

Análisis de propiedades físicas de plásticos desarrollados a partir de materiales biodegradables

Analysis of physical properties of plastics developed form biodegradable materials

Eladio Delgadillo Ruiz¹, Luz Adriana Arias Hernández², Pedro Pastor Guzmán Vega¹, María José Chavero Hernández¹, Jorge Francisco Luna Gutiérrez¹, Francisco Iván Bárcenas González¹, Oscar Mendoza Rodríguez¹, Martha Cecilia Trejo Farfán¹, María Maldonado Santoyo³, Lucía Delgadillo Ruiz⁴.

¹Universidad de Guanajuato, División de Ingeniería, Campus Guanajuato, Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Av. Juárez No. 77, col. Centro Guanajuato, Gto., C.P. 36000, Mex.

²Universidad de Guanajuato, División de Ingeniería, Campus Guanajuato, Departamento de Ingeniería en Geomática e Hidráulica, Av. Juárez No. 77, col. Centro Guanajuato, Gto., C.P. 36000, Mex.

³Centro de Innovación Aplicada en Tecnologías Competitivas, Omega no. 201 Col, Industrial Delta. C.P. 37545. León, Guanajuato.

⁴Universidad Autónoma de Zacatecas, "Francisco García Salinas", Unidad Académica de Ciencias Biológicas, Av. Preparatoria S/N, Col. Agronómica, Zacatecas, Zac., C.P. 98500, Méx.

e.delgadillo@ugto.mx

Resumen

La amplia gama de aplicaciones de los plásticos sintéticos en múltiples actividades, es causa de las cantidades demandantes en las que se genera sus desechos, pero al mismo tiempo, lo anterior tiene como desventaja que sea considerado un elemento contaminante al ambiente entre otras cosas por sus largos periodos de descomposición, así como la generación de microplásticos. Es por ello que se han enfocado estudios hacia alternativas de minimizar el impacto al medio ambiente provocado por los plásticos convencionales, como es el desarrollo y uso de materiales como los bioplásticos, los cuales pueden variar en cuanto a sus componentes y elementos que mejoran sus propiedades. Dichos elementos pueden ser de origen animal o vegetal, siendo comunes en este último los almidones de papa, maíz o trigo entre otros. En este proyecto se realizaron diversas combinaciones de los elementos, entre los que se incluyeron glicerina, ácido acético y anhídrido maleico, obteniendo tanto para almidones de maíz y de papa 5 bioplásticos de cada uno, a los cuales se desarrollaron variando la cantidad de bagazo, siendo caracterizados determinando su porcentaje de humedad y de solubilidad de dichos bioplásticos en agua. Los resultados obtenidos del análisis en los valores promedio respecto al porcentaje de humedad determinaron valores promedio de 7% de humedad para los bioplásticos de maíz y de 9% de humedad para los de papa. Por otro lado, se observan pérdidas para ambos bioplásticos desarrollando siendo en promedio de 28% de solubilidad para los de maíz y 27% para los de papa, con una mayor solubilidad en el bioplástico de maíz que no contenía bagazo (33% de solubilidad). La adición de bagazo de maguey en los bioplásticos favoreció características físicas tanto para los biopolímeros de papa como para los de maíz. Estos estudios realizados son de carácter importante a considerar en la perspectiva de posibles usos para su potencial aplicación.

