sub>2</sub> /xilosa, (DESSÍ, P., et al, 2018). Así mismo otro de los trabajos que utilizaron reactores fue el de (JIA, X., et al, 2020, párr.1). quienes utilizaron el reactor CSTR de capacidad de 2 L, quienes mencionaron que la tasa de la carga orgánica que utilizaron aumentó de 3,0 g VS / L.d a 6 g VS / L d, teniendo una producción de hidrógeno por fermentación oscura de 0.83 L / d en comparación con el tratamiento de electro fermentación que lograron 280 mL / L d, difiriendo enormemente los resultados de producción de hidrógeno.

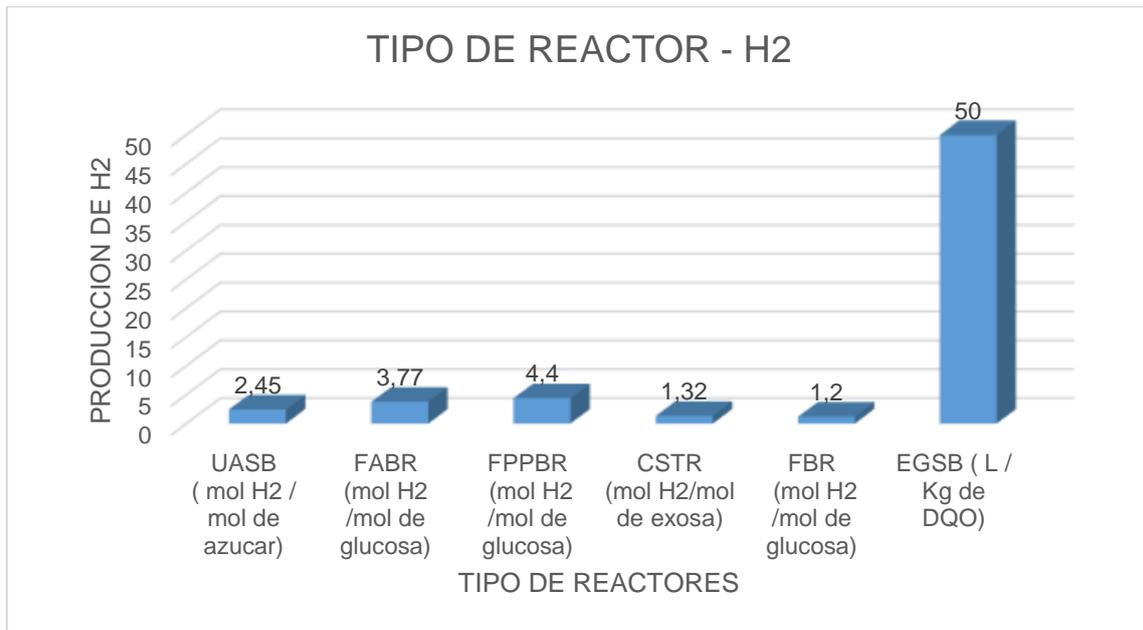
De los rectores se puede observar que uno de ellos se midió en ml / día y los otros dos en mol H<sub>2</sub>/mol glucosa el cual se puede observar en los gráficos N° 05 y 06.

Gráfico N° 05 : Parámetros de acuerdo al tipo de reactor.



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico N° 06: Parámetros y Producción de hidrógeno de acuerdo al tipo de reactor.



Fuente: Elaboración propia.

Data: el gráfico muestra que el reactor de mayor producción de Hidrógeno es el reactor EGSB con 50 L/ kg de DQO (WEIDE, T., et al 2020). Sin embargo, los datos de producción se mostraron en L / kg, difiriendo de los demás reactores que la medición del hidrógeno lo realizaron en mol H2 / mol de azúcar o glucosa. Así mismo el reactor con menor producción de hidrógeno es el FBR 1.2 mol H2/ mol de glucosa (DESSÍ, P., et al, 2018).

#### Resultados Objetivo 4: Pretratamientos.

Tabla 8: Pre tratamientos para la obtención de hidrógeno.

ESTUDIOS	PRE TRATAMIENTOS	METODOLOGÍA	RESULTADOS	AUTORES
Efectos de los pretratamientos ácidos / alcalinos sobre la mono-digestión de biomasa lignocelulósica y su codigestión con residuos lodos activados	Ácidos diluidos	Para elaborar el hidrógeno de paja de trigo se utilizó el tratamiento de ácidos y alcalinos. La solución fue de 70 ml para 5,04 g de paja de trigo, en un periodo de 40 días.	En el pretratamiento con ácido obtuvo (0,1 mol/L HCl). digestor W13 se obtuvo 221.4 ml/g VS, además en el tratamiento W12 (227.4 mL/g VS).	YONGDONG, Ch., et al, 2020.
La congelación en presencia de un tratamiento previo de nitrito mejora la producción de hidrógeno a partir de la fermentación oscura de los lodos activados residuales	Congelamiento	En este proceso de pretratamiento se realizó a partir de lodos residuales activados sin tratar. El proceso de congelación se llevó a cabo en presencia de nitrito de 100 a 400 mg NO <sub>2</sub> a una temperatura de - 5 ° C, con TRH de 4 h.	El rendimiento máximo de hidrógeno aumentó de 7,96 a 19,40 mL / g VS.	LIU, X., et al, 2020.

