

El desarrollo de plástico biodegradable a partir del cáñamo por estímulo microbiano

The development of biodegradable plastic from hemp by microbial stimulus

Johanna Marcela Moscoso-Gama¹, Maria Camila Sanabria-Cuervo², Ana Maria Sanchez-Rubiano³

Fecha de recepción: 6 de mayo, 2023

Fecha de aprobación: 11 de setiembre, 2023

Moscoso-Gama, M; Sanabria-Cuervo, M.C; Sanchez-Rubiano, A.M. El desarrollo de plástico biodegradable a partir del cáñamo por estímulo microbiano. *Tecnología en Marcha*. Vol. 37, Nº 2. Abril-Junio, 2024. Pág. 82-94.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v37i2.6712>

1 Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca; Colombia. Correo electrónico: jperpe@unicolmayor.edu.co

 <https://orcid.org/0000-0001-9963-5978>

2 Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca, Colombia. Correo electrónico: mcsanabria@unicolmayor.edu.co

 <https://orcid.org/0000-0003-2850-0296>

3 Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca, Colombia. Correo electrónico: amsanchezrubiano@unicolmayor.edu.co

 <https://orcid.org/0009-0000-4861-312X>

Palabras clave

Cáñamo, *Ralstonia eutropha* - *Cupriavidus necator*, Bioplásticos, Polihidroxicanoatos (PHA), Polihidroxiobutirato (PHB)

Resumen

Actualmente varias industrias de diversa índole han apostado por el uso de *Cannabis sativa* con diferentes fines, en esta ocasión se resalta la capacidad que tiene la fibra del tallo de cáñamo en conjunto con la bacteria *Ralstonia eutropha* para la generación de plásticos biodegradables, aprovechando su potencial para la generación de PHB (Polihidroxiobutirato). En este artículo de revisión se sustenta el análisis de fuentes como artículos científicos y trabajos de investigación relacionados con la manipulación artesanal e industrial de las fibras de cáñamo, así como también investigaciones previas con respecto a la producción de PHA por parte de la bacteria *Ralstonia eutropha*. La perspectiva es desarrollar una metodología con recursos de fácil acceso en Colombia. Los resultados arrojan que las investigaciones realizadas recientemente y la materia prima son un buen factor en cuanto economía, manejo y progreso; adicionalmente diferentes estudios evidencian que la yuca se ha reconocido como una gran fuente de carbono que permite aumentar el potencial de producción de PHB por parte de la bacteria. Se concluye que su compostaje no requiera de terceros, solamente del ambiente gracias al poder que posee la *Ralstonia eutropha* de producir PHB, y que bajo condiciones de estrés fisiológico es capaz de degradarse completamente permitiendo disminuir el impacto de la descomposición del material en el medio ambiente, sin contaminaciones o microplásticos residuales.

Keywords

Hemp, *Ralstonia eutropha*, Bioplastics, Polihidroxicanoates (PHA), Polihidroxiobutirato (PHB).

Abstract

Currently, several industries have opted for the use of *Cannabis sativa* for different purposes, this time the capacity of the hemp stem fiber in conjunction with the *Ralstonia eutropha* bacterium for innovation of biodegradable plastics is highlighted, taking advantage of its potential for the generation of PHB (Polyhydroxybutyrate). This review article supports the analysis of sources such as scientific articles and research papers related to the artisanal and industrial manipulation of hemp fibers, as well as previous research regarding the production of PHA by the bacteria. The perspective is to develop a methodology with easily accessible resources in Colombia. The results show that the investigations carried out recently and the raw material is a good factor in economy, management, and progress; Additionally, different studies show that cassava is recognized as a great source of carbon that increases the potential for PHB production by the bacteria. It is concluded that its composting does not require third parties. Still, only the environment because of the power that *Ralstonia eutropha* has to produce PHB and that under conditions of physiological stress, it is capable of degrading, allowing to reduce the impact of the degradation of the material in the environment without contamination or residual microplastics.

Introducción

Estudio realizado en julio del 2020 por Ellen MacArthur y su fundación dio a conocer la verdadera problemática que existe en el mundo a causa de los plásticos, dispuso a conocimiento varios resultados clave que es de primordial interés en esta revisión, primero que en realidad por

más esfuerzos que se tengan para detener esta contaminación, el volumen abismal de plásticos complica este proyecto; segundo el cual refiere a que no solo se debe reducir el uso de plásticos, sino ELIMINAR cualquier uso de plástico que no se requiera; la tercera cuya percepción dará hincapié para iniciar este debate habla de la realidad de las soluciones que a través de los años se han ofrecido y que han sido hasta ahora insuficientes, por lo tanto se deben innovar y accionar de manera inmediata en nuevas soluciones que realmente tomen el problema desde la raíz con ambición y eficiencia.[1] En Colombia, se cuenta con un gasto de aproximadamente de 700.500 toneladas de envases y empaques plásticos, pero solo el 3% de este gasto es reciclado, denotando como un país que contribuye altamente en la contaminación del mar Caribe con desechos plásticos. Para acelerar la transición segura de los plásticos se requieren compromisos ambiciosos e implementados; en compañía de la Fundación MacArthur Colombia se suma a una de las muchas naciones para crear un Pacto por los Plásticos´ cuyos objetivos van desde colaborar para reducir la basura en tierra, agua dulce y medio marino; investigar las posibles oportunidades de los residuos plásticos en una segunda función alterna; apoyo al reciclaje de circuito cerrado hasta ejecutar modelos de reutilización; contribuir al cumplimiento de la ley 2232 de 2022 de los plásticos de un solo uso. Sin embargo, depende de la implementación global inmediata, ambiciosa y concertada de soluciones.[2] Por esta razón y muchas más, no es posible ignorar el problema que Colombia enfrenta con los plásticos, por otra parte y sin dejar una problemática de lado pero tomando en cuenta otra, es de conocimiento que Colombia no es la cuna del cáñamo por cuestiones socioculturales, pero ¿si así fuera? Ya se están desarrollando permisos e incluso leyes, que permite al campesino y/o emprendedores cultivar y manipular el cáñamo para usos innovadores, sumado a que es un país con todos los pisos térmicos, realmente la cosecha de cáñamo sería propia y sencilla, es una planta que no requiere tanto cuidado como otras y por ende se hace económico gracias a que se auto deshierba, son pocas o ninguna fitopatología, no tiene plagas, ni parásitos que la puedan infectar. Y en cuanto a su descomposición, dura 6 meses aproximadamente desde el momento que se inicie su compostaje para su total descomposición.[3]

