



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**“Biotecnologías bacterianas para la biodegradación de  
polímeros. Una revisión sistemática y metaanálisis, 2020”**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniera Ambiental

**AUTORAS:**

Contreras García, Sheyla Verónica (ORCID: 0000-0003-3865-8839)

Cubas Linares, Margarita (ORCID: 0000-0002-1902-8762)

**ASESOR:**

Dr. Benites Alfaro, Elmer Gonzales (ORCID: 0000-0003-1504-2089)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Tratamiento y Gestión de los Residuos

LIMA - PERÚ

2020

## **Dedicatoria**

La presente tesis va dedicado a mis padres Robinson Contreras Diaz y Lucy García Quispe, quienes fueron mi apoyo y mi impulso para seguir adelante, lograr mis metas y no detenerme frente a las adversidades de la vida.

### **Contreras García, Sheyla Verónica**

Va dedicado a mis padres que fueron mi motor y lucha para lograr mis metas a quién les debo la vida entera, a mis abuelos por enseñarme a ser mejor persona cada día y apoyarme en cada momento, a mis hermanos porque deseo verlos lograr sus objetivos y ser un ejemplo para ellos. Y sin dejar a nadie de lado a toda mi familia que pusieron su granito de arena para ser la persona que soy hoy en día.

### **Cubas Linares, Margarita**

## **Agradecimiento**

Agradecer a Dios, por darnos la vida, por estar guiándonos espiritualmente por el buen camino.

A nuestros padres, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes hemos logrado llegar hasta aquí, siempre estaremos agradecidos por su apoyo incondicional.

A nuestros familiares por confiar en nosotras y darnos su apoyo moral que nos brindaron a lo largo de esta etapa en nuestras vidas.

Agradecer a nuestra casa de estudio, la Universidad César Vallejo quien nos brindo la educación que hoy tenemos como futuros profesionales

A nuestro asesor el Dr. Benites Alfaro Elmer Gonzales, por haber compartido sus conocimientos y quien nos ha guiado con su paciencia y su rectitud como docente en la realización de esta investigación.

Y a todas las personas que nos abrieron las puertas apoyándonos y han hecho que el trabajo se realice con éxito.

## Índice de contenidos

Carátula.....	i
Dedicatoria .....	ii
Agradecimiento .....	iii
Índice de contenidos .....	iv
Índice de tablas .....	v
Índice de figuras .....	vi
Resumen .....	vii
Abstract .....	viii
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. MARCO TEÓRICO .....	4
III. METODOLOGÍA.....	18
<b>3.1. Tipos y diseños de investigación .....</b>	<b>18</b>
<b>3.2. Variables y operacionalización.....</b>	<b>19</b>
<b>3.3. Población, muestra y unidad de análisis.....</b>	<b>19</b>
<b>3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....</b>	<b>21</b>
<b>3.5. Procedimientos.....</b>	<b>21</b>
<b>3.6. Métodos de análisis de datos .....</b>	<b>24</b>
<b>3.7. Aspectos éticos .....</b>	<b>25</b>
IV. RESULTADOS.....	26
V. DISCUSIÓN.....	34
VI. CONCLUSIONES .....	37
VII. RECOMENDACIONES.....	38
REFERENCIAS.....	39
ANEXOS.....	45

## Índice de Tablas

<i>TABLA 1: RESIDUOS SÓLIDOS PLÁSTICO DOMICILIARIOS E INDUSTRIALES</i> .....	1
<i>TABLA 2 CARACTERÍSTICAS DE LOS PRINCIPALES POLÍMEROS SINTÉTICOS</i> .....	12
<i>TABLA 3 DESCRIPCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS ARTÍCULOS ESTUDIADOS</i> .....	27
<i>TABLA 4 MODELO DE EFECTO ALEATORIO</i> .....	32

## Índice de Figuras

FIGURA 1 CARACTERIZACIÓN (%) DE PLÁSTICOS PROVENIENTES DE HOGARES EN PRINCIPALES DISTRITOS DE LIMA-PERÚ.....	1
FIGURA 2 ESTRUCTURA DE LOS PRINCIPALES POLÍMEROS SINTÉTICOS.....	14
FIGURA 3 RESUMEN DE LOS MECANISMOS DE DEGRADACIÓN DE LOS POLÍMEROS.....	14
FIGURA 4 PRINCIPALES MÉTODOS ANALÍTICOS EMPLEADOS PARA EL ANÁLISIS DE DEGRADACIÓN. ....	16
FIGURA 5 TÉCNICAS USADAS PARA CARACTERIZAR PRODUCTOS DE LA BIODEGRADACIÓN.....	17
FIGURA 6 : FLUJOGRAMA DE SELECCIÓN DE ESTUDIO .....	19
FIGURA 7 PROCESAMIENTO DE SELECCIÓN .....	23
FIGURA 8 PÉRDIDA DE PESO(%) EN RELACIÓN A LOS MICROORGANIMOS Y EL TIPO DE POLÍMERO (PVC) ....	29
FIGURA 9 PÉRDIDA DE PESO(%) EN RELACIÓN A LOS MICROORGANIMOS Y EL TIPO DE POLÍMERO (PS) .....	29
FIGURA 10 PÉRDIDA DE PESO(%) EN RELACIÓN A LOS MICROORGANIMOS Y EL TIPO DE POLÍMERO (PP) ....	30
FIGURA 11 PÉRDIDA DE PESO(%) EN RELACIÓN A LOS MICROORGANIMOS Y EL TIPO DE POLÍMERO (PET)...	31
FIGURA 12 PÉRDIDA DE PESO(%) EN RELACIÓN A LOS MICROORGANIMOS Y EL TIPO DE POLÍMERO (PE) ....	31
FIGURA 13 MICROORGANISMOS UTILIZADOS EN LA DEGRADACIÓN DE POLÍMEROS .....	34
FIGURA 14 DIAGRAMA DE FOREST .....	36

## Resumen

Se evaluó la capacidad de biodegradación de polímeros utilizando bacterias, para lograr esto se realizó una búsqueda sistemática en la base de datos Science Direct y Scielo por medio del siguiente conector booleano: (Biodegradación o mineralización) y (plásticos o polímeros) y (microorganismos o microbios o cepas bacterianas) y (peso molecular o pérdida de peso), luego de revisar y analizar se logró obtener 10 artículos que cumplían con el indicador (Porcentaje de reducción en peso del polímero) de biodegradación que indica la norma ISO 14855. Finalmente, se realizó una evaluación estadística que permita saber si los microorganismos en estudio cumplían lo que indicaba la norma, solamente los siguiente microorganismos se aproximaban al porcentaje de degradación que indicaba la norma ISO: *Streptomyces sp* y *Pseudomonas citronellolis*.

**Palabras claves:** biodegradación, biotecnología bacteriana, polímero, pérdida de peso.

## Abstract

The biodegradability of polymers was evaluated using bacteria, to achieve this a systematic search was made in the Science Direct and Scielo database using the following Boolean connector: (Biodegradation or mineralization) and (plastics or polymers) and (microorganisms or microbes or bacterial strains) and (molecular weight or weight loss), after reviewing and analyzing, 10 articles were analyzed that met the indicator (percentage reduction in weight of the polymer) of biodegradation indicated by the ISO 14855 standard. Finally, it was carried out a statistical evaluation that allows us to know if the microorganisms under study comply with what the standard indicates, only the following microorganisms approach the degradation porcelain indicated by the ISO standard: *Streptomyces sp* and *Pseudomonas citronellolis*.

**Keywords:** biodegradation, bacterial biotechnology, polymer, weight loss.



## I. INTRODUCCIÓN

La acumulación de plástico en nuestro entorno viene causando impactos significativos. Así, al evaluar los residuos sólidos domiciliarios en Lima metropolitana se registró en el año 2018 que de 0.711kg/hab/día el 2.81%, 4.02% y 6.49% era plástico PET, plástico duro y bolsas respectivamente (Sigersol 2018). Además, se puede observar en la figura 1 que el plástico usado para la elaboración de bolsas es el residuo que mayor porcentaje presenta en los diferentes distritos que conforman la provincia de Lima, seguido por los denominados plásticos duros y finalmente el plástico utilizado para la elaboración de botellas (polietileno tereftalato).

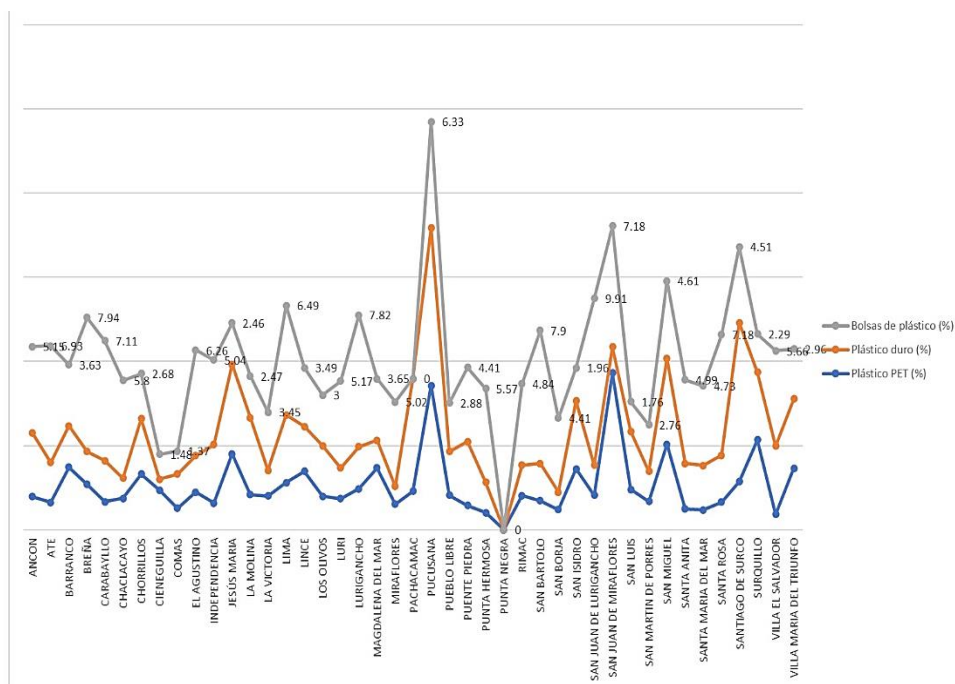


Figura 1 Caracterización (%) de plásticos provenientes de hogares en principales distritos de Lima-Perú

Fuente: Elaboración propia

Sin embargo, la muestra con la que se elaboró la figura 1 se basa en residuo domiciliario, por lo tanto es imaginable que no se está teniendo presente otros polímeros como los que menciona OEFA (2014) en su informe, tales como: poliuretano, policarbonato, policloruro de vinilo, etc (tabla 1). Además, Según reporte del Organismo de evaluación y fiscalización ambiental, muy pocas municipalidades en el Perú realizan tratamientos de sus residuos sólidos (OEFA, 2014).

Tabla 1: Residuos sólidos plástico domiciliarios e industriales

Tipos de plásticos	Aplicaciones
<b>PET</b>	Botellas gaseosas, cosméticos, empaques.
<b>HDPE</b>	Empaques cosméticos, empaques para alimentos, bateas y tinas.
<b>LDPE</b>	Empaques que se usan en el rubro hospitalario.
<b>PVC</b>	Tubos, calzados, etc.
<b>PP</b>	Empaques de alimentos, DVDs, etc.
<b>PS</b>	Tecopor (espuma de poliestireno o poliestireno expandido), platos descartables (blancos y quebradizos).
<b>PU, PC, PA</b>	Cds, baquelita, micas, carcazas para computadoras y celulares, juguetes.

Abreviaciones: PET – Polietileno tereftalato; HDPE – Polietileno de alta densidad; LDPE – Polietileno de baja densidad; PVC – Cloruro de polivinilo; PP – Polipropileno; PS – Poliestireno; PU – Poliuretano; PC – Policarbonato; PA – Poliamida.

Fuente: (OEFA 2014)

Lo anteriormente expuesto concuerda con otros trabajos revisados en donde se señala un incremento en el uso de materiales plásticos y en consecuencia un incremento en residuos de este tipo de material, impactando de esa manera diferentes componentes, tales como: la atmósfera (Wright et al. 2020; Prata et al. 2020), la hidrosfera (Dowarah et al. 2020; Ferreira et al. 2020) y suelo (Zhou et al. 2020; Qi et al. 2020). El problema que genera el uso de estos no solamente está en su prolongada vida útil de 3 años a más (Gewert, Plassmann y Macleod 2015), sino también se debe tener presente los aditivos usados en las formulaciones de los plásticos que normalmente no se unen covalentemente a las cadenas de los monómeros y, por lo tanto, podrían lixiviarse de los plásticos y entrar en el medio marino (Avio, Gorbi y Regoli 2017; Gewert, Plassmann y Macleod 2015; Harrison et al. 2014). Los plásticos al ingresar al entorno marino podrían absorber POP ya que presentan características hidrofóbicas o también ser un agente vectorial para la propagación de organismos patógenos que habitan superficies plásticas (Avio, Gorbi y Regoli 2017; Harrison et al. 2014; Oberbeckmann, Osborn y Duhaime 2016; Wang et al. 2016; Zettler, Mincer y Amaral-Zettler 2013).

Debido a lo anteriormente expuesto se han buscado posibles soluciones que van desde plásticos alternativos que involucra nuevos polímeros degradables tales como : hidrodegradables (Romero-Azogil et al. 2018), compostables (Hermann et al. 2011), biocompuestos (Mohanty et al. 2018; Muniyasamy et al. 2013) , bioplásticos (Chen y Patel 2012) o que contienen aditivos pro oxidantes (conocidos también como oxo degradables)(Ammala et al. 2011), todas estas soluciones enfocadas en el uso de nuevos materiales para generar nuevo tipos de residuos que sean fácilmente gestionables, sin embargo en países en vías de desarrollo aún debemos hacer uso de insumos para la elaboración de la forma clásica, es decir plásticos usando monómeros que no son de última generación.

