



## Analisis de la produccion de Biopoliésteres a partir de Polihidroxicanoatos (PHAS)

## Análise da produção de Biopoliséster a partir de Poliidroxicanoatos (PHAS)

DOI: 10.54020/seasv3n3-003

Recebimento dos originais: 05/05/2022  
Aceitação para publicação: 01/07/2022

### Daicy Gavilanez Paredes

Estudiante de Agroindustria

Institución: Universidad Estatal de Bolivar, Carrera de Agroindustria, Facultad de Ciencias Agropecuarias

Dirección: Campus Universitario Laguacoto II

Correo electrónico: dtixilema@mail.es.ueb.edu.ec

### Daysi Tixilema Caizaguano

Estudiante de Agroindustria

Institución: Universidad Estatal de Bolivar, Carrera de Agroindustria, Facultad de Ciencias Agropecuarias

Dirección: Campus Universitario Laguacoto II

Correo electrónico: daigavilanez@mail.es.ueb.edu.ec

### Katty Yantalema Rea

Estudiante de Agroindustria

Institución: Universidad Estatal de Bolivar, Carrera de Agroindustria, Facultad de Ciencias Agropecuarias

Dirección: Campus Universitario Laguacoto II

Correo electrónico: kyantalema@mail.es.ueb.edu.ec

### Carlos Jácome Pilco

Doctor en Biotecnología

Institución: Universidad Estatal de Bolivar, Carrera de Agroindustria, Facultad de Ciencias Agropecuarias

Dirección: Campus Universitario Laguacoto II

Correo electrónico: cjacome@mail.es.ueb.edu.ec

### Favian Bayas Morejón

Doctor en Biotecnología

Institución: Universidad Estatal de Bolivar, Carrera de Agroindustria, Facultad de Ciencias Agropecuarias

Dirección: Campus Universitario Laguacoto II

Correo electrónico: fbayas@ueb.edu.ec

## RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue analizar el uso de plásticos biodegradables a partir



de los polihidroxicanoatos (PHA`s) o biopolíesteres sintetizados que se basan en recursos que habitualmente se renuevan como la celulosa y el almidón. Los polímeros son basados en monómeros cuya derivación son de aceites lácticos y vegetales. Los polihidroxicanoatos son agentes formadores de biopelículas que algunos microorganismos sintetizan intracelularmente como fuente de energía y carbono, y cuando se extraen de la célula tienen propiedades físicas similares a las del plástico a base de petróleo. También presentan aplicaciones importantes como materiales biocompatibles en los campos biomédico y farmacéutico. Este artículo revisa información bibliográfica sobre biosíntesis y biodegradación de PHA, su estado actual de producción y comercialización a gran escala, así como las perspectivas futuras para la investigación y aplicación de PHAs.

**Palabras clave:** PHA, microorganismos, células, petroquímicos, Carbono.

## RESUMO

O objetivo deste trabalho foi analisar o uso de plásticos biodegradáveis a partir de polihidroxicanoatos (PHA`s) ou biopolíesteres sintetizados que são baseados em recursos que normalmente são renovados como celulose e amido, polímeros são baseados em monômeros cuja derivação são de lácteos e vegetais óleos. Os polihidroxicanoatos (PHAs) são agentes formadores de biofilme que são sintetizados intracelularmente por alguns microorganismos como fonte de energia e carbono, e quando extraídos da célula apresentam propriedades físicas semelhantes às do plástico à base de petróleo. Eles também têm importantes aplicações como materiais biocompatíveis nas áreas biomédica e farmacêutica. Este artigo revisa informações da literatura sobre biossíntese e biodegradação de PHA, seu estado atual de produção e comercialização em larga escala, bem como perspectivas futuras para pesquisa e aplicação de PHA.

