



FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

“BIOPLÁSTICOS”

Trabajo de investigación para optar el grado académico de:
BACHILLER EN INGENIERA AMBIENTAL

Presentado por:
Ana Cecilia Rimac León

Lima – Perú
2019

RESOLUCIÓN DIRECTORAL ACADÉMICA DE CARRERA N°105-2019-DACIA-DAFCA-CIENTIFICA

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES / CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL

Lima 28 de junio de 2019

VISTO:

La revisión realizada y la aprobación de Trabajo de Investigación titulado: **Bioplásticos**, presentado por:

- **Ana Cecilia Rimac Leon**

CONSIDERANDO:

Que, de acuerdo al Reglamento General de la Universidad Científica del Sur y los reglamentos de pregrado para obtener el grado de Bachiller en **Ingeniería Ambiental** en la **Facultad de Ciencias Ambientales**, se debe desarrollar un trabajo de investigación.

Que, de acuerdo a la normativa vigente de la Universidad Científica del Sur, en uso de las atribuciones conferidas al Director Académico de Carrera.

SE RESUELVE:

Aprobar e inscribir el trabajo de Investigación titulado: **Bioplásticos** con N° de registro de la carrera: **010-FCA-IAM**.

Nombrar al docente/colaborador **Mg. Alfredo Nestor Salinas Castro** como asesor de dicho trabajo de investigación.

Regístrese, comuníquese y archívese.



Mg. Gonzalo Francisco Flores Roca
Director Académico de Carrera
Ingeniería Ambiental

BIOPLÁSTICOS

BIOPLASTICS

Ana Cecilia Rimac León¹ y Alfredo Nestor Salinas Castro¹

¹*Facultad de Ciencias Ambientales, Universidad Científica del Sur.*

RESUMEN

Los bioplásticos son materiales obtenidos a partir de fuentes renovables o sintéticas. La obtención se puede dar a través de polisacáridos por su alto potencial para la formación de películas biodegradables como la papa, celulosa, quitasano. La obtención de bioplásticos por proteínas presenta una gran alternativa por ser hidrófilas; también se pueden obtener a través de lípidos por sus propiedades hidrofobias que son utilizadas para poder formar un compuesto que actúe como barrera a la humedad, como las ceras, asimismo se puede usar otro tipo de polímeros como quitina y lignina. La síntesis a base de polímeros sintéticos es el resultado de la fermentación, donde como producto se obtiene al ácido poliláctico (PLA) y Polihidroxitirano (PHB). Por otro lado se puede sintetizar a partir de microorganismos como la *Pseudomonas aeruginosa* y la celulosa bacteriana las cuales presentan propiedades similares a los plásticos sintéticos que se comercializan actualmente. Las tecnologías usadas en la elaboración de bioplástico se realiza a través de la extrusión, inyección y termoformado para finalmente transforma el bioplástico en una lámina. Las propiedades mecánicas de flexión, tracción, comprensión, impacto son importantes debido a que estas van a definir la calidad del bioplástico. La propiedad más importante es la biodegradabilidad la cual es definida por la estructura química del material que ocurre a través de la acción enzimática de microorganismos. La utilización de materiales biodegradables para la elaboración de bioplásticos, por sus propiedades mecánicas esta representa una alternativa de solución sostenible.

PALABRAS CLAVES: Biodegradabilidad, Bioplástico, Propiedades Mecánicas, Tecnologías.

ABSTRACT

Bioplastics are materials obtained from renewable or synthetic sources. Obtaining can be done through polysaccharides because of its high potential for the formation of biodegradable films such as potatoes, cellulose, and quitasane. Obtaining bioplastics by proteins presents a great alternative because they are hydrophilic; they can also be obtained through lipids due to their hydrophobic properties that are used to form a compound that acts as a moisture barrier, such as waxes, and other types of polymers such as chitin and lignin can be used. Synthesis based on synthetic polymers is the result of fermentation, where as a product polylactic acid (PLA) and polyhydroxybutyran (PHB) are obtained. On the other hand, it synthesized or microorganisms such *Pseudomonas aeruginosa* becose bacterial cellulose, which have similar properties to synthetic plastics that are currently marketed. The technologies used in the elaboration of bioplastic are made through extrusion, injection and thermoforming to finally transform the bioplastic into a sheet. The mechanical properties of flexion, traction, understanding, impact are important, define the quality of the bioplastic. The most important property is the biodegradability, which is defined the material that occurs through the enzymatic action of microorganisms. The use of biodegradable materials for the production of bioplastics, to its mechanical properties, represents a sustainable solution alternative.

