



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**Producción de biopolímeros de residuos lignocelulósicos
usando microorganismos**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniera Ambiental

AUTORAS:

Bazán Pinillos, Oriana Yamilé (ORCID: 0000-0001-7153-1907)

Carranza Alfaro, Rosa Elvira Stefany (ORCID: 0000-0001-8903-7245)

ASESOR:

Dr. Cruz Monzón, José Alfredo (ORCID: 0000-0001-91467615)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Tratamiento y gestión de los recursos naturales

TRUJILLO – PERÚ

2021

Dedicatoria

Esta tesis va dedicada a nuestros padres, seres a quienes adoramos desde lo más profundo de nuestro corazón por ser los artífices para poder culminar nuestros estudios universitarios, quienes, con su amor incondicional, apoyo y consejos nos dieron el impulso para salir adelante, por cada uno de sus esfuerzos y lucha constante a la par con nosotras, motivo por el cual nos hacen sentir profundamente orgullosas.

Especialmente a nuestras madres por ser lo más importante en nuestras vidas y por ser las dueñas de nuestro corazón, por enseñarnos a luchar como ellas, quienes con amor nos instruyeron a ser quien somos hoy por hoy.

A nuestros familiares que siempre estuvieron pendientes de cada proceso y no dejaron de brindarnos su apoyo en todo momento, por sus palabras de amor y muestras de cariño.

A nuestros amigos que siempre estuvieron ahí dándonos palabras de aliento, quienes han vivido de cerca de cerca los diferentes procesos de nuestras vidas tanto los momentos felices y tristes que involucra cada etapa de nuestras vidas.

Agradecimiento

Agradecemos a Dios por ser el inspirador y darnos las fuerzas necesarias para continuar en este camino para obtener uno de nuestros anhelos más deseados, por guiarnos a lo largo de nuestra vida, por ser nuestra fortaleza y en momentos de dificultad y de debilidad.

A nuestros padres por ser los promotores principales de nuestros sueños, por confiar en nosotras y en nuestras expectativas, por sus consejos, principios y valores que nos han inculcado.

A todos nuestros profesores de la Universidad César Vallejo que con su conocimiento, sabiduría y apoyo, nos motivaron a desarrollarnos como persona y profesional. Especialmente a nuestro Asesor el Doctor José Alfredo Cruz Monzón por su paciencia, quien con su enseñanza, conocimiento y colaboración permitió el desarrollo de este trabajo.

Índice de contenidos

Carátula	i
Dedicatoria	2
Agradecimiento.....	3
Índice de contenidos.....	4
Índice de tablas.....	5
Índice de figuras	6
Resumen	7
Abstract	8
I. INTRODUCCIÓN:.....	9
II. MARCO TEÓRICO.....	12
III. METODOLOGÍA:.....	18
3.1. Tipo y diseño de investigación:	18
3.2. Categorías, subcategorías y matriz de categorización:.....	18
3.3. Escenario de estudio:	18
3.4. Participantes:.....	18
3.5. Técnicas e instrumentación de recolección de datos:	18
3.6. Procedimiento:	19
3.7. Rigor científico:	22
3.8. Método de análisis de datos:	22
3.9. Aspectos éticos:.....	22
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN:.....	23
V. CONCLUSIONES.....	34
VI. RECOMENDACIONES.....	35
REFERENCIAS	36
ANEXOS.....	43

Índice de tablas

Tabla N° 01: Palabras clave para la búsqueda primaria en las bases de datos	19
Tabla N°02: Artículos encontrados en la búsqueda primaria.....	20
Tabla N°03: Criterios de inclusión para la búsqueda de artículos científicos.....	20
Tabla N° 04: Artículos científicos de acuerdo al criterio de inclusión.....	21
Tabla N° 5: Artículos seleccionados para trabajar en la revisión sistemática	22
Tabla N°6: Artículos que reportan la capacidad de producción de biopolímeros utilizando microorganismos	24
Tabla N°7: Artículos que reportan el tipo de residuo utilizado para la obtención de PHA .	28
Tabla N°8: Artículos que reportan las condiciones de cultivo para la obtención de PHA..	30

Índice de figuras

Figura 1: Artículos de base de datos por año con palabras claves.....	23
Figura 2: Residuos lignocelulósicos utilizados para la obtención de biopolímeros	27

Resumen

Una gran variedad de microorganismos tiene la capacidad de realizar la síntesis de PHA a partir de recursos renovables. Alrededor de 300 especies, tanto bacterias (Gram negativos y Gram positivas), han sido reportados como productores de PHA con una alta acumulación del mismo en condiciones anaeróbicas como aeróbicas, es por ello que se tuvo como objetivo evaluar las mejores condiciones de producción de biopolímero usando microorganismos reportados en artículos científicos indexados de acceso libre, ante ello se realizó una revisión de literatura científica en las siguientes bases de datos: Scielo, Sience Direct, Scopus, Dianet, entre los años 2015 al 2021, donde los artículos seleccionados pasaron por diferentes filtros para su posterior análisis e interpretación, obteniendo que los microorganismos con mayor capacidad de productividad son *Ralstonia Eutropha*, *Bacillus sp* y *Burkholderia sp*, siendo este último quien alcanza niveles de producción de PHA con 3.23 g/L utilizando glicerol como sustrato en un pH de 7, 30°C*24h a 150 rpm, seguido de *Ralstonia Eutropha* con apenas 0.62 g/L de biopolímero, entre los principales residuos lignocelulósicos encontrados que ayudan al crecimiento bacteriano tenemos al hidrolizado de *Saccharum Officinarun* y *Manihot Esculenta* con 25% y 13% respectivamente.

Palabras clave: Polímero, microorganismos, Polihidroxitirato (PHB), Biomasa lignocelulósica, Polihidroxicanoatos (PHA).

Abstract

A wide variety of microorganisms have the ability to synthesize PHA from renewable resources. About 300 species, both bacteria (Gram negative and Gram positive), have been reported as PHA producers with a high accumulation of the same in anaerobic and aerobic conditions, that is why it was aimed to evaluate the best conditions for biopolymer production using microorganisms reported in open access indexed scientific articles, before that a review of scientific literature was conducted in the following databases: Scielo, Science Direct, Scopus, Dianet, between the years 2015 to 2021, where the selected articles went through different filters for further analysis and interpretation, obtaining that the microorganisms with the highest productivity capacity are *Ralstonia Eutropha*, *Bacillus* sp and *Burkholderia* sp, the latter being the one who reaches PHA production levels with 3.23 g/L using glycerol as substrate at pH 7, 30°C*24h at 150 rpm, followed by *Ralstonia Eutropha* with only 0.62 g/L of biopolymer, among the main lignocellulosic residues found that help bacterial growth we have the hydrolyzed *Saccharum Officinarum* and *Manihot Esculenta* with 25% and 13% respectively.

Keywords: Polymer, Microorganisms, Polyhydroxybutyrate (PHB), lignocellulosic biomass, Polyhydroxyalkanoates (PHA).

I. INTRODUCCIÓN:

El creciente agotamiento de los recursos procedentes de combustibles fósiles está causando una gran preocupación, así como también el impacto que generan los plásticos convencionales derivados del petróleo (Rojas *et al*, 2016, p.3). Lo que está ocasionando que se realice investigaciones que involucren la producción de materiales que conlleven en su fabricación procesos ecológicos y a la vez que provengan de recursos que sean renovables (Silva *et al*, 2016, p.5).

En la actualidad el uso de los plásticos es imprescindible, no solo por el considerable rol económico que poseen, sino también por la utilidad que a estos se les dé, ya que cuenta con una amplia gama de aplicaciones, como en la biomedicina, biocombustibles, embalaje, agricultura, producción de pinturas de látex, entre otros (Flores *et al*, 2018, p.4). Esto se ve reflejado en el índice de crecimiento que esta industria posee desde siglos pasados, que ha superado a otras actividades industriales existentes (Rodríguez, *et al* 2019 p.7).

Las metodologías utilizadas en la eliminación de materiales plásticos como el vertido y la incineración tienen altos costos y generan subproductos tóxicos que pueden ser dañinos para los seres humanos (Fundación Ellen MacArthur, 2016).

Los Polihidroxicanoatos (PHA) son polímeros de origen natural que se producen microbiológicamente con propiedades mecánicas y biológicas físicas ajustables; estos son biodegradables y biocompatibles, así mismo, tienen una ventaja en comparación con los que son derivados del petróleo (Álvarez, 2016, p. 3). Poseen características semejantes a los plásticos convencionales (polipropileno y polietileno), la diferencia es que pueden biodegradarse al tener contacto con el agua y suelo. Estos son sintetizados por un gran número de bacterias al ser sometidas en diferentes sustratos que pueden ser de bajos costos y provenientes de recursos renovables. En el caso de bacterias productoras de PHA es *Cupriavidus Necantor*, *Bacillus spp.*, *Bacillus Suptiles* y *Bacterias Halófilas* (Lemos y Mina, 2015, p. 2 y 4). En tanto, el Polihidroxibutirato es uno de los polímeros que más se ha venido estudiando a través de los años, son producidas por distintas bacterias, ya que tienen características semejantes al polipropileno, este último es un plástico convencional que tiene mayor uso en la industria (Lemos y Mina, 2015, p. 2 y 4). Entre las bacterias productoras de este polímero tenemos a la bacteria *R.*

Eutropha, es la bacteria más estudiada para la producción de PHA, ya que es fácil de cultivar, su crecimiento es rápido en azúcares como la glucosa, por su elevada capacidad de acumular este polímero, pudiendo acumular hasta un 90% (Alcaráz *et al* 2018, p. 75-76).