La biodegradación del plástico es una alternativa prometedora y respetuosa del medio ambiente y es una de las múltiples opciones existentes para gestionar materiales plásticos de desecho con impactos negativos mínimos (Sangeetha Devi et al. 2019).

En función de la realidad problemática presentada se plantea como problema general: ¿cómo se ha venido realizando los estudios de biodegradación de polímeros mediante el uso de biotecnología bacteriana? Por ende, se fija como problemas específicos: ¿cuál es el porcentaje degradación de los polímeros mediante el uso de la biotecnología bacteriana? y ¿cuál es el tiempo de degradación de los polímeros mediante el uso de la biotecnología bacteriana?

Habiendo determinado el problema de estudio se fija como objetivo general del mismo: Efectuar una revisión sistemática y metaanálisis sobre la biodegradación de polímeros usando biotecnología bacteriana. Lo que conlleva a fijar los objetivos específicos siguientes: realizar una revisión sistemática y metaanálisis en relación a la pérdida de peso del polímero usando la biotecnología bacteriana y realizar una revisión sistemática y metaanálisis en relación al tiempo de degradación del polímero usado la biotecnología bacteriana.

## II. MARCO TEÓRICO

La búsqueda de estudios previos se realizó a través de los motores de búsqueda de Science Direct y Scielo, encontrándose lo siguiente:

Giacomucci et al.(2020) evaluó la biodegradación de películas de cloruro de polivinilo (PVC) por consorcios enriquecidos a partir de muestras marinas (lecho y agua) en microcosmos anaeróbicos. Después de 7 meses, tres sistemas mostraron biopelículas densas en las superficies plásticas, mostrando pérdidas de peso gravimétricas de hasta  $11,7\pm 0,6\%$ . Además, se presentó marcadas reducciones en la estabilidad térmica y peso molecular promedio del polímero, lo que sugirió un ataque microbiano en las cadenas de polímeros. Después de 24 meses, otros tres consorcios exhibieron las mismas capacidades. Los microorganismos analizados en el mes 24 incluyó taxones estrechamente vinculados con aquellos previamente reportados por otros autores como degradantes de compuestos halogenados (orgánicos). El estudio es novedoso ya que reporta sobre la biodegradación del PVC por microbios anaeróbicos marinos y además brinda una posible explicación de la biodegradación, por microorganismos nativos, de películas plásticas introducida en el mar.

Capitain et al. (2020) estableció un método basado en calorimetría de escaneo diferencial (DSC) para realizar análisis en línea de la biodegradación de polímeros en medios reales. Los cambios estructurales durante la biodegradación, como una disminución de la dureza generando un aumento en la cristalinidad, se detectaron observando los cambios característicos en los perfiles del DSC. Hasta antes de este trabajo, los perfiles de DSC no se utilizaron para sacar conclusiones cuantitativas sobre la biodegradación. Capitain et al. (2020) en su trabajo establecen nueva técnica de análisis para cuantificar la biodegradación por medio de los datos DSC.

Rose et al. (2020) desarrolló una técnica para evaluar la biodegradabilidad de muestras de plástico, esta técnica se basa en el seguimiento de la respiración bacteriana en medios acuosos cuantificando la cantidad del dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) producido, ya que la única fuente de carbono disponible para el microorganismo es del polímero. Se utilizaron *Rhodococcus rhodochrous* y *Alcanivorax borkumensis* como organismos modelo para el suelo y los sistemas marinos, respectivamente. Los resultados muestran que el método es reproducible y que es posible aplicar a una

variedad de plásticos, lo que permitió comparar la biodegradabilidad relativa de los diferentes materiales. En el caso del LDPE, el estudio mostró correlación entre el peso molecular de la muestra y el CO<sub>2</sub> liberado como consecuencia de la actividad microbiana, esta relación fue tomada como un indicador de biodegradabilidad.

Wang et al. (2020) Se estudió las larvas de *Tribolium Castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae), que presentaban capacidad para masticar y digerir espuma de poliestireno extruido (XPS). La investigación luego se enfocó en la microflora intestinal de las larvas de *T. castaneum*, procediendo a alimentarlas con plástico y salvado lo que mostró que *Acinetobacter sp.* estaba fuertemente asociado con la ingestión de XPS. Se empleó la cromatografía de penetración de gel (GPC), espectroscopia de resonancia magnética nuclear 1H (1H NMR), el análisis termogravimétrico (TGA) y microscopio electrónico de barrido (SEM) para caracterizar la degradación de la PS. Después de la incubación con *Acinetobacter sp.* durante 60 días, observándose que el peso masa (12.14%) y el peso molecular de PS en polvo se redujeron significativamente. Los resultados mostraron que la cepa aislada de *Acinetobacter sp.* tiene capacidad para degradar PS. Así, la cepa aislada desempeña la función de biodegradación de PS en el intestino larvario para la biodegradación de PS y tiene el potencial de aplicarse en estudios de degradación plástica ( derivados del petróleo) y además desarrollar alternativas de remediación.

Giacomucci et al. (2019) estudió las capacidades biodegradadoras de cinco cepas bacterianas; *Pseudomonas chlororaphis*, *Pseudomonas citronellolis*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus flexus* y *Chelatococcus daeguensis*, se vio inicialmente si formaban películas sobre polietileno, polipropileno, poliestireno y cloruro de polivinilo (PVC) en condiciones aeróbicas. El análisis preliminar dio lugar a la selección de *P. citronellolis* y *B. flexus* como agentes con potencial para la degradación de película de PVC. Las cepas antes mencionadas fueron capaces de formar biopelícula sobre la superficie del PVC y causó algunas modificaciones en los espectros obtenidos usando FTIR sobre las películas de PVC libres de la biomasa. Entonces, las dos cepas fueron utilizadas para establecer un ensayo de biodegradación del PVC en matraces de 2 litros. Luego de 45 días de incubación, se manifestó la fragmentación del film de PVC, lo que sugirió la biodegradación del PVC. El análisis cromatográfico por permeación en gel mostró una reducción en el peso molecular promedio del 10% para el PVC y

además las cadenas de los polímeros de PVC aparentemente fueron atacadas mostrándose oligoelementos. Como resultado de los ensayos anteriores, la cepa *P. citronellolis* se seleccionó para ensayos de biodegradación de dos películas de PVC obtenidos de desechos, es decir no provienen de un laboratorio, al ser no estériles fueron sometidas a la técnica de esterilización con etanol. Los análisis químicos de las películas incubadas mostraron un proceso de biodegradación, como lo demostró el siguiente indicador, después de 30 días de incubación, pérdida de peso gravimétrica de aproximadamente el 19%.

Kundungal et al. (2019) enfocó el estudio en las capacidades de degradación del polietileno de alta densidad (HDPE) por las larvas de *Achroia grisella* (gusano de la cera) y su capacidad para completar su ciclo de vida cuando se alimenta con HDPE. Además, se evaluaron los efectos nutricionales analizando el excremento del gusano de cera alimentado con cera de panal, polietileno (PE) y la mezcla de polietileno con cera de panal (CP) mediante el análisis de los cambios en las propiedades fisicoquímicas a través de espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) y técnicas de resonancia magnética nuclear con respecto al protón de hidrógeno (RMN de  $^1\text{H}$ ), además del porcentaje de pérdida de peso de PE y las tasas de supervivencia de los gusanos de cera. Los ensayos de post degradación de la cera de panal y del PE mostraron una pérdida de peso de  $90,5 \pm 1,2\%$  y  $43,3 \pm 1,6\%$ , respectivamente, utilizando como base un grupo de cien gusanos de cera. Luego, en un período de 8 días, el consumo de PE aumentó, es decir; una larva consumía aproximadamente 1,83 mg de PE por día. Complementar la alimentación de PE de los gusanos de cera con CP facilitó una mejor degradación del PE, mostrando una pérdida de peso de  $69,6 \pm 3,2\%$ . Los porcentajes de supervivencia luego de veintiocho días para los gusanos de cera alimentados con CP, PE y la mezcla de PE con CP fueron de  $91,3 \pm 1,01\%$  (para CP),  $74,6 \pm 2,9\%$  (para PE) y  $86 \pm 1,4\%$  (mezcla). Luego se realizaron análisis FTIR y  $^1\text{H}$  NMR en el excremento, lo que mostró la formación de nuevos grupos funcionales orgánicos, con este indicador se refuerza la hipótesis de la biodegradación de PE por el gusano de cera. El excremento del gusano de cera alimentado con muestras de PE muestra la presencia de nuevos grupos de carbonilo y alcohólicos con aumento en hidrocarburos insaturados los que demuestra la formación de compuestos intermediarios resultado de la biodegradación. En la mayoría de los estudios no se evalúa si los organismos en estudio logran completar

su ciclo de vida, es decir si la fuente de carbono proveniente del polímero es suficiente para la existencia del organismos, en este estudio Los gusanos de cera completaron todas las etapas del ciclo de vida (larvas, pupas, polilla y huevo) desarrollándose una segunda generación. La segunda generación de larvas alimentadas con PE-CP degradó eficientemente el PE tal como lo hizo la primera generación.

Farzi, Dehnad y Fotouhi (2019) evaluó la biodegradación de PET por especies de *Streptomyces*. Los envases de PET fueron pulverizadas y clasificadas en cuatro grupos de partículas (500, 420, 300 y 212 micras). Luego se tomó 50 mg de muestras de cada grupo y se incubaron con un número fijo de microorganismos en un medio de cultivo durante 18 días. Por otro lado, se preparó una película PET a partir de las botellas y se expuso a la biodegradación para mostrar y comparar las diferencias entre la degradación de las muestras de polímero en polvo y las muestras que se hicieron con la película PET. Los resultados mostraron que los porcentajes finales de biodegradación para partículas PET fueron 49.2%, 57.4%, 62.4% y 68,8%, respectivamente. En relación al tamaño de las partículas y al tiempo de reacción se concluyó que eran parámetros más importantes que influyen en la biodegradación. Por otra parte, los subproductos de la biodegradación fueron analizados por GC-MS y con ello se verificó el proceso de biodegradación. Finalmente, el modelo cinético de activación o inhibición de Michaelis-Menten pudo predecir los resultados experimentales.

Sangeetha Devi et al. (2019) aisló 248 bacterias de los rellenos sanitarios que contenían desechos plásticos en los distritos de la región costera de Tamil Nadu, India y se utilizaron para evaluar la capacidad degradación del HDPE. En base a los resultados obtenidos en función de la pérdida de peso, viabilidad y FT-IR, se aislaron 10 bacterias con potencial de degradación de HDPE. La identificación de cultivos mostró que los géneros presentes fueron: *Bacillus spp.* y *Pseudomonas spp.* Estos microorganismos aislados fueron aplicados con la finalidad de lograr generar un método que permita eliminar los desechos plásticos del medio ambiente, que sea rentable y a la vez amigable con el medio ambiente.

Chauhan et al. (2018) asiló bacterias provenientes de humedales, encontrando dos especies bacterianas: *Exiguobacterium sibiricum* y la cepa *Exiguobacterium undae* ambas con potencial de biodegradación del poliestireno. En este estudio, se reporta

la degradación del material sólido de PS no irradiado después de la incubación con las cepas mencionadas. Al evaluar el estudio de crecimiento se sugiere que *Exiguobacterium* puede utilizar PS como fuente de carbono para su ciclo de vida. Además, los datos sugieren que la degradación del polímero fue positiva ya dio formación de biopelículas sobre la superficie PS en estudio, esta biopelícula generó alteraciones (picaduras) en la superficie del plástico. Con respecto a los indicadores de biodegradación se obtuvo lo siguiente; del análisis de la propiedad de la superficie por AFM se reveló una rugosidad significativamente mayor, lo que se interpreta en una reducción de la hidrofobicidad superficial del PS. Por otro lado, el análisis FTIR reveló una descomposición de la cadena polimérica del poliestireno por oxidación. Así mismo, la extensión del deterioro se determinó por la reducción porcentual del peso del PS. Los datos confirman que las cepas de la bacteria extremófila *Exiguobacterium* son capaces de degradar el poliestireno y se pueden aplicar en la mitigación de la contaminación causada por los plásticos.

Yang et al. (2018) identificó al intestino larvario de *Tenebrio molitor Linnaeus* (gusano de la harina) como un medio en el que el PS es susceptible de sufrir una biodegradación rápida. En este estudio, se evaluó la capacidad de degradación de PS por medio de una cepa de *T. molitor* no probada previamente y evaluaron tanto la supervivencia de la larva como también la tasa de biodegradación de PS para una serie de condiciones (dos desechos de alimentos simulados, tres temperaturas, siete tipos de residuos de PS). En el caso de las larvas alimentadas con PS solamente, el %PS eliminado, en un corto tiempo de residencia (12-15 h), del intestino de la lombriz de harina aumentó gradualmente durante 2-3 semanas y luego se estabilizó a valores de hasta 65%. La razón de supervivencia en 32 días fue menor al 85% frente al 54% para larvas no alimentadas. En el interior de gusanos de harina alimentados con un 10 % p/p de PS y un 90% de salvado, el porcentaje de degradación del PS a 25°C casi se duplica en comparación con los gusanos de harina alimentados solamente de PS. Se analizaron las excretas mostraron evidencia de despolimerización parcial y oxidación. Si bien es cierto que todos los desechos de PS probados lograron degradarse, se observó que aquellos que fueron menos densa lograron una degradación más rápida. Además, aquellos gusanos alimentados con salvado y PS completaron todas las etapas del ciclo de vida (larvas, pupas, escarabajos, huevo).



Auta et al. (2018) evaluó la respuesta al crecimiento de por *Bacillus sp.* (cepa 27) y *Rhodococcus sp.* (cepa 36) y su capacidad de degradación del PP. Estas bacterias fueron aisladas de sedimentos de manglares tras la exposición a microplásticos del PP. Con respecto al crecimiento se pudo observar que ambas cepas bacterianas utilizaron el carbono proveniente del microplástico del PP para su crecimiento y esto fue confirmado por la reducción de la masa polimérica. Así, la pérdida de peso, luego de 40 días de incubación, fue de 6.4% por *Rhodococcus sp.* y de 4.0% por *Bacillus sp.* La biodegradación del PP también se evaluó utilizando la FTIR y SEM, lo que reveló cambios estructurales y morfológicos en los microplásticos del PP con tratamiento microbiano. Se concluye entonces señalando que las cepas pueden colonizar, modificar y utilizar el PP como fuente de carbono.