KEY WORDS: Biodegradability, Bioplastic, Mechanical Properties, Technologies.

INTRODUCCIÓN

El uso intensivo de plásticos junto con su ascendente producción han originado que el océano llegue a recibir al menos 12 millones de toneladas de basura plástica anual, el cual podría provocar la extinción de especies marinas, en todo el mundo la situación es crítica considerando que al 2020 esta incrementará en 500 millones el total de basura plástica lo cual simboliza un 900% más a comparación de 1980 (Greenpeace, 2018).

En cuanto al volumen total de plástico producido en el mundo, es de 8300 millones de toneladas del cual solo 21% tiene una disposición final y existen alrededor de 525 billones de microplásticos que se encuentran en el fondo marino y playas (Eriksen *et al.*, 2014). Representando así una amenaza para los ecosistemas existentes, así se demostró que alrededor de 150 vertebrados e invertebrados del mar ingieren resto de productos producidos por el hombre (Vegter *et al.*, 2014).

En España, 2015 se hallaron 320 residuos sólidos por 100 m de orilla de playa, al ser examinados y se obtuvo que un 75% de ellos tenía origen plástico (Mapama, 2015). De la misma manera en el mismo país se calculó alrededor de 30 millones de botellas plásticas y metálicas son abandonadas diariamente en consecuencia acaban contaminando la costa marina (Retorna, 2011). El plástico que se encuentra en los océanos termina con la vida de un gran número de animales marinos cada año alrededor de 700 especies son afectas, asimismo las que se encuentran en peligro de extinción (National Geographic, 2018).

El crecimiento demográfico, los altos índices de consumo plástico de un solo uso y la inadecuada disposición final de los residuos plásticos, han generado que diversos organismos incentiven el reciclaje, sin embargo, estos proyectos un alto grado de complejidad y una serie de acciones y en cuanto a costos no es rentable, debido a la demanda (SinhaRay & Bousmina 2005; Marsh & Bugusu, 2007).

El objetivo del artículo de revisión es identificar la información bibliográfica disponible sobre la elaboración bioplásticos a partir de fuentes renovables y sintéticas; para presentar las propiedades mecánicas del bioplástico y la biodegradabilidad como de oportunidad de desarrollo sostenible, el bioplástico

presenta propiedades en su composición que permiten sustituir al plástico convencional representando así una alternativa de sustitución para la fabricación del mismo a partir de una base biológica.

MARCO TEÓRICO

BIOPLÁSTICO

Es considerado un material que se desarrolla mediante la descomposición que puede ser aeróbica o anaeróbica a causa de los microorganismos (hongos, bacterias y algas) que son degradados a través de la acción enzimática en condiciones habituales del ambiente (CIT, 2009). A diferencia de los plásticos convencionales estos son obtenidos a partir de materia orgánica en la gran mayoría se utiliza la biomasa y un gran porcentaje de los bioplásticos son biocompostables (Cordis Services, 2009; Hong, et al., 2009). Asimismo, lo señala la Asociación Europea de Bioplástico donde menciona; un material plástico podrá ser considerado como bioplástico siempre en cuando tenga una base biológica en su composición, o sea biodegradable, y de igual forma si cumple ambas propiedades (Estrada, 2012). Los bioplásticos representan aproximadamente el 1,7% del mercado mundial de polímeros (Nature Plast, 2018).

