



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**Revisión sistemática y metaanálisis sobre la aplicación de
bacterias para la biodegradación de plásticos**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Ambiental

AUTOR:

López Ramos, Yeser Dieguer (ORCID: 0000-0003-0506-505X)

ASESOR:

Dr. Castañeda Olivera, Carlos Alberto (ORCID: 0000-0002-8683-5054)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Tratamiento y Gestión de los Residuos

LIMA – PERÚ

2021

Dedicatoria

A Dios, por guiarme, protegerme y permitirme realizar los objetivos trazados.

Mi madre, mi fortaleza la que me brindó su apoyo incondicional en todo momento.

Mi padre que desde el cielo me brinda su apoyo, ya que en vida me dio todo lo mejor para salir adelante.

A la plana docente por ser los pilares en el proceso de desarrollarme como profesional en la especialidad de Ingeniero Ambiental.

Agradecimiento

A todos los profesores de la especialidad, cuyo esfuerzo y dedicación en cada clase fue primordial para llegar a culminar la carrera.

Al Dr. Carlos Alberto Castañeda Olivera, con la experiencia y conocimiento, nos brindó el asesoramiento requerido para el desarrollo de la presente investigación.

Índice de contenido

Índice de figuras	v
Índice de tablas	vi
Resumen.....	vii
Abstract.....	viii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO.....	4
III. METODOLOGÍA.....	10
3.1.Tipo y diseño de investigación	10
3.3.Población, muestra y muestreo	11
3.4.Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	12
3.5.Validez y confiabilidad de los instrumentos.....	12
3.6.Procedimiento	13
3.6.1. Criterio de inclusión y exclusión.....	15
3.6.2. Fuentes de información	16
3.6.3. Estrategias de búsqueda:	16
3.6.4. Identificación de documentos relevantes.....	17
3.6.5. Evaluación de la calidad	17
3.6.6. Descripción de estudios.....	17
3.7. Análisis de datos	17
IV. RESULTADOS.....	19
V. DISCUSIÓN	54
VI. CONCLUSIONES	58
VII. RECOMENDACIONES.....	59
REFERENCIAS.....	60
ANEXOS	66

Índice de figuras

Figura 1. Tipos de plásticos sintéticos.....	4
Figura 2. Proceso de la degradación y biodegradación del plástico	7
Figura 3. Hidrólisis enzimática del PET por PETasas y MHETasas.....	9
Figura 4. Procedimiento de la revisión sistemática y metaanálisis.....	14
Figura 5. Diagrama de flujo del proceso de selección de los artículos.....	19
Figura 6. Revisión de los tipos de documentos	20
Figura 7. Cantidad de artículos científicos	20
Figura 8. Artículos ubicados en la base de datos WOS y Scopus.....	28
Figura 9. Tipos de bacterias empleadas en la biodegradación de plásticos. ...	29
Figura 10. Países en publicar bacterias biodegradadoras de plásticos	30
Figura 11. Crecimiento bacteriano en la película o polvo de plástico.....	37
Figura 12. Enzimas identificadas en la biodegradación de los plásticos.	41
Figura 13. Principales polímeros biodegradados por las bacterias	45
Figura 14. Reducción de los diferentes tipos de plásticos.....	47
Figura 15. Metaanálisis de la reducción de masas por la actividad bacteriana.....	52

Índice de tablas

Tabla 1. Principales tipos de plásticos utilizados en las actividades.	5
Tabla 2. Cuadro de validación.....	13
Tabla 3. Cadena de Búsqueda para la selección de documentos.....	16
Tabla 4. Calidad metodológica de los estudios seleccionados.....	22
Tabla 5. Características de estudios para la revisión sistemática y metaanálisis.....	24
Tabla 6. Características de bacterias y condición operacional en la biodegradación de plásticos	31
Tabla 7. Características de reducción realizada por las bacterias en la biodegradación de plásticos	38
Tabla 8. Proceso de la biodegradación de los plásticos por la actividad bacteriana	42
Tabla 9. Aplicación de aditivos en algunos estudios para la mejora de la reducción de la masa polimérica	49
Tabla 10. Uso de diferentes aditivos o consorcios bacterianos para la mejora en la biodegradación de los plásticos por parte de las bacterias.	50

Resumen

La acumulación de los residuos plásticos es una problemática que afecta los ecosistemas terrestres y marinos además de alterar la calidad de vida de los humanos. La investigación tuvo como finalidad evaluar mediante una revisión sistemática y metaanálisis la biodegradación de los plásticos utilizando diversas especies de bacterias. El estudio fue de enfoque cuantitativo, tipo aplicado, diseño no experimental de revisión documental y nivel descriptivo. Se recopilaron 502 estudios de las bases de datos Scopus y Web of Science, en el periodo de enero de 2012 hasta septiembre de 2021. Los resultados mostraron que la bacteria *Pseudomona sp.* biodegradó en 1.8% el polietileno de baja densidad (LDPE), mientras que la *Pseudomona AK31* redujo la masa del poliestireno (PS) en 19.9%. Respecto al crecimiento colonial, un consorcio bacteriano tuvo un crecimiento de $1.9E+06$ CFU/mL y la bacteria *Bacillus paralicheniformis* de $6E+5$ CFU/mL, ambas en películas poliuretano durante 30 días. Se concluye que las cepas bacterianas pueden biodegradar los plásticos y para la evaluación es necesario conocer su población bacteriana y la reducción de masa del polímero.

Palabras claves: plástico, biodegradación, bacteria, revisión sistemática, metaanálisis

Abstract

The accumulation of plastic waste is a problem that affects terrestrial and marine ecosystems in addition to altering the quality of life in humans. The purpose of this research was to evaluate, through a systematic review and meta-analysis, the biodegradation of plastics using different species of bacteria. The study had a quantitative approach, applied type, non-experimental design of documentary review and descriptive level. A total of 502 studies were collected from Scopus and Web of Science databases, in the period from January 2012 to September 2021. The results showed that *Pseudomona sp.* bacteria biodegraded low-density polyethylene (LDPE) by 1.8%, while *Pseudomona AK31* reduced the mass of polystyrene (PS) by 19.9%. Regarding colonial growth, a bacterial consortium had a growth of 1.9 E+06 CFU/mL and *Bacillus flexus* bacteria of 6 E+5 CFU/mL, both on polyurethane films for 30 days. It is concluded that bacterial strains can biodegrade plastics, and for the evaluation it is necessary to know their bacterial population and the mass reduction of the polymer.

Keywords: plastic, biodegradation, bacteria, systematic review, metanalysis

I. INTRODUCCIÓN

Los plásticos son considerados materiales muy importantes en las actividades cotidianas de la vida humana, debido a sus propiedades fisicoquímicas estables, resistencia y bajos precios. Por ello, son muy utilizados en la elaboración de envasados, sorbetes, bolsas de un solo uso, confección textil, construcción automotriz entre otros (Spina et al., 2020; Oliveira et al., 2021). El plástico tiene diversas aplicaciones sustituyendo al vidrio, la madera, el metal y otros productos, siendo una parte importante en la economía mundial (Urbanek et al., 2020).

La acumulación de residuos plásticos genera impactos negativos en el medio ambiente pues los compuestos poliméricos son resistentes a la degradación y muy persistentes llegando al punto de saturación y generando la contaminación de los suelos, océanos y el aire del planeta (Lee et al., 2021; Amobonye et al., 2020; Prudnikova et al., 2020; Potrykus et al., 2021; Gao and Sun, 2021).

La producción mundial de plásticos aumentó en los últimos 70 años. En el año 2019, Europa ha superado los 58 millones de toneladas (Plastic Europe, 2020). En general los países que generan mayor contaminación con estos residuos son Estados Unidos, Egipto, Alemania, Rusia, China, Indonesia, Filipinas, Vietnam y Sri Lanka (Taghavi et al., 2020; Skariyachan et al., 2021). La humanidad ha producido más de 6.000 millones de toneladas métricas de plásticos, de las cuales solo el 9% se recicla (Lee y Kim, 2010). Si este indicador se mantiene, en el 2050 habrá alrededor de 96.000 millones de toneladas de residuos plásticos (Gunawan et al., 2020; (Mongili et al., 2021).

En el Perú, el uso constante de envases descartables genera al año aproximadamente 947 mil toneladas de residuos sólidos, de los cuales el 56% son acumulados en rellenos sanitarios, el 43.7% en botaderos y solo el 0,3% de estos materiales plásticos son procesados por los municipios (MINAM, 2016). Una persona, aproximadamente usa 6 mil bolsas por minuto, 30 kilos de plástico por día y al año se acumulan alrededor de 3 mil millones de bolsas plásticas. En Lima Metropolitana y en el Callao se generan 886 toneladas de residuos

plásticos al día, representando el 46% de residuos a nivel nacional (MINAM, 2016).

Ante esta problemática, diversos estudios muestran el uso de bacterias como una posible solución para la biodegradación de plásticos. Entre estos microorganismos estudiados destacan las bacterias como el *Arthrobacter* sp., *Pseudomonas* sp., *Thermobifida fusca*, *Ideonella sakaiensis* que biodegradan plásticos PET de alta densidad (Lee and Kim, 2010; Kumar et al., 2021). Cepas de *Pseudoxanthomonas* sp. NyZ600 que biodegrada el policarbonato de bisfenol-A(PC) (Yue et al., 2021). Procariotas como *Alcanivorax* y *Marinobacter*, biodegradadoras de polietileno (PE) y polipropileno (PP) (Cappello et al., 2021; Song et al., 2020; Hasse Gracioso et al., 2021) *Paenibacillus* y *Corynebacterium* que biodegradan espumas de poliestireno (EPS) (Peydaei et al., 2021) y la cepa bacteriana AKS31 que biodegradan el poliuretano (PUR) (Roy et al., 2021). La biodegradación de bolsas de polietileno por la bacteria *Alcaligenes faecalis* LNDR-1 (Nag et al., 2021). Estos microorganismos son un campo innovador para la investigación y poder ser aplicado en el control de estos desechos sólidos de tipo sintético.

Las bacterias son organismos procariotas presentes en todo tipo de hábitat marino, terrestre y aéreo. La condición aeróbica y anaeróbica de estos microorganismos como los metanótrofos (productoras de metano) o el grupo de las *Pseudomonas*, son aprovechados en la biodegradación biológica de plásticos sintéticos (Muenmee y Chiemchaisri, 2015). El componente principal de las bacterias son las enzimas que degradan un tipo específico de polímero, incluso estas enzimas pueden sintetizarse en laboratorios para una aplicación en mayor escala para la solución de esta problemática (Pirillo et al., 2021).

En la presente investigación se realizó una revisión sistemática y metaanálisis con la finalidad de recopilar publicaciones científicas y su análisis respectivo, permitiendo obtener información relevante para responder al problema general: ¿Cuál es la eficiencia de la aplicación de bacterias en la biodegradación de los diversos tipos de plásticos entre los años 2012 a septiembre de 2021?, y como problemas específicos: ¿Cuáles son los grupos de bacterias que tienen mayor eficiencia en la biodegradación de los diferentes tipos de plásticos?, ¿Cuáles son las condiciones operacionales que determinan el

proceso de biodegradación de plásticos?, ¿Cuál es la relación entre el crecimiento bacteriano y la reducción de masa de los polímeros en el proceso de biodegradación ?

La investigación desarrollada contribuye a tener una alternativa para el tratamiento de los plásticos que alteran las condiciones de vida de los seres vivos. En el aspecto Ambiental, la aplicación de bacterias en el proceso de biodegradación de plásticos es considerado un método eficaz y aceptado, ya que es un proceso que no genera impactos negativos en el ambiente. En el aspecto económico, el uso de las bacterias, representa costos variables según el desarrollo de la tecnología de un país, pues requieren las prácticas en los laboratorios para realizar diversas pruebas y poder identificar los tipos de bacterias potenciales, así como la síntesis de enzimas efectivas en la biodegradación de plásticos. En el aspecto social se busca una propuesta en el desarrollo de un sistema de gestión ecoeficiente en la reducción de los residuos sólidos para mantener una calidad de vida agradable en las personas.

La presente investigación se plantea como objetivo general: evaluar la efectividad de la aplicación de bacterias en la biodegradación de los diversos tipos de plásticos entre los años 2012 a 2021 y como objetivos específicos están: identificar los grupos de bacterias que tienen mayor eficiencia en la biodegradación de los plásticos; determinar las condiciones operacionales en el proceso de la biodegradación de plásticos por las bacterias y determinar la relación entre el crecimiento bacteriano y la reducción de masa de los plásticos en el proceso de biodegradación

En la investigación se estableció como hipótesis: La aplicación de bacterias es eficiente en la biodegradación de plásticos sintéticos. Se obtuvieron resultados sobre las bacterias más utilizadas en la biodegradación de los diferentes plásticos utilizados por las actividades humanas en estos últimos 10 años.

II. MARCO TEÓRICO

Los plásticos son polímeros producidos a gran escala para las diversas actividades humanas. Se componen de una estructura carbonada en la cual se agregan aditivos químicos, permitiendo que el plástico presente una textura, resistencia a la temperatura, flexibilidad, estabilidad entre otras características (Díaz et al., 2020).

Los plásticos representan una amplia variedad, derivados de diferentes fuentes de carbono como el petróleo, gas natural, bioplásticos entre otros. La producción de estos polímeros se diversifica en dos procesos: la condensación y la polimerización, siendo esta última la más común. **La polimerización** consiste en la reacción de monómeros para formar enlaces químicos y obtener nuevos enlaces (C-C) para generar cadenas largas de gran peso molecular (Krupa and Ali, 2016).

El polietileno (PE), polibutileno (PB) y el propileno (PP) son polímeros derivados de las poliolefinas y estas representan el 60% del total de plásticos producidos (Plastic Europe, 2019); sin embargo, no son los únicos. En la Figura 1 se mencionan los diversos tipos de plásticos presentes en el mercado y sus estructuras químicas correspondientes; de igual manera, en la Tabla 1 se detallan los diversos productos plásticos, utilizados en diversas actividades.

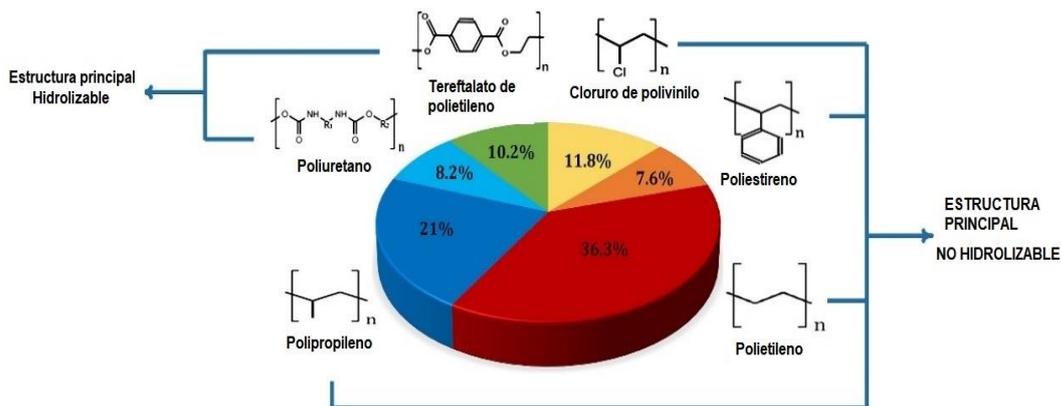


Figura 1: Tipos de plásticos sintéticos (Ali et al. 2021)

El polietileno y polipropileno son los principales polímeros de mayor uso; esto se debe a que son la base de los diferentes productos utilizados en la vida diaria de las personas como: en el hogar, campo industrial, médico, automotor, entre otros.

Tabla 1. Principales tipos de plásticos utilizados en las actividades. (Chen et al., 2021)

Abreviatura	Nombre	Aplicacion
PES	Poliéster	Vestimenta, tapiceria, manguera estación bombera
PP	Polipropileno	Inyectables, muebles de oficina, parachoques
PET	Tereftalato de polietileno	Envases de agua, gaseosa
PU	Poliuretano	Suelos de zapatos, envases
PB	Cis-1,4-polibutadieno	Llantas
PVC	Cloruro de polivinilo	Tuberias
PA	Poliamida	Elaboracion de piezas mecánicas
PS	Poliestireno	Juguetes, embalajes de aparatos, electrodomésticos, botones, hogar, utensilios

Son diversos productos de uso común, cuya materia prima es un polímero diferente (Tabla 1) teniendo al polietileno como componente principal de diversos objetos.

Otro proceso de producción de plásticos es por una reacción de **condensación** formado entre un ácido carboxílico y un grupo alcohol/amina para formar un poliéster, la cual se deriva en un poliuretano, producidos a partir de la condensación de estructuras de isocianato y polioliol (Akindoyo et al.,2016).

La clasificación de los plásticos según sus características térmicas, son dos grupos principales: los termoplásticos y termoestables (Oliveira et al., 2021; Amobonye et al., 2020). **Los termoestables** son plásticos rígidos en el proceso de su elaboración, debido a que sus cambios químicos en altas temperaturas son irreversibles, además su estructura molecular es hetero- atómica y son más propensos a una escisión hidrolítica (Oliveira et al., 2021).Entre los principales termoestables se encuentran: la “baquelita”, la resina de urea-formaldehido, el caucho vulcanizado (utilizados en la mecánica, concreto e industria automóvil),

el polietileno (PE), el poliuretano (PU), el tereftalato de polibutileno (PBT), los nilones, el PP, PS, el PVC. (Donald et al., 2021;Oliveira et al., 2021).

Los termoplásticos presentan un elevado peso molecular, no tienden a cambiar su estructura química al calentarse, por ello pueden ser moldeados muchas veces, conservando sus características iniciales (Kehinde et al., 2020). Estos polímeros son reciclables (salvo para usos alimentarios), ya que son resistentes a la degradación o escisión hidrolítica. Las principales familias de este grupo son el polietileno de baja densidad (LDPE), polietileno de alta densidad (HDPE), polipropileno (PP), poliestireno (PS), tereftalato de polietileno (PET), cloruro de polivinilo(PVC), Acrilonitrilo butadieno estireno(ABS), la poliamida(PI), el polimetilmetacrilato(PMMA), politetrafluoroetileno (PTE) y el cloruro de poli vinilideno (PVDC) (Oliveira et al., 2021; Amobonye et al., 2020; Kehinde et al., 2020).

Los plásticos representan un recurso indispensable en las actividades del ser humano por su gran demanda. Debido a su resistencia y largo tiempo de biodegradación se van acumulando en grandes cantidades, afectando los diferentes espacios ecológicos y perjudicando a los seres vivos que habitan en ello. Estos materiales plásticos son derivados del petróleo, su producción es una fuente de emisión de gases de efecto invernadero (GEI), para el 2050 la producción de materiales plásticos, incrementará la emisión de CO₂, hasta 6,850 Gt. (Mongili et al., 2021)

Khosrovyan y Kahru, (2021) evaluaron la toxicidad de las partículas de plásticos vírgenes (poliamida-virgen) en especies de larvas de *C. riparus*. debido a la exposición de las poliamidas a los rayos uv. Esta reacción generó partículas pequeñas, y la liberación de toxinas que alteran el ciclo vital de estos insectos. De igual manera Pérez et al.(2021) determinaron a través de un modelo de población matriarcal estocástico estructurado que los enredos con redes de pesca, elaborado con material polimérica en los “lobos marinos” *Arctocephalus australis australis* afectarán la población de estos mamíferos en un periodo no menor a 30 años. Ellos manifiestan que se debe de establecer políticas para la conservación y protección de estas especies.

Degradación de plásticos, los plásticos se degradan a través de procesos fisicoquímicos(abióticos) o mediante la biodegradación (bióticos). El primer paso para la degradación son las fuerzas físicas, siguiendo cuatro procesos principales: la foto degradación, la hidrólisis, la degradación termo oxidativa y la biodegradación (Webb et al., 2013). Estas etapas están representadas en la Figura 2; sin embargo, la degradación natural del polímero en el ambiente es muy lento demorando hasta 1000 años en degradarse (Sangeetha Devi et al., 2019).

