

Evaluación de la degradabilidad del bioplástico obtenido a partir de almidon de maiz (Sambembe - Jipijapa)

Evaluation of the degradability of bioplastic obtained from corn starch (Sambembe - Jipijapa)

Alexandra Del Rocio Quimis Choez¹ quimis-alexandra3843@unesum.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0001-7921-1032>

Sheila Johanna Cañarte Baque² Sheila.canarte@unesum.edu.ec <https://orcid.org/0000-0002-5181-8799>

Resumen

La contaminación generada por plásticos representó una amenaza creciente para los ecosistemas rurales y agrícolas, el propósito fue evaluar la biodegradabilidad de un bioplástico elaborado de almidón de maíz en dos tipos de suelo (arcilloso y abonado) en la comunidad de Sambembe, se elaboraron láminas de bioplásticos utilizando almidón, glicerina y vinagre, estas fueron sometidas a ensayo de biodegradación durante ocho semanas bajo condiciones controladas, se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, con un diseño experimental y descriptivo, mediante la elaboración y evaluación de muestras de bioplástico a base de almidón de maíz en distintos tipos de suelo, analizando su comportamiento degradativo en condiciones controladas, siguiendo los lineamientos de la norma ISO 17556:2019, se realizaron mediciones de pH, conductividad eléctrica, peso, textura y observaciones microbiológicas, se evidenció que el bioplástico tenía, desde el inicio, una estructura bastante homogénea y estable, el pH del suelo con abono alcanzó un valor de 6,9, mientras que el suelo arcilloso presentó 6,4. Presentando una variación aproximada del 7,8 %. Se

¹ Maestría en Gestión Ambiental, Instituto de Posgrado, Universidad Estatal del Sur de Manabí, Jipijapa, Ecuador.

² Maestría en Gestión Ambiental, Instituto de Posgrado, Universidad Estatal del Sur de Manabí, Jipijapa, Ecuador.

encontraron variaciones en la conductividad eléctrica y en el contenido de materia orgánica de cada suelo, estos factores influyen directamente en cómo ocurre el proceso de biodegradación del bioplástico dentro del suelo, las características propias de cada tipo de suelo fueron clave en la velocidad y forma que el material comenzó a degradarse, se concluye que el bioplástico de almidón de maíz fue biodegradable en condiciones naturales, con mayor eficiencia en suelos biológicamente activos, aportando una alternativa viable para la gestión sostenible de residuos plásticos.

Abstract

Plastic pollution poses a growing threat to rural and agricultural ecosystems. The purpose of this study was to evaluate the biodegradability of a bioplastic made from corn starch in two soil types (clay and fertilized) in the community of Sambembe. Bioplastic sheets were prepared using starch, glycerin, and vinegar. These were subjected to a biodegradation test for eight weeks under controlled conditions. The study employed a quantitative approach with an experimental and descriptive design. Samples of corn starch-based bioplastic were prepared and evaluated in different soil types, analyzing their degradative behavior under controlled conditions. Following the guidelines of ISO 17556:2019, measurements of pH, electrical conductivity, weight, texture, and microbiological observations were performed. The bioplastic exhibited a fairly homogeneous and stable structure from the outset. The pH of the fertilized soil reached a value of 6.9, while the clay soil showed a different pH. 6.4. Presenting an approximate variation of 7.8%. Variations were found in the electrical conductivity and organic matter content of each soil; these factors directly influence how the biodegradation process of the bioplastic occurs within the soil. The characteristics of each soil type were key to the speed and manner in which the material began to

degrade. It is concluded that the corn starch bioplastic was biodegradable under natural conditions, with greater efficiency in biologically active soils, providing a viable alternative for the sustainable management of plastic waste.

Palabras clave: almidón de maíz, biodegradabilidad, bioplástico, sostenibilidad ambiental, suelos.

Keywords: biodegradability, bioplastic, corn starch, environmental sustainability, soils.

Introducción

Hoy en día, el uso excesivo de plásticos derivados del petróleo se ha convertido en un problema ambiental bastante serio, basta mirar las cifras: según el PNUMA (2023), más del 75 % de los residuos plásticos termina acumulado en vertederos o, peor aún, en ecosistemas naturales, es decir, gran parte de ese plástico no desaparece, simplemente se queda ahí, afectando al ambiente durante años.

Frente a esta realidad, la investigación científica ha empezado a buscar alternativas más sostenibles, una de las más estudiadas son los bioplásticos de origen natural, materiales que se producen a partir de recursos renovables y que podrían ayudar a disminuir el impacto ambiental de los polímeros convencionales (De Gracia et al., 2024).

En América Latina, de hecho, el interés por este tipo de materiales ha ido creciendo poco a poco, esto se debe, en parte, a las políticas ambientales y a los programas de economía circular que se están promoviendo desde organismos como la CEPAL. Países como Brasil, México y Colombia ya están investigando biopolímeros obtenidos de materias primas agrícolas maíz, yuca o plátano, por ejemplo buscando aprovechar recursos que ya forman parte de su producción agrícola (Oluwasina, 2021)

Sin embargo, todavía hay varios desafíos por delante, como los costos de producción, la posibilidad de fabricar estos materiales a gran escala y, sobre todo, comprobar realmente qué tan biodegradables son en condiciones naturales siguen siendo temas pendientes, y claro, mientras esos aspectos no se resuelvan del todo, su adopción a gran escala continúa siendo un reto (Folino et al., 2023)

En Ecuador, la contaminación por plásticos afecta con mayor fuerza a muchas zonas rurales, donde la gestión de residuos todavía es limitada, esto provoca que gran parte de estos desechos termine acumulándose en el ambiente, frente a esta situación, el país ha impulsado iniciativas como la Estrategia Nacional de Plásticos de un Solo Uso (2021), que busca reducir el uso de estos materiales y fomentar alternativas más sostenibles (Maldonado et al., 2025).

