

**REVISIÓN SISTEMÁTICA DE METODOLOGÍAS DE EXTRACCIÓN,  
CUANTIFICACIÓN Y PARÁMETROS OPERATIVOS EN LA DIGESTIÓN ANAEROBIA  
PARA LA OBTENCIÓN DE ÁCIDOS GRASOS EN LA FASE ACIDOGÉNICA APARTIR  
DE RESIDUOS ORGÁNICOS Y/O LODOS PROVENIENTES DE LAS PLANTAS DE  
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.**

**GABRIELA POVEDA LONDOÑO**

**TUTOR**

**SEBASTIÁN ISAAC PACHECO GONZALES**

**MODALIDAD: REVISIÓN DE TEMA**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE MANIZALES  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
INGENIERÍA AMBIENTAL  
MANIZALES, CALDAS**

**2021**

## TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	2
2. OBJETIVOS.....	3
2.1 GENERAL.....	3
2.2 ESPECÍFICOS.....	3
3. PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA.....	3
4. MARCO TEÓRICO.....	3
5. METODOLOGÍA.....	4
5.1 CRITERIOS DE EVALUACIÓN.....	5
5.2 CALIFICACIÓN DE ARTÍCULOS.....	6
6. BIBLIOMETRÍA.....	7
6.1 AÑO.....	7
6.2 AÑO Y FUENTE.....	8
6.3 AUTORES.....	8
6.4 INSTITUCIONES.....	9
6.5 PAÍS O TERRITORIO.....	9
6.6 TIPO DE DOCUMENTO.....	10
6.7 ÁREAS DE ESTUDIO.....	11
6.8 INSTITUCIONES FINANCIADORAS.....	11
7. RESULTADOS.....	12
8. DESARROLLO Y DISCUSIÓN.....	13
8.1 SUSTRATO.....	13
8.2 pH.....	14
8.3 TEMPERATURA.....	14
8.4 TRH Y TRS.....	15
8.5 METODOLOGÍA DE EXTRACCIÓN Y CUANTIFICACIÓN.....	15
9. CONCLUSIONES.....	17
10. RECOMENDACIONES.....	18
11. REFERENCIAS.....	18

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Documentos publicados por año.....	8
<b>Figura 2.</b> Documentos publicados por año y por fuente. ....	8
<b>Figura 3.</b> Documentos publicados por autor. ....	9
<b>Figura 4.</b> Documentos publicados por filiación institucional.....	9
<b>Figura 5.</b> Documentos publicados por país o territorio.....	10
<b>Figura 6.</b> Documentos publicados por tipo. ....	10
<b>Figura 7.</b> Documentos publicados por área de estudio.....	11
<b>Figura 8.</b> Documentos publicados por las diferentes instituciones financiadoras.....	12

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Calificación de artículos consultados en las bases de datos. ....	7
<b>Tabla 2.</b> Resultados basados en la metodología propuesta por M. A. Jurado y C.A. Ramírez. ....	12
<b>Tabla 3.</b> Cantidad de ácidos grasos producidos por digestión anaerobia para residuos orgánicos y lodos residuales. ....	15
<b>Tabla 4.</b> Tecnologías para recuperación de AGV utilizada en algunos artículos de investigación. ....	16

## **RESUMEN.**

Los ácidos grasos son fuentes de materia prima de distintos sectores industriales como el farmacéutico, químico, alimentario, etc., además se emplean para la producción de biocombustibles, bioplásticos, pinturas, jabones, lubricantes y muchos otros productos del mercado. Estos ácidos se pueden producir de manera sintética o biológica. Debido a la alta producción de residuos orgánicos y a la producción de lodos que se producen en las PTAR, se han buscado alternativas que brinden una solución a la problemática ambiental generada por estos residuos. Una de estas es la fermentación para la obtención de AGV, su producción depende de parámetros operativos como pH, temperatura y TRH o TRS principalmente, ya que de ellos va a depender la cantidad, concentración y tipo de ácido obtenido. Las principales técnicas para la separación de estos ácidos del caldo de fermentación son mediante los sistemas de filtración y la extracción líquido-líquido, y para su cuantificación, la técnica más empleada es la cromatografía de gases.

**Palabras clave:** Ácidos grasos, fermentación, residuos orgánicos, lodos, filtración, digestión anaerobia.

## **ABSTRACT.**

Fatty acids are sources of raw material for different industrial sectors such as pharmaceuticals, chemicals, food, etc., They are also used to produce biofuels, bioplastics, paints, soaps, lubricants and many other products on the market. These acids can be produced synthetically or biologically. Due to the high production of organic waste and the production of sludge produced in the WWTPs, alternatives have been sought that provide a solution to the environmental problems generated by these wastes. One of these is fermentation to obtain VFA, its production depends on operating parameters such as pH, temperature and HRT or TRS mainly, since the amount, concentration and type of acid obtained will depend on them. The main techniques for the separation of these acids from the fermentation broth are through filtration systems and liquid-liquid extraction, and for their quantification, the most used technique is gas chromatography.

**Keywords:** Fatty acids, fermentation, organic waste, sludge, filtration, anaerobic digestion.

## 1. INTRODUCCIÓN

Actualmente el mundo está viviendo una problemática ambiental por la alta cantidad de residuos que se están generando. La población cada año aumenta su número, se estima que para el 2050 se llegue a 9.700 millones, y, para 2.100 cerca de 11.000 millones de habitantes. (ONU, 2021), lo que conlleva a que haya una mayor demanda de los recursos naturales para aspectos como: alimentación, vestuario, vivienda, agua, salud y otros. Este aumento en la producción y en el consumo genera cada día más residuos de todo tipo. Según la ONU, cada año la población mundial genera 11.200 millones de toneladas de residuos sólidos, de los cuales solo el 16% es reciclado y reintegrado a los distintos procesos productivos y a su vez se ha generado desde 1970 un aumento del 45% en el consumo de combustibles fósiles. (ONU, 2021)

Los ácidos carboxílicos, también conocidos como ácidos orgánicos o grasos, son fuente de materia prima que se puede obtener de manera biológica o sintética de distintos tipos sectores industriales como el farmacéutico, alimentario y también en industrias específicas como lo son la producción de plásticos, lubricantes, pinturas, jabones, biocombustibles, etc., esto debido a que su aplicación no genera repercusiones en la salud humana.

La producción de ácidos grasos volátiles (AGV) se da hoy en día de forma sintética, lo que acarrea grandes problemas ambientales como por ejemplo el uso de combustibles fósiles, sin embargo, hay existencia de otros métodos de producción de estos, como lo es por medio de tratamientos anaerobios que involucran la fermentación de la biomasa, lo cual representa una gran ventaja en estos procesos ya que la materia prima proviene de fuentes renovables, como los desechos orgánicos y/o lodos provenientes de las plantas de tratamiento de aguas residuales, además de ser un proceso que se da de forma natural por medio de bacterias fermentativas con ausencia de oxígeno (digestión anaerobia). Estas tecnologías que son innovadoras actualmente responden a la preocupación de los estados y organizaciones ambientales por diseñar procesos que sean sostenibles y que generen menos impactos ambientales.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 GENERAL

Se realizó una revisión sistemática de parámetros de extracción de ácidos grasos de alto valor en la fase acidogénica en tratamientos de digestión anaerobia.

### 2.2 ESPECÍFICOS

1. Se empleó una bibliometría de las metodologías y parámetros operativos para la extracción de ácidos de alto valor durante la fase acidogénica de la digestión anaerobia.
2. Se sistematizó la información consultada, tomando como variable de respuesta el porcentaje de extracción de ácidos y como variables de estudio los parámetros de operación y métodos de extracción y cuantificación.
3. Se redactó un artículo de revisión bibliográfica, donde se analizaron las variables de estudio, el porcentaje de ácidos obtenidos y métodos de extracción y cuantificación en base a la bibliometría realizada.