Los microorganismos pueden acumular PHA hasta en un 97% del peso celular en su citoplasma y de esta manera utilizarlo como energía. Las cantidades excedentes de fuentes de carbono, así como la limitación de otros nutrientes como fósforo, nitrógeno con ajustes en su pH son las condiciones necesarias para la producción de PHA en el citoplasma bacteriano. Una gran variedad de microorganismos tiene la capacidad de realizar la síntesis de PHA a partir de recursos renovables (Matos *et al* 2018, p. 5). Alrededor de 300 especies, tanto bacterias (Gram negativos y Gram positivas), han sido reportados como productores de PHA con una alta acumulación del mismo en condiciones anaeróbicas como aeróbicas (Guzmán *et al* 2017, p. 7-8).

En la actualidad, las actividades agrícolas tienen un rol importante en la economía nacional, pero a la vez esta actividad está generando grandes desechos tanto líquidos como sólidos, creando fuentes de alta contaminación en suelo y agua, ya que estos residuos no son tratados y tampoco cuentan con una adecuada disposición final (Altamirano, *et al*, 2021, p. 3-4).

Las industrias alimentarias y agrícolas poseen una fuente abundante de nutrientes debido a los residuos orgánicos que estos producen, gran parte de la producción de estos termina en el suelo, agua, vertederos, plantas de tratamiento o son usados como alimento por algunos animales (Sernauqué *et al* 2020, p. 2). Debido al aumento de disponibilidad de estos residuos y por la necesidad de minimizar los costos de producción de los Polihidroxialcanoatos, se están empleando estos residuos para la elaboración de los PHA de una manera eficiente y sostenible (Pascoe *et al* 2020, p. 3). Por otro lado, estos residuos pueden ser reaprovechables para la obtención de nuevas tecnologías que sean sostenibles y sustentables (Guzmán *et al* 2017, p.2-3). Una alternativa biológica es la biorremediación microbiana que además de tratar estos desechos pueden a la vez darle un valor agregado (Altamirano *et al* 2021, p. 3-4). Mediante el uso de microorganismos con capacidad de acumulación de PHA para su crecimiento, se podría generar la implementación de estrategias

adecuadas para la transformación de subproductos agrícolas en Polihidroxialcanoatos de una manera eficiente y a bajo costo (Rodríguez *et al*/2017, p.2).

Las investigaciones realizadas presentan diversos procedimientos en la producción de biopolímeros utilizando diversos residuos lignocelulósicos, así como diversos tipos de microorganismos lo cual genera la siguiente interrogante: ¿cuáles son las mejores condiciones de producción de biopolímeros de residuos lignocelulósicos usando microorganismos reportados en los artículos científicos indexados de acceso libre? Desde un punto de vista ambiental, técnico e incluso económico, una de las estrategias para hacer competitiva la producción de biopolímeros es utilizar residuos agrícolas industriales en la producción de PHA. De esta manera, están estudiando dos aspectos importantes: En primer lugar, tenemos a la industria agrícola en el cual se crea un método alternativo para el aprovechamiento de subproductos, pues en muchos casos, el producto final tendrá un impacto significativo en el medio ambiente; en segundo lugar, tenemos la aplicación de tecnología de protección ambiental, la industria de biopolímeros, especialmente PHB, porque reduce los costos de producción y aumenta el valor agregado de las materias primas contaminantes.

Es por ello que el presente proyecto de investigación tuvo como objetivo principal evaluar las mejores condiciones de producción de biopolímero usando microorganismos reportados en artículos científicos indexados de acceso libre. Asimismo, como objetivos específicos: Evaluar los principales microorganismos reportados con capacidad de producción de biopolímeros a partir de residuos lignocelulósicos; evaluar los principales residuos utilizados para la producción de biopolímeros y finalmente evaluar las mejores condiciones del cultivo de microorganismos para la producción de biopolímeros.

II. MARCO TEÓRICO

A nivel internacional tenemos diversos estudios enfocados en la producción de polihidroxicanoatos (PHA) uno de ellos es Rojas, et al. (2016) cuya investigación tuvo como objetivo la elaboración de polihidroxicanoatos (PHAs) a partir de *Ralstonia eutropha* empleando como fuente de carbono un medio a base de harina de yuca, una relación carbono/nitrógeno de 20 siendo el que más ayuda a la acumulación intracelular del PHA, alcanzando una producción de 0,62 g/L PHA. Así mismo, en otra investigación donde el autor evaluó la producción de PHAs utilizando una cepa silvestre, SB-34 en comparación a una cepa de referencia, *Ralstonia eutropha* H16, que crece en harina de yuca hidrolizada como fuente alternativa de carbono. Esta cepa alcanzó una biomasa máxima de 5.49 ± 0.21 g/L y 3.23 ± 0.21 g/L de PHA, teniendo así una mejor selección e identificación de un aislado bacteriano nativo, con capacidad para producir PHAs, con mejores características fisiológicas en términos de crecimiento celular, consumo de sustrato, producción de biopolímeros y productividad que la cepa de referencia *Ralstonia eutropha* H16 (Alcaraz et al. 2018, p.3).

Para Goma (2014) en su trabajo titulado: “*Production of Polyhydroxyalkanoates (PHAs) By Bacillus subtilis and Escherichia coli* Grown on Cane Molasses Fortified with Ethanol” tuvo como propósito estudiar la elaboración de PHA por *Bacillus subtilis* y *Escherichia coli* aislados de muestras obtenidas de un suelo industrial contaminado utilizando como sustrato económico, melaza de caña de azúcar. La cantidad acumulada de PHA y su crecimiento de cada tratamiento siguió un patrón similar, lo que mostró que los rendimientos relacionados con el crecimiento fueron 54.1 y 47.16% para *Bacillus subtilis* y *E. coli*, respectivamente; en un cultivo que contenía 6 y 8% de melaza, para cada uno de ellos, después de 96 horas el cultivo basal disminuye, es por ello que al introducir etanol al 1% en el medio de melaza, se puede mejorar el crecimiento y la producción de PHA. El nitrato de amonio y el sulfato

de amonio a una concentración de 1 g / L son las mejores fuentes de nitrógeno para el crecimiento bacteriano, que pueden aumentar la acumulación de PHA por *Bacillus subtilis* y *Escherichia coli* hasta en 62.21 y 58.7%, respectivamente. Las mejores condiciones ambientales que afectan la producción de PHA por estas dos cepas son, concentración de inóculo del 8%, pH 7.0 y temperatura de 35°C.

A su vez, Acosta (2018) en su estudio titulado "*Melaza de caña de azúcar y granos de destilería como sustratos para la producción de polihidroxialcanoato (PHA)*"; se utilizó la cepa de *Ralstonia eutropha* ATCC 17699 para producir PHA y evaluó la utilización de la melaza de caña de azúcar como sustrato de mezcla y granos de destilería residuales. Los resultados muestran el potencial de la mezcla como medio. La concentración de polímero en el medio MSM es de 3.17 g / L, la concentración de polímero en el medio M / V es de 2.71 g / L y la proporción de melazas / vinazas es de 25/75; en relación a la biomasa producida, la utilización de azúcar (fructosa, glucosa y la sacarosa) fue de un 70.7% y el almacenamiento de biopolímeros fue del 97.8%.

Para Rodríguez et al. (2019) en su estudio titulado "*Assessment of polyhydroxyalkanoate synthesis in submerged cultivation of Cupriavidus necator and Burkholderia cepacia strains using soybean as substrate*" en el cual tuvo como objetivo la obtención del mayor rendimiento del polímero utilizando soja como sustrato (soja 15 g L⁻¹, pH 7.0, 150 rpm, 72 horas), el cual arrojó como resultado que todas sus cepas estudiadas fueron capaces de sintetizar PHA.; en cuanto a su producción las cepas de *Cupriavidus necator* mostraron mayor rendimiento en la acumulación de polímero, pero a su vez produjeron mayor estabilidad térmica y masas moleculares de pesos promedio de poliésteres.