**Palavras-chave:** PHA, microorganismos, células, petroquímica, Carbono.

## 1 INTRODUCCIÓN

Actualmente, la gente está prestando cada vez más atención al futuro de la humanidad desde el punto de vista de la protección del medio ambiente. Factores como la nueva actitud hacia la sustentabilidad, los avances en nanotecnología y la crisis del petróleo en las últimas décadas ofrecen una perspectiva diferente sobre las tendencias en el uso de los recursos naturales. (Gomez, Sandra, 2017)

Las industrias buscan alternativas amigables con el medio ambiente para transformar sus operaciones, negativamente en vínculos de eficiencia, sustentabilidad y desempeño, también para reducir la sustentabilidad de residuos de las industrias, las emisiones de carbono en el aire y con la utilización de contaminantes reactivos. Una alternativa es la elaboración de polihidroxicanoato (PHA) en lugar para reemplazar los diversos plásticos a base de carburo.



El polihidroxicanoato es un poliéster que ciertos microorganismos como arqueas, bacterias o microalgas sintetizan intracelularmente como fuente de almacenamiento de carbono y energía. Estos poliésteres son biodegradables y provienen de fuentes de carbono renovables (Malagón Micán, 2017).

Figura 1: Hidroxiácidos en el grupo carboxilo de monómero

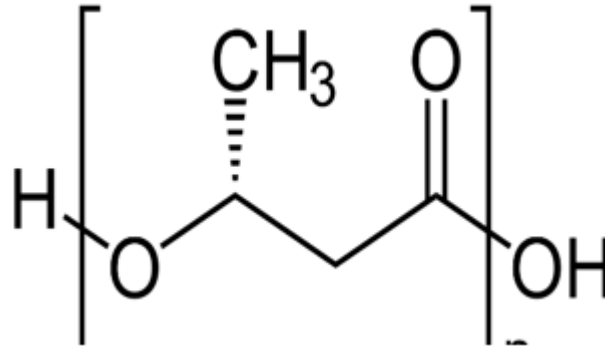
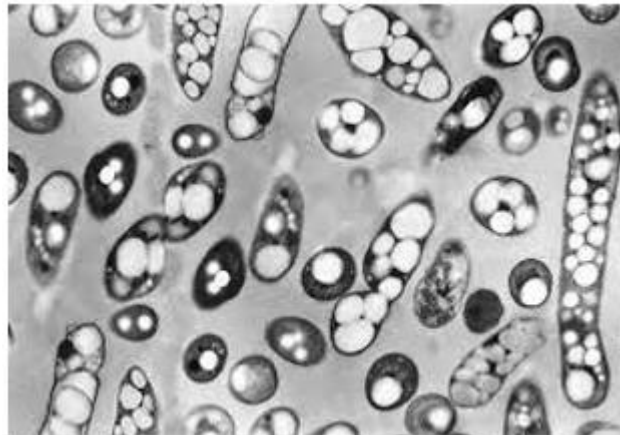


Figura 2 : Células de putida GPo1 con gránulos de PHA



El tipo más común de plástico blando biodegradable (PHA) es mayor conocido como el polihidroxi-butirato con sus siglas (PHB). Es el poliéster número uno que se ha descrito para la familia de los compuestos; Esto se destacó en la década de 1920, aunque evolucionó después de una década. En 1982. El Reino Unido ha comenzado a desarrollar un poliéster termoplástico totalmente biodegradable; *Wautersia eutropha* se utiliza a través de una transformación de la fermentación que se utilizan recipientes vibratorios y un medio porcentaje de líquido para promover el desarrollo de una determinada especie. La utilidad se llama comercial Biopol y sus propiedades legibles son supremo en comparación al PHB, ya que es más resistente y flexible (Rehm y Steinbüchel, 2015).



## 2 ¿QUE SON LOS PHA

Los PHA son un polímero en forma lineal de R-3- hidroxíácidos en los cuales el grupo de carboxilo para un monómero forma un vínculo tipo éster con la agrupación de hidroxilo del monómero del sucesor.

La fase es intracelular en forma de integración corporal y puede alcanzar más del 90% de la masa de células secas. Las tinciones celulares se tiñeron con un tinte específico de PHA que emitía una fluorescencia de color naranja brillante a 460 nm. El primer PHA descubierto fue el poli (3-D-hidroxibutirato) (PHB), un homopolímero descubierto en *Bacillus megaterium* en 1925. Posteriormente se encontraron impurezas de PHA en varias especies bacterianas.(Contreras & Gonzalez, 2013).