En la provincia de Manabí, el manejo de desechos plásticos también simboliza un desafío ambiental especialmente en cantones como Portoviejo, Chone y Jipijapa, la acumulación de estos desechos contribuye a la contaminación y al deterioro de los suelos agrícolas (Solórzano et al., 2023). Por ello, han surgido iniciativas académicas y comunitarias que buscan soluciones más amigables con el ambiente, entre ellas el uso del almidón de maíz para la transformación de bioplásticos biodegradables.

En el cantón Jipijapa, donde la agricultura constituye la principal actividad económica, el uso de plásticos de un solo uso genera impactos negativos en los suelos y ecosistemas rurales (Quimis, 2024); en este contexto, la evaluación de bioplásticos derivados del maíz se plantea como una alternativa sostenible para reducir el uso de materiales no degradables y mejorar la gestión ambiental del territorio.

Por eso, evaluar bioplásticos elaborados a partir de maíz aparece como una alternativa interesante, no solo porque aprovecha una materia prima disponible en la región, sino también porque podría ayudar a reducir el uso de materiales que no se degradan fácilmente y, en consecuencia, mejorar la gestión ambiental del territorio.

Metodología

Este estudio se realizó en la comunidad Sambembe, la cual está ubicada a 10 km del cantón Jipijapa, provincia de Manabí, Ecuador, esta comunidad limita al sur con la parroquia El Anegado y al oeste con la parroquia Julcuy. La elección de la zona se debe a que su población se dedica principalmente a la agricultura, especialmente al cultivo de maíz, lo que garantiza el acceso directo y sostenible a la materia prima para la elaboración del bioplástico.

La investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo (Hernández & Mendoza, 2018), orientado al análisis de datos medibles relacionados con la biodegradabilidad del bioplástico elaborado a partir de almidón de maíz; corresponde a una investigación de campo (De Gracia, 2024), de tipo aplicada, con un nivel descriptivo y explicativo, (Folino, et al., 2023) ya que permitió caracterizar las propiedades físicas, químicas y microbiológicas del material, así como analizar los factores que influyen en su proceso de degradación en diferentes tipos de suelo. Asimismo, se adoptó un diseño experimental (Ocegueda, 2021), mediante la elaboración y manipulación controlada de muestras, variando las proporciones de plastificantes naturales y regulando condiciones de temperatura, humedad y pH, con el fin de evaluar su comportamiento en ambientes edáficos contrastantes.

Se aplicaron diversos métodos científicos, tales como: El método histórico–lógico facilitó la revisión y análisis de antecedentes relacionados con los bioplásticos elaborados a partir de almidón de maíz y su comportamiento degradativo; el método experimental permitió la elaboración de las muestras y su evaluación en distintos tipos de suelo, considerando variables como la pérdida de masa, los cambios de color, la textura y la presencia microbiana a lo largo del tiempo, asimismo, el método de análisis–síntesis fue utilizado para examinar los resultados obtenidos desde una perspectiva física, química y microbiológica, mientras que el método de inducción–deducción contribuyó a interpretar los resultados particulares y a formular conclusiones generales sobre la eficacia del material como alternativa biodegradable.

Se aplicaron las técnicas e instrumentos tales como:

1. La observación directa: registro sistemático de los cambios físicos (textura, color, deformación) del bioplástico durante el proceso de degradación, en intervalos semanales.
2. La medición de pérdida de masa: el cual se utilizó una balanza analítica de precisión para pesar las muestras antes y después de cada exposición en suelo, determinando el porcentaje de degradación.
3. El análisis fisicoquímico del suelo: se emplearon kits de análisis de pH, humedad y materia orgánica, con el fin de controlar las condiciones experimentales.
4. La evaluación microbiológica: consistió en realizar observaciones para identificar la presencia de colonias microbianas en la superficie del bioplástico durante su proceso de descomposición.

5. Las fichas de registro experimental: permitieron documentar las observaciones realizadas durante el experimento.
6. La población de la investigación estuvo conformada por los dos tipos de suelo predominantes: suelo arcilloso y suelo de abono, representativos de las condiciones edáficas rurales del entorno agrícola local, la muestra experimental estuvo constituida por láminas de bioplástico elaboradas a partir de almidón de maíz, las cuales fueron sometidas a ensayos de biodegradación.
7. El diseño experimental consideró tres tratamientos, con tres réplicas por tratamiento, dando un total de nueve unidades experimentales, distribuidas de la siguiente manera:

Tabla 1. Tipos de suelos.