Cáñamo (*Cannabis sativa*)

El cáñamo más conocido como *Cannabis sativa* es una especie herbácea que se origina en el Himalaya, Asia . Los humanos han cultivado esta planta desde años prehistóricos como principal fuente de fibra textil, extraer aceites de sus semillas o a partir de su fruto hacer todo tipo de infusiones medicinales. Su fibra tiene usos variados que van desde la fabricación de hilos o papel hasta alimento para mascotas y ganado. Las variedades de este *Cannabis* tienen también propiedades psicoactivas y son reguladas e incluso prohibidas en distintos países, pero como tal el cáñamo industrial tiene un porcentaje de 0,3% de THC, lo que no lo convierte en un riesgo. En su taxonomía existen 3 subespecies: *Sativa*, *Índica* y *Ruderalis*. Cada una con sus características particulares. [4]

Los cultivos en condiciones ideales, pueden crecer hasta 11 cm por día y crecimiento de 2 cm por día son comunes en su etapa rápida de crecimiento. La capa externa del tallo constituye, en promedio, el 30-35% del peso seco del tallo, con una porción de corteza de 12-48 %, así que el porcentaje de fibra va a ser aproximadamente 30%. El núcleo leñoso o xilema también conocido, es la parte fundamental para nuestro trabajo ya que de ahí sacaremos la paja de cáñamo, y este constituye un peso de 65-70% del peso total del tallo. Los atados de fibra, el cámbium y el xilema se van a ver aglutinados por resinas y pectinas de la planta. Así que el proceso para aflojar las fibras de la corteza y la madera se conoce como enriado. En cuanto a los requerimientos del cultivo, las variedades comerciales de cáñamo requieren un periodo libre de heladas de cinco meses o más para producir semillas y de aproximadamente cuatro meses para la producción de fibra, la temperatura ideal es de 1°C-45°C para la germinación. Como se

habla de una planta herbácea que requiere de suficiente luz solar durante la primera y segunda fase de crecimiento, se menciona que, para entrar a la etapa de floración, un cultivar de ciclo largo florece más tarde que uno de ciclo corto, y por lo mismo alcanza a producir más fibras antes de entrar a la fase reproductiva.[4]

Ralstonia eutropha - Cupriavidus necator

Este microorganismo se puede encontrar en el suelo y el agua. Este tiene un gran potencial como uso para la biorremediación, puesto que es capaz de degradar una gran cantidad de compuestos aromáticos y contaminantes. Originalmente fue aislada de lodos y recibía el nombre de *Alcaligenes eutrophus*. Con la ventaja de emplear fuentes de carbono y energía renovables como la fructosa y la glucosa, provenientes de subproductos agroindustriales, es una de las bacterias más utilizadas en la producción de PHA, debido a que es capaz de almacenar aproximadamente hasta un 96% de este material en peso seco.[5]

Es una bacteria Gram negativa en forma de bastones no formadora de esporas, muchas bacterias Gram negativas son conocidas por su capacidad de ser patógenas, pero esta bacteria no. Tiene motilidad y son aerobios facultativos, requiere principalmente de un entorno no halófilo (no salado) y su temperatura óptima de crecimiento es 30°C. Y crece mejor en presencia de concentraciones de varios metales pesados como zinc, cadmio, cobalto, plomo, mercurio, níquel y cromo.[6]

Las cepas de esta especie son utilizadas para estudiar la producción de polihidroxialcanoatos en versión microbiana y el metabolismo quimiolitotrófico en heterótrofos aeróbicos; pueden usar hidrógeno, dióxido de carbono y compuestos orgánicos para su desarrollo y es un organismo muy funcional para la oxidación de hidrógeno porque puede nutrirse del hidrógeno como única fuente de energía.[7] Cuando el oxígeno no está presente, puede utilizar un metabolismo diferente para crecer; puede obtener energía mediante desnitrificación anaerobia. Su metabolismo prefiere el ácido propiónico para la síntesis de masa celular y el ácido butírico para la síntesis de polímeros de PHA.[8] A pesar de su gran versatilidad en cuanto a fuentes nutricionales, su tasa de crecimiento es realmente baja. Contando que la mayor acumulación de gránulos poliméricos en esta bacteria ocurre cuando se encuentra en la fase estacionaria de crecimiento en un medio simple a partir de fuentes de carbono económicas tales como glucosa, fructosa y residuos de la industria oleícola; La mayoría de los trabajos de investigación utilizan cepas mutantes de *R. eutropha* capaces de crecer sobre glucosa. Sin embargo, la cepa nativa crece en fructosa, por lo cual es necesario establecer las condiciones para la acumulación del polímero.[9]

Para la producción del polímero por *R. eutropha*, la estrategia de fermentación más empleada es el cultivo por lote alimentado en el cual las células crecen hasta una determinada concentración sin limitación de nutrientes, luego un nutriente esencial es limitado para permitir la síntesis de PHAs. Durante esta etapa, la concentración de biomasa permanece constante presentándose acumulación de polímero.[10]