ELABORACIÓN DE BIOPLÁSTICOS

Los polímeros biodegradables pueden clasificarse partiendo del proceso de fabricación como los polímeros extraídos o removidos directamente de la biomasa como la celulosa y almidón y también puede ocurrir con las proteínas como colágeno, queratina (Castillo, 2011). Otro de los polímeros son producto de la acción de microorganismos como las bacterias productoras, en la cual encontramos a los: Polihidroxialcanoatos (PHA), poli-3-hidroxi butarato (PHB). (Meré, 2009). Asimismo para los polímeros que se producen por síntesis química donde se utiliza monómeros biológicos a partir de: policaprolactonas (PCL) y ácido poliláctico (PLA) (Iñiguez, 2011). Algunos bioplásticos pueden ser

parcialmente de origen biológico y/o 100% biodegradables y compostables (Nature Plast, 2018).

BIODEGRADABILIDAD

Es la capacidad de un material que tiene para descomponerse en sub productos como dióxido de carbono, agua, metano, biomasa o componentes orgánicos, lo cual es producto por la actividad microbiana, el cual puede calificarse mediante ensayos estándares dentro de un determinado tiempo específico donde las condiciones sea las más adecuadas (Ruiz, 2006). Está relacionada con las diferentes estructuras químicas de los materiales utilizados las cuales son definidas por su origen de la materia prima utilizada (Remar, 2011). La biodegradabilidad de un compuesto está definida por su estructura química del polímero, asimismo por las condiciones ambientales al cual se encuentra sometido, como por ejemplo el ácido poliláctico PLA y los polihidroxicanoatos son biopoliésteres con base de recursos naturales, en su mayoría los poliésteres son principalmente usados en aplicaciones de embalaje (Mohanty, et. al., 2005).

El grado de biodegradabilidad depende de diferentes condiciones ambientales en las que tenemos el grado de humedad, la presión parcial del oxígeno, temperatura, pH del suelo y composición de la flora microbiana (Kyrikou & Briassoulis, 2007). La biodegradabilidad se puede realizar mediante el método de prueba estándar o el método EN 14046 también conocido como ISO 14885 donde la biodegradabilidad se realiza controladamente. (Gutiérrez, 1996).

TIPOS DE BIOPLÁSTICOS

Los tipos de bioplásticos se dividen en dos grupos de estudio, como primer grupo tenemos a lo bioplásticos a partir de recursos renovables, los cuales tiene origen en la biomasa; en el segundo grupo tenemos a los bioplásticos sintetizados mediante la biotecnológica como sucede en la obtención de la insulina, existen dos tipos de vías biotecnológicas (Remar, 2011). Los tipos de bioplásticos existentes son: Polímeros a base de almidón, Polilactida (PLA), Polihidroxicanoatos (PHA), Partially biobased (PET), Polycaprolactone (PCL), Alcohol polivinílico (PVOH), Poliamidas (PA) (Avella, M. et al. 2005). También tenemos

a biopolíesteres, derivados de celulosa, bioelastómeros, biocomposites y compuestos a base de almidón. (Rhim, et al., 2013).

OBTENCIÓN DE BIOPLÁSTICOS A TRAVEZ DE POLISACARIDOS

En la utilización de polisacáridos tenemos al almidón el cual es importante por su potencial para la formación de películas biodegradables, teniendo así un bajo costo su disponibilidad es alta, lo cual es considerada renovable (Stagnet *et al.*, 2012). En la papa el almidón lo encontramos en un 20 por ciento, utilizado para la producción de bioplásticos por sus propiedades que, a diferentes cambios de temperatura y acidez, adquiere propiedades semejantes a los plásticos cotidianos, es considerado un bioplástico por su tasa de degradación. (Romero *et al.*, 2016). En cuanto a los procesos de elaboración del almidón plastificado tenemos a él soplado, la extracción, termoformado y moldeo por inyección (Flieger *et al.*, 2003). El tiempo de degradación se realiza en pocos días y no existe acumulación de los residuos (Tiefenbacher, 1993).