Auta, Emenike y Fauziah (2017) aisló ocho cepas bacterianas de sedimentos de manglar en la península de Malasia para mitigar el impacto ambiental de los microplásticos y desarrollar una opción de limpieza. Los aislados bacterianos fueron examinados por su potencial para degradar los microplásticos de polietileno (PE), tereftalato de polietileno (PET), polipropileno (PP) y poliestireno (PS) expuesto a radiación ultravioleta. Sólo dos cepas; *Bacillus cereus* y *Bacillus gottheilii*, lograron crecer en un medio sintético el cual contenía diferentes polímeros microplásticos como la única fuente de carbono. En un matraz de agitación se realizó una experiencia más para evaluar el potencial de biodegradabilidad de las cepas. La degradación se evaluó teniendo en cuenta la pérdida en peso de los microplásticos y además teniendo presente el crecimiento de los microorganismos en el cultivo mineral. De esa manera, la biodegradación fue validada usando microscopía de barrido electrónico y FTIR esto permitió verificar los cambios morfológicos y estructurales del polímero. La pérdida en peso expresado en porcentaje a causa de *B. cereus* luego de 40 días fueron: ,6% (PE), 6,6% (PET) y 7,4% (PS) ene el caso de *B. gottheilii* se obtuvo de 6.2% (PE), 3.0% (PET), 3.6% (PP) y 5.8% (PS).

Farzi et al. (2017) investigó la biodegradación de HDPE por *Streptomyces* esta especie se aisló del suelo de Azerbaiyán Oriental, Irán. Para esta experiencia usó HDPE molido en diferentes tamaños (212, 300, 420 y 500 micras). Se tomó 50 mg del material molido y se puso en un medio de cultivo líquido junto con el microorganismo, todo esto se incubó por 18 días a una temperatura de 28°C. Luego de los 28 días se

evaluó: la pérdida de peso del material, el metabolito producido como parte de la actividad biológica del microorganismo y finalmente la degradación de la superficie de la película de HDPE. Los resultados que se obtuvieron fueron los siguientes: reducción en peso de 18,26% en el material de 212 micras, 14,4%, en material de 300 y 420 micras y finalmente 13% en el de 500 micras. Además, se realizó un estudio de modelamiento cinético que mostró que el proceso de biodegradación seguía una reacción de primer orden en función a la concentración de HDPE. Así se comprobó que *Streptomyces sp.* tiene la capacidad de biodegradar.

Mehmood et al. (2016) La biodegradación de películas de polietileno de baja densidad (LDPE) fotodegradadas y no fotodegradadas, modificadas con nanopartículas de titanio sensibilizadas con tinte de grado alimenticio (TiO<sub>2</sub>) y mezcla de almidón, se evaluó en condiciones de laboratorio. Las cepas fueron obtenidas de un vertedero de residuos sólidos, luego se procedió a identificarlas, estas fueron: *Pseudomonas aeruginosa*, *Burkholderia seminalis* y *Stenotrophomonas pavanii*. La cepa de *Stenotrophomonas pavanii* mostró el mejor rendimiento con respecto a : mayor área de formación de biopelícula, mayor hidrofobicidad y mayor porcentaje de crecimiento. Así, las películas de LDPE de 3 por 3 cm de dimensión fueron incubadas, por 56 días, con *Stenotrophomonas pavanii* en cultivo de sal mineral.

Finalmente, se confirmó, la biodegradación de LDPE, un incremento en los valores de los enlaces ceto-carbonil, ester-carbonil y ester-vinil con respecto al control. De esa manera, los resultados mostraron que la mezcla LDPE-titanio-almidón para la producción de bolsas pueden ser fácilmente degradadas en ambientes abiertos.

Shah et al. (2016) comparó la eficiencia de degradación de un cocultivo bacteriano contra cepas individuales para degradar poliéster poliuretano. Para ello, se desarrolló un consorcio de dos cepas bacterianas degradantes de poliéster poliuretano: *Bacillus subtilis* y *Pseudomonas aeruginosa*. Para analizar la biodegradación se utilizaron las siguientes técnicas: pérdida de peso del polímero, SEM, FTIR y prueba Sturm, para evaluar la producción de CO<sub>2</sub>. La degradación de poliéster poliuretano aumentó en presencia de cocultivo, esto se evidenció en la reducción de peso de piezas de película de poliéster poliuretano en un plazo de 20 días. Por medio de SEM se pudo observar la formación de picaduras en donde se encontró que las células de los microorganismos residieron. En relación al deterioro a nivel molecular se usó FTIR,

esta técnica registró un pico a los  $2250\text{cm}^{-1}$  lo que corresponde a degradación en los segmentos blandos del polímero y por lo tanto a la liberación de isocianatos debido a la descomposición de los enlaces de uretano, es decir oligómeros de conformación. Con respecto a la cantidad de  $\text{CO}_2$  producido, debido a la biodegradación, se obtuvo un mayor porcentaje en los cocultivos con respecto a la muestra control y también con respecto a los cultivos separados, como subproductos de esta mineralización se detectaron butanediol (BD) y el ácido adápico (AA), para la detección se utilizó GC-MS. Por lo tanto, se concluyó que en lugar de enfocarse en cultivos puros, es mejor trabajar en consorcio y que se podría de esta manera despolimerizar y obtener monómeros.

Yang et al. (2015) analizó la capacidad del gusano de harina (las larvas de *Tenebrio molitor* Linnaeus) para alimentarse de espuma de poliestireno (PS) y de esa forma identificar la degradación eficientemente en el intestino larval, las larvas vivieron así un mes y se comparó con otro grupo de larvas con una dieta normal (salvado).. El análisis de las excretas de las larvas que se alimentan con espuma de poliestireno, fueron analizadas usando cromatografía de permeación en gel ( GPC ), espectroscopía de resonancia magnética de estado sólido (CP / MAS NMR) y espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier acoplado a un analizador termogravimétrico infrarroja ( TG - FTIR) para comprobar la escisión o despolimerización de las moléculas de PS de cadena larga y la formación de metabolitos despolimerizados que ocurrieron en el intestino de las larvas. El ensayo tuvo una duración de 16 días, dando como resultado que el 47,7% de la espuma había sido metabolizada y convertida en  $\text{CO}_2$ , aproximadamente el 0.5% fue incorporada a la biomasa del organismo, esto se comprobó ya que se encontraron rastros de los marcadores, utilizados en el polímero ( $^{13}\text{C}$  o  $\beta$   $^{13}\text{C}$ ), en la parte lipídica. Este trabajo es interesante porque aporta otro tipo de enfoque, es decir estudiar al organismo huésped de la bacteria, en este caso proveniente de la microflora intestinal.

Yang et al. (2015b) Se investigó la degradación del poliestireno (PS) causado por bacterias (*Exiguobacterium sp*) provenientes de *Tenebrio molitor* Linnaeus. Esta cepa desarrolló una biopelícula en la superficie del PS, período de incubación: 28 días, creando hoyos y cavidades de 0.2-0.3 mm de ancho, estas cavidades además causaron la disminución en la hidrofobicidad y por lo tanto ruptura de los grupos

polares C-O. Se realizó un cultivo de 108 células / ml que pudieron degradar aproximadamente el  $7.4 \pm 0.4\%$  de las pequeñas piezas de PS que tenían una densidad inicial de 2500 mg / L, este experimento se realizó en 60 días (no se indica temperatura). Por otro lado, se detectó la disminución del peso molecular promedio y la liberación de subproductos solubles al medio de cultivo acuoso. De esa manera se concluyó que los microorganismos intestinales juegan un rol preponderante en la biodegradación y mineralización del PS.

Los plásticos sintéticos son macromoléculas insolubles en agua y que son resistentes a la degradación física, química y biológica (Geyer, Jambeck y Law 2017). Estos polímeros plásticos se han vuelto indispensables para la sociedad moderna, esto se puede ver reflejado en los registros de Sigersol (2018). Esto implica que grandes cantidades de polímeros han ingresado y se están acumulando en el entorno y esto crea un impacto negativo en los ecosistemas. Estos plásticos consumidos tienen como destino final en su gran mayoría, en la ciudad de Lima, los rellenos sanitarios (Sigersol 2018). Actualmente los residuos plásticos son gestionados con diferentes tecnologías tales como: tecnologías mecánicas, químicas o físicas, pero estas alternativas no son totalmente eficientes y pueden generar contaminación secundaria. Según Ahmed et al. (2018) aplicar biotecnología para degradar los polímeros plásticos sintéticos sería una medida más ecológica para la gestión de estos desechos. Algunos microorganismos incluso pueden usar plásticos como fuente principal de energía, lo que motivaría el desarrollo del enfoque biológico para el tratamiento de los desechos plásticos (Yang et al. 2018).

La mayoría de los plásticos son derivados del crudo de petróleo, es decir son: polímeros orgánicos cuyos monómeros fueron desarrollados por la petroquímica. Pero, los enlaces químicos que unen estos monómeros son similares a los encontrados en los polímeros naturales (Tabla 2).

*Tabla 2 características de los principales polímeros sintéticos*

<b>Tipo de enlace</b>	<b>Especie basados en su estructura</b>	<b>Monómero o comonómero</b>	<b>Enlaces de la cadena principal</b>	<b>Masa Molecular</b>
-----------------------	---	------------------------------	---------------------------------------	-----------------------

				(Da <sup>1</sup> )
Polímeros con enlace C-C	Poliétileno	Etileno	Enlace C-C	5x10 <sup>4</sup> -3x10 <sup>5</sup>
	Polipropileno	Propileno	Enlace C-C	2x10 <sup>3</sup> -6x10 <sup>4</sup>
	Poliestireno	Etilbenceno	Enlace C-C	1x10 <sup>5</sup> – 4x10 <sup>5</sup>
	Cloruro de polivinilo	Cloruro de vinilo	Enlace C-C	1x10 <sup>5</sup> – 2x10 <sup>5</sup>
Polímeros con enlaces hidrosolubles	Poliuretano	Poliol e isocianato	Enlace uretano o amidésteres	5x10 <sup>4</sup> – 3x10 <sup>5</sup>
	Tereftalato de polietileno	Etileno y tereftalato	Enlace éster	3x10 <sup>4</sup> – 8x10 <sup>4</sup>

Fuente: (Hasirci et al. 2011)

Según Geyer, Jambeck y Law (2017) , los principales tipos de polímeros plásticos producidos actualmente son: el polietileno (PE), polipropileno (PP), policloruro de vinilo (PVC), tereftalato de polietileno (PET), poliuretano (PUR) y poliestireno (PS). Una de las características comunes entre estos y los polímeros naturales, se pone en manifiesto en el tipo de enlaces (fuerzas de Van der Waals y el puente de hidrógeno) que utilizan estas cadenas poliméricas para mantenerse unidas por las, por ejemplo: el PET y el PUR. Por otro parte, las estructuras cristalinas de los polímeros plásticos manifiestan superficies hidrófobas, lo que dificulta el accionar biológico (Sekhar et al. 2016).

La biodegradabilidad de un polímero depende principalmente de la naturaleza de sus enlaces. Así, de los seis principales tipos de plásticos sintéticos, aquellos que tienen enlaces Carbono – Carbono son altamente recalcitrantes, mientras que lo que

<sup>1</sup> Da: Es la unidad de masa atómica unificada conocida también como Dalton.

contienen un esqueleto hidrolizable son más susceptibles a la degradación enzimática, por ejemplo, PUR y PET (Figura 2).

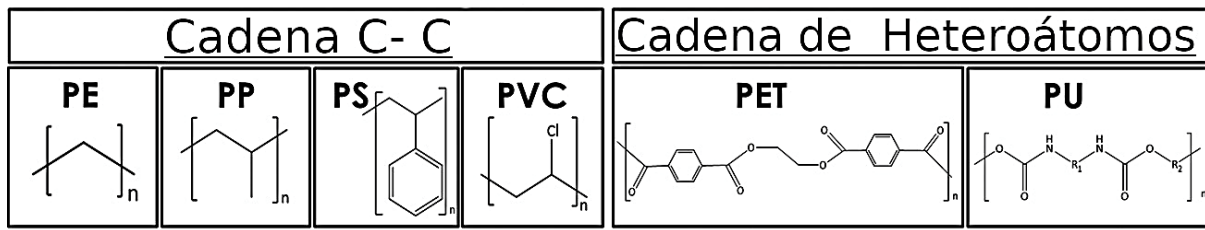


Figura 2 Estructura de los principales polímeros sintéticos

Fuente:(Hasirci et al. 2011)

La degradación de los polímeros se puede realizar principalmente por tres medios: degradación química, degradación física o fisicoquímica y finalmente la biodegradación, tal como se sintetiza en la figura 3

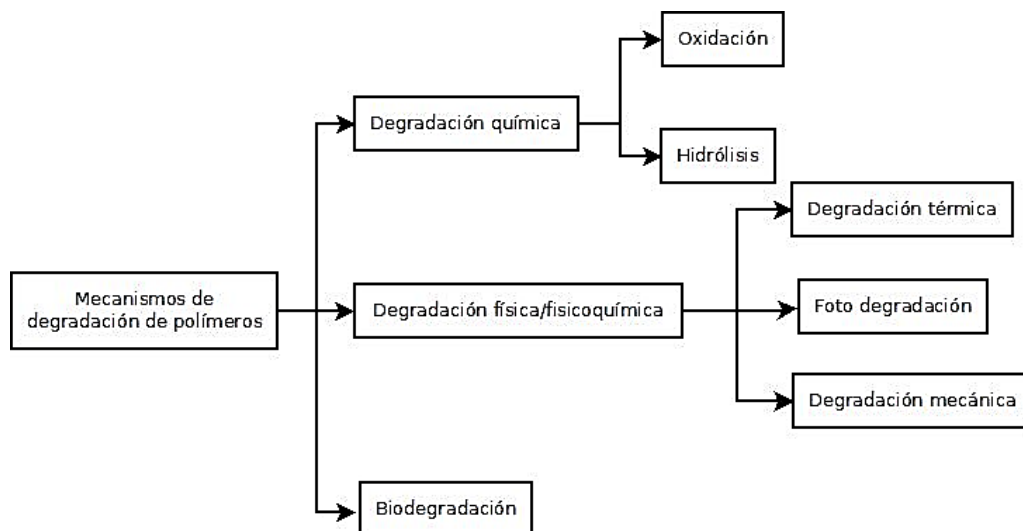


Figura 3 Resumen de los mecanismos de degradación de los polímeros

Fuente: (Mackley 1995)

Así, en la biodegradación intervienen microorganismos como las bacterias y los hongos median una serie de reacciones de biodegradación plástica pero, en muchos casos, las enzimas responsables aún no se han identificado y caracterizado (Auta, Emenike y Fauziah 2017; Auta et al. 2018; Farzi et al. 2017; Farzi, Dehnad y Fotouhi 2019; Giacomucci et al. 2019; Kundungal et al. 2019; Rose et al. 2020; Sangeetha Devi et al. 2019). En los trabajos revisados el polímero sintético sirve como fuentes de carbono para el microorganismo (Auta, Emenike y Fauziah 2017; Auta et al. 2018;

Farzi et al. 2017; Farzi, Dehnad y Fotouhi 2019; Giacomucci et al. 2019; Kundungal et al. 2019; Rose et al. 2020; Sangeetha Devi et al. 2019), tal como lo haría un polímeros naturales, por ejemplo: el almidón. El principal desafío del bioprocesamiento de polímeros sintéticos se asocia con la reducción del peso molecular del polímero y de esta manera los fragmentos poliméricos puedan ingresar al citoplasmas, por lo general moléculas con menos de 50 átomos de carbono (Yang et al. 2015a; 2018).

