

Degradación, lesiones y resistencia al desgarro de las películas de mantillo de bioplástico Mater-Bi y LDPE en el cultivo de frijol a gran altura

Einer Espinoza-Muñoz

Investigador y docente universitario de la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo de Huaraz, Perú. Ingeniero Químico, campo de interés en investigaciones que ayuden a solucionar problemas ambientales en diferentes temas como contaminación minera, manejo de residuos sólidos, biopolímeros, evaluación de la calidad del agua, actividad turística e impacto ambiental y propuestas de mitigación.

eespinozam@unasam.esdu.pe

 <https://orcid.org/0000-0002-7260-1142>

Juan F. Barreto

Ingeniero Agrónomo de profesión, especialista en suelos, con maestría en políticas sociales y mención en proyectos y programas sociales, con un doctorado concluido en Agricultura Sustentable (La Molina). Actualmente docente principal de la Facultad de Ciencias Agrarias de la UNASAM.

jbarretor@unasam.edu.pe

 <https://orcid.org/0000-0003-0940-6843>

Rosario Barra Zegarra

Químico, Master en ciencias. Especialidad en química orgánica. Docente de la Universidad Nacional "santiago Antúnez de Mayolo"

tbarraz@unasam.edu.pe

 <https://orcid.org/0000-0002-9153-0554>

Henry Garrido-Angulo

Doctor en Ciencias e Ingeniería de la Computación y de profesión Licenciado en Matemática, tiene experiencia en diversos estudios en decisiones multicriterio y problemática en glaciares de montaña en los Andes Peruanos. Tiene publicaciones de impacto en la problemática del riesgo de desastre entre el que resalta el estudio de vulnerabilidades en la Comunidad de Santa Cruz en Ancash.

hgarridoa@unasam.edu.pe

 <https://orcid.org/0000-0002-1541-2660>

RESUMEN

Este estudio evaluó las propiedades químicas (nivel de degradación) y físico-mecánicas (lesiones y resistencia al desgarro) del mantillo de bioplástico Mater-Bi y del LDPE (polietileno de baja densidad) aplicados en parcelas experimentales de cultivo de frijol canario. Ambos materiales fueron probados en condiciones de gran altitud (2800 m s. n. m.) en el Centro Experimental Ecológico Tuyu Ruri, valle interandino del Callejón del Huaylas, Perú. Se empleó un diseño experimental completamente al azar, con dos tratamientos y dos repeticiones (4 unidades experimentales). La evaluación duró 20 semanas. Se utilizó una escala del 9 al 1. Mater-Bi demostró una rápida degradación, con una calificación de 7 en la quinta semana y de 3 en la vigésima semana, con lesiones y agujeros predominantemente en las áreas expuestas a la luz solar directa y al viento con una calificación de 4 y una resistencia al desgarro con calificación de 3, lo que refleja su fragilidad progresiva a medida que avanzaba la degradación. Por el contrario, el LDPE permaneció intacto durante todo el período de cultivo, con lesiones físicas mínimas y alta resistencia a la degradabilidad y al desgarro. Estos hallazgos resaltan los posibles beneficios y limitaciones de los plásticos biodegradables para la agricultura sostenible a gran altura.

Palabras clave: degradación, lesiones, resistencia al desgarro, películas de bioplástico

Cómo citar este artículo: Espinoza-Muñoz, E., Barreto, J. F., Barra Zegarra, R., & Garrido-Angulo, H. (2025). Degradación, lesiones y resistencia al desgarro de las películas de mantillo de bioplástico Mater-Bi y LDPE en el cultivo de frijol a gran altura. *Aporte Santiaguino*, 18(1), 21–36. <https://doi.org/10.32911/as.2025.v18.n1.1229>

Recibido: 2025-03-17 | Aceptado: 2025-05-15

Degradation, damage and tear resistance of Mater-Bi bioplastic and LDPE mulch films in bean cultivation at high altitude

