



Esta obra está bajo una

[Licencia Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

[Atribución - 4.0 Internacional \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Vea una copia de esta licencia en

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es>





ESCUELA DE POSGRADO

UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE ECOLOGÍA
PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS

Tesis

Eficiencia de la larva *Plagiohammus maculosus bates* en la biodegradación de polietileno de baja densidad, bajo condiciones de laboratorio, 2020

Para optar el Grado Académico de Maestro en Ciencias con mención en
Gestión Ambiental

Autor:

Omar Jesús Quintana Canlla
<https://orcid.org/0000-0003-2150-7815>

Asesor:

Ing. M.Sc. Santiago Alberto Casas Luna
<https://orcid.org/0000-0003-3755-4093>

Tarapoto, Perú

2025



ESCUELA DE POSGRADO
UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE ECOLOGÍA
PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS

Tesis

Eficiencia de la larva *Plagiohammus maculosus bates* en la biodegradación de polietileno de baja densidad, bajo condiciones de laboratorio, 2020

Para optar el Grado Académico de Maestro en Ciencias con mención en
Gestión Ambiental

Autor:

Omar Jesús Quintana Canlla

Sustentado y aprobado el 11 de abril del 2025, ante el honorable jurado:

Presidente de Jurado
Dr. Fabián Centurión Tapia

Secretario de Jurado
Blgo. M.Sc. Luis Eduardo
Rodríguez Pérez

Vocal de Jurado
Ing. M.Sc. Alfonso Rojas
Bardález

Asesor
Ing. M.Sc. Santiago Alberto
Casas Luna

Tarapoto, Perú

2025



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Los Miembros del Jurado que suscriben, reunidos para estudiar y escuchar la sustentación y defensa del Trabajo de Tesis, modo presencial, presentado por:

Bach. Omar Jesús Quintana Canlla

Con el asesoramiento del Ing. M.Sc. Santiago Alberto Casas Luna.

“Eficiencia de la larva Plagiohammus Maculosus Bates en la biodegradación de polietileno de baja densidad, bajo condiciones de laboratorio, 2020”

Teniendo en consideración los méritos del referido trabajo, así como los conocimientos demostrados por el sustentante, lo declaramos:

APROBADO

Con el calificativo (*)

BUENO (16)

En consecuencia, queda en condición de ser considerado **APTO** por el Consejo Universitario y recibir el Grado Académico de **Maestro en Ciencias con mención en Gestión Ambiental**, de conformidad con lo estipulado en el Artículo 30° del Reglamento de Tesis de la Escuela de Posgrado de la UNSM.

Tarapoto, 11 de abril de 2025.

Dr. Fabián Centurión Tapia
Presidente

Blgo. M.Sc. Luis Eduardo Rodríguez Pérez
Secretario

Ing. M.Sc. Alfonso Rojas Bardález
Miembro

Ing. M.Sc. Santiago Alberto Casas Luna
Asesor

(*) De acuerdo con el Artículo 40° del Reglamento General de Ciencia, Tecnología e Innovación (RG - CTI) la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, estas deberán ser calificadas con términos de: BUENO, MUY BUENO, EXCELENTE, también considerar la nota



ESCUELA DE POSGRADO
UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE ECOLOGÍA
PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS

Tesis

Eficiencia de la larva *Plagiohammus maculosus* bates en la biodegradación de polietileno de baja densidad, bajo condiciones de laboratorio, 2020

Para optar el Grado Académico de Maestro en Ciencias con mención en
Gestión Ambiental

Los que suscriben declaran que el presente trabajo de tesis es original,
en su contenido y forma.


.....
Omar Jesús Quintana Canlla
Ejecutor


.....
Ing. M.Sc. Santiago Alberto Casas Luna
Asesor

Tarapoto, Perú

2025

Declaratoria de autenticidad



Omar Jesús Quintana Canlla, con DNI N° 70421170, egresado de la Escuela de Postgrado, Unidad de Posgrado de la Facultad de Ecología, Programa de Maestría en Ciencias, con mención en Gestión Ambiental, autor de la tesis titulada: **Eficiencia de la larva *Plagiohammus maculosus bates* en la biodegradación de polietileno de baja densidad, bajo condiciones de laboratorio, 2020.**

Bajo juramento, manifiesto que:

1. La tesis expuesta es de mi creación.
2. La escritura se llevó a cabo siguiendo las citas y referencias de las referencias bibliográficas que se consultaron.
3. Toda la información contenida en la tesis no ha sido plagiada por uno mismo;
4. Los datos mostrados en los resultados son auténticos, no han sido modificados ni copiados, por lo que los datos de este estudio deben ser vistos como contribución a la realidad estudiada.

Por lo anteriormente expuesto, me comprometo a asumir las repercusiones que surjan de mi acción, sujetándome a las leyes de nuestro país y a las regulaciones actuales de la Universidad Nacional de San Martín.

Tarapoto, 11 de abril del 2025.



.....
Omar Jesús Quintana Canlla
DNI N° 70421170

Ficha de identificación

<p>Título: Eficiencia de la larva <i>Plagiohammus maculosus</i> bates en la biodegradación de polietileno de baja densidad, bajo condiciones de laboratorio, 2020</p>	<p>Área de investigación: Ciencia y Tecnología Ambiental. Línea de investigación: Manejo de residuos Sub línea de investigación: Manejo integrado de Residuos Grupo de investigación: Resolución N° 709-2024-UNSM/CF/FE del 27 de diciembre del 2024 Tipo de investigación: Básica <input type="checkbox"/>, Aplicada <input checked="" type="checkbox"/>, Desarrollo experimental <input type="checkbox"/></p>
<p>Autor: Omar Jesús Quintana Canlla</p>	<p>Facultad de Ecología Programa de estudios de maestría en Ciencias con mención en Gestión Ambiental https://orcid.org/0000-0003-2150-7815</p>
<p>Asesor: Ing. M.Sc. Santiago Alberto Casas Luna.</p>	<p>Dependencia local de soporte: Facultad de Ecología Unidad de Posgrado de la facultad de ecología https://orcid.org/0000-0003-3755-4093</p>

Dedicatoria

Dedico esta investigación, en primer lugar, a Dios, fuente de inspiración y fortaleza, quien me ha sostenido a lo largo de este camino para alcanzar uno de mis más grandes anhelos. A mi querida abuela Grimanesa, que desde el cielo ilumina y guía cada paso que doy. A mis padres, por su amor incondicional, esfuerzo y sacrificio durante todos estos años. A mis hermanos, por su constante compañía, apoyo y aliento moral. Y a todas las personas que, de una u otra manera, contribuyeron a que este trabajo fuera posible, especialmente a quienes nos recibieron con generosidad y compartieron sus conocimientos.

Omar Jesús

Agradecimientos

Agradezco a Dios por haberme bendecido, y permitirme llegar a la terminar este sueño anhelado. Por otro lado, agradezco a la Universidad Nacional de San Martín, por haberme brindado la oportunidad de estudiar en sus aulas. A mi asesor de tesis por su dedicación y esfuerzo, que por medio de sus conocimientos, experiencia, motivación y paciencia pueda lograr terminar mis estudios de manera exitosa. También dedico esta investigación a los docentes que me enseñaron puesto que han aportado en mi conocimientos y formación.

Omar Jesús

Índice general

Ficha de identificación.....	7
Dedicatoria.....	8
Agradecimientos	9
Índice general.....	10
Índice tablas.....	12
Índice de figuras.....	13
RESUMEN	14
ABSTRACT	15
CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN A LA INVESTIGACIÓN	16
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO.....	20
2.1. Antecedentes de la investigación	20
2.2. Fundamentos teóricos	22
2.2.1. Biodegradación	22
2.2.2. Polietileno de baja densidad.....	25
2.2.3. Plagiohammus maculosus bates	26
2.2.4. Teorías que sustentan la biodegradación de polietileno de baja densidad	28
CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS	30
3.1. Ámbito y condiciones de la investigación	30
3.1.1. Contexto de la investigación.....	30
3.1.2. Periodo de ejecución	30
3.1.3. Autorizaciones y permisos.....	30
3.1.4. Control ambiental y protocolos de bioseguridad	30
3.1.5. Aplicación de principios éticos internacionales	30
3.2. Sistemas de variables.....	31
3.3. Procedimientos de la investigación.....	32

3.3.1. Objetivo Específico 1	34
3.3.2. Objetivo Específico 2.....	35
3.3.3. Objetivo Específico 3.....	36
3.3.4. Objetivo Específico 4.....	36
3.3.5. Objetivo Específico 5.....	37
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	38
4.1. Resultado Objetivo específico 1	38
4.2. Objetivo específico 2	39
4.3. Objetivo específico 3	41
4.4. Objetivo específico 4	42
4.5. Objetivo específico 5	43
4.6. Discusión.....	45
CONCLUSIONES	51
RECOMENDACIONES	52
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53
ANEXOS	58
Anexo N° 01. Matriz de consistencia.....	59
Anexo N° 02. Ficha de observación - Instrumento de recolección de datos.....	61
Anexo N° 03. Prueba de tukey	64
Anexo N° 04. Fichas de validación de instrumentos	66
Anexo N° 05. Galería fotográfica.....	67

Índice tablas

Tabla 1 Nivel de degradación del material	31
Tabla 2 Diseño del tratamiento experimental	33
Tabla 3 Combinación experimental	33
Tabla 4 Determinación de la cantidad adecuada de la larva <i>Plagiohammus maculosus</i> Bates, para la biodegradación del polietileno de baja densidad, bajo condiciones de laboratorio, 2020	38
Tabla 5 Determinación de las condiciones térmicas propicias que permitan a la larva <i>Plagiohammus maculosus</i> Bates biodegradar más rápido el polietileno de baja densidad, bajo condiciones de laboratorio, 2020.....	39
Tabla 6 Determinación del tiempo óptimo que requieren las larvas <i>Plagiohammus maculosus</i> bates para la biodegradación del polietileno de baja densidad, bajo condiciones de laboratorio	41
Tabla 7 Prueba de normalidad	44
Tabla 8 Prueba de análisis factorial triple – ANOVA	44

Índice de figuras

Figura 1 Determinación de la cantidad adecuada de larvas para la biodegradación del polietileno de baja densidad, bajo condiciones de laboratorio.....	38
Figura 2 Determinación de las condiciones térmicas propicias que permiten a la larva <i>Plagiohammus maculosus</i> Bates biodegradar más rápido el polietileno de baja densidad, bajo condiciones de laboratorio, 2020.....	40
Figura 3 Determinación del tiempo óptimo que requieren las larvas <i>Plagiohammus maculosus</i> bates para la biodegradación del polietileno de baja densidad, bajo condiciones de laboratorio	41
Figura 4 Porcentaje de biodegradación de la larva <i>Plagiohammus maculosus</i> bates para la biodegradación del polietileno de baja densidad, bajo condiciones de laboratorio. .	42
Figura 5 Microbiota endógeno presente en el tracto digestivo de la larva del <i>Plagiohammus maculosus</i> bates.....	43

RESUMEN

Eficiencia de la larva *Plagiohammus maculosus bates* en la biodegradación de polietileno de baja densidad, bajo condiciones de laboratorio, 2020

El estudio tuvo como objetivo general evaluar la biodegradación del polietileno de baja densidad (PEBD) mediante la larva *Plagiohammus maculosus bates* bajo condiciones de laboratorio. La investigación fue de tipo aplicada, ya que buscó resolver un problema práctico, y de nivel explicativo, debido a su enfoque en probar hipótesis y explicar relaciones causales. Se utilizó un diseño experimental factorial con tres tratamientos y tres repeticiones. La población incluyó 0,0427 kg/hab/día de PEBD generados en Moyobamba, y la muestra fue de 540 gramos de PEBD. Se aplicaron técnica de observación y registro sistemático mediante fichas de datos como instrumento. El análisis estadístico se realizó con SPSS v.24 y ANOVA factorial, permitiendo comparar tratamientos. Los resultados principales mostraron que 10 gramos de larvas aplicadas a 30 °C durante 72 horas fueron más eficaces, alcanzando una eficiencia de biodegradación del 53.53%. Se determinó que el tiempo y la temperatura óptimos eran 72 horas y 30 °C, respectivamente. El análisis del microbiota endógeno de las larvas identificó bacterias gram negativas las cuales son clave en la biodegradación. En conclusión, la larva *Plagiohammus maculosus bates* demostró ser un agente biológico eficaz para degradar el PEBD en condiciones controladas. El estudio sugiere su potencial para tratamientos de residuos plásticos y resalta la importancia de investigaciones adicionales para optimizar el proceso y su posible aplicación a gran escala.

Palabras clave: Biodegradación, Polietileno de baja densidad (PEBD), *Plagiohammus maculosus bates*, gramnegativas

ABSTRACT

Efficiency of *Plagiohammus maculosus* Bates larvae in the biodegradation of low-density polyethylene under laboratory conditions, 2020

The study's main objective was to evaluate the biodegradation of low-density polyethylene (LDPE) using *Plagiohammus maculosus* Bates larvae under laboratory conditions. The research was applied, aiming to solve a practical problem, and explanatory, focusing on testing hypotheses and explaining causal relationships. A factorial experimental design with three treatments and three replications was used. The population included 0.0427 kg/inhabitant/day of LDPE generated in Moyobamba, with a sample size of 540 grams of LDPE. Systematic observation and recording techniques were applied using data sheets as instruments. Statistical analysis was performed using SPSS v.24 and factorial ANOVA, allowing treatment comparisons. The main results showed that 10 grams of larvae applied at 30 °C for 72 hours were most effective, achieving a biodegradation efficiency of 53.53%. The optimal time and temperature were determined to be 72 hours and 30 °C, respectively. The endogenous microbiota analysis of the larvae identified Gram-negative bacteria as key agents in the biodegradation process. In conclusion, *Plagiohammus maculosus* Bates larvae proved to be an effective biological agent for degrading LDPE under controlled conditions. The study suggests its potential for plastic waste treatment and highlights the importance of further research to optimize the process and explore its large-scale application.

Keywords: Biodegradation, Low-Density Polyethylene (LDPE), *Plagiohammus maculosus* Bates, Gram-negative.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN A LA INVESTIGACIÓN

La problemática internacional relacionada con la degradación de polietileno de baja densidad (PEBD) radica en su persistencia ambiental y el impacto negativo que tiene sobre los ecosistemas terrestres y marinos. Según estudios recientes, el plástico PEBD representa una gran proporción de los residuos sólidos urbanos debido a su uso masivo en la fabricación de envases y bolsas plásticas (Yates y Barlow, 2020). A nivel global, su baja tasa de biodegradación natural dificulta su eliminación eficiente, contribuyendo a la acumulación de desechos plásticos y generando desafíos para la gestión sostenible de residuos (Hopewell et al., 2020).

Este problema se agrava por el consumo creciente de plásticos a nivel mundial, que alcanza cifras superiores a los 300 millones de toneladas anuales, de las cuales una parte significativa corresponde al PEBD (PlasticsEurope, 2021). Su acumulación en los océanos genera graves consecuencias para la vida marina, ya que los fragmentos plásticos son ingeridos por numerosas especies, causando alteraciones en los ecosistemas y amenazando la biodiversidad. Además, los microplásticos derivados de la degradación parcial de este material han sido detectados en diversas cadenas tróficas, lo que sugiere riesgos potenciales para la salud humana (Geyer et al., 2017).

En Perú, la contaminación causada por plásticos de uso único es una de las principales amenazas para el medio ambiente. Aproximadamente 1.2 millones de toneladas de desechos plásticos se generan anualmente en el país, siendo apenas el 10% reciclado. La residualidad se acumula en vertederos, ríos y mares, impactando seriamente los ecosistemas oceánicos y la economía del país (Oceana, 2024). Además, urbes como Lima y Callao producen más de 886 toneladas diarias de desechos plásticos, pero la mala administración deja apenas un 1% para ser reutilizado o reciclado (MINAM, 2022). Este escenario se agrava con el consumo masivo de 3 mil millones de bolsas plásticas al año, es decir, 6 mil bolsas por minuto, que terminan contaminando playas y áreas naturales protegidas.