## 3. PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA.

Los ácidos carboxílicos, también conocidos como ácidos grasos u orgánicos, que se distribuyen en diferentes tipos como acético, láctico, cítrico, málico, son fuente de materia prima que se puede obtener de manera biológica o sintética de distintos sectores industriales como el farmacéutico, alimentario y también en industrias específicas como la producción de plásticos, lubricantes, pinturas, jabones, biocombustibles, etc., esto debido a que su aplicación no genera repercusiones en la salud humana, y además no se generan impactos ambientales ya que se encuentran presentes de manera natural en plantas y/o frutos. Por lo tanto, debido a su alto grado de consumo, se han desarrollado diferentes metodologías de extracción en procesos donde hay presencia de estos ácidos, uno de estos es el tratamiento de digestión anaerobia donde hay formación de ácidos grasos (como el ácido acético y el ácido propiónico), por acción de bacterias fermentativas que transforman la biomasa (desechos orgánicos). Para estas extracciones se han propuesto tecnologías innovadoras como la destilación reactiva, la precipitación de sales, el uso de membranas, adsorción o la extracción líquido – líquido, entre otras; el limitante que representan estos procesos son sus altos costos, especialmente para el último mencionado, ya que los costos de operación superan a los costos de capital que requiere un proceso de extracción general. (Sánchez,2016), y por otro lado no se han realizado suficientes investigaciones sobre esta temática que determinen los parámetros óptimos de operación para obtener una adecuada cantidad y concentración de ácidos grasos.

## 4. MARCO TEÓRICO

**Digestión anaerobia:** Es un proceso de fermentación microbiana, donde se presenta ausencia parcial o total de oxígeno que da paso a una mezcla de gases, en los cuales se encuentran principalmente el metano ( $\text{CH}_4$ ) y el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), que, al mezclarse, con una proporción de 50 a 70% de metano y de un 30 a 50% de dióxido de carbono, se obtiene el producto principal que es el biogás. (Corrales, Antolínez, Bohórquez, Corredor, 2015, p. 58).

El proceso de digestión anaerobia se divide en 4 fases, las cuales son:

**Hidrólisis:** En esta etapa se da la degradación de compuestos orgánicos complejos como los carbohidratos, a compuestos orgánicos simples como el azúcar, esto para que sean capaces de atravesar la membrana celular. Para este proceso actúan las enzimas hidrolasas, producidas por bacterias fermentativas, las cuales tienen la capacidad de solubilizar los compuestos orgánicos y romper enlaces con la acción del agua para poder proceder a utilizarlas. (Corrales, Antolinez, Bohórquez, Corredor, 2015, p. 60).

**Acidogénesis:** En esta etapa se da el proceso de fermentación, la cual se basa en convertir los compuestos simples como el azúcar o aminoácidos, en ácidos grasos volátiles de cadena corta (AGCC) y alcoholes, por acción de bacterias fermentativas acidogénicas las cuales poseen distintas capacidades y características. Los compuestos simples pueden ser utilizados en distintas rutas de fermentación como la alcohólica, láctica y acética. (Corrales, Antolinez, Bohórquez, Corredor, 2015, p. 61).

En esta etapa hay producción de ácidos grasos (AGV), los cuales son una clase de compuestos ampliamente utilizados en la industria química, que sirven como moléculas de partida para la producción de bioenergía y para la síntesis de una variedad de productos como biopolímeros, productos químicos reducidos y derivados. (Strazzer, Battista, García, Frison, Bolzonella, 2018).

Algunos AGV son: ácido acético, ácido propiónico, ácido láctico, ácido fórmico, ácido butírico, ácido valérico. También hay presencia de compuestos como etanol, butanol y acetona.

**Acetogénesis:** En esta etapa se aceleran los procesos metabólicos de las bacterias para que los productos que son generados en la etapa de la acidogénesis como los ácidos grasos volátiles, se conviertan en acetato ( $\text{CH}_3\text{COO}^-$ ), dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e hidrógeno ( $\text{H}_2$ ), los cuales van a servir como fuente de energía de las bacterias metanogénicas. (Corrales, Antolinez, Bohórquez, Corredor, 2015, p. 66).

**Metanogénesis:** Es la última etapa en el proceso de digestión anaerobia. Se da la formación de metano, la cual puede darse por dos vías: 1. Acetoclástica, en la cual las bacterias metanogénicas acetoclásticas crecen en su sustrato; 2. Hidrogenotrófica en la cual las bacterias metanogénicas hidrogenotróficas crecen en sustratos como hidrógeno y dióxido de carbono. Para las dos vías el producto final es el metano  $\text{CH}_4$ , con una eficiencia del 27 al 30% por la vía hidrogenotrófica y el 70% por la vía acetoclástica. (Corrales, Antolinez, Bohórquez, Corredor, 2015, p. 66).

## 5. METODOLOGÍA

### Objetivo 1.

1. Se realizó la bibliometría según: el año, fuente, autor, institución, país, tipo de documento, área de estudio e institución que más publicaciones ha realizado sobre la temática expuesta en este documento.

### Objetivo 2.

1. Se buscó en revistas indexadas, (40 artículos de los cuales 20 fueron en inglés).
2. Se elaboró una tabla donde se sistematizó y sintetizó la información extraída de los 40 artículos.

3. Teniendo en cuenta las bases de datos sciencedirect, SciELO entre otras, se seleccionaron 13 artículos que tuvieron una calificación total igual o mayor a 4.0 de los 40 artículos encontrados en los cuales exponían las condiciones de operación óptimas en el estudio para la producción de ácidos grasos y la técnica usada para la extracción y cuantificación de estos.

La metodología usada para este fin fue una revisión que permitió identificar si había vacíos o, si, por el contrario, se podía tomar una decisión “coherente” que permitiera una investigación posterior con criterio, basado en el procedimiento desarrollado por autores como M. A. Jurado y C.A. Ramírez.

En este caso, la revisión se centró en 13 o más artículos que han experimentado algún tratamiento teniendo en cuenta cuatro aspectos importantes: Porcentaje de extracción, metodología, tipo de ácidos obtenidos y parámetros operativos.

El sistema de evaluación se realizó teniendo en cuenta las siguientes ecuaciones:

- PAA%= porcentaje de artículos que responden a cada pregunta:

$$(1) PPA\% = \frac{\text{total de artículos que responden a cada pregunta}}{\text{total de artículos consultados}} \times 100$$

- APPA%=Promedio de los porcentajes de artículos que responden a cada uno:

$$(2) APPA\% = \frac{\sum PAA\%n}{N^{\circ} \text{total de preguntas}}$$

- MAPPA%= Porcentaje de artículos que responden a cada una de las preguntas:

$$(3) MAAPPA\% = \frac{APPA\%}{3}$$

Condición, Si  $PAA\%n < MAPPA\%$  existen vacíos.

## 5.1 CRITERIOS DE EVALUACIÓN

Para esta investigación se tomó como punto de partida el diseño de 5 criterios que permitieran evaluar los 40 artículos científicos seleccionados. Estos criterios salieron de una previa investigación y revisión de artículos que permitieron conocer los parámetros óptimos de operación, cuantificación y técnica de extracción de la digestión anaerobia para la producción de ácidos grasos, los cuales fueron:

1. ¿El estudio evaluó la cantidad y concentración de ácidos carboxílicos obtenidos mediante el proceso de digestión anaerobia?
2. ¿Durante el estudio se realizó control y registro del pH durante el proceso de digestión anaerobia?
3. ¿El estudio realizó registros de los tiempos de retención y se puede determinar el tiempo para la extracción de los ácidos orgánicos, teniendo en cuenta que estos deben ser bajos para inhibir la etapa metanogénica?
4. ¿El estudio expuso durante la investigación el método o técnica empleado para la extracción de los ácidos grasos obtenidos?

5. ¿En el estudio se evidenció el registro de la temperatura durante el proceso de formación de los ácidos y la temperatura en el momento de extracción de estos?