Según Castillo, et al. (2018) en su estudio titulado "*Polyhydroxyalkanoate biosynthesis by oxalotrophic bacteria from high Andean soil*" donde se propuso identificar y aislar bacterias oxalotróficas,

que tienen la capacidad de acumular biopolímeros de PHA, para esto se recolectó todas las plantas del género *Oxalis* y se separó las bacterias presentes en el suelo adherido a sus raíces; las cepas bacterianas que fueron aisladas fueron caracterizadas por métodos biológicos y bioquímicos moleculares, también se midió el consumo del oxalato en el cultivo para así examinar la producción de polihidroxicanoatos en fermentación discontinua; para la determinación de la composición del polímero se caracterizó mediante cromatología de gases. Y para culminar, el autor encontró las Cepas ***Bacillus spp.*** y ***Serratia sp.*** metabolizan y sintetizan PHA.

Según, Delgado *et al* (2016) cuya investigación tuvo como finalidad contribuir a la búsqueda de sustratos alternativos que permitieran la fabricación de PHA's a escala industrial a un menor costo, realizando pruebas de crecimiento bacteriano con la bacteria *Rastonia eutropha* sobre piel de naranja hidrolizada y mediante bagazo de caña de azúcar, donde las bacterias mostraron crecimiento y acumulación del biopolímero tipo PHA.

A nivel nacional tenemos a Guzmán (2017) en su investigación titulada: "*Las bacterias halófilas naturales utilizan almidón en las cáscaras de papa para producir polihidroxicanoato*" teniendo como objetivo determinar la concentración de almidón de papa (*Solaum*) para la producción de polihidroxicanoato (PHA) por bacterias halófilas nativas. La concentración de almidón en la cáscara de *tuberosum L.* (papa), como método alternativo para reducir el costo de producción de estos biopolímeros, puede reemplazar al aceite plástico; en su estudio, se aislaron bacterias de ocho muestras de agua salada, las muestras son ricas en 5, 10, 15, 20, 25 y 30 g de NaCl 100 mL⁻¹ en caldo HM1 a 30 °C. El resultado es que el rendimiento más alto es 0.144 g. g⁻¹ correspondiente a 10 g.L⁻¹ de almidón, lo que indica que es factible que las bacterias halófilas naturales produzcan PHA a esta concentración.

Según Mayeli *et al* (2015), sostiene que los polihidroxicanoatos (PHA) son biopolímeros sintetizados de forma natural por un amplio tipo de bacterias. Estos son especialmente interesantes dado que sus características, como punto de fusión, resistencia a la tracción y alargamiento, son similares a las propiedades físicas de los materiales derivados convencionales del petróleo.

Los polihidroxicanoatos (PHAs) son polímeros que poseen características muy similares a los plásticos derivados del petróleo, pero con capacidad de biodegradarse debido a su origen microbiano. En este estudio se optó por aislar 248 colonias bacterianas obtenidos de suelos contaminados por residuos del beneficio de fique (*Furcraea bedinghausii*) en el municipio de Guarne (Antioquia), donde se evaluó la capacidad que estas tiene como productoras de polihidroxicanoatos. En donde se puede concluir que las bacterias que se aislaron poseen potencial en la elaboración de polihidroxicanoatos a partir de residuos lignocelulósicos, como el jugo de fique, lo cual ayudaría a la disminución que este tiene como contaminante (Sánchez, *et al.* 2012, p. 3).

La biomasa lignocelulósica de origen vegetales producida por tejido vegetal, la pared celular de sus células está compuesta por una red de microfibras de celulosa recubierta con hemicelulosa y deposita con lignina (Morales, 2015, p.25). Entre los materiales lignocelulósicos más importantes a nivel industrial se encuentran los residuos de la industria azucarera, el sorgo dulce y los residuos de madera; una vez que estos materiales se utilizan de acuerdo con sus procesos industriales adecuados, se generará una gran cantidad de desechos, y estos desechos pueden convertirse en una fuente de uso debido a su composición química (Reyes, 2015, p.1).

Gonzales, *et al.* (2005) en su estudio, define a la lignocelulosa como material más abundante en nuestro planeta ya que se compone de 3 tipos de polímeros: celulosa, hemicelulosa y lignina. La celulosa encontrada

en una planta está conformada por fragmentos con una formación cristalina, las capas de éstas se juntan y dan forma a las conocidas fibrillas de celulosa o paquetes de celulosa, siendo estas mayormente soberanos y debilitadamente unidas a enlaces de hidrógeno, así mismo es considerada un polímero orgánico más abundante del mundo, a la vez se es considerado como fuente inagotable de materia prima para la elaboración o fabricación de materiales que sean eco amigables con ambiente (Morales, 2015, p. 26). La hemicelulosa está compuesta por polímeros de diferentes azúcares, tienen cadenas más cortas y ramificadas lo que lo hace amorfo y más fácil, puede hidrolizar sus azúcares constituyentes mejor que la celulosa. (Elahi y Rehman, 2018, p.2). Su función es ayudar en la unión entre la lignina y la celulosa para darle soporte a la pared celular (Gonzales, et al.2005). La lignina por otro lado es uno de los polímeros que más abunda en el ambiente y se encuentra en la pared celular (Cortéz, 2014, p. 2).

Otros componentes de los residuos lignocelulósicos y en menor porcentaje son las proteínas (3-10%), lípidos (1.5%) y azúcares (10.5%) (Morales, 2015, p.12).

La hidrólisis enzimática de la celulosa es causada por la acción secuencial de un grupo de enzimas denominadas celulasas, que integra a la gran familia de las glicosilhidrolasas y se denominan así porque catalizan la interacción entre dos o más carbohidratos (Reyes, 2015, p.7). Mientras que la hidrólisis ácida es causada por un proceso químico que cambia la cadena de polisacáridos mediante el uso de un catalizar acido, convirtiéndolo en monómeros (Domínguez, et al, 2011, p. 2). Después de este proceso se puede obtener una fracción líquida, con abundancia en azúcares fermentables y una fracción en sólido de lignina y celulosa. Este tratamiento es eficaz en la degradación de la hemicelulosa, principalmente del xilano. Por otro lado, este método no es efectivo al momento de disolver a la lignina, aunque sean altamente poderosos al momento de hidrolizar la celulosa (Pires, et al, 2019, p.3).

Los microorganismos obtienen su alimento del sustrato en el que crecen; esos alimentos relativamente simples se disuelven fácilmente. Sin embargo, para hacer que los compuestos más complejos sean más solubles y más adecuados para los alimentos, los hongos y las bacterias secretan enzimas extracelulares que catalizan la hidrólisis de los compuestos, convirtiéndolos así en alimentos solubles más simples. La actividad enzimática se ve afectada por la temperatura, el pH, la presencia de sales neutras (o metales pesados) y el tiempo (Cervantes, et al,2017, p.2).

III. METODOLOGÍA:

3.1. Tipo y diseño de investigación:

La investigación a desarrollar es básica pues su propósito se limita a enriquecer conocimientos sobre temas específicos, mientras que su diseño de investigación es descriptivo no experimental, de tipo longitudinal debido a que se trabajaron con las bases de datos de revistas indexadas.

3.2. Categorías, subcategorías y matriz de categorización:

La investigación se dividió en 5 categorías que guardaron relación con los objetivos y problemas específicos planteados; así mismo contaron con los indicadores de acuerdo a cada objetivo específico. Estos datos fueron plasmados en una matriz de categorización que se puede encontrar en el anexo 01, la cual fue elaborado de acuerdo con el propósito determinado en el trabajo de investigación.

3.3. Escenario de estudio:

Está conformado por artículos de base de datos indexados que fueron recopilados, asimismo, se encuentran en el entorno académico científico, donde se investigó sobre la producción de biopolímeros de residuos lignocelulósicos usando microorganismos.

3.4. Participantes:

Están los artículos científicos de revistas pertenecientes a bases indexadas de acceso libre, que fueron seleccionados usando criterios de inclusión como son, el tipo de residuo, la metodología utilizada, el tipo de microorganismo, tipo de literatura científica, tipo de acceso, periodo de publicación, el idioma.

3.5. Técnicas e instrumentación de recolección de datos:

Se llevó a cabo una revisión de literatura científica en las bases de datos: Scielo, Dianet, Scopus, ScienceDirect, realizando un análisis documental de estas, y como instrumentos se emplearon

las fichas de registro de datos para la extracción de información de las mismas.

3.6. Procedimiento:

En el presente trabajo se realizó a través de una revisión sistemática de literatura científica existente en base de datos indexadas, es por ello que se ejecutó una búsqueda primaria en donde se abordaron temas relacionados a la producción de biopolímeros de residuos lignocelulósicos a partir de microorganismos los cuales se identificaron utilizando palabras claves presentes en la tabla N°1, arrojando en la primera fase de búsqueda un total de 277 artículos (tabla 02).

Tabla N° 01: Palabras clave para la búsqueda primaria en las bases de datos

Base de datos	Palabras claves
Scielo	(biopolymer) AND (ti:(microorganisms)) OR (ab:(PHA))
ScienceDirect	"polyhydroxyalkanoates" or "lignocellulosic waste" "biopolymer" AND "microorganisms" OR "PHA"
Scopus	"polyhydroxyalkanoates" and "microorganisms "; "pha" or "lignocellulosic waste"
Worldwidescience	"biopolímeros" y "microorganismos"
Gale	"biopolymer" AND "microorganisms"
Publmed	"polyhydroxyalkanoates" or "lignocellulosic waste"
IOPScience	"PHA" and "polyhydroxialkanoates" and "microorganisms"

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°02: Artículos encontrados en la búsqueda primaria

Base de datos	N° Artículos
Scielo	171
Scopus	46
Gale	1
ScienceDirect	55
Publimed	3
IOPScience	1
Total	277

Fuente: Elaboración propia.