El uso de plásticos de un solo uso en Perú ha emergido como un desafío ambiental significativo, que no solo afecta al ecosistema local, sino que tiene repercusiones a nivel global. Según Ponce y Fernández (2022), la infraestructura de reciclaje en el país es insuficiente para manejar la cantidad de residuos plásticos generados anualmente. A pesar de los esfuerzos por aumentar la conciencia sobre la importancia del reciclaje, estos aún son limitados. Esta falta de infraestructuras adecuadas genera un ciclo

negativo de contaminación, donde grandes cantidades de plásticos no son recicladas, sino que terminan en vertederos o en los océanos. El impacto en la biodiversidad marina es especialmente grave, ya que los plásticos, al descomponerse, liberan microplásticos que contaminan las aguas y los ecosistemas acuáticos.

Por otro lado, según Salazar y Muñoz (2023) destacan que especies marinas como tortugas y aves ingieren estos desechos, lo que amenaza su supervivencia. Además, la presencia de microplásticos se ha detectado en recursos hídricos y alimentos, afectando la salud humana. A pesar de la promulgación de la Ley N° 30884 en 2018, que regula el uso de plásticos de un solo uso, su aplicación es limitada debido a la falta de supervisión y compromiso ciudadano. El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP, 2018) sostiene que la situación requiere estrategias integrales que incluyan políticas gubernamentales más estrictas, innovación tecnológica y campañas educativas para cambiar los patrones de consumo.

A nivel local, según el informe de caracterización de residuos sólidos de la ciudad de Moyobamba realizado en el año 2017; La Generación Per Cápita de Residuos Sólidos – GPC en la Ciudad de Moyobamba es de 0.61 kilogramos por habitante por día, lo que indica que la estimación de la producción de desechos sólidos en nuestra localidad, el elemento con la mayor proporción dentro de los residuos es el aprovechable con un 89.75% de participación, siendo la fracción con mayor peso la denominada "Materia orgánica". Dentro del rubro de los residuos no aprovechables con un 10.00% la cual el residuo que más porcentajes son las Bolsas Plásticas. con 7.41 % seguido de los pañales con un 1.50 %, quedando algunos residuos reciclables en menor proporción dentro de este estudio, siendo también el 0.25% residuos peligrosos. Por su parte, la mayoría de los productos plásticos (polietileno de baja densidad) que más se utilizan son desechados hacia el ornato de la ciudad, siendo su degradación natural muy lenta o casi nula, es por ello que se pretende acelerar la degradación biológica.

En este contexto, el coleóptero *Plagiohammus maculosus bates*, conocido como el barrenador del tallo, ha demostrado tener la capacidad de atacar y degradar materiales orgánicos, lo que ha abierto la posibilidad de investigar su potencial para biodegradar plásticos como el polietileno. Sin embargo, se desconoce en qué medida este insecto es capaz de biodegradar el polietileno de baja densidad en condiciones controladas de laboratorio. Por lo tanto, la pregunta central que guía esta investigación es: ¿Cuál es la eficiencia de la larva *Plagiohammus maculosus Bates* en la biodegradación de polietileno de baja densidad, bajo condiciones de laboratorio, 2020?

Del mismo modo, la investigación tiene como hipótesis Nula (Ho) La larva *Plagiohammus maculosus* Bates no es eficiente en la biodegradación de polietileno de baja densidad, bajo condiciones de laboratorio, 2020 e hipótesis alterna (H1) La larva *Plagiohammus maculosus* Bates es eficiente en la biodegradación de polietileno de baja densidad, bajo condiciones de laboratorio.

El objetivo general de esta investigación fue evaluar la eficiencia de la larva *Plagiohammus maculosus* Bates en la biodegradación de polietileno de baja densidad, bajo condiciones de laboratorio, 2020. Para ello, se propone varios objetivos específicos: determinar la cantidad adecuada de la larva *Plagiohammus maculosus* Bates, para la biodegradación del polietileno de baja densidad, bajo condiciones de laboratorio, 2020; determinar las condiciones térmicas propicias que permitan a la larva *Plagiohammus maculosus* Bates biodegradar más rápido el polietileno de baja densidad, bajo condiciones de laboratorio, 2020; determinar el tiempo óptimo que requiere la larva *Plagiohammus maculosus* Bates para la biodegradación de polietileno de baja densidad, bajo condiciones de laboratorio, 2020; determinar el porcentaje de biodegradación de polietileno de baja densidad de la larva *Plagiohammus maculosus* Bates, bajo condiciones de laboratorio, 2020; y analizar la microbiota endógena presente en el tracto digestivo de la larva del coleóptero *Plagiohammus maculosus* Bates, después del proceso de biodegradación de polietileno de baja densidad, bajo condiciones de laboratorio, 2020.

Finalmente, la presente investigación se esquematiza de la siguiente manera:

Capítulo I: En este capítulo se establece la realidad problemática, se plantea la hipótesis de la investigación y se definen los objetivos a alcanzar. Aquí se contextualiza el Problema Y Se Explica El Enfoque Y Propósito Del Estudio.

Capítulo II: Este capítulo aborda los antecedentes a nivel nacional e internacional sobre la biodegradación de plásticos, especialmente en relación con el uso de organismos biológicos como el coleóptero *Plagiohammus maculosus bates*. Además, se presenta el marco teórico que sustenta la investigación, donde se revisan teorías y conceptos relevantes sobre biodegradación, plásticos y alternativas sostenibles.

Capítulo III: En este capítulo se detallan el ámbito y las condiciones bajo las cuales se llevará a cabo la investigación. Se define el sistema de variables que serán evaluadas y se describen los procedimientos que se utilizarán para recolectar y analizar los datos de manera efectiva.

Capítulo IV: Este capítulo se dedica a la presentación de los resultados obtenidos, seguidos de una discusión crítica que permita interpretar los hallazgos en el contexto de los objetivos y las hipótesis planteadas.

En última instancia, se procederá a exponer las conclusiones derivadas del estudio detallado, así como las recomendaciones fundamentadas en los hallazgos alcanzados, las fuentes bibliográficas empleadas y los apéndices pertinentes.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

A nivel internacional

Peng et al. (2020), investigaron “la biodegradación del poliestireno expandido” (EPS) y “el polietileno de baja densidad” (LDPE) por larvas de *Zophobas atratus*, comparando dos cepas provenientes de Guangzhou, China (cepa G) y Marion, EE. UU. (cepa M). Las larvas de la cepa G consumieron estos plásticos a una tasa más alta que las de la cepa M, las cuales necesitaban una fuente adicional de alimento. Tras 33 días, ambas cepas demostraron que la biodegradación del EPS y LDPE provocaba oxidación, pero la cepa G mostró una depolimerización más extensa del EPS, reduciendo su peso molecular, mientras que la cepa M presentó un incremento en el peso molecular. Ambos tipos de larvas realizaron una depolimerización limitada del LDPE. Además, el uso de antibióticos mostró que los microbios intestinales son esenciales para el proceso de biodegradación de estos plásticos.

Dey et al. (2020), estudiaron la biodegradación del LDPE por bacterias aerobias obtenidas de vertederos municipales y fluidos de perforación de perforaciones profundas. El crecimiento bacteriano y la pérdida de peso de aproximadamente un 8% en el LDPE indicaron que estas bacterias podían degradar el plástico, mostrando biofilm y condiciones ácidas en el pH. Se aislaron dos cepas bacterianas, *Stenotrophomonas* sp. y *Achromobacter* sp., capaces de metabolizar el LDPE. Las técnicas de Microscopia de Fuerza Atómica (AFM) y Microscopia Electrónica de Barrido (SEM) mostraron daños en la superficie del LDPE. Además, el análisis FTIR reveló la formación de grupos funcionales y la oxidación, indicando que la biodegradación de LDPE ocurre mediante oxidación y deshidrogenación, con la formación de productos de bajo peso molecular adecuados para su mineralización. Este estudio destaca el potencial de bacterias naturales para la remediación de plásticos.

Mier et al. (2023), investigaron la capacidad de degradación de diferentes tipos de plásticos ingeridos por las larvas de *Tenebrio molitor* y su supervivencia. Se utilizaron plásticos de polietileno de baja densidad (LDPE), plástico compostable hecho de desechos de maíz (CPE) y polietileno con tecnología d2w (d2wPE). Las larvas fueron privadas de alimento durante siete días y luego solo se alimentaron con estos plásticos durante 56 días. Se prepararon dos grupos experimentales: uno expuesto a un

tratamiento previo de fotodegradación UV (260-285 nm) y otro sin este tratamiento. Los resultados mostraron que el tratamiento UV aumentó las tasas de degradación de CPE, LDPE y d2wPE a 98%, 77% y 4%, respectivamente, frente a 79%, 54% y 3% sin el tratamiento UV. Sin embargo, las tasas de supervivencia fueron drásticamente afectadas por el d2wPE, con una tasa de mortalidad de 98%, mientras que con los otros plásticos fue solo del 12%.

A nivel nacional

Poma et al. (2022), investigaron la contaminación por plásticos, un problema ambiental crítico debido a la durabilidad de los plásticos de un solo uso, que tardan entre 100 y 400 años en descomponerse. En su estudio, evaluaron la biodegradación del polietileno de baja densidad (LDPE) utilizando larvas de *Galleria mellonella* en Pangoa, Junín, Perú. Se acondicionaron las larvas con residuos de apicultura (cera de abeja, dieta balanceada y salvado de trigo) y se expusieron a LDPE durante tres intervalos de tiempo (24, 36 y 48 horas). Los resultados de los análisis Raman mostraron que el mejor tratamiento fue con cera de abeja, logrando una reducción de peso de 236.3 mg del LDPE a las 36 horas. En conclusión, las larvas de *G. mellonella*, acondicionadas con cera de abeja, demostraron ser eficaces en la biodegradación del LDPE.

Horna (2020), investigó “la eficiencia de la larva de *Alphitobius diaperinus* en la biodegradación del polietileno de baja densidad” (PEBD) y el poliestireno expandido (EPS) a temperatura ambiente. Utilizó bloques de EPS (10 g) y bolsas de PEBD (6.88 g) como muestras. Se experimentaron tres biomásas de larvas (50, 75 y 100 larvas) expuestas durante 4, 8, 12 y 16 días. Los resultados mostraron que la mayor eficiencia de biodegradación se alcanzó con 100 larvas: 1.75 g de EPS y 0.57 g de PEBD fueron biodegradados a lo largo de 16 días, con eficiencias del 17.5% y 8.3%, respectivamente. Sin embargo, la rapidez con que las larvas se transforman en pupas afectó negativamente el proceso de biodegradación.

Butrón (2022), estudió “la capacidad de biodegradación de *Pseudomonas aeruginosa* frente al polietileno de baja densidad” (LDPE). Los resultados mostraron que la bacteria, aislada de un botadero en Cancharani, mostró una biodegradación mayor a pH 7.0 y temperaturas de 25°C y 35°C. A 25°C y pH 5.0, la biodegradación fue del 4.5%, mientras que a 35°C y pH 5.0 alcanzó el 8.7%. En condiciones de pH 7.0, a 25°C y 35°C, los porcentajes aumentaron a 21.7% y 27.3%, respectivamente. La investigación concluyó que *Pseudomonas aeruginosa* es un buen biodegradador de polietileno a 25°C y 35°C, mostrando una biopelícula gelatinosa que se adhiere al LDPE, lo que sugiere que esta

bacteria podría ser una opción viable para mejorar la biodegradación de plásticos en condiciones específicas.

2.2. Fundamentos teóricos

2.2.1. Biodegradación

➤ Definición

Según Silva et al. (2023), “la biodegradación es un proceso biológico donde los microorganismos transforman materiales complejos, usualmente orgánicos, en sustancias más sencillas, tales como agua, dióxido de carbono y biomasa” (p. 373). Este proceso es clave para el ciclo de nutrientes en los ecosistemas, permitiendo la descomposición de residuos naturales y sintéticos, contribuyendo a la reducción de la contaminación ambiental y favoreciendo la sostenibilidad ecológica.

Zeenat et al. (2021), destacan que la biodegradación es esencial para la gestión de residuos, ya que permite transformar materiales dañinos o contaminantes en productos menos perjudiciales o incluso en elementos útiles para los ecosistemas. Este proceso se da principalmente en condiciones aeróbicas y anaeróbicas, y su eficacia depende de diversos factores, como la presencia de microorganismos adecuados, la temperatura, la humedad y el pH. Además, la capacidad de ciertos microorganismos para adaptarse a ambientes contaminados ha llevado al desarrollo de tecnologías biotecnológicas que optimizan la biodegradación de compuestos complejos como plásticos o aceites residuales.

Por su parte, Ching et al. (2022) profundizan en la biodegradación de plásticos, un tema de creciente relevancia debido al impacto ambiental que tiene el uso masivo de estos materiales. Según estos autores, la biodegradación de plásticos no es un proceso inmediato y depende de las características químicas del plástico, su estructura molecular, y las condiciones ambientales. En el caso de plásticos convencionales como el polietileno, que son resistentes a la biodegradación, los microorganismos encargados de la descomposición deben estar adaptados específicamente para descomponer este tipo de compuestos. Los bioplásticos, por otro lado, presentan una mayor tasa de biodegradación debido a su estructura química más cercana a los compuestos naturales, lo que facilita su descomposición en ambientes naturales.

Anunciado et al. (2021) amplían la discusión sobre la biodegradación al abordar su aplicación en suelos contaminados. Los autores enfatizan que la biodegradación de compuestos tóxicos en suelos, como pesticidas o hidrocarburos, es un proceso que

depende no solo de la presencia de microorganismos biodegradadores, sino también de la interacción con los factores ambientales. A medida que los microorganismos descomponen los contaminantes orgánicos, transforman los compuestos tóxicos en productos menos dañinos, lo que contribuye a la recuperación de suelos y aguas contaminadas

➤ **Importancia de la biodegradación de plástico**

La biodegradación de plásticos es un proceso fundamental para mitigar el impacto ambiental de estos materiales. Los plásticos tradicionales, como el polietileno, tardan cientos de años en descomponerse, lo que contribuye a la acumulación de residuos en los ecosistemas, especialmente en los océanos, donde afectan la vida marina. Según Singh Jadaun et al. (2022) la biodegradación de plásticos representa una solución potencial para reducir la contaminación, ya que permitiría que estos materiales se descompusieran de manera más rápida y eficiente en lugar de acumularse en vertederos o en el medio ambiente.

La importancia de la biodegradación de plásticos radica en su capacidad para transformar materiales no biodegradables en compuestos inocuos, como agua y dióxido de carbono, a través de la acción de microorganismos (bacterias, hongos, entre otros). He et al. (2022) explican que el desarrollo de plásticos biodegradables y la optimización de su biodegradación es esencial para mejorar la sostenibilidad, ya que reduciría la demanda de recursos naturales para producir plásticos no biodegradables, al tiempo que disminuiría los impactos negativos asociados con su eliminación.

Adicionalmente, la biodegradación de plásticos favorece la economía circular, un paradigma que fomenta la utilización eficaz de los recursos y la minimización de residuos. Ritzen et al. (2023) argumentan que, si bien el reciclaje es una estrategia importante para la gestión de plásticos, la biodegradación representa un complemento clave, ya que puede abordar los plásticos de un solo uso, que son los principales responsables de la contaminación.

Finalmente, Rivas et al. (2023) afirman que la capacidad de algunos microorganismos para descomponer plásticos como el polietileno de baja densidad (LDPE) y el poliestireno, materiales comúnmente utilizados en empaques y productos de consumo, abre nuevas posibilidades para la biotecnología aplicada a la gestión de residuos. Estos avances pueden ayudar a reducir los impactos ecológicos de la producción y el desecho de plásticos, mejorando la calidad del medio ambiente.

➤ Factores que favorecen la biodegradación

Varios factores pueden favorecer la biodegradación del polietileno de baja densidad (PEBD), un tipo de plástico ampliamente utilizado y conocido por su persistencia en el medio ambiente. Estos factores, aunque complejos, son fundamentales para mejorar los procesos de descomposición del plástico y, en última instancia, mitigar su impacto ambiental.