<p>Efecto de los desechos orgánicos pre tratados térmicamente en la producción de hidrógeno fermentativo oscuro utilizando consorcio microbiano mixtos</p>	<p>Térmico</p>	<p>Se utilizó un pretratamiento térmico de la materia prima a 121° C, psi durante 15 min. El proceso de fermentación se realizó en un fermentador controlado con un volumen de trabajo de 2 L con medios pre tratados con una T ° de 37,5 ° C y 180 rpm. pH 6.75, Este experimento se realizó por lotes.</p>	<p>La producción máxima acumulada de H2 de 3,24 L L-1 y rendimiento 12,05 mol H2 Kg -1 DQO eliminado.</p>	<p>MAHATA, C., et al, 2021.</p>
<p>Acumulación mejorada de hidrógeno a partir de lodos activados residuales mediante la combinación del pretratamiento ultrasónico y con ácido nitroso libre: rendimiento, mecanismo e implementación.</p>	<p>Ultrasónico.</p>	<p>Se añadieron 180 mg / L de nitrito. (2 W / mL 15 min), los valores del hidrógeno bajo fermentación ácida (1,0 mg / L). El lodo recogido se filtró con una pantalla de malla de alambre de (2 mm x 2mm) y se encontró aproximadamente de 24 a 48 h a 4 ° C antes de su uso. con un pH. 6.9 ± (TSS), 22, 273 ± 213 mg / L, suelos suspendidos totales (VSS), 12, 350+ 143 mg / L, demanda química total de oxígeno (TCOD), 15, 450 +293 mg / L, S COD 156 + 13 mg / L, carbohidratos totales 1550 ± 216 mg DQO / L, proteínas totales 6780 + 275 mg DQO / L y NH4 + -N 30 + 3 mg /L.</p>	<p>Producción máxima de 8,83 ± 0.44 ml / g VSS. El rendimiento máximo de hidrógeno es de 24, 81 ± 1, 24 mL / g VSS (sólidos suspendidos volátiles).</p>	<p>NIU, Q., et al, 2019</p>

Fuente: Elaboración propia

Los resultados obtenidos en función a los pretratamientos que se estudió fueron el pre tratamiento con ácidos diluidos de 0,1 mol/L Cl de hidrógeno que fueron valores más bajos y en el pre tratamiento alcalino obtuvieron valores más altos de 221.4 ml/g VS. (YONGDONG, Ch., et al, 2020. p. 3). Así mismo manifiestan que los pre tratamientos ayudan a degradar o facilitar el proceso a las bacterias encargadas de desintegrar y transformar el sustrato en hidrógeno. Por otra parte, los estudios que realizaron (PRABAKAR, D. et al 2018, p. 308) nos da a conocer que el pretratamiento más alto obtenido en cuanto a rendimiento de hidrógeno fue 8.5 mg H<sub>2</sub> / g VSS utilizando pre tratamiento SDS (Dodecil Sulfato Sódico) en comparación con NaOH, ácido peracético y B-ciclodextrina para concentrar ácidos volátiles.

En cambio (NIU, Q., et al, 2019) manifiestan que el pretratamiento con (ácido nitroso libre) FNA mejoró el rendimiento y aceleró la solubilidad de los lodos, mejoró la liberación de sustancias biodegradables e inhibió a los organismos consumidores de hidrógeno. Lo cual resultó una opción favorable frente a otro tipo de pretratamientos. Por su parte (CHENG, J, et al, 2019), utilizaron como pre tratamiento hidrotermal/ácido de vapor, que condujo a una producción de H<sub>2</sub> 24.96 ml / g (TVS). Indican que el tratamiento de ácido hidrotermal es fuerte en hemicelulosa por lo que aumentó un 44.1 % de producción resultando una buena alternativa de tratamiento de residuos.

## V. CONCLUSIONES.

OE G: La fermentación oscura es una tecnología que permite realizar experimentos, ensayos entre otras, utilizando diferentes residuos, condiciones operativas, tipos de reactores y pretratamientos, siendo cada uno de estas partes fundamentales en la producción de hidrógeno.

OE 1: Se identificaron 14 tipos de residuos, estuvieron en función a la temperatura, los cuales 12 residuos son en condiciones mesofílicas como el Lactato, Manosa monohidra, Glucosa monohidrato, Alimento hidrolizado enzimático de residuos, Alimento hidrolizado enzimático, Glicerol crudo y manzana hidrolizado de orujo, Jugo de remolacha azucarera, Residuos biológicos mixto, Lodos concentrados, Medio base de vinaza suplementado con jugo de caña de azúcar, Molino de aceite de palma efluente, de residuos, Residuos de algodón y así mismo 2 residuos condiciones termofílicas (Residuos de algodón, Hidrosato de paja de trigo)

OE 2: Se describieron las condiciones operativas que intervienen en el proceso de producción de hidrógeno, factores importantes para el éxito o fracaso en la obtención de hidrógeno, siendo el rango óptimo de pH de 5.09 a 7.91 y Temperaturas menores a 50° C en condiciones mesofílicas y mayores a 50° C en condiciones termofílicas. Estos son Potencial de Hidrógeno (pH), Tiempo de retención hidráulica (TRH), Sólidos volátiles (SV), Temperatura (T°), Carga orgánica.

OE 3: Se clasificaron los tipos de reactores que intervienen en el proceso de producción de hidrógeno en fermentación oscura, estos pueden ser utilizados de acuerdo a la cantidad de producción del hidrógeno y el tipo de residuo a utilizar cada reactor tiene diferente modo de trabajo, estos son : UASB (Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente), Reactor de Lecho Fluidizado Anaeróbico (FABR), Biorreactor de placa plana (FPPBR), Reactor de tanque agitado continuo (CSTR), Reactor de Lecho Fluidizado(FBR), Reactor de lecho de lodos expandidos granulares (EGSB).

OE 4: Los pretratamientos que se identificaron son de gran ayuda para acelerar el proceso de degradación de la materia prima en la producción de hidrógeno, factor que definirá el éxito o fracaso de la obtención de hidrógeno, ya que es opcional hacerlo con un determinado tipo de sustrato. Entre los cuales tenemos: Ácidos diluidos, Congelamiento, Térmico, Ultrasónico.

## VI. RECOMENDACIONES

OE G: Se recomienda seguir realizando investigaciones en el tema tratado pues al ser una tecnología que está en constante desarrollo y dinamismo surge la necesidad de dar a conocer cuáles son los nuevos tratamientos o hallazgos para la mejora en la producción del hidrógeno y convertirse a futuro en una alternativa rápida y económica de un combustible amigable con el ambiente.