La creciente agrupación de residuos resistentes, junto con el auge del consumo y la industrialización, esto afecta globalmente porque ha comenzado a ganar fuerza en sus últimos años y se está volviendo en reiteradas ocasiones más doloroso. Los desechos más difíciles que se pueden degradar es el plástico, dado a que permaneció prácticamente sin cambios en la superficie de la Tierra durante varios años. El PHA ha obtenido importancia en los últimos tiempos dentro del sector industrial debido a sus propiedades termoplásticas. Por esta razón, se consideran como posibles alternativas a los plásticos derivados del petróleo. (Pettinari, 2004).

Además, de las propiedades de los termoplásticos, el PHA tiene otras propiedades de mayor importancia: su biodegradación que puede producir con unas fuentes que se renuevan. Las producciones de fermentación que utilizan varios productos que son derivados del sector agricultura como la fuente principal del carbono. Los diferentes microorganismos pueden descomponer el PHA, a través de la acción con la PHA polimerasa o la PHA hidrolasa, en carbono y agua. De tal manera, los diferentes plásticos que son derivados de los hidrocarburos que utilizan una escasa proporción de reservas químicas que hay en el planeta, la elaboración de PHA depende del uso de recursos renovables. (Pettinari, 2004)

## 3 PRODUCCIÓN DE PHA POR PARTE DE LAS PLANTAS

Las plantas pueden ser alternativas ideales para que la realización de las bio-películas, con capacidad de poder realizar cultivos en cantidades grandes



empleando una fuente energética un poco más barata disponible como la luz del sol. Es posible implementar y manifestar los tipos de genes bacterianos que sean necesarios para la exploración del PHA en diversas plantas, lo que da como resultado mínimas porciones de polímeros, para emplear las instalaciones de productividad del PHA, se deben resolver muchos problemas. Por ejemplo, el metabolismo de las plantas se suprime significativamente, lo que complica la tarea, ya que los genes de la metafase deben expresarse en el compartimento celular con el mayor concentración del acetil y, así mismo, la inhibición del metabolismo se ve afectada en algunas plantas. (Flores Vásquez, 2018)

#### 4 ANÁLISIS DE LOS PHA EN MICROORGANISMOS

Para el desarrollo dentro del proceso para la elaboración de PHA por degradación microbiana, es muy importante mejorar la efectividad y agilidad de la purificación de los polímeros para reducir significativamente el precio de todos los sustratos que fueron utilizados en medida de obtenerlos. Primeramente, los procesos desarrollados para producir fases en microorganismos hechos por la fermentación con las bacterias *Ralstonia* son capaces de producir PHB de glucosa o polihidroxibutirato-Valerat (PHBV). Glucosa y propionato., el sustrato de elevados costos afecta para su valor de remate de los polímeros resultante.

Actualmente se han desarrollado varios procesos para producir PHA mediante la fermentación de sustratos económicos: en Brasil se elabora a partir de melaza, mientras que en Estados Unidos y Corea del Sur se elabora a partir de una variedad de sustratos de origen vegetal (Hoyos, 2016).

#### 5 SUPERVIVENCIA BACTERIANA Y LA IMPORTANCIA DE LOS PHA

La mayoría de los organismos acumulan varias reservas cuando hay abundancia de bienes en el entorno. Para que los nutrientes escaseen, se utilizan para la supervivencia. Las investigaciones realizadas en los últimos años sobre PHA tienen como objetivo que utilice una variedad de estrategias para reducir sus costos de producción y aumentar su productividad. Para lograr estos objetivos, es necesario mejorar el proceso de fermentación. Estudios recientes han enfatizado la importancia de estudiar la respuesta global a los estreses generados por estos procesos, destacando la necesidad de investigación básica y aplicada para



diseñar procesos biotecnológicos que involucran etapas de fermentación (Ruiz y Almeida, 2004).