- a) **Microorganismos:** La presencia de microorganismos específicos, como bacterias, hongos y actinobacterias, es crucial para la descomposición del polietileno. Estos organismos son capaces de secretar enzimas que pueden romper las largas cadenas de polímeros que componen el plástico. Sin embargo, el proceso es generalmente lento debido a la alta resistencia del PEBD. Investigaciones recientes han identificado a *Pseudomonas* y *Bacillus* como algunas de las especies más efectivas para descomponer el PEBD, ya que estas bacterias tienen la capacidad de metabolizar componentes de plásticos en condiciones específicas (Butrón, 2022).
- b) **Temperatura:** Las temperaturas más altas favorecen la actividad microbiana y aceleran las reacciones bioquímicas necesarias para la degradación del plástico. En estudios controlados, se ha observado que las tasas de biodegradación del PEBD son más altas a temperaturas que oscilan entre los 25°C y los 35°C (Butrón, 2022). A estas temperaturas, las enzimas microbianas que descomponen el plástico son más activas, lo que facilita su descomposición.
- c) **Disponibilidad de oxígeno:** Las condiciones aeróbicas, donde el oxígeno está disponible, favorecen una biodegradación más rápida del PEBD. El oxígeno apoya la actividad de los microorganismos aeróbicos, que son responsables de descomponer los compuestos orgánicos. Por el contrario, las condiciones anaeróbicas (sin oxígeno) ralentizan la biodegradación, ya que las bacterias anaeróbicas son menos eficientes en la degradación de plásticos (Cai et al., 2023).
- d) **Radiación UV:** La exposición a la radiación ultravioleta (UV) también juega un papel importante en la biodegradación del PEBD. La radiación UV descompone las cadenas de polímeros del plástico, haciéndolo más accesible a los microorganismos. Este proceso, conocido como fotodegradación, puede acelerar la biodegradación al reducir el tamaño del plástico y hacerlo más susceptible al ataque microbiano (Shilpa y Maeena, 2022).
- e) **Humedad:** Los niveles adecuados de humedad son esenciales para que los microorganismos descompongan el plástico. La humedad facilita las reacciones

enzimáticas que permiten a los microorganismos degradar las cadenas de polímeros. Las condiciones demasiado secas pueden inhibir la actividad microbiana, mientras que la humedad excesiva también puede dificultar el proceso si no se encuentra equilibrada (Butrón, 2022).

- f) **Presencia de nutrientes:** La disponibilidad de nutrientes adicionales, como carbono y nitrógeno, puede mejorar la biodegradación del PEBD. Estos nutrientes apoyan el crecimiento y la actividad de los microorganismos involucrados en la descomposición del plástico. Investigaciones han demostrado que cuando se agregan fuentes de nutrientes como materia orgánica o fertilizantes específicos, las tasas de biodegradación del plástico aumentan significativamente, ya que los microorganismos tienen más recursos para crecer y multiplicarse (Sikorska et al., 2021).

2.2.2. Polietileno de baja densidad

➤ Definición

Flores (2019) define el polietileno de baja densidad como un polímero termoplástico obtenido mediante la polimerización del etileno a bajas presiones, caracterizado por una estructura ramificada que le otorga flexibilidad, ligereza y resistencia química, haciéndolo útil para la fabricación de envases, bolsas y películas protectoras.

Según Gómez y Rodríguez (2020), el LDPE es un material plástico con cadenas moleculares altamente ramificadas, lo que resulta en una baja densidad y una gran resistencia a impactos y a la humedad. Es uno de los polímeros más empleados en el sector del empaquetado y en usos domésticos gracias a su sencillez de procesamiento y su coste reducido.

Martínez (2021) menciona que el polietileno de baja densidad es un material versátil que se destaca por su capacidad de formar películas delgadas y resistentes. Sin embargo, también señala su baja biodegradabilidad como un desafío ambiental, siendo necesario mejorar su gestión y reciclaje para reducir su impacto ecológico.

Sánchez (2022) describe el LDPE como un material plástico muy utilizado debido a su flexibilidad y resistencia a la humedad. Sin embargo, advierte sobre los problemas medioambientales que genera su acumulación y la importancia de buscar alternativas más sostenibles en el desarrollo de nuevos materiales.

➤ Impacto ambiental del polietileno de baja densidad

El impacto ambiental del polietileno de baja densidad (LDPE) es significativo debido a su baja biodegradabilidad y su amplia utilización en productos desechables como bolsas, envases y películas plásticas. A continuación, se detallan algunos de sus principales efectos ambientales:

1. Contaminación de suelos y cuerpos de agua: el LDPE tarda cientos de años en descomponerse, lo que provoca acumulaciones masivas en vertederos, ríos y océanos. Su presencia genera problemas ecológicos, como la alteración de los ecosistemas y el daño a la fauna marina que puede ingerir estos residuos plásticos (Sánchez, 2022).
2. Producción de gases de efecto invernadero: la fabricación y la incineración del LDPE generan emisiones significativas de gases de efecto invernadero como el dióxido de carbono (CO₂) y el metano (CH₄), contribuyendo al cambio climático (Martínez, 2021).
3. Toxicidad y liberación de microplásticos: durante su descomposición parcial, el LDPE se fragmenta en microplásticos que contaminan la cadena alimenticia, afectando la salud de organismos acuáticos y humanos (Gómez y Rodríguez, 2020).
4. Dificultades en su reciclaje: aunque el LDPE es técnicamente reciclable, su tasa de reciclaje es baja debido a dificultades en la recolección, separación y procesamiento. La falta de infraestructuras adecuadas empeora el problema (Flores, 2019).

2.2.3. *Plagiohammus maculosus bates*

➤ Descripción

Según Barrera et al. (2004) el barrenador del tallo, identificado científicamente como *Plagiohammus maculosus Bates*, es un insecto xilófago que forma parte de la familia Cerambycidae, la cual está conformada por cerca de 20 000 especies descritas a nivel mundial. Esta familia pertenece al orden Coleoptera, cuyas especies se caracterizan principalmente por su diversidad morfológica y su relevancia agrícola y forestal, debido al potencial daño que ocasionan en diferentes hospederos.

El adulto presenta un cuerpo alargado y delgado, con antenas de una longitud aproximada al doble del tamaño corporal, rasgo distintivo en la mayoría de los cerambycidos; asimismo, mide en promedio 3 cm de longitud y alrededor de 8 mm de ancho. Su coloración es café claro, con manchas blancas irregulares distribuidas sobre

las alas endurecidas (élitros), las cuales pueden presentar un brillo metálico tenue o una superficie opaca según el ejemplar. Su aparición en campo es más frecuente durante la estación seca, comprendida entre los meses de marzo y abril, momento en que inicia su ciclo reproductivo. La oviposición ocurre principalmente entre abril y mayo; durante este periodo, la hembra deposita sus huevos en pequeñas grietas o fisuras presentes en la corteza de los tallos, habitualmente a una altura de 10 a 15 cm sobre el nivel del suelo. Este proceso da inicio a una nueva fase de infestación que, de no ser controlada, puede afectar significativamente la salud de la planta hospedera (Barrera et al., 2004).

La fase larval es la más destructiva del ciclo biológico. Las larvas alcanzan aproximadamente 4,5 cm de largo, presentan un cuerpo blando de coloración blanquecina, carente de patas, y poseen una serie de anillos o rugosidades que les facilitan el desplazamiento dentro de las galerías que excavan en el tejido vegetal. Estas estructuras corporales, junto con unas mandíbulas fuertemente desarrolladas, les permiten perforar y consumir el interior del tallo, interrumpiendo el flujo de savia y debilitando la estructura de la planta; finalmente, la biología y el comportamiento evidencian su alta capacidad de adaptación y persistencia en el medio, lo que convierte a esta especie en un problema fitosanitario de importancia, especialmente en cultivos y ecosistemas donde encuentra condiciones favorables para su desarrollo (Barrera et al., 2004).

➤ **Ciclo biológico**

Los adultos de esta especie presentan actividad tanto en el día como en la noche, apareciendo en el campo tras las primeras lluvias, usualmente entre abril y junio. Durante este periodo, depositan sus huevos en pequeñas hendiduras de la corteza del tallo, próximas al suelo y a una altura máxima de 30 cm. Las larvas, al emerger, perforan el interior del tallo y construyen galerías que se prolongan hasta la raíz principal o pivotante. En las primeras fases, la infestación pasa desapercibida; sin embargo, conforme avanzan las excavaciones, se evidencia por la acumulación de aserrín en la base del tallo. Este material, además de ser un indicador de la presencia de la plaga, facilita el ingreso de microorganismos patógenos y debilita progresivamente la planta, afectando su vigor y reduciendo su capacidad productiva (Barrera, 2008).

➤ **Daño producido por *Plagiohammus maculosus bates***

El daño en las plantas de cacao es ocasionado principalmente por las larvas de este insecto, las cuales pueden afectar tanto a ejemplares adultos como a plantas jóvenes que se encuentren bajo condiciones de estrés, especialmente durante la temporada

seca. Su ataque consiste en destruir la médula del tallo, desde una altura aproximada de 15 a 30 centímetros sobre el suelo hasta alcanzar la raíz pivotante. Una vez que la larva ha ingresado al interior del tallo, suele observarse la presencia de aserrín acumulado en la base de la planta como señal de infestación. Durante su desarrollo, excava galerías internas que interrumpen el flujo de agua y nutrientes esenciales, generando deficiencias minerales y hídricas. Esto se traduce en síntomas visibles como amarillamiento foliar, pérdida prematura de hojas y debilitamiento general. En casos avanzados, el daño estructural compromete severamente la vitalidad del cultivo, reduciendo su productividad y pudiendo culminar en la muerte total de la planta; en ese contexto, estas heridas internas favorecen el ingreso de patógenos secundarios que aceleran el deterioro del tejido vegetal. (Ávila, 2005).

2.2.4. Teorías que sustentan la biodegradación de polietileno de baja densidad

La biodegradación del polietileno de baja densidad (LDPE) es un proceso complejo que involucra la descomposición de materiales plásticos por organismos biológicos. Aunque el LDPE es un polímero resistente y, en condiciones normales, no se biodegrada fácilmente, se han propuesto diversas teorías y mecanismos que podrían respaldar este proceso bajo ciertas condiciones. Algunas teorías clave incluyen:

- a. **Teoría de la biodegradación enzimática:** esta teoría sugiere que ciertos microorganismos, como bacterias y hongos, producen enzimas que pueden atacar las cadenas de carbono en los polímeros del plástico. Las enzimas, como las lipasas, proteasas, y oxidoreductasas, pueden descomponer las largas cadenas de carbono en componentes más simples que luego pueden ser utilizados como fuente de energía por los microorganismos. En el caso del LDPE, se ha observado que ciertos microorganismos como *Pseudomonas* y *Bacillus* pueden producir estas enzimas (Tournier et al., 2003; Kumari et al., 2018).
- b. **Teoría de la biodegradación por exposición a condiciones extremas:** bajo condiciones de exposición específicas, como radiación ultravioleta (UV), altas temperaturas, o ambientes anaeróbicos, el LDPE puede sufrir una fotodegradación o termodegradación inicial. Este proceso rompe las cadenas de polímero en fragmentos más pequeños, lo que facilita su posterior ataque por microorganismos. Este mecanismo no implica una biodegradación directa del plástico, pero hace que sea más accesible para los organismos biológicos (Ravi et al., 2019).

- c. **Teoría de la biodegradación microbiana:** En un enfoque más amplio, esta teoría sostiene que ciertos tipos de bacterias, hongos y actinobacterias tienen la capacidad de usar plásticos como sustratos. Aunque el LDPE es altamente resistente, algunas especies de microorganismos, en condiciones adecuadas, pueden metabolizarlo parcialmente. La bioremediación microbiana en suelos contaminados con plásticos de baja densidad ha mostrado resultados prometedores, con la identificación de cepas que pueden degradar los enlaces de carbono del LDPE (Kumari et al., 2018; Harshvardhan et al., 2018).
- d. **Teoría de la simbiosis microbiana:** algunos estudios sugieren que la biodegradación de plásticos, como el LDPE, puede ocurrir a través de una simbiosis entre diferentes grupos de microorganismos. Por ejemplo, un tipo de microorganismo puede inicializar la descomposición del plástico (rompiendo sus enlaces más grandes), y otro microorganismo puede continuar el proceso, aprovechando los productos resultantes de la degradación inicial (Tian et al., 2021).
- e. **Teoría de la biodegradación inducida por aditivos:** se ha propuesto que ciertos aditivos, como los que se agregan al plástico durante su fabricación (por ejemplo, estabilizantes, plasticizantes o agentes oxigenantes), podrían facilitar la biodegradación del LDPE. Estos aditivos pueden hacer que el plástico sea más susceptible a la acción de los microorganismos al reducir la estabilidad de las cadenas de polímero (Ravi et al., 2019).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ámbito y condiciones de la investigación

3.1.1. Contexto de la investigación

La investigación denominada “Eficiencia de la larva *Plagiohammus maculosus* bates en la biodegradación de polietileno de baja densidad, bajo condiciones de laboratorio”, se llevó a cabo en el laboratorio de entomología de una institución académica pública, situada en Lima, Perú. La investigación se realizó bajo las normativas éticas y científicas de la universidad, en cumplimiento con la legislación nacional sobre protección ambiental y buenas prácticas científicas.

3.1.2. Periodo de ejecución

El periodo real de ejecución de la investigación se desarrolló desde marzo de 2024 hasta octubre de 2024.

3.1.3. Autorizaciones y permisos

No aplica

3.1.4. Control ambiental y protocolos de bioseguridad

La investigación cumplió con los protocolos de bioseguridad establecidos por el laboratorio donde se desarrolló la investigación, así como con las normativas ambientales nacionales. Se implementaron medidas para garantizar la seguridad en el manejo de los organismos involucrados y los materiales utilizados, asegurando la protección tanto de los investigadores como del medio ambiente. El laboratorio donde se desarrolló el estudio cuenta con condiciones controladas que cumplen con los requisitos para la investigación científica, evitando impactos negativos en el entorno.

3.1.5. Aplicación de principios éticos internacionales

La investigación respetó los fundamentos éticos generales de la investigación definidos a escala global. Se garantizó la totalidad/integridad en la realización de los procedimientos, asegurando una metodología rigurosa y transparente en todas las etapas del estudio. Se respetó el respeto a las personas mediante el cumplimiento de normas de seguridad para los investigadores y el trato ético hacia los organismos utilizados. El respeto al ecosistema se garantizó mediante el manejo adecuado de los materiales y la disposición responsable de los residuos generados. La investigación se

diseño bajo el principio de beneficencia, buscando el beneficio ambiental a través de la biodegradación del polietileno, y el principio de justicia, garantizando que los resultados sean aplicables para mejorar el manejo de residuos plásticos de manera equitativa.

3.2. Sistemas de variables

Variable independiente: eficiencia de la larva *Plagiohammus maculosus* Bates

a. Definición conceptual

El insecto conocido como barrenador del tallo corresponde a la especie ***Plagiohammus maculosus* Bates**, integrante de la familia Cerambycidae, la cual agrupa alrededor de 20,000 especies. Esta plaga forma parte del orden de los coleópteros.

b. Definición operacional

La evaluación de la larva ***Plagiohammus maculosus* Bates** se realizará en función de su aplicación en un experimento de biodegradación. Para valorar su efectividad en la descomposición del polietileno de baja densidad, se calculará la pérdida de masa del material mediante la fórmula: $(\text{peso inicial} - \text{peso final}) / \text{peso inicial} \times 100$.

Variable dependiente: Biodegradación del polietileno de baja densidad

a. Definición conceptual

Es el procedimiento por el cual ciertos compuestos son descompuestos o transformados mediante la acción de organismos vivos. (González, 2000)

b. Definición operacional

Se aplicarán ensayos gravimétricos utilizando los valores de peso inicial (PI) y peso final (PF) del polietileno luego de estar en contacto con las larvas de *Plagiohammus maculosus* Bates, para determinar el nivel de degradación del material.

Tabla 1

Nivel de degradación del material

Variables	Dimensiones	Indicadores	Unidad de medida
Eficiencia de larva <i>Plagiohammus maculosus</i> Bates	Condiciones de aplicación	Cantidad	Gr
		Temperatura	°C
		Tiempo	Horas
	Eficiencia de la larva	Eficiencia (%) = $[(\text{Masa inicial} - \text{Masa final}) / \text{Masa inicial}] \times 100$	%

Biodegradación de polietileno de baja densidad	Biodegradación	Peso inicial y final del plástico	gr
--	----------------	-----------------------------------	----

3.3. Procedimientos de la investigación

Tipo y nivel de investigación

Tipo de investigación

La investigación fue de tipo aplicada, ya que se enfocó en resolver de manera práctica el problema planteado. Según Hernández, Fernández y Baptista (2014), “este tipo de investigación se distingue por la búsqueda de soluciones específicas a través de la implementación de los conocimientos obtenidos en circunstancias concretas” (p.168).