OE G: Las futuras investigaciones que se puedan realizar en cuanto a esta temática considero que se deberían ser más accesibles y de manera gratuita ya que existen artículos o publicaciones que demandan de un pago el cual limita poder obtener mayor información para este tipo de trabajos.

OE G: Realizar investigaciones en las que se pueda cosechar el hidrógeno tan pronto se produzca, pues parte de la producción se pierde porque no existe más tecnologías adecuadas que permitan su mejor acumulación o cosecha.

OE 1: Elegir un buen sustrato para la producción de hidrógeno que se adecue a la necesidad de cantidad y calidad del hidrógeno que se desea obtener.

OE 2: Tener un registro y control de las condiciones operativas en las que se trabajará, pues de acuerdo a eso se podrá elegir cual es el más adecuado que permitirá un mejor rendimiento en la producción de hidrógeno, con un rango de pH de 5.09 a 7.91 (DA SILVA MAZARELI, R. C., et al, 2020, párr. 1). Así mismo con temperaturas menores a 50° C en condiciones mesofílicas y mayores a 50° C en condiciones termofílicas.

OE 3: Considerar el tipo de reactor a utilizar según sus funciones, capacidades para obtener la mayor cantidad de hidrógeno posible.

OE 4: Realizar pre tratamientos a aquellos sustratos que demanden de un proceso de degradación o aprovechamiento más lento, pues esto ayudará que los microorganismos anaeróbicos los procesen de la mejor manera posible y se garantice una mayor producción de hidrógeno.

## REFERENCIAS.

1. NEVZOROVA, Tatiana y KUTCHEROV, Vladimir, Barriers to the wider implementation of biogas as a source of energy: A state-of-the-art review. *Energy Strategy Reviews*, [en línea] Volumen 26, Noviembre 2019, 100414 [Fecha de consulta: 21 de noviembre 2020], disponible en <https://doi.org/10.1016/j.esr.2019.100414> ISSN 2211-467X (Rusia).
2. BHARATHIRAJA,B., SOWMYA, V., SRIDHARANA,Sridevi, YUVARAJA, D., JAYAMUTHUNAGAI, J.,PRAVEENKUMAR, R. Biodiesel production from microbial oil derived from wood isolate *Trichoderma reesei*. *Bioresource Technology* . [en línea], Volumen 239, setiembre 2017, paginas 538-54 [Fecha de búsqueda 03 de octubre 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.05.078> ISSN 0960-8524 (india)
3. MURUGAN, Ramu Satheesh, DINESH, Guyuluva Hari, RAJA, Ramalingam Karthik, JAMES OBETH, Ebenezer Samuel, BORA, Abhispa, SAMSUDEEN, Naina Mohammed, PUGAZHENDHI, Arivalagan, ARUN, Alagarsamy Dark fermentative biohydrogen production by *Acinetobacter junii*-AH4 utilizing various industry wastewaters. *International Journal of Hydrogen Energy*. [en línea] 28 de julio del 2020, [Fecha de consulta 24 de noviembre del 2020], disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.07.073> ISSN 0360-3199
4. LI, Xunzhou, GUO, Liang, LIU, Yue, WANG, Yi, SHE, Zonglian, GAO, Mengchun, ZHAO, Yangguo. Effect of salinity and pH on dark fermentation with thermophilic bacteria pretreated swine wastewater, *Journal of Environmental Management*, [en línea] Volume 271, 01 de octubre 2020, 111023, [Fecha de consulta 30 de diciembre 2020], disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111023> ISSN: 0301-4797.
5. DAHIYA, Shikha, VENKATA MOHAN, S., Selective control of volatile fatty acids production from food waste by regulating biosystem buffering: A comprehensive study. *Chemical Engineering Journal*. [en línea], Volume 357, 1 de febrero 2019,

Paginas 787-801,[Fecha de consulta 03 de enero 2021] disponible en <https://doi.org/10.1016/j.cej.2018.08.138> ISSN 1385-8947

6. PARK, Jong-Hun, KIM, Do-Hyung, BAIK, Jong-Hyun, PARK, Jeong-Hoon, YOON, Jeong-Jun, LEE, Chae-Young, KIM, Sang-Hyoun. Improvement in H<sub>2</sub> production from *Clostridium butyricum* by co-culture with *Sporolactobacillus vineae*. *Fuel*, [en línea] Volumen 285, Febrero 2021, 119051, [Fecha de consulta 05 de diciembre del 2020], <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.119051> ISSN 0016-2361.
7. DA SILVA MAZARELI, Raissa Cristina, VILLA MONTOYA, Alejandra Carolina, PALLADINO DELFORNO, Tiago, BORIN CENTURION, Victor, Valéria Maia DE OLIVEIRA, SILVA, Edson Luiz, AMÂNCIO VARESCHE, Maria Bernadete. *International Journal of Hydrogen Energy*. [en línea] 31 de diciembre 2020, [Fecha de consulta: 03 de enero 2021], disponible en <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.12.063> ISSN 0360-3199.
8. NAVARRO-DÍAZ, Marcelo, MARTINEZ-SANCHEZ, Mariana Esther, VALDEZ-VAZQUEZ, Idania, & ESCALANTE, Ana E., A framework for integrating functional and microbial data: The case of dark fermentation H<sub>2</sub> production. *International Journal of Hydrogen Energy*. [en línea] Volumen 45, número 56, 13 de Noviembre del 2020, paginas 31706-31718, [Fecha de consulta 22 de noviembre del 2020] disponible en <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.08.189> ISSN 0360-3199.
9. SINGH, Vaishali y DAS, Debabrata. Potential of Hydrogen Production from Biomass. *Science and Engineering of Hydrogen-Based Energy Technologies*, [en línea]. Enero 2019, páginas, 123-164, [Fecha de consulta: 20 de octubre de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814251-6.00003-4> ISSN: 2357-612X.
10. TIAN, Hailin, LI, Jie, YAN, Miao, TONG, Yen Wah, WANG, Chi-Hwa y WANG, Xiaonan. Organic waste to biohydrogen: A critical review from technological development and environmental impact analysis perspective, *Applied Energy*,