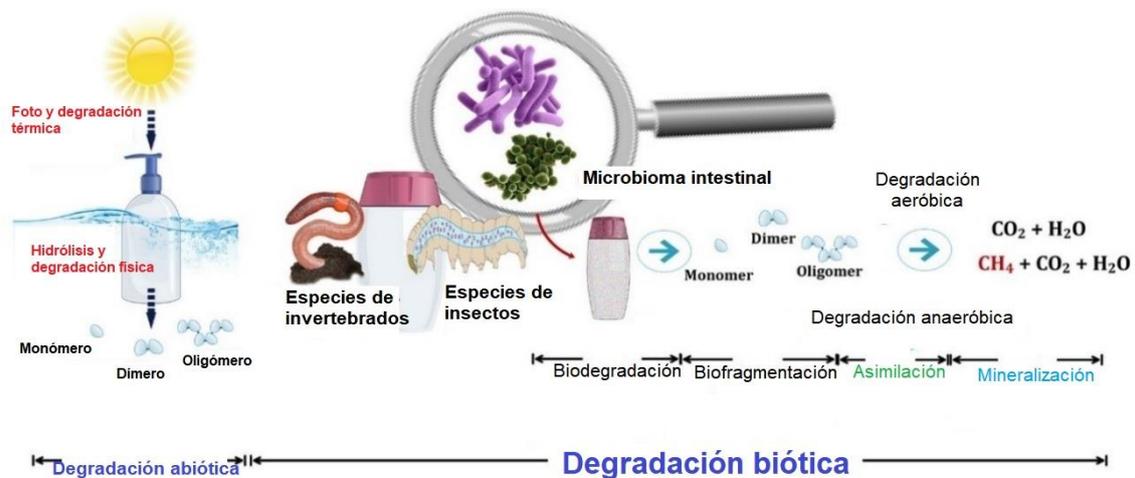


Figura 2. Proceso de la degradación y biodegradación del plástico (Ali et al., 2021).

La biodegradación de los polímeros (Figura 2) es realizada por diferentes seres vivos como lombrices de tierra, larvas de insectos y microorganismos como los hongos y bacterias.

La biodegradación del plástico es el proceso de transformar moléculas de polímeros en biogás y biomasa en ausencia o presencia de oxígeno por organismos de tipo aeróbicos o anaeróbicos (Ali and Sun, 2019; Ali et al., 2021). Estos organismos utilizan los plásticos como fuente de carbono, transformando las largas cadenas de carbono en moléculas más simples, agua y CO_2 (Mir et al., 2017). La biodegradación por medio de bacterias se inicia principalmente por la actividad enzimática, la cual fracciona las cadenas poliméricas en compuestos de menor peso molecular como oligómeros, dímeros y monómeros hasta tener como producto final la mineralización (Ali et al., 2021).

Las Bacterias que metabolizan los plásticos pueden realizarlo de tres maneras: (1) efecto biofísico de crecimiento celular provocados por la resistencia de degradación del plástico; (2) efecto bioquímico de los microorganismos que reaccionan con los polímeros formando sustancias y (3) actividad enzimática de las bacterias para poder descomponer el plástico a través de una reacción oxidativa, en la estructura molecular del plástico (Loredo et al., 2012; Bhardwaj et al., 2013; Kumar and Raut, 2015).

Las bacterias cumplen el papel de biodegradadores de los diferentes tipos de plásticos. Según su naturaleza se destacan bacterias gram negativas como: *Bukholderia*, *Comamonas*, *Pseudomonas* y dentro de las gram positivas destacan: el *Arthrobacter*, *Mycobacterium*, *Rhodococcus*, *Terrabacter* (Benjamin et al., 2015). También se tiene bacterias de ambientes marinos como el filum Proteobacterias (*Alphaproteobacteria* y las *Gammaproteobacteria*), el filum Bacteriodetes (género *Flavobacterium*, *Tenacibaculum*), las familias Firmicutes y Cyanobacterias como representante la especie *Phormidium* (Roager y Sonnenschein, 2019).

Las enzimas son proteínas especializadas cuya función es acelerar una reacción biológica; asimismo, son específicas en el proceso de metabolización de un sustrato. La biodegradación del material plástico por las enzimas extracelulares se debe iniciar con la fragmentación de las cadenas de polímeros (Biundo et al., 2016). Otros factores para la activación enzimática son las condiciones fisicoquímicas del medio (T° y pH) para una mejor actividad microbiana. Al respecto, la enzima mencionada por los diversos autores son las PETasas. Esta enzima es utilizada por las bacterias *Escherichia coli*, *Bacillus subtilis* e *Idenonella sakaiensis*201-F6 (Yoshida et al., 2016). El poder degradativo es eficiente en los plásticos PET; luego de ello los residuos serán utilizados por los microorganismos como fuente de carbono para la obtención de energía y su desarrollo. Un derivado mejorado es la enzima PETasa R280A secretado por la diatomea fotosintética *P.tricornutum* siendo uno de los pocos organismos reportados en investigaciones en condiciones de laboratorio (Moog et al., 2019).

La enzima PETasa (enzima digestora ,EC3.1.1.101) transforma el PET en mono(2-hidroxiethyl) tereftálico (MHET), con trazas de TPA y bis(2-hidroxiethyl)-TPA como productos secundarios, y la enzima MHETasa (enzima que degrada el MHET, EC 3.1.1.102) convierte el MHET en los dos monómeros TPA y EG mencionados en la Figura 3.(Pirillo et al., 2021).

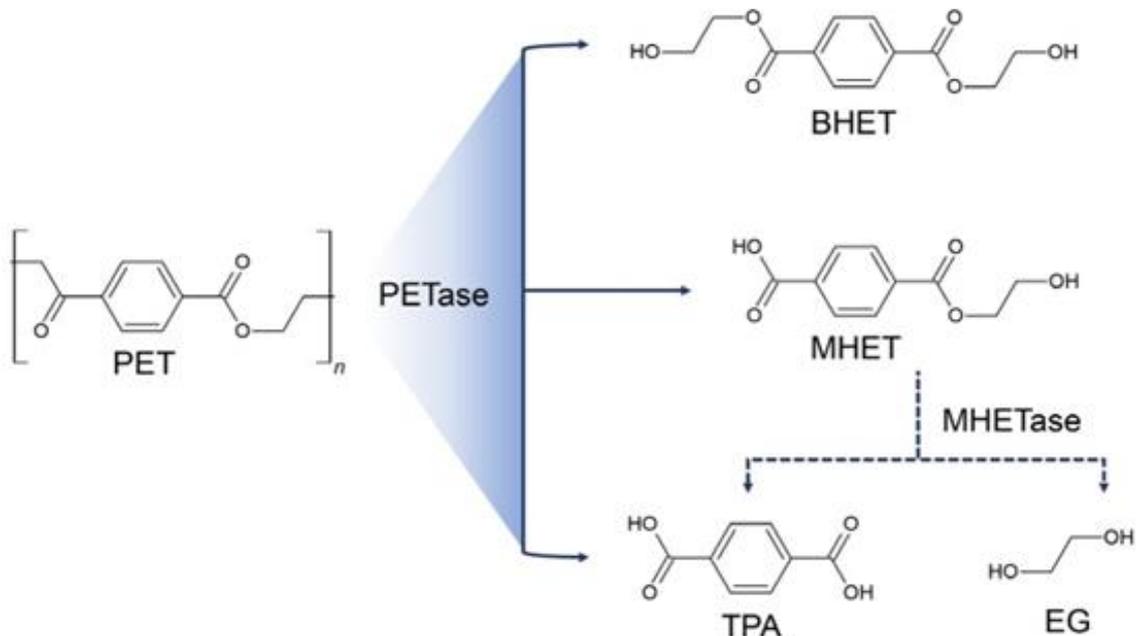


Figura 3. Hidrólisis enzimática del PET por PETasas y MHETasas (Pirillo et al., 2021).

La actividad bacteriana utilizando la enzima PETasa (Figura 3), donde los productos formados por la acción enzimática son residuos más simples y fáciles de poder ser degradados por factores bióticos y abióticos.

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

La investigación de revisión sistemática y metaanálisis sobre la aplicación de bacterias para la biodegradación de plásticos fue de enfoque cuantitativo y de tipo aplicada. Según el Sis International Research (2018), la investigación cuantitativa es un proceso estructural de selección, análisis de datos obtenidos de las diferentes fuentes y para ello se utilizó recursos informáticos, estadísticos y matemáticos para la obtención de resultados.

Esta investigación fue de diseño no experimental. En una investigación de diseño no experimental los fenómenos observados se dan de igual manera que en la realidad, no hay necesidad de que se sometan a una prueba de laboratorio para ser controlados o analizados (Montano, 2017).

El nivel de la investigación fue descriptivo, ya que se determinó el porqué de la aplicación de bacterias en la biodegradación del plástico, también se determinó la relación causa-efecto de las variables independiente y la variable dependiente. Se identificó las técnicas y se evaluaron las consecuencias que existieron. Cahuas, D. (2014) indica que este tipo de estudios va dirigido a la descripción de fenómenos sociales o educativos en circunstancias temporal y espacial determinada.

3.2. Variables y operacionalización

La investigación de revisión sistemática y metaanálisis fue trabajada con variables independiente como dependiente.

- **Variable independiente:** Aplicación de bacterias

Dimensiones:

- Investigaciones
- Tipos de bacterias
- Condiciones operacionales
- Características de reducción

- **Variable dependiente:** Biodegradación de plásticos

Dimensiones:

- Tipo de plástico
- Medio de biodegradación del plástico
- %Reducción de masa del polímero

La matriz de operacionalización de las variables está ubicada en el Anexo 2 donde se detalla la definición de cada variable, las dimensiones e indicadores.

3.3. Población, muestra y muestreo

La población es la agrupación de elementos o individuos con características definidas y accesibles, para poder interpretar en una investigación a partir de una parte de ella (Hernández y Sampieri, 2018). La investigación tuvo como población 502 artículos científicos, revisiones, conferencias entre otros documentos, relacionados al uso de bacterias en la biodegradación de plásticos, para ello se empleó las principales bases de datos como Web of Science y Scopus.

La muestra es una porción de la población que permite obtener resultados para el desarrollo de la investigación (Tamayo,2006). Las muestras fueron los estudios que cumplieron los criterios para la investigación realizada teniendo a 15 artículos analizados por la escala de calidad Newcastle-Ottawa (adaptada para el campo ambiental).

El tipo de muestreo fue aleatorio. Se realizó una revisión profunda sobre la información disponible, utilizando técnicas de rastreo, analítica y de cuantificación documental. Según Otzen y Manterola (2017) mencionan que la función del muestreo es delimitar, qué parte de la población debe ser analizado para realizar inferencias sobre dicha población.

La unidad de análisis fue cada artículo relacionado a la aplicación de bacterias en la biodegradación de plásticos, encontrados en las bases de datos Scopus y Web of Science. Sánchez y Meca (2010) indican que la unidad de análisis es la parte más importante en el proceso de definir el problema de investigación ya que se tomó como objeto específico que sirve para el desarrollo de la investigación.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La técnica utilizada fue a través de un análisis documental de tipo directo (revisión sistemática). Es un procedimiento de recolección y resumen de las evidencias científicas, la cual permitió responder objetivamente las interrogantes planteadas en el proyecto de investigación; posterior a ello, se realizó el metaanálisis que analizó estadísticamente los resultados de las investigaciones seleccionadas de las bases de datos (Scopus y Web of Science) obtenidas con el objetivo de aceptar o rechazar la hipótesis general. Para la recolección y selección de datos se emplearon 4 fichas de registro, que permitieron obtener información relevante para la investigación. Estas fichas son las siguientes:

- Ficha 1: Ficha de recolección de datos
- Ficha 2: Tipos y control operacional de las bacterias biodegradadoras de plásticos
- Ficha 3: Características de reducción por las bacterias en la biodegradación de plásticos
- Ficha 4: Proceso de la biodegradación y reducción en masa de los tipos de plásticos

3.5. Validez y confiabilidad de los instrumentos

Hernández, S. (2010) indica que en una investigación es fundamental la supervisión de los instrumentos, teorías y procedimiento por los expertos y que ellos determinen la aprobación de ello. La validez del instrumento se corroboró por juicio de expertos, en la cual 3 especialistas evaluaron de manera independiente la relevancia y congruencia de los indicadores y la relación con los objetivos planteados, los especialistas se mencionan en la Tabla 2.

Tabla 2. Cuadro de validación

Experto	Especialidad	CIP	Porcentaje de validación (%)				Promedio
			Ficha 1	Ficha 2	Ficha 3	Ficha 4	
Dr. Carlos Alberto castañeda Olivera	Ingeniero metalúrgico	130267	90%	90%	90%	90%	90%
Dr. Eusterio Horacio Acosta Suasnabarr	Ingeniero químico y ambiental	25450	90%	90%	90%	90%	90%
Ing. Saida Margarita Cuadros Oria	Ingeniera agroindustrial	168763	90%	90%	90%	90%	90%
Promedio de valoración							90%

La confiabilidad permite que los expertos evalúen y confirmen que el instrumento sea consistente y relevante para la investigación a desarrollar. Valderrama (2013) menciona que la confiabilidad debe estar sujeta a una evaluación para descartar errores de medición para la recolección de datos.

3.6. Procedimiento

Para el desarrollo de la investigación se realizaron una serie de pasos presentados en la Figura 4, considerando el orden de las actividades, para la selección de los artículos relevantes, la evaluación de la calidad y análisis de la información.

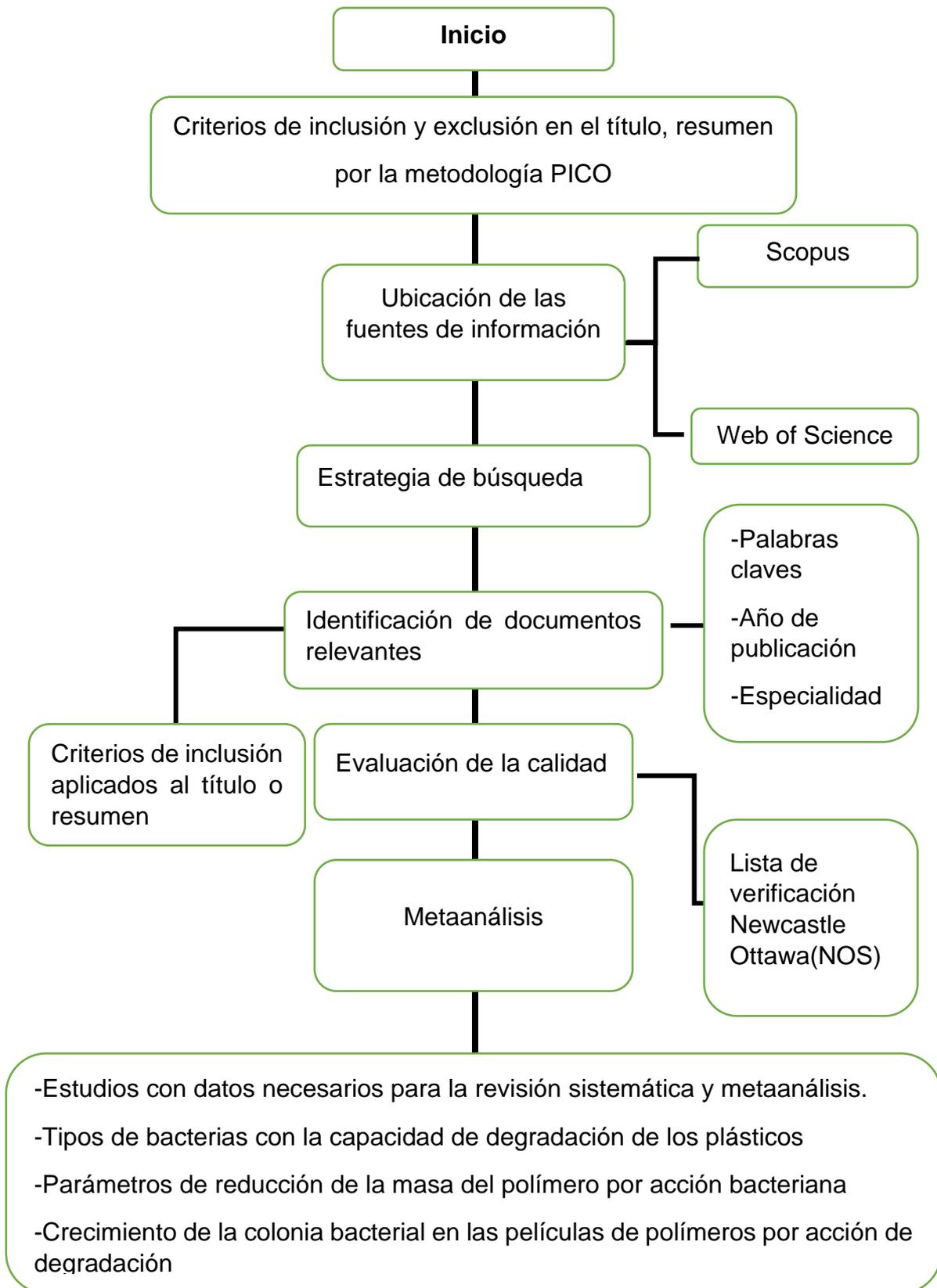


Figura 4. Procedimiento de la revisión sistemática y metaanálisis

La selección de los documentos se realizó bajo una serie de pasos (Figura 4) donde se obtuvo un mejor resultado en la obtención de los 15 artículos para el desarrollo del trabajo de investigación.

3.6.1. Criterios de inclusión y exclusión

Para la investigación de revisión sistemática se utilizaron artículos científicos y reviews con información sobre bacterias que biodegradan los diversos tipos de plásticos. Las investigaciones seleccionadas incluyeron información sobre géneros de bacterias, como los Bacillus, Rhodococcus, Pseudomonas entre otros. Eficaces en la degradación de los diferentes tipos de plásticos como el Polietileno (PE), poliuretano (PU), tereftalato de polibutileno (PBT), polietileno de baja densidad (LDPE), polietileno de alta densidad (HPDE), cloruro de polivinilo (PVC) y el tereftalato de polietileno (PET). También se consideró las condiciones operacionales (tiempo, temperatura, uso de aditivos y pH).

Para una mejor selectividad de los artículos se aplicó la metodología PICO en el análisis de acuerdo a la pregunta de la investigación.

P: Biodegradación de plásticos sintéticos

I: Uso de bacterias degradadoras para la biodegradación del plástico.

C: No aplicar las bacterias en la biodegradación de plásticos

O: Biodegradación de plásticos

Se excluyeron artículos que no incluían información necesaria para la investigación. Se consideraron las palabras claves: plásticos, biodegradación, bacterias, microorganismos, enzimas. Los diferentes artículos de investigación fueron seleccionados en el idioma inglés y la localización geográfica de publicación. Se emplearon herramientas de traducción como el DeepL que permitió facilitar el entendimiento de la información de las publicaciones y poder extraer los datos necesarios. Respecto al tiempo de publicación, se limitó desde enero de 2012 hasta el mes de septiembre de 2021.

3.6.1. Fuente de información

Para la investigación se trabajaron con diversos tipos de documentos como artículos y reviews seleccionadas a partir de las bases de datos confiables Web of Science y Scopus, recursos obtenidos en la plataforma de la Universidad César Vallejo y la Universidad Mayor de San Marcos

3.6.2. Estrategias de búsqueda:

De acuerdo con los artículos revisados para el desarrollo de la investigación, se tomaron en cuenta los límites, criterios de inclusión y exclusión de toda la documentación revisada en la cual se determinó las palabras claves (bacteria, plástico, polímero, enzimas, biodegradación), el periodo de fecha y año de la publicación; así mismo, se estableció una cadena de búsqueda para la filtración de los documentos permitiendo obtener un perfil adecuado de los artículos a escoger. La Tabla 3 indica la cadena de búsqueda utilizada en las bases de datos de mayor relevancia.

Tabla 3. Cadena de Búsqueda para la selección de documentos

Base de datos	Cadena de búsqueda	Artículos
Web of Science	TITLE-ABS-KEY (((bacteria OR bacterium OR bacterial) AND ("plastic biodegradation" OR "biodegradation of plastic" OR "plastic biodegradation" OR "bio-degradation of plastic" OR "plastic degradation" OR "degradation of plastic" OR "plastic biodegradation" OR "biodegradation of plastic" OR "polymer bio-degradation" OR "biodegradation of polymer" OR "polymer degradation" OR "degradation of polymer")))	258
Scopus		244

Según las estrategias de búsqueda utilizadas en distintas bases de datos mencionadas en la Tabla 3, se encontraron un total de 502 documentos para ser seleccionados bajo criterios de exclusión e inclusión.

3.6.3. Identificación de documentos relevantes

Los 502 documentos identificados se realizaron según los resultados de la búsqueda de los artículos; en el cual se resaltaron, las palabras claves (plástico, biodegradación, bacteria y enzimas) en los títulos, resúmenes o abstract; Asimismo, se realizó una evaluación exhaustiva de los estudios seleccionados con el objetivo de obtener la fiabilidad de los datos brindados de cada estudio. Todos los documentos que presentaron una temática semejante a lo que se busca, fueron seleccionados para cumplir con los criterios de inclusión para la extracción y obtención de datos.