La poliolefinas de gran tamaño y a la vez inerte han podido ser degradadas por microorganismos del medio ambiente y consumidas por larvas de insectos plastificantes (Yang et al. 2015a; 2015b; 2018; Brandon et al. 2018). Aun así, como se indicó anteriormente, la mayoría de estos procesos de degradación están aún en nivel experimental y sus mecanismos subyacentes (incluidas las enzimas que median la degradación plástica) permanecen sin explorar.

La mayoría de los estudios de ruptura del enlaces carbono - carbono se centran en PE, existen pocos informes que describan la degradación de PU, PP o PVC ya que son extremadamente estables y en caso ocurra su biodegradación puede tardar meses o décadas para hacerse evidente (Brandon et al. 2018). Incluso en el caso de la degradación PE son necesarios los estímulos abióticos, tales como: acciones mecánicas, los rayos UV y/o agentes oxidantes, todos estos de manera natural se dan junto a los agentes biológicos para lograr resultados significativos (Mehmood et al. 2016). Por ejemplo, los pretratamientos pueden servir para introducir grupos funcionales carbonilo u olefina en el esqueleto del polímero, haciéndolos más susceptibles al ataque microbiano y enzimático (Mehmood et al. 2016; Chiellini, Corti y Swift 2003).

La definición de biodegradabilidad establecida por el Comité Europeo de Normalización ( ECS ) La norma europea (EN ISO 14855.1 2008) requiere lograr una pérdida de peso final (70% en peso) después del período de prueba establecido (45 días) (EN ISO 14855.1 2008, apéndice C), o una medición en línea de la liberación de dióxido de carbono (EN ISO 14855.1 2008, apéndice B). Si bien la degradación completa de un polímero puede analizarse cuantitativamente midiendo la pérdida de

peso total o la emisión de dióxido de carbono, ambas técnicas brindan un rendimiento de limitado de medición y además se requiere de grandes muestra (aproximadamente 100 gramos). Por ese motivo en la figura 4 se resumen las principales técnicas analíticas empleadas para monitorear la biodegradación de los materiales plásticos.

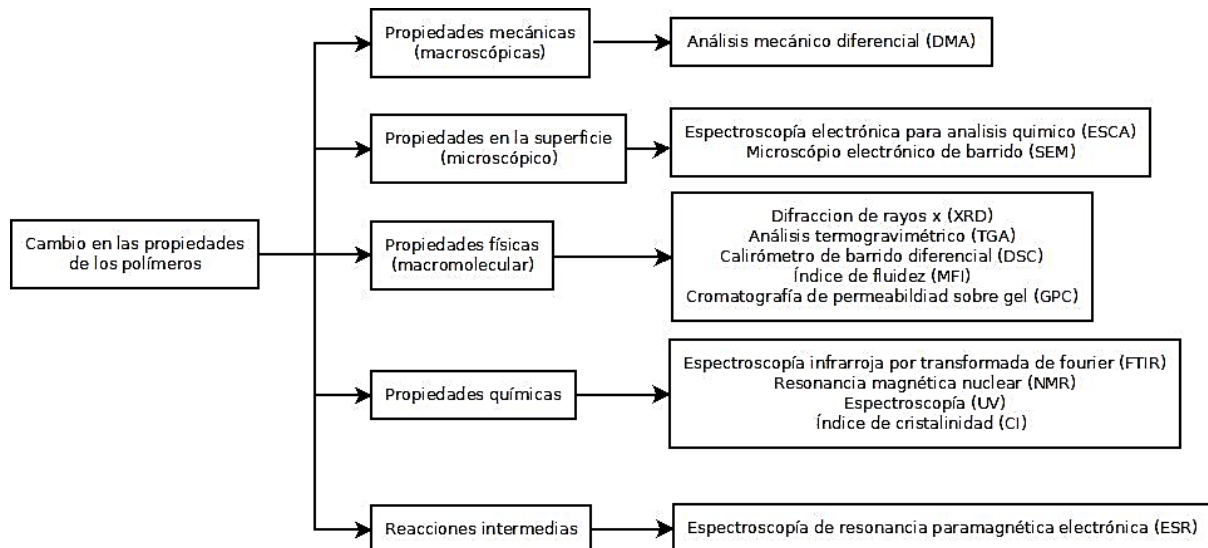


Figura 4 Principales métodos analíticos empleados para el análisis de degradación.

Estos métodos de caracterización se emplean para estudiar tanto las propiedades mecánicas, químicas y/o físicas del polímero antes y después de sufrir un proceso de degradación, esto ayuda a comprender el nivel y mecanismo de degradación sufrido por el polímero. El estudio de las propiedades mecánicas se logra a través de la medición de la resistencia a la tracción, es decir: el alargamiento en caso de falla para esto se usa el DMA. Por otro lado, las propiedades físicas de los polímeros generalmente son: Propiedades morfológicas tales como: microfisuras o fragilidad para medir eso se usa el SEM o ESCA (Shah et al. 2016); otra propiedad que se mide es la densidad o también el ángulo de contacto (Yang et al. 2015b), otros autores miden: viscosidad, la distribución del peso molecular del polímero y para eso usan el GPC (Yang et al. 2015), También tenemos autores (Wang et al. 2020) que registran a la temperatura de fusión (Tm), temperatura de transición vítrea (Tg) haciendo uso de TGA y DSC o cambios en las regiones cristalinas y amorfas y para ello utilizan el XRD. Existen otros aspecto de interés, tales como los cambios que sufren las propiedades químicas del polímero y en este caso se busca la formación o desaparición de grupos funcionales, para lograr esto se utiliza el FTIR (Giacomucci et al. 2019).



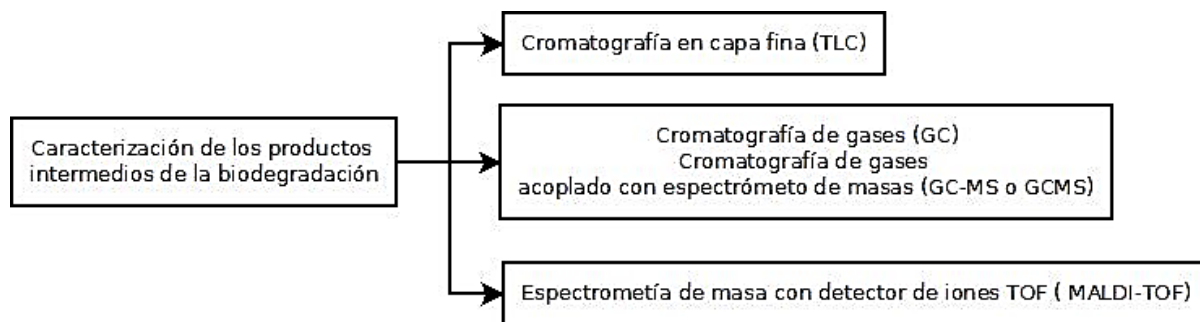


Figura 5 Técnicas usadas para caracterizar productos de la biodegradación

El peso molecular y la distribución del peso molecular de los productos degradados o intermedios (figura 5) se caracterizan usando técnicas como TLC, GC (Farzi, Dehnad y Fotouhi 2019), GCMS, CL, MALDITOF, NMR (Wang et al. 2020)

### **III. METODOLOGÍA**

A continuación, se describe el método que fue utilizado en el desarrollo de la investigación

#### **3.1. Tipos y diseños de investigación**

##### **Tipo de investigación**

En función a su utilización esta investigación es de tipo aplicada ya que se busca encontrar soluciones prácticas a problemas prácticos y presenta una utilidad de corta duración, además se verificó por medio de observaciones (Muntané Renat 2010).

En función del enfoque general y a los métodos de investigación usados, es una investigación cuantitativa, porque recoge datos de naturaleza cuantitativa y se soporta en la estadística, además siguió un patrón predecible y estructurado (Hernandez-Sampieri 2018).

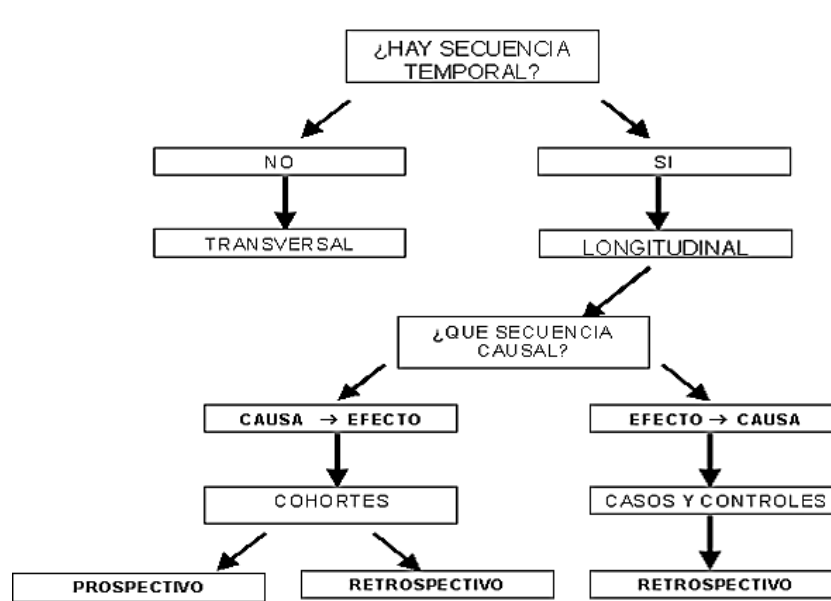
##### **Diseño de investigación**

El diseño es no experimental de corte transeccional debido a que no se manipulan las variables sobre otras variables, en los cuales se observaran los fenómenos en su ambiente de manera original para después ser analizados (Hernandez-Sampieri 2018). Se observan situaciones que ya existen, no provocadas por la persona que investiga, de tal manera que no se tiene control directo y no se puede influir sobre las variables porque estas ya sucedieron al igual que sus efectos.

##### **Nivel de investigación**

El nivel de la investigación es Longitudinal si las observaciones van referidas a dos momentos en el tiempo así la información se recolectó de manera simultánea, se asumió una secuencia temporal entre estas de causa - efecto, de tipo evolutivo o cohorte por estar vinculados de alguna manera creando agrupamientos temporales, así mismo será retrospectivo ya que el diseño es subsiguiente a los hechos estudiados y a su vez los

datos obtenidos de los diversos artículos y trabajos relacionados con los motores de búsqueda (Hernandez-Sampieri 2018).



Fuente: Sabino (1992)

Figura 6 : Flujograma de selección de estudio

### 3.2. Variables y operacionalización

**V1:** Uso de Biotecnología bacteriana

**V2:** Biodegradación de Polímero

Para la compilación de datos presentes en el marco teórico se estructuró la matriz de operacionalización presentando conceptos operacionales, dimensiones e indicadores de las variables los cuales se observan en el ANEXO 2.

### 3.3. Población, muestra y unidad de análisis

#### Población

Se define como la agrupación con ciertas características en común ya sean individuos o elementos en el cual deseamos realizar el estudio(Hernandez-Sampieri 2018). En esta investigación se tomó como población los 82

artículos científicos que utilizaron biotecnología bacteriana para degradar diversos tipos de polímero.

### **Muestra**

Se define como un subconjunto de la población o universo de interés propio en la cual se reúnen datos los cuales deben de delimitarse para generalizar resultados y determinar parámetros con precisión y ser estadísticamente representativo de ésta (Hernandez-Sampieri 2018)

De tal manera que usando los criterios de exclusión e inclusión fijados se evaluaron 16 artículos de texto completo para determinar su elegibilidad.

### **Criterios de inclusión:**

- Artículos que respondan a la identificación de biotecnologías bacterianas para la biodegradación de polímeros.
- Artículos que se encuentren en un rango del año 2015-2020.
- Artículos que identifiquen tiempo y porcentaje de degradación por biotecnologías bacterianas.

### **Criterios de exclusión:**

- Artículos que refieran nuevas técnicas para medir la biodegradación de polímeros.
- Artículos que usen agentes degradadores que no sean bacterianos.
- Artículos que degraden polímeros naturales usando biotecnología bacteriana.