Palabras clave: Bioplásticos, Degradabilidad, Propiedades Físicas

INTRODUCCIÓN

El plástico ha revolucionado nuestra sociedad, durante el siglo XX se introdujeron, fabricaron y emplearon ampliamente los materiales plásticos en todo el mundo, desde el que envuelve nuestros alimentos, uso personal o en actividades cotidianas hasta los materiales avanzados utilizados en la ingeniería pesada. La denominación “plástico” es a causa de una de sus propiedades que permite moldearlo y conformarlo a voluntad. Los materiales plásticos satisfacen las demandas de una gran variedad de usos, dando lugar a una vasta y rentable industria, alcanzando un papel determinante en el mejoramiento de las condiciones de vida del hombre y contribuyendo al acelerado crecimiento de la ciencia y la tecnología (Fernández, 2018). En la actualidad todo producto fabricado con cualquier material que se utilice para contener, proteger, manipular, distribuir son considerados como envases, lo cual ha contribuido enormemente dentro de la comercialización de todo tipo de productos sintéticos. Todo esto está causando serios problemas ecológicos (Villada & Velasco, 2007), contribuyendo a la contaminación ambiental provocada por desechos sólidos de baja degradabilidad (Alarcón-Cavero & Arroyo-Benites, 2016). El triunfo de los plásticos en el ámbito social y económico se debe a sus beneficiosas características. No obstante, muchas de estas cualidades se convierten en un inconveniente al momento de su desecho, lo que ha generado el grave problema de la contaminación ambiental vinculada con los residuos plásticos dado su naturaleza no biodegradable, la mayor parte del plástico producido hasta el momento persiste en el ambiente, agravándose lo anterior con la generación de micro plásticos (Chen et al., 2024).

Desde que comenzó a comercializarse en el siglo pasado hasta ahora, se han producido 7.8 billones de toneladas de plástico, lo que significa que hoy existe una tonelada de plástico por persona en el mundo. (Buteler, 2019). Los datos vaticinan a que esta producción de plásticos en constante aumento tenga consecuencias perniciosas en el medio ambiente y la sociedad (Tasseron et al., 2024). La generación de residuos sólidos se ha convertido en un problema a nivel mundial, en respuesta grandes países implementan normas gubernamentales para minimizar el impacto de estos (Mohammad-Azmin et al., 2020). Dentro de algunas investigaciones sobresalientes se encuentra las relacionadas con materiales termoplásticos como una alternativa por sus prometedoras y diversas aplicaciones de los que se puede hacer uso (Álvarez, 2017). Gran parte del interés sobre los biopolímeros se debe a la necesidad de disminuir el impacto ambiental de los polímeros sintéticos, estos en su mayor parte proceden de recursos renovables. Los polímeros son asimilables por varias especies (biodegradables) porque no tienen efecto tóxico y a partir de ellos se pueden producir los bioplásticos (Alucho et al., 2021). Aunque podemos encontrar definiciones de bioplástico que lo definen como “material fabricado a base de polímeros naturales derivados de productos vegetales, por ejemplo: maíz, trigo, soja, patata, etc.” también es frecuente encontrar definiciones que incluyen otros tipos de sustancias, una de las más extendidas es la que les considera como un material de origen biológico y/o biodegradable

Los biopolímeros tienen un origen natural, de síntesis química o de microorganismos, estos biopolímeros pueden ser procesados por medio de las mismas tecnologías que los materiales termoplásticos convencionales, tales como extrusión, inyección o soplado (Alucho et al., 2021). Los biopolímeros representan una interesante alternativa para la industria de los plásticos. Estos materiales, mayoritariamente obtenidos de fuentes renovables, emergen como una opción atractiva para este sector. Los biopolímeros se pueden clasificar según su fuente (Delgado-Villaseñor & Maldonado-Santoyo, 2021), de las cuales los biopolímeros más importantes del mercado pueden ser divididos en tres subgrupos: polímeros basados en recursos renovables (almidón y celulosa), polímeros biodegradables basados en monómeros bioderivados (aceites vegetales y ácido láctico) y biopolímeros sintetizados por microorganismos (polihidroxialcanoatos (PHA)) (Valero-Valdivieso et al., 2013). Están categorizados según su origen renovable y capacidad para cumplir con estándares científicamente reconocidos de biodegradabilidad y compostabilidad en productos plásticos.