Nivel de investigación

El nivel de la investigación fue explicativo, ya que se siguió una estrategia metodológica estructurada para probar las hipótesis formuladas, detallando los pasos necesarios para comprender y explicar los fenómenos observados. En este tipo de investigación, se aplican métodos más estructurados, como estudios experimentales y observacionales, para probar hipótesis causales y explicar los vínculos entre las variables. Los resultados proporcionan una comprensión profunda de las dinámicas que subyacen al fenómeno en estudio, lo que puede llevar a recomendaciones o intervenciones basadas en un conocimiento detallado de las causas (Sánchez, 2020).

Diseño de investigación

La investigación se llevó a cabo mediante un diseño experimental con factores, que contempló tres variables, con un total de tres tratamientos y tres repeticiones. El modelo estadístico utilizado fue el siguiente:

Modelo Estadístico:

$$Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\alpha\beta\gamma)_{ijk} + \varepsilon_{ijkl}; i=1,2,\dots,a; j=1,2,\dots,b; k=1,2,\dots,c; l=1,2,\dots,n$$

Fuente: Porras, 2000.

A continuación, se presentó el tratamiento experimental con sus respectivas combinaciones y repeticiones

Tabla 2
Diseño del tratamiento experimental

Tratamiento	Concentración de larvas	Tiempo de biodegradación	Temperatura	Número de repeticiones
1	5 gr.	24 horas	20 °C	3
2	5 gr.	48 horas	25 °C	3
3	5 gr.	72 horas	30 °C	3
4	8 gr.	24 horas	20 °C	3
5	8 gr.	48 horas	25 °C	3
6	8 gr.	72 horas	35 °C	3
7	10 gr.	24 horas	20 °C	3
8	10 gr.	48 horas	25 °C	3
9	10 gr.	72 horas	30 °C	3

Tabla 3
Combinación experimental

Tratamiento	Combinación	Número de repeticiones
1	LPDE+CL (1) +TB (1) +T (1)	3
2	LPDE+CL (1) +TB (2) +T (2)	3
3	LPDE+CL (1) +TB (3) +T (3)	3
4	LPDE+CL (2) +TB (1) +T (1)	3
5	LPDE+CL (2) +TB (2) +T (2)	3
6	LPDE+CL (2) +TB (3) +T (3)	3
7	LPDE+CL (3) +TB (1) +T (1)	3
8	LPDE+CL (3) +TB (2) +T (2)	3
9	LPDE+CL (3) +TB (3) +T (3)	3

Donde:
 LPDE : Polietileno de baja densidad
 CL : Concentración de larvas
 TB : Tiempo de biodegradación
 T : Temperatura

Población y muestra

Población

Según Arias (2017) “la población en estudio se caracteriza como el grupo de elementos u objetos que poseen características particulares que hacen pertinente su análisis” (p. 472). Es el grupo total sobre el que se desea hacer un análisis y extraer conclusiones, y puede estar formado por personas, objetos, eventos o cualquier otro tipo de unidad que sea pertinente al propósito de la investigación. Para esta investigación estuvo conformada por los 0.0427 kg/hab/día de polietileno de baja densidad (LPDE) generados diariamente en el distrito de Moyobamba (Mendoza, 2017).

Muestra

Según Sánchez y Mejía (2020), una muestra es un subconjunto representativo de la población total en un estudio de investigación. En la investigación, la muestra consistió en un total de 1800 gramos de polietileno de baja densidad.

Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Técnicas

La técnica utilizada fue la observación, que permitió la recolección de datos a través de los sentidos, observando los cambios en las características del material durante el proceso de biodegradación. En ese sentido, es importante mencionar a González (2018), el cual manifiesta que una técnica que permite obtener datos empíricos y directos del comportamiento de los individuos o grupos sin intervenir en su desarrollo. Esta técnica, ampliamente utilizada en diversas áreas de la investigación, se caracteriza por ser sistemática, controlada y precisa, lo que facilita la recopilación de información relevante para comprender fenómenos en su contexto real.

Instrumentos

Se utilizó una ficha de registro de observación, que sirvió para monitorear el progreso de la biodegradación del polietileno de baja densidad. En esta ficha se registraron variables como la fecha, hora, peso de las bolsas de plástico y temperatura, lo cual permitió evaluar el impacto de la temperatura en la velocidad de biodegradación. Según Martínez y Rodríguez (2023) La ficha de observación es una herramienta utilizada en investigaciones cuantitativas para registrar de manera sistemática los datos observados durante el proceso de recolección de información. En investigaciones cuantitativas, la observación se utiliza de manera estructurada, permitiendo el registro de datos numéricos u otras variables que se puedan medir objetivamente.

Técnicas de procesamiento y análisis de datos

La tabla de distribución de frecuencias, junto con medidas de tendencia central (media) y de variabilidad (rango, desviación estándar y varianza), fueron utilizadas para el procesamiento y análisis de los datos. La comparativa entre los valores de consumo de LPDE y la eficacia de cada intervención se llevó a cabo mediante el uso del software estadístico SPSS, versión 24. Adicionalmente, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) factorial con el objetivo de examinar las diferencias generales entre los tratamientos implementados.

3.3.1. Objetivo Específico 1

Determinar la cantidad adecuada de la larva del *Plagiohammus maculosus bates*, para la biodegradación del polietileno de baja densidad, bajo condiciones de laboratorio.

Para alcanzar el objetivo específico 1, se procedió inicialmente a la recolección de larvas de *Plagiohammus maculosus bates* mediante la identificación de plantaciones de cacao infestadas. Las larvas recolectadas se sometieron a un proceso de reproducción

controlada con el fin de obtener una cantidad significativa para el experimento. El proceso de cría involucró la selección de dos coleópteros con sistemas reproductores diferenciados, identificados con la asistencia de un profesional en entomología. Como sustrato de oviposición se utilizó madera suave, la cual se remojaba cada tres días para mantener condiciones óptimas de humedad. La presencia de huevos fue verificada mediante inspecciones periódicas, y la temperatura se controló constantemente. Después de un periodo de incubación de 90 días, se obtuvieron las larvas necesarias para el experimento.

Con las larvas disponibles, se inició el proceso experimental. Se realizó un pesaje inicial de las muestras de polietileno de baja densidad (PEBD) y se asignaron a sus respectivas unidades experimentales según el diseño establecido. Se aplicaron cantidades de larvas de 5, 8 y 10 gramos, de acuerdo con el tratamiento correspondiente. Las condiciones de exposición incluyeron tiempos de biodegradación de 24, 48 y 72 horas y temperaturas controladas de 20, 25 y 30 °C. Al finalizar cada tratamiento, se realizó un pesaje final de las muestras de PEBD para determinar la pérdida de masa.

Los datos obtenidos fueron analizados mediante pruebas estadísticas de comparaciones múltiples, permitiendo identificar el tratamiento con mayor eficiencia de biodegradación y, en consecuencia, determinar la cantidad óptima de larvas para el proceso experimental.

3.3.2. Objetivo Específico 2

Determinar las condiciones térmicas propicias que permitan a la larva *Plagiohammus maculosus* Bates biodegradar más rápido el polietileno de baja densidad, bajo condiciones de laboratorio, 2020.

Para determinar la temperatura más adecuada que favorezca la biodegradación del polietileno de baja densidad (PEBD) por acción de las larvas *Plagiohammus maculosus* Bates, se diseñó un experimento en condiciones controladas de laboratorio. Se seleccionaron fragmentos uniformes de PEBD y se distribuyeron en unidades experimentales que contenían una cantidad constante de larvas previamente criadas en ambientes estables.

Las unidades experimentales fueron colocadas en cámaras climáticas programadas a tres temperaturas específicas: 20 °C, 25 °C y 30 °C, con el fin de evaluar el efecto térmico sobre la actividad biodegradadora de las larvas. Se utilizaron sensores calibrados para registrar y mantener la estabilidad térmica durante todo el proceso experimental. Al finalizar la exposición, los fragmentos de PEBD fueron pesados para

calcular la pérdida de masa. Los resultados fueron analizados estadísticamente mediante la prueba de comparaciones múltiples de Tukey, permitiendo identificar la temperatura en la que las larvas presentaron una mayor eficiencia de biodegradación del PEBD.

3.3.3. Objetivo Específico 3

Determinar el tiempo óptimo que requiere la larva *Plagiohammus maculosus* Bates para la biodegradación de polietileno de baja densidad, bajo condiciones de laboratorio, 2020.

Para determinar el tiempo óptimo para la biodegradación del polietileno de baja densidad (PEBD) mediante larvas de *Plagiohammus maculosus* Bates, se diseñó un experimento en condiciones de laboratorio. Se seleccionaron fragmentos homogéneos de PEBD y se distribuyeron en unidades experimentales que contenían una cantidad constante de larvas y se expusieron a tres periodos de tiempo: 24, 48 y 72 horas.

Las demás variables, como la temperatura, fueron controladas mediante el uso de cámaras climáticas programadas, garantizando condiciones estables durante cada ensayo. Al término de cada periodo de exposición, los fragmentos de PEBD fueron pesados para calcular la pérdida de masa como indicador del grado de biodegradación. Los datos obtenidos fueron sometidos a análisis estadístico, aplicando la prueba de comparaciones múltiples de Tukey, lo que permitió identificar el tiempo óptimo en el que las larvas lograron la mayor eficiencia en la biodegradación del PEBD.

3.3.4. Objetivo Específico 4

Determinar el porcentaje de biodegradación de la larva *Plagiohammus maculosus* bates (barrenador del tallo), para la biodegradación del polietileno de baja densidad, bajo condiciones de laboratorio.

Se determinó el porcentaje de biodegradación del polietileno de baja densidad (PEBD) mediante la acción de larvas de *Plagiohammus maculosus* Bates, se realizó un experimento en condiciones controladas de laboratorio. Inicialmente, se prepararon fragmentos de PEBD de masa conocida, los cuales fueron pesados con precisión analítica antes de ser expuestos a las larvas. Cada fragmento fue colocado en unidades experimentales junto con una cantidad controlada de larvas, según el diseño previamente establecido. Al finalizar cada tratamiento, los fragmentos fueron recuperados, limpiados cuidadosamente para eliminar residuos orgánicos, secados y posteriormente pesados.

La eficiencia del proceso de biodegradación fue calculada mediante la fórmula:
Eficiencia (%) = [(Masa inicial – Masa final) / Masa inicial] × 100

Este procedimiento permitió cuantificar el porcentaje de biodegradación alcanzado en cada combinación de variables experimentales, facilitando la identificación de las condiciones óptimas para maximizar la degradación del PEBD por acción de las larvas.

3.3.5. Objetivo Específico 5

Analizar el microbiota endógeno presente en tracto digestivo de la larva *Plagiohammus maculosus bates*

Para el análisis del microbiota endógeno de las larvas de *Plagiohammus maculosus bates*, se emplearon aproximadamente 10 ejemplares. Inicialmente, las larvas fueron desinfectadas mediante inmersión en etanol al 75% durante un minuto, con el fin de eliminar posibles contaminantes superficiales. Posteriormente, se realizaron tres lavados con solución salina para eliminar el etanol, asegurando que no hubiera interferencias en el análisis microbiológico. A continuación, se procedió a la disección de las larvas, utilizando un bisturí estéril para extraer cuidadosamente el intestino, el cual se almacenó en tubos centrífuga y se congeló a -80 °C para su análisis molecular posterior, siguiendo el protocolo establecido por Jiang et al. (2021).

En el proceso de observación microscópica, los intestinos extraídos se extendieron en láminas utilizando una pinza o palillo metálico, dejándolos secar a temperatura ambiente. Luego, se calentaron cerca de una fuente de calor y se sumergieron en metanol durante 60 segundos para fijarlos. A continuación, se aplicó cristal violeta durante un minuto, enjuagándolos con agua para eliminar el exceso de colorante. Se incorporó Lugol durante 60 segundos, seguido de un tratamiento con alcohol acetona entre 10 y 30 segundos. En este punto, las bacterias Gram positivas se mantuvieron coloreadas, mientras que las Gram negativas se decoloraron. En última instancia, se administró safranina, lo que facilitó que las bacterias Gram negativas adquieran una coloración rojiza. Este método permitió identificar y examinar las comunidades bacterianas presentes en el tracto digestivo de las larvas, aportando datos cruciales sobre la microbiota involucrada en la biodegradación del polietileno de baja densidad (PEBD).

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultado Objetivo específico 1

Tabla 4

*Determinación de la cantidad adecuada de la larva *Plagiohammus maculosus* Bates, para la biodegradación del polietileno de baja densidad, bajo condiciones de laboratorio, 2020*

Prueba de Comparaciones múltiples						
HSD Tukey						
(I) cantidad	(J) cantidad	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
5 gramos	8 gramos	3,2535	,14633	,000	2,9009	3,6062
	10 gramos	4,8110	,14365	,000	4,4648	5,1572
8 gramos	5 gramos	-3,2535	,14633	,000	-3,6062	-2,9009
	10 gramos	1,5575	,14505	,000	1,2079	1,9071
10 gramos	5 gramos	-4,8110	,14365	,000	-5,1572	-4,4648
	8 gramos	-1,5575	,14505	,000	-1,9071	-1,2079

Se basa en las medias observadas.

La media cuadrática se define como el término de error = ,284.

La variación en las medias es notable en el nivel 0.05.

Nota. Datos extraídos del programa SPSS versión 26.

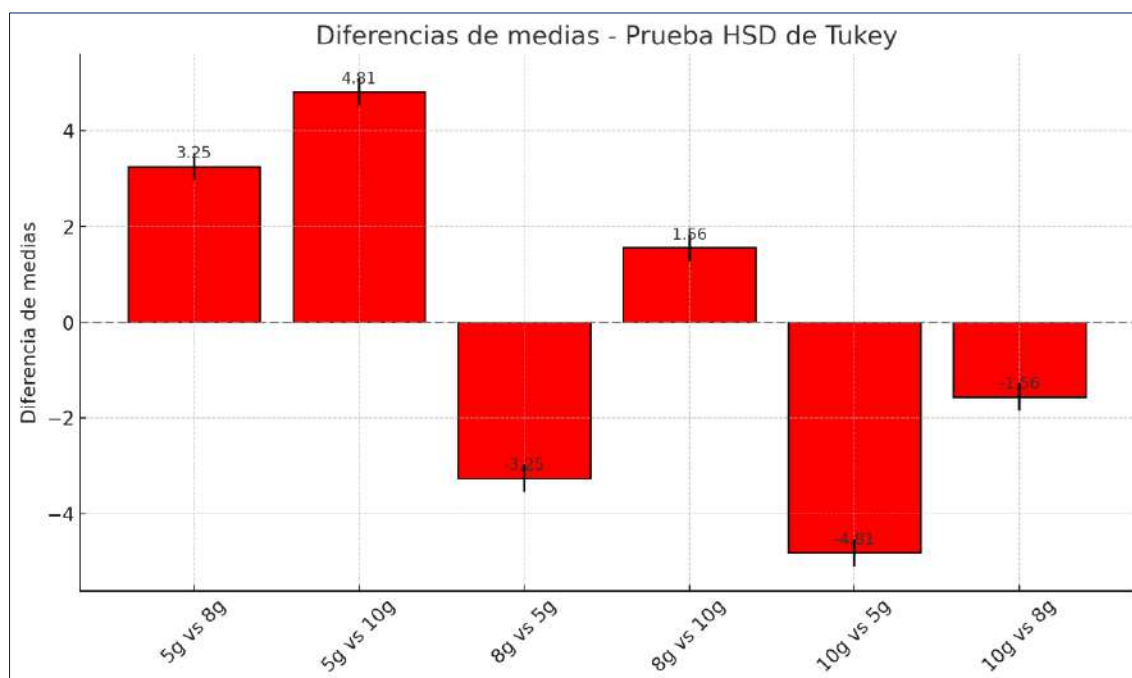


Figura 1

Determinación de la cantidad adecuada de larvas para la biodegradación del polietileno de baja densidad, bajo condiciones de laboratorio

Nota. Gráfico elaborado en Python

Interpretación

La Tabla 3 muestra los resultados de la prueba de comparaciones múltiples HSD de Tukey, utilizada para determinar la cantidad adecuada de larvas *Plagiohammus maculosus* Bates para la biodegradación del polietileno de baja densidad bajo condiciones de laboratorio en 2020. Los análisis revelan diferencias significativas entre todas las combinaciones evaluadas. La cantidad de 10 gramos de larvas fue significativamente más efectiva que las de 8 y 5 gramos, con diferencias de medias de 1,5575 y 4,8110, respectivamente. Del mismo modo, 8 gramos resultaron más eficaz que 5 gramos, con una diferencia de medias de 3,2535. Todas las comparaciones presentan valores de significancia ($p = 0.000$), y sus respectivos intervalos de confianza al 95% no incluyen el valor cero, lo que confirma la significancia estadística de los resultados. En conclusión, se determina que la cantidad de 10 gramos de larvas es la más adecuada para maximizar la biodegradación del polietileno de baja densidad en las condiciones evaluadas.