[en línea], volumen 256, 15 de diciembre 2019, 113961, [Fecha de consulta].disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113961> ISSN 0306-2619

11. YUKESH KANNAH R., KAVITHA S., PREETHI, PARTHIBA KARTHIKEYAN O., GOPALAKRISHNAN Kumar, DAI-VIET N. Vo. y RAJESH BANU, J., Techno-economic assessment of various hydrogen production methods – A review. *Bioresource Technology*, [en línea] volumen 319, enero 2021, 124175, [Fecha de consulta 05 de octubre del 2020), disponible en <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.124175> ISSN 0960-8524.
12. PURANJAN, Mishra, SANTHANA, Krishnan, SUPRIYANKA, Rana, LAKHVEER, Singha, SAKINAH, Mimi, ZULARISAM Ab Wahid. Outlook of fermentative hydrogen production techniques: An overview of dark, photo and integrated dark-photo fermentative approach to biomass. *Energy Strategy Reviews*, [en línea], volumen 24, abril 2019, paginas 27-37, [Fecha de consulta 03 de octubre del 2020] Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.esr.2019.01.001> ISSN 0360-3199.
13. SEWWANDI, K.A.S.H., NITISORAVUT, R., Nano zero valent iron embedded on chitosan for enhancement of biohydrogen production in dark fermentation. *Energy Reports*, [en línea] volume 6, Supplement 9, diciembre 2020, páginas 392-396. [Fecha de consulta 30 de diciembre 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.egy.2020.11.225> ISSN: 2352-4847
14. PANIN, Sopee, SETTHAPUN, Worajit, SINSUW, Alicia Amelia Elizabeth, SINTUYA, Hathaithip, CHU, Chen-Yeon. Biohydrogen and biogas production from mashed and powdered vegetable residues by an enriched microflora in dark fermentation. *International Journal of Hydrogen Energy*, [en línea], 23 de octubre 2020, [Fecha de consulta 30 de diciembre 2020], disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.09.246> ISSN: 0360-3199.
15. LI, Yameng, ZHANG, Zhiping, XIA, Chenxi, JING, Yanyan, ZHANG, Quanguo, LI, Suiliang, ZHU, Shengnan, JIN, Peng. Photo-fermentation biohydrogen

- production and electrons distribution from dark fermentation effluents under batch, semi-continuous and continuous modes, *Bioresource Technology*. [en línea], Volumen 311, Setiembre 2020,123549, [Fecha de consulta 30 de diciembre 2020], disponible en <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123549> ISSN 0960-8524.
16. MU, Demei, LIU, Hao, LIN, Weitie, SHUKLA, Pratyosh, LUO, Jianfei. Simultaneous biohydrogen production from dark fermentation of duckweed and waste utilization for microalgal lipid production. *Bioresource Technology*. [en línea] Volume 302, abril de 2020,122879, [Fecha de consulta 30 de diciembre], disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.122879> ISSN 0960-8524.
17. JIA, Xuan, LI, Mingxiao, WANG, Yong, WU, Yanan, ZHU, Lin, WANG, Xue, Yujiao ZHAO. Enhancement of hydrogen production and energy recovery through electro-fermentation from the dark fermentation effluent of food waste. *Environmental Science and Ecotechnology*. [en línea], volumen1, enero 2020, 100006, [Fecha de consulta 03 de enero 2021], disponible en <https://doi.org/10.1016/j.ese.2019.100006>, ISSN 2666-4984.
18. PAILLET, Florian, MARONE, Antonella, MOSCOVIZ, Roman, STEYER Jean-Philippe, TAPIA-VENEGAS, Estela, BERNET, Nicolas, TRABLY, Eric. Improvement of biohydrogen production from glycerol in micro-oxidative environment. *Hydrogen Energy*. [en línea] Volumen 44, número 33, 5 de julio 2019, páginas 17802-17812, [Fecha de consulta 31 de diciembre 2020] disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.05.082> ISSN 0360-3199.
19. CHENG, Jun, YUE, Liangchen, DING, Lingkan, LI, Yu-You, YE, Qing, ZHOU, Junhu, CEN, Kefa, LIN, Richen. Improving fermentative hydrogen and methane production from an algal bloom through hydrothermal/steam acid pretreatment. *International Journal of Hydrogen Energy*. [en línea], Volume 44, número 12, 1 de marzo de 2019, paginas 5812-5820, [fecha de consulta: 31 de diciembre 2020], disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.01.046>. ISSN 0360-3199.

20. MUÑOZ-PAEZ, Karla M., ALVARADO-MICHI, Elba L., BUITRÓN Germán, VALDEZ-VÁSQUEZ, Idania. Distinct effects of furfural, hydroxymethylfurfural and its mixtures on dark fermentation hydrogen production and microbial structure of a mixed culture. *International Journal of Hydrogen Energy*. [en línea], Volumen 44, número 4, 22 de enero 2019, Páginas 2289-2297, [Fecha de consulta 31 de diciembre 2020], disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.04.139> ISSN 0360-3199.
21. SPASIANO, Danilo. Dark fermentation process as pretreatment for a sustainable denaturation of asbestos containing wastes. *Journal of Hazardous Materials*. [en línea] Volume 349, 5 May 2018, Páginas 45-50, [Fecha de consulta: 31 de diciembre 2020], disponible en <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2018.01.049> ISSN: 0304-3894
22. SRIVASTAVA, Neha, SRIVASTAVA, Manish, MISHRA, PK., ADNAN KAUSAR, MOHD, SAEED, M., GUPTA, V. K., SINGH, Rajeev, RAMTEKE, P. W. *Advances in nanomaterials induced biohydrogen production using waste biomass. Bioresource Technology*, [en línea], volumen 307, julio 2020, 123094, [Fecha de consulta 06 de noviembre del 2020]. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123094> ISSN 0960-8524
23. CHEN, Yang, YIN, Yanan, WANG, Jianlong. Recent advance in inhibition of dark fermentative hydrogen production. *International Journal of Hydrogen Energy*, [en línea] 03 de diciembre 2020, [Fecha de consulta 28 de diciembre 2020] disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.11.096> ISSN: 0360-3199
24. LUKAJTIS, Rafal, HOLOWACZ, Iwona, KUCHARSKA, Karolina, GLINKA, Marta, RYBARCZYK, Piotr, PRZYJAZNY, Andrzej, & KAMIŃSKI, Marian. Hydrogen production from biomass using dark fermentation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, [en línea], volumen 91, 665–694, agosto 2018 [Fecha de visita 13 de octubre del 2020] disponible en <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.04.043> ISSN 1364-0321