## 6 DIVERSIDAD DE MICROORGANISMOS

La composición por parte microbiana del subsuelo es de mucha importancia para que el ecosistema sea saludable. Las prácticas agrícolas, así como la conducción de todos los recursos vegetales, influyen en esta composición, afectando tanto la biodiversidad como la densidad de los ensamblajes microbianos involucrados; A mediano y largo plazo los resultados podría ser la desaparición de fertilidad del suelo con el agotamiento paulatino del suelo. La sostenibilidad del ecosistema agrícola también radica en reducir su dependencia de fertilizantes y pesticidas. El uso de copadas microbianas con potencial de alta actividad para el desarrollamiento y crecimiento vegetal con el análisis de la biodiversidad patógena son algunos de los factores que son clave en el riguroso control, por tanto, debe ser en la gestión integral de los laboreo (Aguilera, 1998).

El peso molecular de los PHA depende de las condiciones de producción y recuperación de estos compuestos. Los mecanismos que influyen y determinan el peso molecular del PHA en las células bacterianas no se comprenden completamente, pero generalmente se cree que están relacionados principalmente con el tipo de microorganismo y la fuente del carbono que fue utilizada (Cruz, 2015).

## 7 SÍNTESIS DE PHA MEDIANTE LA UTILIZACION DE CEPAS DE AZOTOBACTER SP. FA8

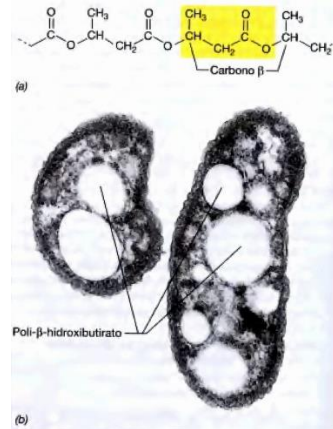
*Azotobacter* sp. FA8 es un tipo de bacteria que es productora de PHB y que está aislada de diferente toma del suelo. Esta línea puede implementar azúcar de caña y melaza, que es un producto de la fabricación de azúcar de la caña a precio económico en el país y lugares de la región, para la producción PHB. Una ventaja de mucha importancia del microorganismo es que no aporta ningún tipo de forma, ya que no puede obtener un origen de carbono para la exopolisacáridos. (Almeida et al., 2004).

En estas bacterias, el polímero se sintetiza a través de una ruta metabólica consta de tres enzimas:  $\beta$ -cetotiolasa, que condensa dos moléculas de acetil-CoA



para formar acetoacetyl-CoA, y acetoacetyl-CoA reductasa, que convierte el compuesto en 3-hidroxiacetyl-CoA, una polimerasa A que polimeriza monómeros. Esta vía es utilizada por la mayoría de las bacterias productoras de PHB, como *R. eutropha*. En *Azotobacter* estas enzimas FA8, codificadas por los genes *phaB*, *phaA* y *phaC*, fueron clonadas en nuestro laboratorio. (Almeida et al., 2004).

Figura 3: Esquema de la síntesis de PHB en *Azotobacter* sp. FA8.



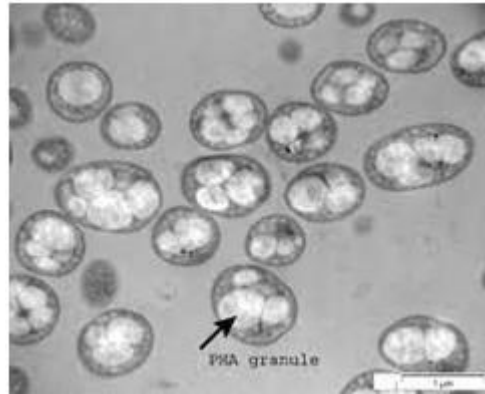
Hay diferentes proteínas que están involucradas con la estabilización de la biosíntesis de polímeros y la construcción del retículo endoplásmico. Se han descrito varias proteínas estructurales. Uno de ellos es la vaselina, que se une a las moléculas estas proteínas afectan el tamaño y la pureza de las partículas porque son importantes para la forma de las partículas; la partícula dentro de las células y evitan que otras proteínas se unan de manera no específica, lo que ayuda a simplificar el proceso de purificación del polímero. Las interacciones entre las proteínas de unión a partículas son prácticamente desconocidas en todas las especies estudiadas hasta el momento (Ruiz y Almeida, 2004).