Identificados los artículos en las bases de datos utilizadas se procedió a una selección, utilizando criterios de inclusión que permitan una selección más efectiva considerando, diversos aspectos que faciliten el análisis de la información relacionada con el tema de investigación. Los criterios que fueron considerados son:

Tabla N°03: Criterios de inclusión para la búsqueda de artículos científicos.

Ítem	Criterio de inclusión
Tipo de literatura	Artículo científico
Tipo de acceso	Acceso libre
Periodo de publicación	Del 2015 al 2021
Tipo de microorganismo	Cepas bacterianas

Tipo de residuo lignocelulósicos	Bagazo de caña de azúcar, cascara de papa, harina de yuca,
Condiciones de fermentación	T°, pH, velocidad de agitación, medio de cultivo

Fuente: Elaboración propia.

En un principio fueron 277 artículos obtenidos de las distintas bases de datos (tabla 02), de los cuales 50 fueron duplicados que se detectaron en otras bases de datos. Asimismo, aplicando criterios de inclusión se redujo a 77 artículos (tabla 03).

Tabla N° 04: Artículos científicos de acuerdo al criterio de inclusión

Base de datos	N° Artículos
Scielo	45
Spinger Open	1
Scopus	22
Gale	1
ScienceDirect	7
Publimed	1
IOPScience	1
Total	77

Fuente: Elaboración propia

De los 77 artículos, nuevamente se procedió a seleccionar aquellos que contaban con los métodos para la obtención de biopolímeros, por tal motivo fueron retenidos 10 artículos

científicos (tabla 05), que nos servirán para el desarrollo de los resultados.

Tabla N° 5: Artículos seleccionados para trabajar en la revisión sistemática

Base de datos	N° Artículos
Scielo	7
Spinger Open	1
Science Direct	2
Total	10

Fuente: Elaboración propia

3.7. Rigor científico:

El proyecto de investigación fue respaldado por la literatura científica publicada en las bases de datos de revistas indexadas, que cuentan con un alto estándar de calidad de investigaciones en cuanto a la materia de estudio. Asimismo, se consideraron artículos del segundo y cuarto cuartil lo cual garantiza la validez de los datos a considerar en la investigación.

3.8. Método de análisis de datos:

La metodología y resultados para el análisis de datos fueron representados a través de tablas y figuras; indicando título, tipo de residuos, tipo de microorganismo, condiciones de fermentación y producción de PHA entre otros parámetros para hacer una evaluación realizando un manejo sistematizado de la información

3.9. Aspectos éticos:

El presente trabajo de investigación cumplió con los principios de la ética al utilizar información verídica que fue respaldada por cada uno de los autores de los artículos utilizados en la investigación propuesta, debido a que toda información reportada fue de fuentes confiables, ya que estas pertenecen a bases indexadas, citando correctamente y respetando derechos de autoría.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN:

En base a la búsqueda primaria de las bases de datos (Scielo, Science Direct y Scopus) se lograron identificar 277 artículos asociados al tema de investigación desarrollado, cuyo número de artículos por año se detallan en la figura 1.

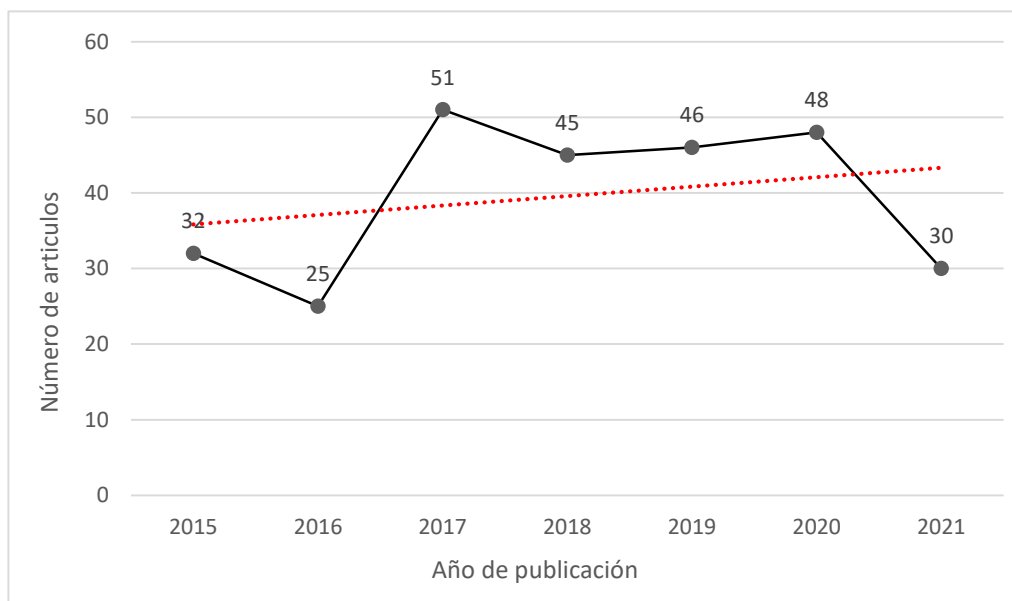


Figura 1: Artículos de base de datos por año con palabras claves

Fuente: Elaboración propia

En la figura 1, se observa un interés en el uso de microorganismo para la producción de biopolímeros de residuos lignocelulósicos, debido a que han sido reportados sus características de biodegradabilidad, biocompatibilidad respecto al medio ambiente (Nygaard, Daiana, et al. 2020, p. 1) asimismo el recojo, almacenamiento y transformación de materias primas agrícolas que constituyen en última instancia de los procesos de producción empleados en la agroindustria en un sentido más amplio (Ramos, Iván, 2015, p. 2).

Tabla N°6: Artículos que reportan la capacidad de producción de biopolímeros utilizando microorganismos

Autor	Tipo de residuo	Tipo de material	Género del microorganismo	Especie del microorganismo	% Fuente de carbono	Tipo de Polímero	Producción de biopolímero (g/L)
ROJAS Elizabeth; et al.	Cáscara de yuca	Almidón	<i>Pseudomonas spp</i>	<i>Ralstonia eutropha.</i>	Glucosa 20%	PHB	0.62
ACOSTA, Alejandro; et al.	Caña de azúcar	Hidrolizado de caña de azúcar	<i>Pseudomonas spp</i>	<i>Ralstonia eutropha</i>	Glicerol 30%	PHB	0.056
RODRIGUES, Plínio et al.	Glicerol crudo	Glicerol	<i>Burkholderia sp</i>	<i>Burkholderia Cepacia</i>	Glicerol crudo al 15%	PHA	1.17
ALCARAZ William, et al.	Cáscara de yuca	Almidón	<i>Burkholderia spp</i>	<i>Burkholderia sp.</i>	Glucosa 20%	PHB	3.23

CABRERA Ayala, C., y Novoa Izaguirre, C.	Caña de azúcar	Hidrolizado de caña de azúcar	<i>Bacillus sp</i>	<i>Bacillus subtilis</i>	Glucosa 20%	PHA	0.34
SINGH, S., et al.	Astillas de <i>Eucalypto dunnii</i> .	Astillas de Eucalypto	<i>Bacillus sp</i>	<i>Bacillus thuringiensis DF2</i>	Glicerol 40%	PHA	0.219
GÓMEZ, Javier et al.	Glicerol residual	Glicerol	<i>Bacillus spp</i>	<i>Bacillus megaterium</i>	Glicerol 1%	PHB	0.0295
FLORES , Ansilvia, et al.	Aguas salinas y suelos salinos	Aguas salinas y suelos salinos	<i>Bacterias Halofitas</i>	<i>Bacterias Halofitas</i>	Glucosa 15%	PHA	0.500
CASTILLO, Roger, et al.	Planta de oca (<i>Olaxis tuberosa y olaxis spiralis</i>)	Hidrolizado de harina oca	<i>Bacterias oxalotróficas</i>	<i>Bacterias oxalotróficas</i>	Calcio insoluble 16%	PHB	0.149
IGLESIAS y CARREÑO	<i>Asparagus officinalis L.</i>	<i>Asparagus officinalis L.</i>	<i>Azospirillum sp</i>	<i>Azospirillum sp</i>	Glicerol	PHA	0.3875

Fuente: Elaboración propia

En la tabla N°6 se muestran los principales microorganismos con capacidad de producción de biopolímeros, dentro de los cuales están las especies *Pseudomonas spp*, *Bacillus spp*, *Burkholderia sp*. Estudios reportan que la especie *Rastonia eutropha* llega a metabolizar subproductos derivados de biomasa con glucosa (Shashi, Kant; et al.2019, p.4). donde se observa que a nivel laboratorio tuvo una producción de 0.62 g/L de biopolímero, teniendo como fuente de carbono glucosa al 20% obtenido del hidrolizado de harina de yuca; (Rojas Elizabeth; et al. 2016, p.7); en comparación de la investigación de Acosta, Alejandro; et al. (2017, p.4) que también trabajo a nivel de laboratorio con 30% de glucosa como fuente de carbono, teniendo como resultado 0.056 g/L de biopolímero; Según Volodina, et al. (2015), nos dice que la alta densidad celular en la fermentación utilizando *R. eutropha* no patógena se puede realizar fácilmente, además dicha bacteria es accesible a la ingeniería de su metabolismo mediante enfoques genéticos. A su vez ambos autores luego de realizar la caracterización estructural observaron un patrón igual a las bandas formadas por los grupos funcionales del Polihidroxibutirato (PHB).