Bioplásticos

Los bioplásticos son materiales obtenidos a partir de fuentes renovables y la obtención de estos se puede dar por polisacáridos como la celulosa. Se considera que es un material que se desarrolla a través de la descomposición aeróbica o anaeróbica a causa de los microorganismos (bacterias, algas y hongos) que son degradados por la acción enzimática en condiciones habituales del ambiente, son obtenidos a partir de materia orgánica en la gran mayoría de biomasa, un gran porcentaje de estos bioplásticos son compostables. Los

polímeros biodegradables pueden clasificarse dependiendo de su proceso de extracción o si son removidos directamente de la biomasa como celulosa y almidón o con proteínas como colágeno y queratina.[11]

Al pasar los años, el plástico ha sido un problema para el medio ambiente, su tiempo tan prolongado de degradación hace que sea casi imposible eliminar la cantidad de basura producida, la cual no es realmente comprendida en cuanto a su gravedad por la sociedad, es entendible porqué llegó a un punto de ser insustituible, pero las cifras hablan de que social, cultural y ambientalmente se requieran opciones que dejen de perjudicar, cada año se produce 370 MMt aproximado de plásticos y solo el 1% de esta cifra son bioplásticos. Se ofrecen alternativas con polímeros que son fácil de conseguir cómo en fuentes renovables, desechos orgánicos o microorganismos, son elementos que no requieren de procesos arduos, químicos, petróleo, gas, minerales o cualquier recurso que en su explotación genere contaminación, lo que también llevaría a que los bioplásticos podrían sustituir alrededor del 85% de los plásticos convencionales en un mediano y largo plazo.[11]

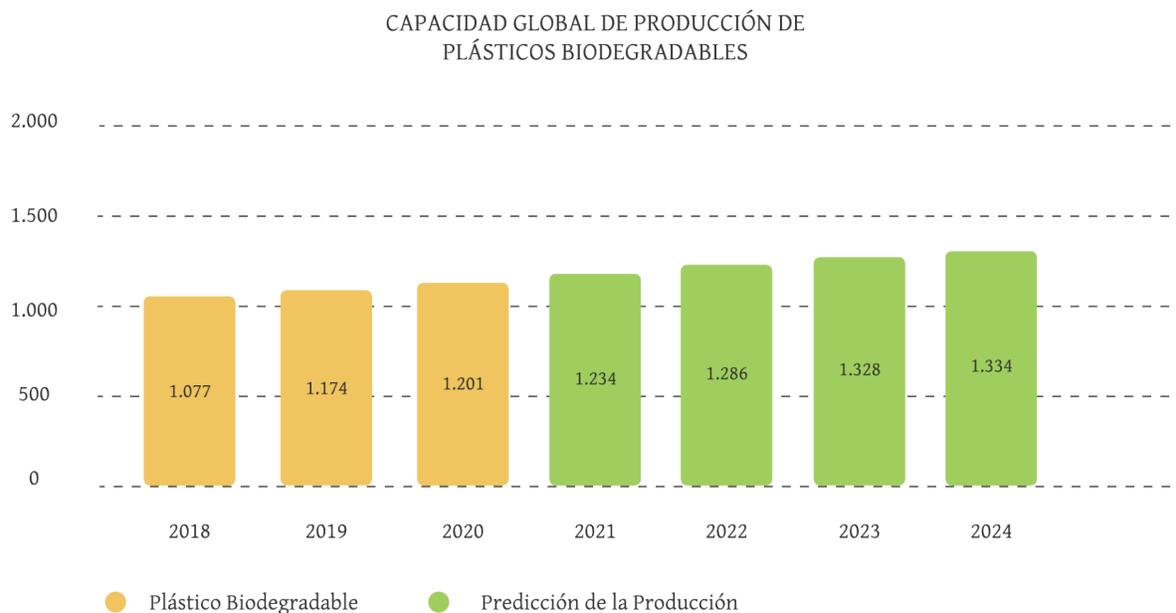


Figura 1. Capacidad global de producción de bioplásticos. Fuente: PMMI.Media group.

Como se evidencia en la figura 1, se espera que para el 2024 el mercado de bioplásticos crezca más de un 15%, debido al aumento de la industria por materiales que sean sostenibles. En Colombia, en 2018 el CONPES (Consejo Nacional de política Económica y Social) estableció la política de crecimiento verde, que tiene como meta la reducción de la huella de carbono y la transición de una economía lineal a una circular, para impulsar que los productos generen un menor impacto ambiental, conservando o incluso mejorando el desempeño y la calidad de los que son utilizados en la actualidad.[12]

El Cáñamo en la Industria

Actualmente el cáñamo es considerado uno de los materiales más innovadores para la producción de “composites” o polímeros derivados de materiales distintos que suelen caracterizarse por tener estructuras diferentes a nivel físico-químico. Al ser un recurso natural se establece como una alternativa renovable que reduce la generación de residuos y los problemas que surgen por procesamientos industriales contaminantes cuando se manejan materiales como el plástico convencional derivado del petróleo [13].

En principio es necesario discernir que la propia estructura de la planta es viable en temas de soporte, resistencia y tracción porque tiene varias fibras naturales de celulosa y hemicelulosa sujetas por lignina y pectina, el material en sí es fuerte, resistente y liviano, ya que está relacionado con el soporte que debe tener la planta para mantenerse estable y erguida desde el tallo a pesar de su longitud considerando también, que su composición vegetal facilita que pueda degradarse con facilidad sin mayor repercusión en el ambiente.

En el cuadro 1 se detallan algunas de las utilidades generales y específicas del cáñamo a partir de su composición estructural.