3.6.4. Evaluación de la calidad

Se utilizó la lista de verificación llamado Newcastle-Ottawa Quality Assessment Scale for Cohort Studies (NOS) para la valoración de la calidad metodológica de las investigaciones relevantes, en la cual se analizaron tres dimensiones: selección, comparabilidad y resultado. La representatividad indica que la muestra sea representativa en la población de interés, la segunda categoría analiza la comparación de la cohorte expuestos y no expuestos y la categoría 3, se analizó la clasificación del resultado, si se llevó de manera acertada la revisión de los estudios relevantes.

3.6.5. Descripción de estudios

Para cada investigación se describieron a las bacterias biodegradadoras de plásticos según sus dimensiones (tipos de bacterias, respiración, pared celular, condiciones operacionales). Asimismo, se describió la variable independiente uso de bacterias (tipos de bacterias, características en la reducción de masa) y la variable dependiente biodegradación de plásticos (tipo de plástico, medio de reducción y el porcentaje de reducción del peso del plástico).

3.7. Análisis de datos

Se usó el software RevMan5.4.1. (Review manager), muy utilizado en la revisión y análisis de datos. Este programa estadístico es aplicado en revisiones sistemáticas y metaanálisis. Para la heterogeneidad de las investigaciones se

empleó el diagrama de bosque que se elabora con las pruebas estadísticas de Chi^2 y I^2 , para la evaluación de superposición de los intervalos de confianza.

El estadístico Chi^2 indica la diferenciación de los resultados, así como la compatibilidad de ellos realizando una selección de datos al azar. El valor p determinará la heterogeneidad:

- $p > 0.05$ = no hay heterogeneidad
- $p < 0.05$ = heterogeneidad

El estadístico I^2 describe el porcentaje de la variabilidad de las estimaciones del efecto que se debe a la heterogeneidad en lugar del error del muestreo. Para tomar en cuenta los resultados, se determina los siguientes rangos:

0% al 40%: pudiera ser importante

30% al 60%: pudiera representar heterogeneidad moderada

50% al 90%: puede representar heterogeneidad significativa

75% al 100%: heterogeneidad considerable

3.8. Aspectos éticos

La investigación, no falsificó datos ni resultados manteniendo la autenticidad de ello, cumpliendo rigurosamente las pautas sobre el parafraseo de la información y la citación de los autores mediante la norma internacional de organización y estandarización (ISO 690) de los diversos trabajos utilizados en la investigación. Se siguió los lineamientos con el código de ética, sin realizar plagio de otra información, respetando con las condiciones de la resolución rectoral N° 0089-2019/UCV, resolución del Consejo universitario N°0216/2017-UCV, Resolución del vicerrectorado de investigación N°004-2020-VI-UCV, guía de productos de investigación 2021. Además, el documento fue sometido al programa de reporte de originalidad Turnitin, considerando el porcentaje de similitud por debajo del 25%. Todos estos procesos se efectuaron a cabalidad, con la finalidad de respetar la propiedad intelectual de los autores y el reglamento de investigación de la Universidad César Vallejo.

IV. RESULTADOS

En la Figura 5 se presenta el diagrama de flujo del proceso de obtención de las investigaciones para el metaanálisis

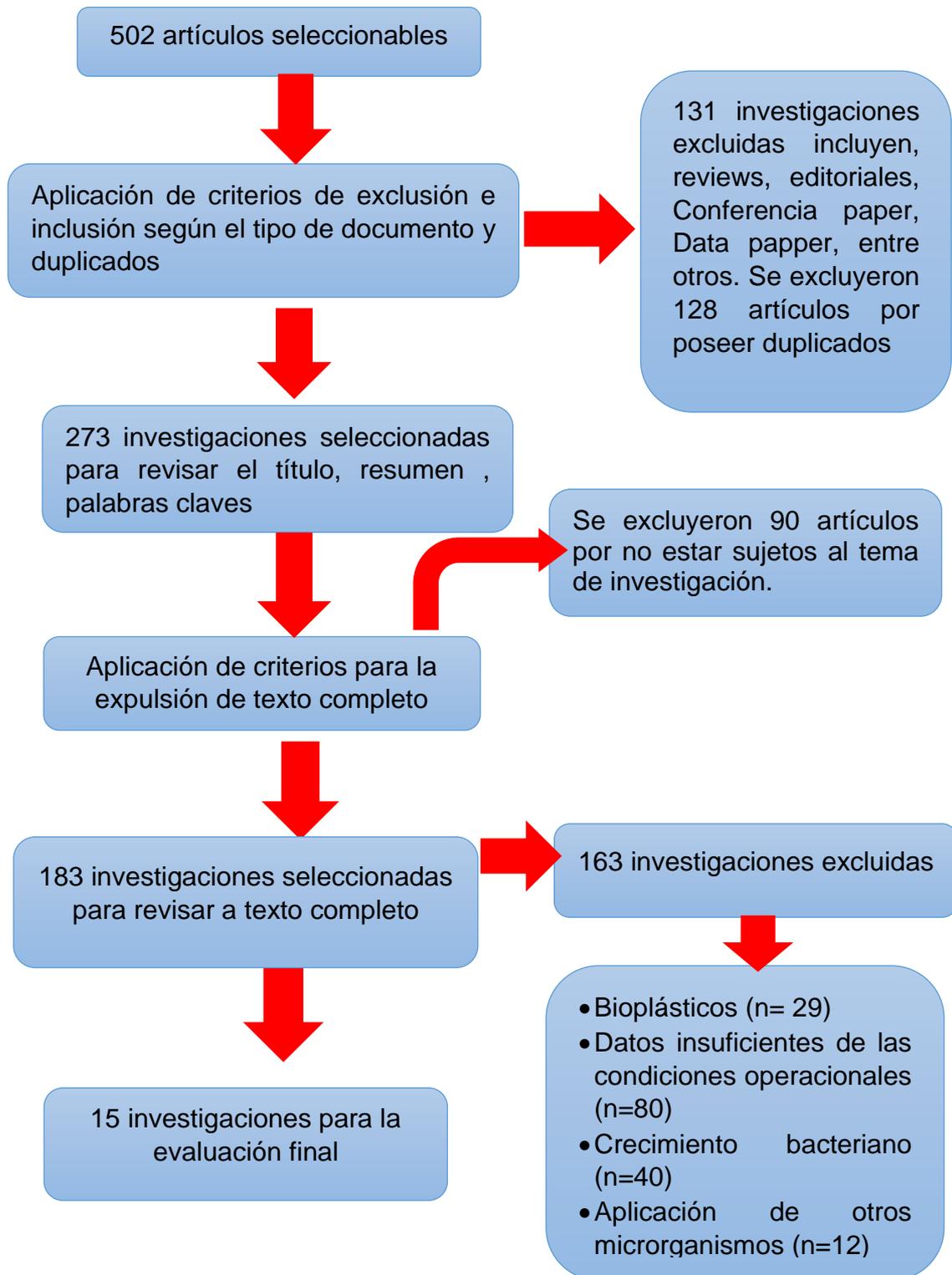


Figura 5. Diagrama de flujo del proceso de selección de los artículos

Se obtuvieron 502 investigaciones (Figura 5); las cuales fueron evaluadas bajo diversos criterios como el título, tipo de documento, duplicados, datos de interés para el desarrollo del trabajo de investigación. En la Figura 6 se indican la cantidad total de investigaciones clasificados según el tipo de documento.

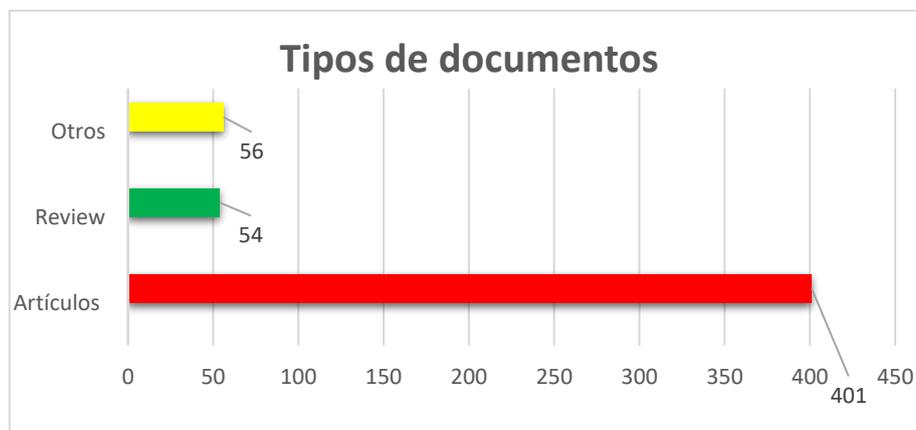


Figura 6. Revisión de los tipos de documentos

Se identificaron 401 artículos científicos (Figura 6) en las bases de datos Scopus y Web of Science. Estas publicaciones fueron de suma importancia para el desarrollo del trabajo de investigación. Otro tipo de documento son los reviews (54 documentos), pues contienen la recopilación de diferentes autores, que permitieron dar una orientación para el desarrollo del trabajo.

Para determinar los duplicados de los artículos científicos se utilizó el recurso informático Excel, identificando los autores, la base de datos y títulos con el objetivo de ubicar documentos repetidos. En la Figura 7 se evidencia la cantidad de artículos entre las bases de datos Scopus y Web of Science

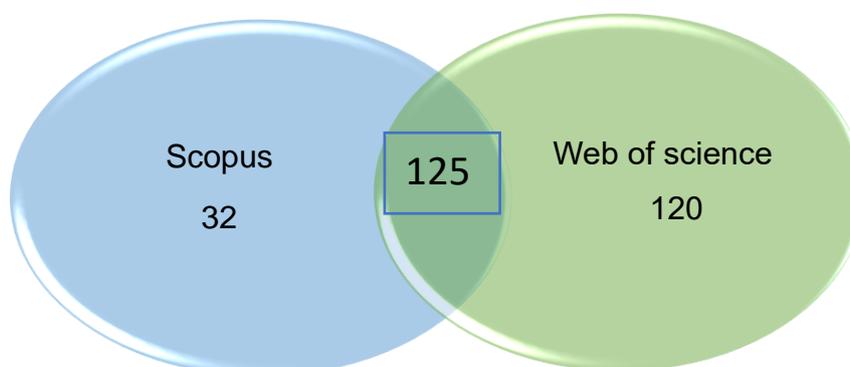


Figura 7. Cantidad de artículos científicos y sus duplicados

Son 401 artículos encontrados mediante la revisión en sus títulos, en ambas bases de datos un total de 125 duplicados (Figura 7). Luego de ello, se aplicó los criterios de inclusión y exclusión a texto completo de 183 investigaciones. Después de una evaluación de los documentos se excluyeron 163 investigaciones, siendo los factores:

- La biodegradación de Bioplásticos (n=28): no son considerados por tomar en cuenta al material polimérico de naturaleza orgánica.
- Datos insuficientes de las condiciones operacionales (n=82): no especifica la cantidad de masa reducida del polímero, ni se detalla ni los procesos enzimáticos)
- El conteo poblacional de los microorganismos (n=40): no especifica la cantidad de población bacteriana; empleo de unidades (% , OD₄₅₀) que dificultaron la estandarización los datos para ser trabajados adecuadamente.
- Aplicación de otros microorganismos no pertenecientes al reino monera (n=14): biodegradación de los plásticos por hongos, algas o insectos

De todos los artículos revisados, se seleccionaron 15 documentos que cumplieron con los criterios de inclusión y evaluados por la calidad metodológica Newcastle Ottawa modificada, presentada en la Tabla 4 para la aplicación en el Metaanálisis.

Tabla 4.Calidad metodológica de los estudios seleccionados.

N°	Autor(es)	Newcastle- Ottawa modificada				Datos específicos	
		Selección		Resultado		Análisis FT-IR	Aditivos
		Representatividad	Exposición	Reducción de masa polimérica	Crecimiento bacteriana		
1	Lee et al. (2020)	SI	SI	SI	SI	SI	NO
2	Khandare et al. (2021)	SI	SI	SI	SI	SI	NO
3	Syranidou et al. (2019)	SI	SI	SI	SI	SI	SI
4	Skariyachan et al.(2018)	SI	SI	SI	SI	SI	SI
5	Muenmee et al. (2016)	SI	SI	SI	SI	NO	SI
6	Sarker et al. (2021)	SI	SI	SI	SI	SI	SI
7	Nag et al. (2021)	SI	SI	SI	SI	NO	NO
8	Peng et al. (2014)	SI	SI	SI	SI	NO	SI
9	Park y Kim. (2019)	SI	SI	SI	SI	SI	SI
10	Gupta y Devi. (2020)	SI	SI	SI	SI	SI	SI
11	Shah et al. (2016)	SI	SI	SI	SI	SI	NO
12	Ganesh Kumar et al. (2021)	SI	SI	SI	SI	SI	NO
13	Feng et al. (2021)	SI	SI	SI	SI	NO	SI
14	Skariyachan, et al. (2021)	SI	SI	SI	SI	SI	SI
15	Roy et al. (2021)	SI	SI	SI	SI	SI	SI

Representatividad: indica si los diferentes tipos de bacterias presentan la capacidad de poder biodegradar los diferentes tipos de plásticos sintéticos en diferentes condiciones. **Exposición:** Evalúa las características químicas y condiciones operacionales de degradación (%masa, pH, T°, Tiempo de degradación, análisis FT-IR) y la degradación de los diferentes tipos de plásticos por parte de las cepas bacterianas. **Reducción de masa polimérica:** indica el porcentaje de degradación de los plásticos por la actividad bacteriana, en algunos casos se empleó aditivos que hacen más efectivo la degradación bacteriana. **Crecimiento bacteriano:** indica el crecimiento de la población bacteriana durante el proceso de degradación de los polímeros en diferentes tiempos y bajo diferentes condiciones. **Análisis FT-IR:** Determina en los estudios el nivel de fracción de la superficie del polímero por la acción metabólica bacteriana. **Aditivos:** Indica la aplicación de diferentes componentes en la población bacteriana en contacto con el polímero para ser más efectivo la degradación de los plásticos. En la Tabla 5 se detalla la descripción del método utilizado, el tipo de revista, la bacteria activa, la localización donde se publicó el trabajo y los autores de los 15 artículos seleccionados.

Tabla 5. Características de estudios para la revisión sistemática y metaanálisis

N°	Revista	Base de datos	Bacteria	Metodología/Descripción	Ámbito geográfico	Autor(es)
1	MDPI	Web of Science	<i>Pseudomona aeruginosa</i>	Realizaron un sistema de cribado inicial para poder identificar la cepa bacteriana adecuada en la biodegradación de plásticos, como el poliestireno (PS), sulfuro de polifenilo (PSS), polietileno (PE).	Korea, Seúl	Lee et al. (2020)
2	Marine Pollution Bulletin	Scopus	<i>Alltermonas australica</i> <i>Cobetia sp.</i>	Identificaron 3 cepas de bacterias marinas potencialmente degradadoras del PVC, durante 60 días de incubación. Todo cambio se confirmó por medios de espectrometría electrónica de barrido de emisión de campo(FE- SEM).	Gujarat, India	Khandare et al. (2021)
3	Journal of Hazardous Materials	Web of Science	<i>Rhodobacterales</i> <i>Oceanospirillales</i> <i>Burkholderiales</i>	Experimentaron sobre comunidades bacterianas marinas que degradan residuos plásticos de PE y PS envejecidos. Para tener una mayor efectividad , se incorporó un aditivo de BIOG, evidenciando a la reducción del peso molecular de estos residuos plásticos.	Chania, Greece	Syranidou et al. (2019)
4	International Biodeterioration y Biodegration	Web of Science Scopus	<i>Brevibacillus sps .</i> <i>Aneurinibacillus sp.</i>	Identificaron nuevas cepas bacterianas para estudiar la capacidad de degradación estudiados durante 140 días, llegando a aislar 8 aislados demostrando un mayor porcentaje de degradación de las tiras de LDPE, HDPE y PP, evaluando el porcentaje de reducción de peso en las tres formas analizadas por las técnicas FTIR y análisis SEM y AFM.	Belagavi, India	Skariyachan et al. (2021)

5	International Biodeterioration y Biodegration	Web of Science Scopus	<i>Methylocella sp.</i> <i>Methylocystis sp.</i>	Diseñaron lisímetros simulados de un vertedero semi aeróbico en diferentes tasas de aireación con gas de metano. Estos gases permiten la degradación significativa de la reducción de peso del Polietileno de alta densidad (HDPE) Tomando en cuenta las poblaciones bacterianas, siendo 2 especies las que han sido identificados como degradadoras efectivas.	Bangkok, Thailand	Muenmee et al. (2016)
6	Journal of pure and applied microbiology JPAM	Web of Science	<i>Enterobacter cloacae AKS7</i>	Realizaron diversas estrategias para mejorar la degradación del LDPE, utilizando el aceite mineral y Tween 80 para comprobar la colonización microbiana, antes de la inoculación con los microorganismos las películas de LDPE fueron sometidos a rayos UV para la fotooxidación.	Bengal, India	Sarker et al. (2021)
7	Environmental science and pollution research	Web of Science Springer Link	<i>Alcaligenes faecalis</i> LNDR-1	Utilizaron el método de enterramiento en el suelo durante 10 semanas con la inclusión de la cepa bacteriana, la cual produce enzimas extracelulares como la lipasa, la CMCasa, la xinalasa y la proteasa, efectivas en la degradación de PET	Kolkata, India	Nag et al. (2021)
8	Environ Sci Pollut Res	SCOPUS	<i>Pseudomonas putida</i>	Se aislaron 3 bacterias de degradación de PU (13 cepas aisladas) de una biblioteca de 500 cepas de suelos y lodos activados. Los niveles de temperatura 25°C y pH de 8.4 fueron factores para que la <i>P.putida</i> demostró que es una cepa efectiva en la biodegradacion de poliuretano (PU) líquido	Taipei China	Peng et al. (2014)

9	Chemosphere	SCOPUS	<i>Bacillus sp.</i> <i>Paenibacillus s.</i>	Realizaron un cultivo bacteriano mixto compuesto principalmente por dos cepas bacterianas aislados de los vertederos en un medio basal con microplásticos de PE como fuente de carbono.	Incheon, República de Korea	Park y Kim. (2019)
10	Heliyon	SCOPUS	<i>Pseudomona aeruginosa strain ISJ14</i>	Evaluaron la capacidad de degradación del LDPE de la cepa bacteriana, aislada de vertederos de los residuos en dos medios de crecimiento diferentes. En un caldo Bushnell Has (BHM) y otro en medio salino mínimo(MSM), durante 60 días a 37°C y 180 rpm.	Uttarakhand, India	Gupta y Devi. (2020)
11	Polymer Degradation and Stability	Web of Science	<i>Pseudomonas sp.</i> <i>Bacillus sp.</i>	Evaluaron la capacidad de degradación de cultivos bacterianos en el polímero poliéster a diferencia de una sola cepa bacteriana. Todo el proceso de degradación fueron evaluados por técnicas como microscopía electrónica de barrido (SEM) , la espectroscopía de infrarrojos transformada de Fourier(FT-IR) y el ensayo de Sturm(medición del CO2) en un plazo de 20 días.	Peshawar, Pakistan	Shah et al. (2016)
12	Science of the Total Enviroment	Science Direct	<i>Bacillus paralicheniformis G1</i>	Realizaron diversos experimentos en grupos para determinar la degradación de películas de PS durante 60 días, para ello aislaron cepas de <i>Bacillus paralicheniformis</i> G1 encontrados a 3538 m de profundidad del mar de Arabia. Todo los cambios fueron analizados a través de técnicas como TG-DSC, NMR,SEM para identificar el nivel de degradación de estos microorganismos en las películas de PS	Chennai, India	Ganesh et al. (2021)
13	Science of the Total Enviroment	Science Direct	<i>Pseudomona sp.</i> YJB6	Aislaron cepas de <i>Pseudomona sp.</i> YJB6 de suelos contaminados con Los ésteres ácidos de ftalato	Hong Kong, China	Feng et al. (2021)

				(PAE) verificando una actividad constante en la degradación de DBP de 200mg/L en 3 días a 34 °C con una inoculación de 0.6 en medio líquido de sales minerales básicas(MSM) con pH de 7.6		
14	Journal of Environmental Management	Web of Science Sience Direct	<i>Enterobacter sp.</i> <i>Pseudomonas sp.</i>	Aislaron cepas bacterianas de la muestra de estiércol de Vaca llegando a obtener 10 aislados bacterianos.De los 10 consorcios, el consorcio CB3 mostró un mayor porcentaje de degradación de las películas de LDPE y PP a 37 C°	Karnataka, India	Skariyachan et al. (2021)
15	Biotech	Web of Science Springer	<i>Pseudomona AK31</i>	Obtuvieron cepas bacterianas como la cepa Pseudomona AKS31 como potencial biodegradador del poliuretano(PUR) y polietileno de baja densidad (LDPE). Estas cepas fueron sometidos a un medio de microcosmos de suelos y un medio de laboratorio.	Kolkata, India	Roy et al. (2021)

La Tabla 5 indica los 15 artículos seleccionados comprendidos entre los años de 2012 al 2021. Se identificó las bases de datos donde se encontró las investigaciones utilizadas mencionadas en la Figura 8.