Para el género *Bacillus sp*. tuvo una producción de 0.34g/L, 0.219 g/l y 0.0295 g/L para el género *B. Subtillis*, *B. Thuringiensis DF2* y *B. Megaterium* respectivamente, utilizando distintas concentraciones de glicerol y glucosa como fuente de carbono, para Mayeli; et al. (2021, p. 3) los *Bacillus spp*, son conocidos por su rápido crecimiento en nutrientes simples; las bacterias Gram positivas tienen un buen potencial para la utilización de materias primas y producción de PHA". Cabe destacar que para obtener altos rendimientos es fundamental que el medio mantenga una relación optima entre fuentes de carbono y nutrientes esenciales (YS Khok et al 2020, p.5).

En el caso de los autores Alcaraz, et al. y Rodrigues et al. que trabajaron con el género *Bulkholderia sp*, obtuvieron una producción de 3.23 g/L y 1.17g/l utilizando glucosa al 30% y glicerol crudo al 15% como fuente de

carbono, a la vez que Getachew (2021, p.3) que obtuvo una producción de 3.23 g/L utilizando como fuente de carbono glicerol al 28.4% y sulfato de amonio al 2%

Los residuos lignocelulósicos reportados según los artículos seleccionados se muestran en la figura 2 y en la tabla N°7.

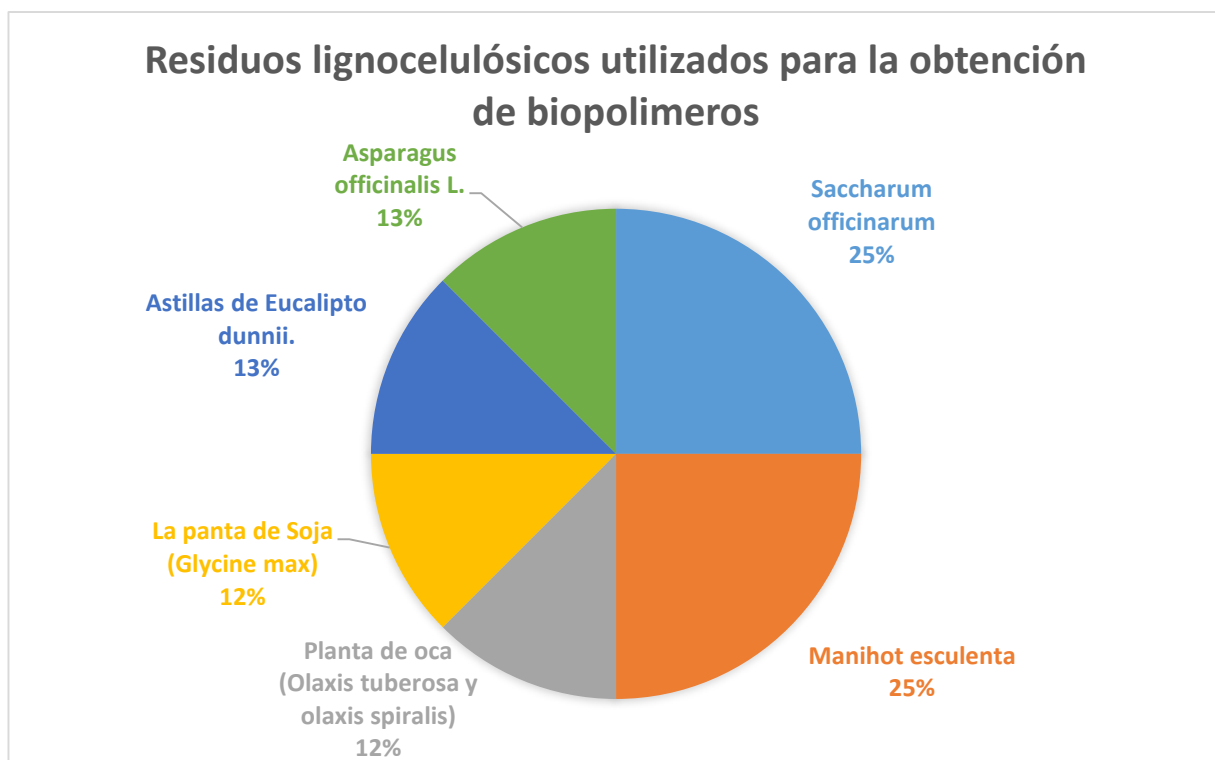


Figura 2: Residuos lignocelulósicos utilizados para la obtención de biopolímeros

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°7: Artículos que reportan el tipo de residuo utilizado para la obtención de PHA

Autor	Tipo de residuo	Tipo de hidrolizado	Género del microorganismo	Especie del microorganismo	Tipo de Biopolímero
Rojas Elizabeth, Hoyos José y Mosquera Silvio.	Cáscara de yuca	Almidón	<i>Pseudomonas spp</i>	<i>Ralstonia eutropha.</i>	PHB
Alcaraz William, Acosta Alejandro y Villa Andrés.	Cáscara de yuca	Almidón	<i>Burkholderia spp</i>	<i>Burkholderia sp.</i>	PHB
Castillo, Roger, et al.	La panta de Soja (Glycine max)	Harina de soja	<i>Burkholderia sp y Cupriavidus necator</i>	<i>Burkholderia cepacia y Cupriavidus necator</i>	PHA
Acosta, Alejandro; et al.	Caña de azúcar	Bagazo de caña de azúcar	<i>Pseudomonas spp</i>	<i>Ralstonia eutropha</i>	PHB
Cabrera Ayala, C., y Novoa Izaguirre, C.	Caña de azúcar	Bagazo de caña de azúcar	<i>Bacillus sp</i>	<i>Bacillus subtilis</i>	PHA
Guzmán et al.	Astillas de <i>Eucalipto dunnii</i> .	Astillas de Eucalipto	<i>Bacillus sp</i>	<i>Bacillus thuringiensis DF2</i>	PHA
Singh, S., Sithole, B., Lekha, P. et al.	Esparrago	Hojas de esparrago	<i>Azospirillum sp</i>	<i>Azospirillum sp</i>	PHA
Iglesias, Sebastian; Carreño, Carmen	Oca (<i>Olaxis tuberosa y olaxis spiralis</i>)	Harina oca	<i>Bacterias oxalotróficas</i>	<i>Bacterias oxalotróficas</i>	PHB

Fuente: Elaboración propia

Hoy en día muchos subproductos de las actividades agrícolas no vienen siendo reaprovechados (Mohammed, Antar, et al. 2021, p.1), generando un incremento de estos residuos, debido a que no se ha estudiado a profundidad la fuente de energía que estos poseen, para la generación de nuevas tecnologías; ya que además de ser ricos en celulosa, hemicelulosa y lignina pasan por un pre tratamiento para la posterior hidrólisis de la biomasa lignocelulósicos (Cortes, Wiliam, 2011, p. 3), teniendo en cuenta las condiciones de estrés que se aplican en dichos microorganismos con capacidad de producción de PHA. Tanto en la figura 2 como en la tabla 7, se muestran los tipos de residuos lignocelulósicos utilizados en las diferentes investigaciones para la obtención de biopolímeros, lo cual se observa que el residuo del bagazo de caña de azúcar ha sido el más utilizado en los trabajos investigados, seguido del residuo de la cáscara de yuca con un 25%; por otra parte García; et al. (2015, p. 3) nos dice que los residuos lignocelulósicos pueden inhibir de manera favorable en los costos de producción de biopolímeros. Ya que muchos de estos pueden ser utilizados como sustratos ya que resulta una alternativa ideal por su bajo costo de producción. Así mismo, Govil; et al (2020, p.5) refiere que los residuos agroindustriales se han convertido en una fuente de carbono accesible, disponible para realizar transformaciones químicas y microbiológicas, como es la producción de polihidroxicanoatos por microorganismos.

Tabla N°8: Artículos que reportan las condiciones de cultivo para la obtención de PHA.