This study evaluated the chemical (degradation level) and physical-mechanical (damage and tear resistance) properties of Mater-Bi bioplastic mulch and LDPE (low-density polyethylene) mulch as applied in experimental plots of canary bean cultivation. Both materials were tested under high-altitude conditions (2800 masl) at the Tuyu Ruri Ecological Experimental Center, Callejón de Huaylas interandean valley, Peru. A completely randomized experimental design was used, with two treatments and two repetitions (4 experimental units), the evaluation spanned 20 weeks, rates on a scale from 9 to 1. Mater-Bi demonstrated rapid degradation, with a rating of 7 by the fifth week and 4 by the twentieth week, with lesions and holes predominantly in areas exposed to direct sunlight and wind rated 4, and tear strength rated 3, reflecting its progressive fragility as degradation progressed. In contrast, LDPE remained intact throughout the cultivation period, with minimal physical damage and high resistance to degradability and tearing. These findings highlight the potential benefits and limitations of biodegradable plastics for sustainable agriculture at high altitudes.

Keywords: degradation, damage, tear resistance, bioplastic mulch films

INTRODUCCIÓN

Los acolchados de mantillo se vienen aplicando en la producción de cultivos desde hace mucho tiempo (Zribi et al, 2011) cuando de forma natural se formaban los acolchados vivos en los cultivos y se sacaba provecho de ellos para reducir la pérdida de agua, la erosión y el control de malezas que compiten directamente con los cultivos (Hernández Sánchez, 2014).

La utilización de plásticos en la agricultura comenzó en los países desarrollados y ahora

está extendido también a los países en vías de desarrollo (Kasirajan & Ngouajio, 2012). El plástico (polietileno de baja densidad, LDPE) actualmente se usa en todo el mundo para proteger a los cultivos de condiciones de crecimiento desfavorables, tales como clima severo, insectos y aves. Las cantidades empleadas para todo uso son alarmantes, tal como refiere Espi et al. (2006). El uso del plástico común en la agricultura se ha expandido sustancialmente por todo el mundo en los últimos diez años debido a que las películas de polietileno son más baratas, fáciles de producir, altamente flexibles y duraderas (Somanathan et al., 2022). Las películas plásticas son una piedra angular en las prácticas agrícolas modernas, pero brindan múltiples beneficios, como una mejor regulación de la temperatura del suelo, la supresión de malezas y un mejor rendimiento de los cultivos (Menossi, 2021).

Sin embargo, la eliminación inadecuada de películas plásticas usadas ha provocado la contaminación del suelo y, por ende, la contaminación ambiental, como afirma Somanathan et al. (2022). El impacto ambiental a largo plazo causado por estos plásticos ha generado preocupación debido a su persistencia en el medio ambiente y su limitada reciclabilidad (Liu, 2022; Munhoz, 2024). El uso masivo de plásticos petroquímicos se ha convertido en un verdadero problema para la salud y el medio ambiente (Tiseo, 2022; Zoungranan et al., 2020). Aquella solución fácil y barata se ha tornado en un verdadero problema especialmente para los suelos agrícolas de todas partes (López Falcón, 2002). Ante esta situación, se ha comenzado a desarrollar la tecnología de los plásticos biodegradables. Son materiales cuyas propiedades físicas y químicas se deterioran rápidamente cuando se exponen a los microorganismos debido a su capacidad para degradar, por completo, la mayor parte de los materiales orgánicos e inorgánicos, incluidos la lignina, el almidón, la celulosa y las hemicelulosas (Kale et al., 2015). El desarrollo de plásticos biodegradables y menos peligrosos representa, por tanto, una alternativa a los plásticos

petroquímicos (Zoungranan et al., 2020). El aumento mundial de la contaminación plástica ha provocado un cambio hacia alternativas sostenibles en la agricultura, particularmente en el uso de materiales biodegradables. Los bioplásticos producidos a partir de materiales biobasados y materiales biodegradables tienen un gran potencial de ser compostables. El desarrollo reciente de tecnología, la innovación continua y el apoyo global, son importantes para comercializar y demostrar dichos materiales (Gloria, 2022).