## 5.2 CALIFICACIÓN DE ARTÍCULOS

En la Tabla 1 se puede observar la calificación de 40 artículos científicos extraídos de bases de datos como ScienceDirect y SciELO principalmente. Para cada artículo se calificó de manera individual cada criterio (C1, C2, C3, C4 y C5) mencionados en el apartado **5.1 Criterios de Evaluación**, teniendo en cuenta el siguiente método de calificación:

0.0 a 1.9 – Deficiente

2.0 a 2.9 – Insuficiente

3.0 a 3.9 – Aceptable

4.0 a 4.9 – Bueno

5.0 – Excelente

Luego de esto se procedió a realizar un ponderado (Total) de la calificación de los 5 criterios para cada artículo y se identificaron los que brindaban una información más completa y detallada sobre la temática tratada en esta revisión.

Se seleccionaron los artículos con una calificación total igual o mayor a 4.0.

#	Artículo	C1	C2	C3	C4	C5	Total
1	Herrera. (2020)	5	5	5	0	5	4
2	Behling et al. (1996)	5	0	3	5	5	3,6
3	Campos. (2001)	2	0	0	5	3	2
4	Ortegón. (2016)	1	5	1	0	5	2,4
5	Colzi y Estrada. (2020)	2	0	2	3	1	1,6
6	Giacoman et al. (2019)	3	0	3	4	0	2
7	Schultz et al. (2018)	4	0	4	4	5	3,4
8	Palomino et al. (2016)	5	5	5	4	5	4,8
9	Gameiro et al. (2016)	3	1	1	2	1	1,6
10	Dahiya et al. (2015)	5	5	4	4	4	4,4
11	Aguirre et al. (2017)	4	4	3	5	4	4
12	Kuruti et al. (2017)	3	4	0	2	3	2,4
13	Liu et al. (2011)	5	4	0	5	0	2,8
14	Hao y Wang. (2014)	5	0	3	5	5	3,6
15	Chen et al. (2017)	3	4	0	4	0	2,2
16	Jankowska et al. (2015)	3,5	4	5	5	3	4,1
17	Wainaina et al. (2018)	1	1	5	5	0	2,4
18	García et al. (2019)	5	5	5	5	5	5
19	Feng et al. (2018)	5	5	1	4	5	4
20	Jiang et al. (2013)	5	5	5	5	5	5
21	Li et al. (2018)	3	5	0	3	0	2,2
22	Lim et al. (2008)	5	5	5	3	5	4,6
23	Liu et al. (2018)	5	0	3	5	0	2,6
24	Longo et al. (2015)	3	5	1	1	5	3
25	Ma et al. (2015)	5	5	5	5	0	4
26	Stein et al. (20179)	5	5	4	0	4	3,6
27	Wu et al. (2016)	4	4	3	3	4	3,6

28	Yin et al. (2016)	4	4	5	4	4	4,2
29	Yuan et al. (2015)	4	5	4	3	4	4
30	Zhao et al. (2015)	3	5	3	0	4	3
31	Yuan et al. (2006)	2	5	3	5	2	3,4
32	Zhao et al. (2017)	5	5	5	5	3	4,6
33	Hong & Haiyun. (2010)	1	3	2	4	2	2,4
34	Yuan et al. (2009)	5	4	2	3	4	3,6
35	Ucisik & Henze. (2008)	4	3	1	3	3	2,8
36	Banerjee et al. (1998)	5	2	4	1	5	3,4
37	Feng et al. (2011)	5	5	4	4	2	4
38	Wang et al. (2014)	3	5	5	4	1	3,6
39	Komemoto et al. (2000)	4	2	2	4	5	3,4
40	Xu et al. (2012)	4	2	5	1	4	3,2

**Tabla 1.** Calificación de artículos consultados en las bases de datos. *Fuente: Propia.*

## 6. BIBLIOMETRÍA

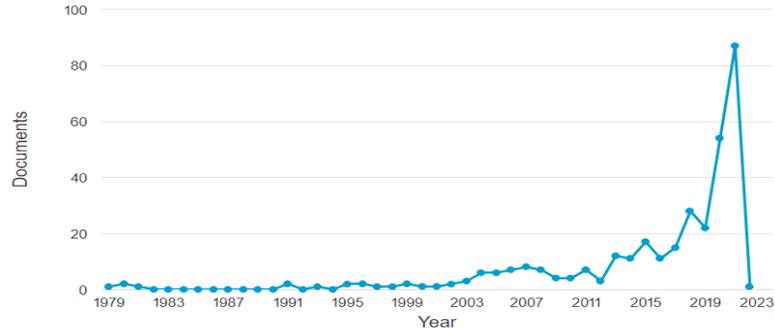
La bibliometría como metodología para esta investigación fue una herramienta significativa, puesto que por medio de ella se pudieron considerar elementos como palabras claves, tipo de documento, país de publicación, autores, etc., que podían brindar una idea más clara sobre el tipo de información que se deseaba y necesitaba encontrar. Así como también permitió cuantificar la información para determinar el nivel de utilidad que podía proporcionar el documento a estudiar para la investigación realizada en este documento.

El diseño de este trabajo fue no experimental, de nivel descriptivo y análisis retrospectivo. El diseño no experimental es cuando no se alteran las variables, se realiza un análisis o descripción de las variables de estudio según lo que se manifiesta en su contexto natural. Nivel descriptivo se refiere a la descripción de datos y la caracterización de la población y el análisis retrospectivo por que se desarrolla a través del uso de datos ya existentes.

Por otro lado, la base de datos de donde se obtuvo la información para el análisis fue de Scopus, de la cual se pudo obtener la siguiente información.

### 6.1 AÑO

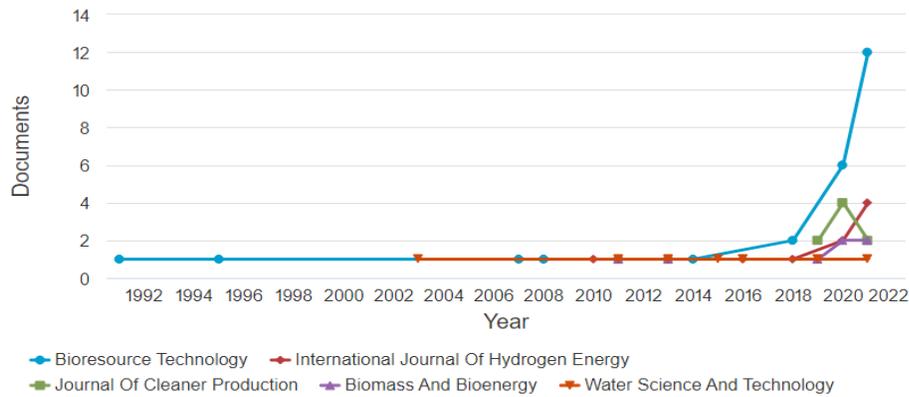
Como se puede observar en la Figura 1., los documentos publicados respecto a la obtención de ácidos grasos volátiles por medio de sistemas de digestión anaerobia, muestran un aumento creciente, progresivo y constante en los últimos 5 años. En el año 2014 se contaba con 11 publicaciones, mientras que para el 2020 aumentaron a 54 y finalmente para el 2021 se publicaron 87 documentos.