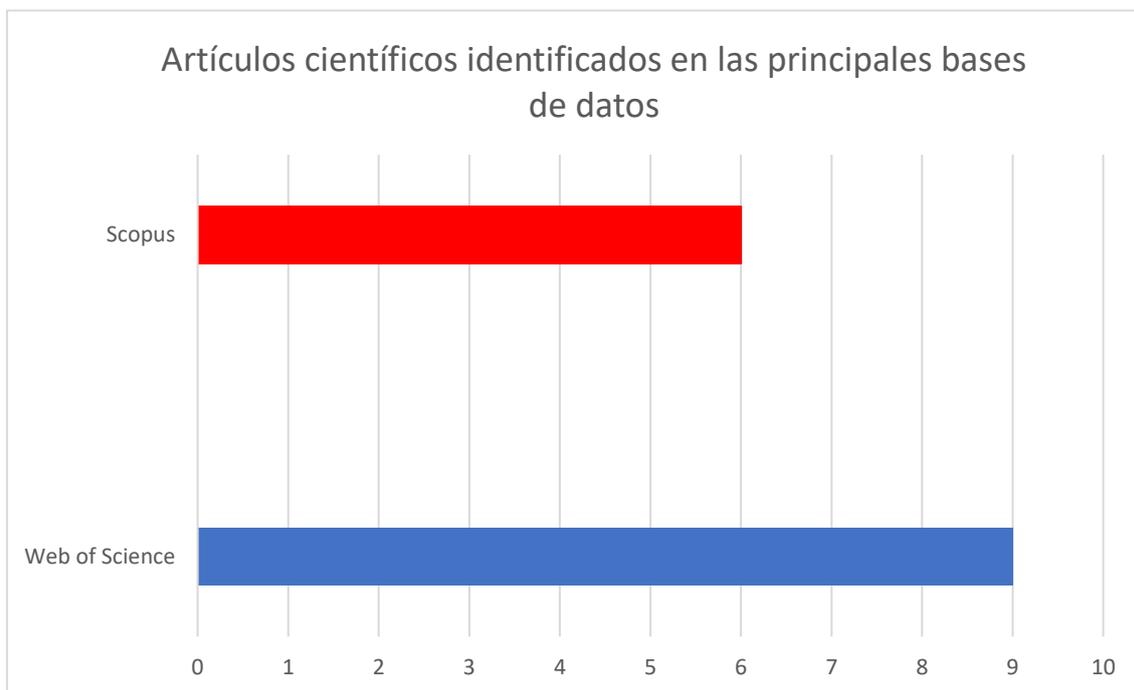


Figura 8. Artículos registrados en la base de datos WOS y Scopus.

La mayoría de investigaciones seleccionadas (Figura 8) se ubicaron en la base de datos Web of Science (9 artículos) frente a los 6 artículos de la base de datos Scopus.

Son diversas bacterias que cumplen la función biodegradadora. En los estudios seleccionados llegaron a identificar y aislar diferentes especies bajo diversas condiciones (vertederos, suelos contaminados, interior de gusanos intestinales, fondo marino, cepas modificadas en laboratorio), los principales microorganismos se mencionan en la Tabla 5. Dentro de los estudios seleccionados, se registraron diversas bacterias como las del género *Pseudomona*, el género *Bacillus*, la especie *Enterobacter sp.*, entre otros. En la Figura 9 se registran las diversas bacterias aplicadas en el proceso de biodegradación.

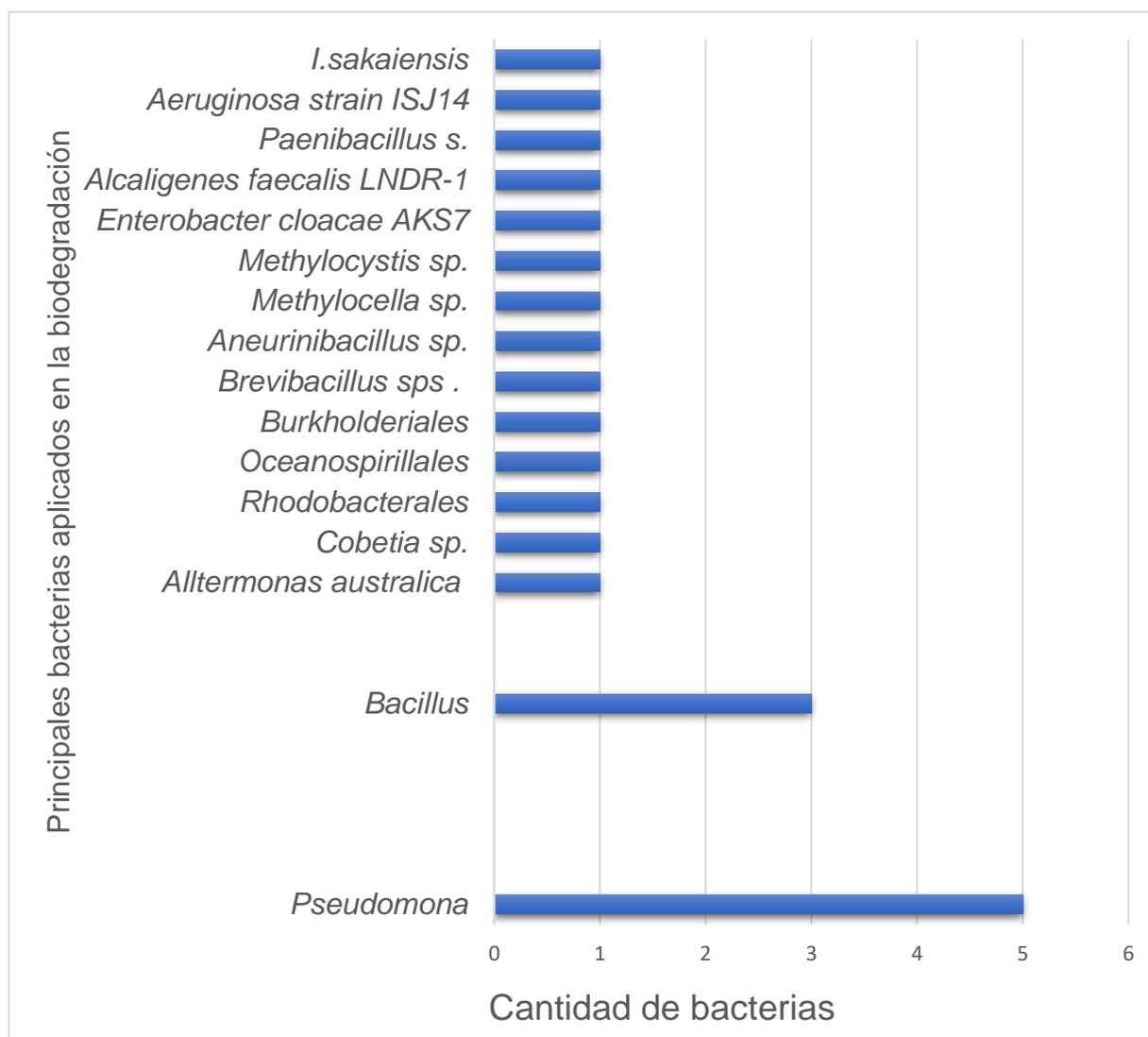


Figura 9. Tipos de bacterias empleadas en la biodegradación de plásticos.

Las diferentes investigaciones consideraron a la bacteria del género *Pseudomona* (Figura 9) como una de las principales bacterias biodegradadoras de polímeros sintéticos. Algunas bacterias son microorganismos de reciente descubrimiento, como las *Oceanospirillales* identificadas en las profundidades del mar de Chania Grecia (Syranidou et al., 2019). Otra especie conocida es el *Bacillus sp.* de naturaleza *Gram positiva*. Asimismo, se describen otros grupos bacterianos estudiados para obtener información en la biodegradación de plásticos.

En la metodología de las diferentes investigaciones (Tabla 5) se identificó diversas técnicas aplicadas para la evaluación de la biodegradación de plásticos por las bacterias, como: las pruebas FTIR, AFM secuenciación de conteo de ARN entre otras técnicas.

Para identificar la eficiencia de las bacterias en el proceso de biodegradación de los plásticos. La mayoría de las publicaciones obtenidas referente a la biodegradación de plásticos fueron del estado de la India y China indicado en la Figura 10.

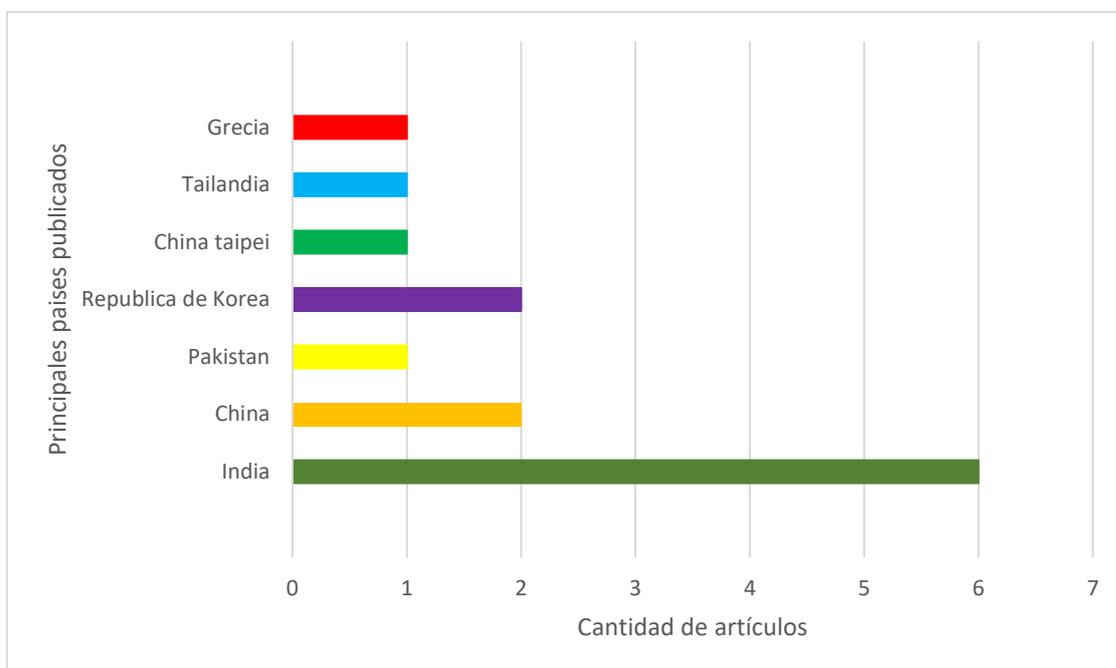


Figura 10. Principales países registrados de publicación de los artículos.

El campo de la aplicación de bacterias en la degradación de polímeros se identificó principalmente en el continente asiático, siendo el país de la India donde se encontraron la mayoría de las publicaciones revisadas (Figura 10).

Las condiciones operacionales de las bacterias son factores importantes para que inicie la biodegradación del polímero. Es por ello que se debe tomar en cuenta los parámetros como la Temperatura, el pH, el tiempo de contacto, la exposición por radiación UV y sobre todo la estructura del organismo. Estos datos se encontraron en los artículos, detallados en la Tabla 5.

Tabla 6.Características de bacterias y condición operacional en la biodegradación de plásticos

N°	Bacteria	Tipos de respiración		Tipo de pared celular		Condiciones operacionales							Resultados	Autor(es)		
		Anaerobias	Aerobias	Gram-positiva	Gram-negativa	Método de aplicación		Cultivo bacterial CFU/mL		Tiempo de contacto	Análisis FT-IR	pH			Temperatura °C	
						Pretratamiento con rayos UV	Empleo de aditivos	Inicial	Final							
1	<i>Pseudomona aeruginosa</i>	X	X		X	-----	Medio líquido de LCFBM(1:100)		4E+5 CFU/ml	1.6E+5 CFU/mL	15 días	600cm-1 en 90%	-	25	La cepa <i>Pseudomona Aeruginosa</i> tuvo una mayor acción de degradación mayor del polietileno (PE) en un 50% que en los demás polímeros evaluados como (PS y PPS)	Lee et al. (2020)
2	<i>Vibrio sp. KY818842</i> <i>Alteromona australiaca KY234253</i> <i>Cobetia sp. MK453454</i>		X		X	-----	Medio de caldo BH(Bushnell Hass) (50mL)		2.4E +5 CFU/mL	3.2E+5 CFU/mL	60 días	3500 cm-1 en 90%	-	50	De toda la comunidad bacteriana, tres especies mencionadas degradaron eficientemente los polímeros de PVC	Khandare et al (2021)

3	Rhodobacterales Oceanospirillales Pseudonocardia		X	X		-----	Medio sellado con aditivos de nitrato y oxígeno	10E +5 CFU/mL	2.24E6 CFU/mL	60 días	800 cm-1 en 100%	--	50	La oxidación y la exposición a la radiación UV son prerequisites en la degradación de los polímeros de PE y PS, en el medio marino	Syranidou et al. (2019)
4	<i>Brevibacillus sp.</i> <i>Aneurinibacillus sp.</i>		X		X	-----	Se adicionó aceite mineral y Tween 80, para inocular la colonización microbiana, en la superficie del LDPE	2.7 E+5 CFU/mL	3.2 E+5 CFU/mL	140 días	2800 cm-1 en 60%	9	50	Las muestras enriquecidas fueron diluidas con polvo de Polietileno (LDPE y HDPE) mostraron una eliminación de un 38 +/- 3%	Skariyachan et al. (2018)
5	<i>Methylocella sp.</i> <i>Methylocystis sp.</i>		X	X		200 h	Vertedero simulados empleando gases de CH4 para la aireación semi aeróbica	2E+ 5 CFU/mL	1.9E+ 6 CFU/mL	90 días		7.4	28	La aireación óptima permitió la aceleración de los residuos plásticos disponibles en el lecho de los residuos	Muenmee et al. (2016)
6	<i>Enterobacter cloacae AKS7</i>	X			X	120 h	Se adicionó aceite mineral y Tween 80, para inocular la colonización microbiana, en la superficie del LDPE	1E+5 CFU/mL	1.9E+ 5 CFU/mL	---	1462 cm-1	—	30	El aceite mineral y el Tween 80 demostró una modulación en la degradación del PEBD	Sarker et al. (2021)

7	<i>Alcaligenes faecalis</i> LNDR-1					30 min	Cultivo de 250 mL de caldo de LB en matraz Erlenmeyer	1E+6 CFU/mL	2.5 E+5 CFU/mL	42 días		--	37	La acción hidrofóbica permite una adhesión celular efectiva en la superficie del polímero(bolsa plástica negra)	Nag et al. (2021)
8	<i>Pseudomonas putida</i>	X		X		-----	Se aislaron las colonias, diluyeron con la solución una alícuota de 0.2 mL extendidas en las placas de PU	1.00E + 5 CFU/mL	1.36E + 6 CFU/mL	4 días	3.404 cm-1	8.7	30	La Pseudomona putida mostró la mayor capacidad de degradación en comparación con los otros dos nuevos degradadores sobre todo con la adición de DLN por medio de enzimas esterases.	Peng et al. (2014)
9	<i>Bacillus sp.</i> <i>Paenibacillus sp.</i>	X		X		-----	Se prepararon cultivos bacterianos mezclando 5g de muestras de sedimento en solución salina isotónica durante 2 horas	2 E+ 05 CFU/mL	6E+ 05 CFU/mL	60 días	600 cm-1 a 10%		30	El cultivo bacteriano mixto utilizaron los microplásticos de PE en medio acuoso contribuyendo una pérdida de peso del 14.7% las cuales se observó mediante la técnica SEM	Park y Kim, (2019)

10	<i>Pseudomona aeruginosa strain ISJ14</i>	X			X	-----	Realizaron el cultivo de las cepas en un agar nutritivo a 4°C con centrifugación a 5000 rpm para obtener una suspensión de 1,2 mL transferidos en tubos de ensayo.	9E+05 CFU/mL	7E+05 CFU/mL	60 días	500 cm-1			"La biodegradación in vitro de LDPE por P. aeruginosa ISJ14 en los medios de cultivo aprovecha como fuente única de carbono en la pérdida de peso de las películas de PE en comparación con el de control.	Gupta y Devi, (2020)
11	<i>Pseudomonas sp. Bacillus sp.</i>	X			X	5 min	prepararon 2 cepas bacterianas formando un consorcio en 100 mL de caldo nutritivo, durante una noche a 4°C en un incubador	7E+5 FU/mL	9E+5 CFU/mL	30 días	2250 cm-1	7	37	El uso de dos cepas bacterianas demuestra una degradación mayor del PU que utilizar cepas bacterianas independientes teniendo un 20% de efectividad de degradación del polímero	Shah et al. (2016)
12	<i>Bacillus paralicheniformis G1</i>	X		X		-----	Se recogió una muestra del Mar de Arabia. Luego se colocó en un caldo marino(BD,DIFC O;USA) luego fueron colocados en un matraz 100 mL de MSM con la película de PS	4E+5 CFU/mL	6E+5 CFU/mL	60 días	600 cm-1 a 68%	8	35	La cepa B. paralicheniformis G1 degradó eficientemente las películas de poliestireno en un 34% durante 60 días de evaluación. Estos datos fueron confirmados por la resonancia NMR, la degradación inducida por los microbios de las películas de PS	Ganesh Kumar et al. (2021)

13	<i>Pseudomona sp.</i> YJB6	X			X	----	Se hizo un cultivo de YJB6 en cultivo de 31.4 °C en un medio de sal mineral básica con pH de 7.6	4E + 5 CFU/mL	6E + 5 CFU/mL	72 h	-----	7.6	31.4	La efectividad del DBP en contacto con la cepa YJB& fue del 97.5% en las condiciones de cultivo óptima	Feng et al. (2021)
14	<i>Enterobacter sp</i> <i>Pseudomona aeruginosa</i>		X		X	1 hora	Se prepararon una colonia bacteriana en agar y otros componentes como el tween 80 al 0.1%	1.65E +5 CFU/mL	1.18 E+5 CFU/mL		400 cm ⁻¹ a 90%	7.5	37	La aplicación de un consorcio bacteriano (CB3) demostró un mayor potencial de degradación del polietileno y polipropileno en porcentajes de 64.25% y 63.2% durante 160 días	Skariyachan, et al. (2021)
15	<i>Pseudomonas sp.</i> AK31		x		x	-----	Realizaron el aislamiento de microorganismos de una muestra de suelo 1g mezclado con solución salina estéril (0.85%) durante 30 min durante 5 días	8E+8 CFU/mL	35E+8 CFU/mL	35 días	400 cm ⁻¹ a 50%		30	las bacterias <i>Pseudomonas sp.</i> tiene la capacidad de degradar dos tipos de polímeros el PUR (poliuretano) y el LDPE (polietileno de baja densidad)	Roy et al. (2021)

En la Tabla 5 se observó que 5 investigaciones aplicaron un mecanismo de biodegradación abiótica mediante el tratamiento a la exposición de radiación uv antes de someter estos polímeros a la actividad bacteriana. Sarker et al (2021) sometieron las películas de polietileno de baja densidad (LDPE). a la radiación uv durante 120 horas, seguidamente inocularon con las cepas de *Enterobacter Cloacae* AKS7

Otro aspecto es el tiempo que necesita la bacteria para degradar los polímeros. Autores como Skariyachan et al.(2020) observaron que las bacterias *Brevibacillus sp.* y *Aneurinibacillus sp.* necesitaron 140 días para poder biodegradar el polietileno de baja densidad (HDPE); mientras que Feng et al. (2021) evaluaron en 72 horas la degradación del Ftalato de n-butilo(DBP) por la bacteria *Pseudomona sp.* YJB6.

El pH es un parámetro que influye en la actividad bacteriana. Los estudios mostrados, indican que el rango de medición del pH es de 7 a 9. Al respecto Peng et al. (2014) mostraron que las bacteria *P. Putida* alcanzó un 92% en biodegradar el poliuretano (PU) en pH de 8.4

El crecimiento bacterial es otra forma de evaluar la biodegradación de los polímeros. La reducción de masa polimérica presenta una relación con el aumento de las bacterias. En la Figura 11 se registran la población bacteriana, respecto al contacto que tienen con las diferentes películas de polímeros según los diversos autores.