Cuadro 1. Utilidades del Cáñamo a partir de su composición estructural. Fuente: ICAN. Connect to Cannabis.[15].

UTILIDADES GENERALES DEL CÁÑAMO	
El mercado global de cáñamo está relacionado con diversas áreas de aplicación distribuido en casi nueve subáreas del mercado como lo son : Agricultura, textiles, reciclaje, industria automotriz, muebles , alimentos, medicamentos y bebidas, papel, materiales de construcción y productos de cuidado personal.	
UTILIDADES ESPECÍFICAS DEL CÁÑAMO	
Semillas	Tienen un alto valor proteico y de grasa, especialmente utilizado para: <ul style="list-style-type: none"> • Suplementos alimenticios • Aceites • Alimento para animales • Proteína en polvo
Tallo	Se utiliza para obtener dos tipos diferentes de fibras como: <p>Fibra Externa</p> <p>Es de contextura más rígida que el algodón, tiene aproximadamente un 70% de celulosa, que se utiliza para la producción de algunos materiales de construcción, cuerdas resistentes y textiles.</p> <p>Fibra Interna</p> <p>Se obtiene de la pulpa del tallo y se utiliza para la producción de aislantes composta orgánica y papel.</p>
Flor y hojas	Morfológicamente son muy reconocidas como símbolo de Cannabis en general son empleados en diferentes tipos de medicamentos con propiedades anticonvulsivas, ansiolíticas, antioxidantes , antiinflamatorias y en algunas ocasiones también tienen funciones en la regulación del sistema inmunitario.
Raíz	Al igual que diferentes partes de la planta es utilizado para diversos tipos de medicamentos pero también en la realización de composta orgánica gracias a la capacidad que tiene de fitorremediación del suelo a partir de metales pesados.

Metodología

Se realizó una comparación exhaustiva de diferentes investigaciones relacionadas con el manejo de las fibras de cáñamo para la producción de plásticos biodegradables; la recolección de datos se elaboró teniendo presente la cantidad de material aprovechable que resultaba en cada fase de procesamiento sugerido, así como los resultados obtenidos en el tratamiento convencional del cáñamo a comparación de métodos que se realizan de forma más artesanal o menos contaminantes para el ambiente en aras de acoplar los mejores resultados que ofrecen cada uno.

Proceso de Enriado

Es un proceso bioquímico que tiene como propósito la separación de fibras a través de microorganismos cuyas enzimas actúan principalmente sobre las pectinas que son las moléculas que mantienen unidas las células de la fibra. Este proceso puede realizarse a nivel del agua o del suelo, donde se ha entrado a considerar el impacto ambiental que tienen al presentar altos requerimientos en volumen de agua, así como también se ha visto que se encuentra relacionado con una alta Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) en las aguas utilizadas. Técnicamente la mayor diferencia entre un proceso de enriado con agua o por el suelo es la interacción microbiana para lograr la separación de las fibras, es decir, cuando se realiza en el agua, el método se puede aplicar optimizando un inóculo bacteriano objetivo, mientras que a nivel del suelo la interacción se realiza en el campo dejando los tallos en proceso de enriado a través de la interacción con hongos sin hacer uso de cantidades exorbitantes de agua sino más bien aprovechando la humedad del entorno y la lluvia [16] [17]

Métodos más modernos consisten en analizar cuidadosamente las condiciones que se manejan desde la cosecha del material vegetal hasta el momento en que se inicia la etapa de producción. Estudios realizados por Salvatore, et al. indica que la cosecha y el pretratamiento de las fibras se debe realizar con equipamiento moderno para evitar maltratar los tallos de donde se obtendrá la fibra a través de una segadora cosechadora para posteriormente complementar los procesos de enriado con un proceso de Bio Desgomado.[16]

Bio Desgomado

Este procedimiento se encuentra asociado con el método de purificación de aceites vegetales, ya que consiste en la eliminación de fosfatidos como lecitina y pectina cuando se aplica en fibras de origen natural.[17] Existen diferentes formas de realizar este proceso según el tipo de fibra que se requiera obtener; principalmente se lleva a cabo con Agua, Ácidos y a nivel Enzimático. Para la fibra de cáñamo específicamente, el proceso se hace a través de una solución donde se crean y se mantienen poblaciones microbianas que sean enraizantes, en lo que se denomina licor de enriado.[16] El propósito de este proceso es poder lograr separar los componentes diferentes de la celulosa que se encuentren en la fibra de cáñamo obtenida previamente a través del proceso de enriado como bien lo pueden ser la lignina y pectina por acción de enzimas que pueden obtenerse a través de bacterias principalmente.[18]

Uno de los factores más importantes para poder realizar un bio desgomado exitoso, es la cantidad de agua que se requiere, si bien los métodos de bio desgomado han surgido para poder disminuir la contaminación de los agentes químicos utilizados en el desgomado convencional junto con los residuos que deja el proceso inicial de enriado, aún no se ha logrado reducir considerablemente el gasto de agua para realizar el proceso.[18] En el trabajo realizado por Y. Ren et al.,2022, se propuso el análisis de métodos como el Bio Desgomado Progresivo de Fermentación en estado Sólido donde el objetivo fue establecer previamente

las enzimas y los microorganismos a utilizar en las fibras y a pesar de aun estar en proceso de investigación, se evidencio que no es necesario el uso de agua para ninguna de las fases dentro del procedimiento.[18]