**Figura 1.** Documentos publicados por año. *Fuente:* [www.scopus.com](http://www.scopus.com)

## 6.2 AÑO Y FUENTE

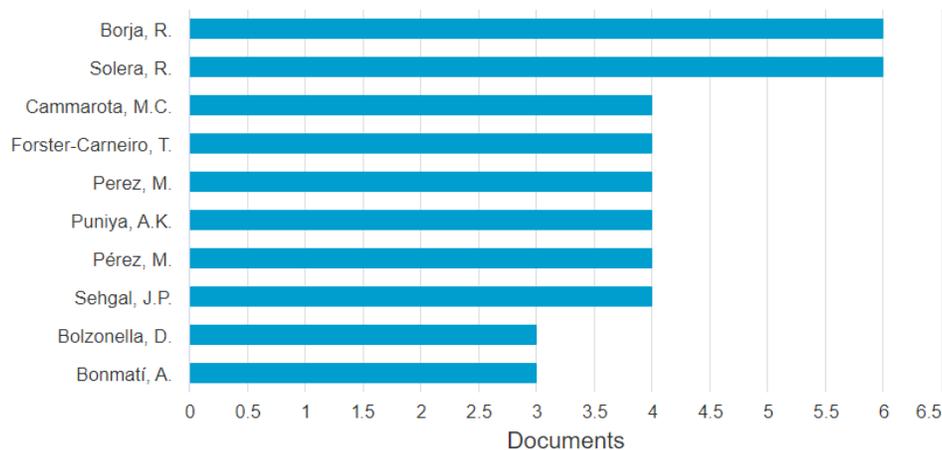
Como se observa en la Figura 2., las fuentes donde más se publicaron documentos que tratan la temática de obtención de ácidos grasos por medio de digestión anaerobia fueron Bioresource Technology con 27 publicaciones que aumentaron a partir del año 2014, luego se encuentra International Journal Of Hydrogen Energy con 10 publicaciones, las cuales aumentaron para el año 2018 y Journal Of CleanerProduction con 8 publicaciones a partir del 2018.



**Figura 2.** Documentos publicados por año y por fuente. *Fuente:* [www.scopus.com](http://www.scopus.com)

## 6.3 AUTORES

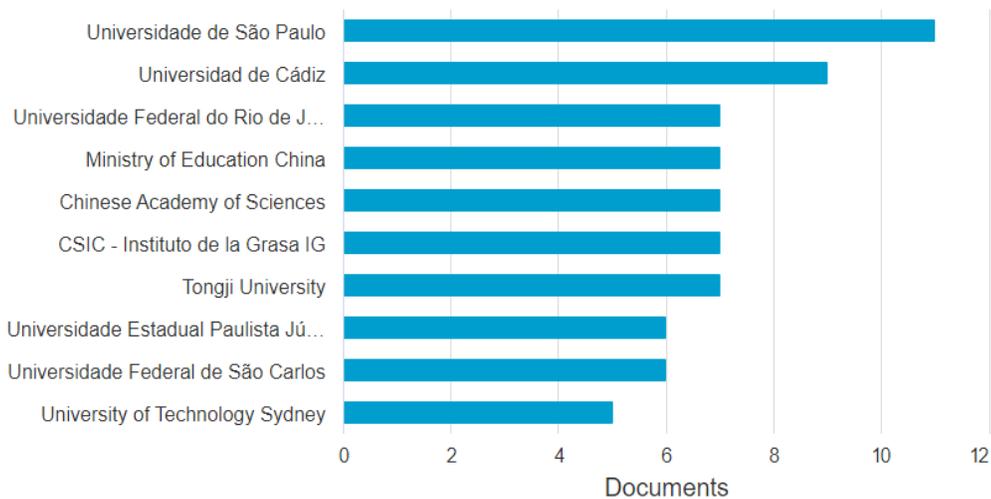
En la Figura 3., encontramos que el autor que el autor que más documentos ha publicado han sido Borka,R y Solera,R con 6 publicaciones, seguidos por Cammarota,M.C y Forster,J con 4 publicaciones.



**Figura 3.** Documentos publicados por autor. Fuente: [www.scopus.com](http://www.scopus.com)

## 6.4 INSTITUCIONES

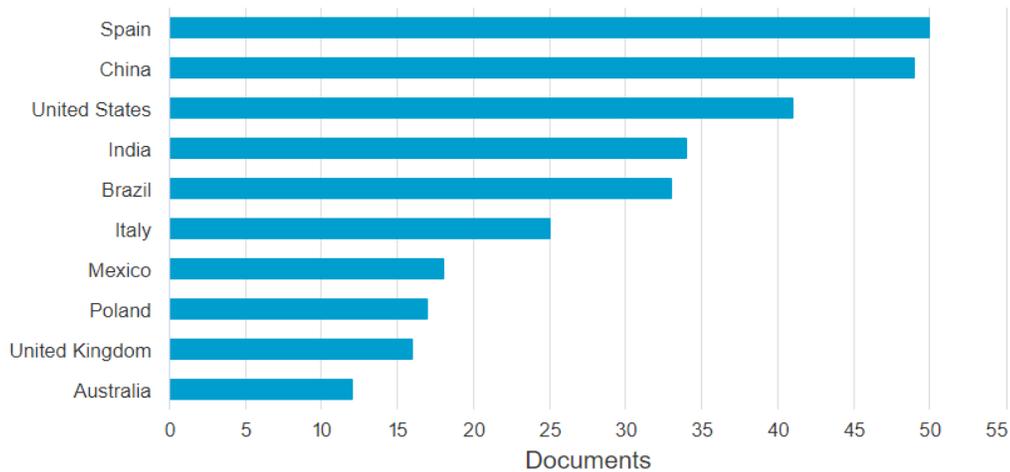
En la Figura 4., encontramos que la institución que más publicaciones ha realizado es la Universidad de Sao Paulo con 11 documentos, luego la Universidad de Cádiz con 9 publicaciones y finalmente la Universidad Federal do Rio de Janeiro con 7 documentos publicados.



**Figura 4.** Documentos publicados por filiación institucional. Fuente: [www.scopus.com](http://www.scopus.com)

## 6.5 PAÍS O TERRITORIO

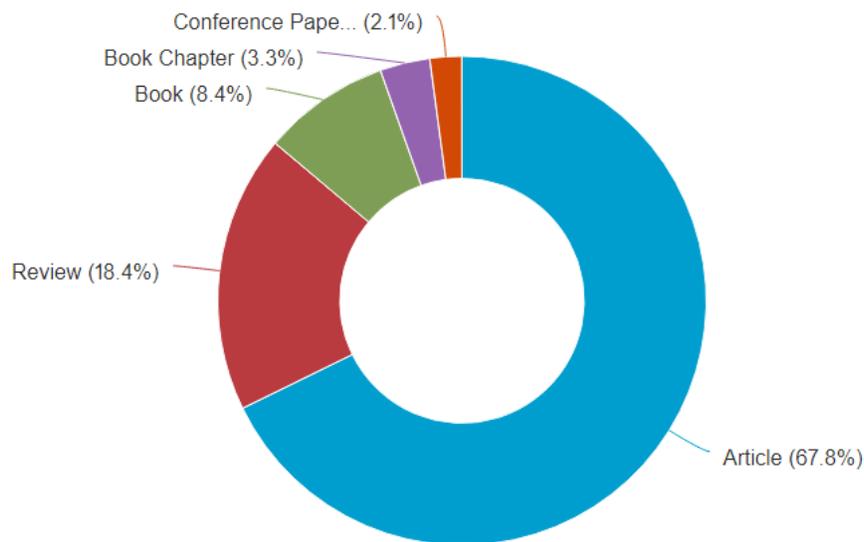
De la Figura 5., obtuvimos que el país que más publicaciones ha realizado es España con 50, luego China con 49 y por último Estados Unidos con 41 publicaciones.