N°	Titulo	Microorganismos		Condiciones de fermentación						Producción biopolímero (g/L)	Tipo
		Género	Especie	M. Cultivo	T (°C)	t (hr)	Velocidad de agitación (rpm)	Fuente de carbono	pH		
1	Sugarcane molasses and vinasse as a substrate for polyhydroxyalkanoates (PHA) production.	<i>Pseudomona sp</i>	<i>Ralstonia eutropha</i>	Soja triptica y medio en caldo (TSB)	30°C	12hr	150 rpm	Glicerol al 30%	7	0.056	PHB
2	Producción de polihidroxialcanoatos (PHAs) a partir de <i>Ralstonia eutropha</i> en un medio con harina de yuca como fuente de carbono.	<i>Pseudomona sp</i>	<i>Ralstonia eutropha.</i>	Soja triptica	32°C	48hr	150 rpm	Glicerol al 15%	4.3	0.62	PHB
3	Potencialidades de bacterias productoras de polihidroxialcanoatos (PHA) aisladas de <i>Asparagus officinalis L.</i>	<i>Azospirillum sp.</i>	<i>Azospirillum sp.</i>	Agar nutritivo	30°C	24hr	125 rpm	Glicerol 5%	6.8	0.3875	PHA
4	Microbial Synthesis and Characterization of Biodegradable Polyester Copolymers from <i>Burkholderia Cepacia</i> and <i>Cupriavidus Necator</i> Strains Using Crude Glycerol as Substrate	<i>Burkholderia sp</i>	<i>Burkholderia Cepacia</i>	Agar nutritivo, caldo nutriente	30°C	72hr	150 rpm	Glicerol crudo 15%	7	1.17	PHA
5	Evaluation of polyhydroxyalkanoate (PHAs) production with a bacterial isolate using cassava flour hydrolysates as an alternative substrate	<i>Burkholderia sp</i>	<i>SB-34</i>	Soja triptica	30°C	24hr	150rpm	Glucosa 20%	7	3.23	PHB

6	Optimization of the culture medium and cyclic fed-batch fermentation strategy to improve the production of polyhydroxyalkanoates by <i>Bacillus thuringiensis</i> using a glucose-rich hydrolysate.	<i>Bacillus sp</i>	<i>Bacillus thuringiensis</i> DF2	Agar nutritivo	37°C	24hr	200 rpm.	Glucosa 20.56%	7.18	2.19	PHA
7	Influencia de la concentración y temperatura de fermentación de azúcares reductores obtenidos a partir de hidrolizado de bagazo de caña de azúcar, en la obtención de un biopolímero empleando <i>Bacillus subtilis</i>	<i>Bacillus sp</i>	<i>Bacillus subtilis</i>	Agar nutriente	35°C	24hr	200 rpm.	Glucosa al 20%	7	0.34	PHA
8	Producción de lotes alimentados y caracterización de polihidroxibutirato por <i>Bacillus megaterium</i> LVN01 de glicerol residual	<i>Bacillus sp</i>	<i>Bacillus megaterium</i>	Caldo de lisogenia	37°C	24hr	200 rpm	Glicerol residual	7	0.0295	PHB
9	Screening of polyhydroxyalkanoates (PHA)-producing bacteria from soil bacteria strains	<i>Burkholderia sp</i>	<i>Burkholderia sp</i> B73	Agar nutritivo	30°C	24hr	150 rpm	Glucosa 1%	7	0.4013	PHA
10	Assessment of polyhydroxyalkanoate synthesis in submerged cultivation of <i>Cupriavidus necator</i> and <i>Burkholderia cepacia</i> strains using soybean as substrate	<i>Cupriavidus necator</i>	<i>Cupriavidus necator</i> ITP 027	Caldo nutritivo, agar nutriente (NA)	30°C	72hr	180 rpm	Soja 15%	7	0.84	PHA

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla N° 8 para hacer una mejor comparación y así poder conocer las mejores condiciones del cultivo, se optó por agrupar a los microorganismos según su género y especie para así poder decir que en el primer caso al utilizar *Pseudomonas spp* y la especie *Ralstonia Eutropha* ambas investigaciones trabajaron en un medio de cultivo de soja triptica, como fuente de carbono glicerol al 15% y al 30%, del cual se obtuvo un mayor porcentaje de producción de PHB con el glicerol a 15% trabajando bajo condiciones 32°C de temperatura y 48 horas con pH 4, teniendo como producción de biopolímero un 0.62 g/L superior de los 0.56 g/L que tuvo como fuente de carbono glicerol al 30%. Al respecto, Sharma, et al (2019, p.3–15), reportó que usando glicerol se logra una mayor acumulación de biomasa, pero una menor concentración de biopolímero y que el producto puede presentar residuos que inhiben el crecimiento del microorganismo. También nos dice que la glucosa presenta mayor afinidad y mayor acumulación de biopolímero, obteniendo un 90% de biopolímero. Así mismo, Figueredo nos dice que trabajando con fuente carbono de nitrógeno y sulfato de amonio los resultados son similares (Figueredo, et al. 2014, p. 338). Para el caso de *Burkholderia Cepacia* del género *Burkholderia spp* se obtuvo un mayor rendimiento al utilizar como medio de cultivo soja triptica (TSB) y fuente de carbono 20%, también se trabajó con medio agar nutritivo con fuente de carbono glicerol crudo al 15%, obteniendo como producción de PHA 3.23g/L y 1.17 g/L respectivamente. Las condiciones óptimas para una mayor producción fueron de 30°C de temperatura, 24 horas y 150 rpm de velocidad de agitación, el pH para los 2 primeros casos tuvo que ser estabilizado con HCl o NaOH. Confirmando lo dicho por Rodríguez; Marín (2017, p.39) quien también trabajó con un pH 7 pero estabilizándolo con HCl 2M/ NaOH 2M, con fuente de carbono glicerol crudo al 20% y en medio lisogénico, una temperatura de 35.5°C en un tiempo de 6 – 8h y 180 rpm, obteniendo como producción de polímeros 3,23 el mismo resultado que tuvo Alcaráz; William (2018, p.25) al trabajar con glucosa al 20% y soja triptica.

Para *Bacillus spp* tenemos 3 tipos de especies *Bacillus thuringiensis*, *Bacillus subtilis* y *Bacillus megaterium*, 2 investigaciones trabajaron con medio de cultivo agar nutriente y como fuente de carbono levadura rica en glucosa 20%, y otra de las investigaciones con caldo de lisogénia y con fuente de carbono glicerol residual, vemos que la temperatura para los 3 casos varía entre 35°C y 37°C, siendo una temperatura idónea para el crecimiento de microorganismos 37°C, luego el tiempo de exposición fue de 24 horas y la velocidad de agitación de 200 rpm y el pH fue de 7. Teniendo como mayor productor de PHA a *Bacillus thuringiensis* con 2.19 g/L seguido de *Bacillus subtilis* con 0.34 g/L a diferencia de *Bacillus megaterium* que produjo 0.02 g/L, pero en el tipo de polímero PHB. En cambio, Mayeli; et al. (2021, p. 4) logró acumular un 0.55 g/L de tipo de biopolímero PHB al utilizar como fuente de carbono levadura, nos muestra que al realizar un incremento en los azúcares reductores se puede obtener una mejor acumulación de PHB a pesar de reducir su fuente de carbono. Además, Matos et al (2018, p.332) expone que la bacteria *Bacillus* al tener la ausencia de lipopolisacáridos, que son los que cumplen la función de activar el sistema inmune al contener el antígeno superficial de mayor importancia para estas bacterias, reduce los costos de producción de los biopolímeros.

V. CONCLUSIONES

- Entre los microorganismos reportados con mejores capacidades de producción de biopolímero se tiene a la *Rastonia eutropha* que alcanza niveles entre 0.62g /L y 0.056 g/L de PHB usando como sustrato glucosa, mientras que la *Burkholderia sp* produce PHB y PHA en niveles de 3.23 g/l y 1.17 g/L cuando utiliza glicerol como sustrato.
- Se encontró que los residuos lignocelulósicos con mayor uso en la literatura fue *Saccharum officinarum* (Bagazo de caña de azúcar) y *Manihot esculenta* (Cascara de yuca) ambos con un 25% seguido de las astillas de eucalipto con un 13%.
- Se determinó que las mejores condiciones de fermentación en las cuales la bacteria *Burkholderia sp*, creció en un medio de Soja triptica y glicerol al 30% como fuente de carbono, proveniente del hidrolizado de harina de yuca; a un pH7, 30°C * 24hr a 150 rpm, teniendo una producción de 3.23 g/L superando a las demás investigaciones.

VI. RECOMENDACIONES

- Utilizar una base de artículos más amplia para una mayor interpretación de datos
- Emplear almidón como sustrato, para el proceso de fermentación, utilizando diversos microorganismos ya que pueden modificarse y tener mayor producción de PHA.
- Se recomienda que en las futuras investigaciones se toque más a fondo sobre los residuos lignocelulósicos ya que pueden reemplazar a los sustratos sintéticos que tienen un elevado costo por unos que pueden ser reaprovechables y de bajo costo.
- Colocar en la metodología de trabajo el pretratamiento que sufre el residuo estudiado, es este caso hablar sobre el hidrolisis realizada.
- Realizar un análisis más profundo de las propiedades fisicoquímicas del residuo para una mejor relación con el microorganismo.