Tratamiento	Descripción	Número de réplicas
T1	Suelo arcilloso + bioplástico	3
T2	Suelo de abono + bioplástico	3
T3	Suelo control (sin bioplástico)	3
Total		9 recipientes

Como se aprecia las muestras de bioplástico se elaboraron a partir de almidón de maíz, glicerina y vinagre, siguiendo un procedimiento estandarizado de laboratorio, una vez obtenidas las láminas y completado el proceso de secado, se procedió a la preparación de las unidades experimentales bajo criterios de homogeneidad, finalmente, se cortaron nueve láminas de bioplástico idénticas, asegurando: Igual tamaño superficial, espesor uniforme y peso inicial equivalente.

Por lo que, previo al montaje experimental, los suelos fueron acondicionados mediante un proceso de preparación estandarizado:

1. Homogeneización del suelo, eliminando piedras, raíces y restos orgánicos gruesos.

- Se realizó un tamizado manual, para obtener una textura uniforme.
- Este procedimiento del pesaje controlado, permite colocar la misma cantidad de suelo en cada recipiente experimental (aproximadamente 20 g).
- Separación estricta de los suelos, evitando cualquier tipo de mezcla entre réplicas o tratamientos.

Cabe indicar que se respetaron los principios éticos de investigación experimental, evitando el uso de sustancias tóxicas y gestionando los residuos de forma responsable. El uso de maíz local contribuye al fortalecimiento de prácticas sostenibles y al aprovechamiento de recursos agroecológicos de la comunidad.

Resultados

Para facilitar la comprensión integral de las propiedades físicas, químicas y microbiológicas del bioplástico elaborado a partir de almidón de maíz, se presenta a continuación un cuadro resumen que sistematiza los principales hallazgos obtenidos durante la fase inicial de caracterización del material.

Tabla 2. Resumen de las propiedades físicas, químicas y microbiológicas del bioplástico de almidón de maíz

Tipo de propiedad	Características observadas	Implicación en la biodegradación
Propiedades físicas	Láminas homogéneas, superficie regular, sin fracturas visibles, flexibilidad moderada,	Garantizan condiciones iniciales uniformes para el experimento y permiten atribuir la

Tipo de propiedad	Características observadas	Implicación en la biodegradación
	resistencia al manipuleo y estabilidad dimensional durante el ensayo.	pérdida de masa exclusivamente al proceso de biodegradación en suelo.
Propiedades químicas	El material está compuesto principalmente por polisacáridos derivados del almidón de maíz, contiene plastificantes naturales como glicerina y vinagre, los cuales ayudan a mantener la cohesión molecular y aportan mayor flexibilidad y estabilidad al bioplástico.	Su estructura química es sensible a procesos como la hidrólisis y a la acción de microorganismos aeróbicos, lo que hace que el material pueda degradarse con mayor facilidad, especialmente cuando se encuentra en condiciones de humedad.
Propiedades microbiológicas	Se observó evidencia indirecta de interacción con microorganismos del suelo, manifestada en el reblandecimiento del material, la pérdida de su integridad estructural y una fragmentación progresiva a lo largo del tiempo.	Estos cambios indican que la biodegradación del material estuvo mediada por la actividad de microorganismos del suelo, especialmente en aquellos con mayor contenido de materia orgánica.

En el cuadro se observa que las propiedades físicas iniciales del bioplástico aseguraron la reproducibilidad del ensayo y la confiabilidad de los resultados obtenidos, al partir de un material homogéneo y estable, coherente con los principios establecidos en la norma ISO 17556:2019.

Cabe indicar que en la primera fase se obtuvo una lámina uniforme de bioplástico mediante la mezcla controlada de almidón de maíz, glicerina y vinagre, durante el proceso de secado, la muestra adquirió consistencia estable, sin presencia de grietas ni deformaciones visibles.

Este comportamiento inicial evidenció una correcta integración de los plastificantes, lo cual permitió generar una matriz polimérica homogénea, la adecuada solidificación del bioplástico

previo a su exposición a los suelos fue fundamental para garantizar comparabilidad entre las muestras y evitar sesgos en la evaluación de la degradación.

Tabla 3. Caracterización físico-química del suelo y relación con la biodegradación del bioplástico

Tipo de suelo	pH	Conductividad eléctrica (dS/m)	Materia orgánica (%)	Normativa aplicada	Observación relevante
Suelo arcilloso	6,4	0,42	2,1	ISO 17556:2019 (adaptada)	Presentó menor tasa de biodegradación del bioplástico, asociada a una actividad microbiana moderada y menor contenido de materia orgánica.
Suelo de abono	6,9	0,68	4,8	ISO 17556:2019 (adaptada)	Evidenció mayor degradación del bioplástico, atribuida a mayor contenido de materia orgánica y mayor actividad microbiológica aeróbica.
Suelo control (sin bioplástico)	6,6	0,45	2,3	ISO 17556:2019 (adaptada)	No se observaron cambios en la estructura del suelo que indiquen procesos de degradación, esto permitió confirmar que las variaciones registradas se deben únicamente al comportamiento del bioplástico durante el experimento.

Nota: Para el análisis se tomaron en cuenta valores como el pH, la conductividad eléctrica y el contenido de materia orgánica del suelo, estos indicadores ayudaron a comprender la actividad microbiológica presente y, a partir de ello, interpretar cómo influyen en la velocidad de biodegradación del bioplástico.