25. REZAEITAVABE, Fatemeh, SAADAT, Solmaz, TALEBBEYDOKHTI, Nasser SARTAJ, Majid, TABATABAEI, Mohammad. Enhancing bio-hydrogen production from food waste in single-stage hybrid dark-photo fermentation by addition of two waste materials (exhausted resin and biochar). *Biomass and Bioenergy*, [en línea], Volumen 143, diciembre 2020, 105846, [Fecha de consulta 05 de diciembre 2020]. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2020.105846>. ISSN 0961-9534
26. SOLOWSKI, Gawel, KONKOL, Izabela, CENIAN, Adam. Methane and hydrogen production from cotton waste by dark fermentation under anaerobic and micro-aerobic conditions. *Biomass and Bioenergy*, [en línea], volume 138, julio 2020, 105576 [Fecha de visita 09 de octubre del 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2020.105576> ISSN: 0961-9534.
27. LI, Leigang, WANG, Yuanyuan, & LI, Yu. Effects of substrate concentration, hydraulic retention time and headspace pressure on acid production of protein by anaerobic fermentation. *Bioresource Technology*. [en línea] , volumen 283, julio 2019, paginas 106-111, [Fecha de consulta 05 de diciembre 2020] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.03.027> ISSN 0960-8524.
28. BUITRÓN, German, CARRILLO-REYES, Julian, MORALES, Marcia, FARALONI, Cecilia y TORZILLO, Giuseppe. Biohydrogen production from microalgae. *Microalgae-Based Biofuels and Bioproducts*, [en línea] 2017, paginas 209–234 [Fecha de consulta 10 de octubre], disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-101023-5.00009-1> ISBN 9780081010235.
29. WU, Jiang, JIANG, Bo, FENG, Bo, LI, Lu, MOIDEEN, Siti Nur Fatihah, CHEN, Hong, MRIBET, Chaimaa, LI, Yu-You. Pre-acidification greatly improved granules physicochemical properties and operational stability of Upflow anaerobic sludge Blanket (UASB) reactor treating low-strength starch wastewater. *Bioresource Technology*. [en línea], volume 302, abril 2020, 122810, [Fecha de consulta 04 de enero 2021], disponible en <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.122810> ISSN 0960-8524.

30. CHEN, Hong, WEI, Yanxiao, XIE, Chenglei, WANG, Hong, CHANG, Sheng, XIONG, Ying, DU, Chunyan, XIAO, Benyi, YU, Guanlong. Anaerobic treatment of glutamate-rich wastewater in a continuous UASB reactor: Effect of hydraulic retention time and methanogenic degradation pathway. *Chemosphere*. [en línea], volumen 245, abril de 2020, 125672, [Fecha de consulta 05 de enero 2021], disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125672> ISSN 0045-6535.
31. ALVAREZ-GUZMAN, Cecilia L., CISNEROS- DEL LA CUEVA, Sergio, SMOLINSSKI, Adam, BALDERAS- HERNANDEZ, Victor E., DE LEÓN-RODRIGUEZ, Antonio. Biohydrogen production from cheese whey powder by *Enterobacter asburiae*: Effect of operating conditions on hydrogen yield and chemometric study of the fermentative metabolites. *Energy Reports*. [En línea] volumen 6, noviembre 2020, páginas 1170-1180. [Fecha de consulta 12 de noviembre 2020] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2020.04.038> ISSN 2352-4847.
32. DRESCHKE, Gilbert, PAPIRIO, Stefano, SCALA, Alessio, LENS, Piet N.L y ESPOSITO, Giovanni. High rate continuous biohydrogen production by hyperthermophilic. *Thermotoga neapolitana*. *Bioresource Technology*, [en línea] volumen 293, diciembre del 2019, 122033. [Fecha de consulta: 19 de noviembre 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122033> ISSN 0960-8524.
33. KHONGKLIANG, Peerawat, JEHLEE, Aminee, KONGJAN, Prawit, REUNGSANG, Alissara, y O-THONG, Sompong High efficient biohydrogen production from palm oil mill effluent by two-stage dark fermentation and microbial electrolysis under thermophilic condition. *International Journal of Hydrogen Energy*, [en línea] Volumen 44, número 60, 6 de diciembre 2019, paginas 31841-31852, [Fecha de consulta 19 de noviembre 2020] disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.10.022> ISSN 0360-3199.