Uno de los que más abundan en la naturaleza es la celulosa, encontrada principalmente en las plantas dentro de la pared celular de, su resistencia a la biodegradación es mayor que el almidón (Lednická *et al.*, 2000). En cuanto a la degradación anaeróbica de este polisacárido es muy lenta en comparación a la aeróbica (Clarkson & Xiao, 2000). El acetato de celulosa es un derivado de este polisacárido y al producirse se transforma en un material termoplástico amorfo el cual lo hace resistente y duro. (Edgar et al., 2001)

El quitasano se obtiene a través de la desacetilación enzimática o química, su producción es media y se realiza mediante el tratamiento de caparzones de cangrejos, camarones y crustáceos, y son obtenidos de los desechos de plantas procesadoras de las especies mencionadas (Avérous & Pollet, 2012). Su degradación es rápida en condiciones aeróbicas y ambientes acuosos (Boyer, 1994). Al ser un material biodegradable acuático, tiene la posibilidad de inhibir una amplia variedad de bacterias debido a sus propiedades antimicóticas (Avérous & Pollet, 2012).

OBTENCIÓN DE BIOPLÁSTICOS A TRAVEZ DE PROTEINAS

Las proteínas tienen presentan dos tipos de estructura y podemos encontrar al globular por su solubilidad en agua y a las que forman esferas como el gluten y

la soya, la estructura fibrilar presenta insolubilidad en el agua y están presente en el tejido animal (Flieger et al., 2003). Debido a sus propiedades hidrófilico las proteínas presentan una gran alternativa porque son menos permeables al oxígeno (Khwaldia, 2010). Las proteínas globulares como la soya sirven para la obtención de películas. (Gennadios et al., 1994). Asimismo, la semilla de mango es una alternativa para el desarrollo de procesos industriales en la elaboración de bioplástico (Anjum et al., 1953a) (Anjum et al., 1953b); el cual se obtiene mediante ua mezcla termoplástica de proteína, plastificante y algunos aditivos. (Fernández-Espada, 2016).

OBTENCIÓN DE BIOPLÁSTICOS A TRAVEZ DE LÍPIDOS

Las ceras por sus propiedades hidrofobias son utilizadas para poder formar un compuesto que actúe como barrera a la humedad, pudiendo ser aplicados en capas finas o gruesas, tenemos a las hojas de palma (Bourtoom, 2008). La cutina polímero formador de la cutícula formada por ácidos grasos, hidroxí-ácidos grasos y epoxi-ácidos grasos (Heredia, 2002). La producción de esta cera se da a través de la acetilación del glicerol, el cual produce 1-esterarodiacetina, presenta características de solidificación (Feurge et al., 1953). Al ser sometidos a medio sólido pueden estirarse 100% más a su tamaño de longitud antes de su ruptura, y en el caso del glicerol monoesterato acetilado este logra un estiramiento de 800%, en cuanto a sus desventajas es que es baja la permeabilidad al agua (kester & Fennema, 1986).

OTROS POLÍMEROS BIODEGRADABLES

La quitina fue estudiada en 1976 a partir de desperdicios de crustáceos (Murray & Hattis, 1978). El potencial de la quitina es importante para diversas aplicaciones, siendo esta un residuo de la industria alimentaria con una estimación de 120000 Tn^3 por año en el mundo (Knoor, 1991). El grado de biodegradabilidad de este carbohidrato es importante (Pennisi, 1991). Asimismo la lignina por sus características de estructura y el gran numero grupos funcionales que reaccionan, se liberan anualmente por la industria maderera (Glasser et al., 1989). La biodegradabilidad fue evaluada a través de hongos basidiomicetos blancos (Milstein et al., 1992).

La producción a nivel mundial es de más de 9,000 toneladas a través de un año. (Fogarty & Ward, 1972). Mediante la industria de productos de origen orgánico como limón y manzana se puede obtener pectina a través de sus desechos agroindustriales, de esta manera dar un buen aprovechamiento para elaborar biopolímeros (Monroy et al., 1990).

SINTESIS DE A PARTIR DE MONOMEROS DE BIOMASA

La síntesis a partir de polímeros de origen químico, son el producto de la fermentación de diferentes polímeros como almidón, proteína, etc. los cuales se transforman a través de diferentes microorganismos y como producto tenemos al ácido poliláctico (PLA) (Robertson, 2010). Tenemos al Ácido poliláctico (PLA) que es biodegradable, producido por materias renovables teniendo, principales propiedades mecánicas y térmicas dentro de su composición y estos son obtenidos de material con alto porcentaje de azúcar y almidón como la caña de azúcar, maíz, etc. (Tharanathan, 2003). Estos polímeros son extraídos de diferentes bacterias mediante la fermentación microbiana de glucosa (Rudnick, 2008). En la actualidad la ruta biotecnológica es la que logra producir más del 95 % del consumo mundial de PLA, ocurre en el proceso de fermentación de los carbohidratos con microorganismos (Mariano, 2011).