## 8 APLICACIONES DE LOS PHA

El poliéster se deposita como gránulos de alto índice en la celda. Dependiendo de los microorganismos y las condiciones de cultivo, se producen copolímeros o copolímeros con diferentes ácidos hidrodinámicos. A continuación, las partículas de PHA se recuperan mediante destrucción celular.



Figura 4: Acumulación de gránulos de PHA en shaeroides Rhodobacter



También se puede utilizar como forma en látex para recubrir de carácter fibrosos como cartón o papel. Gracias a la resistencia con el agua, este revestimiento cubre el papel de los daños causados por lo húmedo. Otra implementación importante es el uso con material para el relleno debido a el PHA tiene una diminuta capacidad para difundir el oxígeno. (Contreras y Gonzalez, 2013).

Los PHA en la cadena mediana también son utilizados en producción de caucho que sea biodegradable. En la actualidad, los cauchos fabricados naturalmente y sintéticos como son isopreno, el estireno o butadieno, el cloropreno y el poliuretano es que utilizan en incrementación como guantes, pañales, mascarillas, fetos y otros subproductos que difícilmente se puede reciclar y reutilizar. Indagaciones actuales han demostrado que es posible producir caucho que sean biodegradable para los estándares de PHA en la media cadena insaturada al unirlos. Esto se logra mediante reacciones químicas con sulfuros o peróxidos o el uso de luz ultravioleta.

En general, el PHA puede fabricarse con diversos materiales y formas, y procesarse en equipos conjuntos con poliolefinas u otros plásticos, como los que se utilizan en moldeo y extrusión. También se puede procesar en forma de caucho o en una solución con varios solventes. Hasta la fecha, solo se han desarrollado aplicaciones comerciales de los productos Biopol. Los materiales se convirtieron en envases biodegradables para shampo y aceite de máquinas, algunos recipientes y charolas de marisco y también la carne diferente de los supermercados se fabrican en Biopol y se venden en gran parte de Japón. En tal estos diversos casos, el producto se utiliza por cada perfil ambiental y aumentar las ventas con otras aplicaciones que son requeridas para la biodegradabilidad





por diferentes razones que son funcionales. (Contreras y Gonzalez, 2013).

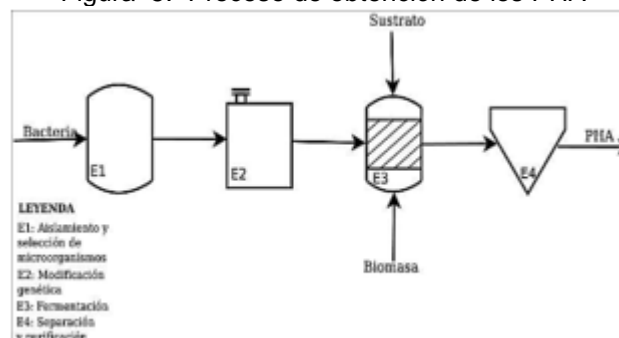
Considerando lo descrito, el objeto de estudio de este trabajo fue: analizar el uso de plásticos biodegradables a partir de los polihidroxicanoatos (PHA`s) o biopolíesteres sintetizados que se basan en recursos que habitualmente se renuevan como la celulosa y el almidón.

## 9 REVISION DE TECNICAS Y MATERIALES UTILIZADOS

Los materiales requeridos para la obtencion de Polihidroxicanoatos se enfocan al uso de bioingeniería, farmacéutica y el entendimiento del comportamiento orgánico. Las industrias utilizan a los microorganismos como ejes funcionales para ser usados como si fueran petroquímicos. Un estudio pudo desarrollar polihidroxicanoatos a partir de *Ralstonia eutopha* que es un sustrato de la harina de yuca. Los materiales son simples, según Rojas et al. (2017), en su trabajo emplearon harina de yuca variedad HCM1, proveniente de la empresa Deriyuca, en Santander Colombia, con un tamaño de partícula de 150 µm y una humedad entre 11 y 13%”, donde este componente es mezclado con la cepa bacteriana crioconservada y activada en medio de cultivo Trypticasa Soya Agar, y en base a la mezcla obtuvieron una enzima que permite ser empleada como mediador eficiente en el contexto eje para su fabricación.