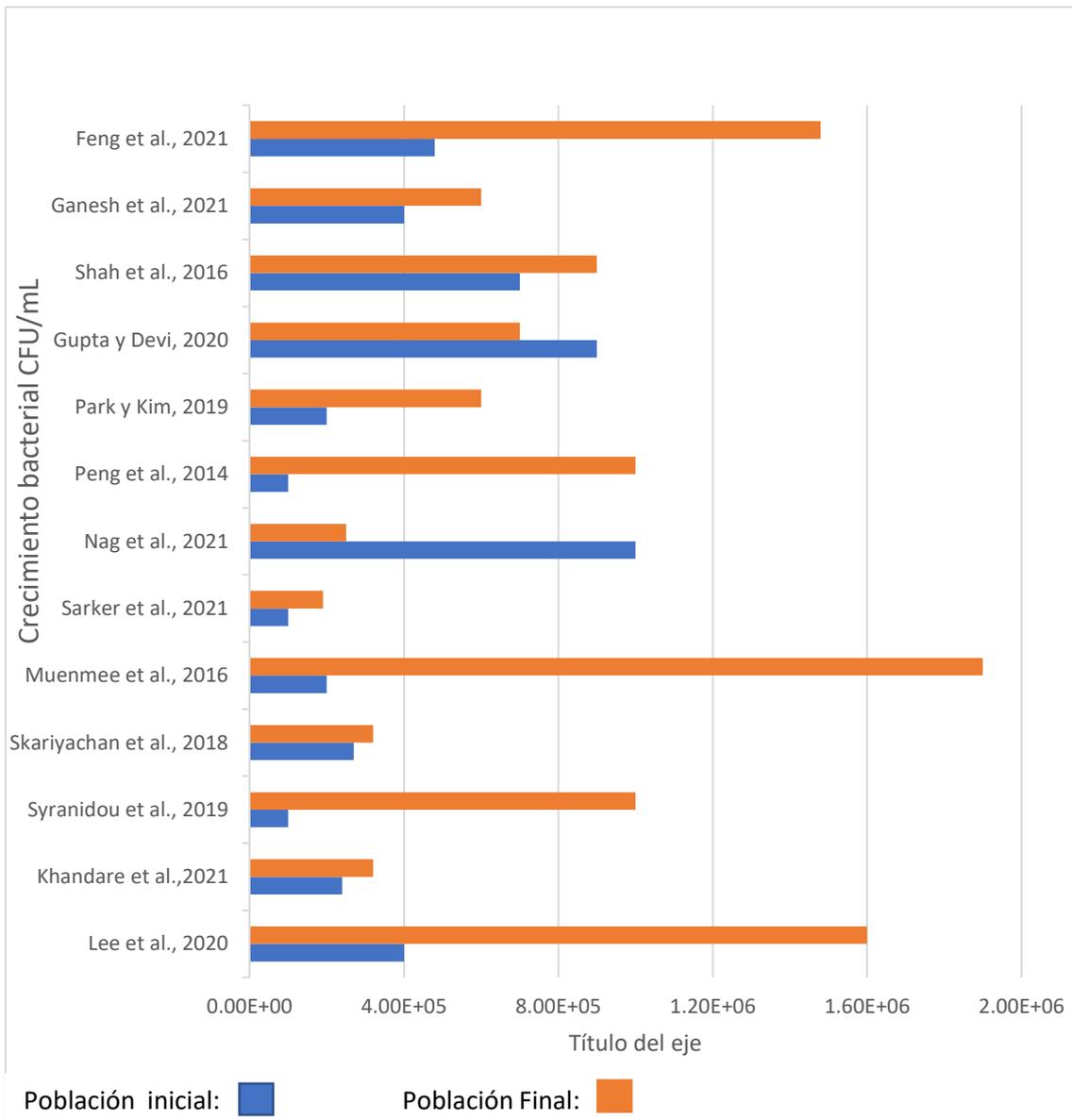


Figura 11. Nivel de crecimiento bacteriano en las películas o polvo de plástico.

Los estudios analizados demostraron que las colonias bacterianas en contacto con las láminas o polvo de plástico tuvieron un crecimiento significativo (Figura 11). Esto se debe a que los organismos bacterianos utilizan los plásticos como fuente de carbono para la obtención de energía necesaria; sin embargo, en los estudios de Gupta y Devi. (2021) mencionaron que las poblaciones de la cepa *Enterobacter cloacae* AKS7. No se evidencia un aumento en su población. Esto es debido a que algunas bacterias necesitan de componentes adicionales en la interacción bacteria-plástico para mantenerse y que puedan realizar una óptima biodegradación del polietileno (PE).

Tabla 7. Características de reducción realizada por las bacterias en la biodegradación de plásticos

N°	Bacteria	Características de reducción					Resultados	Autor(es)
		Tipos de enzimas	Actividad enzimática		pH	Temperatura °C		
			Extracelular	Intracelular				
1	<i>Pseudomona aeruginosa</i>	Serina Hidrolasa (SH)	Oxidación	-----	---	25	La enzima SH actúa eficientemente en el PE, sobre todo cuando hay mayor inserción de oxígeno en la película de PE, la cual es utilizado como única fuente de carbono para la producción de energía por parte de las bacterias	Lee et al. (2020)
2	Vibrio sp. KY818842 <i>Alteromona australiaca</i> KY234253 Cobetia sp. MK453454	-----	Hidrofobicidad y oxidación	-----	---	50	La despolimerización de las películas de PVC afectados por las enzimas, reduce significativamente la reducción de masa y erosión en la superficie y cambiar las propiedades del material	Khandare et al. (2021)
3	Rhodobacterales Oceanospirillales Pseudonocardia	-----	-----	-----	---	50	Se observaron una reducción en el número de familias con enzimas eficientes en la biodegradación de los polímeros	Syranidou et al. (2019)
4	Brevibacillus sp. Aneurinibacillus sp.	-----	-----	-----	9	50	-----	Skariyachan et al. (2018)

5	Methylocella sp. Methylocystis sp.	Oxigenas a	X	-----	7.4	28	La oxidación de los polímeros por acción de la enzima genera una variedad de compuestos alcohólicos, alcanos.	Muenmee et al. (2016)
6	Enterobacter cloacae AKS7	-----	-----	-----	8	150	Las bacterias asociadas en la superficie del polímero secretan varios tipos de enzimas con la capacidad de hidrolizar la FDA, la cual liberan la fluorescencia que puede cuantificarse mediante un espectrofotómetro permitiendo la degradación del PEBD.	Sarker et al. (2021)
7	<i>Alcaligenes faecalis</i> LNDR-1	Ureasas Esterasas Proteasas	Hidrolisis		--	37	Las enzimas identificadas, despolimerizan el poliuretano afectando los enlaces uretano y ester, seguidamente ocurre la bioasimilación por un proceso de β -oxidación.	Nag et al. (2021)
8	Pseudomona aeruginosa ISJ14	Estearasas		X	8.7	30	La actividad enzimática del lisado celular se ensayo por degradación de DLN por actividad de la esterasas extracelulares.	Peng et al. (2014)
9	Bacillus sp. Paenibacillus sp.	-----	-----	-----	--	30	-----	Park y Kim, (2019)

10	<i>Pseudomona aeruginosa strain ISJ14</i>	Oxirreduc tasas	X		--	30	La morfología de la superficie del PEBD evidenciado en la reducción de la masa es debio a la secreción de enzimas y metabolitos extracelulares en respuesta a la falta de carbono.	Gupta y Devi. (2020)
11	Pseudomonas sp. Bacillus sp.	Esterasas	X		7	37	Observaron un aumento de actividad de las esterasas extracelulares desde el día 1 hasta el día 12 de 0.05678 $\mu\text{M}/\text{min}/\text{mg}$ a 2.0015 $\mu\text{M}/\text{min}/\text{mg}$ en 24 dias.	Shah et al. (2016)
12	Bacillus paralicheniformis G1	Esterasas	Hidrólisis		8	35	Se identificaron diversos enzimas degradadores del polímero del PS como las dioxigenasas, peroxidasa, fosfatasa alcalina, implicadas en la degradación de polímeros sintéticos.	Ganesh Kumar et al. (2021)
13	<i>Pseudomona sp. YJB6</i>	Dioxigena sa	Oxidación	-----	7.6	31.4	La vía de degradación del DBP por especies dePseudomonas se da por el proceso de β - oxidación en condiciones aeróbicas y anaeróbicas.	Feng et al. (2021)
14	I.sakaiensis	IsPETasa	Catálisis	X	7.5	37	Las pastillas de la botella de PET tratada por enzimas salvajes, mostró cambios significativos en la descomposición de este polímero reduciendo en 23,4 mg PET/h/mg	Skariyachan et al. (2021)
15	Pseudomonas sp. AKS31	-----	-----	-----	7.2	30	-----	Roy et al. (2021)

En la Figura 12 se indican los tipos de enzimas que actúan en la biodegradación de los plásticos. La enzima esterasa es la que registra mayor funcionalidad, pues estas se adhieren a la superficie hidrófoba de los polímeros como el poliuretano(PU) para que inicie un metabolismo extracelular a través de la hidrólisis.

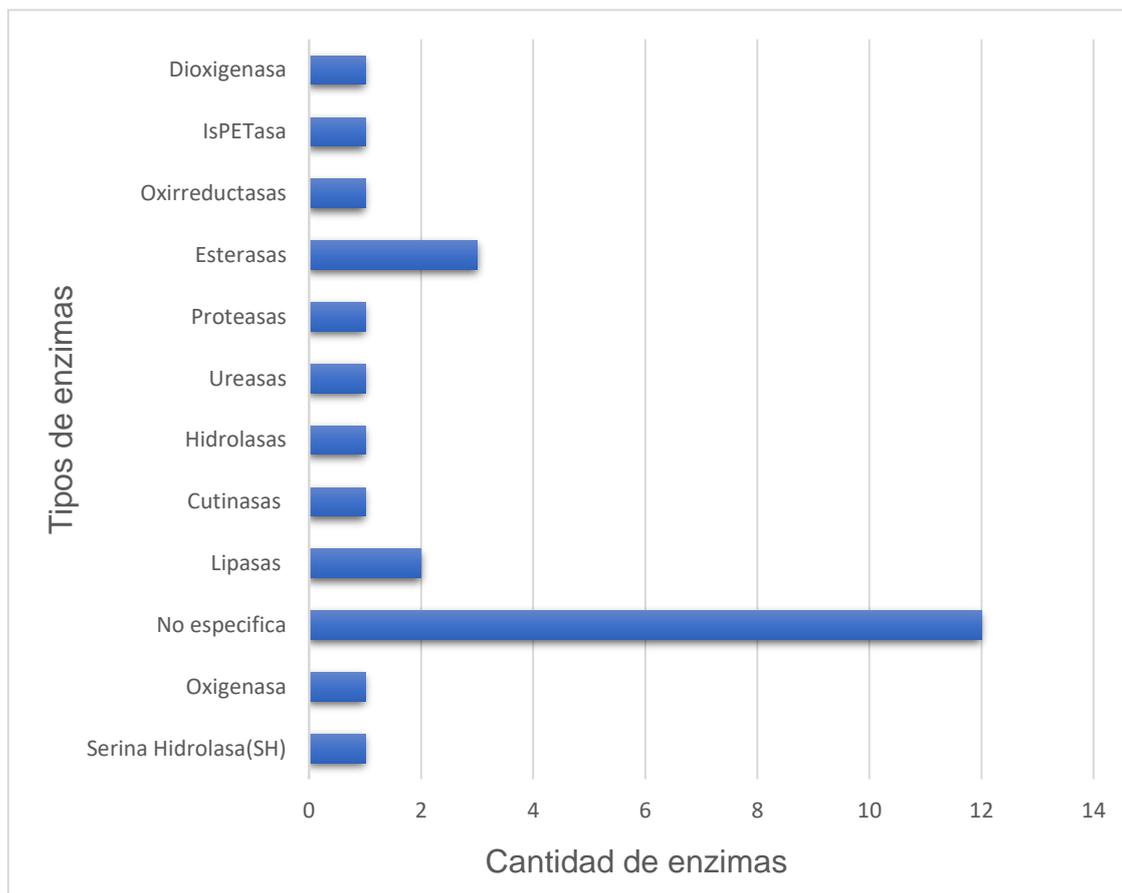


Figura 12. Principales enzimas que actúan en la biodegradación de los plásticos.

La mayoría de los artículos seleccionados no especifican el tipo de enzima que actúa para la degradación de polímeros; probablemente sea, por la compleja funcionalidad metabólica de las bacterias; por ende, los autores, se limitan a fundamentar sobre ello. La temperatura influye mucho en la actividad enzimática debido a que estas proteínas son muy sensibles al cambio de factores físico-químico, los artículos identificaron que la temperatura óptima para la función de las enzimas es de entre 25 C° a 50°C.

Tabla 8. Proceso de la biodegradación de los plásticos por la actividad bacteriana

N°	Tipo de plástico		Medio de biodegradación del plástico			% Reducción de la masa de plástico			Tamaño de la muestra	Autor(es)
	Nombre	Termoplástico /Termoplástico	Laboratorio	Medio acuoso	Medio terrestre	Masa inicial (mg)	Masa final (mg)	% Pérdida de peso		
1	Polietileno (PE)	Termoplástico	Placas selladas con Parafilm	----- -	-----	1000	948.8	0.64% en 1 día	-----	Lee et al. (2020)
2	Cloruro de polivinilo (PVC)	Termoplástico	Placa Petri estéril	Caldo de Bushnell Haas	-----	1000	9.827	84% en 60 días	3cm ²	Khandare et al. (2021)
3	Poliestireno (PS)	Termoplástico	-----	Agua de mar	-----	115800	77200	33%	1cm ²	Syranidou et al. (2019)
4	Polietileno de alta densidad (HDPE)	Termoplástico	-----	Se aislaron bacterias en agar con leche y cetrimida	-----	150	80	37.2% en 120 días	30 cm ²	Skariyachan et al. (2018)
5	HDPE	Termoplástico	Frasco de suero de 25 ml sellado	----- -	-----	500	400	20% en 90 días	9cm ²	Muenmee et al. (2016)
6	Polietileno de baja densidad (LDPE)	Termoplástico	Se añadieron productos químicos(aceite mineral /Tween 80 en un medio acuoso de 100 mL	----- -	-----	30	25.8	14%	6 cm ²	Sarker et al. (2021)

7	Poliétileno (PE)	Termoplástico	-----	Se colocaron en 250 ml de caldo de LB en un matraz de Erlenmeyer	-----	43	27	47,63% en 70 días	4cm ²	Nag et al. (2021)
8	Poliuretano (PU)	Termoestable	-----	Se dio en un medio de PU líquido preparado con DLN como fuente de carbono	-----	1875	150	36% en 16 días	2 cm ²	Peng et al. (2014)
9	Poliétileno (PE)	Termoplástico	-----	Se adquirieron 0.94 mg/mL-1 colocadas en una placa petri inoculados por un cultivo bacteriano mixto	-----	100	60	22% en 60 días		Park y Kim. (2019)
10	Poliétileno de baja densidad (LDPE)	Termoplástico	-----	Se agregaron la muestra de películas de PE en 100 mL de un medio (BHM y MSM) con 5mL de cepa de P.aeruginosa	-----	100	90	8.7% por día	3cm ²	(Gupta y Devi. (2020)
11	Poliéster Poliuretano (PU)	Termoplástico	-----	Prepararon granulos de poliéster (PU) en 100 mL de THF colocadas en 4 placas petri, esterilizados con etanol a 70% y dosis de Radiacion UV durante 5 min	-----	250	150	60% en 30 días	-----	(Shah et al. (2016)

12	Poliestireno (PS)	Termoplástico	Se prepararon películas de plástico previamente esterilizadas con etanol al 70% contenido en 100mL de MSM	-----	-----	2000	1320	34% en 60 días	2.25 cm2	Ganesh Kumar et al. (2021)
13	Ftalato de di-n-butilo (DBP)	-----	se agregaron 200 mg/L del polímero con 20 mL de MSM durante 3 días	-----	-----	1000	200	80% en 72 h	-----	Feng et al. (2021)
14	Polietileno de baja densidad (LDPE)	Termoplástico	Se utilizaron tiras de plástico de 3x3 cm esterilizados con 70% de etanol	-----	-----	40	34	15% en 160 días		Skariyachan et al. (2021)
15	Polietileno de baja densidad (LDPE)	Termoplástico	Se emplearon dos medios de cultivo un laboratorio simulado y uno de microcosmos de suelo	-----	Microcosmos de Suelo	2000	1600	10 días	-----	Roy et al. (2021)

La Tabla 8 indica los diferentes tipos de plásticos que fueron utilizados en el proceso de biodegradación bacteriana mencionadas anteriormente (Figura 9). En la Figura 13 se indican los diferentes polímeros que son biodegradados por las bacterias biodegradadoras.

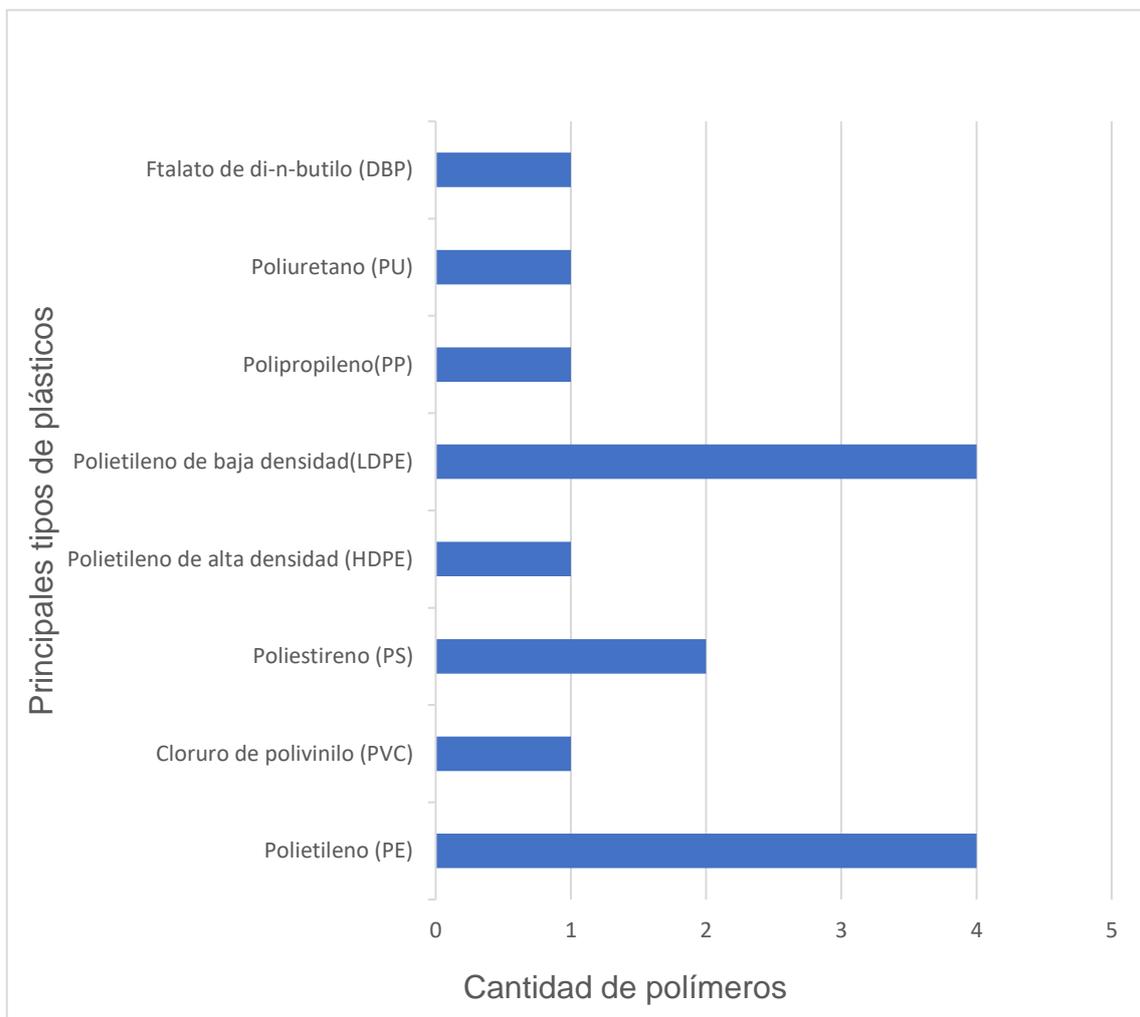


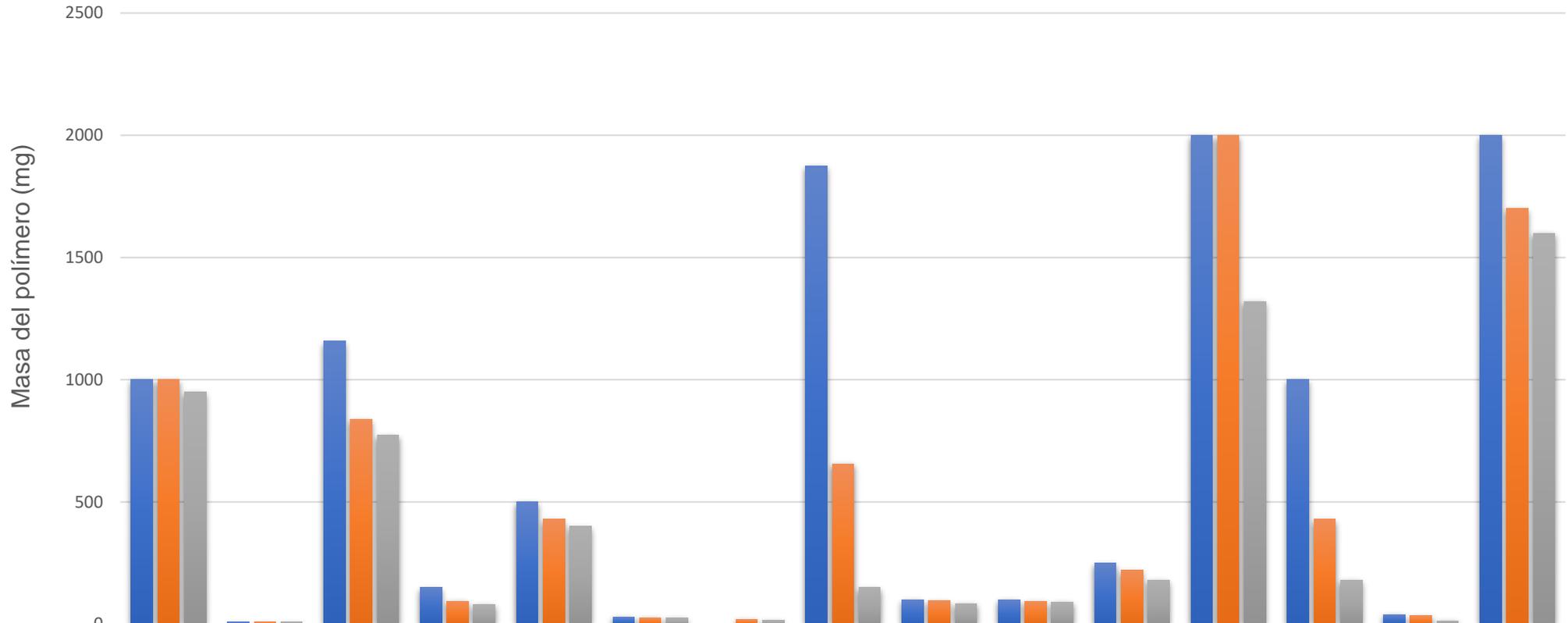
Figura 13. Polímeros sometidos a tratamiento bacteriano para su biodegradación.