**Figura 5.** Documentos publicados por país o territorio. *Fuente:* [www.scopus.com](http://www.scopus.com)

## 6.6 TIPO DE DOCUMENTO

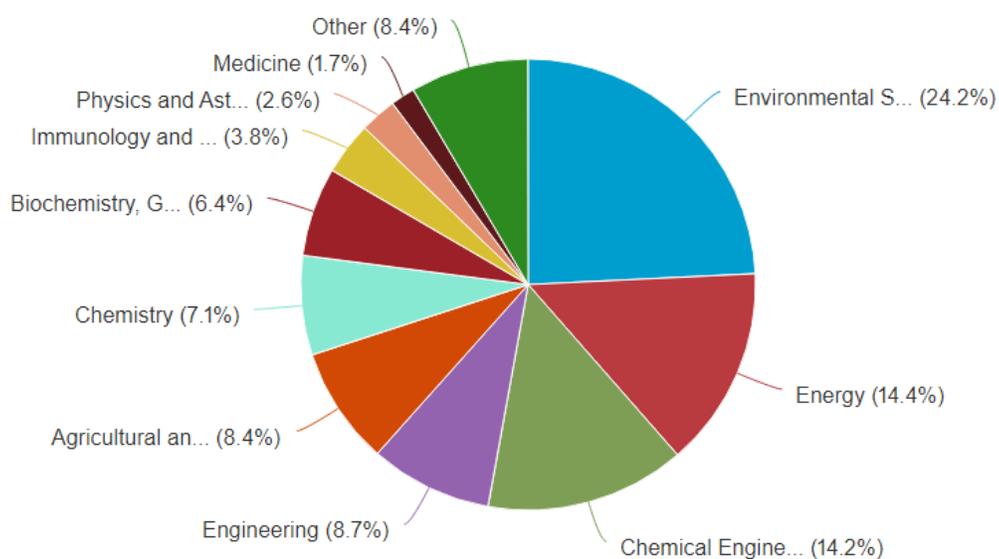
En la Figura 6., obtuvimos que el tipo de documento que más se ha publicado es el Artículo con el 67,8% que corresponde a 225 publicaciones, luego la Revisión con el 18,4% que representa a 61 publicaciones y finalmente, los Libros con el 8,4% que corresponde a 28 publicaciones.



**Figura 6.** Documentos publicados por tipo. *Fuente:* [www.scopus.com](http://www.scopus.com)

## 6.7 ÁREAS DE ESTUDIO

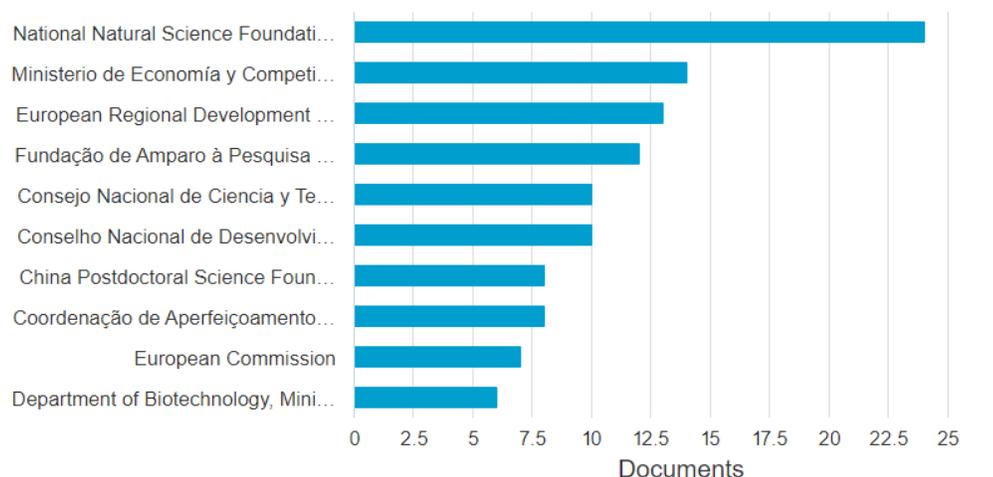
En la Figura 7., observamos que existen distintas áreas de estudio, de las cuales, para la temática expuesta en esta revisión, el área que más publicaciones ha realizado es la Ambiental con el 24,2% que corresponde a 167 publicaciones que han ido incrementando con los años, luego la energética con un 14,4% relacionado a 99 publicaciones y la Ingeniería Química con el 14,2% que representa a 98 publicaciones a lo largo del tiempo.



**Figura 7.** Documentos publicados por área de estudio. Fuente: [www.scopus.com](http://www.scopus.com)

## 6.8 INSTITUCIONES FINANCIADORAS

Finalmente, en la Figura 8., encontramos las instituciones que más han financiado las investigaciones y publicaciones sobre la temática en esta revisión, iniciando por la National Natural Science Foundation Of China con 24 documentos publicados, seguido del Ministerio de Economía y Competitividad con 14 y la European Regional Development Fund con 13 publicaciones.



**Figura 8.** Documentos publicados por las diferentes instituciones financiadoras. *Fuente:* [www.scopus.com](http://www.scopus.com)

## 7. RESULTADOS

Como se observa en la tabla 2, en base a la calificación de los artículos se aplicó la metodología propuesta por M.A Jurado y C.A. Ramírez con la cual se realizaron los cálculos de la siguiente manera:

**PAA%:** Se calificó el porcentaje de artículos seleccionados respecto a cada criterio (1 al 5) contando el número de artículos que tuvieran una calificación de 5.0 y el total de artículos investigados.

**APPA%:** Se calculó el promedio de porcentajes criterios, sumando los PAA% calculados anteriormente sobre el número de criterios.

**MAPAA%:** El porcentaje de quiebre o límite se calculó con el APPA% sobre 3.

Si  $PAA\%_n < MAPPA\%$  existen vacíos.

Indicador	Valor Calculado Criterios (1-5)				
	PAA%	45,5 %	45 %	30 %	32,5 %
APPA%	36,5 %				
MAPAA%	12,17 %				

**Tabla 2.** Resultados basados en la metodología propuesta por M. A. Jurado y C.A. Ramírez. Fuente: Propia.

Según los resultados obtenidos en la Tabla 2 (MAPAA %), no existen vacíos en cuanto a los 5 criterios evaluados en los 40 artículos investigados relacionados a la temática planteada en este artículo, por lo que en la siguiente sección se procede a mostrar y analizar los resultados que se obtuvieron en la revisión con el fin de poder identificar los parámetros y metodología más aptos para una eficaz producción y extracción de ácidos grasos de alto valor.

## 8. DESARROLLO Y DISCUSIÓN

La producción de ácidos grasos, en su forma más amigable con el medio ambiente es por medio de la digestión anaerobia, la cual requiere de ciertos parámetros operacionales específicos como: pH, temperatura y tiempo de retención, los cuales son imprescindibles a la hora de que se dé una adecuada degradación de la materia orgánica, así como también interviene en el proceso el tipo de sustrato que se emplee en la producción de los AGV. Por esto, se abordarán los aspectos más relevantes para que el proceso se lleve a cabo de la forma más óptima.

### 8.1 SUSTRATO

La fermentación de residuos orgánicos para producir AGV ofrece beneficios como la reducción rentable de la cantidad de residuos para su eliminación o la reducción de la huella de carbono.

La producción de AGV y la composición de la mezcla correspondiente obtenida por fermentación hidrolítico-acidogénica de desechos orgánicos sólidos tienen gran influencia tanto en el rendimiento general del proceso como en la aplicación posterior de estos productos intermedios. Algunas aplicaciones de los AGV incluyen la eliminación de nutrientes biológicos (Nitrógeno y Fósforo) y la producción de bioenergía, como electricidad, biohidrógeno y lípidos para biodiesel (Gameiro et al., 2016), lo que hace que su producción sea un gran atractivo de estudio e implementación, ya que para que el sustrato sea viable como materia prima, debe estar disponible en gran cantidad y debe tener una alta biodegradabilidad y carga de carbono. Además, si estos se utilizan como materia prima, contribuirán a la eficiencia ecológica y económica del proceso. En base a esto, los desperdicios de alimentos (o residuos orgánicos) que cumplen los criterios expuestos pueden considerarse como materia prima potencial para la fermentación. Un tercio de los alimentos producidos a nivel mundial para el consumo humano se desperdicia y se pierde en alrededor de 1.300 millones de toneladas. (Dahiya et al., 2015)

Otro sustrato que poco ha sido investigado son las aguas residuales y lodos provenientes de diferentes tipos de industrias como la de alimentos, mataderos, papel, entre otras, las cuales, al tener alta carga orgánica, genera en ellas un nivel alto de biodegradabilidad que favorece los procesos de fermentación. Además, son residuos que se generan en grandes cantidades, ya que como es conocido, el mundo entero ha sido industrializado con el fin de satisfacer las necesidades que ha venido presentando la humanidad en el paso de los años.