Los bioplásticos como el de la marca Mater-Bi se han introducido como una alternativa ecológica porque se descomponen en condiciones naturales, reduciendo la acumulación de residuos en los suelos (Soulethone, 2020). De hecho, se sabe que varios tipos de microorganismos (aeróbicos, anaeróbicos, bacterias fotosintéticas, arqueas y eucariotas inferiores) en los suelos, son responsables del catabolismo de los bioplásticos (Accinelli et al., 2012; Kumaravel et al., 2010). pesar de estas ventajas, no se ha evaluado bien su rendimiento en condiciones ambientales específicas, incluidos entornos de gran altitud. La agricultura en estas altitudes presenta desafíos únicos, como el aumento de la radiación ultravioleta, las temperaturas fluctuantes y las variaciones en las condiciones atmosféricas y del suelo, que pueden afectar significativamente la degradación y la integridad mecánica de estos materiales (Lang, 2023). En consecuencia, este estudio tuvo como objetivo proporcionar información sobre el rendimiento comparativo de las películas de mantillo o acolchado Mater-Bi y LDPE en cultivos de frijol ubicados en ecosistemas altos (región quechua: 2300 a 3500 m s. n. m.), centrándose en sus propiedades de degradación, lesiones o daño físico y resistencia al desgarro.

MATERIALES Y MÉTODOS

El Centro Experimental Ecológico Tuyu Ruri (2800 m s. n. m.) en el valle del Callejón de Huaylas, Áncash, Perú, sirvió como sitio de estudio. El lugar experimenta temperaturas anuales moderadas (12–20 °C), humedad variable (50–85 %) y una importante exposición a los rayos UV, todo lo cual contribuye a las condiciones únicas de degradación de los plásticos agrícolas (Kijchavengkul, 2008; Lang, 2023). Las películas de mantillo probadas fueron: **Mater-Bi** (Marca comercial de polímero biodegradable de origen italiano, diseñado para aplicaciones agrícolas y conocido por su susceptibilidad a la degradación microbiana), **LDPE** (Película convencional de polietileno en base a petróleo de origen peruano, muy utilizado en la agricultura por su durabilidad mecánica y rentabilidad económica).

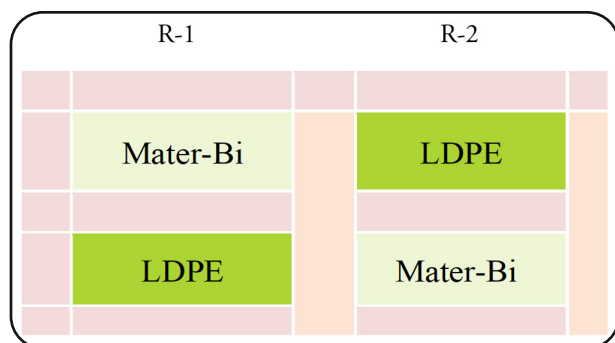
Los dos acolchados plásticos fueron de color negro, con 15 µm de espesor y 1 m de ancho, lo que garantizó propiedades físicas comparables para la configuración experimental. Luego de la preparación del terreno (deshierbo, desmenuzado y abonado), los plásticos se colocaron de forma manual encima de los camellones altos, extendiéndolos bien y asegurando sus bordes con tierra. En seguida, se realizaron las mediciones y se agujerearon los plásticos con círculos de 5 cm de diámetro para colocar las semillas de frijol, para lo cual se empleó una densidad de siembra de 60 x 35 cm (dos hileras cruzadas de 6 plantas cada una), utilizando el “método de las tres semillas” (tres semillas por agujero).

Se empleó un diseño experimental completamente al azar, con dos tratamientos y dos repeticiones, por lo que se utilizaron 4 unidades experimentales. La superficie de cada unidad experimental fue de 1.68 m² (parcelas pequeñas). El ciclo del cultivo duró 5 meses (de octubre de 2023 a febrero de 2024), iniciando con riego por gravedad y posteriormente la lluvia aportó la humedad requerida. La aleatorización efectuada del cultivo implicó la distribución aleatoria de los

tratamientos en cada repetición, como se muestra en la siguiente figura.

Figura 1

Aleatorización de tratamientos y esquema experimental: Mater-Bi y LDPE



El diseño experimental permitió una evaluación adecuada de los parámetros de degradación, lesiones y resistencia al desgarro de las dos películas de mantillo:

Degradación: Proceso de degeneración, deterioro o desgaste de la película, medido a través de inspección visual y calificación en escala del 9 al 1 (9=intacto; 1=degradación completa).