**Unidad de análisis:** Denominados también casos o elementos (Sánchez-Meca 2010). En el caso de esta investigación se tomó como unidad de análisis los artículos científicos que estudien la biodegradación de polímeros haciendo uso de la biotecnología bacteriana.

### **3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

En el presente trabajo de investigación se utilizó la técnica de revisión documental, la cual se manejó para revisar investigaciones referentes a la degradación de polímeros por biotecnologías bacterianas permitiendo un mejor recojo de datos.

Como instrumento se utilizó fichas de recolección de datos de artículos científicos lo cual nos permitió un registro de base de datos de investigaciones, este instrumento es de suma importancia ya que facilita el acceso a la información que se necesita para la resolución del problema.

#### **Validez y confiabilidad**

La validez de la ficha de recolección de datos se realizó a través del juicio de expertos, que cuentan con experiencia en el ámbito de la investigación científica y/o ingeniería ambiental. Para emitir su criterio de validez lo expresaron en porcentaje tomando en cuenta criterios de evaluación la coherencia, pertinencia y relevancia que presenta el instrumento de recolección de información. (ANEXO 3)

La confiabilidad de la ficha de recolección de datos se evidenciará durante el desarrollo de la investigación.

### **3.5. Procedimientos**

Para el desarrollo de la investigación se utilizó la técnica de revisión sistemática y metaanálisis, el cual permite combinar resultados de diversos estudios para estimar un efecto común, brindando una amplia información.

Por ello la presente investigación se desarrolló en 5 pasos.

#### **Identificación y búsqueda**

Paso uno, para la estrategia y búsqueda de selección se realizó una revisión sistemática por conveniencia de estudios de tipo cohorte por estar vinculados de alguna manera creando agrupamientos temporales de artículos sobre Biodegradación de polímeros por medio de bacterias.

Seguidamente se realizó una búsqueda de los artículos y trabajos relacionados en los motores de búsqueda de Science Direct y Scielo, se precisaron utilizar las siguientes combinaciones de palabras claves: (biodegradación o mineralización) y (plásticos o polímeros sintéticos) y (microorganismos o microbios o cepas bacterianas). Se realizaron búsquedas en las bases de datos teniendo en cuenta un rango de periodo que abarque desde el año 2015 hasta el año 2020 identificando 82 artículos relacionados.

### **Extracción de Datos**

Paso dos, se realizó la búsqueda de los estudios en los sitios web y motores de búsqueda recopilando los artículos en <https://drive.google.com>. Los cuales fueron sistematizados mediante la ficha de recolección para su elegibilidad revisando títulos y resúmenes. Los desacuerdos entre los revisores se resolvieron mediante discusión. Tomando los artículos seleccionados, se realizó la extracción de datos teniendo en cuenta lo siguiente:

- Autor
- Microorganismos
- Tipo de Polímero
- Porcentaje de Degradación
- Tiempo

### **Filtración**

Paso tres, para la filtración de datos a estudiar se consideró los criterios de inclusión y exclusión. En este paso se tomo como criterio de inclusión artículos que respondan a la identificación de biotecnologías bacterianas para la biodegradación de polímeros, artículos que se encuentren en un rango del año 2015-2020 y artículos que identifiquen tiempo y porcentaje de degradación por biotecnologías bacterianas, y como criterio de exclusión artículos que refieran nuevas técnicas para medir la biodegradación de

polímeros, artículos que usen agentes degradadores que no sean bacterianos y Artículos que degraden polímeros sintéticos usando biotecnología bacteriana.

## Elegibilidad

Se obtuvo 16 artículos de texto completo que fueron estimados para analizar su elegibilidad. Excluyendo aquellos artículos cuyo tema trataba sobre biodegradación de polímeros naturales, también aquellos que se enfocaban más en la validación de nuevas técnicas de análisis de biodegradación de polímeros tanto sintéticos como naturales. Como resultado de lo anteriormente expuesto se quedó con 10 artículos.

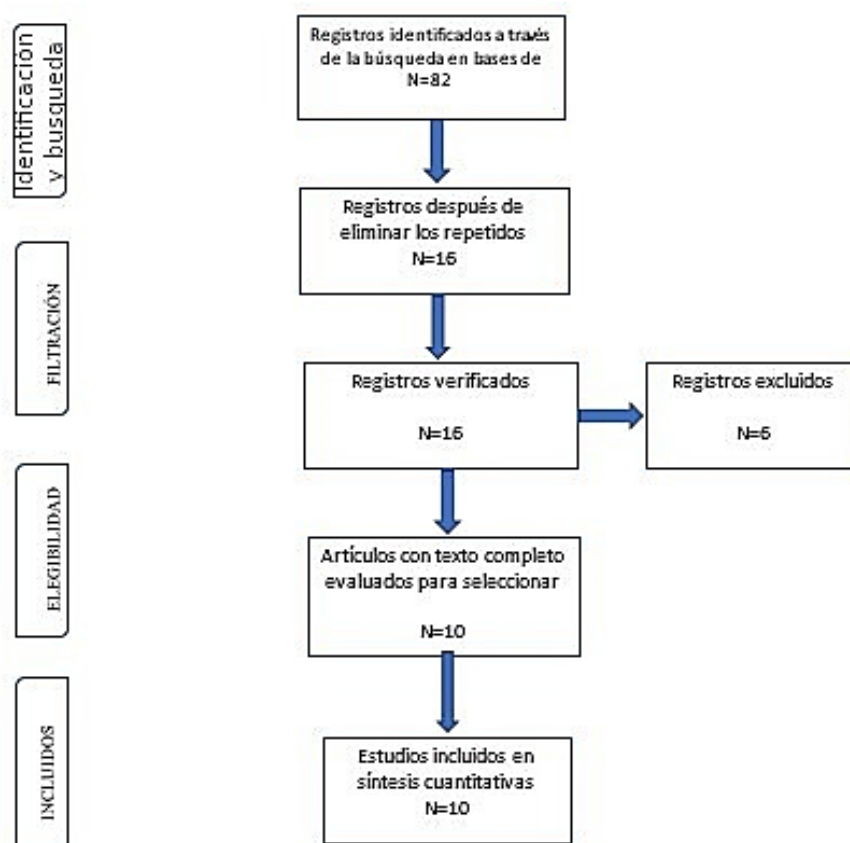


Figura 7 Procesamiento de selección

## Análisis de heterogeneidad

Paso cuatro, se desarrolló el análisis de heterogeneidad de los artículos seleccionados a través de los componentes estadísticos del programa

RStudio, el cual revela el porcentaje heterogeneidad de los resultados extraídos de cada artículo.

### 3.6. Métodos de análisis de datos

#### Estadística descriptiva

Se empleó con el propósito de realizar tablas de valores porcentajes sobre la pérdida de peso del polímero en relación a los microorganismos. Este método estadístico detalló de manera cuantitativa los resultados obtenidos durante el procesamiento de los datos obtenidos a través de la ficha de recolección.

#### Estadística inferencial

El método de estadística inferencial en la investigación se realizó utilizando R Studio versión 1.3.959 del 2020. R Studio es un software que requiere la instalación y cargado de diferentes paquetes que continuación se explica: La función *ipak* la que permite instalar múltiples paquetes en el software R Studio. Los paquetes instalados fueron los siguientes: ("metafor", "esc", "readxl", "robumeta", "dplyr", "meta", "compute.es", "MAd") que es un paquete que contiene la colección de funciones para conducir un meta análisis en R.

El paquete *Esc* permite calcular la media estandarizada, es decir, calcula el tamaño del efecto. *Readxl* permite leer archivos en codificación Excel. *Robumeta*, se usa para esquematizar el peso de cada estimador y será utilizado por el diagrama de Forest. *Dplyr* dicho paquete ayuda a la manipulación de cambios en la base de datos.

*Meta* es un paquete de soporte de *metafor* en caso se requiera análisis de efecto fijo. *Compu*, es también se utiliza para el cálculo para el tamaño de efecto. Finalmente, *MAd* que permite calcular la diferencia de las medias.



Una vez instalado los paquetes se utiliza la función *library* para cargar los paquetes, esta función se debe usar siempre ya que R no almacena los paquetes instalados en su configuración.

Para poder importar el archivo Excel se usó la función *read\_excel*, luego para calcular la variabilidad de las medias se utilizó la función *Escalc* de paquete *Esc*. Una vez calculada la varianza de media se grabó el resultado en una nueva base de datos usando *baseMa\$nuevaD*, luego se procedió a realizar el análisis de datos usando la función *Rma* que pertenece a los paquetes *Metafor*, *Robumeta* y *Meta*. Luego se creó el diagrama de Forest utilizando la función *Forest* proveniente del paquete *Dply* y de *MAd*.

### **3.7. Aspectos éticos**

Los aspectos éticos de la investigación siguen al código de ética dispuesto en la Resolución del Consejo Universitario N°0126/2017 – UCV en donde nos indican el desarrollo de las investigaciones cumpliendo con estándares de rigor científico, responsabilidad y honestidad que se debe cumplir. Para la realización de buenas prácticas de investigación, la Universidad César Vallejo promueve la originalidad de las investigaciones y para ello tiene a disposición de la comunidad universitaria que investiga, el programa de evaluación de trabajos de investigación – TURNITIN, que permite determinar el nivel de similitud o coincidencias con otras fuentes de consulta.

#### IV. RESULTADOS

Como resultado de la selección artículos en función de las variables y dimensiones de estudio que se muestran en la Tabla 3, se puede observar que respecto a la dimensión Tipo de pared celular (Dimensión 3) la mayoría de estudios evaluados identifican como gram positiva la bacteria utilizada a excepción de las *Pseudomonas citronellolis*, *Stenotrophomonas pavanii* y *Pseudomonas sp.* que según su tipo de pared celular se clasifican en gram- negativas. Con respecto a *Bacillus flexus* se identificó como gram-variable (Una gram-variable es aquella que no logra una tinción total de sus paredes).

Con respecto a la obtención de energía de las bacterias (Dimensión 4) se observó que todos son organotrofos es decir que obtienen su energía oxidando compuestos orgánicos.

Según los tipos de polímeros estudiados (Dimensión 1) la mayoría de investigaciones se centran en Polietileno, Poliestireno, Polipropileno, Cloruro de Polivinilo (cadena C-C) y Polietileno Tereftalano (cadena de heteroátomos) es decir se tiene presente tanto hidrocarburos, recalcitrantes (cadena C-C) como hidrocarburos de esqueleto hidrolizable (cadena de heteroátomos).

En las condiciones de degradación del polímero (Dimensión 2) se considera como indicadores de biodegradación el tiempo en relación al porcentaje de pérdida de peso del polímero, observándose el tiempo de incubación es variado según los autores y el porcentaje de pérdida de peso no superan el 70% tal como lo indica la norma ISO 14855.1 (2008). Adicionalmente se ha observado que la mayoría utiliza la temperatura ambiente es decir la mayoría son mesófilos (temperatura de crecimiento de 20°C hasta 40°C).

Tabla 3 Descripción de las características de los artículos estudiados

N°	Autores	Año	Microorganismo	Dimensión 3	Dimensión 4	Dimensión 1	Dimensión 2				
				(con respecto a V2)	(con respecto a V2)	(con respecto a V1)	Tipo de pared celular	Fuente de obtención de energía	Polímero	Densidad del polímero (mg/l)	Temperatura (°C)
1	Yang et al.	2015	Exiguobacterium sp.	Gram-positiva	Organotrofos	Poliestireno	2500	24	60	7.4	0.4
2	Auta et al	2018	Bacillus sp	Gram-positiva	Organotrofos	Polipropileno	900	29	40	4	0.2
2	Auta et al	2018	Rhodococcus sp.	Gram-positiva	Organotrofos	Polipropileno	900	29	40	6.4	0.2
3	Auta et al	2017	B. cereus	Gram-positiva	Organotrofos	Polietileno	940	29	40	1.6	0.25
3	Auta et al	2017	B. cereus	Gram-positiva	Organotrofos	Polietileno tereftalato	1680	29	40	6.6	0.3
3	Auta et al	2017	B. cereus	Gram-positiva	Organotrofos	Poliestireno	1680	29	40	7.4	0.4
3	Auta et al	2017	B. gottheilii	Gram-positiva	Organotrofos	Polietileno	940	29	40	6.2	0.4
3	Auta et al	2017	B. gottheilii	Gram-positiva	Organotrofos	Polietileno tereftalato	1680	29	40	3	0.4
3	Auta et al	2017	B. gottheilii	Gram-positiva	Organotrofos	Polipropileno	900	29	40	3.6	0.23
3	Auta et al	2017	B. gottheilii	Gram-positiva	Organotrofos	Poliestireno	1680	29	40	5.8	0.22
4	Chauhan et al	2018	Exiguobacterium sp.	Gram-positiva	Organotrofos	Poliestireno	NA	24	30	8	1.52
4	Chauhan et al	2018	Exiguobacterium sp.	Gram-positiva	Organotrofos	Poliestireno	NA	24	30	8.8	1.52
5	Farzi et al	2017	Streptomyces sp.	Gram-positiva	Organotrofos	Polietileno	959000	28	18	18.26	1.27
5	Farzi et al	2017	Streptomyces sp.	Gram-positiva	Organotrofos	Polietileno	959000	28	18	14.4	0.57
5	Farzi et al	2017	Streptomyces sp.	Gram-positiva	Organotrofos	Polietileno	959000	28	18	13	0.84