En base a esto, Aguirre et al., (2017) realizó una investigación, la cual comparaba 7 residuos entre líquidos y sólidos ante la producción de ácidos grasos de cadena corta. Los sustratos fueron: Aguas residuales de matadero, aguas residuales de fábricas de papel, aguas residuales de bodega, glicerol crudo, lodos de depuradora, fracción orgánica de residuos alimentarios y harinas de carne y huesos. La digestión anaerobia se realizó mediante condiciones ácidas y básicas para pH y mesófilas y termófilas para temperatura. Los resultados reportados determinaron que, para las condiciones operativas estudiadas, la mayor producción de ácidos grasos fue con la fracción orgánica de residuos alimentarios como sustrato con una relación AGV/DQO entre el 80 y 94% siendo mayor para la conjugación mesófila (35 °C) y básica (pH=10), con una concentración de 8320 mgDQO/L.

Por lo cual se confirma que el uso de residuos orgánicos (como los residuos de alimentos), permiten una alta degradación convertida en ácidos grasos de cadena corta como acético, propiónico y butírico. Sin embargo el uso de lodos residuales también proporciona una alta cantidad de ácidos orgánicos.

## 8.2 pH

Los microorganismos que producen AGV pueden funcionar en un rango de pH amplio, esto dependiendo del tipo de residuo utilizado como sustrato en el proceso. Además, este parámetro afecta en gran medida la composición de la mezcla de AGV obtenida. (Gameiro et al, 2016). Por otro lado, Appels y col. (2008) demostraron que el uso de lodos activados provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales, a valores de pH bajos producía principalmente ácido acético y butírico, y que a un pH cercano a 8.0 se producía en mayor cantidad ácido propiónico.

Lee et al. (2014) utilizaron como sustrato aguas residuales de productos lácteos para producir AGV y obtuvieron una mayor producción de ácido propiónico a un pH cercano a 4.0, mientras que los ácidos acético y butírico eran producidos en alta cantidad a un pH de 6.0. Wang y col. (2014) también demostraron que el pH óptimo para la formación de ácido acético y butírico era 6.0, utilizando residuos orgánicos como sustrato para la producción de ácidos grasos.

Una característica de las bacterias fermentativas es que no soportan condiciones extremas, es decir a pH muy ácidos o muy alcalinos se inhibe su capacidad para fermentar la materia orgánica. Por ejemplo, Jiang et al. (2013) informó que a un pH bajo los ácidos no se disocian, por lo que se inhibe el crecimiento bacteriano al pasar a través de la membrana celular y que en rangos entre 5.25 y 11 se obtenían mayores rangos de producción de AGV, dándose la mayor cantidad para residuos alimentarios a un pH de 6 con una concentración de 39,46 g/l, mientras que para lodos activados el pH óptimo es de un rango entre 8.0 y 11.0, y para aguas residuales de 5,2 a 6.0. Lee et al. (2008) también obtuvo el mejor rendimiento de producción de AGV a un pH de 6.0, con una concentración de 25,5 g/l, y, además, según los resultados obtenidos demostraron que la metanogénesis se inhibe con pH mayor a 8.0 y menor a 6.0. En cambio, a pH alcalinos se liberan sustratos más solubles que se suministran a los microorganismos acidógenos, lo que resulta en una alta producción de AGV., (Ma et al., 2015)

En el proceso de producción de AGV el pH sufre una desestabilización (que tiende a ser muy ácido), que puede afectar el proceso durante la hidrólisis y acidogénesis debido a la producción y acumulación de estos, por lo que como principio básico se recomienda el uso de NaOH para ajustarlo y mantenerlo controlado entre los pH óptimos mencionados anteriormente. Un ejemplo de esto es Jiang et al. (2013), el cual obtuvo la menor concentración de AGV (3,9 g/l) a un pH descontrolado. También Wang et al. (2014) registró la menor concentración (3 g/l) y finalmente, Ma et al (2015), con una concentración de 5 g/l en comparación a 6,3 g/l con un pH controlado de 7 y 8,5 g/l a pH10.

## 8.3 TEMPERATURA

La temperatura es otro de los parámetros de operación que se deben controlar a la hora de realizar digestión anaerobia para la producción de AGV, ya que según Jiang et al. (2013) a mayor temperatura se genera mayor grado de solubilización y una menor acidogénesis de residuos orgánicos, además que se consume más energía al controlar temperaturas termófilas (45°C) en comparación a las temperaturas mesófilas (35 °C), las cuales son más eficientes y económicas. Por otro lado, la temperatura también interviene en el tipo de ácido graso que se quiere obtener. Li et al. (2018) informó que a menor temperatura se genera mayor propionato mientras que a mayor temperatura, mayor concentración de valerato y Jiang et al. (2013) demostró que la cantidad de ácidos acético y valérico disminuyen con el aumento de la temperatura y el butírico aumenta, lo cual también informó Stein et al. (2017), donde además, demostró que a temperatura de 37°C y pH 9.0, la concentración de AGV fue de 18.000 mg/l y a 55°C y pH 9.0 fue de 9.000 mg/l y en ambos

casos de temperatura, a pH 5.0 disminuyó de manera significativa la concentración, sin embargo siguió siendo más alta a temperatura mesófila (37°C).

#### 8.4 TRH Y TRS

El tiempo de retención hidráulico y el tiempo de retención de sólidos son iguales ya que en el momento en el que se extraen los ácidos, estos salen con parte líquida y sólida. (Yuan et al., 2009)

Los tiempos de retención menores de 8 días son favorables para bacterias acidógenas y mayor a 8 días es favorable para las metanogénicas según Wu et al., (2016). Sin embargo, diferentes estudios arrojaron los siguientes resultados:

SUSTRATO	CONDICIONES OPERATIVAS		CONCENTRACIÓN AGV	REFERENCIA
	pH	TRH (d)		
Residuos Orgánicos	5.5	4	6 g/l	Lim et al. (2008)
	5.5	8	14 g/l	
	5.5	12	22 g/l	
Lodos residuales	9	5	900 mg/l	Zhao et al. (2017)
	9	6	1700 mg/l	
	9	7	2300 mg/l	
	9	8	2200 mg/l	

**Tabla 3.** Cantidad de ácidos grasos producidos por digestión anaerobia para residuos orgánicos y lodos residuales. Fuente: Propia.

Según los resultados encontrados, se pudo determinar que al usar residuos orgánicos como sustrato se obtienen mayores concentraciones de AGV respecto a los lodos residuales, así como también se observa que al aumentar el tiempo de retención aumenta la concentración de estos para los dos sustratos, contrariando lo publicado por Wu et al. (2016), ya que al ir aumentando el TRH o TRS se fue observando mayor actividad en las bacterias acidogénicas. También Sean et al. (2019), afirmó que a tiempos de retención altos se produce mayor concentración de ácidos mientras que a tiempos de retención bajos se produce mayor cantidad de AGV.

#### 8.5 METODOLOGÍA DE EXTRACCIÓN Y CUANTIFICACIÓN

El proceso de producción de ácidos grasos se divide principalmente en dos partes: la fermentación y la recuperación de estos. Por lo que se han creado diferentes métodos para la extracción (lo que ha sido un reto ya que la mayoría de las tecnologías tienen costos elevados), los cuales son:

**Extracción por solvente:** Este proceso es reconocido por ser una manera de reducir la concentración del ácido láctico cuando se extrae del caldo de fermentación, este proceso causa problemas físicos, químicos y bioquímicos en las bacterias que intervienen en el proceso, por lo que hace que no sea comúnmente empleado. (Orozco, 2011)

**Tecnología de membranas mediante sistemas de filtración:** Este método tiene ventajas respecto a las técnicas de separación tradicionales, como lo es la extracción por solvente, adsorción y la destilación directa, las cuales son eficientes energéticamente y sus costos son más elevados, puesto que se hace uso de solventes o adsorbentes, en cambio en la separación por membrana, estos no van a ser necesarios y además va a abrir campo a la concentración de compuestos orgánicos e inorgánicos. Para estos procesos se hace uso de la filtración, que es un transporte de masa de una mezcla líquida o

gaseosa a través de barreras porosas (membrana), se lleva a cabo específicamente en los espacios vacíos de la barrera cuando son partículas es un tamizado y cuando son componentes gaseosos es difusión. Se da la exclusión de las partículas dependiendo del tamaño de sus moléculas. Debido a la dimensión de los poros de las membranas, algunas veces no es suficiente la fuerza de la gravedad para vencer la resistencia hidráulica de la barrera, por lo que se emplean distintas presiones que favorecen el proceso. (Orozco, 2011)

Tipos de filtración diseñadas para los procesos de separación:

- Ultrafiltración
- Nanofiltración
- Ósmosis Inversa
- Microfiltración
- Filtración

Durante la investigación que se realizó para este artículo como se demuestra en la Tabla 4., se encontró que el método de extracción más utilizado para la obtención de ácidos grasos debido a su costo y eficiencia son los diferentes tipos de filtración, adicionando para algunos casos la centrifugación de los ácidos, y, por otro lado, también se empleó la titulación como método de obtención de los ácidos.