Lesiones físicas: Presencia de desgarros, agujeros y fisuras que alteren el rendimiento de la película, calificadas de forma similar (9=sin lesiones; 1=número elevado de lesiones).

Resistencia al desgarro: Medida del aguante a la ruptura o estiramiento de la película, calificadas de forma similar a la degradación (9=muy fuerte; 1=extremadamente frágil).

Se registraron también como datos complementarios, la *temperatura del suelo* y las *condiciones climáticas* durante el ciclo del cultivo que es una estación lluviosa moderada/fuerte. La temperatura del suelo se midió durante tres días en diferentes horas del día (6 am, 1 pm y 6 pm), registrándose un promedio de 18,6°C en el suelo con tratamiento Mater-Bi y 19,2°C en el tratamiento con LDPE, las dos en igualdad

de condiciones. En el caso de las condiciones climáticas, se tomaron como referencia la data histórica de octubre de 2021 a febrero de 2022 (dos años antes del experimento) obtenidos de la estación meteorológica del mismo fundo, cuyos promedios/mes de los registros son: Precipitación 185,68 mm, Radiación solar 141,72 watts, Velocidad de viento 2,32 m/s, Humedad relativa 74,22 %, Temperatura media 6,24°C, Temperatura mínima -0,98°C y Temperatura máxima 16,38°C. Estos datos del clima se tomaron para monitorear cualquier evento climático anormal que pudiera tener influencia en el rendimiento del mantillo.

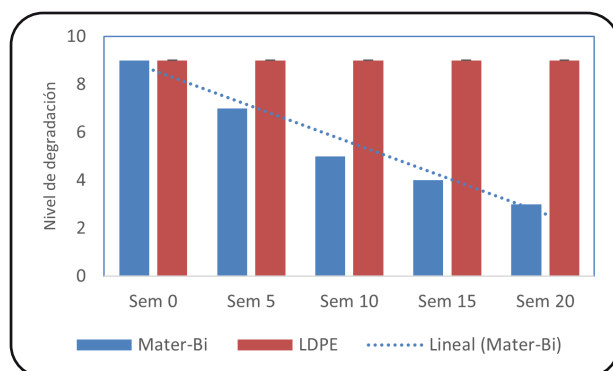
Para la recolección de datos se utilizaron diversas técnicas, como la observación directa, medición y conteo. Los instrumentos utilizados fueron la wincha, para medir longitudes y cuaderno, para registrar datos. Las técnicas de observación permitieron a los investigadores observar, registrar y analizar eventos de interés relacionados con los cultivos (Fagarasanu et al., 2002). Los datos recolectados fueron analizados mediante la prueba estadística no paramétrica de Mann-Whitney (U) a fin de comparar con un nivel de confianza del 95% las diferencias entre los niveles de degradación, lesiones físicas y resistencia al desgarro de los tipos de películas (Mater-Bi y LDPE). Adicionalmente, se calculó el tamaño del efecto (r) de Rossenthal, haciendo uso del Software Estadístico SPSS 27.

RESULTADOS

Los resultados de los parámetros de degradación, lesiones y resistencia al desgarro de las películas de mantillo para ambos tratamientos se presentan por cada cinco semanas, en las siguientes figuras:

Figura 2

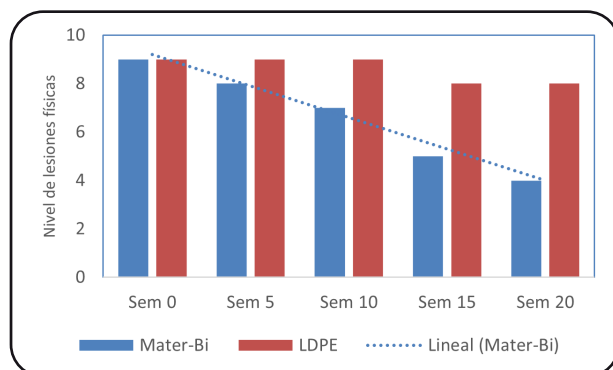
Nivel de degradación según tipo de mantillo



Respecto al nivel de degradación, la película de Mater-Bi se degradó rápidamente durante el período de cultivo, con puntuaciones que variaron desde 9 (colocación inicial) a 7 (semana 5), luego 5 (semana 10), a 4 (semana 15) y finalmente hasta 3 (semana 20). Por el contrario, el LDPE mantuvo una degradación estable de 9 durante el período de 20 semanas.