El Polihidroxitirano (PHB), encontramos propiedades muy parecidas a las del polipropileno, al tener una facilidad para ser moldeados estos representan una mayor ventaja, sin embargo, su alto costo es un factor importante en cuanto a su viabilidad, respecto a sus propiedades este también es biodegradable. (Lee et al., 2008). Los PHB tienen propiedades mecánicas similares a los plásticos comerciales, pero esta al ser biodegradable y producirse a partir de fuentes renovables. (Cavalheiro et al., 2009)

SINTESIS DE A PARTIR DE MICRORGANISMOS

El polímero Polihidroxiacetato (PHA), es producido por las bacterias *Pseudomonas aeruginosa*, se caracteriza por ser versátil y su alto grado de biodegradabilidad y estos pueden ser manipuladas para mejorar sus propiedades mecánicas, pueden ser degradados con hidrolisis simple (Flieger et al., 2003). En cuanto a las condiciones que ocurre para la síntesis de los PHA,

estas responden a limitaciones de Nitrógeno, Azufre, Magnesio y Oxígeno (Reddy *et al.*, 2003).

Tenemos a la celulosa bacteriana que está compuesta de residuos agroindustriales, los cuales se adquieren a bajo costo, como la nata de coco, basado en celulosa bacteriana producido con materias primas de alto valor económico, esta celulosa tiene propiedades relevantes para diferentes alimentos por lo que reemplazar la celulosa que es adquirida de otras fuentes. (Ramírez, 2012). Su mecanismo de síntesis de CB, estructura y propiedades depende estrictamente del método de cultivo (Schramm & Hestrin, 1954).

TECNOLOGÍAS DE PROCESADO DE LOS BIOPLASTICOS

La extrusión se realiza mediante la aplicación de presión al material termoplástico con un molde para adquirir la forma deseada (Mariano, 2011). Mediante el flujo continuo de la materia, temperatura y presión a través de un molde permitirá pasar el material fundido para dar forma al bioplástico (Benavente, 2011). La inyección de un polímero se realiza en forma cerrada de molde, mediante frío para solidificarlo (Universidad Oviedo, 2014). La materia en uso es fundida y pasa través de un cabezal y es inyectado a presión alta mediante un molde de refrigeración se le da la forma deseada. (Benavente, M. 2011).

El termo formado es un proceso donde se transforma el bioplástico en una lámina llevada a altas temperaturas para poder manipular y moldear mediante matrices, el cual se puede realizar al vacío con adecuada presión y temperatura (Fabrinco, 2013). Y el soplado de película se da en espesores entre 20 y 200 μm y anchos de 300 a 1000 mm fabricados mayormente por extrusión (Universidad Oviedo, 2014). Mediante un cabezal, el material es inyectado en un molde donde se le inyecta aire y se le da la forma que desee. (Benavente, 2011).

PROPIEDADES MECÁNICAS.

El ensayo de flexión es determinar la deformación en y su punto de rotura, que es calculada de acuerdo al espesor de la probeta (Instituto tecnológico del plástico, 2018). Se somete a un material mediante probetas a soportar diferentes fuerzas aplicadas en su eje longitudinal, los cuales son producto de una carga de flexión los que esta relacionados con esfuerzos de tracción, comprensión y

cizalla, para poder medir el esfuerzo y deformación de un polímero (Beltrán & Marcilla, 2012). De esta manera el polímero se ensaya en el mismo estado que en el ensayo de tracción (Zwickroell, 2014), se describen los resultados a través de un diagrama de estrés-deformación (Ensinger, 2018); otra propiedad importante es la biodegradabilidad en condiciones especiales de compostaje o plásticos compostables (ASTM, 2002).