Tabla 4. Resumen del experimento de biodegradación del bioplástico en diferentes tipos de suelo

Tipo de suelo	pH	Conductividad obtenida (dS/m)	Conductividad estándar (dS/m)	Degradabilidad del bioplástico (%)
Suelo arcilloso	6,4	0,42	$\leq 1,0$	$18,3 \pm 1,5$
Suelo de abono	6,9	0,68	$\leq 1,0$	$42,3 \pm 2,5$
Suelo control (sin bioplástico)	6,6	0,45	$\leq 1,0$	No aplica

En esta tabla se aprecia como el suelo de abono presentó la mayor degradación del bioplástico, asociada a un pH cercano a la neutralidad y mayor disponibilidad de nutrientes, mientras que el suelo arcilloso evidenció una degradación menor por su bajo contenido de materia orgánica, el tratamiento control confirmó que los cambios observados se debieron exclusivamente a la interacción del bioplástico con el suelo.

Utilizando un conductímetro Mettler Toledo FiveEasy, se obtuvo una medición de la conductividad eléctrica del suelo, registrándose un valor de 24,51 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 26,4 °C, lo que indica baja salinidad y escasa presencia de sales solubles, este resultado concuerda con lo reportado por Silva et al. (2021) y Folino et al. (2023), quienes señalan que suelos con baja conductividad favorecen la actividad microbiana y la biodegradación de materiales orgánicos.

Asimismo, Ledesma et al. (2021) destacan que valores elevados de conductividad pueden inhibir estos procesos, en este contexto, la baja conductividad registrada sugiere condiciones favorables para la biodegradación aeróbica del bioplástico, en concordancia con la norma ISO 17556:2019.

Tabla 5. Evolución cualitativa de la biodegradación del bioplástico en diferentes tipos de suelo

Semana	Tierra arcillosa	Tierra de abono
1-2	Sin cambios visibles	Pérdida de brillo superficial
3-4	Leve ablandamiento	Ablandamiento y presencia de microfisuras
5-6	Aparición tardía de microfisuras	Fragmentación parcial del bioplástico
7-8	Baja pérdida de masa	Alta pérdida de masa y evidencia de colonización microbiana

En la tabla 5, se evidenció las diferencias cualitativas en la biodegradación del bioplástico según el tipo de suelo, observándose cambios más tempranos y progresivos en el suelo de abono, asociados a mayor actividad microbiológica, mientras que en el suelo arcilloso el proceso fue más lento y menos pronunciado.

Por lo que se llega a al siguiente criterio, la tierra arcillosa presentó una textura compacta y baja aireación, limitando la actividad microbiana, mientras que la tierra de abono mostró mayor contenido de materia orgánica y porosidad, condiciones determinantes para comparar el comportamiento degradativo del bioplástico.

Tabla 6. Comparación general de la tasa de degradación del bioplástico en diferentes tipos de suelo

Parámetro	Tierra arcillosa	Tierra de abono
Pérdida de masa	Baja	Alta
Actividad microbiana	Limitada	Elevada
Velocidad de degradación	Lenta	Rápida
Cumplimiento funcional ISO 17556	Parcial	Adecuado

En esta comparación presentada en la tabla 6, se muestra como el comportamiento degradativo del bioplástico en los suelos evaluados, evidenciándose una mayor pérdida de masa y degradación más rápida en el suelo de abono, asociada a elevada actividad microbiana. En contraste, el suelo arcilloso presentó una degradación más lenta por condiciones edáficas menos favorables, en este contexto, el suelo de abono mostró un cumplimiento adecuado de los principios de la norma ISO 17556:2019, mientras que el suelo arcilloso lo hizo de manera parcial.

Tabla 7. Evaluación del impacto ecotoxicológico del residuo del bioplástico degradado a largo plazo (> 8 semanas)

Parámetro evaluado	Tierra arcillosa	Tierra de abono	Interpretación ecotoxicológica
Persistencia del residuo	Moderada	Baja	El residuo del bioplástico presentó menor persistencia en el suelo de abono, lo que indica una degradación más completa y una menor acumulación de residuos.
Cambios visibles en el suelo	No evidentes	No evidentes	No se observaron alteraciones físicas negativas en la estructura del suelo que pudieran atribuirse al material degradado.
Alteración del pH del suelo	No significativa	No significativa	El pH del suelo se mantuvo dentro de rangos normales, lo que sugiere que el bioplástico no generó efectos tóxicos residuales
Actividad microbiológica post-degradación	Estable	Estimulada	En el suelo con abono se observó una respuesta microbiológica favorable, asociada a la presencia de residuos orgánicos biodegradables.
Riesgo ecotoxicológico potencial	Bajo	Bajo	No se detectaron indicadores de toxicidad ambiental derivados del residuo del bioplástico.

Es evidente que la degradación del bioplástico no generó efectos ecotoxicológicos adversos, evidenciándose estabilidad del pH y mantenimiento de la actividad microbiológica del suelo, lo que indica baja toxicidad ambiental y respalda su potencial como alternativa sostenible.

Así mismo, las diferencias fisicoquímicas de los suelos, determinadas mediante pH, conductividad eléctrica y contenido de materia orgánica, fueron determinantes para contrastar el comportamiento del bioplástico en condiciones edáficas con distinta capacidad degradativa.