Figura 3

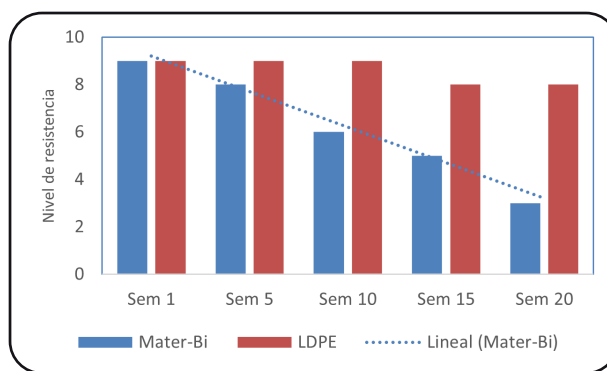
Lesiones físicas según tipo de mantillo



La película de Mater-Bi mostró un daño físico creciente con el tiempo, con puntuación inicial de 9, luego de 8 (semana 5) y finalmente a 4 (semana 20). La película de LDPE no mostró daño físico, con una ligera reducción en la puntuación (de 9 a 8) desde la colocación hasta la semana 20.

Figura 4

Resistencia al desgarro según tipo de mantillo



La resistencia al desgarro de Mater-Bi disminuyó significativamente, desde 9 en su colocación, luego a 8 (semana 5) y finalmente a 3 (semana 20). La película de LDPE se mantuvo prácticamente sin cambios durante las 20 semanas.

Figura 5

Imágenes de la evolución de la degradación, lesiones y resistencia al desgarro



Tabla 1*Resultados de los estadísticos de prueba*

	Mater-Bi	LDPE			
	Mdn (Rango)	Mdn (Rango)	U de Mann- Whitney	P	r de Rossenthal
Nivel de degradación	5.50 (6)	9.00 (0)	7.00	.000	-0.860
Lesiones físicas	7.00 (5)	9.00 (0)	24.00	.000	-0.675
Resistencia al desgarro	6.00 (6)	8.00 (1)	34.00	.002	-0.583

Los resultados del análisis comparativo y estadísticos de prueba para cada variable (nivel de degradación, lesiones físicas y resistencia al desgarro) entre Mater-Bi y LDPE se presentan en la Tabla 1, de donde se deduce que existen diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) en las variables evaluadas en estos dos tipos de mantillos; además, el tamaño del efecto ($r > 0.5$) evidencia que estas diferencias son grandes en todos los casos.

DISCUSIÓN

En la Figura 2 se aprecia que la película de Mater-Bi se degradó rápidamente durante el período de cultivo, con puntuaciones de degradación que variaron desde 9 (colocación inicial) a 7 (semana 5), luego 5 (semana 10), a 4 (semana 15) y finalmente hasta 3 (semana 20). Esta trayectoria de degradación es consistente con los hallazgos de Soulethone (2020), quien informó la descomposición acelerada de Mater-Bi bajo exposición microbiana y UV. La reducción gradual en la tasa de degradación después de la semana 10 podría atribuirse a la reducción de la actividad microbiana durante las temperaturas más frías y a la menor precipitación observada en la segunda mitad del ciclo de cultivo (Lang, 2023). Por el contrario, el LDPE mantuvo una puntuación de degradación estable de 9 durante el período de 20 semanas, lo que confirma su alta resistencia a los factores ambientales y su falta de biodegradabilidad. Esta durabilidad, si bien es ventajosa para un uso a largo plazo, genera preocupación con respecto a la contaminación del

suelo y del medio ambiente (Liu, 2022; Menossi, 2021).

Asimismo, como se aprecia en la Figura 3, la película de Mater-Bi exhibió un daño físico creciente con el tiempo, con puntuaciones que disminuyeron a partir de 9 en la colocación inicial, luego de 8 (semana 5) y finalmente a 4 (semana 20). Se observaron desgarros y agujeros predominantemente en las áreas expuestas a la luz solar directa y al viento, lo que enfatiza la vulnerabilidad del material a los factores estresantes ambientales (Chen, 2021). La película de LDPE mostró daño físico mínimo, con una ligera reducción en la puntuación (de 9 a 8) desde la colocación hasta la semana 20. Esta resiliencia subraya la superioridad mecánica del LDPE, particularmente en entornos agrícolas de alto estrés (Munhoz, 2024).