34. RAMÍREZ– MORALES, Juan E., TORRES ZUÑIGA, Ixbalank, BUITRON, Germán, On-line heuristic optimization strategy to maximize the hydrogen production rate in a continuous stirred tank reactor. *Process Biochemistry*, [en línea], volumen 50, número 6, junio 2015, páginas, 893–900, [Fecha de consulta 17 de noviembre del 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2015.03.003> ISSN 1359-5113
35. MAHMOD, Safa Senan, AZAHAR, Azratul Madihah, TAN, Jian Ping, JAHIM, Jamaliah Md, ABDUL, Peer Mohamed, MASTAR MASDAR, Mohd Shahbudin, ANUAR, Nurina, YUNUS, Mohammed Faisal Mohammed, ASIS, Ahmad Jaril, WU, Shu-Yii. Operation performance of up-flow anaerobic sludge blanket (UASB) biorreactor for biohydrogen production by self-granulated sludge using pre-treated palm oil mill effluent (POME) as carbon source. *Renewable Energy*. [en línea] volumen 134, abril 2019, páginas, 1262-1272, [Fecha de consulta 31 de diciembre 2020], disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.09.062> ISSN: 0960-1481
36. RODRIGUES RAMOS, Lucas y LUIZ SILVA, Edson. Continuous hydrogen production from cofermentation of sugarcane vinasse and cheese whey in a thermophilic anaerobic fluidized bed reactor. *International Journal of Hydrogen Energy*. [en línea], Volumen 43, número 29, 19 de julio de 2018, páginas 13081-13089, [Fecha de consulta 05 de enero 2021], disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.05.070> ISSN 0360-3199.
37. GHOSH, Shiladitya, DUTTA, Sambit, CHOWDHURY, Ranana. Ameliorated hydrogen production through integrated dark-photo fermentation in a flat plate photobiorreactor: Mathematical modelling and optimization of energy efficiency. *Energy Conversion and Management*, [en línea], volumen 226, 15 de diciembre 2020, 113549 [Fecha de consulta 10 de noviembre del 2020. 113549]. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.113549> ISSN 0196-8904

38. NUALSRI, Chatchawin, KONGJAN, Prawit y REUNGSANG, Alissara. Direct integration of CSTR-UASB reactors for two-stage hydrogen and methane production from sugarcane syrup. *International Journal of Hydrogen Energy*, [en línea] Volumen 41, número 40, 26 octubre del 2016, Páginas 17884-17895 [Fecha de consulta: 17 de noviembre del 2020] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2016.07.135> ISSN 0360-3199
39. CONTRERAS DÁVILA, Carlos Alberto, Producción de hidrógeno en sistemas continuos a partir de hidrolizados enzimáticos de bagazo de Agave tequilana Weber. Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica. [en línea] octubre 2015, páginas 71 [Fecha de consulta 18 de diciembre 2020] disponible en <https://repositorio.ipicyt.edu.mx/bitstream/handle/11627/3068/TMIPICYTC6P72015.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
40. NOBLECOURT, Alexandre, CHRISTOPHE, Gwendoline, LARROCHE, Christian, Pierre. FONTANILLE, Hydrogen production by dark fermentation from pre-fermented depackaging food wastes. *Bioresource Technology*. [en línea] Volumen 247, Junio 2018, paginas 864 – 870 [Fecha de consulta 10 de octubre 2020] Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.09.199> ISSN 090608524
41. HAMILTON, Christopher, CALUSINSKA, Magdalena, BAPTISTE, Stacy, MASSET, Julien, BECKERS, Laurent, THONART, Philippe, HILIGSMANN, Serge. Effect of the nitrogen source on the hydrogen production metabolism and hydrogenases of *Clostridium butyricum* CWB1009. *International Journal of Hydrogen Energy*, [en línea] volumen 43, número 11, marzo 2018, paginas 5451 – 5462, [Fecha de consulta 10 de octubre del 2020], Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2017.12.162> ISSN 0360-3199
42. GOPALAKRISHNAN, balachandar, KHANNA, Namita y DAS, Debabrata. Chapter 4 Dark-Fermentative Biohydrogen Production. *Biohydrogen (Second Edition)*. *Elsiever*. [en línea] 2019, paginas,79–122. [Fecha de consulta 14 de

diciembre del 2020], disponible en <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64203-5.00004-6> ISBN: 9780444642035

43. DESSÌ, Paolo, PORCA, Estefania, WATERS, Nicolas, R., LAKANIEMI, Aino-Maija, COLLINS, Gavin, & LENS, Piet. N. L. Thermophilic versus mesophilic dark fermentation in xylose-fed fluidised bed reactors: Biohydrogen production and active microbial community. *International Journal of Hydrogen Energy*. [en línea] volumen 43, número 11, Marzo 2018, páginas 5473–5485 [Fecha de consulta 10 de octubre 2020], disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.01.158> ISSN: 0360-3199
44. HAN, Wei, LIU, Da Na, SHI, Yi Wen, TANG, LI, Jun Hong, Yong Feng, REN, Nan Qi. Biohydrogen production from food waste hydrolysate using continuous mixed immobilized sludge reactors. *Bioresource Technology*, [en línea], Volumen 180, marzo 2015, paginas 54-58, [Fecha de consulta 10 de octubre 2020], Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.12.067> ISSN 0960-8524
45. PACHAPUR, Vinayak Laxman, SARMA, Saurabh Jyoti, BRAR, Satinder Kaur, BIHAN, Yann Le, BUELNA, Gerardo, VERMA, Mausam. Biohydrogen production by co-fermentation of crude glycerol and apple pomace hydrolysate using co-culture of *Enterobacter aerogenes* and *Clostridium butyricum*. *Bioresource Technology*, [en línea] volume 193, octubre del 2015, paginas 297-306, [Fecha de consulta 10 de octubre 2020] disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.06.095> ISSN: 0960-8524
46. DHAR, Bipro Ranjan, ELBESHBISHY, Elsayed, HAFEZ, Hisham, LEE, Hyung-Sool, Hydrogen production from sugar beet juice using an integrated biohydrogen process of dark fermentation and microbial electrolysis cell. *Bioresource Technology*, [en línea], volume 198, diciembre 2015, paginas 223 – 230, [Fecha de consulta 10 de octubre 2020], disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.08.048> ISSN 0960-8524