Tabla 8. Caracterización fisicoquímica de los suelos utilizados

Tipo de suelo	pH	Conductividad eléctrica (dS/m)	Materia orgánica (%)	Nivel esperado de actividad microbiológica
Suelo arcilloso	6,4	0,42	2,1	Moderada
Suelo de abono	6,9	0,68	4,8	Alta
Suelo testigo	6,6	0,45	2,3	Baja

Nota. El pH y la conductividad eléctrica fueron determinados mediante pH-metro digital y conductímetro conforme a la norma ISO 11265, mientras que el contenido de materia orgánica se estimó mediante el método de oxidación húmeda. Los valores obtenidos se emplearon como indicadores indirectos del nivel de actividad microbiológica del suelo.

Al comparar los suelos que se evaluaron en el estudio, se notaron algunas diferencias bastante claras, por ejemplo, el suelo con abono mostró un mayor contenido de materia orgánica y también una conductividad eléctrica más alta, esto, en pocas palabras, suele estar relacionado con una mayor actividad de microorganismos en el suelo, lo que crea un ambiente más favorable para que ocurra la biodegradación.

En cambio, el suelo arcilloso presentó valores más bajos en estos parámetros, lo que sugiere que sus condiciones no son tan adecuadas para que los procesos de degradación se desarrollen con la misma facilidad, por su parte, el suelo testigo quedó en un punto intermedio, sirvió, digamos, como una referencia útil para poder comparar cómo se comportaba el bioplástico en distintos tipos de

suelo. Gracias a estas diferencias entre los suelos, fue posible observar y evaluar mejor cómo se daba la biodegradación del bioplástico en condiciones edáficas distintas.

Ahora bien, para que los resultados fueran más confiables, el ensayo se repitió tres veces por cada tratamiento ($n = 3$), todo se organizó bajo un diseño completamente aleatorizado, algo bastante común en este tipo de estudios, la idea era reducir al máximo la variabilidad experimental y obtener datos más consistentes, algo que también coincide con lo que se suele hacer en investigaciones exploratorias sobre biodegradación.

Tabla 9. Propiedades fisicoquímicas iniciales de los suelos, utilizados en la prueba de biodegradación

Parámetro	Suelo arcilloso	Suelo de abono	Suelo testigo
pH	$6,5 \pm 0,1$	$7,2 \pm 0,1$	$6,6 \pm 0,1$
Conductividad eléctrica (dS/m)	$0,45 \pm 0,02$	$0,78 \pm 0,03$	$0,48 \pm 0,02$
Textura dominante	Arcillosa	Franco-orgánica	Franco-arcillosa
Contenido de materia orgánica	Bajo	Alto	Medio
Aireación	Limitada	Alta	Moderada

Nota. Los valores de pH y conductividad eléctrica corresponden a la media $\pm$ desviación estándar de las mediciones iniciales realizadas antes del ensayo de biodegradación. Las características cualitativas del suelo se establecieron a partir de la observación textural y del contenido relativo de materia orgánica.

Si bien, las condiciones del suelo desempeñaron un papel determinante en el desarrollo del proceso de biodegradación desde las primeras etapas del ensayo, en particular, el suelo con abono destacó por su mayor contenido de materia orgánica, adecuada aireación y niveles favorables de conductividad eléctrica, factores que promovieron una mayor actividad microbiana aeróbica.

En contraste, el suelo arcilloso mostró una estructura mucho más compacta y con poca circulación de aire, y cabe mencionar que cuando el suelo está así de cerrado, los procesos biológicos no se desarrollan con la misma facilidad, por otra parte, los microorganismos que al final son los que

ayudan a degradar el material tienen menos espacio y condiciones para trabajar, por decirlo de alguna manera.

Por otro lado, el suelo testigo presentó valores intermedios, no fue ni tan activo como el suelo con abono, ni tan limitado como el arcilloso, más bien funcionó como un punto de referencia que permitió comparar mejor el comportamiento de los otros tratamientos; todo este comportamiento inicial ayudó a entender que las propiedades fisicoquímicas del suelo influyen directamente en cómo se comporta el bioplástico durante el ensayo. Es decir, dependiendo del tipo de suelo, el proceso de degradación puede avanzar más rápido o volverse mucho más lento.

Tabla 10. Pérdida de masa (%) del bioplástico de almidón de maíz tras 8 semanas de enterramiento en suelo (n = 3)

Tratamiento	Réplica 1 (%)	Réplica 2 (%)	Réplica 3 (%)	Media $\pm$ DE (%)
Suelo arcilloso	18,0	20,1	17,2	18,4 $\pm$ 1,5
Suelo de abono	41,8	45,3	39,7	42,3 $\pm$ 2,8
Control (sin bioplástico)	0,0	0,0	0,0	0,0 $\pm$ 0,0

Nota: Los valores corresponden al porcentaje de pérdida de masa respecto al peso inicial del bioplástico.

Esto indica que el bioplástico en suelo de abono presentó una mayor pérdida de masa que en suelo arcilloso, indicando una biodegradación más rápida asociada a un mayor contenido de materia orgánica y mejor aireación, este comportamiento concuerda con lo reportado por Folino et al. (2023) y Silva et al. (2021), quienes destacan el papel de la actividad microbiana aeróbica y la aireación en la degradación de biopolímeros. En contraste, Ledesma et al. (2021) señalan que los suelos arcillosos compactos presentan tasas de biodegradación más lentas. El tratamiento control confirmó que la pérdida de masa se debió exclusivamente al proceso de biodegradación, en concordancia con la norma ISO 17556:2019.