La resistencia al desgarro de la película de Mater-Bi, como se evidencia en la Figura 4, disminuyó significativamente, desde 9 en su colocación, luego a 8 (semana 5) y finalmente a 3 (semana 20), lo que refleja su fragilidad progresiva a medida que avanzaba la degradación. Osman (2022) reportó hallazgos similares y destacó la compensación entre la biodegradabilidad y la resistencia mecánica de los materiales poliméricos. La película de LDPE se mantuvo prácticamente sin cambios, lo que demuestra su robustez, pero plantea dudas sobre su sostenibilidad ambiental a largo plazo.

La rápida degradación de Mater-Bi ofrece importantes beneficios ambientales, particularmente en la reducción de la contaminación plástica del suelo. Sin embargo, su limitada durabilidad mecánica puede requerir reemplazos frecuentes, lo que aumenta los costos para los agricultores (Menossi, 2021; Soulethone, 2020). Por otro lado, la durabilidad del LDPE lo convierte en una opción rentable, pero exacerba la contaminación plástica, particularmente en regiones que carecen de una infraestructura adecuada para la gestión de residuos (Liu, 2022; Munhoz, 2024).

CONCLUSIONES

Mater-Bi demostró una rápida degradación, con una calificación de 7 en la quinta semana y de 3 en la vigésima semana, con lesiones y agujeros predominantemente en las áreas expuestas a la luz solar directa y al viento con una calificación de 4 y una resistencia al desgarro con calificación de 3, lo que refleja su fragilidad progresiva a medida que avanza la degradación.

Por el contrario, el LDPE permaneció intacto durante todo el período de cultivo, con lesiones físicas mínimas y alta resistencia a la degradabilidad y al desgarro. Estos hallazgos resaltan los posibles beneficios y limitaciones de

Las investigaciones futuras deberían centrarse en mejorar la durabilidad de los polímeros biodegradables manteniendo al mismo tiempo sus beneficios medioambientales. Además, la integración de nuevos bioplásticos con aditivos o nanomateriales de origen biológico puede proporcionar un camino prometedor para equilibrar la sostenibilidad y el rendimiento (Chen, 2021; Osman, 2022). Los estudios a largo plazo en diversas condiciones ambientales son esenciales para validar aún más estos hallazgos.

los plásticos biodegradables para la agricultura sostenible a gran altura.

Este estudio destaca las fortalezas y limitaciones de las películas de mantillo Mater-Bi y LDPE en la agricultura de gran altitud. Si bien Mater-Bi ofrece una solución ecológica, sus limitaciones mecánicas restringen su aplicabilidad a cultivos a corto plazo. El LDPE, aunque mecánicamente superior, plantea importantes desafíos ambientales debido a su no biodegradabilidad.