N°	Autores	Año	Microorganismo	Dimensión 3	Dimensión 4	Dimensión 1	Dimensión 2				
				(con respecto a V2)	(con respecto a V2)	(con respecto a V1)	(con respecto a v1)				
				Tipo de pared celular	Fuente de obtención de energía	Polímero	Densidad del polímero (mg/l)	Temperatura (°C)	Tiempo de Incubación (días)	Pérdida de Peso del Polímero (%)	Desviación típica muestral (S2)
6	Farzi, Dehnad y Fotouhi	2019	Streptomyces sp.	Gram-positiva	Organotrofos	Polietileno tereftalato	NA	28	18	49.2	0.84
6	Farzi, Dehnad y Fotouhi	2019	Streptomyces sp.	Gram-positiva	Organotrofos	Polietileno tereftalato	NA	28	18	57.4	1.45
6	Farzi, Dehnad y Fotouhi	2019	Streptomyces sp.	Gram-positiva	Organotrofos	Polietileno tereftalato	NA	28	18	62.4	1.3
6	Farzi, Dehnad y Fotouhi	2019	Streptomyces sp.	Gram-positiva	Organotrofos	Polietileno tereftalato	NA	28	18	68.8	1.31
7	Giacomucci et al	2020	Bacillus flexus	Gram variable	Organotrofos	cloruro de polivinilo	NA	24	210	11.7	0.87
8	Giacomucci et al.	2019	Pseudomonas citronellolis	Gram-negativa	Organotrofos	cloruro de polivinilo	NA	24	45	18.58	0.92
8	Giacomucci et al.	2019	Bacillus sp	Gram-positiva	Organotrofos	cloruro de polivinilo	NA	24	45	13.9	0.46
9	Mehmood et al.	2016	Stenotrophomonas pavanii	Gram-negativa	Organotrofos	Polietileno	930	24	56	25	0.99
10	Sangeetha Devi et al	2019	Pseudomonas sp.	Gram-negativa	Organotrofos	Polietileno	950	24	30	26	1.24

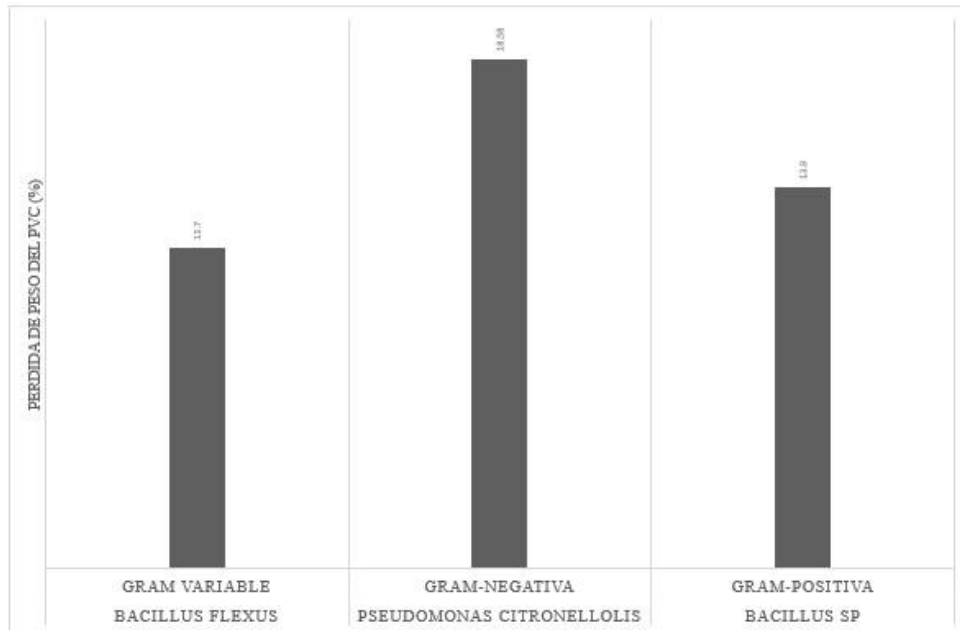


Figura 8 Pérdida de peso(%) en relación a los microorganismos y el tipo de polímero (PVC)

Se puede apreciar que respecto al PVC la Pseudomona Citronellolis es la que mayor pérdida de peso presentó con un 18.58 % con un tiempo de incubación de 45 días, por otro lado, el Bacillus sp tuvo una reducción de 13.9% también con el mismo tiempo de incubación siendo el Bacillus Flexus el de menor porcentaje de pérdida de peso con un 13.7% aun siendo incubado por un tiempo de 210 días.

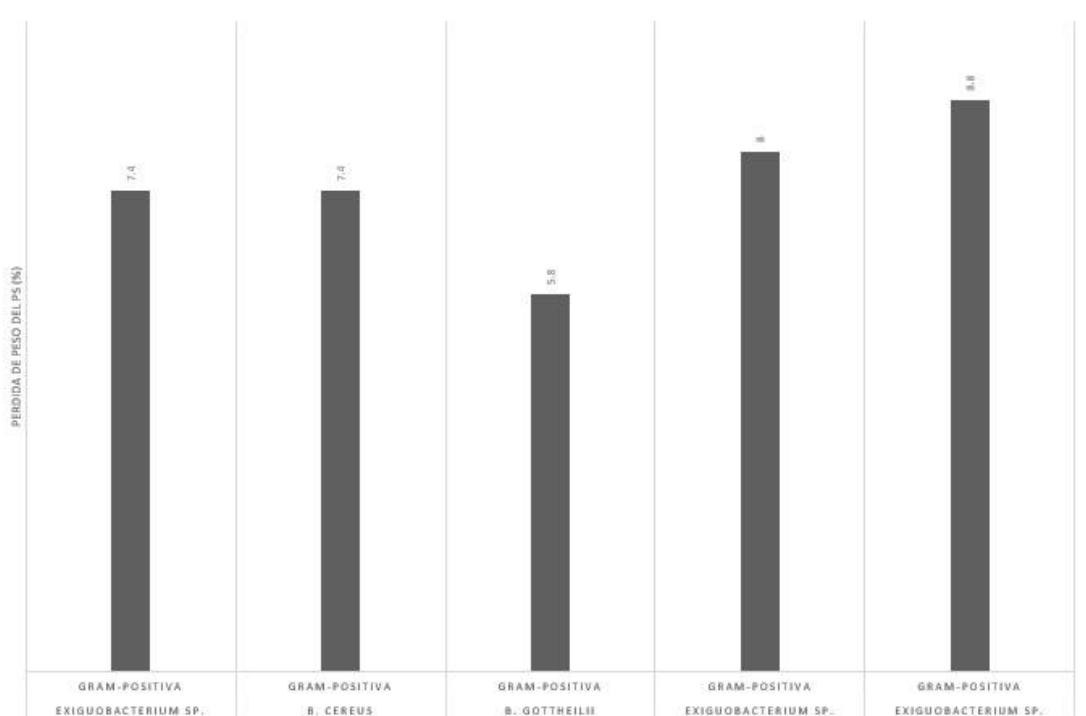


Figura 9 Pérdida de peso(%) en relación a los microorganismos y el tipo de polímero (PS)

Se puede apreciar que respecto al PS el porcentaje de pérdida de peso con *Exigubacterium sp* es de 8.8%, 8% con un tiempo de incubación de 30 días y 7.4% con un tiempo de incubación de 60 días. Asimismo, el *B. Cereus* presenta una degradación de 7.4% con un periodo de incubación de 40 días. Finalmente tenemos al *B. Gottheilii* con 5.8% de pérdida de peso con un tiempo de incubación de 40 días.

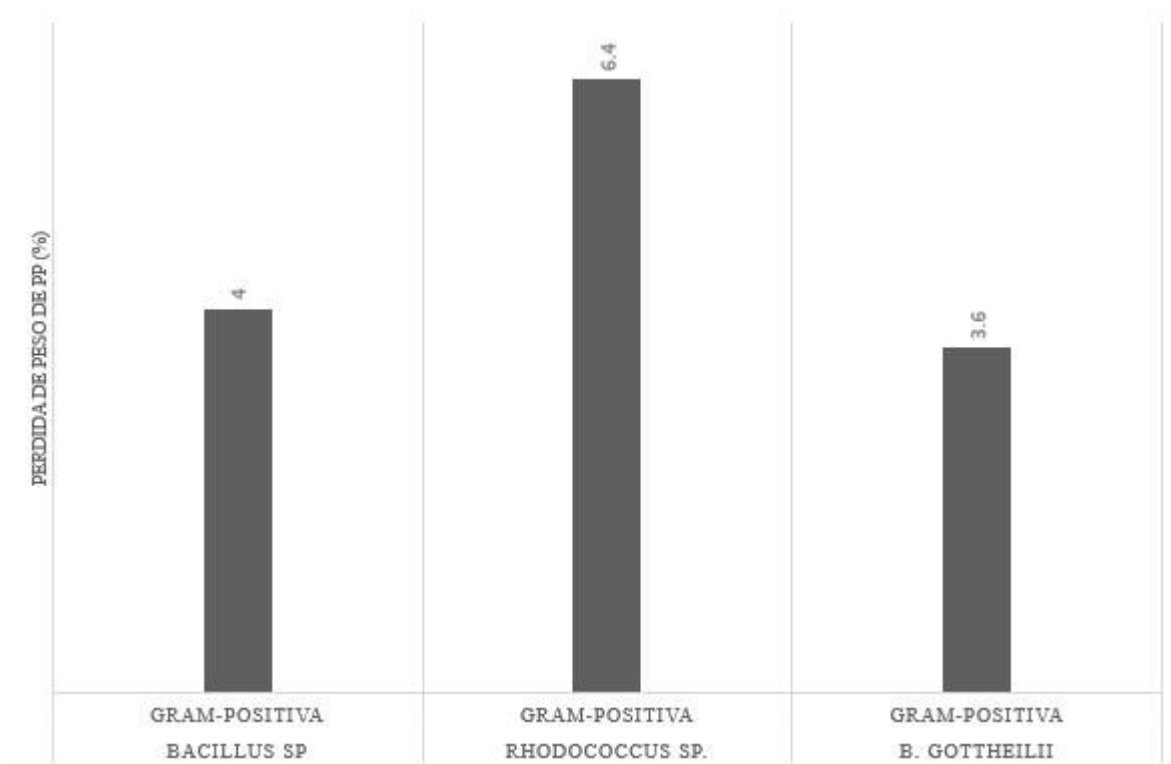


Figura 10 Pérdida de peso(%) en relación a los microorganismos y el tipo de polímero (PP)

En la figura N° 10 se observa que, en el PP, los *Rhodococcus sp* tuvieron una mayor pérdida de peso en el polímero con un 6.4% en 40 días de incubación. Al aplicar el *Bacillus sp* y *B. Gottheilii* con el mismo tiempo de incubación sobre el polímero se observó un 4% y 3.6% de pérdida de peso respectivamente.

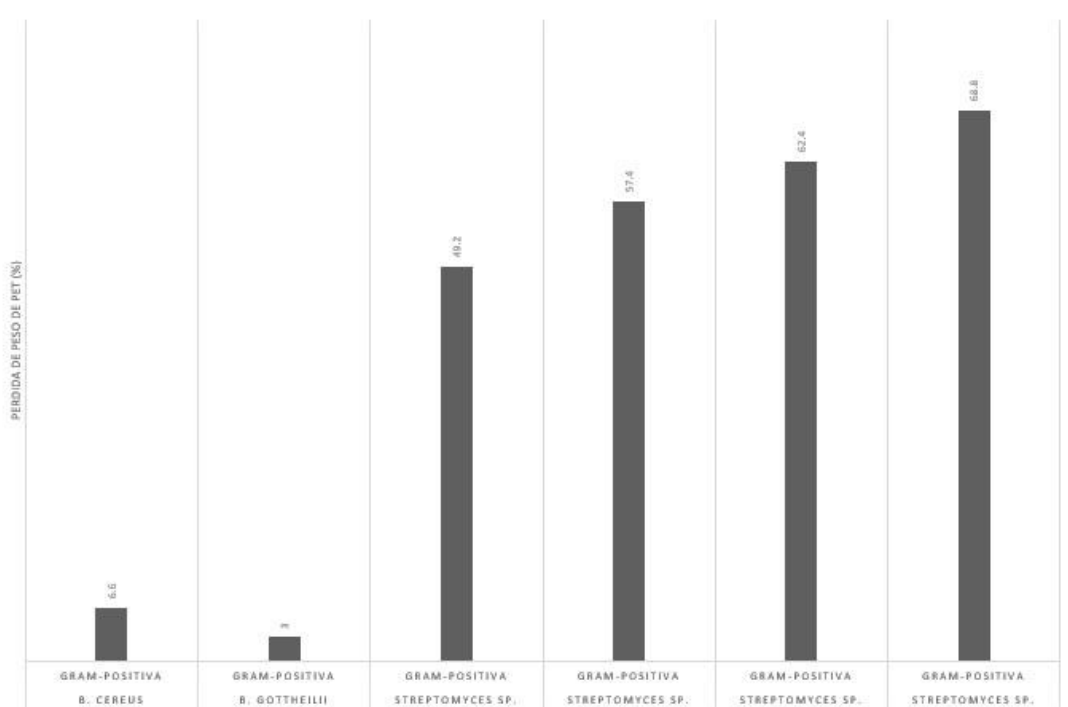


Figura 11 Pérdida de peso(%) en relación a los microorganismos y el tipo de polímero (PET)

En figura N° 11, los microorganismos que mostraron mayor degradación son las *Streptomyces sp.* con un tiempo de 18 días de incubación luego siguió *B. Cereus* y finalmente *B. Gottheilii* con 40 días de incubación.