En el tiempo durante las ocho semanas de exposición, el bioplástico presentó variaciones físicas y de masa dependientes del tipo de suelo, en el suelo de abono (pH 6,9) se observó una degradación acelerada, evidenciada por pérdida de brillo, microfisuras, fragmentación, colonización microbiana y significativa pérdida de masa, asociadas a su elevada actividad microbiológica (Silva et al., 2021; Folino et al., 2023). En discrepancia, el suelo arcilloso (pH 6,4) mostró una biodegradación más lenta, con cambios físicos tardíos y menor pérdida de masa, atribuible a su compactación y limitada aireación (Ledesma et al., 2021).

En la siguiente tabla, se presenta un resumen de las condiciones del suelo y su relación con la biodegradación:

Tabla 11. Relación entre pH del suelo y comportamiento degradativo del bioplástico

Tipo de suelo	pH registrado	Condición biológica del suelo	Comportamiento del bioplástico
Suelo arcilloso	6,4	Actividad microbiana moderada	Degradación lenta, baja pérdida de masa y cambios estructurales tardíos
Suelo de abono	6,9	Alta actividad microbiana	Degradación rápida, alta pérdida de masa y fragmentación progresiva

Por lo que, el análisis de las condiciones del suelo con abono permitió identificar un entorno especialmente favorable para el proceso de biodegradación del bioplástico elaborado a partir de almidón de maíz, como se evidencia en los datos presentados en la Tabla 12.

Tabla 12. Características iniciales del suelo de abono y su efecto en la biodegradación del bioplástico

Parámetro evaluado	Valor inicial	Interpretación
pH	6,9	Rango óptimo para la actividad de bacterias y hongos aeróbicos

Parámetro evaluado	Valor inicial	Interpretación
Conductividad eléctrica (µS/cm)	680	Baja salinidad, favorable para la actividad microbiana
Contenido de materia orgánica	Alto	Estimula la proliferación microbiana
Actividad biológica	Elevada	Favorece la degradación del bioplástico
Comportamiento del bioplástico	Degradación acelerada	Alta pérdida de masa y fragmentación progresiva

Se evidenció como el pH cercano a la neutralidad (6,9) y la baja conductividad eléctrica favorecieron la actividad microbiana aeróbica del suelo de abono, asimismo, el alto contenido de materia orgánica y la elevada actividad biológica promovieron la proliferación de microorganismos degradadores. Como resultado, el bioplástico presentó una degradación acelerada, evidenciada por una significativa pérdida de masa y fragmentación progresiva, confirmando la influencia de las propiedades del suelo en su comportamiento degradativo.

Tabla 13. Evolución temporal del bioplástico en función del tipo de suelo.

Semana	Suelo arcilloso	Suelo de abono
1-2	Sin cambios visibles	Pérdida de brillo superficial
3-4	Leve ablandamiento	Aparición de microfisuras iniciales
5-6	Microfisuras tardías	Fragmentación parcial del material
7-8	Baja pérdida de masa	Alta pérdida de masa y colonización microbiana

El proceso de biodegradación del bioplástico presentó un comportamiento diferenciado según el tipo de suelo y el tiempo de exposición, en el suelo con abono, los cambios empezaron a notarse bastante pronto, incluso desde las primeras semanas, poco a poco fueron apareciendo pequeñas fisuras, fragmentos y algunas alteraciones en la estructura del material, era como ver, paso a paso, cómo el bioplástico iba perdiendo su forma original, todo eso refleja que el proceso de degradación estaba activo y que seguía avanzando con el tiempo durante el ensayo.

En cambio, en el suelo arcilloso la historia fue un poco distinta, pues los cambios tardaron más en aparecer y, cuando lo hicieron, fueron mucho más leves, básicamente se observaron algunas fisuras pequeñas y ciertos cambios superficiales, nada tan marcado como en el otro suelo, esto sugiere que el proceso de degradación fue más lento y menos intenso en ese tipo de suelo.

Este comportamiento puede asociarse al mayor contenido de materia orgánica, mejor aireación y mayor disponibilidad de nutrientes presentes en el suelo con abono, condiciones que favorecen el desarrollo de microorganismos responsables de la biodegradación, tal como lo señalan Folino et al. (2023) y Silva et al. (2021). En contraste, la estructura compacta del suelo arcilloso limita la circulación de oxígeno y reduce la actividad biológica, ralentizando los procesos degradativos, en concordancia con lo expuesto por Ledesma et al. (2021). En conjunto, estos resultados confirman que las condiciones edáficas influyen de manera directa en la evolución temporal y en la eficiencia del proceso de biodegradación del bioplástico.

Tabla 14. Síntesis de resultados obtenidos en función de los objetivos de investigación.

Objetivo	Evidencia principal	Nivel de cumplimiento
Caracterización del bioplástico	Homogeneidad estructural, estabilidad física inicial y susceptibilidad a la actividad microbiológica	Alto
Caracterización de suelos	Diferencias significativas en pH, contenido de materia orgánica y conductividad eléctrica entre los sustratos evaluados	Alto
Análisis de degradación	Pérdida de masa de hasta el 42 % en suelo de abono al final del período experimental	Muy alto
Evaluación ambiental	Ausencia de efectos adversos significativos y bajo riesgo ecotoxicológico	Adecuado

Se logró un cumplimiento satisfactorio de los objetivos planteados, lo que permitió analizar de forma integral el comportamiento del bioplástico en condiciones edáficas contrastantes, la caracterización física y química del material coincidió con lo reportado por Silva et al. (2021),

quienes destacan la estabilidad inicial y la susceptibilidad microbiana de bioplásticos a base de almidón.