<b>Método de Recuperación de AGV</b>	<b>Referencia</b>
Filtración	Behling et al.(1996)
Titulación	Ortegón. (2016)
Titulación	Schultz et al. (2018)
Titulación	Palomino et al. (2016)
Filtración, Centrifugación y Extracción líquido-líquido	Aguirre et al. (2017)
Filtración	Liu et al. (2011)
Filtración	Hao y Wang. (2014)
Centrifugación	Jankowska et al. (2015)
Ultrafiltración	García et al. (2019)
Filtración	Li et al. (2018)
Filtración	Lim et al. (2008)
Filtración	Liu et al. (2018)
Ultrafiltración	Longo et al. (2015)
Filtración	Ma et al. (2015)
Centrifugación y Filtración	Yin et al. (2016)
Filtración	Yuan et al. (2006)
Filtración	Ucisik & Henze. (2006)
Centrifugación	Feng et al. (2011)
Filtración	Wang et al. (2014)

**Tabla 4.** Tecnologías para recuperación de AGV utilizada en algunos artículos de investigación. *Fuente: Propia.*

Para la cuantificación e identificación del ácido el método o tecnología más empleado es la cromatografía de gases (GC), la cual es una técnica analítica que se emplea para determinar la composición de una mezcla de diferentes productos químicos, además el cromatógrafo de gases

utiliza diversos gases en su operación. Este consta de un equipo detector de ionización de llama y una columna capilar. Las variables de esta técnica son las temperaturas de las columnas, el puerto de inyección y el detector, (las cuales varían para todos los artículos investigados), y además los flujos de los gases (que generalmente son nitrógeno, hidrógeno y aire). Es recomendado identificar los ácidos formados durante la acidogénesis de los desechos orgánicos ya que proporciona información sobre la dinámica del proceso de digestión. (Lim et al., 2018)

## 9. CONCLUSIONES

- Los sustratos que proporcionan mayor cantidad y concentración de ácidos grasos son los que contienen un alto contenido en materia orgánica, por lo que el uso de residuos orgánicos como los alimentarios o lodos residuales son ideales para la producción de AGV, además de que a su vez se está desarrollando una alternativa de solución ante la problemática ambiental generada por la acumulación e inadecuada gestión de estos y el uso en la digestión anaerobia no genera impactos negativos.
- La cantidad y concentración de AGV obtenidos por fermentación van a depender principalmente de los parámetros de pH y temperatura, ya que son los que proporcionan el ambiente óptimo para las bacterias acidogénicas. Sus rangos van a depender del ácido que se quiera obtener, o de las condiciones de estudio deseadas.
- En la investigación realizada se encontró que no se habla de manera específica del método o técnica para extraer los ácidos, así como tampoco se describe el proceso, lo que no le proporciona al lector la información suficiente para tener una idea clara de cómo se realiza este.
- Del 100% de los artículos investigados, solo el 35% proporciona la información completa (Cantidad y concentración, control y registro de pH, TRH-TRS y T°, y la técnica de extracción y cuantificación), aunque no significa que haya vacíos en cuanto a los criterios seleccionados.
- Se pueden estudiar y evaluar otros parámetros como la carga orgánica del sustrato, el tipo de bacterias que realizan la fermentación y las eficiencias en cuanto a la codigestión de distintos sustratos para la producción de AGV.
- El año en que más documentos relacionados a la producción de ácidos grasos por medio de digestión anaerobia se han publicado fue en el 2021 con 87 documentos.
- La fuente que más investigaciones y/o documentos proporciona sobre la producción de AGV es Bioresource, la cual en el año 2014 realizó el mayor número de publicaciones con un total de 27.
- Los autores que han publicado más documentos relacionados con la temática expuesta en esta investigación han sido Borcka y Solera con 6 publicaciones cada uno.
- La Universidad de Sao Pablo ha sido la institución con mayor número de publicaciones (11 en total), mientras que la institución financiadora que ha apoyado el mayor número de investigaciones es la National Science Foundation Of China con 24 documentos publicados.
- Con el 67,8% el artículo es el tipo de documento que más se ha publicado (225 publicaciones) para la temática estudiada en esta investigación.
- Las áreas que más han realizado publicaciones respecto a la temática tratada en esta revisión son la ambiental (24,2%) ,la energética (14,4%) y la ingeniería química (14,2%), esto puede relacionarse a los beneficios medio ambientales que trae la producción de ácidos grasos por medio de la digestión anaerobia como la reducción y reincorporación de los residuos orgánicos a las cadenas productivas, la disminución del consumo de combustibles

fósiles para la fabricación sintética de estos ácidos y el uso de estos ácidos como materia prima para el sector de la industria química.

## 10. RECOMENDACIÓN.

Se recomienda en las investigaciones que involucren la producción de ácidos grasos por medio de la digestión anaerobia de residuos orgánicos y/o lodos que provengan del tratamiento de aguas en PTAR describir de manera explícita la técnica o tecnología empleada para la extracción de estos, puesto que en la investigación realizada se encontró que solo el 45 % de los artículos estudiados mencionan y describen el proceso de extracción de los ácidos. Es importante fortalecer este aspecto ya que una de las variables más estudiadas en la producción de ácidos grasos por medio de la digestión anaerobia es la técnica de extracción que permita obtener la mayor cantidad y concentración de estos.

## 11. REFERENCIAS

1. Appels, L., Baeyens, J., Degréve, J., & Dewil, R. (2008). Principles and potential of the anaerobic digestion of waste activated sludge. *Progress in Energy and Combustion Science*.
2. Behling, E., García, S., Herrera, M., Díaz, A., Colina, G., Gutiérrez, E., Chacín, E., & Fernández, N. (1). Medición de ácidos grasos volátiles por cromatografía gaseosa en la digestión anaerobia. *Boletín Del Centro De Investigaciones Biológicas*, 30(2). Recuperado a partir de <https://produccioncientificaluz.org/index.php/boletin/article/view/3963>
3. Corrales, L., Antolinez Romero, D. M., Bohórquez Macías, J. A., & Corredor Vargas, A. M. (2015). Bacterias anaerobias: procesos que realizan y contribuyen a la sostenibilidad de la vida en el planeta. Recuperado el 13 de septiembre de 2020, de: <https://doi.org/10.22490/24629448.1717>
4. Dahiya, S., Sarkar, O., Swamy, Y. V., & VenkataMohan, S. (2015). *Acidogenic fermentation of food waste for volatile fatty acid production with co-generation of biohydrogen*. *BioresourceTechnology*, 182, 103–113.
5. Feng, L., Yan, Y. y Chen, Y. (2011). Co-fermentación de lodos residuales activados con residuos alimentarios para la producción de ácidos grasos de cadena corta: efecto del pH a temperatura ambiente. *Fronteras de la ciencia y la ingeniería ambientales en China*, 5 (4), 623–632.
6. Gameiro, T., Lopes, M., Marinho, R., Vergine, P., Nadais, H., & Capela, I. (2016). *Hydrolytic-Acidogenic Fermentation of Organic Solid Waste for Volatile Fatty Acids Production at Different Solids Concentrations and Alkalinity Addition*. *Water, Air, & Soil Pollution*, 227(10).
7. Garcia-Aguirre, J., Aymerich, E., González-Mtnez. de Goñi, J., & Esteban-Gutiérrez, M. (2017). *Selective VFA production potential from organic waste streams: Assessing temperature and pH influence*. *Bioresource Technology*, 244, 1081–1088.
8. Garcia-Aguirre, J., Esteban-Gutiérrez, M., Irizar, I., González-Mtnez de Goñi, J., & Aymerich, E. (2019). Continuous acidogenic fermentation: Narrowing the gap between laboratory testing and industrial application. *Bioresource technology*, 282, 407–416.
9. Hao, J. y Wang, H. (2015). *Producciones de ácidos grasos volátiles por fermentación de lodos mesófilos y termófilos: respuestas biológicas a la temperatura de fermentación*. *Tecnología de fuentes biológicas*, 175, 367–373.