Una parte importante de la investigación y de la información recabada, fueron las propiedades generales que distinguen a los polímeros, desde su estructura molecular hasta sus comportamientos macroscópicos. Además de conocer un fascinante campo de investigación que busca alternativas sostenibles a los polímeros tradicionales, con un enfoque especial en aquellos desarrollados a partir de componentes naturales. Las propiedades físicas y mecánicas únicas de estos biopolímeros se obtuvo información de cómo pueden revolucionar diversas industrias, desde la alimentaria hasta la médica, con su combinación de funcionalidad y sostenibilidad. A través de esta investigación, se comprende la importancia y el potencial de los polímeros en nuestro mundo moderno, destacando la innovación continua en el campo de los biopolímeros y su papel

crucial en la búsqueda de soluciones más sostenibles para los desafíos globales (Nanda et al., 2022). Los biopolímeros se dividen en recursos renovables y degradables que cumplen todos los criterios de las normas científicamente reconocidas para biodegradabilidad y compostaje de plásticos y productos plásticos. (Valero-Valdivieso et al., 2013). Se pueden considerar tres clases principales de biopolímeros que se diferencian por su fuente y su método de producción:

- Clase A: polímeros naturales obtenidos directamente a partir de la biomasa, como el almidón, la celulosa, las proteínas, los aminoácidos y los productos derivados
- Clase B: polímeros que se biosintetizan usando microorganismos y plantas o se preparan directamente a partir de monómeros que son fundamentalmente biosintetizados, como los polihidroxicanoatos (PHA) y el ácido poliláctico (PLA).
- Clase C: polímeros convencionales a base de petróleo preparados a partir de monómeros alternativos de origen biológico, como el polietileno y el tereftalato de polietileno (PET) (Van de Velde & Kiekens, 2002).

Propuestas como las de implementar fuentes de origen vegetal para elaborar biopolímeros biodegradables que a futuro pueden ser usados para la generación de bioplásticos a gran escala suena una opción de primera mano para poder reemplazar una costumbre ya impregnada en diversas empresas que elaboran materiales en base productos petroquímicos (Yaradoddi et al., 2016).

Los PHA son termoplásticos que pueden reemplazar o mezclarse directamente con plásticos convencionales existentes, los PHA pueden ser una solución para mejorar las prácticas de gestión de residuos al utilizar desechos orgánicos como materia prima, permitiendo la síntesis simultánea de productos bio-basados.

Un aspecto importante de alcance en el desarrollo de nuevos materiales bioplásticos es su uso, este puede variar desde aplicaciones en medicina, agricultura como acolchados (Rodríguez-Sepúlveda & Orrego-Alzate, 2016) así como su uso en empaque de alimentos (Chen et al., 2024)

Aunado a los elementos que se mencionan respecto a la variedad de sus componentes, los bioplásticos pueden ser reforzados con complementados o elementos con la finalidad de tener un impacto o efecto en sus propiedades mecánicas (Agunsove & Aigbodion, 2013) o en otros casos la solubilidad de los bioplásticos por la naturaleza de su componente principal, en este sentido Bardisso et al. (2016) mencionan la incorporación de fibras, resinas o elementos de carácter oleoso que pueden disminuir la solubilidad de los materiales (Vazquez-Garay et al., 2021). En el caso particular de este proyecto de investigación se tuvo un interés respecto a desechos de bagazo de agave, los cuales mediante tratamientos preliminares se incorporaron al desarrollo de los bioplásticos desarrollados.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales empleados

Se emplearon los siguientes elementos: almidón de maíz, almidón de papa, ácido acético (Karal) y glicerina grado reactivo, Anhídrido maleico (Karal), bagazo de maguey *Salmiana*.