Las diferencias fisicoquímicas entre los suelos evaluados concuerdan con Ledesma et al. (2021), quienes señalan la influencia de la materia orgánica y la conductividad eléctrica en la actividad microbiana, asimismo, la mayor pérdida de masa observada en el suelo de abono fue consistente con los resultados de Folino et al. (2023).

Discusión

La calidad inicial de las láminas de bioplástico evidenció una mezcla homogénea y estable, en concordancia con Oluwasina et al. (2021), quienes destacan que proporciones adecuadas de plastificantes favorecen biopolímeros uniformes y flexibles, esta conformación inicial es clave para el ensayo, ya que evita degradaciones irregulares y garantiza la reproducibilidad de los resultados, confirmando que la calidad estructural influye directamente en el comportamiento degradativo del bioplástico.

Respecto a la caracterización de los suelos, la baja conductividad eléctrica registrada ($24.51 \mu\text{S}/\text{cm}$) sugiere un ambiente con escasa presencia de sales disueltas, esta condición favorece la actividad microbiana aeróbica, tal como lo mencionan Silva et al. (2021), quienes afirman que ambientes con baja salinidad generan condiciones óptimas para microorganismos responsables de la degradación de compuestos orgánicos, asimismo, el pH neutro a ligeramente ácido del suelo de abono coincide con lo expresado por Folino et al. (2023), quienes destacan que la biodegradación aeróbica de bioplásticos se ve acelerada en suelos orgánicos con alto contenido microbiológico.

Al comparar la tierra arcillosa con la tierra de abono, se observaron diferencias claras en el proceso de biodegradación del bioplástico, en la tierra con abono la descomposición fue más rápida, evidenciándose desde etapas tempranas la aparición de microfisuras, pérdida de textura y presencia de colonización microbiana, lo que indica una mayor actividad biológica.

En cambio, en la tierra arcillosa estos cambios fueron menos evidentes y más lentos, lo que sugiere condiciones menos favorables para el proceso de degradación del material, tal como lo sugiere Ledesma et al. (2021) y Rodríguez et al. (2022) respecto a la influencia de la porosidad, la humedad y el contenido de materia orgánica. En contraste, la compactación y baja permeabilidad de la tierra arcillosa limitaron la disponibilidad de oxígeno y la actividad microbiana, retrasando el proceso degradativo, tal como lo reporta Maza et al. (2021).

Los resultados obtenidos en contraste con otros estudios internacionales recientes, se observa un comportamiento similar al reportado por De Gracia et al. (2024) y Maldonado et al. (2025), al señalar que los bioplásticos elaborados a partir de almidón de maíz presentan procesos de degradación progresiva en ambientes naturales, con pérdidas de masa que oscilan entre el 30 % y el 55 % en periodos de ocho a doce semanas, dependiendo del tipo de suelo y del contenido de plastificantes utilizados, de manera concordante, en el presente estudio, el suelo con abono registró una pérdida promedio del 42,3 % al finalizar el periodo experimental.

Esta investigación ejecutada por Quimis (2024) en la comunidad de Sambembe respalda el potencial del maíz como materia prima accesible y sostenible, al reportar tiempos de degradación inferiores a diez semanas y niveles de fragmentación superiores al 40 %, lo que demuestra su aplicabilidad en contextos rurales. De manera complementaria, los resultados del presente estudio

confirman la hipótesis planteada al evidenciar que el bioplástico elaborado a partir de almidón de maíz presentó una mayor tasa de degradación en suelos con elevada actividad microbiológica, como la tierra de abono, mientras que condiciones físicas restrictivas, como la compactación del suelo arcilloso, ralentizaron el proceso.

En consecuencia, se demuestra que la biodegradabilidad del material no depende únicamente de sus propiedades estructurales, sino también de las características biológicas y fisicoquímicas del suelo donde se deposita, tal como señalan Delgado y Maldonado (2021), en este sentido, los resultados aportan evidencia relevante para el desarrollo de materiales biodegradables elaborados a partir de recursos locales, además de fortalecer iniciativas vinculadas con la economía circular y promover futuras investigaciones sobre la gestión sostenible de residuos plásticos en contextos rurales y urbanos.

Conclusiones

El bioplástico elaborado a partir de almidón de maíz presentó propiedades físicas homogéneas y estabilidad estructural inicial, mientras que la caracterización de los suelos evidenció diferencias en conductividad, pH y actividad microbiológica que influyeron directamente en los procesos de descomposición, estas propiedades fisicoquímicas permitieron determinar que el material es susceptible a degradación biológica bajo condiciones favorables.

La tasa de degradación del bioplástico fue mayor en el suelo con abono, debido a su pH adecuado, mayor humedad y elevada actividad microbiana, mientras que en la tierra arcillosa el proceso fue más lento por su mayor compactación y menor aireación, por ende, los resultados mostraron que

el bioplástico elaborado a partir de almidón de maíz presentó una biodegradabilidad significativa, alcanzando una pérdida promedio de masa del 42,3 % en ocho semanas en suelo con abono, frente a 18,6 % en suelo arcilloso, lo que evidencia la influencia de las condiciones edáficas en el proceso.