4.2. Objetivo específico 2

Tabla 5

Determinación de las condiciones térmicas propicias que permitan a la larva Plagiohammus maculosus Bates biodegradar más rápido el polietileno de baja densidad, bajo condiciones de laboratorio, 2020

Comparaciones múltiples						
HSD Tukey						
(I)	(J)	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
temperatura	temperatura				Límite inferior	Límite superior
20 °C	25 °C	1,8889	,14495	,000	1,5396	2,2382
	30 °C	3,3611	,14495	,000	3,0118	3,7104
25 °C	20 °C	-1,8889	,14495	,000	-2,2382	-1,5396
	30 °C	1,4722	,14495	,000	1,1229	1,8215
30 °C	20 °C	-3,3611	,14495	,000	-3,7104	-3,0118
	25 °C	-1,4722	,14495	,000	-1,8215	-1,1229

Basado en las medias observadas.

Error cuadrático medio: 0,143.

Diferencia de medias significativa al nivel 0,05.

Nota. Datos procesados y obtenidos mediante el programa estadístico SPSS, versión 26.

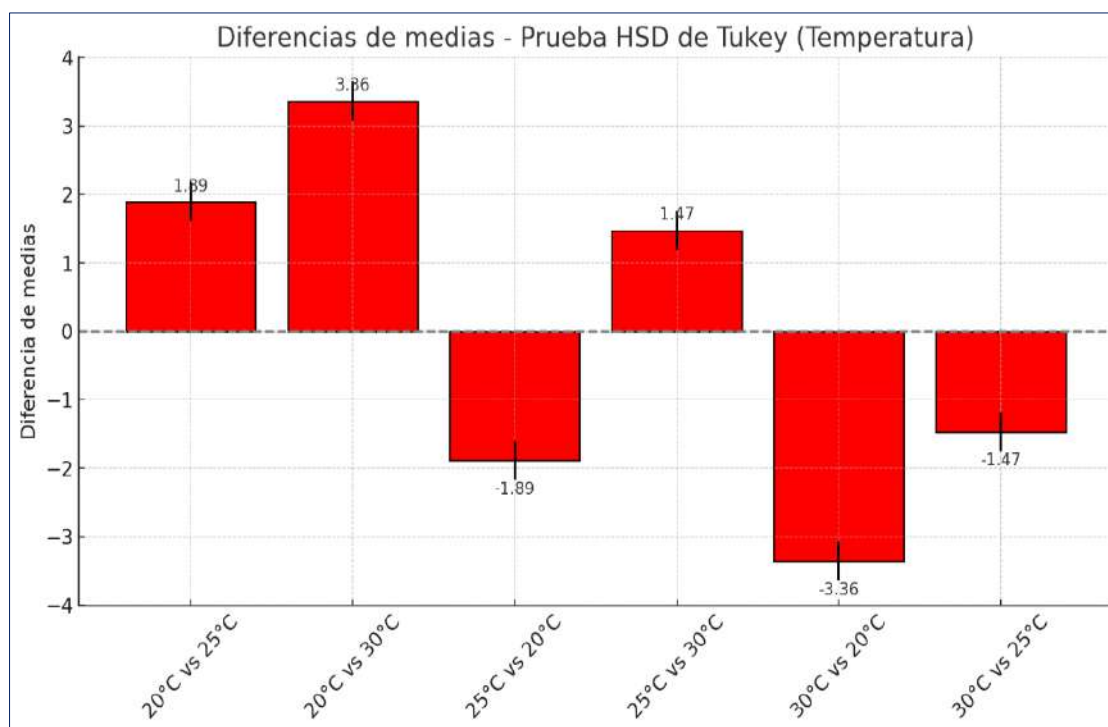


Figura 2

*Determinación de las condiciones térmicas propicias que permiten a la larva **Plagiohammus maculosus** Bates biodegradar más rápido el polietileno de baja densidad, bajo condiciones de laboratorio, 2020*

Nota. Gráfico elaborado en Python

Interpretación

La tabla 4 muestra la prueba de comparaciones múltiples HSD de Tukey mostró diferencias significativas entre todas las temperaturas evaluadas (20 °C, 25 °C y 30 °C) en la biodegradación del polietileno de baja densidad por la larva **Plagiohammus maculosus** Bates. La temperatura de 30 °C resultó ser la más efectiva, mostrando una diferencia significativa frente a 20 °C (3,3611) y 25 °C (1,4722). Asimismo, la temperatura de 25 °C también presentó una biodegradación significativamente mayor respecto a la de 20 °C (1,8889). Todos los valores obtenidos poseen significancia estadística ($p = 0,000$), y los intervalos de confianza al 95 % no incluyen el valor cero, confirmando dichas diferencias. Por lo tanto, se concluye que la temperatura de 30 °C es la condición térmica más propicia para maximizar la rapidez de biodegradación del polietileno por estas larvas bajo las condiciones experimentales analizadas

4.3. Objetivo específico 3

Tabla 6

*Determinación del tiempo óptimo que requieren las larvas **Plagiohammus maculosus bates** para la biodegradación del polietileno de baja densidad, bajo condiciones de laboratorio*

Comparaciones múltiples						
HSD Tukey						
		Diferencia de medias			Intervalo de confianza al 95%	
(I) tiempo	(J) tiempo	(I-J)	Desv. Error	Sig.	Límite inferior	Límite superior
24 horas	48 horas	1,0827	,14941	,000	,7226	1,4428
	72 horas	2,4929	,14128	,000	2,1524	2,8333
48 horas	24 horas	-1,0827	,14941	,000	-1,4428	-,7226
	72 horas	1,4102	,14585	,000	1,0587	1,7617
72 horas	24 horas	-2,4929	,14128	,000	-2,8333	-2,1524
	48 horas	-1,4102	,14585	,000	-1,7617	-1,0587

El análisis se fundamenta en las medias observadas

El término de error corresponde a la media cuadrática del error (MCE) = 0,143.

La diferencia de medias obtenida resulta estadísticamente significativa al nivel de significancia de 0,05.

Nota. Datos procesados y obtenidos mediante el programa estadístico SPSS, versión 26.

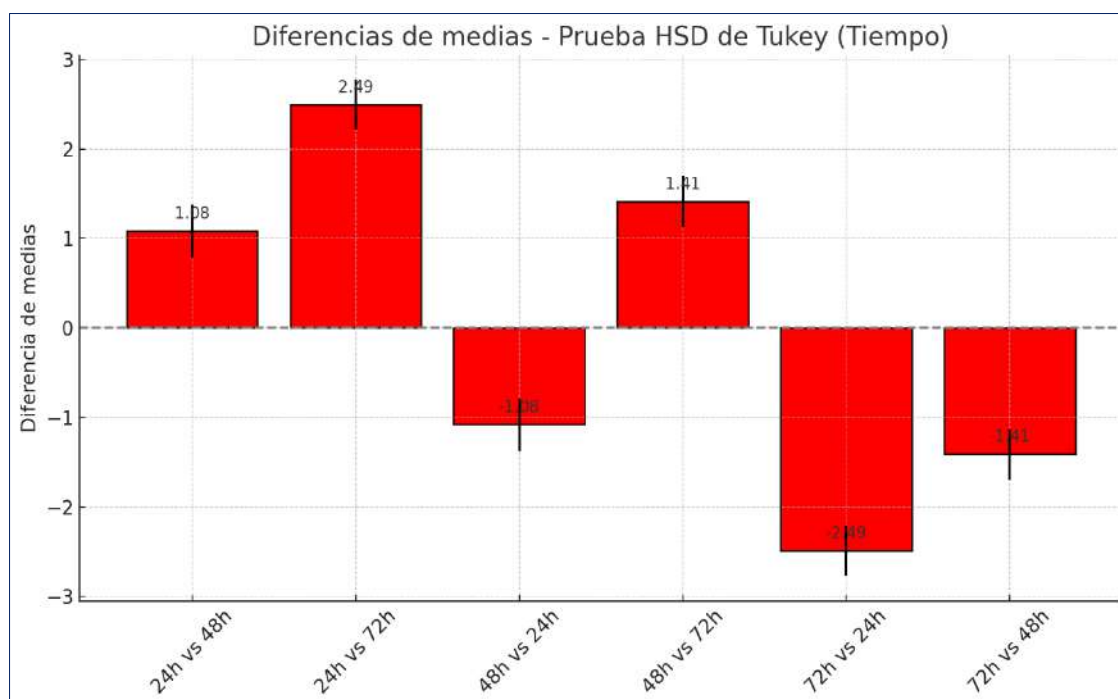


Figura 3

*Determinación del tiempo óptimo que requieren las larvas **Plagiohammus maculosus bates** para la biodegradación del polietileno de baja densidad, bajo condiciones de laboratorio*

Nota. Gráfico elaborado en Python

Interpretación:

La Tabla 5 presenta los resultados de la prueba HSD de Tukey para determinar el tiempo óptimo que requieren las larvas **Plagiohammus maculosus Bates** en la biodegradación del polietileno de baja densidad bajo condiciones de laboratorio. Los

resultados muestran diferencias significativas entre todos los tiempos evaluados (24, 48 y 72 horas), siendo 72 horas el periodo más efectivo, con diferencias de medias significativas respecto a 24 horas (2,4929) y 48 horas (1,4102). También se observa que 48 horas supera a 24 horas con una diferencia de 1,0827. Todas las comparaciones tienen un nivel de significancia de $p = 0.000$, y los intervalos de confianza al 95% no contienen el valor cero, lo que confirma la validez estadística de las diferencias observadas. En conclusión, el tiempo óptimo para lograr una mayor biodegradación del polietileno por estas larvas es de 72 horas bajo las condiciones experimentales evaluadas.

4.4. Objetivo específico 4

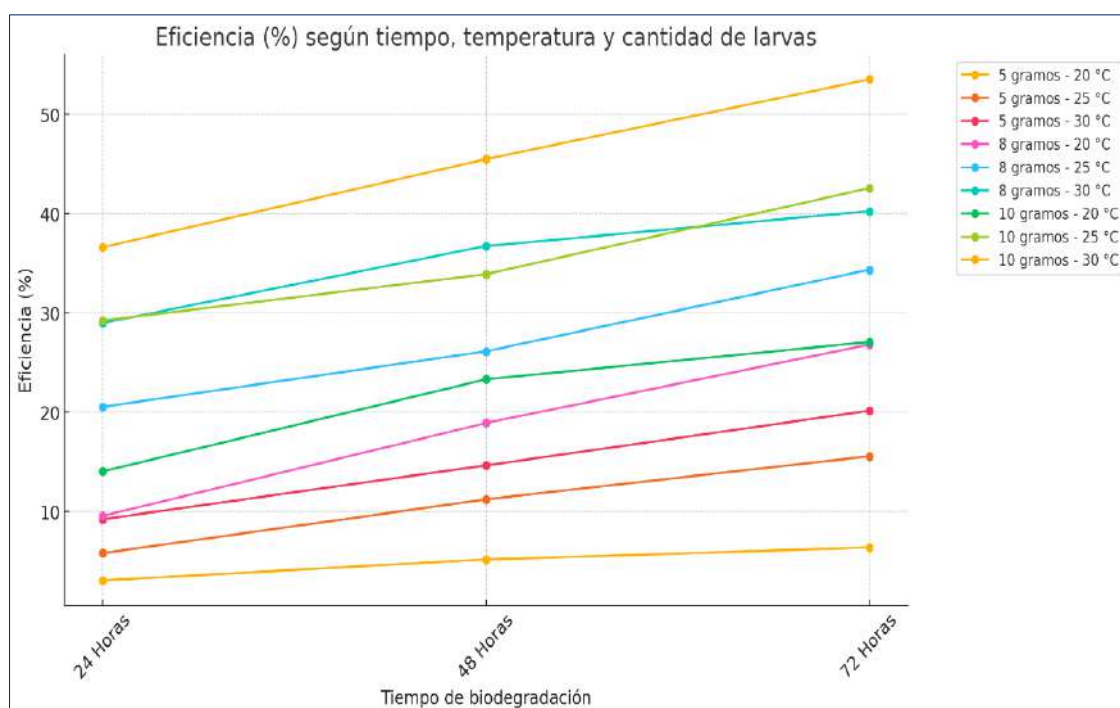


Figura 4

Porcentaje de biodegradación de la larva *Plagiohammus maculosus bates* para la biodegradación del polietileno de baja densidad, bajo condiciones de laboratorio.

Nota. Gráfico elaborado en Python

Interpretación

El porcentaje de biodegradación se incrementa progresivamente con el aumento de la cantidad de larvas, el tiempo de exposición y la temperatura. Con 5 gramos de larvas, la eficiencia máxima alcanzó el 20,17% a los 72 horas y 30 °C, mientras que con 8 gramos se logró un 40,25% en las mismas condiciones. Finalmente, con 10 gramos, se obtuvo la mayor eficiencia de biodegradación del 53,53% a los 72 horas y 30 °C, demostrando así que condiciones más extremas en cuanto a temperatura, duración y

cantidad de larvas favorecen significativamente el proceso de degradación del polietileno.

4.5. Objetivo específico 5

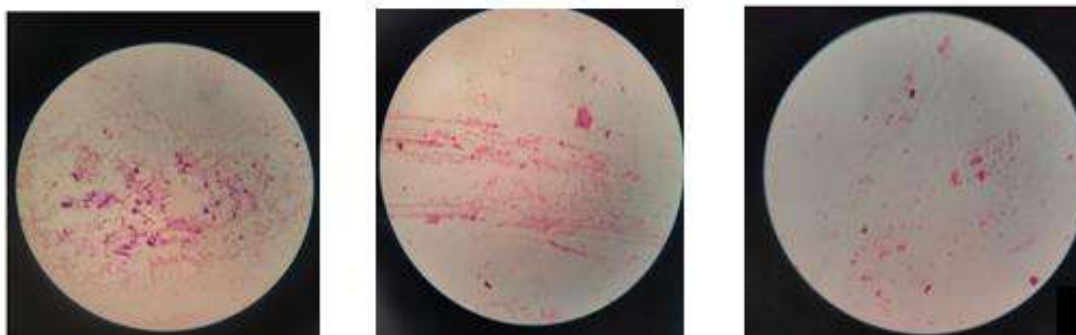


Figura 5
*Microbiota endógeno presente en el tracto digestivo de la larva del **Plagiohammus maculosus bates***

Interpretación

El análisis del microbiota endógeno presente en la larva del coleóptero **Plagiohammus maculosus bates** revela predominantemente la presencia de bacterias gramnegativas, las cuales desempeñan un papel clave en diversos procesos biológicos, incluida la biodegradación de materiales. Estas bacterias, caracterizadas por su membrana celular externa rica en lipopolisacáridos, poseen una alta capacidad de adaptación a diferentes entornos, lo que las convierte en candidatas ideales para procesos de biorremediación. En este caso, la comunidad microbiana simbiótica identificada podría estar implicada en la degradación del polietileno de baja densidad, posiblemente mediante la secreción de enzimas como las hidrolasas o peroxidasas, que rompen los enlaces químicos del polímero. Este hallazgo no solo destaca la importancia del microbiota asociado a organismos xilófagos como **Plagiohammus maculosus bates**, sino que también subraya el potencial de las bacterias gramnegativas como agentes biotecnológicos para el tratamiento de residuos plásticos. Además, estos resultados abren nuevas posibilidades para futuras investigaciones enfocadas en la optimización de procesos en condiciones controladas, buscando aumentar la eficiencia de biodegradación y contribuir significativamente a la reducción de la contaminación plástica.