Preparación del bagazo:

- Se lavó el bagazo para eliminar un poco de polvo o residuos.
- Después de lavado se molió hasta disminuir tamaño de partícula.
- Posteriormente se tamizó hasta un tamaño de partícula menor a 200 mm

Elaboración de los plásticos:

Se realizaron diversas mezclas para llevar a cabo el desarrollo de los plásticos a nivel experimental, los cuales consistieron en: almidón de maíz, glicerina, ácido acético, bagazo de maguey (variando proporciones) y agua desionizada, estos mismos elementos se emplearon con almidón de papa. Una vez

obtenidas las mezclas de los respetivos bioplásticos se analizarán características físicas, % de humedad y % de solubilidad de agua a 24 horas.

Equipos empleados

Una vez obtenidas las mezclas se empleó un equipo de extrusión de doble husillo bajo condiciones controladas de temperatura (rango 90-100-90).

Determinación del Porcentaje de humedad

Para el porcentaje de humedad se pesaron 2 g de cada una de las muestras de plástico (4 repeticiones), posteriormente se secaron durante 24 horas a 50 °C. Finalmente se pesaron las muestras y se realizaron los cálculos correspondientes.

Determinación del Porcentaje de solubilidad

Para la determinación del % de absorción de agua a las muestras anteriores se agregó 20 mL de agua destilada y se mantuvieron a temperatura ambiente durante 48 horas, posterior a ese tiempo se desechó el agua de las muestras y se pesaron, posteriormente se secaron a 50°C durante 24 horas, para determinar mediante cálculos correspondientes la solubilidad de muestras.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se obtuvo un total de 5 bioplásticos de los cuales se integró la misma proporción de elementos mencionados en la metodología, variando las cantidades de bagazo como se muestra en la tabla 1. Como se observa en la tabla la muestra nombrada como M1m equivale a la mezcla que no contiene bagazo. Del bioplástico M2m, M3m, M4m y M5m, los componentes son los mismos en todas las muestras, pero se va variando el bagazo en cantidades de 10, 30, 50 y 70 g, respectivamente.

Tabla 1. Proporciones de componentes para la obtención de bioplásticos desarrollados con maíz

Muestras de bioplásticos	Almidón de maíz	Glicerina	Ac. Acético	Anhídrido Maleico	Bagazo
M1m	650	300	50	20	0
M2m	650	300	50	20	10
M3m	650	300	50	20	30
M4m	650	300	50	20	50
M5m	650	300	50	20	70

En la tabla 2, se presentan de igual manera que los bioplásticos desarrollados con maíz, la composición de los bioplásticos desarrollados con sus componentes. Para este caso M1p hace referencia a la mezcla que no contiene bagazo, de los bioplásticos M2p, M3p, M4p y M5p los componentes son los mismos, pero se va variando el bagazo en cantidades de 10, 30, 50 y 70 g, respectivamente.

Tabla 2. Proporciones de componentes para la obtención de bioplásticos desarrollados con papa

Muestra de bioplástico	Almidón de papa	Glicerina	Ac. Acético	Anhídrido Maleico	Bagazo
M1p	650	300	50	20	0
M2p	650	300	50	20	10
M3p	650	300	50	20	30
M4p	650	300	50	20	50
M5p	650	300	50	20	70

Porcentaje de humedad de los bioplásticos de maíz y papa

Una característica importante de los bioplásticos obtenidos es su porcentaje de humedad ya que esto definirá sus propiedades físicas en cuanto a durabilidad o capacidad de descomponerse. Los resultados de los porcentajes de humedad de los bioplásticos a base de maíz se muestran en la figura 1, cuyos valores están comprendidos en un rango de 7.3 a 6.5 % manteniéndose para los 5 bioplásticos obtenidos. De acuerdo a estudios por algunos autores, se ha determinado que los polisacáridos y algunas proteínas en los biopolímeros son hidrofílicos debido a la presencia de grupos hidroxilo (Chen et al., 2024). La adición de carboxymethyl konjac glucomannan (KGM) aumentaba la absorción de humedad de las películas de almidón. Además, en condiciones de alta humedad, la fuerte hidrofiliicidad de la KGM facilitó la transferencia de moléculas de agua a la matriz de almidón. La isoterma de adsorción de humedad de las películas mezcladas KGM/MBS, y los resultados sugirieron que la adsorción de humedad de las películas puede estar más influenciada por la hidrofiliicidad inherente de los componentes con tiempo de equilibrio de humedad suficiente. EL WVP de películas a base de almidón siempre indicaba un alto valor en todas las temperaturas de almacenamiento y humedad (Chen et al., 2024). Se puede mencionar además que para este caso los porcentajes de humedad no se ven afectados por la integración de bagazo de maguey, así como no hay efecto en el incremento de este componente.