En conjunto, estos hallazgos indican que el material representa una alternativa ambientalmente sostenible frente a los plásticos convencionales, especialmente en contextos agrícolas como Sambembe, donde la disponibilidad de materia prima y las condiciones del suelo favorecen su uso, contribuyendo así a la reducción del impacto ambiental generado por los residuos plásticos.

Referencias

- De Gracia, R., González, E., Vega, K., Montenegro, V., & Marín, N. (2024). Elaboración de bioplástico a partir de almidón de granos. *Revista De Iniciación Científica*, 10(1), 16 - 20. <https://doi.org/10.33412/rev-ric.v10.1.3998>
- 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*, no. 21, pp. 60-70, 2021.
- Folino, A., Pangallo, D., & Calabrò, P. S. (2023). Assessing bioplastics biodegradability by standard and research methods: Current trends and open issues. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 11(2), 109424. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2023.109424>
- Hernández-Sampieri, R. & Mendoza, C (2018). Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta, Ciudad de México, México: Editorial Mc Graw Hill Education, Año de edición: 2018, ISBN: 978-1-4562-6096-5, 714 p. <https://www.goinvestiga.com/hernandez-sampieri-r-mendoza-c-2018-metodologia-de-la-investigacion-las-rutas-cuantitativa-cualitativa-y-mixta/>
https://drive.google.com/file/d/1xJ_xF2Zcw20ctWbbqDjsLP5qGyBSk5Vm/view

International Organization for Standardization. (2024). *Plastics — Determination of the ultimate aerobic biodegradability of plastic materials in soil by measuring the oxygen demand in a respirometer or the amount of carbon dioxide evolved. ISO 17556:2019*
<https://www.iso.org/standard/74993.html>

Ledesma-Ugshiña, A. A., Dalgo-Flores, V. M., Flores-Fiallos, L. M., & Chango-Lescano, G. C. (2021). Bioplásticos de almidón de maíz y quinua para uso como envolturas alimenticias biodegradables. *Dominio De Las Ciencias*, 7(4), 39–56.
<https://doi.org/10.23857/dc.v7i4.2080>

Maldonado-Santoyo, M; Arias-Hernández, L.A; Delgadillo-Ruiz, E. (2025). Elaboración de un bioplástico con almidón de maíz/glicerol/anhídrido maleico/prolicaprolactona: estudio preliminar. *Tecnología en Marcha*. Vol. 38, N 3. Julio-Setiembre, 2025. Pág. 3-13.
<https://doi.org/10.18845/tm.v38i3.7240>

Maza-Martínez J. E., Flores-Fiallos L. M., Santiana-Espín C. G., Bonilla-Lucero M. L., (2021). Obtención de almidón de maíz chulpi (*Zea Mays Amylosaccharata*). *Dominio de las Ciencias*, vol. 7, nº 3, pp. 943-958, 2021. <https://dx.doi.org/10.23857/dc.v7i3.2032>

Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE). (2023). Informe sobre residuos sólidos en Ecuador. Recuperado de <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2023/07/5.pdf>

Ocegueda Vega D. S., (2021). Bioplástico por biodesarrollo micelial de *Pleurotus ostreatus* en sustratos de residuos lignocelulósicos de encino (*Quercus castanea neé*) y olote de maíz (*Zea mayz*). Tesis de maestría, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, México, 2021. http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/handle/DGB_UMICH/6379

Oluwasina O.O., Akinyele B. P., Olusegun S.J., Oluwasina O.O., & Mohallem N.D.S., (2021). Evaluation of the effects of additives on the properties of starch-based bioplastic film. *SN Applied Sciences*, vol. 3, pp. 421, 2021. <https://doi.org/10.1007/s42452-021-04433-7>

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). (2022). Contaminación por plásticos. Recuperado de <https://www.unep.org/plastic-pollution>

Quimis Choez Alexandra Del Rocio (2024) Estudio de prefactibilidad para la elaboración de bioplásticos a partir del almidón de maíz (zea mays l.) Sambembe-Jipijapa. Jipijapa – Unesum. Facultad de Ciencias Naturales y de la Agricultura. 144 pg. <http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/6655>

Rodríguez, J., Montenegro, V., & Marín, N. (2022). Fabricación de polímeros a base de almidón de tubérculos panameños seleccionados. Revista De Iniciación Científica, 8(1), 28-34. <https://doi.org/10.33412/rev-ric.v8.1.3508>

Silva G.C., Galleguillos F.M., Hernández D., Pincheira G., Peralta A.K., Urrestarazu M., Vergara-Carmona V. & Fuentes-Peñailillo F., (2021). Microplastics and Their Effect in Horticultural Crops: Food Safety and Plant Stress, Agronomy, vol. 11, no. 8, pp. 1528-1545, 2021. <https://doi.org/10.3390/agronomy11081528>

Solórzano-Vélez, J.-J., Vargas-Delgado, M. X., Ponce Saltos, W. H., Rosero Delgado, E. A., & Riera, M. A. (2023). Obtención de plástico biodegradable a partir de almidón de la tusa de maíz (Zea mays). *Publicaciones En Ciencias Y Tecnología*, 17(1), 19-31. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10155718>