47. PATEL, Sangay KS, GUPTA, Raul K, DAS, Devashish, LEE, J.K., KALIA, VC, Continuous biohydrogen production from poplar biomass hydrolysate by a defined bacterial mixture immobilized on lignocellulosic materials under non-sterile conditions *Journal of Cleaner Production*, [en línea], 9 de noviembre 2020,125037 [Fecha de consulta 13 de octubre 2020], disponible en <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125037> ISSN 0959-6526.
48. WANG, Dongbo, DUAN, YuYing, YANG, Qi, LIU, Yiwen, Bing-Jie NI, WANG, Qilin, ZENG, Guangming, LI, Xiaoming y YUAN, Zhiguo, Free ammonia enhances dark fermentative hydrogen production from waste activated sludge. *Water Research*, [en línea] volume 133, 15 de abril del 2018, paginas 272-281 [Fecha de consulta 10 de octubre 2020], disponible en <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.01.051> ISSN 0043-1354
49. ARGUN, Hidayet., DAO, Siaka, Bio-hydrogen production from waste peach pulp by dark fermentation: Effect of inoculum addition. *International Journal of Hydrogen Energy*, [en línea] volume 42, número 4, enero 2017, paginas 2569-2574, [Fecha de consulta 11 de octubre 2020], Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2016.06.225> ISSN 0360-3199
50. SILVA ILLANES- Fernando, RUIZ-FILIPPI, Gonzalo. Impact of hydraulic retention time (HRT) and pH on dark fermentative hydrogen production from glycerol. *Energy*, [en línea], volume 141, 15 de diciembre del 2017, paginas 358-367, [Fecha de consulta 12 de octubre del 2020]. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.09.073> ISSN 0360-5442.
51. SYDNEY, Eduardo Bittencourt, NOVAK, Alessandra Cristine, ROSA, Drielly, MEDEIROS, Adriane Bianchi Pedroni, BRAR, Satinder Kaur, Christian LARROCHE, Carlos Ricardo SOCCOL. Screening and bioprospecting of anaerobic consortia for biohydrogen and volatile fatty acid production in a vinasse based medium through dark fermentation. *Process Biochemistry*, [en línea], volumen 67, , abril 2018, paginas 1-7, [Fecha de consulta 13 de octubre del

2018], disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2018.01.012> ISSN 1359-5113

52. MONTIEL-CORONA, Virginia, REVAH, Sergio, MORALES, Marcia. Hydrogen production by an enriched photoheterotrophic culture using dark fermentation effluent as substrate: Effect of flushing method, bicarbonate addition, and outdoor–indoor conditions. *International Journal of Hydrogen Energy*, [en línea] Volumen 40, número 30, 10 de Agosto del 2015, páginas 9096-9105, [Fecha de consulta 12 de octubre 2020], disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2015.05.067> ISSN 0360-3199.
53. HAN, Wei, YE. Min, ZHU, Ai Jun, ZHAO, Hong Ting, Yong, LI, Feng. Batch dark fermentation from enzymatic hydrolyzed food waste for hydrogen production. *Bioresource Technology*. [en línea] Volume 191 setiembre 2015, Páginas 24-29, [Fecha de consulta 15 de octubre del 2020], disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.04.120> ISSN 0960-8524.
54. WEIDE, Tobias, PEITZMEIER, Jens, WETTER, Christof, WICHERN, Marc, BRÜGGING, Elmar. Comparison of thermophilic and hyperthermophilic dark fermentation with subsequent mesophilic methanogenesis in expanded granular sludge bed reactors. *International Journal of Hydrogen Energy*, [en línea] diciembre 2020, [Fecha de consulta 18 de diciembre 2020], disponible en <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.11.156> ISSN 0360-3199
55. DOMINGUEZ GRANDA, Julio Benjamin, Manual de Metodología de la Investigación Científica. [en línea] Libros ULADECH Católica. Isued: 09-07-2016 [Fecha de consulta 23 de octubre 2020] Disponible en: <http://repositorio.uladech.edu.pe/handle/123456789/6404> ISBN: 978-612-4308-01-7
56. PRABAKAR, Desika, MANIMUDI, Varshini T., SUVETHA K, Subha, SAMPATH Swetha, MAHAPATRA, Durga Madha, RAJENDRAN Karthik, PUGAZHENDHI, Arivalagan. Advanced biohydrogen production using pretreated industrial

waste: Outlook and prospects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, [en línea], volumen 96, noviembre del 2018, paginas 306-324. [Fecha de consulta 12 de noviembre 2020], Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.08.006> ISSN: 1364-0321

57. LIU, Xuran, HE, Dandan, WU, Yanxin, XU, Qiuxiang, WANG, Dongbo, YANG, Qi, LIU, Yiwen, NI, Bing-Jie, WANG, Qilin, LI, Xiaoming, (2019). Freezing in the presence of nitrite pretreatment enhances hydrogen production from dark fermentation of waste activated sludge. *Journal of Cleaner Production*, [en línea] volumen 248, 01 de marzo 2020, [Fecha de consulta 28 de diciembre 2020], 119305, disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119305> ISSN 0959-6526
58. WANG, Yong, XI, Beidou, LI, Mingxiao, JIA, Xuan, WANG, Xue, XU, Pei, ZHAO, Yujiao. Hydrogen production performance from food waste using piggery anaerobic digested residues inoculum in long-term systems. *International Journal of Hydrogen Energy*, [en línea] Volume 45, Issue 58, 27 de noviembre 2020, Paginas 33208-33217, [fecha de consulta 30 de diciembre 2020] disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.09.057> ISSN 0360-3199
59. MAHATA, Chandan, DHAR, Suman, RAY, Subhabrata, DAS, Debabrata. Effect of thermal pretreated organic wastes on the dark fermentative hydrogen production using mixed microbial consortia. *Fuel*. [en línea] Volume 284, 15 de enero 2021, 119062, [Fecha de consulta 02 de enero 2021] disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.119062> ISSN 0016-2361
60. NIU, Qianqian, XU, Qiuxiang, WANG, Yali, WANG, Dongbo, LIU, Xuran, LIU, Yiwen, WANG, Qilin, NI, Bing-Jie, YANG, Qi, LI, Xiaoming, LI, Hailong. Enhanced hydrogen accumulation from waste activated sludge by combining ultrasonic and free nitrous acid pretreatment: Performance, mechanism, and implication. *Bioresource Technology*. [en línea], Volumen 285, Agosto 2019, 121363, [Fecha de consulta 31 de diciembre 2020], disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.121363> ISSN 0960-8524.