REFERENCIAS

- Accinelli C.; Saccà ML.; Mencarelli M. y Vicari A. (2012). Deterioro de las bolsas de bioplástico en el medio ambiente y evaluación de una nueva alternativa de reciclaje. *Quimiosfera*, 89(2), 136-143. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22717162/>
- Chen, J. (2021). Polymer materials in sustainable agricultural practices: A comprehensive review. *Chemical Engineering Journal*, 129639. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2021.129639>
- Espi, E.; Salmerón, A.; Fontecha A.; García Y., & Real AI (2006). Plastic films for agricultural applications. *Journal of Plastic Film and Sheeting*, 22(2), 85–102 https://www.researchgate.net/publication/249358537_PLastic_Films_for_Agricultural_Applications
- Fagarasanu, M., & Kumar, S. (2002). Measurement instruments and data collection: A consideration of constructs and biases in ergonomics research. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 30(6), 355-369. [https://doi.org/10.1016/S0169-8141\(02\)00101-4](https://doi.org/10.1016/S0169-8141(02)00101-4)
- Gloria, B. (2022). Bioplásticos: Sustentabilidad Ambiental y Principales Tendencias. *Revista Tekhné-UCAB*, 25(3), 45-65. <https://revistasenlinea.saber.ucab.edu.ve/index.php/tekhne/article/view/5792>
- Hernández Sánchez, E. (2014). *Manual: Acolchados Vegetales y Películas Plásticas*. Universidad Tecnológica de Tula-Tepeji. <https://www.utt.edu.mx/extensionismo/Informacion/Publicaciones/Serie.%20Agricultura%20Regenerativa/4.-Acolchados%20vegetales.pdf>
- Kale, S., Deshmukh, A., Dudhare, M., & Patil, V. (2015). Microbial degradation of plastic: a review. *J Biochem Tech*, 6(2), 952-961.
- Kasirajan, S., & Ngouajio, M. (2012). Polyethylene and biodegradable mulches for agricultural applications: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 32, 501–529. <https://link.springer.com/article/10.1007/s13593-011-0068-3>
- Kijchavengkul, T., & Auras, R. (2008). Compostability of polymers. *Chemosphere*, 71(3), 429–439. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2007.10.074>
- Kumaravel, S.; Hema R.y Lakshmi, R. (2010). Producción de polihidroxibutirato (Bioplástico) y su biodegradación por *Pseudomonas Lemoignei* y *Aspergillus Niger*. *Revista electrónica de química*, 7, 536-542. https://www.researchgate.net/publication/258377772_Production_of_Polyhydroxybutyrate_Bioplastic_and_its_Biodegradation_by_Pseudomonas_Lemoignei_and_Aspergillus_Niger
- Lang, T., Zhang, Y., & Zhao, L. (2023). Degradation behavior of biodegradable mulches in varied agricultural environments. *Journal of Agricultural Science*, 19(12), 75–88. <https://doi.org/10.11975/j.issn.1002-6819.202212019>
- Liu, M., Wang, Y., & Zhou, Q. (2022). Environmental impacts of plastic mulch degradation and removal. *Journal of Hazardous Materials*, 129507. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.129507>

- López Falcón, R. (2002). *Degradación del suelo: causas, procesos, evaluación e investigación*. Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial. <http://www.serbi.ula.ve/serbiula/libros-electronicos/Libros/degradacion/pfd/librocompleto.pdf>
- Menossi, M., Martínez, C., & Pinto, A. (2021). Challenges of biodegradable plastics in modern agriculture. *Agronomy for Sustainable Development*, 41(85). <https://doi.org/10.1007/s13593-021-00685-0>
- Munhoz, C., Silva, J., & Costa, R. (2024). Long-term environmental consequences of plastic mulch films in agriculture. *Science of the Total Environment*, 172175. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.172175>
- Osman, A. (2022). Biodegradable polymers: Applications in agriculture. In *Sustainable Materials and Technologies* (pp. 242-260). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820352-1.00242-X>
- Somanathan H., Sathasivam R., Sivaram S., Mariappan Kumaresan S., Muthuraman M. S., & Park S. U. (2022). An update on polyethylene and biodegradable plastic mulch films and their impact on the environment. *Chemosphere*, 307(3). <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.135839>
- Soulenthone, J., & Delgado, A. (2020). Environmental degradation of biodegradable polymers: Case studies. *Polymer Degradation and Stability*, 182, 109335. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2020.109335>
- Tiseo, I. (2022). *Annual production of plastics worldwide from 1950 to 2020*. <https://www.statista.com/statistics/282732/global-production-of-plastics-since-1950/>
- Zoungranan, Y., Lynda, E., Dobi-Brice, K., Tchirioua, E., Bakary, C., & Yannick, D. (2020). Influence of natural factors on the biodegradation of simple and composite bioplastics based on cassava starch and corn starch. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. <https://www.growkudos.com/publications/10.1016%252Fj.jece.2020.104396/reader>
- Zribi, W., Faci, J. M., & Aragüés, R. (2011). Efectos del acolchado sobre la humedad, temperatura, estructura y salinidad de suelos agrícolas. *Información Técnica Económica Agraria*, 107(2), 148-162. https://www.researchgate.net/publication/267921237_Efectos_del_acolchado_sobre_la_humedad_temperatura_structura_y_salinidad_de_suelos_agricolas

Figura 5

Imágenes de la evolución de la degradación, lesiones y resistencia al desgarro