Bajo este proceso en laboratorio se introduce el concepto de prueba y fermentación bacteriana y extracción del biopolímero y se comienza a plastificar la turbidez realizando seguimiento por espectrofotometría y con este compuesto se genera el plástico necesario biodegradable.

Figura 5. Proceso de obtención de los PHA





## 10 EQUIPOS DE LABORATORIO MÁS UTILIZADOS EN EL PROCESO

Los equipos a nivel de laboratorio más utilizados se enumeran a continuación:

- Centrífuga.
- pH-metro.
- Incubadora orbital.
- Campana de flujo laminar.
- Campana de extracción de laboratorio.
- Cromatógrafo de gases acopiado a espectrómetro de masas (GC/MS)
- Cromatógrafo líquido de alta resolución (HPLC)
- Espectrofotómetro de ultravioleta visible
- Estufa de cultivo
- Fotómetro para multiplicas MultiSkan
- Reactor
- Balanza de precisión
- Autoclave
- Liofilizador

Según las referencias existen dos métodos para su cultivo, puede ser el método experimental o el método de análisis, pero al cuantificar el sustrato se debe de tener presente el anión fosfato, la absorbancia y la cuantificación de la biomasa que por lo consiguiente el método de fermentación más eficiente es el que está expuesto en el siguiente apartado con sus respectivas etapas, recuperación y procesamiento del PHA.



## 11 MÉTODO

Tabla 1. Método y tratamiento de la producción de PHA en su proceso de fermentación y recuperación.

Fermentación			
Etapa 1	Etapa 2	Recuperación	
Producción de biomasa.	Acumulación de PHA	Cosecha de células. ↓	Solubilización de biomasa / filtración y Centrifugación
		Solventes orgánicos, precipitación. →	
Recuperación			
Cosecha de células	Extracción de PHA		
	Solventes orgánicos / precipitación.		
	Solubilización de biomasa/Filtración/Centrifugación.		
Procesamiento			
Material especial		Material de uso común	
Requiere de una purificación previa: Aplicación biomédica farmacéutica, síntesis orgánica.		Procesamiento directo: Empaques, productos desechables recubrimientos	

## 12 RESULTADOS OBTENIDOS EN LA REVISIÓN

Figura 6. Ejemplo del proceso de degradado del plástico Polihidroxicanoatos



El material es resistente, y se puede degradar en menos de un mes y medio, por ello es pertinente su composición, evaluación y tratamiento en prueba



“Teniendo en cuenta que el PHA es un compuesto de almacenamiento a partir de un exceso de carbono, es natural que los microorganismos cuenten con una enzima para degradarlo y así recuperar este carbono almacenado cuando en el medio circundante este escasee, de este modo los PHA pueden servir como una fuente de carbono o de energía para los microorganismos” (Lemos y Cordoba, 2018).

A pesar que su existencia, comercialización y demanda mundial no está en su punto auge la importancia del uso de PHA en la industria da prioridad a los resultados que se desean esperar a futuro. La utilidad del plástico sintetizado por propiedades de PHA puede ser de uso múltiple, por ejemplo, la aplicación de mallas quirúrgicas, suturas, tornillos y demás materiales médicos al igual que fundas plásticas, envases y tenedores.

### 13 DISCUSIÓN

Múltiples autores han sido expuestos a lo largo del desarrollo algunos defendiendo la causa del PHA, dado a que son una posible alternativa para el plástico (Almeida et al., 2018). Pero son atribuibles al carbono como lo indica Cruz, (2019), que se puede variar en más de 75 especies, son fáciles de modificar en los laboratorio e incluso clonar (Almeida et al., 2018; Suwannasing & Moonarmart, 2018). Sin embargo, aún deben ser estudiadas a fondo, pero el tratamiento y la cuantificación son sumamente de utilidad y eficientes por su poca complejidad (Ruiz y Almeida, 2019; Grothe et al., 1999).