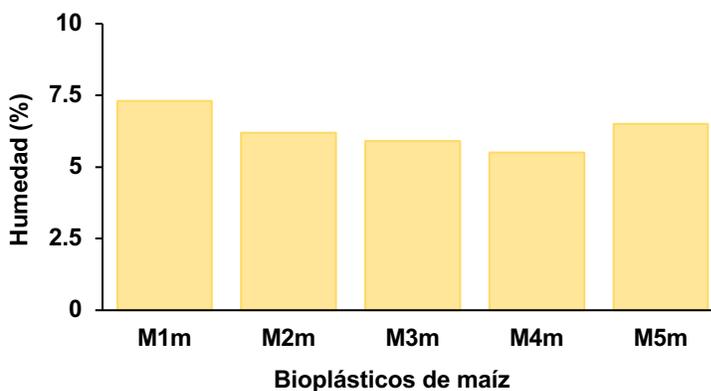


Figura 1.

(%) de bioplásticos a base de almidón de maíz

Porcentajes de humedad

En el caso de los porcentajes de humedad (%) de los bioplásticos a base de almidón de papa (figura 2), se observa que se mantienen valores promedio de 9.0 % de humedad para los 5 bioplásticos. Burdisso et al. (2016) desarrollan bioplásticos a base de proteína extraída de suero vacuno, obteniendo porcentajes de

humedad para sus productos de 11% de humedad. Al igual que lo observado en los bioplásticos a base de almidón de maíz la integración de bagazo de maguey no afecta los porcentajes de humedad, así como tampoco se observa efecto al incrementar la cantidad del bagazo.

Analizando de manera comparativa los resultados de los bioplásticos de almidón de papa y de maíz se observa que para este último los porcentajes de humedad son menores respecto a los bioplásticos de papa, lo que nos habla de mayor retención de agua por lo que podría hacer referencia a una mayor sensibilidad a ambientes húmedos debido a su hidrofobicidad.

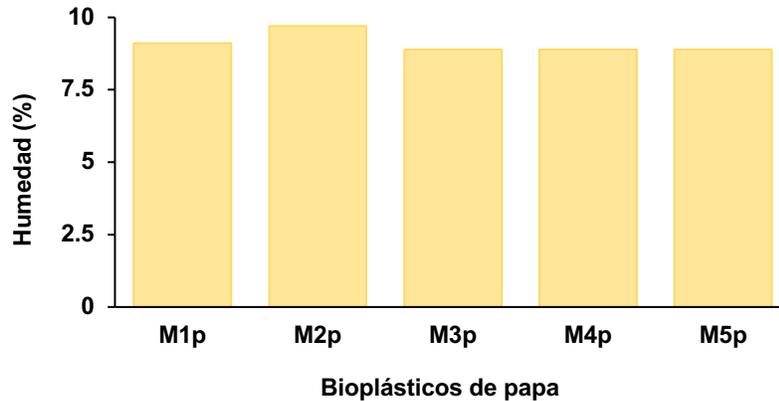


Figura 2. Porcentajes de humedad (%) de bioplásticos a base de almidón de papa

Solubilidad de bioplásticos de maíz y papa

Los resultados respecto a la solubilidad en agua de los bioplásticos desarrollados con almidón de maíz, se muestran en la figura 3, observando porcentajes de 33.7, 27.9, 26.8, 26.4 y 25.7 % para los bioplásticos M1m, M2m, M3m, M4m y M5m respectivamente, estas pérdidas pueden hacer referencia por la manipulación de los bioplásticos para llevar al cabo el procedimiento.