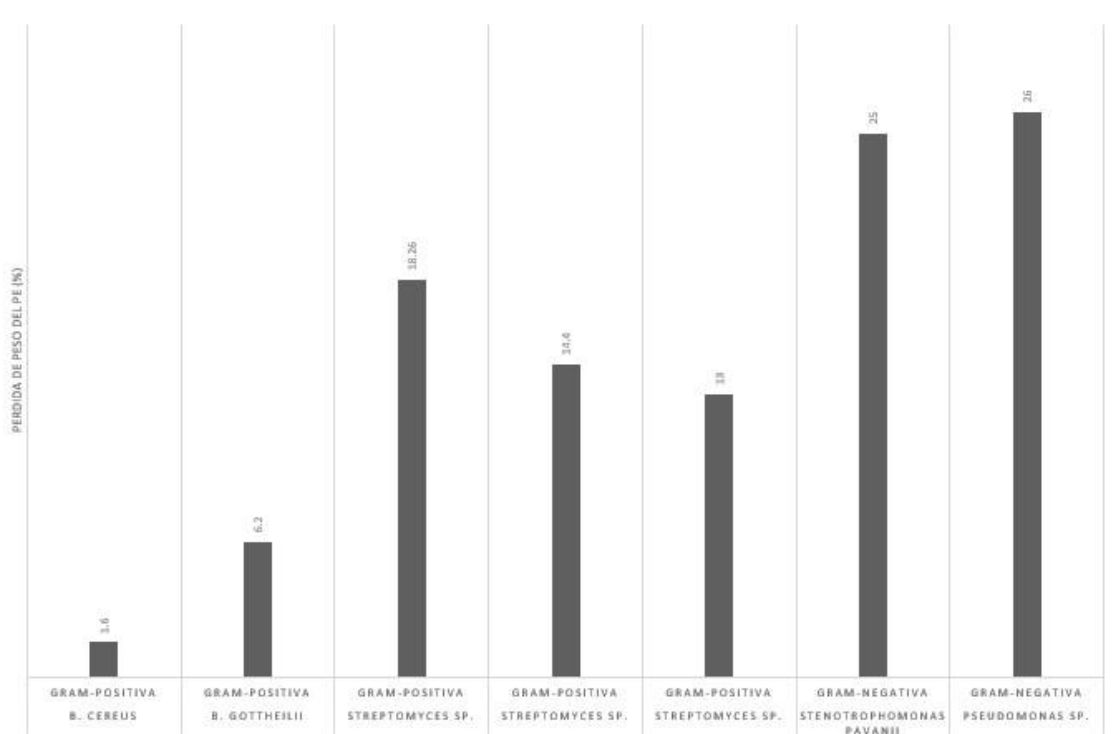


Figura 12 Pérdida de peso(%) en relación a los microorganismos y el tipo de polímero (PE)

Podemos apreciar en la figura N° 12 que en el PE se trabajaron mayor cantidad de bacterias entre ellas *Pseudomonas sp.* quién presento mayor pérdida de peso con un 26% incubado en 30 días. Seguidamente de *Stenotrophomonas Pavanii* con un 25% de pérdida de peso en un rango de 56 días de incubación. Luego se observa al *Streptomyces sp.* con una pérdida de peso de 18.26%, 14.2% y 13% en un mismo tiempo de incubación de 18 días. Finalmente se observó que en un tiempo de incubación de 40 días el *B. Gottheilii* y el *B. Cereus* tuvieron una pérdida de peso de 6.2% y 3.6% respectivamente.

Luego de haber realizado la selección de los artículos se procedió a realizar el metaanálisis fijando como modelo el efecto aleatorio, ya que las muestras provienen de diferentes poblaciones.

Tabla 4 Modelo de efecto aleatorio

**Random-Effects Model** (k = 24; tau<sup>2</sup> estimator: DL)

logLik	deviance	AIC	BIC	AICc	
-94.5167	59.4003	193.0335	195.3896	193.6049	
tau <sup>2</sup> (estimated amount of total heterogeneity):	52.7114	(SE = 28.9651)			
tau (square root of estimated tau <sup>2</sup> value):	7.2603				
I <sup>2</sup> (total heterogeneity / total variability):	74.64%				
H <sup>2</sup> (total variability / sampling variability):	3.94				
Test for Heterogeneity:					
Q(df = 23)	= 90.6973	p-val < .0001			
Model Results:					
estimate	se	zval	pval	ci.lb	ci.ub
-18.2698	1.9563	-9.3388	<.0001	-22.1041	-14.4355 ***
Signif. codes:					
0 '***'	0.001 '**'	0.01 '*'	0.05 '.'	0.1 ''	1



## **Análisis de Heterogeneidad**

- En función de la tabla 4 los estudios muestran un mínimo de similitud como para que se puedan combinar.
- El I<sup>2</sup> mide el porcentaje de heterogeneidad e indica la proporción de la variación total que es atribuible a la falta de homogeneidad.
- Si el I<sup>2</sup> es menor a 50% son homogéneos y si tienen un porcentaje mayor a 75%, quiere decir que los estudios son heterogéneos y no conviene combinarlos.
- La heterogeneidad se relaciona con las diferencias que se observan entre los resultados de los estudios incluidos.

## V. DISCUSIÓN

La biotecnología bacteriana ha utilizado diferentes microorganismos para la biodegradación de polímeros. En algunos casos se ha observado microorganismos con la capacidad de biodegradar más de un tipo de polímero, tal es el caso de la especie *Bacillus* que puede obtener su fuente de energía de los diferentes polímeros estudiados (PP, PET, PS, PE, PVC). Sin embargo, la especie *Bacillus* cuenta con sub-especies tales como: la sub-especie *Cereus* que tiene capacidad de biodegradar: PS, PE, PET, así también, se evidencia que la sub-especie *Gottheilii* biodegrada polímeros como: PS, PE, PET y PP. Respecto a *Streptomyces* sp. se evidencio su capacidad de biodegradación en polímeros como PET y PE. Por otro lado, en el estudio se ha encontrado especies que solamente biodegradan un solo tipo de polímero tales como: la *Pseudomonas* sp. biodegrada PE y su sub-especie *Citronellolis* biodegrada PVC, *Bacillus flexus* en el PVC, *Exiguobacterium* sp. en el PS, *Stenotrophomonas Pavanii* en el PE y *Rhodococcus* sp. en el PP (Ver Figura 13).

La capacidad de degradación de cada uno de estos microorganismos está en función de las enzimas hidrolíticas que permitan romper los enlaces poliméricos sintéticos. Esto concuerda con la revisión bibliográfica en donde menciona que la capacidad de obtener fuente de carbono depende del arsenal enzimático de la bacteria

Bacillus flexus				
Pseudomonas citronellolis				
Bacillus sp				
Exiguobacterium sp.				
B. cereus				
B. gottheilii				
B. cereus				
B. gottheilii				
Streptomyces sp.				
Stenotrophomonas pavanii				
Pseudomonas sp.				
B. cereus				
B. gottheilii				
Streptomyces sp.				
Bacillus sp				
Rhodococcus sp.				
B. gottheilii				
Cloruro de polivinilo	Poliestireno	Polietileno	Polietileno Tefetalato	Polipropileno

Figura 13 Microorganismos utilizados en la degradación de polímeros

En relación a la degradación de PVC teniendo en cuenta que las temperaturas de incubación fueron iguales pero el tiempo de incubación diferente no se observa una relación directa entre el tiempo de incubación y la pérdida de peso del material., es decir que el *Bacillus flexus* que tuvo mayor tiempo de incubación no logró un mayor porcentaje de pérdida de peso del polímero.

En el caso del PS no se observa que la degradación guarde relación con respecto al tiempo de incubación es decir a mayor tiempo mayor porcentaje de remoción de material polimérico sintético.

Con respecto al PP teniendo en mismo tiempo de incubación se sospecha que los *Rhodococcus sp.* contienen actividades enzimáticas que les permiten degradar mejor al polímero.

En función al PET, los *Streptomyces sp.* es un microorganismo que tiene rutas metabólicas complementarias que permiten su desarrollo en ambientes extremos por lo que probablemente tienen facilidad para biodegradar polímero heteroatómicos como el PET.

En el PE se observó que respecto a menos densidad del polímero se obtiene un mayor porcentaje de pérdida de peso.

Según el estudio de metaanálisis presentan que Farzi, Dehnad y Fotouhi(2019) tuvo mayor porcentaje de pérdidas de peso del polímero estudiado (PET) con el uso de la bacteria *Streptomyces sp.* en temperatura ambiente. Y seguido se encuentra el estudio de Giacomucci et al.(2019) que presenta una pérdida de peso del polímero (PE) significativa respecto a los demás autores estudiados. (Figura 14).

Respecto al estudio de heterogeneidad se evaluó en la tabla 4 que el I2 sobrepasa el 50% pero es menor al 75% por lo que comparar los diferentes estudios no es recomendable ya que se presenta una población heterogenia.

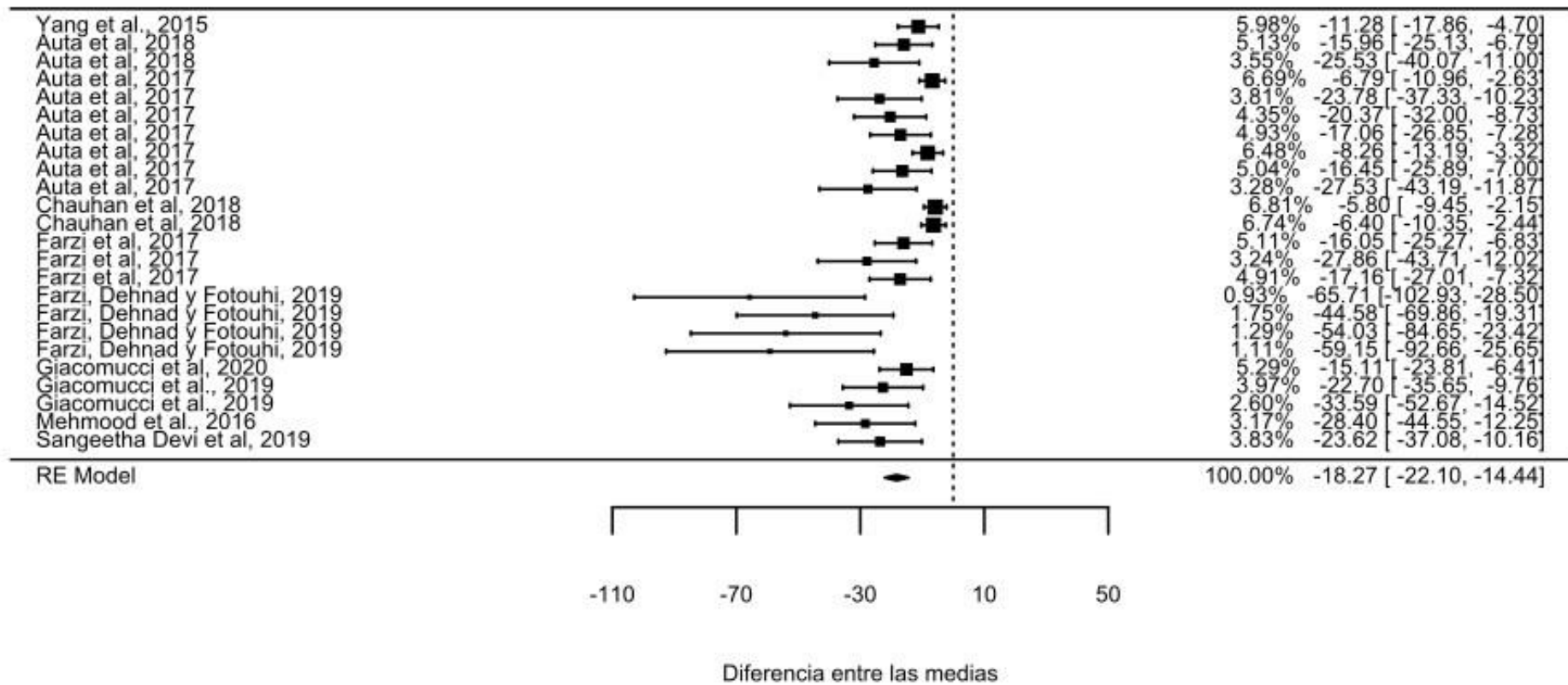


Figura 14 Diagrama de FOREST

## VI. CONCLUSIONES

- El metaanálisis de las investigaciones en el estudio de la biotecnología bacteriana aplicada a la biodegradación de polímeros se identificó los siguientes microorganismos: la especie *Bacillus* (PP, PET, PS, PE, PVC), *B.Cereus* que tiene capacidad de biodegradar: PS, PE, PET, así también, se evidencia *B. Gottheilii* que biodegrada polímeros como: PS, PE, PET y PP. Respecto a *Streptomyces sp.* se evidencio su capacidad de biodegradación en polímeros como PET y PE. Finalmente en el estudio se identificó especies que solamente biodegradan un solo tipo de polímero tales como: la *Pseudomonas sp.* biodegrada PE y su sub-especie *Citronellolis* biodegrada PVC, *Bacillus flexus* en el PVC, *Exiguobacterium sp.* en el PS, *Stenotrophomonas Pavanii* en el PE y *Rhodococcus sp.* en el PP
- Con respecto a la biodegradación a la relación pérdida de peso expresada en porcentaje por medio de la biotecnología bacteriana se observa que solamente los siguientes estudios muestran una degradación significativa del polímero: Farzi, Dehnad y Fotouhi(2019) que obtuvo un porcentaje de 68.8% de pérdida de peso del polímero que estudio (PET) con la aplicación de la bacteria *Streptomyces sp.* en temperatura ambiente. Y el estudio de Giacomucci et al.(2019) presentó una pérdida de peso del polímero (PE) significativo de 18.58% de pérdida de peso respecto a los demás autores estudiados usando *Pseudomonas citronellolis*.
- Llegamos a la conclusión de que el tiempo de incubación no guarda relación con la pérdida de peso de los polímeros evidenciándolo en los estudios expuestos anteriormente (Farzi, Dehnad y Fotouhi,2019) que tuvieron mayor porcentaje de pérdida de peso, pero los tiempos que utilizaron fueron menores a otros estudios (Giacomucci et al.,2019) que obtuvieron menor porcentaje de pérdida de peso.

## VII. RECOMENDACIONES

- Utilizar mayor cantidad de estudios y analizarlos en sub-grupos para procurar una mayor similitud entre los estudios ya que el parámetro común en todos ellos es solamente el porcentaje de pérdida de peso.
- Procurar realizar estudios enzimáticos que permitan explicar la capacidad de biodegradación de las bacterias ya que no responden necesariamente al tiempo de incubación.
- Procurar utilizar estudios de consorcios de bacterias para evaluar un mayor porcentaje de pérdida de peso del polímero.
- Estudiar los microorganismos del tracto digestivo del gorgojo de arroz ya que por medio de observaciones se ha visto que tiene la capacidad de perforar material polimérico.