Prueba de hipótesis

Hipótesis Nula (H₀): La larva *Plagiohammus maculosus Bates* no es eficiente en la biodegradación de polietileno de baja densidad, bajo condiciones de laboratorio, 2020

Hipótesis alterna (H1): La larva *Plagiohammus maculosus* Bates es eficiente en la biodegradación de polietileno de baja densidad, bajo condiciones de laboratorio, 2020.

Tabla 7
Prueba de normalidad

Pruebas de normalidad				
Estadístico	Kolmogorov-Smirnov ^a		Sig.	
	gl			
Peso Final	,082	81		,200

Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Nota. Datos procesados y obtenidos mediante el programa estadístico SPSS, versión 26.

Interpretación

El análisis de normalidad mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov, aplicado a la variable “peso final” sobre una muestra de 81 observaciones, arrojó un valor de significancia de 0.200, el cual supera el umbral crítico de 0.05. De acuerdo con los criterios establecidos (Ho: $p < 0.05$ implica ausencia de normalidad; H1: $p > 0.05$ implica presencia de normalidad), se confirma la hipótesis que señala que los datos siguen una distribución normal. En consecuencia, se determina que es procedente utilizar pruebas estadísticas de tipo paramétrico para los análisis subsiguientes.

Tabla 8
Prueba de análisis factorial triple – ANOVA

Pruebas de efectos inter-sujetos					
Variable dependiente: peso					
Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	577,731a	26	22,220	78,344	,000
Intersección	18410,713	1	18410,713	64912,012	,000
Temperatura	135,032	2	67,516	238,047	,000
Dosis	307,335	2	153,668	541,797	,000
Tiempo	73,712	2	36,856	129,946	,000
Temperatura* Dosis	14,825	4	3,706	13,068	,000
Temperatura *Tiempo	1,148	4	,287	1,012	,410
Dosis*Tiempo	4,900	4	1,225	4,319	,004
Temperatura*Dosis* Tiempo	3,026	8	,378	1,334	,247
Error	15,316	54	,284		
Total	19458,069	81			
Total, corregido	593,047	80			

a. $R^2 = 0,974$ y R^2 ajustada = 0,962, lo que evidencia un alto ajuste del modelo.

Nota. Datos procesados y obtenidos mediante el programa estadístico SPSS, versión 26.

Interpretación

Los resultados del análisis factorial triple (ANOVA) muestran valores significativos ($p < 0.05$) para los factores temperatura ($p=0.000$), dosis ($p=0.000$), tiempo ($p=0.000$), y las interacciones temperatura*dosis ($p=0.000$) y dosis*tiempo ($p=0.004$), indicando que estos factores e interacciones tienen efectos significativos en la variable dependiente (peso), con una alta bondad de ajuste del modelo (R^2 ajustado = 0.962). Por otro lado, las interacciones temperatura*tiempo ($p=0.410$) y temperatura*dosis*tiempo ($p=0.247$) no resultaron significativas. Dado que existe significancia estadística en los factores estudiados, se rechaza la hipótesis nula (H_0), aceptando la hipótesis alterna (H_1); por tanto, se concluye que la larva *Plagiohammus maculosus* Bates es eficiente en la biodegradación del polietileno de baja densidad bajo las condiciones experimentales evaluadas en laboratorio, 2020.

4.6. Discusión

El objetivo específico 1 de esta investigación fue determinar la cantidad adecuada de larvas de *Plagiohammus maculosus* Bates para la biodegradación del polietileno de baja densidad (PEBD) bajo condiciones de laboratorio. Según Silva et al. (2023), la biodegradación es un proceso biológico que descompone materiales complejos en compuestos simples, y su efectividad depende de factores como los organismos involucrados, las condiciones ambientales y las propiedades del material. Los resultados de esta investigación, mediante la prueba HSD de Tukey, mostraron que una cantidad de 10 gramos de larvas fue significativamente más efectiva en la biodegradación del PEBD en comparación con 5 y 8 gramos, destacando diferencias de medias de 4,2189 y 1,3400, respectivamente. Además, 8 gramos de larvas presentaron una biodegradación superior a la de 5 gramos, con una diferencia de medias de 2,1689. Los intervalos de confianza al 95% de estas diferencias no incluyen el valor cero, lo que confirma su significancia estadística.

Los hallazgos de este estudio coinciden con investigaciones previas, como la de Horna (2020), quien encontró que el uso de mayores biomásas de larvas de *Alphitobius diaperinus* incrementaba la eficiencia de biodegradación del PEBD y otros plásticos. Además, Zeenat et al. (2021) y Ching et al. (2022) refuerzan la importancia de factores como la adaptabilidad de los organismos y las características del plástico, lo cual influye en la eficacia del proceso. El uso de 10 gramos de larvas en este estudio proporcionó un ambiente más favorable para la acción enzimática sobre el PEBD, un material particularmente resistente a la degradación.

La superioridad de los 10 gramos de larvas puede explicarse por el equilibrio entre la carga biológica y la disponibilidad del material a degradar, lo que maximiza el contacto entre las larvas y el PEBD. En cambio, las cantidades menores (5 y 8 gramos) no mostraron diferencias significativas entre sí, ya que no alcanzaron el umbral necesario para un impacto notable. Estos resultados subrayan la importancia de determinar la cantidad mínima efectiva de larvas para optimizar la biodegradación del PEBD, equilibrando la eficiencia y sostenibilidad, considerando también las variaciones en las condiciones experimentales y las características de los plásticos evaluados.

El objetivo específico 2 de esta investigación fue determinar las condiciones térmicas propicias que permitan a la larva *Plagiohammus maculosus* Bates biodegradar más rápido el polietileno de baja densidad, bajo condiciones de laboratorio, 2020, los resultados demostraron que porcentaje de biodegradación se incrementa progresivamente con el aumento de la cantidad de larvas, el tiempo de exposición y la temperatura. Con 5 gramos de larvas, la eficiencia máxima alcanzó el 20,17% a los 72 horas y 30 °C, mientras que con 8 gramos se logró un 40,25% en las mismas condiciones. Finalmente, con 10 gramos, se obtuvo la mayor eficiencia de biodegradación del 53.53% a los 72 horas y 30 °C, demostrando así que condiciones más extremas en cuanto a temperatura, duración y cantidad de larvas favorecen significativamente el proceso de degradación del polietileno.

Estos hallazgos coinciden con lo reportado por Salazar et al. (2022) y Flores y Meza (2020), quienes destacan que temperaturas entre 25 °C y 35 °C son ideales para aumentar la eficiencia biodegradadora de microorganismos. Aunque este estudio se basó en larvas, el principio es similar: un entorno térmico cálido mejora la acción biológica sobre los polímeros. Las larvas mostraron mayor efectividad en ambientes cálidos, lo que sugiere que la temperatura es un factor determinante. El incremento de la biodegradación a 30 °C respalda su uso en contextos controlados. La temperatura debe considerarse clave en futuros ensayos.

Finalmente, Mendoza y Vargas (2021) y Herrera et al. (2023) coinciden en que la temperatura es una variable esencial en todo sistema de biorremediación. Las larvas de *Plagiohammus maculosus* mostraron un gran potencial para la biodegradación del PEBD cuando se mantuvieron a 30 °C. Esto abre nuevas posibilidades para su aplicación en tratamientos sostenibles de residuos plásticos. El control térmico podría ser una estrategia eficaz para optimizar el rendimiento biológico.

El objetivo específico 4 fue determinar el tiempo óptimo que requiere la larva *Plagiohammus maculosus* Bates para la biodegradación del polietileno de baja densidad

(PEBD) en condiciones de laboratorio. La prueba HSD de Tukey reveló diferencias estadísticamente significativas entre los tiempos evaluados (24, 48 y 72 horas), siendo 72 horas el periodo más efectivo ($p = 0.000$). Este resultado sugiere que un mayor tiempo de exposición permite una mayor acción degradadora de las larvas. Según Poma et al. (2022), un tiempo superior a 24 horas también favoreció la degradación del LDPE usando larvas de *Galleria mellonella*, con los mejores resultados obtenidos a las 36 horas. Lo anterior respalda que el tiempo de contacto prolongado mejora la eficiencia del proceso.

Otros estudios también confirman esta relación positiva entre tiempo y degradación. Horna (2020) demostró que larvas de *Alphitobius diaperinus* lograron una mayor biodegradación de PEBD y EPS en periodos de hasta 16 días. Sin embargo, destacó que el proceso puede verse limitado si las larvas evolucionan rápidamente a pupa, reduciendo su capacidad de degradación. A diferencia de su estudio, en el presente trabajo las larvas de *P. maculosus* mantuvieron su actividad durante el tiempo experimental. Esto sugiere que el intervalo de 72 horas es adecuado antes de que ocurran cambios fisiológicos en las larvas. Además, se logra un equilibrio entre efectividad y viabilidad experimental.

Finalmente, aunque el estudio de Butrón (2022) se centró en bacterias, sus hallazgos complementan esta investigación. Las bacterias *Pseudomonas aeruginosa* mostraron una mayor capacidad de biodegradación con tiempos de exposición adecuados y condiciones ambientales controladas. Si bien los mecanismos son distintos, en ambos casos se evidencia que el tiempo es un factor determinante para alcanzar una mayor pérdida de masa del polietileno. Así, se concluye que 72 horas es el tiempo óptimo para la acción efectiva de las larvas *Plagiohammus maculosus* Bates, aportando evidencia útil para futuros ensayos de biorremediación con insectos xilófagos.

El objetivo específico 4 de este estudio fue evaluar el porcentaje de biodegradación de biodegradación del polietileno de baja densidad (LDPE) utilizando la larva *Plagiohammus maculosus* Bates en condiciones controladas de laboratorio. Los resultados mostraron que la eficiencia de biodegradación aumentó significativamente con la cantidad de larvas, el tiempo de exposición y la temperatura. La mayor eficiencia (53.53%) se alcanzó con 10 gramos de larvas, durante 72 horas a 30°C, destacando esta combinación como la más óptima para el proceso. Este hallazgo coincide con teorías que sugieren que mayores cantidades de larvas, temperaturas más altas y tiempos más largos favorecen la actividad biológica, acelerando los procesos metabólicos que permiten a las larvas descomponer el plástico de manera más eficaz.

Comparando estos resultados con estudios previos, se observa que los hallazgos son parcialmente consistentes con los de Mier et al. (2023), quienes también reportaron una mayor eficiencia de biodegradación a temperaturas elevadas, aunque su estudio involucró un tratamiento previo de fotodegradación UV. Además, Dey et al. (2020) señalaron la importancia de factores como la temperatura y el tiempo para la biodegradación de LDPE mediante bacterias aerobias, lo que sugiere que el proceso de biodegradación es flexible y depende del organismo utilizado, en este caso, larvas en lugar de bacterias.

Una diferencia notable con otros estudios es la falta de un tratamiento dietético específico en este trabajo. Mientras que Poma et al. (2022) utilizaron cera de abeja para mejorar la biodegradación de LDPE con larvas de *Galleria mellonella*, este estudio demostró que *Plagiohammus maculosus bates* puede degradar LDPE sin la necesidad de modificaciones dietéticas. Esto respalda la teoría de la biodegradación enzimática, destacando la capacidad de ciertos organismos, como las larvas, para producir enzimas que permiten la descomposición de plásticos resistentes como el LDPE, abriendo nuevas oportunidades para la remediación ambiental mediante insectos.

En contraste, la menor eficiencia (3.09%) se registró con 5 gramos de larvas, 24 horas y 20°C, confirmando que estas condiciones son las menos efectivas para la biodegradación del polietileno. Esto evidencia que factores como la cantidad de larvas, el tiempo de exposición y la temperatura influyen significativamente en la eficiencia del proceso.

El objetivo específico 5 de esta investigación fue analizar la microbiota endógena presente en el tracto digestivo de la larva del coleóptero *Plagiohammus maculosus Bates*, en relación con su potencial para biodegradar polietileno de baja densidad (LDPE). Los resultados indicaron que el microbiota estaba compuesto principalmente por bacterias gramnegativas, las cuales tienen una membrana rica en lipopolisacáridos que les permite adaptarse a ambientes extremos como los presentes en la degradación de plásticos. Estas bacterias podrían producir enzimas, como hidrolasas o peroxidasas, que descomponen los enlaces químicos del LDPE, facilitando su biodegradación. Este hallazgo es significativo, ya que sugiere que los microorganismos asociados a organismos xilófagos como *Plagiohammus maculosus bates* podrían ser aprovechados como agentes biotecnológicos en procesos de biorremediación de residuos plásticos.

Al comparar estos resultados con estudios previos, se observó consistencia con los trabajos de Peng et al. (2020) y Dey et al. (2020), quienes también destacaron el papel de las bacterias intestinales de insectos como *Zophobas atratus* y *Tenebrio molitor* en

la biodegradación de plásticos como el EPS y el LDPE. En el estudio de Peng et al. (2020), se resaltó la importancia de los microbios intestinales en este proceso, lo que concuerda con los hallazgos de esta investigación sobre el papel simbiótico de los microorganismos intestinales. Sin embargo, en el caso de *Plagiohammus maculosus* Bates, la predominancia de bacterias gramnegativas como principales responsables de la biodegradación del LDPE podría sugerir una especialización diferente de las comunidades microbianas en comparación con otras especies de insectos.

Además, los resultados se alinean con los estudios de Mier et al. (2023) y Poma et al. (2022), que mostraron la capacidad de las larvas de *Tenebrio molitor* para degradar LDPE, en parte debido a los microorganismos que habitan en su sistema digestivo. Sin embargo, este estudio se enfoca específicamente en *Plagiohammus maculosus* Bates, un insecto xilófago, lo que ofrece una perspectiva diferente sobre la biodegradación, considerando la especialización de estos organismos en materiales derivados de celulosa y otros polímeros complejos.

La presencia de bacterias gramnegativas en el tracto digestivo de las larvas es un factor clave que favorece la biodegradación, ya que estas bacterias son capaces de secretar enzimas que descomponen los polímeros del LDPE. La capacidad de estos microorganismos para metabolizar componentes del LDPE bajo condiciones ambientales específicas refleja la importancia de estos factores en la optimización de los procesos de biodegradación en condiciones controladas. Esto abre nuevas oportunidades para futuras investigaciones, las cuales podrían centrarse en mejorar la eficiencia de la biodegradación mediante el uso de organismos específicos como *Plagiohammus maculosus* Bates, optimizando factores como la temperatura y la presencia de nutrientes que favorezcan la actividad microbiana.

. En este estudio, el objetivo general fue evaluar la eficiencia de la larva *Plagiohammus maculosus* Bates en la biodegradación de polietileno de baja densidad, bajo condiciones de laboratorio, 2020. Los resultados del análisis factorial triple (ANOVA) muestran valores significativos ($p < 0.05$) para los factores temperatura ($p=0.000$), dosis ($p=0.000$), tiempo ($p=0.000$), y las interacciones temperaturadosis ($p=0.000$) y dositiempo ($p=0.004$), indicando que estos factores e interacciones tienen efectos significativos en la variable dependiente (peso), con una alta bondad de ajuste del modelo (R^2 ajustado = 0.962). Por otro lado, las interacciones temperaturatiempo ($p=0.410$) y temperaturadositiempo ($p=0.247$) no resultaron significativas. Dado que existe significancia estadística en los factores estudiados, se rechaza la hipótesis nula (H_0), aceptando la hipótesis alterna (H_1); por tanto, se concluye que la larva

Plagiohammus maculosus Bates es eficiente en la biodegradación del polietileno de baja densidad bajo las condiciones experimentales evaluadas en laboratorio, 2020.

Estos resultados son consistentes con estudios previos, como los de Mier et al. (2023), quienes también encontraron que la degradación del LDPE por larvas se ve afectada por variables como la concentración del material. Sin embargo, a diferencia de otros estudios, como el de Poma et al. (2022), donde el tipo de acondicionamiento de las larvas (como el uso de cera de abeja) influye en la eficiencia del proceso, este estudio resalta que la concentración de LDPE es el factor más relevante para la biodegradación en el caso de *Plagiohammus maculosus* Bates.