En el bio desgomado químico del cáñamo es posible denotar que las fibras necesitan ser expuestas a diferentes condiciones físico-químicas variando entre estados de alcalinidad y acidez que permiten la remoción de residuos como lignina, pectina y hemicelulosas sin llegar a causar degradación de la celulosa. En contraparte el desgomado biológico puede presentarse de dos formas dependiendo del pretratamiento que se realice en el tallo de la planta antes de bio desgomar. En el pretratamiento que se realiza con poblaciones bacterianas, el desgomado se considera microbiológico y en él se inicia enriqueciendo el material con polisacáridos que tienen el papel de contribuir con el crecimiento de microorganismos que sean capaces de producir enzimas extracelulares con la función de degradar todas las impurezas diferentes de la celulosa. Mientras que en el método enzimático se inicia con la adición de cofactores que estimulan la degradación de dichas impurezas a través de enzimas específicas para este proceso.[19]

El desgomado que se realiza a nivel físico usualmente se considera más una fase de pretratamiento de las fibras porque no alcanza a lograr la purificación adecuada del material, dentro de este mismo podemos encontrar métodos como la saturación con CO₂, vaporización y el ultrasonido, estos procedimientos tienen el objetivo de abrir brechas entre las moléculas de hidrogeno y la celulosa por las que puedan entrar a penetrar otras sustancias tales como enzimas, soluciones alcalinas y reactivos que catalizan las reacciones de degradación. [20]

Producción y obtención de PHB

Dentro de la industria de los plásticos, los PHA (Polihidroxialcanoatos) y especialmente el PHB (Polihidroxibutirato) son biopolímeros de gran importancia debido a las características de termoestabilidad que poseen. Estos biopolímeros pueden ser sintetizados por algas o bacterias a nivel intracelular en condiciones de estrés metabólico, con el propósito de almacenar en gránulos carbono y energía hasta el punto en que ocupan gran parte de su porcentaje de peso en ellos. [21] [18]

La producción de PHB por parte de la bacteria *Cupriavidus necator* inicia como el ciclo que realizan los demás microorganismos productores de PHAs, es decir, tiene una etapa que consiste de 3 fases y la intervención de 3 enzimas principalmente, orientado a un proceso de pseudo fermentación de la Acetil CoA y la acción coadyuvante de los genes phaA phaB y phaC (figura 2) [22]

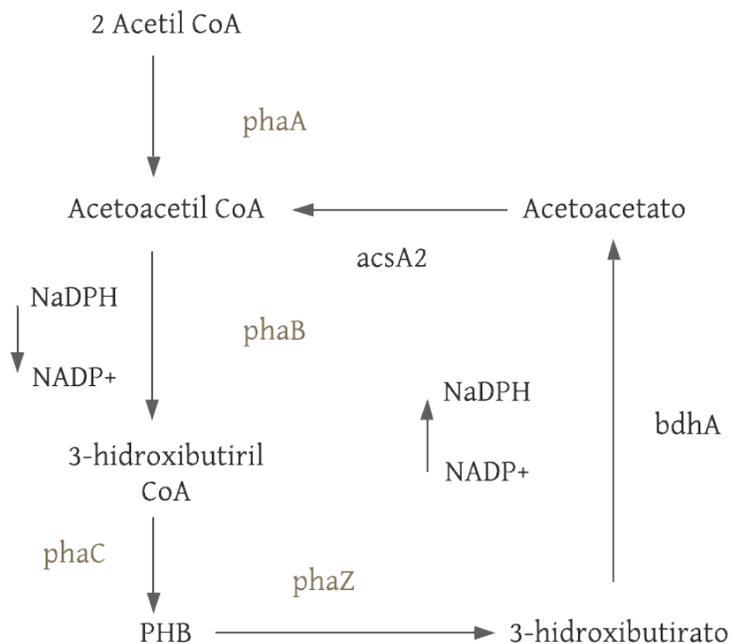


Figura 2. Ciclo de Producción de PHB (Polihidroxiacetato) por parte de *Cupriavidus necator*. Tomada [22]

A nivel de pre tratamiento la bacteria es sometida a una sobresaturación de fuentes de carbono y posteriormente esa suplementación es interrumpida abruptamente con el propósito de que haya mayor biodisponibilidad de materiales para la posterior formación de los gránulos como reservas de almacenamiento de carbono ricos en biopolímeros. Es posible realizar un análisis de la formación de granulos a través de tinciones como Negro Sudan para su posterior observación por microscopia y así denotar si la bacteria realmente formo el material esperado. Se debe proceder a la extracción de los mismos mediante soluciones alcohólicas que se utilizan para romper la pared celular y liberar el PHB del interior de la bacteria, luego a través de procesos de ultracentrifugación se sedimentan las células que contienen altas cantidades de polímero acumulado para posteriormente realizar un tratamiento con diferentes compuestos entre ellos el cloroformo, este ultimo actua como un solvente en cuyo caso se filtra para que al final se pueda eliminar el material que no se haya alcanzado a disolver, de esta manera obtener el PHB puro, como es descrito por M. Narayanan et all. 2020 y S.M Handy et all. 2022.[23][24]

Creación de Composites

Estableciendo que un composite es una aleación o combinación de diferentes materiales, en este caso el composite a formar es a partir de la celulosa de cáñamo y la combinación que se puede generar al añadirle o suplementar con los PHB (polihidroxiacetato) obtenidos a partir de *Cupriavidus necator*. Lo primero que se debe tener en cuenta para poder realizar una aleación, entre material de origen vegetal como la fibra de cáñamo con biopolímeros producidos por diferentes microorganismos como el PHB de *Cupriavidus necator*, es que son materiales que no se adhieren con facilidad entre ellos, puesto que tanto el material vegetal como los biopolímeros son altamente hidrofóbicos por el grupo -OH terminal que tienen en su estructura molecular, aun así estudios sugieren que se utilicen reactivos como CH₃COOH, NaOH y H₂O₂ que por

su carga puedan facilitar el acoplamiento, sin embargo se ha denotado que la mejor opción es tener un copolímero que haga la función de puente entre las moléculas de celulosa y las que componen a los biopolímeros. [25]