REFERENCIAS

- ALCARAZ, Wiliam, ACOSTA, Alejandro y VILLA, Andrés. "Evaluación de la producción de polihidroxicanoatos (PHA) con un aislado bacteriano utilizando hidrolizados de harina de yuca como sustrato alternativo". [en línea]. 2018, vol.86, n.206, [fecha de consulta: 17 de septiembre de 2020]. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0012-73532019000100075 ISSN 0012-7353.
- ALVAREZ, Laura. "Bioplásticos: obtención y aplicaciones de polihidroxicanoatos" [en línea]. Sevilla, 2016 [fecha de consulta: 02 de diciembre del 2020]. Disponible en: <https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/54517/BIOPL%C3%81STICOS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- ALVES, LPS et al. "Un método simple y eficiente para la cuantificación de poli-3-hidroxi-butirato en bacterias diazotróficas en 5 minutos mediante citometría de flujo." Artículo. [en línea]. 2017, vol.50, n.1 [fecha de consulta 16 de septiembre del 2020], e5492. Disponible en: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-879X2017000100606&lng=en&nrm=iso. ISSN 1414-431X.
- Biblioteca Ambiental. MINAM 2018. Disponible en: <http://www.minam.gob.pe/menos-plastico-mas-vida/cifras-del-mundo-y-el-peru/>
- Bibliotheca Ambient. Ellen MacArthur Foundation. "The new economy plastic", Revista. [En línea]. 2016. [Fecha de consulta: 17 de setiembre]. Disponible en: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/our-work/activities/new-plastics-economy>
- CABRERA, Cynthia, NOVOA Carol. "Influencia de la concentración y temperatura de fermentación de azúcares reductores obtenidos a partir de hidrolizado de bagazo de caña de azúcar, en la obtención de un biopolímero empleando *Bacillus subtilis*" [En línea]. 2016, vol. 6, n. 1 [fecha de consulta 15 de marzo del 2021]. Disponible en: <https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/agroindscience/article/view/1124>
- CASTILLO, Roger, BURBANO, Edith, OTERO, Iván, [et al.] "Polyhydroxyalkanoate biosynthesis by oxalotrophic bacteria from high

Andean soil.” Revista. 2018. [en línea]. [fecha de consulta: 24 de septiembre 2020. Disponible en:

http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-74832018000100035&lang=es

- CERVANTES, Jesús, ORIHUELA, Rocio, RUTIAGA, José. “Acerca del desarrollo y control de microorganismos en la fabricación de papel” [En línea], 2017. [Fecha de consulta: 10 de diciembre de 2020]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/jatsRepo/944/94454631001/html/index.html>
- CORTEZ, William. “Tratamientos Aplicables a Materiales Lignocelulósicos para la Obtención de Etanol y Productos Químicos”. [en línea]. 2014, vol.13, n.1, [fecha de consulta: 17 de septiembre de 2020] Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6041572>
- DELGADO, Ana; CORREA, Lazmy y GUERRA, Amber. “Evaluación de dos sustratos de dos sectores agroindustriales para la fermentación sumergida en la producción de PHA’s” Cali,2016. [en línea] [fecha de consulta: 01 de octubre del 2020]. Disponible en: <https://biblat.unam.mx/es/revista/informador-tecnico/articulo/evaluacion-de-dos-sustratos-agroindustriales-para-fermentacion-sumergida-en-la-produccion-de-phas>
- DOMÍNGUEZ, Maria, ALVARES, Alberto, CASTREJÓN, Teodoro, et al. “Estudio de la cinética del hidrolisis acida del bagazo de caña de azúcar sin pretratamiento para la obtención de azúcares reductores”. [Revista Iberoamericana de Polímeros] [en línea]. 2011 [fecha de consulta 15 de setiembre de 2020]. Disponible en: <http://www.ehu.eus/reviberpol/pdf/MAY11/dominguez.pdf>
- ELAHI, Amina, REHMAN, Adbul. “Bioconversión de materiales hemicelulósicos en etanol por levadura, Pichia kudriavzevii 2-KLP1, aislado de residuos industriales” [Revista] [En línea], 2018. Disponible en: http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S032575412018000400013&lang=es ISSN 0325-7541.
- ERNAQUE, Fernando; HUAMAN, Lilian; PECHO, Hugo y CHACON, Michiel. “Biodegradability of bioplastics made from Mangifera indica and Musa paradisiaca peles”. *Ctro. Agr.* [En línea]. 2020, vol.47, n.4 [Fecha de consulta: 10 de mayo de 2021]. Disponible en:

http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S025357852020000400022&script=sci_arttext&lng=en ISSN 2072-2001.

- FIGUEIREDO, Tamiris V. B. et al. "Produção e caracterização de polihidroxialcanoatos obtidos por fermentação da glicerina bruta residual do biodiesel". [en línea]. 2015 v. 37, n. 7 [fecha de consulta 28 de junio del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.5935/0100-4042.20140183> ISSN 1678-7064.
- FLORES, Anasilvia; IDROGO, Enrique-III y CARRENO, Carmen. "Rendimiento de polihidroxialcanoatos (PHA) en microorganismos halófilos aislados de salinas". Revista. [En línea]. 2018, vol.25, n.2 [fecha de consulta 16 de septiembre del 2020], pp.153-160. Disponible en: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S172799332018000200010&lng=es&nrm=iso. ISSN 1727-9933.
- GARCIA, Luis; et al. Estudio de síntesis de biopolímeros de origen microbiano" [en línea]. 2015, [fecha de consulta 15 de junio del 2021]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5278488>
- GETACHEW, Anteneh y WOLDESENBET, Fantahun "Production of biodegradable plastic by polyhydroxybutyrate (PHB) accumulating bacteria using low cost agricultural waste material" [en línea]. 2016 [fecha de consulta 02 julio del 2021]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27955705/>
- GEYER, Roland, JENNA, Jambeck, and LAVENDER Kara. "Production, use, and fate of all plastics ever made." [En línea]. [Fecha de consulta 19 de septiembre del 2020]. Disponible en: <https://advances.sciencemag.org/content/3/7/e1700782>
- GOMAA, Eman. "Producción de polihidroxialcanoatos (PHA) por Bacillus subtilis y Escherichia coli cultivados en melaza de caña fortificada con etanol". Artículo. [En línea]. 2014, vol.57, n.1 [fecha de consulta: 18 de septiembre de 2020]. Disponible en: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S151689132014000100020&lng=en&nrm=iso ISSN 1516-8913.
- GOMEZ, Javier, VELASCO, Rodrigo, et al. "Producción de lotes alimentados y caracterización de polihidroxibutirato por Bacillus megaterium LVN01 a partir de glicerol residual." [Revista] [En línea]. 2020, vol.87, n.24, [fecha de consulta 10 de diciembre del 2020]. Disponible en:

http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S001273532020000300111&script=sci_abstract&tlng=es

- GONVI, Tanvi; et al “Lignocellulosic feedstock: a review of a sustainable platform for the cleaner production of nature's plastics.” [Revista] [en línea]. 2020.[fecha de consulta 9 junio de 2021]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652620325683>
- GONZALES, Yolanda; NUNGARAY Jesús. “Potencial del bagazo de agave tequilero para la producción de biopolímeros y carbohidrasas por bacterias celulolíticas para la obtención de compuestos fenólicos” 2005. [En línea] [fecha de consulta 22 de septiembre del 2020]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/730/73000314.pdf>
- GONZALEZ, Yolanda, MEZA, Juan, GONZALEZ, Orfil, et al. “Síntesis y biodegradación de polihidroxicanoatos: plásticos de origen microbiano.” [Revista] [En línea]. 2013, vol. 29, n.1 [Fecha de consulta: 10 de diciembre de 2020]. ISSN 0188-4999. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S018849992013000100007
- GUZMAN, César; HURTADO, Alberto; CARRENO, Carmen y CASOS, Indira.” Producción de polihidroxicanoatos por bacterias halófilas nativas utilizando almidón de cáscaras de *Solanum tuberosum*” L. *Scientia Agropecuaria* [En línea]. 2017, vol.8, n.2 [fecha de consulta 4 de septiembre del 2020]. Disponible en: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S2077-99172017000200003&script=sci_abstract ISSN 2077-9917
- LEMOS, Ana y MINA, Alexis. “Polihidroxicanoatos (PHA) producidos por bacterias y su posible aplicación a nivel industrial”. [en línea]. 2015, vol 79, n.1. [fecha de consulta: 17 de septiembre de 2020]. Disponible en: http://revistas.sena.edu.co/index.php/inf_tec/article/view/139 ISSN 0122-056X
- MATOS, Madyu, VALDIVIA, Aymara, RODRIGUEZ, Zoraya, et al. “Production of xylanases by *Bacillus subtilis* E44 under submerged fermentation conditions” [Revista] [En línea]. 2018, vol. 52, n.3. [fecha de consulta 10 de diciembre de 2020]. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2079-34802018000300329&lng=es&nrm=iso&tlng=en#:~:text=Bacteria%20were%20inoculated%20in%20Petri,48%2C%2072%20and%2096%20h.&text=M