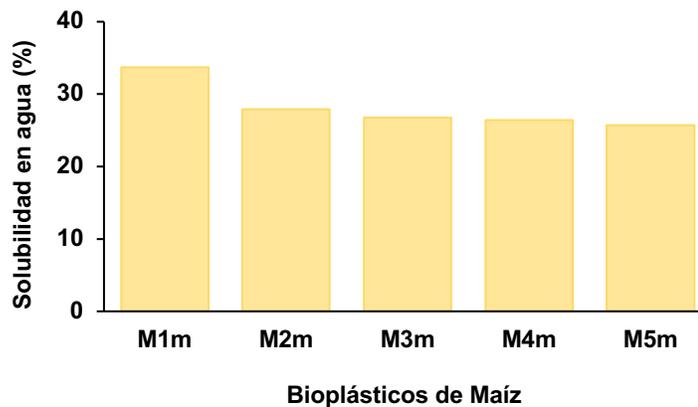


Figura 3. Porcentajes de solubilidad de bioplástico (%) de bioplásticos a base de almidón de maíz

Si bien los valores de pérdida se mantienen muy cercanos entre sí la apariencia de los bioplásticos se ve más afectada para el bioplástico M1m el cual no contienen bagazo, como puede observarse además en la figura 4.

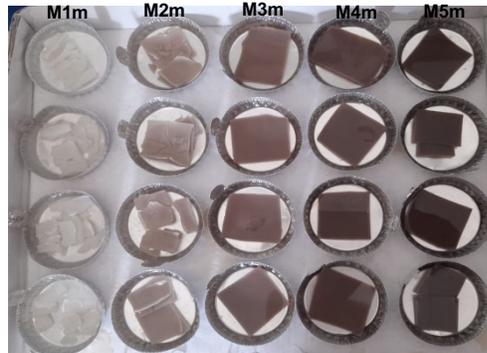


Figura 4. Aspecto de los bioplásticos de maíz en contacto con agua

En el caso de los porcentajes de solubilidad obtenidos para los biopolímeros a base de papa presentan valores de 27.4, 28.1, 27.6, 26.6 y 27.1 para los bioplásticos M1p, M2p, M3p, M4p y M5p respectivamente (figura 5). Para este caso de forma física se observa el mismo comportamiento respecto a los bioplásticos con maíz en donde aquellos que no tienen bagazo son los más susceptible a rompimiento y por lo tanto a deshacerse más fácilmente. Analizando de manera comparativa los resultados de los bioplásticos de maíz y papa respecto a su solubilidad en agua, se observa mayor pérdida en los bioplásticos de maíz ya que en promedio se obtiene 28% de solubilidad, siendo ligeramente mayor respecto al promedio de los bioplásticos de papa con un valor promedio de 27%. Sirivechphongkul et al. (2022) obtuvieron biopolímeros a base de alcohol polivinílico a los cuales se incorporó lignina obtenida de residuos orgánicos de fruta y la cual fueron variando en cantidad determinan porcentajes de humedad y solubilidad de sus polímeros observando valores de humedad de aproximadamente 6 % para los bioplásticos sin lignina, por otro lado reportan un valor máximo de 15.6 % para el bioplástico con mayor cantidad de lignina, atribuyéndolo a la interacción de la lignina con los grupos OH evitando mayor interacción con el agua. En este sentido respecto a los almidones de papa y de maíz se podría considerar estas interacciones de los grupos OH de los respectivos almidones con el bagazo para determinar su comportamiento en contacto con el agua.