A pesar de las diferentes formas que existen para producir un plástico biodegradable, actualmente es difícil denotar el mismo procedimiento para fibras vegetales diferentes que se puedan llegar a utilizar como componentes para que hagan parte de los mismos. Es decir, el proceso de fabricación de los plásticos en general es denominado polimerización durante este proceso moléculas pequeñas llamadas monómeros interactúan para realizar uniones con otras moléculas para formar grandes redes que se reconocerán como polímeros. A pesar de lo importante que resulta ser este proceso para la formación de plásticos tanto la celulosa como el PHB ya son compuestos complejos de gran tamaño que no requieren una fase polimerizada, según la metodología descrita por F. Touchaleaume, et al. 2019. Para la formación de biocomposites o aleaciones con fibras de cáñamo y PHB es necesario hacer que los compuestos tratados previamente con temperaturas de entre 45 a 80 C para secarlos y posteriormente someterlos a ciclo de Extrusión. [26][27]

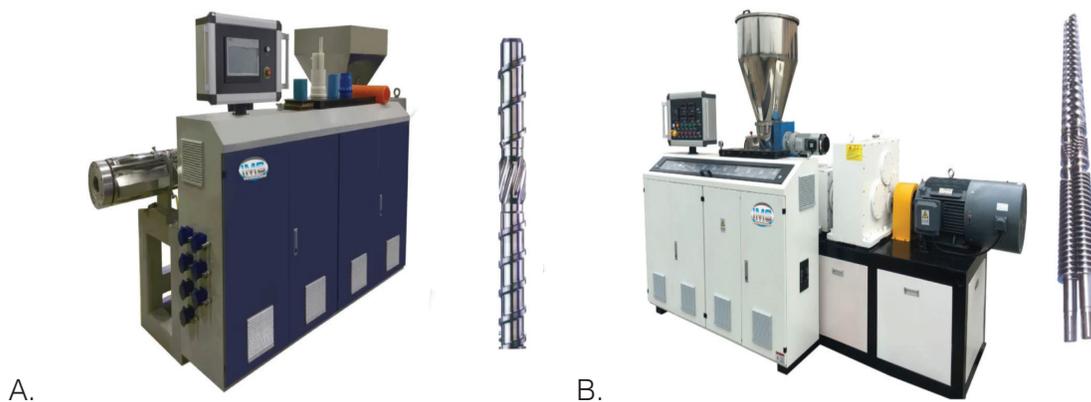


Figura 3. A) Máquina Extrusora de Tornillo Sencillo. B) Máquina Extrusora de Doble Tornillo. Fuente: [28].

Las máquinas extrusoras son clasificadas como máquinas de un solo tornillo o dos tornillos (ver figura 3) dependiendo de la cantidad de fibras a combinar, polímeros a procesar y demás características que se desean procesar en el plástico. Para iniciar el proceso se introducen los compuestos en la tolva de la máquina, que en este caso serían los obtenidos del procesamiento de la fibra de cáñamo junto con el PHB obtenido a partir de la bacteria en forma de pellet después de que se realiza el pretratamiento térmico, para que pasen a través de un conducto que los dirige a un tornillo giratorio cuyo diseño depende del tipo de máquina extrusora y la cantidad de material a procesar, la rotación del tornillo hace que el plástico pase por un cilindro precalentado para que el material se vaya comprimiendo. Durante este proceso el plástico se funde para que pueda pasar por la matriz hasta la parte del troquel donde finalmente será moldeado según se haya dispuesto en un principio. [29][30]

Discusión y conclusiones

En la actualidad resulta ser de mucha importancia la implementación de procesos y metodologías que no comprometan gravemente el estado de los cuerpos hídricos, suelos, aire, fauna, flora y ecosistemas en general. Uno de los materiales más contaminantes a nivel mundial siempre ha sido el plástico, sobre todo los que hacen parte del grupo de plásticos de un solo uso ya que se utilizan una única vez y posteriormente se desechan incorrectamente para que

terminen en zonas donde no deberían. La problemática que se tiene con este tipo de plásticos y los plásticos petroquímicos en general es que no solo tardan mucho tiempo en degradarse sino que también requieren de químicos contaminantes para su fabricación.[31]

Cannabis sativa se ha posicionado a nivel industrial como uno de los materiales de origen vegetal más importantes por la capacidad que tiene de contribuir al secuestro de carbono en el aire y el sin fin de productos de diversa índole que se pueden obtener de diferentes partes de la planta. La fibra de la misma resulta ser un desecho industrial cuando se utiliza el fruto y demás para propósitos medicinales o de producción de aceites, para aprovecharlo se ha estudiado la posibilidad de emplear la celulosa de su fibra como un material termoresistente, fuerte y dinámico que pueda utilizarse como plástico y al ser desechado aunque sea de forma incorrecta logre degradarse sin dejar ningún tipo de residuo o contaminaciones en el suelo o el agua.[31][32]

Para poder realizar un tratamiento correcto de las fibras es necesario llevar a cabo procesos de enriado y bio desgomado y a pesar de las diferentes alternativas que se han estudiado para poder cumplir con estos propósitos evitando la exposición de las fibras a agentes químicos y el gasto excesivo de recursos como el agua, en el caso del bio desgomado si bien ya tiene varias mejoras habría que analizar a fondo de qué manera el proceso podría reducir considerablemente la cantidad de agua que se requiere utilizar, la metodología propuesta por Y. Ren et al.,2022 efectivamente logra posicionar el Bio Desgomado Progresivo de Fermentación en estado Sólido como un método más ecológico y de mayor eficacia al aumentar la resistencia de las fibras y no generar daños en la cadena molecular de la celulosa que se extrae de las mismas. [18]

El uso de fibras de origen vegetal a pesar de presentar complicaciones al unirse con polímeros para la generación de bioplásticos, se ha posicionado como una alternativa para disminuir el riesgo de contaminación por materiales plásticos fósiles, los procesos de tratamiento de las partes de la planta a utilizar siguen presentando algunas falencias pero al 2023 han venido mejorando la cantidad de recursos renovables que se pueden utilizar para la fabricación de plásticos biodegradables que son de alta demanda en el mercado, es inevitable cambiar la forma en que al final se condensan los compuestos obtenidos a través de la planta y la bacteria pero al final el composite que resulta de ambas cosas se caracteriza por ser fuerte, resistente, fácilmente moldeable y manipulable pero sobre todo y más importante biodegradable.