En la Tabla 8 y Figura 13, las investigaciones determinaron los principales polímeros presentes en el uso cotidiano de las actividades humanas. Los diferentes autores obtuvieron resultados significativos en la reducción de masa de estos plásticos; para ello, se emplearon diferentes bacterias utilizadas en el proceso de biodegradación. En la Figura 13, se verifica que el polietileno de alta densidad (HDPE) y el polietileno (PE) son los polímeros evaluados en la mayoría de las investigaciones; estos polímeros sirven como materia prima para la

elaboración de diversos productos como envases descartables de un solo uso (bolsas, botellas, envases, entre otros).

Casi todos los polímeros son de naturaleza termoplástica; por ende, la mayoría de estos plásticos pueden ser reciclados y darle un nuevo uso. Otro factor a considerar es la unidad de medida de la masa polimérica en mg; para ello se hizo la conversión en la unidad mencionada. La reducción de la masa polimérica en los diferentes estudios es variable ya que se utilizaron cantidades diferentes. La reducción de masa del plástico varía según el tipo de bacteria y las condiciones en que son analizados. Las condiciones de reducción de la masa del polímero se dieron de dos formas: de manera directa bacteria-polímero o la incorporación de un aditivo mencionado en la Figura 14.

Reducción de masa de los diferentes plásticos



	Polietileno (PE) (Lee et al., 2020)	Cloruro de polivinilo (PVC) (Khandare et al., 2021)	Poliestireno (PS) (Syranidou et al., 2019)	Polietileno de alta densidad (HDPE) (Skariyachan et al., 2018)	Polietileno de alta densidad (HDPE) (Muenmee et al., 2016)	Polietileno de baja densidad (LDPE) (Sarker et al., 2021)	Polietileno (PE) (Nag et al., 2021)	Poliuretano (PU) (Peng et al., 2014)	Polietileno (PE) (Park y Kim, 2019)	Polietileno de baja densidad (LDPE) (Gupta y Devi, 2020)	Poliéster Poliuretano (PU) (Shah et al., 2016)	Poliestireno (PS) (Ganesh et al., 2021)	Ftalato de di-n-butilo (DBP) (Feng et al., 2021)	Polietileno de baja densidad (LDPE) (Skariyachan et al., 2021)	Polietileno de baja densidad (LDPE) (Roy et al., 2021)
■ Masa inicial	1000	10	1158	150	500	30		1875	100	100	250	2000	1000	40	2000
■ Ensayo 1	1000	10	837	94.2	430	26.7	19.76	656.25	95	93.5	220	2000	430	34	1700
■ Ensayo 2	948.8	9.82	772	80.1	400	25.5	15.05	150	85	91.3	180	1320	180	14	1600

Figura 14. Reducción de los diferentes tipos de plásticos

La Figura 14, indica la reducción de masa del polímero frente a la actividad bacteriana. También se evidencia que algunas bacterias biodegradan los polímeros sin la necesidad de incluir algún aditivo o incluir un grupo bacteriano para una mejor biodegradación de los plásticos.

La propia bacteria puede reducir significativamente las muestras de plástico, como lo menciona Lee et al. (2020) donde la biodegradación de las películas de polietileno (PE) por parte de las bacterias *Pseudomonas aeruginosa* obtuvo una reducción de 6.1% de la masa del polietileno (PE). Asimismo Ganesh et al. (2021) evaluaron la reducción en masa del poliestireno (PS) en 35.6%. Estos resultados demuestran que el propio microorganismo presenta la capacidad biodegradadora, sin la adición de un elemento favorable.

Los niveles de reducción de la masa polimérica se dan en mejores condiciones, con la aplicación de aditivos o emplear un consorcio bacteriano para mejorar el accionar de la biodegradación de los plásticos. La Tabla 9 menciona a los autores que aplicaron un tipo de aditivo o el empleo de consorcios bacterianos para mejorar la efectividad de las bacterias y otros que no llegaron a realizar dichos procedimientos para el proceso de biodegradación del plástico.

Tabla 9. Aplicación de aditivos en algunos estudios para la mejora de la reducción de la masa polimérica

Autores	Adición de aditivos		Reducción de la masa del polímero (mg)			Aplicación de aditivos o consorcios bacterianos
	Dosis 1	Dosis 2	Masa inicial	Ensayo 1	Ensayo 2	
Lee et al.(2020)	---	----	1000	1000	948.8	Sin aditivos
Khandare et al.(2021)	----	----	10	10	9.82	Sin aditivos
Syranidou et al.(2019)	2.11	2.19	115800	83700	77200	E1: BIOG II E2: INDG II
Skariyachan et al, (2018)	60	53	150	94.2	80.1	E1: porción de polímero E2: tiras de polímero
Muenmee et al (2016)	1ml	2ml	500	430	405	MOR (concentración de gases O ₂ ; CH ₄) L1: 15;70 y L2:140 cm
Sarker et al. (2021)	0.01	0.05	30	26.7	25.5	aceite mineral
Nag et al. (2021)	---	--	--	19.76	15.05	E1: bolsa blanca E2: bolsa negra
Peng et al. (2014)	---	----	1875	656.25	150	Control del pH por aditivos
Park y Kim.(2019)	----	----	100	95	85	d1:Control d2: inoculación bacterial
Gpta y Devi.(2020)	6.5	8.7	100	93.5	91.3	Adición de MSM y BHM
Shah et al. (2016)	-----	-----	250	220	180	1 sola cepa y consorcio bacterianoSD
Ganesh et al.(2021)	----	----	2000	2000	1320	Sin aditivos
Feng et al. (2021)	----	----	1000	430	180	E1: PVA+YJB6 E2: SA + PVA + YJB6
Skariyachan et al. (2021)	----	----	40	34	14	cons.Bac+Estiercol Bac/consorcio bacteriano
Roy et al, (2021)	----	-----	2000	1600	1700	Dosis 1: laboratorio Dosis 2: microcosmos

El empleo de un aditivo o un consorcio bacteriano, demostraron que son favorables en la biodegradación de los plásticos. Las cantidades del polímero se establecieron en mg, por ello en algunos estudios se hizo la conversión a esta unidad. Los datos obtenidos y generalizados se trabajaron en el metaanálisis a través del programa Revman. La Tabla 10 presenta a los autores que emplearon componentes adicionales y empleo de consorcios, para la mejora de la biodegradación del plástico.

Tabla 10. Uso de diferentes aditivos o consorcios bacterianos para la mejora en la biodegradación de los plásticos por parte de las bacterias.

Autores	Empleo de aditivos		Reducción de la masa del polímero (mg)			Aplicación de aditivos o consorcios bacterianos
	Dosis 1	Dosis 2	Masa inicial	Ensayo 1	Ensayo 2	
Skariyachan et al. (2018)	60	53	150	94.2	80.1	E1: porción de polímero E2: tiras de polímero
Muenmee et al. (2016)	1 mL	2 mL	500	430	405	MOR CH4 E1: L1: 15;70 y140 cm E2: L2:140 cm
Sarker et al. (2021)	0.01	0.05	30	26.7	25.5	Aceite mineral
Peng et al. (2014)	-----	-----	1875	712.5	656.3	Control del pH según los aditivos
Park y Kim.(2019)	----	----	100	95	85	E1: control E2: inoculación bac.
Gupta y Devi. (2020)	6.5	8.7	100	93.5	91.3	E1: MSM E2: BHM
Shah et al. (2016)	----	-----	250	220	180	E1: 1 cepa E2: consorcio bacteriano
Feng et al. (2016)	----	-----	250	220	180	E1: PVA+YJB6 E2: SA + PVA + YJB6

Skariyachan et al. (2021)	----	----	40	34	14	cons. Bac+Estiercol Bac/consorcio bacteriano
Roy et al, (2021)	----	-----	2000	1600	1700	E1 : laboratorio E2 : microcosmos

La Tabla 10 muestra las 10 investigaciones utilizadas en el metaanálisis para la obtención de los resultados respecto a la biodegradación de los plásticos. También se registra las cantidades de masa reducida de los plásticos ante la actividad bacteriana según la dosis aplicada. Otros aspectos a tomar en cuenta es que los datos deben de presentar valores próximos para una mejor evaluación en el proceso del metaanálisis.

Metaanálisis

Metaanálisis de la reducción de las películas de plástico por acción de las bacterias degradadoras de polímeros.

Se evaluaron 15 artículos donde se identificaron las bacterias encargadas de la biodegradación del plástico; del total de los artículos seleccionados se volvió a realizar una selección de 10 documentos con la finalidad de utilizar datos adecuados para la evaluación en el programa Revman y obtener resultados confiables.

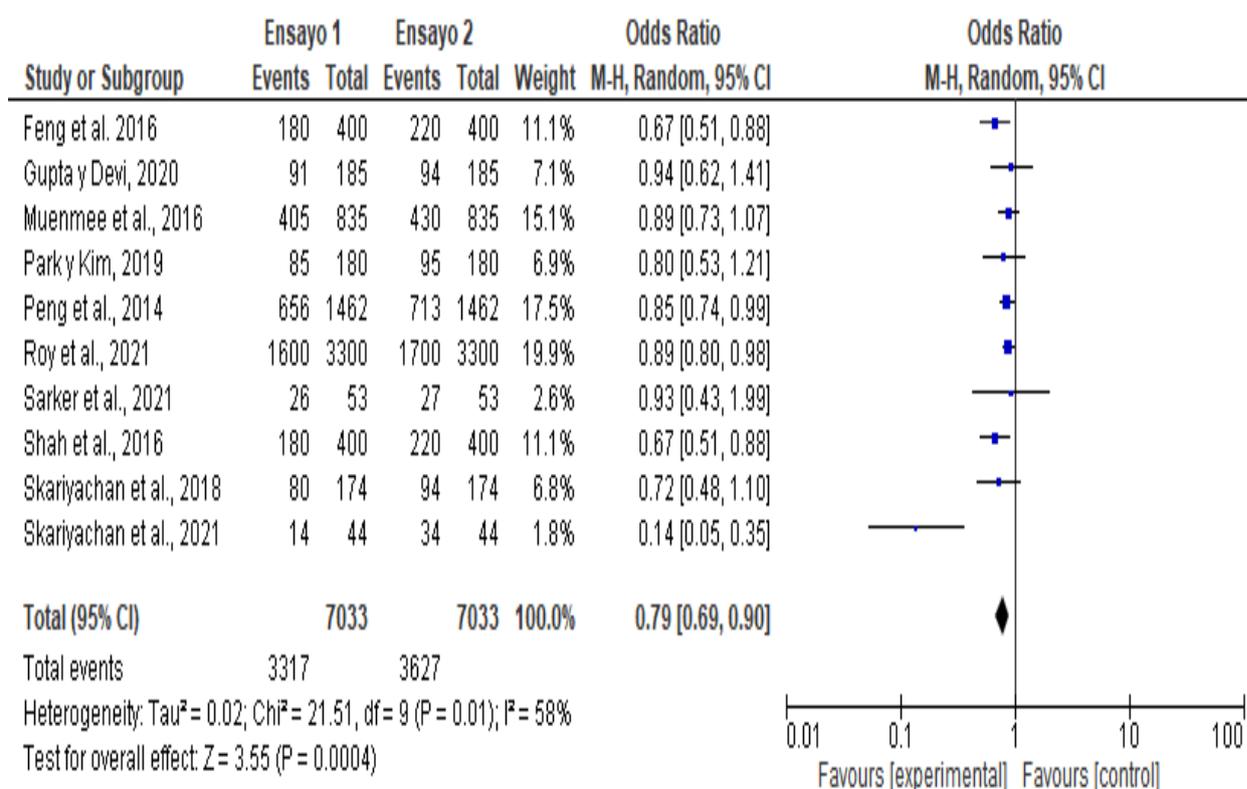


Figura 15. Metaanálisis de la reducción de masas por la actividad bacteriana utilizando un aditivo.

Los valores registrados en el metaanálisis (Figura 15) se dio al utilizar datos próximos para la obtención de un mejor resultado. El metaanálisis permitió establecer si existe una diferencia significativa entre las reducciones de masa de las películas o polvo de los polímeros por la actividad bacteriana con la incorporación de un aditivo o el empleo de consorcios bacterianos. El análisis de la evaluación sistemática indica que el Odds ratio es 1, por lo tanto, se interpreta la valoración:

- Odds ratio <1 : Las películas o polvo de plástico es biodegradado favorablemente al incorporar un aditivo o emplear un consorcio bacteriano en la inoculación de la bacteria
- Odds ratio > 1 : Las películas de plástico no tuvieron una reducción considerable de masa ante la actividad bacteriana
- Odds ratio = 1: La reducción de la masa del plástico no presenta una gran diferencia entre la dosis 1 y 2.

La razón de monio (Odds Ratio) fue de 0.79, esto indica que la masa de plásticos en el segundo ensayo tuvo una reducción significativa en 21%. Las investigaciones incluidas evidenciaron una heterogeneidad estadística de $P=0.01$ e $I^2=58\%$, esto indica que los resultados de los ensayos 1 y 2 presentan una variabilidad moderada. Respecto a los valores de peso (Weigth) de acuerdo con Roy et al. (2021), Peng et al. (2014) y (Muenmee et al. (2016) presentaron un peso de 19.9%, 17.5% y 15.1% respectivamente, indicando que estos estudios tienden a biodegradar en mayor medida los polímeros empleando aditivos o consorcios bacterianos que mejoren el proceso de biodegradación de los plásticos

V. DISCUSIÓN

A partir de la revisión sistemática y metaanálisis se evaluaron 15 investigaciones destacando sobre la eficiencia en la biodegradación de los plásticos, la reducción de masa del polímero y el crecimiento poblacional de las bacterias en las películas de polímeros. Los resultados demostraron que las cepas bacterianas presentan la capacidad de biodegradar los plásticos bajo diferentes condiciones, tal como lo indica Peng et al. (2014) evaluaron la degradación de polvo de Poliuretano (PU) en un 92%, utilizando la cepa *Pseudomona putida* a 25°C y pH de 8.4. Por otra parte, Dey et al. (2020) emplearon un medio rico de fluidos para la degradación de perlas de Polietileno de baja densidad (LDPE) en 8% utilizando *Stenotrophomonas sp.*; finalmente, Sarkhel et al. (2020) aplicaron cepas de *Vibrio sp.* en diferentes dosis sobre películas de PET, obteniendo una reducción de 35% en la dosis más alta, a pH 11 y 35 C°. Los estudios demuestran que las diversas bacterias presentan la capacidad de metabolizar los diferentes plásticos. Por ello estos microorganismos aprovechan los polímeros como fuente de carbono para la obtención de moléculas energéticas.

Se debe conocer que algunas cepas bacterianas tienen un mejor efecto de biodegradabilidad con la aplicación de algún tipo de aditivo para la biodegradación de las láminas de plástico. Al respecto, Sarker et al. (2021) aplicaron aceite mineral (0.01 y 0.05%) en la biodegradación del polietileno(PE) de baja densidad (LDPE) por la bacteria del género *Oceanospirillales*, obteniendo una reducción de 26.7 y 25.5 mg respectivamente demostrando una mayor efectividad de biodegradación a mayor concentración de la dosis. El estudio de Syranidou et al. (2019) indicaron que existe mayor biodegradación del poliestireno (PP) en contacto con la bacteria *Alteromona australiana* (nativa y otra bioaumentada), con dosis de 2.1 y 2.19%, obteniendo una reducción de la masa polimérica en 8730 y 7220 mg respectivamente. Gupta y Devi (2020) comprobaron que al aplicar MSM (solución salina) y BHM (Caldo nutritivo) en dosis 6.5 y 8.7%, tuvieron un efecto en la bacteria *Enterobacter cloacae* AKS7 en reducir la masa en 93.5 y 91.3 mg del LDPE (polietileno de baja densidad) según las dosis aplicadas. El empleo de diversos aditivos en el contacto de la

cepa bacteriana y el polímero, demostraron ser un factor aceptable ya que acelera la biodegradación de los plásticos, esto se debe a que las poblaciones iniciales de cepas bacterianas, requieren de componentes primarios para aumentar su población colonial y por ende una mayor efectividad de biodegradación.

La inoculación de diversos tipos de cepas bacterianas en una muestra de plástico demostró que tienen mayor efectividad en la biodegradación de los polímeros, al respecto Skariyachan et al.(2018) utilizaron 3 cepas bacterianas para la biodegradación del polietileno de baja densidad (LDPE) logrando un 33% de reducción de su masa; asimismo, Nadeem et al. (2021) aplicaron un consorcio bacteriano de *Serratia sp.*, *Stenotrophomonas sp.* y *Pseudomonas sp.* para reducir la masa de las películas de polietileno de baja densidad (LDPE) en 32%, previamente tratado en un medio salino a 30°C. Por otra parte, Muenmee et al.(2016) emplearon las cepas de *Methylocella sp.*, *Methylobacter sp.* y *Methylococcus capsulatus* para la biodegradación del polietileno de alta densidad (HDPE) y polipropileno (PP) obteniendo una biodegradabilidad de 20% en HDPE y 9% en PP durante 3 meses. Estos factores indican que un consorcio bacteriano biodegrada en mayor medida las películas de plástico, debido a que cada especie bacteriana presenta diferentes formas de actividad metabólica.

El crecimiento de la población bacteriana está relacionado con la biodegradación de los plásticos. Los microorganismos requieren de un medio favorable para la obtención de compuestos y obtener la energía para poder desarrollarse; por ende, los polímeros sirven como materia de nutrición y obtención de energía en las bacterias. Muenmee et al. (2016) realizaron la inoculación de $2E+11$ CFU/mL de cepas del género Rhodobacteriales, incorporando gases de oxígeno y metano en dosis de 18 y 10%; obteniendo valores de $4.5E+11$ y $2.7E+6$ CFU/mL y una reducción del polímero en 20 %. Por otro lado, Sarker et al. (2021) incrementaron la población bacteriana en $2.2E+6$ CFU/mL y $2.4E+6$ CFU/mL, utilizando dosis de aceite mineral ($d_1=0.01$ y $d_2=0.05\%$) obteniendo la reducción del polímero en 26.7 y 25.5 mg respectivamente. Estos estudios demuestran que el crecimiento colonial y la reducción del plástico están relacionados; sobre todo si se llega a adicionar un aditivo para mejorar la efectividad de la reducción de masa polimérica.