### 14 CONCLUSIONES

En conclusión, el desarrollo del presente estudio pudo determinar los componentes del PHA por compuestos biológicos biodegradables que pueden ser producidos por microorganismos. Su estructura química es el monómero como el ácido hidroxialcanólico, enzimas polimerasa, polímero cadenas de monómeros los hacen flexibles para un bajo costo de producción.



## REFERENCIAS

- Aguilera, Olalde. (1998). Microorganismos y biodiversidad. *Terra latinoamericana*, 298 - 292.
- Almeida, A., Ruiz, J. A., López, N. I., & Pettinari, M. J. (2018). Bioplásticos: una alternativa ecológica. *Química Viva*, 122-133.
- Almeida, A., Ruiz, J., López, N., & Pettinari, J. (2018). Bioplásticos: una alternativa ecológica. [www.redalyc.org: https://www.redalyc.org/pdf/863/86330305.pdf](https://www.redalyc.org/https://www.redalyc.org/pdf/863/86330305.pdf)
- Andler, R. y. (2013). Ingeniería para producir plásticos desde bacterias. *Ingenerare*, 27-29.
- Baño, Eduardo. (2020). Tecnologías de fabricación y reciclaje de plásticos: envases impresos. *Canales Sectoriales*, 89.
- Contreras, J. C., & Gonzalez, O. (2019). Síntesis y biodegradación de polihidroxicanoatos: plásticos de origen microbiano. *Internacional de Contaminación Ambiental*, 77-115.
- Cruz, Leyva. (2019). Importancia y estudios de las comunidades microbianas en los recursos y productos. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 156.
- Ecoticias. (2017). Prometedores avances en la industria de los bio plásticos. [ecoticias.com/residuos-reciclaje/114866\\_Prometedores-avances-industria-bio-plasticos](http://ecoticias.com/residuos-reciclaje/114866_Prometedores-avances-industria-bio-plasticos)
- Fowler, G. P. (1985). Spectrofluorometric studies of the lipid probe, Nile red. *J. Lip. Res.* 26,. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 781-789.
- Gomez, Sandra. (2017). Aprovechamiento de recursos renovables en la obtención de nuevos materiales. *Ingenierías USBMed*, 69 - 74.
- González, G.Y., Meza Contreras, J.C., González Reynoso, O. (2013). Síntesis y biodegradación de polihidroxicanoatos: plásticos de origen. *Revista Internacional de Contaminación*, 77-115.
- González, Y., Meza, J., González, O., Córdova, J. (2018). Síntesis y biodegradación de polihidroxicanoatos: plásticos de origen microbiano. [scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0188-49992013000100007](http://scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992013000100007)
- Gonzalez, Yolanda. (2018). Síntesis y biodegradación de polihidroxicanoatos: plásticos de origen microbiano. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 49.
- Grothe, E., Moo-Young, M., Chisti, Y. (1999). Fermentation optimization for the production of poly(beta-hydroxybutyric acid) microbial thermoplastic. *Enzyme Microb.* [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0188-49992013000100007](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992013000100007)
- Hahn, S., Chang, Y., Kim, B., & Chang, H. (1994). Optimization of microbial poly(3-



hydroxybutyrate) recovery using dispersions of sodium-hypochlorite solution and chloroform. *Biotechnol.* Bioeng.  
<https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.321.2900&rep=rep1&type=pdf>

Holt, O. A. (1992). Técnicas analíticas para la detección, cuantificación y caracterización de PHA. Nile Blue A as a Fluorescent Stain for Poly-3-Hydroxybutyrate. *Appl. Env. Microbiol.*, 238-241.

Hoyos Jose Luis. (2018). Producción de polihidroxialcanoatos. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 19-20.  
<http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v14n1/v14n1a03.pdf>

Ieczak, J., & Schmidell, W. y. (2019). Highcell Highcell-density culture strategies for polyhydroxyalcanoate. *Journal of industrial Microbiology and Biotechnology*, 275-286.