61. MONTIEL-CORONA, Virginia, PALOMO-BRIONES, Rodolfo, RAZO-FLORES, Elías, Continuous thermophilic hydrogen production from an enzymatic hydrolysate of agave bagasse: Inoculum origin, homoacetogenesis and microbial community analysis, *Bioresource Technology*, [en línea], Volume 306 , junio 2020, 123087, [Fecha de consulta 31 de diciembre 2020] disponible en <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123087> ISSN: 0960-8524
62. HERNÁNDEZ SAMPIERI, Roberto., FERNÁNDEZ CALLADO, Carlos y BAPTISTA LUCIO, María del Pilar. Metodología de la investigación, [en línea] 2014. (6ª ed.). México D. F.: McGraw Hill. 0. Fecha de consulta [28 de diciembre 2020] Disponible en: <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf> ISBN: 978-1-4562-2396-
63. CHOZHAVENDHAN, S., RAJAMEHALA, M., KARTHIGADEVI, G., PRAVEENKUMAR, R., BHARATHIRAJA, B. A review on feedstock, pretreatment methods, influencing factors, production and purification processes of bio-hydrogen production. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*. [en línea], volumen 2, setiembre 2020, 100038, [Fecha de consulta 04 de enero 2021], disponible en <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2020.100038> ISSN 2666-0164

## ANEXOS

Anexo 01. Matriz de Operacionalización de Categoría (cualitativo)

Producción de Hidrógeno Mediante Fermentación Oscura. Revisión Sistemática.2020

<b>Anexo 01. Matriz de Operacionalización de Categoría (cualitativo)</b>					
<b>CATEGORÍA DE ESTUDIO</b>	<b>DEFINICIÓN CONCEPTUAL</b>	<b>DEFINICIÓN OPERACIONAL</b>	<b>SUB CATEGORÍAS</b>	<b>INDICADORES</b>	<b>ESCALA DE MEDICIÓN</b>
<i>Producción de hidrógeno por fermentación oscura</i>	<i>El Hidrógeno es considerado una energía limpia y de alta densidad energética (122 Kj / g) tres veces mayor que los combustibles de hidrocarburos (PURANJAN, M., et al, 2019, p.1)</i>	<i>La producción de hidrógeno mediante fermentación oscura permite la mayor producción de hidrógeno utilizando residuos orgánicos, sin embargo la producción de hidrógeno está limitado a las condiciones operativas.</i>	<i>Identificación de residuos orgánicos</i>	<i>Materia prima</i>	<i>Volúmenes</i>
			<i>Fermentación oscura</i>	<i>Cambios estructurales</i>	<i>Producción de H</i>

	<p>La fermentación oscura es una alternativa tecnológica que permite obtener biohidrógeno utilizando diferentes residuos orgánicos como materia prima (NAVARRO-DIAZ, M., et al, 2019.p.1) en ausencia de luz donde actúan grupos de bacterias anaeróbicas (SING, V. Y DAS, Das, 2019)</p>		<p>Descripción de condiciones operativas</p>	<p>Cambios en color, pH, T°</p>	<p>Instrumentos de medición</p>
<p>Factores que intervienen en el proceso</p>	<p>El Factor es la circunstancia que contribuye a producir un resultado, así como inóculos, sustrato, tipo</p>	<p>Las condiciones operativas a la que se debe someter los diferentes residuos orgánicos a través del proceso de fermentación,</p>	<p>Condiciones de pH</p>	<p>Cambios de acides o basicidad del producto orgánico</p>	<p>Peachímetro</p>
			<p>Tipos de reactores</p>	<p>Reactor Anaeróbico de Flujo</p>	<p>Ordinal</p>

	de reactor, nitrógeno, fosfato, ion metálico, temperatura y pH.(CONTRERAS DÁVILA, C A., 2017, p. 1)	permitirá definir la producción de hidrógeno en mayor o menor escala, en función del tipo de biorreactor a utilizar		Ascendente, (UASB)	
	Reactor de Lecho Fluidizado Anaeróbico (FABR)				
Proceso en la producción de hidrógeno incluyen los pretratamiento que influyen en la producción de biohidrógeno (CHOZHAVENDHAN, S., et al, 2020)	Biorreactor de placa plana (FPPBR)				
	Reactor de tanque agitado continuo (CSTR)				
	Reactor reproductor rápido, FBR				
	Identificación de pretratamientos	Ácidos diluidos	Ordinal		
		Congelamiento			
		Térmico			
		Ultrasónico			

Fuente: Elaboración propia.



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**Declaratoria de Originalidad del Autor / Autores**

Yo (Nosotros), VÁSQUEZ FLORES, DORIS, egresada de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA y Escuela Profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO, declaro (declaramos) bajo juramento que todos los datos e información que acompañan al Trabajo de Investigación / Tesis titulado: "PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO MEDIANTE FERMENTACIÓN OSCURA. REVISIÓN SISTEMÁTICA, 2020", es de mi (nuestra) autoría, por lo tanto, declaro (declaramos) que la Tesis:

1. No ha sido plagiado ni total, ni parcialmente.
2. He (Hemos) 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 o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

En tal sentido asumo (asumimos) 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.

Lima, 02 de febrero del 2021.

<b>Apellidos y Nombres de la Autora</b>	<b>Firma</b>
Vásquez Flores, Doris <b>DNI:</b> 42896707 <b>ORCID:</b> 0000-0003-3161-8359	