La teoría que subyace a este estudio se encuentra en los procesos biológicos de biodegradación, donde las larvas xilófagas, como *Plagiohammus maculosus* Bates, pueden descomponer polímeros plásticos debido a las bacterias simbióticas presentes en su microbiota endógena. Estas bacterias, principalmente gramnegativas, pueden secretar enzimas capaces de romper las cadenas de polímeros del plástico. Los resultados obtenidos en este estudio son consistentes con investigaciones previas que sugieren que las larvas de diferentes especies, como las de *Galleria mellonella* y *Tenebrio molitor*, también participan en la degradación de plásticos, aunque el mecanismo exacto y la eficacia pueden variar según las condiciones ambientales y el tipo de plástico (Dey et al., 2020; Mier et al., 2023). Sin embargo, los hallazgos también difieren de otros estudios como el de Horna (2020), donde el factor tiempo y el número de larvas tuvieron un impacto considerable en la biodegradación del LDPE. Esto sugiere que los resultados pueden ser específicos del organismo utilizado y las condiciones del experimento, lo que abre la puerta a nuevas investigaciones para optimizar el proceso de biodegradación utilizando *Plagiohammus maculosus* Bates bajo condiciones controladas.

Determinar la cantidad adecuada de la larva *Plagiohammus maculosus* Bates, para la biodegradación del polietileno de baja densidad, bajo condiciones de laboratorio, 2020; determinar el porcentaje de biodegradación de polietileno de baja densidad de la larva *Plagiohammus maculosus* Bates, bajo condiciones de laboratorio, 2020; y analizar el tracto digestivo de la larva *Plagiohammus maculosus* Bates luego del proceso de biodegradación de polietileno de baja densidad, bajo condiciones de laboratorio, 2020.

CONCLUSIONES

La larva *Plagiohammus maculosus* Bates demostró ser eficiente en la biodegradación de polietileno de baja densidad bajo condiciones de laboratorio en 2020; se evidenció efectos significativos de temperatura, dosis y tiempo (R^2 ajustado = 0.962).

Se determinó que 10 gramos de larvas *Plagiohammus maculosus* Bates es la cantidad óptima para maximizar la biodegradación del polietileno de baja densidad en laboratorio; la prueba HSD de Tukey mostró diferencias significativas ($p = 0.000$) frente a 8 y 5 gramos.

Se determinó que 30 °C representa la condición térmica más propicia para maximizar la biodegradación del polietileno de baja densidad por larvas *Plagiohammus maculosus* Bates en laboratorio; la prueba HSD de Tukey mostró diferencias significativas ($p = 0.000$) respecto a 25 °C y 20 °C

Se determinó que 72 horas es el tiempo más adecuado para maximizar la biodegradación del polietileno de baja densidad por larvas *Plagiohammus maculosus* Bates en laboratorio, la prueba HSD de Tukey mostró diferencias significativas ($p = 0.000$) respecto a 48 y 24 horas.

Se determinó que el mayor porcentaje de biodegradación (53,53%) del polietileno de baja densidad por larvas *Plagiohammus maculosus* Bates se alcanzó con 10 gramos, a 30 °C y en 72 horas bajo condiciones de laboratorio; el porcentaje de biodegradación aumenta con la cantidad de larvas, el tiempo y la temperatura.

El análisis del microbiota endógeno en *Plagiohammus maculosus* Bates evidenció una predominancia de bacterias gramnegativas, claves en la biodegradación del polietileno de baja densidad, destacando su potencial como agentes biotecnológicos para la biorremediación.

RECOMENDACIONES

Se recomienda a las instituciones públicas y ambientales fomentar el estudio y aplicación de especies nativas como *Plagiohammus maculosus* Bates en programas de gestión de residuos plásticos. Asimismo, las universidades deben impulsar líneas de investigación sobre alternativas biológicas viables para la biorremediación de materiales sintéticos.

A los investigadores se les sugiere considerar la dosis de 10 gramos como estándar en futuros estudios experimentales de biodegradación con larvas, evaluando su eficacia en diferentes tipos de polímeros. Las instituciones educativas podrían replicar estos ensayos en laboratorios de docencia para fortalecer competencias investigativas en estudiantes.

Se recomienda a las universidades y centros de investigación implementar controles térmicos adecuados en sus experimentos de biodegradación, tomando como referencia los 30 °C como temperatura óptima. A las entidades estatales se les sugiere apoyar la infraestructura para laboratorios con capacidad de similares condiciones térmicas controladas.

Los investigadores deben considerar el período de 72 horas como el intervalo mínimo eficiente para la acción biodegradadora de estas larvas en LDPE. Las universidades podrían utilizar este tiempo de exposición como base para ensayos comparativos con otros agentes biorremediadores en proyectos de pregrado y posgrado.

Se recomienda a las entidades públicas y privadas interesadas en gestión de residuos explorar el potencial de esta larva como agente biorremediador, dado su rendimiento del 53.53% en condiciones óptimas. Las universidades podrían desarrollar proyectos piloto que apliquen estos resultados a pequeña escala en ambientes naturales o urbanos controlados.

Se recomienda a los investigadores centrarse en el aislamiento, identificación y análisis funcional de las bacterias gramnegativas presentes en el microbiota de *Plagiohammus maculosus* Bates, dado su rol clave en la biodegradación del LDPE. Las universidades deben integrar cursos o módulos de microbiología aplicada y biotecnología ambiental en sus programas formativos para potenciar este campo de estudio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anunciado, M., Hayes, D., Astner, F., Wadsworth, L. C., Cowan-Banker, C. D., Gonzalez, J. E. L. y., & DeBruyn, J. M. (2021). Effect of Environmental Weathering on Biodegradation of Biodegradable Plastic Mulch Films under Ambient Soil and Composting Conditions. *Journal of Polymers and the Environment*, 29(9), 2916–2931. <https://doi.org/10.1007/s10924-021-02088-4>
- Arotoma, F., Apacclla, A., Sánchez, V. G., Saldaña, J., y Enríquez Quispe, J. D. (2021). Biodegradación del polietileno de baja densidad con staphylococcus sp. aislado del botadero de ascensión –Huancavelica. *Revista De investigación científica Siglo XXI*, 1(1), 30–39. <https://doi.org/10.54943/rcsxxi.v1i1.8>
- Ávila, L. (2005). Impacto agronómico del daño causado por el barrenador del tallo del cafeto (*Plagiohammus maculosus* Bates) en el municipio de Santa Cruz Naranja del departamento de Santa Rosa, Guatemala. Tesis. Fitotecnia. Guatemala: Universidad de San Carlos. <https://fausac.usac.edu.gt/tesario/tesis/T-02377.pdf>
- Arias, J. (2017). Metodología de la investigación: Un enfoque práctico. Ediciones Unisalle.
- Barrera, J., Herrera, J., Villalobos y J., Gómez, B. (2004). El barrenador del tallo y la raíz del café. Una plaga silenciosa. Proyecto Manejo Integrado de Plagas, folleto técnico No. 9. El Colegio de la Frontera Sur ECOSUR, Tapachula, Chiapas, Mexico
- Barrera, J. (2008). Atlas de insectos de interés agrícola en cafetales del Soconusco y Sierra de Chiapas. Ecosur. El Colegio de la Frontera Sur, Tapachula, Chiapas, México.
- Bilbao, A. (2015). Desengancharse del plástico problemas de un material ubicuo. *Ecologistas en acción*, 8. <http://ecologistasenaccion.org/article21000.html>
- Butron, S. (2022). Capacidad de biodegradación de pseudomonas aeruginosa frente al polietileno de baja densidad. *Revista de Investigaciones*, 9(3), 134–147. <https://doi.org/10.26788/riepg.v9i3.2027>
- Cai, Z., Li, M., Zhu, Z., Wang, X., Huang, Y., Li, T., Gong, H., & Yan, M. (2023). Biological Degradation of Plastics and Microplastics: A Recent Perspective on Associated Mechanisms and Influencing Factors. *Microorganisms*, 11(7), 1661. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11071661>

- Chin, K., Sam, S., Ong, H. L., Wong, Y., & Tan, W. (2022). Biodegradation improvement of bioinspired crosslinked and noncrosslinked polyvinyl alcohol nanocomposites with cellulose nanocrystals extracted from rice straw through natural soil burial exposure. *Polymer Composites*. <https://doi.org/10.1002/pc.26757>
- Constantino, L., Benavides, M. & Esteban, J. (2014). Description of a new species of coffee stem and root borer of the genus *Plagiohammus* from Colombia (Coleoptera:Cerambycidae: Lamiinae), with a key to the Neotropical species. *Insecta Mundi*, 337:1-21.
- Constantino C. y Benavides, M. (2015) El barrenador del tallo y la raíz del café, *Plagiohammus colombiensis*. *Revista Cenicafé* 66(1): 17-24.
- Dey, A., Bose, H., Mohapatra, B., & Sar, P. (2020). Biodegradation of Unpretreated Low-Density Polyethylene (LDPE) by *Stenotrophomonas* sp. and *Achromobacter* sp., Isolated From Waste Dumpsite and Drilling Fluid. *Frontiers in Microbiology*, 11. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.603210>
- Flores, R. (2019). *Polímeros sintéticos y sus aplicaciones industriales*. México: Editorial TecnoPlast.
- Geyer, R., Jambeck, J., & Law, K. L. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances*, 3(7), e1700782. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1700782>
- Gómez, A. y Rodríguez, C. (2020). *Química de materiales plásticos: Propiedades y usos industriales*. Madrid: Editorial Científica Global.
- González, M. (2018). *Métodos y técnicas de investigación* (2ª ed.). Editorial Universitaria.
- Harshvardhan, S., et al. (2018). Biodegradation of polyethylene by microbial and fungal consortium. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 15(4), 705-710. <https://doi.org/10.1007/s13762-017-1387-9>
- He, Y., Deng, X., Jiang, L., Hao, L., Shi, Y., Lyu, M., Zhang, L., & Wang, S. (2024). Current advances, challenges and strategies for enhancing the biodegradation of plastic waste. *Science of The Total Environment*, 906, 167850. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167850>
- Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación*. McGraw-Hill.

- Horna, M. (2020) Eficiencia de la larva *Alphitobius diaperinus* para la biodegradación del polietileno de baja densidad y el poliestireno expandido. Tesis Ingeniería Ambiental. Perú: Universidad César Vallejo. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/48474?show=full>
- Hopewell, J., Dvorak, R., & Kosior, E. (2020). Plastics recycling: challenges and opportunities. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1526), 2115–2126. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0311>
- Kumari, P., et al. (2018). Microbial degradation of plastics: A review. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(33), 33223-33239. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2892-9>
- López, G., & Rivera, L. (2021). Políticas públicas para la reducción del plástico en Perú: Avances y desafíos. *Revista de Políticas Ambientales*, 18(1), 45-60
- Martínez, J. (2021). *Tecnología de polímeros: Procesos y sostenibilidad*. Barcelona: Editorial Polímeros Sustentables.
- Martínez, J., y Rodríguez, P. (2023). *Métodos y técnicas de recolección de datos en ciencias sociales*. Editorial Académica.
- Mier, M., Reyes-Lomelí, K., Mata-Guadarrama, M., López-Callejas, R., & Rojas-Valencia, M. N. (2023). Biodegradation of polyethylene, biodegradable-polyethylene bags and corn residues using *Tenebrio molitor* larvae. *South Florida Journal of Development*, 4(5), 2197–2208. <https://doi.org/10.46932/sfjdv4n5-029>
- Ministerio del Ambiente (MINAM). (2022). Informe sobre gestión de residuos plásticos en Perú
- MundoPlast. (2018). La producción mundial de plásticos creció un 3,16% en 2018. MundoPlast. https://mundoplast.com/produccion-plasticos2018/?fbclid=IwAR2mDOKUAqDhABjd0GWTxMr0bC1f8j4UwF_LvgPdIbCagRC7fYTyRYs_Vfl
- Oceana. (2024). Contaminación por plásticos en Perú. Recuperado de peru.oceana.org
- PlasticsEurope. (2021). *Plastics - the facts 2021: An analysis of European plastics production, demand and waste data*. PlasticsEurope. <https://plasticseurope.org/>
- Peng, B., Li, Y., Fan, R., Chen, Z., Chen, J., Brandon, A., Criddle, C. S., Zhang, Y., & Wu, W.-M. (2020). Biodegradation of low-density polyethylene and polystyrene in superworms, larvae of *Zophobas atratus* (Coleoptera: Tenebrionidae): Broad

- and limited extent depolymerization. *Environmental Pollution*, 266, 115206. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115206>
- Ponce, J., y Fernández, M. (2022). Impacto del plástico de un solo uso en el medio ambiente marino en Perú. *Revista de Investigación Ambiental*, 15(2), 102-118.
- Poma, O., Ricce, B., Beraún, J., Perez, J., Fernandez, H., & Soria, J. (2022). Biodegradation of Low-Density Polyethylene—LDPE by the Lepidopteran *Galleria Mellonella* Reusing Beekeeping Waste. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 10. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2022.915331>
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP). (2018). Plásticos de un solo uso: una hoja de ruta para la sostenibilidad. unep.org
- Ravi, K., et al. (2019). Plastic waste degradation by microbial intervention: A promising strategy for the management of environmental plastic pollution. *Journal of Environmental Management*, 247, 779-788. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.06.086>
- Ritzen, L., Sprecher, B., Bakker, C., & Balkenende, R. (2023). Bio-based plastics in a circular economy: A review of recovery pathways and implications for product design. *Resources, Conservation and Recycling*, 199, 107268. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2023.107268>
- Rivas, M., González, R., & Martínez, A. (2023). Microorganismos para la biodegradación de plásticos: Potencial y perspectivas. *BioEnvironmental Sciences*, 34(3), 145-157. <https://doi.org/10.8765/bes2023>
- Salazar, D., & Muñoz, A. (2023). Retos y oportunidades en la economía circular en Perú: Gestión de residuos plásticos. *Revista de Economía Sostenible*, 22(3), 34-50.
- Sánchez, M., y Mejía, L. (2020). *Fundamentos de investigación educativa*. Editorial Académica.
- Sánchez, L. (2022). *Materiales plásticos y su impacto ambiental*. Bogotá: Editorial EcoCiencia.
- Sánchez, D. (2020). *Investigación cuantitativa y cualitativa: Bases y aplicaciones*. Editorial Universitaria.
- Shilpa, Basak, N. & Meena, S.S. Microbial biodegradation of plastics: Challenges, opportunities, and a critical perspective. *Front. Environ. Sci. Eng.* 16, 161 (2022). <https://doi.org/10.1007/s11783-022-1596-6>

- Silva, R., Marques, C., Arruda, T., Teixeira, S., & de Oliveira, T. (2023). Biodegradation of Polymers: Stages, Measurement, Standards and Prospects. *Macromol*, 3(2), 371–399. <https://doi.org/10.3390/macromol3020023>
- Sikorska, W., Musioł, M., Zawidlak-Węgrzyńska, B., & Rydz, J. (2021). End-of-Life Options for (Bio)degradable Polymers in the Circular Economy. *Advances in Polymer Technology*, 2021, 1–18. <https://doi.org/10.1155/2021/6695140>
- Singh Jadaun, J., Bansal, S., Sonthalia, A., Rai, A. K., & Singh, S. P. (2022). Biodegradation of plastics for sustainable environment. *Bioresource Technology*, 347, 126697. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.126697>
- Tournier, C., et al. (2003). Biodegradation of polyethylene: The influence of environmental conditions on the microbial activity involved in the degradation of polyolefins. *Applied and Environmental Microbiology*, 69(6), 3533-3541.
- Vijaya, C., & Mallikarjuna, R. (2008). Impact of soil composting using municipal solid waste on biodegradation of plastics. *Indian Journal of Biotechnology*, 7, 235–239. 75
- Wijnand, W., & Bigaud, N. (2019). Evaluación de la ingestión humana de plásticos presentes en la naturaleza *Naturaleza sin Plástico*: 1–9. http://d2ouvy59p0dg6k.cloudfront.net/downloads/analsis_de_estudio_de_ingestion.pdf
- Yates, M. R., & Barlow, C. Y. (2020). Life cycle assessments of biodegradable, commercial biopolymers—A critical review. *Resources, Conservation and Recycling*, 78, 54–66. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2013.07.006>
- Zeenat, Elahi, A., Bukhari, D. A., Shamim, S., & Rehman, A. (2021). Plastics degradation by microbes: A sustainable approach. *Journal of King Saud University - Science*, 33(6), 101538. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2021.101538>