ENSAYO DE TRACCIÓN

El material es sometido a una fuerza de que tiende a estirarlo y se mide la respuesta, mediante este ensayo se puede obtener datos mediante la aplicación de un brazo fijo y móvil ambos atados a mordazas donde sujetan las probetas (Beltrán & Marcilla, 2012). Mediante la prueba se mide la carga soportada por la probeta a su vez se calcula el alargamiento de la misma (Benavente et al., 1990). Este ensayo predice su rendimiento bajo tensión, estos son utilizados para determinar límite elástico a la tracción (Mexopolímeros, 2016); tiene la finalidad de comparar las diferentes características elásticas y viscosas en el bioplástico asimismo se obtiene valores del módulo elástico (Gallegos et al., 2015). Esta se muestra a través de la curva esfuerzo-deformación donde alcanza el máximo valor de esfuerzo y deformación (Fernández-Espada, 2016).

ENSAYO DE COMPRESIÓN

Este ensayo nos permite estudiar el comportamiento de la probeta cuando está bajo una carga compresiva en una velocidad de carga alta y uniforme, durante un periodo de tiempo (Beltrán & Marcilla, 2012). Permite determinar la resistencia a la compresión y la deformación más allá del punto de fluencia se determina mediante el ensayo de compresión (Instron, 2016); es el máximo esfuerzo que un material resiste bajo compresión longitudinal, no es necesario el esfuerzo en el punto de rotura (Mariano, 2011). Se puede realizar usando normas internacionales como el ensayo de compresión realizado para plásticos duros (ASTM D695, 2015); de igual forma la norma ISO 604 que define las propiedades de compresión de plástico (ISO 604, 1993).

ENSAYO DE IMPACTO

Este ensayo muestra la capacidad de resistencia de un plástico a la fractura por el choque de una carga, el cual está estrechamente relacionada con la

temperatura de prueba debido a que afecta a la tenacidad del polímero, relacionado con la velocidad de carga aplicada (Todo en Polímeros, 2018), a su vez mide la capacidad de las materias para soportar cargas repentinas (Frontini, 2018); el cambio de velocidad en la deformación del material puede ser una desventaja por los cambios en los mecanismos de deformación y de fractura (Kinloch et al., 1983). Los sistemas de ensayo de impacto de péndulo de MTS Exceed están diseñados para los plásticos, nailon, caucho duro y otras muestras no metálicas (MT, 2016). Se puede realizar a través de normas como es la ASTM D256 Determinación de la Resistencia al Impacto a través de un analizador de impacto. (ASTM D256, 1974).

CONCLUSIONES

- La elaboración de la mayoría de bioplásticos se genera a partir de fuentes orgánicas y se realiza a través de la biomasa debido a gran cantidad existente, bajo costo, en comparación con la obtención partir de polímeros de origen sintético.
- La biodegradabilidad es la propiedad más importante del bioplástico, el tiempo que demora en degradarse depende del material usado debido a que esta define la estructura química del mismo y las condiciones ambientales al cual se someta, y se realiza mediante el método de prueba estándar o el método EN 14046 llamado también ISO 14885 que es realizada controladamente el cual da con certeza el grado de biodegradabilidad.
- Las tecnologías son importantes para elaboración del bioplástico de esta forma el material adquiere forma para luego ser moldeada de acuerdo al uso que se le quiere dar.
- Las tecnologías son importantes para elaboración del bioplástico de esta forma el material adquiere forma para luego ser moldeada de acuerdo al uso que se le quiere dar, son las van a definir las propiedades mecánicas que son importantes para la calidad del bioplástico y solo se manejan a través de ensayos.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ASTM D256. (1974). Determination of Impact Resistance ASTM International, West Conshohocken.
- ASTM D695-15. (2015). Standard Test Method for Compressive Properties of Rigid Plastics, ASTM International, West Conshohocken.
- ASTM. (2002). Standard specification for compostable plastics (Designation: D 6400-99), ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-12959.
- Avella, M. et al. (2005). "Biodegradable starch/clay nanocomposite films for food packaging applications." Food Chem.
- Barrera, D., Márquez, M., Yegres, J., Navas, P. (2013). Producción de plástico parcialmente degradable con polietileno de alta densidad (PEAD) y la dextrina del desecho de *Solanum tuberosum* Química Viva, vol. 12, núm. pp. 27-38. Buenos Aires.
- Beltrán M. & Marcilla A. (2012). Tecnología de polímeros procesados y propiedades. Unión de editoriales universitarias españolas. Universidad de Alicante pp. 53, 51
- Benavente, M. (2011). Para qué sirven las máquinas extrusoras de plástico.
- Bourtoom T. (2008). Edible films and coating: characteristics and properties. International Food Research Journal.
- Boyer J. (1994). Aerobic and anaerobic degradation and mineralization of C14-chitin by water column and sediment inocula of York-river-estuary. Applied Environment Microbiology.
- Cavalheiro J, de Almeida M, Grandfilis C, da Fonseca M. (2009) Poly(3-hydroxybutyrate) production by *Cupriavidus necator* using waste glycerol. Process Biochem.
- Clarkson W. & Xiao W. (2000). Bench-scale anaerobic bioconversion of newsprint and office paper. Water Science Technology. 41:93-100.
- Edgar K. Buchanan C, Debenham J, Rundquist P, Sieler B, Shelton M. y Tindall D. (2001). Advance in cellulose ester performance and application. Progress in Polymer Science. 26: 1605 – 1688.
- Ensinger. (2018). Plásticos con buenas propiedades mecánicas. Resistencia a la tracción y a la flexión (resistencia mecánica).