[aximum%20production%20of%20xylanases%20was,activity%20of%20Bacillus%20subtilis%20E44.](#)

- MAYELI, Nasim, MOTAMEDI, Hossein and HEIDARIZADEH, Fariba “Production of Polyhydroxybutyrate by *Bacillus axaraqunsis* BIPC01 using Petrochemical Wastewater as Carbon Source”. *Brazilian Archives of Biology and Technology* [en línea]. 2015, v. 58, n. 4 [Fecha de consulta 14 de septiembre del 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1590/S1516-8913201500048> . ISSN 1678-4324.
- MENDEZ, Artemio, ROBLES, Celerino, RUIZ, Jaime, et al. “Composting agroindustrial waste inoculated with lignocellulosic fungi and modifying the C/N ratio.” [Revista] [En línea], 2018, vol.9, n.2 [Fecha de consulta 10 de diciembre de 2020]. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S200709342018000200271&lng=es&nrm=iso&tlng=en
- MORALES, Silvia. “Hidrólisis ácida de celulosa y biomasa lignocelulósicos asistida con líquidos iónicos.” Tesis. Madrid.2015. [En línea]. [Fecha de consulta 16 de septiembre del 2020]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=47433>
- PASCOE-ORTIZ, Sandra et al. “Identificación de propiedades presentes en jugo de *Opuntia megacantha* *Salm-Dyck* importantes para la producción de biopolímeros”. [En línea]. 2019, vol.22 [Fecha de consulta 10 de mayo de 2021]. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405888X2019000100128&lang=es ISSN 1405-888X.
- PIRES, Danielle, FERREIRA, Paula, APARECIDA, Araceli, et al. “Sacarificación de bagazo de naranja pre tratado con hidróxido de calcio usando un coctel enzimático y acido diluido”. [En línea]. 2019 [Fecha de consulta: 10 de diciembre de 2020]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rion/v32n1/2145-8480-rion-32-01-75.pdf>
- QUINES, Luci, SCHMIDT, Mélodi, ZANFONATO, Kellen et al. “Métodos de extração de poli-hidroxialcanoatos a partir de biomassa bacteriana”. [En línea]. 2015, vol.38, n.9 [fecha de consulta 12 de septiembre del 2020], pp.1207-1218. Disponible en: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010040422015000901207&lng=en&nrm=iso. ISSN 1678-7064.

- REYES, Elilene. “Aislamiento y selección de hongos o bacterias productores de celulasas y hemicelulasas a partir de residuos lignocelulósicos para la obtención de azúcares reductores”- México (2015). [en línea]. [fecha de consulta: 30 de septiembre]. Disponible en: http://repositorios.orizaba.tecnm.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/284/Emilene_Reyes_Rodriguez.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- RODRIGUES, Plínio; NUNES, Jéssica; LORDELO, Luciana y DRUZIAN, Janice. “Evaluación de la síntesis de polidroxialcanatos en cultivos sumergidos de cepas de *Cupriavidus necator* y *Burkholderia cepacia* usando soja como sustrato” [En línea]. 2019, vol.36, n.1 [fecha de consulta: 24 de septiembre de 2020]. ISSN 1678-4383. Disponible en: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-66322019000100073&lang=es.
- RODRIGUEZ, María Daniela et al. “obtención de azúcares fermentables a partir de aserrín de pino pretratado secuencialmente con ácido-base”. *Rev. Int. Contam. Ambient* [En línea]. 2017, vol.33, n.2 [Fecha de consulta: 09 de mayo de 2021]. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S018849992017000200317&lang=es ISSN 0188-4999.
- ROJAS, Elizabeth, HOYOS, José.; et al “Producción de polihidroxicarbonatos (PHA's) a partir de *Rastonia eutropha* en un medio con harina de yuca como fuente de carbono, 2016” [En línea] Artículo. [Fecha de consulta 14 de septiembre de 2020]. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S169235612016000100003&script=sci_abstract&tlng=es ISSN 1692-3561.
- SÁNCHEZ, María, GONZÁLES, Tania, AYORA, Teresa, [et al.] “¿Qué son los microbios?” [En línea], 2017 [fecha de consulta: 10 de octubre del 2020]. Disponible en: https://www.amc.edu.mx/revistaciencia/images/revista/68_2/PDF/QueSonMicrobios.pdf
- SÁNCHEZ, Silvia, MARÍN, Mauricio, MORA, Amanda, YEPES, María. “Identificación de bacterias productoras de polihidroxicarbonatos (PHAs) en suelos contaminados con desechos de fique”. [Revista Colombiana de Biotecnología] [en línea]. 2012, XIV (2), 89-100 [fecha de Consulta 7 de

Setiembre de 2020]. ISSN: 0123-3475. Disponible en:
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=77625401010>

- SHARMA PK, MOHANAN N, SIDHU R, LEVIN DB. "Colonization and degradation of polyhydroxyalkanoates by lipase-producing bacteria." Artículo [en línea].2019. [fecha de consulta 02 de julio de 2021]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30897336/>
- SHASHI, Bhatia; RANJIT, Gurav; TAE-RIM, Choi; HYE-RIM, Jung, [et al] "Bioconversion of plant biomass hydrolysate into bioplastic (polyhydroxyalkanoates) using *Ralstonia eutropha* 5119". [Bioresource Technology] [en línea]. 2019 [fecha de consulta 9 de junio del 2021], Pages 306-315, ISSN 0960-8524. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852418313750>
- SILVA, Amanda; SANTOS, Elane; SANTOS, Ítalo y LOPEZ, Ana. "Seleção polifásica de microrganismos produtores de polihidroxialcanoatos". [En línea]. 2016, vol.39, n.7 [Fecha de consulta 16 de septiembre del 2020], pp.782-788. Disponible en: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422016000700782&lng=en&nrm=iso. ISSN 1678-7064.
- VOLODINA, Elena; RABERG, Matthias y STEINBUCHER, Alexander "Engineering the heterotrophic carbon sources utilization range of *Ralstonia eutropha* H16 for applications in biotechnology" [en línea]. 2015 [fecha de consulta 9 junio de 2021]. Disponible en: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.3109/07388551.2015.1079698>
- YS Khok, et al. "Comparison of quantification methods and subsequent characterization of polyhydroxybutyrate film sample utilizing pretreated cane molasses as carbon source" [en línea]. 2020 [fecha de consulta 01 de julio del 2021]. Disponible en: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/716/1/012013>

ANEXOS

Anexo 01: Matriz de categorización y subcategorización

Ámbito temático	Problema de Investigación	Pregunta General	Objetivo General	Objetivos específicos	Categorías	Subcategorías
Producción de biopolímeros de residuos lignocelulósicos usando microorganismos	¿Cuáles son las mejores condiciones de producción de biopolímeros de residuos lignocelulósicos usando microorganismos reportados en los artículos científicos indexados de acceso libre?	¿Cuáles son los principales microorganismos reportados con capacidad productora de biopolímeros?	Evaluar las mejores condiciones de producción de biopolímero usando microorganismos reportados en artículos científicos indexados de acceso libre.	Realizar una evaluación de los principales microorganismos reportados con capacidad de producción de biopolímeros a partir de residuos lignocelulósicos.	Bacterias	<i>Pseudomonas sp</i>
						<i>Halomunas sp</i>
						<i>Azospirillum sp</i>
						<i>Burkholderia sp</i>
						<i>Bacillus spp</i>
	¿Cuáles son los residuos utilizados para la producción de biopolímeros?	¿Cuáles son las condiciones idóneas del cultivo para la producción de biopolímeros?	Evaluar las mejores condiciones del cultivo de microorganismos para la producción de biopolímeros	Evaluar los principales residuos utilizados para la producción de biopolímeros	Tipos de residuos lignocelulósicos	<i>Solanum tuberosum</i>
						<i>Saccharum officinarum</i>
						<i>Manihot esculenta</i>
						<i>Asparagus</i>
						<i>Eucalyptus</i>
¿Cuáles son las condiciones idóneas del cultivo para la producción de biopolímeros?	Evaluar las mejores condiciones del cultivo de microorganismos para la producción de biopolímeros	Evaluar las mejores condiciones del cultivo de microorganismos para la producción de biopolímeros	Condiciones físicas	Velocidad de agitación		
				T°		
				Ph		
				Condiciones químicas	Medio de cultivo	

Fuente: Elaboración propia

Anexo N°2: Ficha de recolección de datos

N°	Título del artículo	Autor	CONDICIONES DEL MICROORGANISMO							BIOPOLIMERO			Resultados	Tipo de Biopolímero	Rendimiento % PHA	
			Microorganismo	Medio de cultivo	Dosificación de biomasa e inóculo	pH	T° y RPM	Método	Tipo de tinción	Tipo de residuo	Método obtención del polímero	Extracción del polímero				Técnica de identificación

Fuente: Elaboración propia