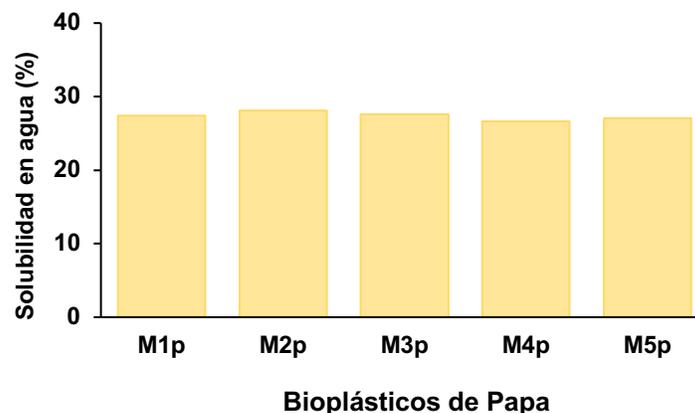


Figura 5. Porcentajes de solubilidad de bioplástico (%) de bioplásticos a base de almidón de papa

CONCLUSIONES

Se determinaron las condiciones y proporciones de los elementos para llevar a cabo el desarrollo de los bioplásticos.

Se obtuvieron bioplásticos a base de papa y maíz, incorporando además bagazo de maguey mediante un proceso de extrusión por soplado.

Los bioplásticos de maíz presentan mayores valores de humedad en comparación con los bioplásticos de papa.

Los mayores porcentajes de solubilidad se presentaron para los bioplásticos de maíz en comparación con los bioplásticos de papa.

El porcentaje de humedad es una característica crucial de los bioplásticos derivados del maíz, ya que influye significativamente en sus propiedades físicas, como durabilidad y capacidad de descomposición. En resumen, el control del porcentaje de humedad es esencial para garantizar la calidad y funcionalidad de los bioplásticos a base de maíz, siendo este un aspecto clave a considerar en su desarrollo y aplicaciones futuras.

A pesar de que los valores de pérdida de masa son similares entre sí, la apariencia de los bioplásticos parece verse más afectada en aquellos que no contienen bagazo, como se puede observar en los resultados. Esto sugiere que la incorporación de bagazo podría tener un efecto positivo en la estabilidad física de los bioplásticos frente a la solubilidad en agua.

La solubilidad en agua de los bioplásticos de almidón de maíz muestra resultados consistentes en términos de pérdida de masa, con una ligera diferencia perceptible en la apariencia visual de los bioplásticos que no contienen bagazo.

Referencias

- Agunsoye, J. O., Aigbodion, V. S. (2013). Bagasse filled recycled polyethylene bio-composites: Morphological and mechanical properties study. *Results in physics*. 3. 187 – 194.
- Alarcón-Cavero, H. A., Arroyo-Benites, E. (2016). Evaluación de las propiedades químicas y mecánicas de biopolímeros a partir del almidón modificado de papa. *Revista de la Sociedad Química del Perú*. 82(3). 315 – 323.
- Alucho-Pasto, J., Ramos-Naranjo, S., Saltos-Segura, D. (2021). Tecnologías para el desarrollo de biopolímeros, como una alternativa en la sustitución del plástico. *Alimentos, Ciencia e Ingeniería*. 28 (1). 95 – 100.
- Álvarez, K., Famá, L., Gutiérrez, T.J. (2017). Physicochemical, Antimicrobial and Mechanical Properties of Thermoplastic Materials Base don Biopolymers with Application in the Food Industry. *Advances in Physicochemical Properties of Biopolymers*. 358 – 400.
- Bardisso, M. L., Salvatierra, L. M., Giordano, R. M., Pérez, L. M. (2016) Obtención y caracterización de biomateriales de interés tecnológico formulados a base de polímeros naturales y subproductos industriales. *Energeia*. 14(14). 4 – 14.
- Buteler, M. (2019). ¿Qué es la contaminación por plástico y por qué afecta a todos? Desde la Patagonia difundiendo saberes. 16(28). 56 – 60.
- Chen, C., Pagsuyoin, S. A., Van Emmerik, T. H. M., Xu, Y., He fen Guo, Y., Liu, D. Xu, Y. (2024). Significant regional disparities in reverine microplastic. *Journal of Hazardous Materials*. 472. 2 – 9.
- Chen, K., Tian, R., Jiang, J., Xiao, M., Wu, K., Kuang, Y., Deng, P. Zhao, X., Jiang, F. (2024). Moisture loss inhibition with biopolymer films for preservation of fruits and vegetables: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*. 263.