10. Jankowska, E., Chwiałkowska, J., Stodolny, M., & Oleskiewicz-Popiel, P. (2015). *Effect of pH and retention time on volatile fatty acids production during mixed culture fermentation. Bioresource Technology, 190, 274–280.*
11. Jiang, J., Zhang, Y., Li, K., Wang, Q., Gong, C. y Li, M. (2013). *Producción de ácidos grasos volátiles a partir de desechos alimentarios: efectos del pH, la temperatura y la tasa de carga orgánica. Tecnología de fuentes biológicas, 143, 525-530.*
12. Jurado, M. (2017). Revisión Sistemática de Técnicas no Convencionales para la Evaluación de la Calidad del Agua de Ríos Contaminados con Plaguicidas. *Entre Ciencia e Ingeniería, 21(21), 65.*
13. Lee, W. S., Chua, A. S. M., Yeoh, H. K., & Ngoh, G. C. (2014). A review of the production and applications of waste-derived volatile fatty acids. *Chemical Engineering Journal.*
14. Li, Z., Chen, Z., Ye, H., Wang, Y., Luo, W., Chang, J.-S., ... He, N. (2018). *Codigestión anaeróbica de lodos de depuradora y residuos de alimentos para la producción de hidrógeno y AGV con análisis de comunidades microbianas. Waste Management, 78, 789–799.*
15. Lim, S.-J., Kim, B. J., Jeong, C.-M., Choi, J., Ahn, Y. H., & Chang, H. N. (2008). *Anaerobic organic acid production of food waste in once-a-day feeding and drawing-off bioreactor. Bioresource Technology, 99(16), 7866–7874.*
16. Liu, H., Wang, J., Liu, X., Fu, B., Chen, J., & Yu, H.-Q. (2012). *Acidogenic fermentation of proteinaceous sewage sludge: Effect of pH. Water Research, 46(3), 799–807.*
17. Liu, H., Han, P., Liu, H., Zhou, G., Fu, B., & Zheng, Z. (2018). Full-scale production of VFAs from sewage sludge by anaerobic alkaline fermentation to improve biological nutrients removal in domestic wastewater. *Bioresource technology, 260, 105–114.*
18. Longo, S., Katsou, E., Malamis, S., Frison, N., Renzi, D., & Fatone, F. (2015). *Recovery of volatile fatty acids from fermentation of sewage sludge in municipal wastewater treatment plants. Bioresource Technology, 175, 436–444.*
19. Ma, H., Chen, X., Liu, H., Liu, H., & Fu, B. (2016). Improved volatile fatty acids anaerobic production from waste activated sludge by pH regulation: Alkaline or neutral pH? *Wastemanagement (New York, N.Y.), 48, 397–403.*
20. Naciones Unidas. (Actualizado). Datos y Cifras. Recuperado de: <https://www.un.org/es/actnow/facts-and-figures#:~:text=Becca%20McChaffie%2FUnsplash.,Residuos,de%20gases%20de%20efecto%20invernadero>.
21. Ortegón, M.F. (2016). Evaluación del potencial acidogénico para producción de ácidos grasos volátiles (AGV) a partir de lixiviados de los residuos sólidos orgánicos, como plataforma de biorefinería. Facultad de Ingeniería Ambiental. Universidad Santo Tomás. Bogotá, Colombia. Recuperado de: <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2471/2016mariaortegon.pdf?sequence=4&isAllowed=y>
22. Orozco, FG. (2011). Producción de ácido láctico por medio de fermentación anaerobia y su polimerización a partir de reacciones de apertura de anillo. Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C. Mérida, Yucatán.
23. Palomino, María Angélica, Ortegón, María Fernanda, Rojas Betancourt, Tatiana, Martínez, Julián, Valderrama, Juan, Barragán, Rafael, Pérez, Aníbal y Luna Wandurraga, Héctor. (2016). Evaluación del potencial acidogénico para producción de AGV de melaza de la industria azucarera como valorización de este subproducto. *Revista ION, 29 (1), 780.*

24. Sánchez, A. (2016). Modelado del Proceso de Extracción de Ácido Acético con Recuperación de Disolvente Orgánico. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales (UPM). Madrid, España. Recuperado el 7 de septiembre de 2020, de: [http://oa.upm.es/42845/1/TFG ANA SANCHEZ LEVOSO.pdf](http://oa.upm.es/42845/1/TFG_ANA_SANCHEZ_LEVOSO.pdf)
25. Schultz, J., Pinheiro A., Silva J.D. (2018). Tratabilidad de lodos biológicos textiles y producción de biogás en reactor UASB a diferentes temperaturas.
26. Stein, UH, Wimmer, B., Ortner, M., Fuchs, W. y Bochmann, G. (2017). *Maximizar la producción de ácido butírico a partir de residuos de alimentos como precursor de la fermentación ABE. Science of The Total Environment*, 598, 993–1000.
27. Strazzera, G., Battista, F., Garcia, N. H., Frison, N., & Bolzonella, D. (2018). *Volatile fatty acids production from food wastes for biorefinery platforms: A review. Journal of Environmental Management*.
28. Ucisik, A. S., & Henze, M. (2008). Biological hydrolysis and acidification of sludge under anaerobic conditions: the effect of sludge type and origin on the production and composition of volatile fatty acids. *Water research*, 42(14), 3729–3738.
29. Wang, K., Yin, J., Shen, D., & Li, N. (2014). Anaerobic digestion of food waste for volatile fatty acids (VFAs) production with different types of inoculum: Effect of pH. *Bioresource Technology*, 161, 395–401.
30. Wu, Q.-L., Guo, W.-Q., Zheng, H.-S., Luo, H.-C., Feng, X.-C., Yin, R.-L., & Ren, N.-Q. (2016). *Enhancement of volatile fatty acid production by co-fermentation of food waste and excess sludge without pH control: The mechanism and microbial community analyses. Bioresource Technology*, 216, 653–660.
31. Yin, J., Yu, X., Wang, K. y Shen, D. (2016). *Fermentación acidógena de los principales sustratos de los residuos alimentarios para producir ácidos grasos volátiles. Revista Internacional de Energía de Hidrógeno*, 41 (46), 21713-21720.
32. Yuan, H., Chen, Y., Zhang, H., Jiang, S., Zhou, Q., & Gu, G. (2006). *Improved Bioproduction of Short-Chain Fatty Acids (SCFAs) from Excess Sludge under Alkaline Conditions. Environmental Science & Technology*, 40(6), 2025–2029.
33. Yuan, Q., Sparling, R. y Oleszkiewicz, JA (2009). *Fermentación residual de lodos activados: Efecto del tiempo de retención de sólidos y concentración de biomasa. Water Research*, 43 (20), 5180–5186.
34. Zhao, J., Wang, D., Liu, Y., Ngo, H. H., Guo, W., Yang, Q., & Li, X. (2018). Novel stepwise pH control strategy to improve short chain fatty acid production from sludge anaerobic fermentation. *Bioresource Technology*, 249, 431–43.