Jendrossek D., S. A. (1996). Biodegradation of polyhydroxyalkanoic acids. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 451-463.

KHANNA SILVIA, S. A. (2016). Plásticos biodegradables a partir de la enzima polihidroxialcanoatos. A simple structured mathematical model for biopolymer (P3HB) production. *Biotechnol.*, 830-838.

Lemos, A., & Cordoba, A. (2018). Polihidroxialcanoatos (PHA) producidos por bacterias y su posible aplicación a nivel industrial. [http://revistas.sena.edu.co/index.php/inf\\_tec/article/view/139/195](http://revistas.sena.edu.co/index.php/inf_tec/article/view/139/195)

LOPEZ, G. R. (2017). Parte esencial de todas las industrias y en muchos casos han reemplazado el uso de vidrio y papel . *Revista internacional de contaminación ambiental*, 846-850.

Flores Vásquez, A.P., Idrogo, E., Carreño Farfán, C.R. (2018). Rendimiento de polihidroxialcanoatos (PHA) en microorganismos halófilos aislados de salinas. *Revista Peruana de Biología*, 25(2), 153-160.  
<https://dx.doi.org/10.15381/rpb.v25i2.14249>

Madison L. and Huisman, W. (1999). Microbiology and Molecular. *Biology Reviews*, 21-63.

Martha Lucía Malagón Micán, S. M. (2017). Plásticos biodegradables a partir de la enzima polihidroxialcanoatos. *Revista de departamento de Ingeniería Química, Facultad de Ingenieras Fundación Universidad.*, 2-7.

Mergaert J., A. C. (1992). Biodegradation of poly(hydroxyalkanoates). *FEMS Microbiol.*, 103-317.

MSc. Gladis Sara Sanmartín Ramón, M. R. (2017). El reciclaje: un nicho de innovación y emprendimiento con enfoque ambientalista. *Revista Universidad y Sociedad*.

noticiasdelaciencia.com. (2016 de Noviembre de 2016). [noticiasdelaciencia.com](http://noticiasdelaciencia.com).



Obtenido de [noticiasdelaciencia.com:  
https://noticiasdelaciencia.com/art/21908/plasticos-biodegradables-a-partir-de-una-enzima-bacteriana](https://noticiasdelaciencia.com/art/21908/plasticos-biodegradables-a-partir-de-una-enzima-bacteriana)

Rehm, B., y Steinbüchel, A. (2015). Biochemical and genetic analysis of PHA synthases and other proteins required for PHA synthesis. *International journal of biological macromolecules*, 1-3.

Riera, M. (2018). Proceso de obtención de los PHA. Obtenido de [researchgate.net/figure/Proceso-de-obtencion-de-los-PHA-Fuente-Calero-29-Dutt-Tripathi-et-al-30-Montoya\\_fig1\\_356617673](https://researchgate.net/figure/Proceso-de-obtencion-de-los-PHA-Fuente-Calero-29-Dutt-Tripathi-et-al-30-Montoya_fig1_356617673)

Rojas, E., Hoyos, J., & Mosquera, S. (2017). Producción de Polihidroxialcanoatos (phas) a partir de *Ralstonia Eutropha* en un medio con harina de yuca como fuente de carbono. <https://revistas.unicauca.edu.co/index.php/biotecnologia/article/view/453/599>

Ruiz, J., & Almeida, A. (2019). Bioplásticos: una alternativa ecológica. *Química Viva*.

Suwannasing, W., & Moonarmart, S. a. (2018). [mfuic2012.mfu.ac.th.  
mfuic2012.mfu.ac.th:  
https://mfuic2012.mfu.ac.th/electronic\\_proceeding/Documents/00\\_PDF/O-SC-B/O-SC-B-10%20WaranyaSuwannasing\(KKU\)-Revised-19%20Oct-2012docx.pdf](https://mfuic2012.mfu.ac.th/mfuic2012.mfu.ac.th:https://mfuic2012.mfu.ac.th/electronic_proceeding/Documents/00_PDF/O-SC-B/O-SC-B-10%20WaranyaSuwannasing(KKU)-Revised-19%20Oct-2012docx.pdf)