- Fernández, N. F. (2018). Plásticos biodegradables. Una vía para disminuir la contaminación ambiental. *Revista de la Sociedad Cubana de México*. 4(3). 7 – 14.
- Delgado-Villaseñor, A. K., Maldonado-Santoyo, M. (2021). Circularidad para los plásticos: reciclado post-uso vs fabricación de plásticos biodegradables. *Revista electrónica de Divulgación de la Investigación*. 21. 60 – 71.
- Mohammad-Azmin, S. N. H., Mohd-Hayat, N. A. B., Mat-Nor, M. S. (2020). Development and characterization of food packaging bioplastic film from cocoa pod husk cellulose incorporated with surgarcane baggasse fibre. *Journal of bioresources and bioproducts*. 5. 248 – 255.
- Nanda S., Patra, B., R., Patel, R., Bakos, J., Dalai, A. K. (2022). Innovations in applications and prospecto f bioplastic and biopolymers: a review. *Environmental Chemistry Letters*. 20. 379 – 395.
- Rodríguez-Sepúlveda, L. J., Orrego-Alzate, C. E. (2016). Aplicaciones de mezclas de biopolímeros y polímeros sintéticos: revisión bibliográfica. *Revista Científica*. 25. 252 – 264.
- Sirivechphongkul, K.; Chiarasumran, N.; Saisriyoot, M.; Thanapimmetha, A.; Srinophakun, P.; Iamsaard, K.; Lin, Y.-T. (2022). Agri-Biodegradable Mulch Films Derived from Lignin in Empty Fruit Bunches. *Catalysts*. 12(1150). 1 – 19.
- Tasseron, P. F., Van Emmerikk, T. H. M., Vriend, P. Hauk, R., Alberti, F., Mellink, Y., Ploeg, M. (2024). Defining plastic pollution hotspots. *Science of the total Environment*. 934.
- Valero-Valdivieso, M. F., Ortegón Y., Uscategui, Y. (2013). Biopolymers: progress and prospect. *Dyna*. 80(181). 171 – 180.
- Van de Velde, K., Kiekens, P. (2002). Byopolymer: overview of several properties and consequences on their applications. *Polymer Testing*. 21. 433 – 442.
- Vazquez-Garay, F., V., Carrillo-Varela, I., Vidal, C., Reyes-Contreras, P., Faccini, M., Teixeira-Mendonca, R. (2021). A Review on the Lignin Biopolymer and Its Integration in the Elaboration of Sustainable Materials. *Sustainability*. 13. 2 – 15.
- Villada, H. S., Velasco R. J. (2007). Biopolymers naturales used in biodegradable packaging. *Revista bibliográfica. Temas Agrarios*. 12(2). 5 – 13.
- Yaradoddi, J.S., Banapurmath, N.R., Ganachari, S. V., Soudagar, M. E. M., Sajjan, A. M., Kamat, S. Mujtaba, M.A., Shettar, A. S., Anqi, A. E., Reza-Safaei, M., Elfasakhany, A., Haque-Siddiqui, M. I., Asharaf-Ali, M. (2022). Bio-based material from fruit waste of Orange peel for industrial applications. *Journal of Materials Research and Tecnology*. 17. 3186 – 3197.