Referencias

- [1] Perspectiva sobre el estudio “Breaking the plastic wave” LA SOLUCIÓN DE LA ECONOMÍA CIRCULAR A LA CONTAMINACIÓN DE PLÁSTICO. Ellen MacArthur foundation. [Internet]. 2020 [Consultado 05-05-2023]. Disponible en: <https://archive.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/PEW-resumen-ejecutivo.pdf>
- [2] Braking the plastic wave. A comprehensive assesment of path ways toward stopping ocean plastics pollution. SYSTEMIQ. [Internet]. 2020. [Consultado 05-03-2023]. Disponible en: https://www.systemiq.earth/wp-content/uploads/2020/07/BreakingThePlasticWave_ExecutiveSummary.pdf
- [3] Sumpter L. ¿Podría el plástico de cáñamo cambiar el mundo? [Internet] CANNA CONNECTION. 2020 [Consultado 05-05-2023]. Disponible en: <https://www.cannaconnection.com/es/blog/18298-podria-plastico-canamo-cambiar-mundo#:~:text=En%20el%20entorno%20adecuado%2C%20los,hasta%20450%20a%C3%B1os%20en%20degradarse.>
- [4] Fassio A, Rodríguez M y Caretta s. CÁÑAMO (Cannabis Sativa L). 1th edición. Uruguay. INIA; 2013. Disponible en: https://catalogo.latu.org.uy/opac_css/doc_num.php?explnum_id=2348
- [5] Lemos C y Cordoba A. Polihidroxialcanoatos (PHA) producidos por bacterias y su posible aplicación a nivel industrial. Informador Técnico (Colombia). [Internet]. 2015. [Consultado 10-04-2021]. 79(1). Disponible en: <file:///C:/Users/ASUS/Downloads/Dialnet-Polihidroxialcanoatos PHAs Producidos PorBacteriasYSu-5290930.pdf>
- [6] Brigham C. Perspectivas for the biotechnological production of biofuels from CO2 and H2 using *Ralstonia eutropha* an other 'kallgas' bacteria. Springsteen. [Internet]. 2019.[consultado 10-04-2021]