- Eriksen, M. Lebreton, LCM. Carson, HS. Thiel, M. Moore, C. Borerro, J. et al. (2014) Plastic Pollution in the World's Oceans: More than 5.5 Trillion Plastic Pieces Weighing over 250,000 Tons Afloat at Sea
- Feurge R, Vicknair E. y Lovegren N. (1953). Modification of vegetable oils. XIII. Some additional; properties of acetostearin products. Journal of the American Oil Chemistry Society.
- Fernández-Espada Ruíz, L. (2016). Desarrollo de materiales bioplásticos proteicos con elevada capacidad de absorción de agua.
- Flieger M. Kantorovpa M. Rezanka T. & Vortuba J. (2003). Biodegradable plastics from renewable sources. Folia Microbiología.
- Fogarty, W. & Ward. O. (1972). Pectic substances and pectinolytic enzymes. Proceas Biochemistry.
- Frontini, P. (2018). Resistencia al impacto de Materiales Plásticos: Qué ensayo elegir. Instituto de Investigaciones en Ciencia y Tecnología de Materiales (INTEMA).
- Gallegos, C. Guerrero, A. Jerez, A. Martinez, I. Partal, P. (2015). Bioplastic and method for its preparation. Universidad de Huelva.
- Glasser, W. Rials, T. Kelly, S. & Ward, T. (1989). Engineered lignin-containing material with multiphase morphology. TAPPT proceedings: wood and pulping chemistry, Technical Association of the Pulp and Paper Industry. Norcross, Ga. pp. 33
- Gennadios A, McHugh H, Weller L. y Krochta J. (1994). Edible coating and films based on protein. En Krochta J, Balwin E. y Niperos-Carriedo, M. (Eds.). Edible Coatings and Films to Improve Food Quality. Technomic Publishing. EE.UU. pp. 215.
- Gennadios A. y Weller C. (1992). Tensile strength increase of wheat gluten films. International Winter Meeting American Society of Agricultural Engineers. (92): 16
- Greenpeace. (2018). Un millón de acciones contra el plástico manual para un futuro sostenible.
- Heredia Antonio. (2002). Biophysical and biochemical characteristics of cutin, a plant barrier biopolymer. Facultad de Ciencias, Grupo de Caracterización y Síntesis de Biopolímeros Vegetales, Departamento de Biología