La formación de la colonia bacteriana no requiere de un aditivo. Algunos estudios indican que la interacción bacteria-plástico no requieren algún componente adicional para la mejora de la biodegradación debido pues, la interacción del microorganismo con la película o polvo del polímero es de manera directa. Al respecto, Ganesh et al.(2021) realizaron el cultivo de $4E+7$ CFU/mL de *Exiguobacterium sp.* luego de 60 días evidenciaron el aumento de la colonia bacteriana en $3E+8$ CFU/mL y una reducción del polímero en 34%. Por su parte, Nag et al.(2021) inocularon $1.2E+8$ CFU/mL de cepas de *Aneuribacillus* en películas de 43 mg de polietileno (PE), evidenciando un aumento de $1.8E+8$ CFU/ mL y la reducción en 27 mg del polímero. Asimismo, Skariyachan et al.(2018) utilizaron una dosis inicial de $2.7E+05$ CFU/mL de cepas *Brevibacillus sp.* y *Aneurinibacillus sp.* obteniendo valores de $4E+05$ CFU/mL y una reducción del polímero en 37.2% durante 120 días.

El crecimiento bacteriano es favorable con la aplicación de un aditivo; sin embargo, se evidencia que la población bacteriana mantiene su crecimiento poblacional sólo por contacto directo con los polímeros. Esto demuestra que los microorganismos sólo requieren un medio para obtener la energía necesaria en su metabolismo. Realizar el recuento bacteriano es una forma de poder medir la cantidad de microorganismos y evaluar si el crecimiento colonial de bacterias en las películas de polímero está relacionado con la biodegradación del polímero.

Las condiciones operacionales sirvieron para una mejor evaluación del proceso de biodegradación. Factores como la temperatura, pH, el pretratamiento de rayos UV son parámetros, que permitieron la biodegradabilidad de los diferentes tipos bacterianos en los plásticos sintéticos, por ello Oliveira et al. (2021) realizaron el aislamiento de *Lysinibacillus sp.* en un medio Salino y nitrato para luego ser inoculado en las láminas de Polietileno de alta densidad (HDPE) a 25°C durante 24 horas en un medio acuoso de caldo estéril. Finalmente, (Gao y Sun, 2021) emplearon láminas de PET o PE en un medio de solución con (0,5 g de extracto de levadura, 1g de peptona en 1 L de agua de mar filtrada) a pH de 7,0 y 30C° donde se inocularon cepas de bacterias marinas.

Estos estudios demuestran que los parámetros son necesarios para el incremento de las colonias bacterianas y posterior biodegradación de los plásticos. Sin embargo, algunos autores no consideran estos factores en sus investigaciones, como el empleo de aditivos, la evaluación FT-IR o el pH.

En el estudio de revisión sistemática y metaanálisis se encontró artículos donde sólo aplicaron una especie de cepa bacteriana; el objetivo de ello, fue la identificación de las principales bacterias y encontrar los diversos mecanismos de acción bacteriana empleadas en la biodegradación de plásticos independiente para obtener resultados que a futuro permitan ser aplicado en grandes escalas para afrontar la contaminación con los diferentes plásticos que día a día se acumulan en nuestro planeta.

Algunas investigaciones mencionan a las enzimas bacterianas como elemento clave en la biodegradación del polímero. Al respecto, Fecker et al. (2018) evaluaron la efectividad de la enzima PETasa obtenida de la bacteria *Ideonella sakaiensis*, demostrando que la enzima PETasa tiene mayor flexibilidad a temperatura ambiente, pues según la estructura molecular de la enzima favorece a una reacción hidrolítica en los polímeros. Por otro lado, Xu et al. (2020) analizaron la capacidad biodegradadoras de la cepa *Paracoccus Kondratievae* BJQ0001 del ftalato(PAE), demostrando que las enzimas claves en la biodegradación del ftalato(PAE) fueron un tipo de hidrolasa y esterasa, enzimas que realizan la hidrólisis de los polímeros para transformarlos en residuos más simples y degradables. Finalmente Meng et al. (2021) aplicaron la *I. Sakiensis* para la degradación de los plásticos PET, por medio de la enzima PETasa con modificaciones genéticas; estas enzimas presentaron una eficiencia catalítica mejorada (Kcat/Km) en 2,0 a 10,°C en comparación con un tipo salvaje.

Estos resultados son importantes para entender el metabolismo bacteriano y cómo poder aprovechar estos conocimientos para realizar una evaluación adecuada en el estudio sobre las bacterias que biodegradan los plásticos. El empleo de bacterias es un campo que requiere mayor interés para poder ser utilizado en el proceso de la biodegradación de los polímeros sintéticos.

VI. CONCLUSIONES

La revisión sistemática y metaanálisis demostraron que el uso de bacterias en la biodegradación de plásticos es favorable, obteniendo porcentajes de biodegradación del 21%. Entre los principales resultados se tiene:

- Se reconoció que las bacterias del género *Pseudomona* y *Bacillus* son los microorganismos más utilizados en la biodegradación de plásticos debido a que estas cepas son efectivas en la biodegradación de los polímeros.
- Se determinó que las condiciones operacionales que más influyen en el proceso de biodegradación de plásticos es la aplicación de aditivos para mejorar la actividad bacteriana, obteniendo porcentajes máximos de reducción de masa de 19.9%. Además, la mayoría de las investigaciones indicaron que la temperatura promedio de actividad bacteriana es de 25 a 50°C y trabajan en valores de pH de 7.5 a 8.
- Se determinó la relación entre el crecimiento bacteriano y la reducción en masa de las películas o polvo de un polímero demostrando que, a una mayor concentración bacteriana se evidencia una mayor reducción de la masa del plástico. Como ejemplo, la inoculación de la bacteria *Methylocella sp* con una población inicial de 4. E+07 CFU/mL en una muestra de poliestireno (PS) de 2000 mg, incrementó la población bacteriana a 3E+8 CFU/mL y la masa del PS se redujo en 1320 mg.

VII. RECOMENDACIONES

- Ampliar las investigaciones sobre revisiones sistemáticas y metaanálisis respecto a especies de bacterias que biodegradan los diferentes tipos de plásticos, de naturaleza sintética y orgánica.
- Revisar artículos que contengan varios ensayos respecto a la reducción de masa polimérica y el crecimiento bacteriano
- Aplicar diferentes técnicas de búsqueda confiables que permitan desarrollar un trabajo adecuado, evitando posibles sesgos en los resultados del metaanálisis.
- En los trabajos a futuro sobre revisión sistemática y metaanálisis, considerar la aplicación de aditivos para la evaluación de las bacterias en el proceso de biodegradación de los plásticos.
- Utilizar otras escalas de calidad para evaluar las investigaciones seleccionadas para el estudio.

REFERENCIAS

AKINDOYO J. et al. Polyurethane types, synthesis and applications-a review. RSC Advances [en línea]. 2016, Agosto vol. 6, pp. 114453-114482 [fecha de consulta: 20 de junio de 2021]. DOI 10.1039/c6ra14525f.

ALI, S y SUN, J. Effective thermal pretreatment of water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) for the enhancement of biomethanation [en línea]. 2019, vol. 7, no. 1, pp. 102853 [Fecha de consulta: 5 de junio de 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2018.102853>.

AMOBONYE S., et al. a. Plastic biodegradation: Frontline microbes and their enzymes. [en línea], 2020 [Fecha de consulta: 10 de junio de 2021]. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.143536.

BHARDWAJ H., et al. Communities of Microbial Enzymes Associated with Biodegradation of Plastics. Journal of Polymers and the Environment [en línea]. 2013, vol. 21, no. 2, pp. 575-579 [Fecha de consulta: 19 de mayo de 2021]. DOI 10.1007/s10924-012-0456-z.

BIUNDO A., et al. Characterization of a poly (butylene adipate-co-terephthalate)-hydrolyzing lipase from *Pelosinus fermentans*. Applied Microbiology and Biotechnology [en línea]. 2016, vol. 100, no. 4, pp. 1753-1764 [Fecha de consulta: 19 de mayo de 2021]. DOI 10.1007/s00253-015-7031-1.

CAPPELLO S., et al. New insights into the structure and function of the prokaryotic communities colonizing plastic debris collected in King George Island (Antarctica): Preliminary observations from two plastic fragment [en línea]. 2016, vol. 414, pp. 125586. ISSN 18733336 [Fecha de consulta: 19 de octubre de 2021]. DOI 10.1016/j.jhazmat.2021.125586.

CHEN, Y., et al. Occurrence, effects, and biodegradation of plastic additives in sludge anaerobic digestion: A review [en línea]. 2021, vol. 287, pp. 117568 [Fecha de consulta: 19 de octubre de 2021]. DOI 10.1016/J.ENVPOL.2021.117568.

DEY A., et al. Biodegradation of Unpretreated Low-Density Polyethylene (LDPE) by *Stenotrophomonas* sp. and *Achromobacter* sp [en línea]. 2020, December, vol. 11, no., pp. 1-15 [Fecha de consulta: 25 de octubre de 2021]. DOI 10.3389/fmicb.2020.603210.

DÍAZ C., et al. Plastics and microplastics, effects on marine coastal areas: a review [en línea]. 2020, vol. 27, no. 32, pp. 39913-39922 [Fecha de consulta: 25 de octubre de 2021]. DOI 10.1007/s11356-020-10394-y.

DONALD A., et al. Plastic waste: Status, degradation and microbial management options for Africa. Journal of Environmental Management [en línea]. 2021, vol. 292, pp. 112758 [Fecha de consulta: 25 de octubre de 2021]. DOI 10.1016/j.jenvman.2021.112758.

FECKER T., et al. Active Site Flexibility as a Hallmark for Efficient PET Degradation by *I. sakaiensis* PETase [en línea]. 2018, vol. 114, no. 6, pp. 1302-1312 [Fecha de consulta: 27 de octubre de 2021]. DOI 10.1016/j.bpj.2018.02.005.

FENG N., et al. Complete biodegradation of di-n-butyl phthalate (DBP) by a novel *Pseudomonas* sp. YJB6 [en línea]. 2021, vol. 761, pp. 143208 [Fecha de consulta: 18 de octubre de 2021]. DOI 10.1016/j.scitotenv.2020.143208.

GANESH K., et al Biodegradation of polystyrene by deep-sea *Bacillus paralicheniformis* G1 and genome analysis [en línea]. 2021, vol. 774, pp. 145002. [Fecha de consulta:1 de octubre de 2021]. DOI 10.1016/j. scitotenv. 2021.145002.

GAO, R. y SUN, C. A marine bacterial community capable of degrading poly(ethylene terephthalate) and polyethylene [en línea]. 2021, vol. 416, pp. 125928. ISSN 18733336 [Fecha de consulta:1 de octubre de 2021] DOI 10.1016/j.jhazmat.2021.125928.

GUNAWAN N et al. Rapid biodegradation of renewable polyurethane foams with identification of associated microorganisms and decomposition products. *Bioresource Technology Reports* [en línea]. 2020, vol. 11 [Fecha de consulta:1 de octubre de 2021]. DOI 10.1016/j.biteb.2020.100513.

GUPTA, K. y DEVI, D. Characteristics investigation on biofilm formation and biodegradation activities of *Pseudomonas aeruginosa* strain ISJ14 colonizing low density polyethylene (LDPE) [en línea]. 2020, vol. 6, no. 7, pp. e04398. [Fecha de consulta:1 de octubre de 2021]. DOI 10.1016/j.heliyon.2020.e04398.

HASE L et al. Light excess stimulates Poly-beta-hydroxybutyrate yield in a mangrove-isolated strain of *Synechocystis* sp. *Bioresource Technology* [en línea]. 2021, vol. 320, pp. 124379 [Fecha de consulta:1 de octubre de 2021]. DOI 10.1016/j.biortech.2020.124379.

PEREZ J et al. Towards understanding the effects of oceanic plastic pollution on population growth for a South American fur seal [en línea]. 2021, [Fecha de consulta:1 de octubre de 2021]. DOI 10.1016/j.envpol.2021.116881.

KHANDARE S et al. Bioremediation of polyvinyl chloride (PVC) films by marine bacteria. *Marine Pollution Bulletin* [en línea]. 2021, vol. 169, pp. 112566 [Consulta: 18 junio 2021]. DOI 10.1016/j.marpolbul.2021.112566.

KEHINDE, O et al. Plastic wastes: environmental hazard and instrument for wealth creation in Nigeria [en línea]. 2020, vol. 6, no. 10, pp. e05131 [Fecha de consulta:1 de octubre de 2021]. DOI 10.1016/j.heliyon.2020.e05131.

KHOSROVYAN, A. y KAHRU, A. Evaluation of the potential toxicity of UV-weathered virgin polyamide microplastics to non-biting midge *Chironomus riparius* [en línea]. 2021, DOI 10.1016/j.envpol.2021.117334.

KRUPA, I. y ALI ALMA'ADEED, M., Olefin Polymerization BT - Polyolefin Compounds and Materials: Fundamentals and Industrial Applications [en línea]. 2020, vol. 6, no. 10, pp. e05131. ISBN 978-3-319-25982-6 [Fecha de consulta: 1 de octubre de 2021]

KUMAR, R., et al. Landfill microbiome harbour plastic degrading genes: A metagenomic study of solid waste dumping site of Gujarat, India [en línea]. 2020, vol. 6, no. 10, pp. e05131 [Fecha de consulta: 10 de octubre de 2021]. DOI 10.1016/j.scitotenv.2021.146184.

KUMAR S. y RAUT S. Microbial degradation of low-density polyethylene (LDPE). [en línea]. 2015, vol 3 no 1 462-473 pp 1 marzo. [Fecha de consulta: 30 de octubre de 2021] DOI 10.1016/j.jece.2015.01.003

LEE, J., et al. Lignin-Zein Composite: Synthesis, Three-Dimensional Printing, and Microbial Degradation. [en línea]. 2021 [Fecha de consulta: 1 de octubre de 2021]. DOI 10.1021/acssuschemeng.0c07915.

LEE, H. y KIM, M. Isolation of bacteria degrading poly (butylene succinate-co-butylene adipate) and their lip A gene [en línea]. 2010, vol. 64, no. 3, pp. 184-190. ISSN 09648305 [Fecha de consulta: 20 de octubre de 2021]. DOI 10.1016/j.ibiod.2010.01.002.

LOREDO et al. Microbial Enzymes Involved in Polyurethane Biodegradation: A Review. Journal of Polymers and the Environment [en línea]. 2012, vol. 20, no. 1, pp. 258-265. ISSN 15662543 [Fecha de consulta: 22 de julio de 2021]. DOI 10.1007/s10924-011-0390-5.

MENG, X., et al. Protein engineering of stable IsPETase for PET plastic degradation by Premuse [en línea]. 2021, vol. 180, pp. 667-676. ISSN 18790003 [Fecha de consulta: 25 de mayo de 2021]. DOI 10.1016/j.ijbiomac.2021.03.058.

MINAM [en línea]. 2016, [Consulta: 26 junio 2021]. Disponible en: <https://www.minam.gob.pe/menos-plastico-mas-vida/cifras-del-mundo-y-el-peru/>.

MIR, S., et al. The effects of nanoclay on thermal, mechanical and rheological properties of LLDPE/chitosan blend [en línea]. 2017, vol. 37, no. 2, pp. 143-149. ISSN 03346447 [Consulta: 26 junio 2021]. DOI 10.1515/polyeng-2015-0350.

MONGILI., et al B. Novel insights in dimethyl carbonate-based extraction of polyhydroxybutyrate (PHB) [en línea]. 2018, vol. 37, no. 2, pp. 117-133 [Consulta: 26 junio 2021]. DOI 10.1186/s13068-020-01849-y.

MOOG D., et al. Using a marine microalga as a chassis for polyethylene terephthalate (PET) degradation. Microbial Cell Factories [en línea]. 2019, vol. 18, no. 1, pp. 1-15. ISSN 14752859 [Consulta: 14 de septiembre de 2021]. DOI 10.1186/s12934-019-1220-z.

MUENMEE S., et al. Microbial consortium involving biological methane oxidation in relation to the biodegradation of waste plastics in a solid waste disposal open dump site. International Biodeterioration and Biodegradation [en línea]. 2015, vol.

102, pp. 172-181. ISSN 09648305 [Consulta: 14 de septiembre de 2021]. DOI 10.1016/j.ibiod.2015.03.015.

NADEEM, H., et al. Isolation and identification of low-density polyethylene degrading novel bacterial strains. *Archives of Microbiology* [en línea]. 2021, vol. 203, no. 9, pp. 5417-5423. ISSN 1432072X [Consulta: 14 de septiembre de 2021]. DOI 10.1007/s00203-021-02521-1.

NAG, M., et al. Biodegradation of used polyethylene bags by a new marine strain of *Alcaligenes faecalis* LNDR-1. *Environmental Science and Pollution Research* [en línea]. 2021, ISSN 1614-7499 [Consulta: 20 de septiembre de 2021]. DOI 10.1007/s11356-021-13704-0.

OLIVEIRA M., et al. Biofilms of *Pseudomonas* and *Lysinibacillus* Marine Strains on High-Density Polyethylene [en línea]. 2020, [Consulta: 14 de septiembre de 2021]. DOI 10.1007/s00248-020-01666-8/Published.

PARK, S.Y. y KIM, C.G. Biodegradation of micro-polyethylene particles by bacterial colonization of a mixed microbial consortium isolated from a landfill site. *Chemosphere* [en línea]. 2019, vol. 222, pp. 527-533. ISSN 18791298 [Consulta: 14 de septiembre de 2021]. DOI 10.1016/j.chemosphere.2019.01.159.

PENG Y., et al. Degradation of polyurethane by bacterium isolated from soil and assessment of polyurethanolytic activity of a *Pseudomonas putida* strain. *Environmental Science and Pollution Research* [en línea]. 2014, vol. 21, no. 16, pp. 9529-9537. ISSN 16147499 [Consulta: 25 de octubre de 2021]. DOI 10.1007/s11356-014-2647-8.

PEYDAEI A., et al. Mastication of polyolefins alters the microbial composition in *Galleria mellonella*. *Environmental Pollution*. [en línea]. 2021, vol. 280, pp. 116877. ISSN 18736424 [Consulta: 26 de mayo de 2021]. DOI 10.1016/j.envpol.2021.116877.

PIRILLO, V., et al. Analytical methods for the investigation of enzyme-catalyzed degradation of polyethylene terephthalate. *The FEBS Journal* [en línea]. 2021, pp. 16. ISSN 1742-464X [Consulta: 18 de septiembre de 2021]. DOI 10.1111/febs.15850.

PLASCTICEUROPE-ASSOCIATION OF PLASTICS MANUFACTURES. *Plastics – the Facts 2020*. PlasticEurope [en línea]. 2020, pp. 1-64. Disponible en: <https://www.plasticseurope.org/en/resources/publications/4312-plastics-facts-2020>.

POTRYKUS., et al. Polypropylene structure alterations after 5 years of natural degradation in a waste landfill. *Science of the Total Environment* [en línea]. 2021, vol. 758, pp. 143649. ISSN 18791026 [Consulta: 14 de septiembre de 2021]. DOI 10.1016/j.scitotenv.2020.143649.

PRUDNIKOVA, S., et al. Metabolic activity of cryogenic soils in the subarctic zone of Siberia towards «green» bioplastics [en línea]. 2021, DOI: 10.1016/j.chemosphere.2020.128180.

ROAGER, L. y SONNENSCHNEIN, E.C. Bacterial Candidates for Colonization and Degradation of Marine Plastic Debris. *Environmental Science and Technology*, [en línea]. 2019, vol. 53, no. 20, pp. 11636-11643. ISSN 15205851 [Consulta: 18 de septiembre de 2021]. DOI 10.1021/acs.est.9b02212.

ROY R., et al. Isolation of a soil bacterium for remediation of polyurethane and low-density polyethylene: a promising tool towards sustainable cleanup of the environment. *3 Biotech* [en línea]. 2021, vol. 11, no. 1, pp. 29. ISSN 2190-5738 [Consulta: 28 de octubre de 2021]. DOI 10.1007/s13205-020-02592-9.