- [7] Li Z, Xin X, Xiong B, Zhao D, Zhang X, Bi C. Engineering the calvin - benson - básicamente cycle and hidrógeno utilization pathway of *Ralstonia eutropha* for improved autotrophic growth and Polyhydroxybutyrate production. BCM. [Internet].2020 [Consultado 01-02-2022]; 19(228).
- [8] Díaz A. Identificación y enriquecimiento de un consorcio bacteriano en aguas y lodos residuales de origen doméstico para producir biopolímero del tipo polihidroxialcanoatos PHA´s: Revisión documental. Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca. [Internet]. 2021. [Consultado 05-03-2023]. Disponible en: <https://repositorio.unicolmayor.edu.co/bitstream/handle/unicolmayor/5606/Identificaci%C3%B3n%20y%20enriquecimiento%20de%20un%20consorcio%20bacteriano%20en%20aguas%20y%20lodos%20residuales%20de%20origen%20dom%C3%A9stico%20para%20producir%20biopol%C3%ADmeros%20del%20tipo%20polihidroxialcanoatos%20PHA%20e%20%99s%20revisi%C3%B3.pdf?sequence=4&isAllowed=y>
- [9] García D. Establecimiento de una estrategia para la producción de PHA de *Ralstonia eutropha* ATTC 17699. Universidad de Antioquia. [Internet]. 2023. [Consultado 05-05-2023]. Disponible en: https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/33677/1/Garc%C3%ADaDavid_2023_Biopol%C3%ADmerosEstrategiaVinaza%20-%20.pdf
- [10] Alcaraz W, Acosta A y Villa A. Evaluación de la producción de polihidroxialcanoatos (PHAs) de aislado bacteriano, empleando hidrolizados de harina de yuca con sustrato alternativo. DYNA. [Internet]. 2018. [Consultado 01-02-2022]. Disponible en: https://media.proquest.com/media/hms/PFT/1/NlbC9?_s=njQT9dqD7LUzMjZLdY8OakpmZoU%3D
- [11] Vargas Y, Pasmíño J, Javier D. Revista politécnica [internet].2021[consultado 15-06-2022]. 48(2). Disponible en: <http://scielo.senescyt.gov.ec/pdf/rpolit/v48n2/2477-8990-rpolit-48-02-7.pdf>
- [12] CONPES. Política de crecimiento verde. Departamento nacional de planeación. [Internet]. 2018. [Consultado 10-04-2021]. Disponible: página oficial del CONPES
- [13] Pertuz A., Benavides R. (2021). Alternativa verde: Bioplásticos elaborados con biopolímeros de origen renovable - revisión. Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Vol. 2 Núm. 1 Disponible en: <https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/wpecbti/article/view/4793/5184>
- [14] E. Xanthopoulou et al, "Evaluation of Eco-Friendly Hemp-Fiber-Reinforced Recycled HDPE Composites," Journal of Composites Science, vol. 7, (4), pp. 138, 2023. Available: <https://ezproxy.unicolmayor.edu.co/login?url=https://www.proquest.com/scholarly-journals/evaluation-eco-friendly-hemp-fiber-reinforced/docview/2806541717/se-2. DOI: https://doi.org/10.3390/jcs7040138>.
- [15] B. Farinon, R. Molinari, L. Costantini y N. Merendino, "La semilla de cáñamo industrial (*Cannabis sativa* L.): calidad nutricional y funcionalidad potencial para la salud y la nutrición humanas", Nutrients , vol . 12, núm. 7, pág. 1935, junio de 2020, doi: 10.3390/nu12071935.
- [16] Musio S, Müssig J y Amaducci S (2018) Optimización de la producción de fibra de cáñamo para aplicaciones de compuestos de alto rendimiento. Frente. ciencia de las plantas 9:1702. doi: 10.3389/fpls.2018.01702
- [17] F. Iucolano, B. Liguori, P. Aprea, and D. Caputo, "Evaluation of bio-degummed hemp fibers as reinforcement in gypsum plaster," vol. 138, pp. 149–156, 2018, doi: 10.1016/j.compositesb.2017.11.037. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359836817322023>
- [18] Y. Ren et al., "A new method for bio-degumming in less-water environment: Solid-state-fermentation progressive bio-degumming," vol. 183, p. 114986, 2022, doi: 10.1016/j.indcrop.2022.114986.
- [19] Cheng, Lifeng & Duan, Shengwen & Feng, Xiangyuan & Zheng, Ke & Yang, Qi & Xu, Huan & Luo, Wei & Peng, Yuande. (2020). Ramie-degumming methodologies: A short review. Journal of Engineered Fibers and Fabrics. 15. 155892502094010. 10.1177/1558925020940105.
- [20] R. Abraham, C. Wong, and M. Puri, "Enrichment of Cellulosic Waste Hemp (*Cannabis sativa*) Hurd into Non-Toxic Microfibres," Materials, vol. 9, no. 7, p. 562, Jul. 2016, doi: 10.3390/ma9070562. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.3390/ma9070562>
- [21] S. Behera, M. Priyadarshane, Vandana, and S. Das, "Polyhydroxyalkanoates, the bioplastics of microbial origin: Properties, biochemical synthesis, and their applications," vol. 294, p. 133723, 2022, doi: 10.1016/j.chemosphere.2022.133723.
- [22] Zhang, L., Jiang, Z., Tsui, T. H., Loh, K. C., Dai, Y., & Tong, Y. W. (2022). A Review on Enhancing Cupriavidus necator Fermentation for Poly(3-hydroxybutyrate) (PHB) Production From Low-Cost Carbon Sources. Frontiers in bioengineering and biotechnology, 10, 946085. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2022.946085>
- [23] Hamdy, S.M., Danial, A.W., Gad El-Rab, S.M.F. et al. Production and optimization of bioplastic (Polyhydroxybutyrate) from *Bacillus cereus* strain SH-02 using response surface methodology. BMC Microbiol 22, 183 (2022). <https://doi.org/10.1186/s12866-022-02593-z>

- [24] M. Narayanan, S. Kandasamy, S. Kumarasamy, K. Gnanavel, M. Ranganathan, and G. Kandasamy, "Screening of polyhydroxybutyrate producing indigenous bacteria from polluted lake soil," vol. 6, no. 10, p. e05381, 2020, doi: 10.1016/j.heliyon.2020.e05381.
- [25] O. Y. Buitrago, P. J. Rodríguez, and M. J. Monroy, "Biodegradación Temprana en Suelo de Biocompuestos Elaborados con Poli-3-hidroxi-butilato, Policaprolactona y Aserrín de Cannabis Indica-Rusia Blanca," vol. 29, no. 6, pp. 103–112, 2018.
- [26] Touchaleaume, Francois & Tessier, Romain & Caillol, Sylvain & Hoppe, Sandrine & Angellier-Coussy, H el ene. (2019). Polyhydroxybutyrate/Hemp Biocomposite: Tuning Performances by Process and Compatibilization. *Green Materials*. 7. 1-10. 10.1680/jgrma.19.00005.
- [27] Acquavia, M. A., Pascale, R., Martelli, G., Bondoni, M., & Bianco, G. (2021). Natural Polymeric Materials: A Solution to Plastic Pollution from the Agro-Food Sector. *Polymers*, 13(1), 158. <https://doi.org/10.3390/polym13010158>
- [28] Mesa, C. (2023). Maquinas de Extrusi n Tornillo Doble y Tornillo Sencillo. IMS, <https://maquinariaparaplasticos.com/maquinas/maquinas-extrusion-tornillo-doble/>
- [29] M. Hyv arinen, R. Jabeen, and T. K arki, "The Modelling of Extrusion Processes for Polymers—A Review," *Polymers*, vol. 12, no. 6, p. 1306, Jun. 2020, doi: 10.3390/polym12061306. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.3390/polym12061306>
- [30] (2023). What is plastic extrusion?. TWI, recuperado de: <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/plastic-extrusion#:~:text=Plastics%20extrusion%20is%20a%20normally,drops%20on%20a%20rotating%20screw.>
- [31] McAdam, B., Brennan Fournet, M., McDonald, P., & Mojicevic, M. (2020). Production of Polyhydroxybutyrate (PHB) and Factors Impacting Its Chemical and Mechanical Characteristics. *Polymers*, 12(12), 2908. <https://doi.org/10.3390/polym12122908>
- [32] Ahmed, A. T. M. F., Islam, M. Z., Mahmud, M. S., Sarker, M. E., & Islam, M. R. (2022). Hemp as a potential raw material toward a sustainable world: A review. *Heliyon*, 8(1), e08753. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e08753>