- Molecular y Bioquímica. Universidad de Malaga, campus de Teatinos. Malaga, España.
- Instituto tecnológico del plástico. (2018). Ensayo de flexión: EN ISO 178. Valencia, España.
- Instron. (2016). Ensayo de compresión de plásticos rígidos ASTM D695, España.
- Kester J. y Fennema O. (1986). Edible films and coatings: A review. Food Technology pp. 35
- Kinloch, A. & Young, R. (1983). Fracture Behaviour of Polymers , Applied Science Publishers.
- Khwaldia K. (2010). Water vapor barrier and mechanical properties of paper-sodium caseinate and paper-sodium caseinate-paraffin wax films. Journal of Food Biochemistry. .
- Lednická D. Mergaert J. Cnockaert M. & Swings J. (2000). Isolation and identificación of cellulolytic bacteria involved in the degradation of natural cellulose fibres. Systemic and applied microbiology.
- Mariano, M. (2011). Tecnologías de los plásticos. Blog dedicado a los materiales plásticos, características, usos, fabricación, procesos de transformación y reciclado.
- Marsh K & Bugusu B. (2007) Food packaging—roles, materials, and environmental issues.
- Mexopolímeros. (2016). Producción, importación, distribución y comercialización de polímeros termoplásticos y elastómeros: Módulo de tracción.
- Milstein, O., Gtrsonde, K , Huttermann, A., Chen M. y J J , Meistr. (1992). Fungal Biodegradation of Lignopolystyrene Graft Copolymers. App. And Environ. Microbiol.
- Monroy, J., Moreno, R., Pedroza, R., Pietrini, F-, Aguilar, E. y M, Castrezana. (1990). Obtención de pectinas. El aprovechamiento de subproductos agroindustriales. CONACYT.
- MTS. (2016). Sistemas de ensayo de impacto de péndulo para plásticos serie E21 de MTS Exceed: Ensayo de impacto altamente confiable y estable para materiales no metálicos. TS Systems Corporation.
- Murray, A. & Hattis, D. (1978). Approaches to a practical assessment of supply and demand for chitin products in the United States. En: " Muzzarelli and Pwiser" pp. 37

- Nature Plast, (2018) Fabricación de los bioplásticos.
- Norma ISO 604:93(1993). Ensayo de compresión. Polímeros.
- Pennisi, E. (1993). Chitin craze. Science News. Pp 76
- Kyrikou I. y Briassoulis D. (2007). Biodegradation of agricultural plastic films: a critical review. Journal of Polymer Environment pp. 56.
- Reddy C. S. K., Ghai R., Rashmi y Kalia V. C. (2003). Polyhydroxyalkanoates: an overview. Bioresour. Technol..
- Rhim, J.-W. et al. (2013). "Bio-nanocomposites for food packaging applications." Prog Polym Sci.
- Rochman C. Akbar T. Williams S. Baxa D. Miller D. Foo-Ching T. Shinta W & Swee T. (2015). Anthropogenic debris in seafood: Plastic debris and fibers from textiles in fish and bivalves sold for human consumption.
- Sinharay S & Bousimina M (2005) Biodegradable polymers and their layered silicate nanocomposites: in greening the 21st century materials world. Mat. Sci
- Schrader, J. A., McCabe, K. G., Srinivasan, G., Haubrich, K., Grewell, D., Madbouly, S., & Graves, W. R. (2015). Development and evaluation of bioplastic containers for sustainable greenhouse and nursery production.
- Schramm, M. & Hestrin, S. (1954). Factors affecting production of cellulose at the air/liquid interface of a culture of *Acetobacter xylinum*. J Gen Microbiol.
- Stagnet J. Dias V. & Narayan R. (2012). Application and performance of maleated thermoplastics starch-poly (butylene adipate-co-terephthalate) blends for films journal of Applied polymer Science, pp. 126.
- Tiefenbacher K. (1993). Starch-based foamed material: use and degradation properties. Journal of Macromolecular Science-Pure and Applied Chemistry. pp.730
- Todo en Polímeros. (2018). Propiedades: La Resistencia al Impacto.
- Vegter A. Barletta M. Beck C. Borrero J. Burton H. Campbell M. Costa M. et al. (2014). Global research priorities to mitigate plastic pollution impacts on marine wildlife . Endangered Species Research.
- ZwickRoell GmbH & Co. (2014). Ensayo de flexión: ISO 178 y ASTM D 790. Germany.