SANGEETHA D., et al. Investigation of biodegradation potentials of high density polyethylene degrading marine bacteria isolated from the coastal regions of Tamil Nadu, India. *Marine Pollution Bulletin* [en línea]. 2019, vol. 138, pp. 549-560. ISSN 18793363 [Consulta: 25 de octubre de 2021]. DOI 10.1016/j.marpolbul.2018.12.001.

SARKER, R., et al. Exploration of Strategies for the Enhanced Biodegradation of Low-Density Polyethylene (LDPE) by A Soil Bacterium *Enterobacter Cloacae* AKS7. *Journal of Pure and Applied Microbiology*, [en línea]. 2021, vol. 15, no. 3, pp. 1266-1278. ISSN 09737510 [Consulta: 15 de octubre de 2021]. DOI 10.22207/jpam.15.3.16.

SARKHEL, R., et al. Comparative biodegradation study of polymer from plastic bottle waste using novel isolated bacteria and fungi from marine source. *Journal of Polymer Research* [en línea]. 2020, vol. 27, no. 1. ISSN 15728935 [Consulta: 28 de octubre de 2021]. DOI 10.1007/s10965-019-1973-4.

SHAH Z., et al. Degradation of polyester polyurethane by an indigenously developed consortium of *Pseudomonas* and *Bacillus* species isolated from soil. *Polymer Degradation and Stability* [en línea]. 2020, vol. 134, pp. 349-356. ISSN 01413910 [Consulta: 5 de noviembre de 2021]. DOI 10.1016/j.polymdegradstab.2016.11.003.

SKARIYACHAN S., et al. Enhanced polymer degradation of polyethylene and polypropylene by novel thermophilic consortia of *Brevibacillus* sps. and *Aneurinibacillus* sp. screened from waste management landfills and sewage treatment plants. *Polymer Degradation and Stability* [en línea]. 2018, vol. 149, pp. 52-68. ISSN 01413910 [Consulta: 22 de octubre de 2021]. DOI 10.1016/j.polymdegradstab.2018.01.018.

SKARIYACHAN, S. Novel consortia of *Enterobacter* and *Pseudomonas* formulated from cow dung exhibited enhanced biodegradation of polyethylene and polypropylene [en línea]. 2021, vol. 284, pp. 112030 [Consulta: 28 de noviembre de 2021]. DOI 10.1016/j.jenvman.2021.112030.

SYRANIDOU, E., et al. Biodegradation of mixture of plastic films by tailored marine consortia. *Journal of Hazardous Materials* [en línea]. 2016, vol. 375, pp. 33-42. ISSN 18733336 [Consulta: 5 de octubre de 2021]. DOI 10.1016/j.jhazmat.2019.04.078.

SONG, Y., et al Biodegradation and disintegration of expanded polystyrene by land snails *Achatina fulica* [en línea]. 2020, DOI 10.1016/j.scitotenv.2020.141289.

SPINA, F., et al. Low density polyethylene degradation by filamentous fungi [en línea].2021, DOI 10.1016/j.envpol.2021.116548.

TAGHAVI, N., et al. Degradation of plastic waste using stimulated and naturally occurring microbial strains. *Chemosphere* [en línea]. 2020, DOI 10.1016/j.chemosphere.2020.127975.

URBANEK, A., et al. A comprehensive assessment of microbiome diversity in *Tenebrio molitor* fed with polystyrene waste. *Environmental Pollution* [en línea]. 2020, vol. 262, pp. 114281. ISSN 18736424 [Consulta: 29 de octubre de 2021]. DOI 10.1016/j.envpol.2020.114281.

WEBB, H., et al. Plastic degradation and its environmental implications with special reference to poly (ethylene terephthalate). *Polymers* [en línea]. 2013, vol. 5, no. 1, pp. 1-18. ISSN 20734360 [Consulta: 22 de junio de 2021]. DOI 10.3390/polym5010001.

WOLSKA, L .Polypropylene structure alterations after 5 years of natural degradation in a waste landfill. *Science of the Total Environment* [en línea]. 2021, vol. 758. ISSN 18791026 [Consulta: 17 de junio de 2021]. DOI 10.1016/j.scitotenv.2020.143649.

XU, Y., et al. Biodegradation of phthalate esters by *Paracoccus kondratievae* BJQ0001 isolated from Jiuqu (Baijiu fermentation starter) and identification of the ester bond hydrolysis enzyme. [en línea]. 2020, [Consulta: 17 de junio de 2021]. S.l.: s.n.

YOSHIDA, S., et al. A bacterium that degrades and assimilates poly (ethylene terephthalate) [en línea]. 2016, *Science*, vol. 353, no. 6301, pp. 759. ISSN 10959203 [Consulta: 10 de julio de 2021].

YUE, W., et al. Biodegradation of bisphenol-A polycarbonate plastic by *Pseudoxanthomonas* sp. strain NyZ600 [en línea]. 2021, [Consulta: 12 de mayo de 2021]. DOI 10.1016/j.jhazmat.2021.125775.

ANEXOS

Anexo 1. Cuadro de operacionalización de variables

		Título: Revisión sistemática y metaanálisis sobre la aplicación de bacterias para la biodegradación de plásticos					
		Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de mediciones/ Unidad	
Variable Independiente	Aplicación de bacterias	Las bacterias cumplen el papel de biodegradador de los diferentes plásticos , sean sintéticos u organicos , ello se debe a la capacidad de descomponer ácidos grasos de cadena larga la cual es la estructura principal de los polímeros (Roager ,L and Sonneshein,E 2019 ;Wilkes, R and Aristilde ,L 2017)	La investigación se realizó mediante revisión sistemática y metaanálisis. Se determinó el tipo de bacterias, las condiciones operacionales en el proceso de biodegradación del plástico y las características de reducción	Investigaciones	Area temática		Nominal
					Tipo de documento		
				Tipos de bacterias	Tipo de respiración	Anaerobias	Nominal
						Aerobias	
				Según el tipó de pared celular	Gram positivas	Nominal	
					Gram negativas		
				Condiciones operacionales	Método de aplicación	Pre-tratamiento con rayos UV	
						Empleo de aditivos	
					Dosis de bacterias		-----
					Tiempo de contacto.		Días /horas(h)
	pH	0-14					
	Temperatura	°C					
Características de reducción	Actividad enzimática	Intracelular					
		Extracelular					
Variable dependiente	Biodegradación de plásticos	La biodegradación de plásticos, es el proceso de transformar moléculas de polímeros en biogas y biomasa en ausencia de oxígeno por organismos de tipo anaeróbicos(Ali,S and Sun ,J 2019; Ali,S et al 2019) ya que estos organismos utilizan los plásticos como fuente de carbono transformando las largas cadenas de carbono en moléculas mas simples , agua y CO2(Mir, S et al ,2017)	Se determinó la reducción de masa del plástico considerando el tipo de plástico, el medio de biodegradación y el porcentaje de reducción de masa de plástico	Tipo de plástico	Termoestables	Baquelita; PBT; PE; PU; PBT; PVC	Nominal
					Termoplásticos	LDPE; HDPE; PVC; PET; PVDC	Nominal
				Medio de biodegradación del plástico	Laboratorio		-----
					Medio acuoso		-----
					Medio terrestre		-----
				Reducción En masa(mg)	Masa inicial		mg
					Masa final		

Legenda: PE: Polietileno; PU: poliuretano; PBT: tereftalato de polibutileno; LDPE: polietileno de baja densidad; HPDE: polietileno de alta densidad; PVC: cloruro de polivinilo; PET: tereftalato de polietileno; PVDC: cloruro de poli vinilideno (Olivera, J et al 2020; Otobong ,D et al 2021 ;Amobonye ,A et al 2021; Kehinde, O et al 2021)

Anexo 2. Instrumentos de recolección de datos

Ficha 1: Ficha de recolección de datos						
Título		Revisión sistemática y metaanálisis sobre la aplicación de bacterias para la biodegradación de plásticos				
Línea de investigación		Calidad y gestión de los recursos naturales				
Responsable		Yeser Diequer Lopez Ramos				
Asesor		Dr. Carlos Alberto Castañeda Olivera				
Nº	Revista	Base de datos	bacteria	Metodología /Descripción	Ámbito geográfico	Autor(es)


 CLAUDIOS ORIA
 INGENIERA AGRONÓMICA
 Reg. CIP Nº 158763


 Dr. Ing. Carlos Alberto Castañeda Olivera
 DOCENTE E INVESTIGADOR
 CIP: 130267
 RENACYT: P0078275


 Dr. Eusebio Horacio Acosta Suasnabar
 CIP Nº 25450

Ficha 2: Tipos y control operacional de las bacterias biodegradadoras de plásticos													
Título		Revisión sistemática y metaanálisis sobre la aplicación de bacterias para la biodegradación de plásticos											
Línea de investigación		Calidad y gestión de los recursos naturales											
Responsable		Yeser Diequer Lopez Ramos											
Asesor		Dr. Carlos Alberto Castañeda Olivera											
N°	Bacteria	Tipo de respiración		Tipo de pared celular		Condiciones Operacionales						Resultados	Autor(es)
		Anaerobias	Aerobias	Gram-positiva	Gram-negativa	Método de aplicación		Dosis de bacterias	Tiempo de contacto	pH	Temperatura °C		
						Pre - tratamiento o con rayos UV	Empleo de aditivos						


Dr. Ing. Carlos Alberto Castañeda Olivera
 DOCENTE E INVESTIGADOR
 CIP: 130267
 RENACYT: P0078275


Dr. Eusebio Horacio Acosta Suasnabar
 CIP N° 25450


INGENIERA AGRONÓMICA
 SALDA MARGARITA
 CUADROS ORTA
 INGENIERA AGRONÓMICA
 Reg. CIP N° 166763

Ficha 3: Características de reducción realizada por las bacterias en la biodegradación de plásticos

Título		Revisión sistemática y metaanálisis sobre la aplicación de bacterias para la biodegradación de plásticos							
Línea de investigación		Calidad y gestión de los recursos naturales							
Responsable		Yeser Diequer Lopez Ramos							
Asesor		Dr. Carlos Alberto Castañeda Olivera							
N°	Bacteria	Características de reducción				pH	Temperatura °C	Resultados	Autor(es)
		Tipo de enzimas	Actividad enzimática						
			Extracelular	Intracelular					


Dr. Ing. Carlos Alberto Castañeda Olivera
 DOCENTE E INVESTIGADOR
 CIP: 130267
 RENACYT: P0078275


Dr. Eusterio Horacio Acosta Suasnabar
 CIP N° 25450


Saida Margarita Cuadros Oria
 INGENIERA AGROINDUSTRIAL
 Reg. CIP N° 168763

Ficha 4: Proceso de la biodegradación de los plásticos por la actividad bacteriana

Título	Revisión sistemática y metaanálisis sobre la aplicación de bacterias para la biodegradación de plásticos
Línea de investigación	Calidad y gestión de los recursos naturales
Responsable	Lopez Ramos, Yeser Diequer
Asesor	Dr. Castañeda Olivera, Carlos Alberto

N°	Tipo de plástico		Medio de biodegradación del plástico			% Reducción de la masa de plástico			Autor(es)
	Termoes tables	Termo plásticos	laboratorio	Medio acuoso	Medio terrestre	Masa inicial	Masa final	% Pérdida de peso	


Dr. Ing. Carlos Alberto Castañeda Olivera
 DOCENTE E INVESTIGADOR
 CIP: 130267
 RENACYT: P0078275


Dr. Eusebio Horacio Acosta Suasnabar
 CIP. N° 25450


SAÍDA MARGARITA CUADROS ORIA
 INGENIERA AGRONÓMICA
 Reg. CIP N° 158783

Anexo 3. Validación del instrumento

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: **Dr. Carlos Alberto Castañeda Olivera**
 1.2. Cargo e institución donde labora: **Docente e Investigador/UCV Campus Los Olivos**
 1.3. Especialidad o línea de investigación: **Tecnología Mineral y Ambiental**
 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: **Ficha 1: Ficha de recolección de datos**
 1.5. Autor(A) de Instrumento: **Yeser Dieguer López Ramos**

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.												X	
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.												X	
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.												X	
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.												X	
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales												X	
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.												X	
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.												X	
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.												X	
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.												X	
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.												X	

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD:

- El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
- El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

SI
-

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

90%

Lima, 16 de junio del 2021


Dr. Ing. Carlos Alberto Castañeda Olivera
 DOCENTE E INVESTIGADOR
 CIP: 130267
 RENACRY: P00718275

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

I. DATOS GENERALES

- a. Apellidos y Nombres: **Dr. Carlos Alberto Castañeda Olivera**
- b. Cargo e institución donde labora: **Docente e Investigador/UCV Campus Los Olivos**
- c. Especialidad o línea de investigación: **Tecnología Mineral y Ambiental**
- d. Nombre del instrumento motivo de evaluación: **Ficha 2: Características de bacterias y control operacional en la biodegradación de plásticos**
- e. Autor(A) de Instrumento: **Yaser Diequer López Ramos**

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											x		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											x		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											x		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											x		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											x		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											x		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											x		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											x		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											x		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											x		

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD:

- El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
- El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

SI
-

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

90%

Lima, 16 de junio del 2021


Dr. Ing. Carlos Alberto Castañeda Olivera
 DOCENTE E INVESTIGADOR
 CIP: 130287
 RENACRY: P0078275

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

I. DATOS GENERALES

- a. Apellidos y Nombres: **Dr. Carlos Alberto Castañeda Olivera**
- b. Cargo e institución donde labora: **Docente e Investigador/UCV Campus Los Olivos**
- c. Especialidad o línea de investigación: **Tecnología Mineral y Ambiental**
- d. Nombre del instrumento motivo de evaluación: **Ficha 3: Características de reducción realizada por las bacterias en la biodegradación de plásticos**
- e. Autor(A) de Instrumento: **Yaser Diequer López Ramos**

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.												X	
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.												X	
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.												X	
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.												X	
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales												X	
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.												X	
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.												X	
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.												X	
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.												X	
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.												X	

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD:

- El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
- El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

SI
-

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

90%

Lima, 16 de junio del 2021


Dr. Ing. Carlos Alberto Castañeda Olivera
 DOCENTE E INVESTIGADOR
 CIP: 130267
 RENACYT: P00710275

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

I. DATOS GENERALES

- a. Apellidos y Nombres: **Dr. Carlos Alberto Castañeda Olivera**
- b. Cargo e institución donde labora: **Docente e Investigador/UCV Campus Los Olivos**
- c. Especialidad o línea de investigación: **Tecnología Mineral y Ambiental**
- d. Nombre del instrumento motivo de evaluación: **Ficha 4: Proceso de la biodegradación de los plásticos por la actividad bacteriana**
- e. Autor(A) de Instrumento: **Yaser Diequer López Ramos**

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.												X	
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.												X	
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.												X	
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.												X	
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales												X	
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.												X	
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.												X	
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.												X	
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.												X	
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.												X	

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD:

- El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
- El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

SI
-

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

90%

Lima, 16 de junio del 2021


Dr. Ing. Carlos Alberto Castañeda Olivera
 DOCENTE E INVESTIGADOR
 CIP: 130267
 RENACYT: PD078275

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: **Dr. Eusterio Horacio Acosta Suasnabar**
 1.2. Cargo e institución donde labora: **Docente/UCV Campus Los Olivos**
 1.3. Especialidad o línea de investigación: **Ingeniería química y Ambiental**
 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: **Ficha 1: Ficha de recolección de datos**
 1.5. Autor(A) de Instrumento: **Yeser Diequer López Ramos**

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											x		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											x		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											x		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											x		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											x		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											x		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											x		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											x		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											x		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											x		

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD:

- El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
- El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

SI
-

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

90%

Lima, 16 de junio del 2021


 Dr. Eusterio Horacio Acosta Suasnabar
 CIP Nº 25450

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

I. DATOS GENERALES

- a. Apellidos y Nombres: **Dr. Eusterio Horacio Acosta Suasnabar**
- b. Cargo e institución donde labora: **Docente/UCV Campus Los Olivos**
- c. Especialidad o línea de investigación: **Ingeniería química y Ambiental**
- d. Nombre del instrumento motivo de evaluación: **Ficha 2: Características de bacterias y control operacional en la biodegradación de plásticos**
- e. Autor(A) de Instrumento: **Yaser Diequer López Ramos**

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											X		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											X		

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD:

- El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
- El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

SI
-

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

90%

Lima, 16 de junio del 2021


 Dr. Eusterio Horacio Acosta Suasnabar
 CIP N° 25450

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

I. DATOS GENERALES

- a. Apellidos y Nombres: **Dr. Eusterio Horacio Acosta Suasnabar**
- b. Cargo e institución donde labora: **Docente/UCV Campus Los Olivos**
- c. Especialidad o línea de investigación: **Ingeniería química y Ambiental**
- d. Nombre del instrumento motivo de evaluación: **FICHA 3: Características de reducción realizada por las bacterias en la biodegradación de plásticos**
- e. Autor(A) de Instrumento: **Yaser Diequer López Ramos**

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.												x	
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.												x	
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.												x	
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.												x	
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales												x	
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.												x	
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.												x	
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.												x	
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.												x	
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.												x	

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD:

- El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
- El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

SI
-

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

90%

Lima, 16 de junio del 2021


 Dr. Eusterio Horacio Acosta Suasnabar
 CIP N° 25450

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

I. DATOS GENERALES

- a. Apellidos y Nombres: **Dr. Eusterio Horacio Acosta Suasnabar**
- b. Cargo e institución donde labora: **Docente/UCV Campus Los Olivos**
- c. Especialidad o línea de investigación: **Ingeniería química y Ambiental**
- d. Nombre del instrumento motivo de evaluación: FICHA 4: Proceso de la biodegradación de los plásticos por la actividad bacteriana
- e. Autor(A) de Instrumento: **Yeser Dieguer López Ramos**

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											x		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											x		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											x		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											x		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											x		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											x		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											x		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											x		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											x		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											x		

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD:

- El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
- El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

SI
-

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

90%

Lima, 16 de junio del 2021


 Dr. Eusterio Horacio Acosta Suasnabar
 CIP Nº 25450

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: **Ing. Cuadros Oria, Saida Margarita**
 1.2. Cargo e institución donde labora: **Docente /UCV Campus Los Olivos**
 1.3. Especialidad o línea de investigación: **Ingeniera industrial**
 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: **Ficha 1: Ficha de recolección de datos**
 1.5. Autor(A) de Instrumento: **Yaser Diequer López Ramos**

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											X		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											X		

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD:

- El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
- El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

X
-

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

90 %

Lima, 20 de junio de 2021



SAIDA MARGARITA
 CUADROS ORIA
 INGENIERA INDUSTRIAL
 Reg. CP Nº 184783

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

I. DATOS GENERALES

- a. Apellidos y Nombres: **Ing. Cuadros Oria, Saida Margarita**
- b. Cargo e institución donde labora: **Docente /UCV Campus Los Olivos**
- c. Especialidad o línea de investigación: **Ingeniera industrial**
- d. Nombre del instrumento motivo de evaluación: **Ficha 2: Características de bacterias y control operacional en la biodegradación de plásticos**
- e. Autor(A) de Instrumento: **Yeser Diequer López Ramos**

a. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											X		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											X		

b. OPINIÓN DE APLICABILIDAD:

- El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
- El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

X

c. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

90 %

Lima, 20 de junio de 2021



SAIDA MARGARITA
CUADROS ORIA
INGENIERA AGRONÓMICA
Reg. CP Nº 188783

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

I. DATOS GENERALES

- a) Apellidos y Nombres: **Ing. Cuadros Oria, Saida Margarita**
- b) Cargo e institución donde labora: **Docente /UCV Campus Los Olivos**
- c) Especialidad o línea de investigación: **Ingeniera industrial**
- d) Nombre del instrumento motivo de evaluación: **Ficha 3: Características de reducción realizada por las bacterias en la biodegradación de plásticos**
- e) Autor(A) de Instrumento: **Yeser Diequer López Ramos**

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											X		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											X		

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD:

- El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
- El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

X
-

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

90%

Lima, 20 de junio de 2021



Saida Margarita Cuadros Oria
 INGENIERA AGROINDUSTRIAL
 Reg. CIP N° 160783

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

I. DATOS GENERALES

- a. Apellidos y Nombres: **Ing. Cuadros Oria, Saida Margarita**
- b. Cargo e institución donde labora: **Docente /UCV Campus Los Olivos**
- c. Especialidad o línea de investigación: **Ingeniera industrial**
- d. Nombre del instrumento motivo de evaluación: **Ficha 4: Proceso de la biodegradación de los plásticos por la actividad bacteriana**
- e. Autor(A) de Instrumento: **Yaser Diequer López Ramos**

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											X		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											X		

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD:

- El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación

SI

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

90%

Lima, 20 de junio de 2021



SAIDA MARGARITA
CUADROS ORIA
INGENIERA AGRONÓMICA
Reg. CP Nº 18878