ANEXOS

Anexo N° 01. Matriz de consistencia

Formulación del problema	Objetivos	Hipótesis	Técnica e Instrumentos
<p>Problema general ¿En qué medida la utilización de la larva <i>Plagiohammus maculosus</i> Bates, biodegrada el polietileno de baja densidad, bajo condiciones de laboratorio?</p> <p>Problemas específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • ¿Cuál es la cantidad adecuada de la larva <i>Plagiohammus maculosus</i> Bates para la biodegradación del polietileno de baja densidad, bajo condiciones de laboratorio? • ¿Cuál es el tiempo y temperatura óptima que requieren la larva <i>Plagiohammus maculosus</i> Bates para la biodegradación del polietileno de baja densidad, bajo condiciones de laboratorio? • ¿Cuál es la eficiencia de biodegradación de la larva <i>Plagiohammus maculosus</i> Bates (barrenador del tallo), para la biodegradación del polietileno de baja densidad, bajo condiciones de laboratorio? • ¿cuál es la composición de la microbiota endógena presente en tracto digestivo de la larva <i>Plagiohammus maculosus</i> bates? 	<p>Objetivo general Evaluar la biodegradación de polietileno de baja densidad, mediante la utilización de la larva del coleóptero <i>Plagiohammus maculosus</i> Bates (barrenador del tallo), bajo condiciones de laboratorio</p> <p>Objetivos específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Determinar la eficiencia de biodegradación de la larva <i>Plagiohammus maculosus</i> Bates, para la biodegradación del polietileno de baja densidad, bajo condiciones de laboratorio. • Determinar la cantidad adecuada de la larva <i>Plagiohammus maculosus</i> Bates, para la biodegradación del polietileno de baja densidad, bajo condiciones de laboratorio. • Determinar el tiempo y temperatura óptima que requieren <i>Plagiohammus maculosus</i> Bates para la biodegradación del polietileno de baja densidad, bajo condiciones de laboratorio. • Analizar el microbiota endógena presente en tracto digestivo de la larva <i>Plagiohammus maculosus</i> bates 	<p>Hipótesis general H0. El uso de la larva del <i>Plagiohammus maculosus</i> Bates (barrenador del tallo), no permite la biodegradación del polietileno de baja densidad. H1: El uso de la larva <i>Plagiohammus maculosus</i> Bates permite la biodegradación del polietileno de baja densidad.</p>	<p>Técnica La técnica que se utilizará es la observación, puesto que se hará uso de los sentidos para la obtención de datos mediante una ficha de observación intencionada e ilustrada con un objetivo determinado y guiada por un cuerpo de conocimiento.</p> <p>Instrumentos Se tendrá como instrumento la ficha de Registro de biodegradación de polietileno de baja densidad; este instrumento se aplicará para observar el peso de la biodegradación del polietileno de baja densidad.</p>

Diseño de investigación	Población y muestra	Variables y dimensiones							
La investigación presenta un diseño factorial triple	<p>Población En la presente investigación tendrá como población todas las bolsas plásticas (Polietileno de baja densidad).</p> <p>Muestra En la presente investigación la muestra será un total de 1350 gramos de polietileno de baja densidad.</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th data-bbox="1272 264 1429 300">Variables</th> <th data-bbox="1440 264 1641 300">Dimensiones</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="1272 308 1429 483">Eficiencia de larva Plagiohammus maculosus Bates</td> <td data-bbox="1440 308 1641 483">Condiciones de aplicación Eficiencia de la larva</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1272 491 1429 571">Biodegradación de polietileno de baja densidad</td> <td data-bbox="1440 491 1641 571">Biodegradación</td> </tr> </tbody> </table>	Variables	Dimensiones	Eficiencia de larva Plagiohammus maculosus Bates	Condiciones de aplicación Eficiencia de la larva	Biodegradación de polietileno de baja densidad	Biodegradación	
Variables	Dimensiones								
Eficiencia de larva Plagiohammus maculosus Bates	Condiciones de aplicación Eficiencia de la larva								
Biodegradación de polietileno de baja densidad	Biodegradación								

Anexo N° 02. Ficha de observación - Instrumento de recolección de datos

Repetición	Cantidad de larvas	Tiempo de biodegradación	Temperatura	Peso Inicial (gr)	Peso final (gr)	Promedio	Eficiencia (%)
1	5 gramos	24 Horas	20 °C	20	19.23	19.3823333	3.08833
2			20 °C	20	19.44		
3			20 °C	20	19.48		
1			25 °C	20	18.95	18.83	5.83333
2			25 °C	20	18.80		
3			25 °C	20	18.75		
1			30 °C	20	18.10	18.15	9.25000
2			30 °C	20	18.15		
3			30 °C	20	18.20		
1		48 Horas	20 °C	20	19.10	18.9616667	5.19167
2			20 °C	20	18.78		
3			20 °C	20	19.01		
1			25 °C	20	18.10	17.75	11.25000
2			25 °C	20	18.05		
3			25 °C	20	17.10		
1			30 °C	20	16.90	17.0666667	14.66667
2			30 °C	20	16.80		
3			30 °C	20	17.50		
1		72 Horas	20 °C	20	18.76	18.72	6.40000
2			20 °C	20	18.50		
3			20 °C	20	18.90		
1			25 °C	20	17.10	16.8833333	15.58333
2			25 °C	20	16.80		
3			25 °C	20	16.75		

1			30 °C	20	16.20		
2			30 °C	20	15.90		
3			30 °C	20	15.80	15.9666667	20.16667
1	8 gramos	24 Horas	20 °C	20	18.20		
2			20 °C	20	18.30		
3			20 °C	20	17.75	18.0833333	9.58333
1			25 °C	20	15.80		
2			25 °C	20	15.76		
3			25 °C	20	16.10	15.8866667	20.56667
1			30 °C	20	14.35		
2			30 °C	20	14.15		
3			30 °C	20	14.10	14.2	29.00000
1		48 Horas	20 °C	20	16.20		
2			20 °C	20	16.34		
3			20 °C	20	16.10	16.2133333	18.93333
1			25 °C	20	14.20		
2			25 °C	20	15.13		
3			25 °C	20	14.98	14.7706667	26.14667
1			30 °C	20	13.20		
2			30 °C	20	12.60		
3			30 °C	20	12.15	12.65	36.75000
1		72 Horas	20 °C	20	15.40		
2			20 °C	20	14.30		
3			20 °C	20	14.20	14.6333333	26.83333
1	25 °C		20	13.10			
2	25 °C		20	13.50			
3	25 °C		20	12.78	13.1266667	34.36667	
1	30 °C		20	12.10			
2	30 °C	20	11.80	11.95	40.25000		

3			30 °C	20	11.95			
1	10 gramos	24 Horas	20 °C	20	17.76	17.1866667	14.06667	
2			20 °C	20	17.60			
3			20 °C	20	16.20			
1			25 °C	20	14.20	14.15	29.25000	
2			25 °C	20	14.45			
3			25 °C	20	13.80			
1			30 °C	20	12.40	12.6733333	36.63333	
2			30 °C	20	12.87			
3			30 °C	20	12.75			
1		48 Horas	20 °C	20 °C	20	15.80	15.3333333	23.33333
2				20 °C	20	15.30		
3				20 °C	20	14.90		
1			25 °C	20	13.40	13.2166667	33.91667	
2			25 °C	20	13.05			
3			25 °C	20	13.20			
1			30 °C	20	10.10	10.9	45.50000	
2			30 °C	20	11.80			
3			30 °C	20	10.80			
1		72 Horas	20 °C	20 °C	20	14.80	14.5833333	27.08333
2				20 °C	20	14.75		
3				20 °C	20	14.20		
1			25 °C	20	11.80	11.4833333	42.58333	
2			25 °C	20	11.45			
3			25 °C	20	11.20			
1			30 °C	20	9.23	9.2933333	53.53333	
2			30 °C	20	9.75			
3			30 °C	20	8.90			

Anexo N° 03. Prueba de tukey

Prueba de tukey para determinar cantidad adecuada

Cantidad adecuada (peso)

HSD Tukey^{a,b}

Dosis	N	Subconjunto		
		1	2	3
10 gramos	27	13,2022		
8 gramos	27		14,6126	
5 Gramos	27			17,9685
Sig.		1,000	1,000	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática(Error) = ,207.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 27,000.

b. Alfa = 0.05.

Prueba de tukey para determinar condiciones térmicas propicias

Temperatura

HSD Tukey^{a,b}

Temperatura	N	Subconjunto		
		1	2	3
30 °C	27	13,6500		
25 °C	27		15,1222	
20 °C	27			17,0111
Sig.		1,000	1,000	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática(Error) = ,207.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 27,000.

b. Alfa = 0.05.

Prueba de tukey para determinar tiempo óptimo

Tiempo

HSD Tukey^{a,b,c}

Tiempo	N	Subconjunto		
		1	2	3
72 horas	30	14,0123		
48 horas	24		15,4225	
24 horas	27			16,5052
Sig.		1,000	1,000	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática(Error) = ,207.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 26,777.

b. Los tamaños de grupo no son iguales. Se utiliza la media armónica de los tamaños de grupo. Los niveles de error de tipo I no están garantizados.

c. Alfa = 0.05.

Anexo N° 04. Fichas de validación de instrumentos



FICHA DE VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN JUICIO DE EXPERTOS

I. DATOS GENERALES

- 1.1 APELLIDOS Y NOMBRES : López Chávez, Samuel
 1.2 GRADO ACADÉMICO : Msc. en ciencias mención en gestión ambiental
 1.3 INSTITUCIÓN QUE LABORA : OTASS- Moyobamba
 1.4 TÍTULO DE INVESTIGACIÓN : Biodegradación del polietileno de baja densidad, mediante la utilización del coleóptero *Plagiohammus maculosus* Bates, bajo condiciones de laboratorio, Moyobamba – 2021
 1.5 AUTOR DE INSTRUMENTO : Omar Jesús Quintana Canlla
 1.6 CARRERA : Ingeniería Ambiental
 1.7 NOMBRE DEL INSTRUMENTOS : Ficha de observación de registro de biodegradación de polietileno de baja densidad
 1.8 CRITERIOS DE APLICABILIDAD:
 d) De 01 a 09: (No valido, reformular) d) De 16 a 18: (Valido, precisar)
 e) De 10 a 12: (No valido, modificar) e) De 19 a 20: (Valido, aplicar)
 f) De 13 a 15: (Valido, mejorar)

II. ASPECTOS A EVALUAR

INDICACIONES DE EVALUACIÓN DEL INSTRUMENTO	CRITERIOS CUALITATIVOS Y CUANTITATIVOS	Deficiente (01-09)	Regular (10-12)	Bueno (13-15)	Muy Bueno (16-18)	Excelente (19-20)
		01	02	03	04	05
1. CLARIDAD	Está formulado con lenguaje apropiado					X
2. OBJETIVIDAD	Está expresado con conductas observables				X	
3. ACTUALIDAD	Adecuado al avance de la ciencia y la tecnología					X
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización y lógica				X	
5. SUFICIENCIA	Comprende los aspectos en calidad y cantidad					X
6. INTENCIONALIDAD	Adecuado para evaluar los aspectos de estudio					X
7. CONSISTENCIA	Basado en el aspecto teórico científico y del tema de estudio					X
8. COHERENCIA	Entre las variables, dimensiones e indicadores					X
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde al propósito del estudio					X
10. CONVENIENCIA	Genera nuevas pautas para la investigación y construcción de teorías					X
Sub Total					8	40
Total						48

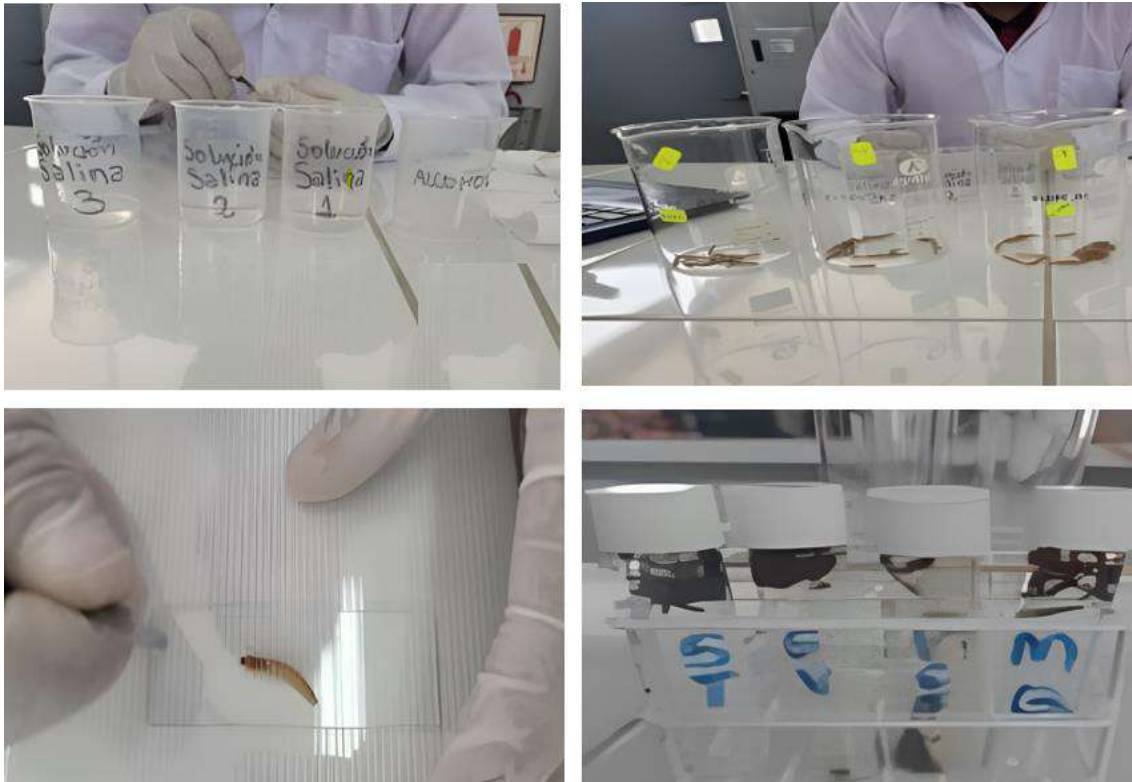
VALORACIÓN CUANTITATIVA (Total x 0.4) : 19.2
 VALORACIÓN CUALITATIVA : Excelente
 CRITERIO DE APLICABILIDAD : Valido, aplicar

Lugar y fecha: Moyobamba, 04 de marzo de 2020

ANAQUÍMICOS SERVICIOS GENERALES S.R.L.


 Ing. Samuel López Chávez
 CIP: N° 140074
 TITULAR GERENTE

Anexo N° 05. Galería fotográfica**Fotografía 1.** Proceso de construcción de invernars e instalación de termostato**Fotografía 2.** Proceso de constatación de temperatura**Fotografía 3.** Proceso de biodegradación de Polietileno de baja densidad



Fotografía 4. Proceso de disección para la obtención de tracto digestivo de la larva

Omar Jesús Quintana Canlla

Eficiencia de la larva *Plagiohammus maculosus* bates en la biodegradación de polietileno de baja densidad, bajo condicio...

 Revisión Repositorio Institucional de la UNSM

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid::3117:488006732

Fecha de entrega

28 ago 2025, 11:33 GMT-5

Fecha de descarga

28 ago 2025, 11:36 GMT-5

Nombre del archivo

MAEST.-GEST.AMB. -Omar Jesús Quintana Canlla 28.08.25.pdf

Tamaño del archivo

1.5 MB

68 páginas

16.460 palabras

97.247 caracteres




15% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Texto mencionado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

- 11%  Fuentes de Internet
- 3%  Publicaciones
- 12%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.