## REFERENCIAS

- AHMED, T., SHAHID, M., AZEEM, F., RASUL, I., SHAH, A.A., NOMAN, M., HAMEED, A., MANZOOR, N., MANZOOR, I. y MUHAMMAD, S., 2018. Biodegradation of plastics: current scenario and future prospects for environmental safety. *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 25, no. 8, pp. 7287-7298. ISSN 16147499. DOI 10.1007/s11356-018-1234-9.
- AMMALA, A., BATEMAN, S., DEAN, K., PETINAKIS, E., SANGWAN, P., WONG, S., YUAN, Q., YU, L., PATRICK, C. y LEONG, K.H., 2011. *An overview of degradable and biodegradable polyolefins*. 1 agosto 2011. S.I.: Elsevier Ltd.
- AUTA, H.S., EMENIKE, C.U. y FAUZIAH, S.H., 2017. Screening of Bacillus strains isolated from mangrove ecosystems in Peninsular Malaysia for microplastic degradation. *Environmental Pollution* [en línea], vol. 231, pp. 1552-1559. ISSN 18736424. DOI 10.1016/j.envpol.2017.09.043. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.09.043>.
- AUTA, H.S., EMENIKE, C.U., JAYANTHI, B. y FAUZIAH, S.H., 2018. Growth kinetics and biodeterioration of polypropylene microplastics by Bacillus sp. and Rhodococcus sp. isolated from mangrove sediment. *Marine Pollution Bulletin* [en línea], vol. 127, no. April 2017, pp. 15-21. ISSN 0025326X. DOI 10.1016/j.marpolbul.2017.11.036. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.11.036>.
- AVIO, C.G., GORBI, S. y REGOLI, F., 2017. Plastics and microplastics in the oceans: From emerging pollutants to emerged threat. *Marine Environmental Research* [en línea], vol. 128, pp. 2-11. ISSN 18790291. DOI 10.1016/j.marenvres.2016.05.012. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.marenvres.2016.05.012>.
- BRANDON, A.M., GAO, S.H., TIAN, R., NING, D., YANG, S.S., ZHOU, J., WU, W.M. y CRIDDLE, C.S., 2018. Biodegradation of Polyethylene and Plastic Mixtures in Mealworms (Larvae of Tenebrio molitor) and Effects on the Gut Microbiome. *Environmental Science and Technology*, vol. 52, no. 11, pp. 6526-6533. ISSN 15205851. DOI 10.1021/acs.est.8b02301.
- CAPITAIN, C., ROSS-JONES, J., MÖHRING, S. y TIPPKÖTTER, N., 2020. Differential scanning calorimetry for quantification of polymer biodegradability in compost. *International Biodeterioration & Biodegradation* [en línea], vol. 149, no. January, pp. 104914. ISSN 09648305. DOI 10.1016/j.ibiod.2020.104914. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2020.104914>.
- CHAUHAN, D., AGRAWAL, G., DESHMUKH, S., ROY, S.S. y PRIYADARSHINI, R., 2018.

Biofilm formation by *Exiguobacterium* sp. DR11 and DR14 alter polystyrene surface properties and initiate biodegradation. *RSC Advances*, vol. 8, no. 66, pp. 37590-37599. ISSN 20462069. DOI 10.1039/C8RA06448B.

CHEN, G.Q. y PATEL, M.K., 2012. *Plastics derived from biological sources: Present and future: A technical and environmental review*. 11 abril 2012. S.I.: American Chemical Society.

CHIELLINI, E., CORTI, A. y SWIFT, G., 2003. Biodegradation of thermally-oxidized, fragmented low-density polyethylenes. *Polymer Degradation and Stability*, vol. 81, no. 2, pp. 341-351. ISSN 01413910. DOI 10.1016/S0141-3910(03)00105-8.

DOWARAH, K., PATCHAIYAPPAN, A., THIRUNAVUKKARASU, C., JAYAKUMAR, S. y DEVIPRIYA, S.P., 2020. Quantification of microplastics using Nile Red in two bivalve species *Perna viridis* and *Meretrix meretrix* from three estuaries in Pondicherry, India and microplastic uptake by local communities through bivalve diet. *Marine Pollution Bulletin*, vol. 153, pp. 110982. ISSN 18793363. DOI 10.1016/j.marpolbul.2020.110982.

EN ISO 14855.1, 2008. Determination of the ultimate aerobic biodegradability of plastic materials under controlled-Method by analysis of evolved carbon dioxide. [en línea]. [Consulta: 2 mayo 2020]. Disponible en: <http://m.wdfoxw.net/Fulltext72265950.htm>.

FARZI, A., DEHNAD, A. y FOTOUHI, A.F., 2019. Biodegradation of polyethylene terephthalate waste using *Streptomyces* species and kinetic modeling of the process. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology* [en línea], vol. 17, pp. 25-31. ISSN 18788181. DOI 10.1016/j.bcab.2018.11.002. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2018.11.002>.

FARZI, A., DEHNAD, A., SHIRZAD, N. y NOROUZIFARD, F., 2017. Biodegradation of high density polyethylene using *Streptomyces* species. *Journal of Coastal Life Medicine* [en línea], vol. 5, no. 11, pp. 474-479. ISSN 23095288. DOI 10.12980/jclm.5.2017J7-94. Disponible en: <http://oaji.net/articles/2017/2154-1508566360.pdf>.

FERREIRA, M., THOMPSON, J., PARIS, A., ROHINDRA, D. y RICO, C., 2020. Presence of microplastics in water, sediments and fish species in an urban coastal environment of Fiji, a Pacific small island developing state. *Marine Pollution Bulletin*, vol. 153, pp. 110991. ISSN 18793363. DOI 10.1016/j.marpolbul.2020.110991.

GEWERT, B., PLASSMANN, M.M. y MACLEOD, M., 2015. Pathways for degradation of plastic polymers floating in the marine environment. *Environmental Sciences: Processes and Impacts* [en línea], vol. 17, no. 9, pp. 1513-1521. ISSN 20507895. DOI 10.1039/c5em00207a. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1039/C5EM00207A>.



- GEYER, R., JAMBECK, J.R. y LAW, K.L., 2017. Production, use, and fate of all plastics ever made - Supplementary Information. *Science Advances*, vol. 3, no. 7, pp. 19-24. ISSN 23752548. DOI 10.1126/sciadv.1700782.
- GIACOMUCCI, L., RADDADI, N., SOCCIO, M., LOTTI, N. y FAVA, F., 2019. Polyvinyl chloride biodegradation by *Pseudomonas citronellolis* and *Bacillus flexus*. *New Biotechnology* [en línea], vol. 52, no. April, pp. 35-41. ISSN 18764347. DOI 10.1016/j.nbt.2019.04.005. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2019.04.005>.
- GIACOMUCCI, L., RADDADI, N., SOCCIO, M., LOTTI, N. y FAVA, F., 2020. Biodegradation of polyvinyl chloride plastic films by enriched anaerobic marine consortia. *Marine Environmental Research* [en línea], vol. 158, no. December 2019, pp. 104949. ISSN 01411136. DOI 10.1016/j.marenvres.2020.104949. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2020.104949>.
- HARRISON, J.P., SCHRATZBERGER, M., SAPP, M. y OSBORN, A.M., 2014. Rapid bacterial colonization of low-density polyethylene microplastics in coastal sediment microcosms. *BMC Microbiology*, vol. 14, no. 1, pp. 1-15. ISSN 14712180. DOI 10.1186/s12866-014-0232-4.
- HASIRCI, V., YILGOR, P., ENDOGAN, T., EKE, G. y HASIRCI, N., 2011. Polymer Fundamentals: Polymer Synthesis. *Comprehensive Biomaterials* [en línea]. S.I.: Elsevier, pp. 349-371. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780080552941000349>.
- HERMANN, B.G., DEBEER, L., DE WILDE, B., BLOK, K. y PATEL, M.K., 2011. To compost or not to compost: Carbon and energy footprints of biodegradable materials' waste treatment. *Polymer Degradation and Stability*, vol. 96, no. 6, pp. 1159-1171. ISSN 01413910. DOI 10.1016/j.polymdegradstab.2010.12.026.
- HERNANDEZ-SAMPIERI, R., 2018. *Metodología de la Investigación*. 6ta. México: s.n.
- KUNDUNGAL, H., GANGARAPU, M., SARANGAPANI, S., PATCHAIYAPPAN, A. y DEVIPRIYA, S.P., 2019. Efficient biodegradation of polyethylene (HDPE) waste by the plastic-eating lesser waxworm (*Achroia grisella*). *Environmental Science and Pollution Research* [en línea], vol. 26, no. 18, pp. 18509-18519. ISSN 0944-1344. DOI 10.1007/s11356-019-05038-9. Disponible en: <http://link.springer.com/10.1007/s11356-019-05038-9>.
- MACKLEY, M., 1995. *Handbook of Polyolefins* [en línea]. S.I.: s.n. ISBN 0824786033. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/0923046795850090>.
- MEHMOOD, C.T., QAZI, I.A., HASHMI, I., BHARGAVA, S. y DEEPA, S., 2016.

- Biodegradation of low density polyethylene (LDPE) modified with dye sensitized titania and starch blend using *Stenotrophomonas pavanii*. *International Biodeterioration and Biodegradation* [en línea], vol. 113, pp. 276-286. ISSN 09648305. DOI 10.1016/j.ibiod.2016.01.025. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ibiod.2016.01.025>.
- MOHANTY, A.K., VIVEKANANDHAN, S., PIN, J.M. y MISRA, M., 2018. *Composites from renewable and sustainable resources: Challenges and innovations*. 2 noviembre 2018. S.l.: American Association for the Advancement of Science.
- MUNIYASAMY, S., ANSTEY, A., REDDY, M.M., MISRA, M. y MOHANTY, A., 2013. Biodegradability and compostability of lignocellulosic based composite materials. *Journal of Renewable Materials*, vol. 1, no. 4, pp. 253-272. ISSN 21646341. DOI 10.7569/JRM.2013.634117.
- MUNTANÉ RENAT, J., 2010. Introducción a la investigación básica. *Revisiones temáticas Introducción a la Investigación Básica*, vol. 33, no. 0, pp. 221-227.
- OBERBECKMANN, S., OSBORN, A.M. y DUHAIME, M.B., 2016. Microbes on a bottle: Substrate, season and geography influence community composition of microbes colonizing marine plastic debris. *PLoS ONE*, vol. 11, no. 8, pp. 1-24. ISSN 19326203. DOI 10.1371/journal.pone.0159289.
- OEFA, 2014. *Fiscalización Ambiental en Residuos Sólidos de gestión municipal provincial. Informe 2013 - 2014: Índice de cumplimiento de los municipios provinciales a nivel nacional* [en línea]. Lima: s.n. [Consulta: 25 mayo 2020]. Disponible en: [https://www.oefa.gob.pe/?wpfb\\_dl=13926](https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=13926).
- PRATA, J.C., CASTRO, J.L., DA COSTA, J.P., DUARTE, A.C., CERQUEIRA, M. y ROCHA-SANTOS, T., 2020. An easy method for processing and identification of natural and synthetic microfibers and microplastics in indoor and outdoor air. *MethodsX*, vol. 7, pp. 1-9. ISSN 22150161. DOI 10.1016/j.mex.2019.11.032.
- QI, R., JONES, D.L., LI, Z., LIU, Q. y YAN, C., 2020. *Behavior of microplastics and plastic film residues in the soil environment: A critical review*. 10 febrero 2020. S.l.: Elsevier B.V.
- ROMERO-AZOGIL, L., BENITO, E., MARTÍNEZ DE ILARDUYA, A., GARCÍA-MARTÍN, M.G. y GALBIS, J.A., 2018. Hydrolytic degradation of D-mannitol-based polyurethanes. *Polymer Degradation and Stability*, vol. 153, pp. 262-271. ISSN 01413910. DOI 10.1016/j.polymdegradstab.2018.05.009.
- ROSE, R.-S., RICHARDSON, K.H., LATVANEN, E.J., HANSON, C.A., RESMINI, M. y SANDERS, I.A., 2020. Microbial Degradation of Plastic in Aqueous Solutions

- Demonstrated by CO<sub>2</sub> Evolution and Quantification. *International Journal of Molecular Sciences* [en línea], vol. 21, no. 4, pp. 1176. ISSN 1422-0067. DOI 10.3390/ijms21041176. Disponible en: <https://www.mdpi.com/1422-0067/21/4/1176>.
- SÁNCHEZ-MECA, J., 2010. Cómo hacer una revisión sistemática y un meta-análisis. *Aula Abierta*, vol. 38, no. 2, pp. 53-64.
- SANGEETHA DEVI, R., RAMYA, R., KANNAN, K., ROBERT ANTONY, A. y RAJESH KANNAN, V., 2019. 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], vol. 138, no. July 2018, pp. 549-560. ISSN 18793363. DOI 10.1016/j.marpolbul.2018.12.001. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.12.001>.
- SEKHAR, V.C., NAMPOOTHIRI, K.M., MOHAN, A.J., NAIR, N.R., BHASKAR, T. y PANDEY, A., 2016. Microbial degradation of high impact polystyrene (HIPS), an e-plastic with decabromodiphenyl oxide and antimony trioxide. *Journal of Hazardous Materials* [en línea], vol. 318, pp. 347-354. ISSN 18733336. DOI 10.1016/j.jhazmat.2016.07.008. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2016.07.008>.
- SHAH, Z., GULZAR, M., HASAN, F. y SHAH, A.A., 2016. Degradation of polyester polyurethane by an indigenously developed consortium of *Pseudomonas* and *Bacillus* species isolated from soil. *Polymer Degradation and Stability* [en línea], vol. 134, pp. 349-356. ISSN 01413910. DOI 10.1016/j.polymdegradstab.2016.11.003. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2016.11.003>.
- SIGERSOL, 2018. Consulta de Datos Sigersol Municipal 2008-2018. [en línea]. [Consulta: 26 mayo 2020]. Disponible en: <http://sigersolreporte.minam.gob.pe/sigersolreporte/>.
- WANG, J., TAN, Z., PENG, J., QIU, Q. y LI, M., 2016. The behaviors of microplastics in the marine environment. *Marine Environmental Research* [en línea], vol. 113, pp. 7-17. ISSN 18790291. DOI 10.1016/j.marenvres.2015.10.014. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.marenvres.2015.10.014>.
- WANG, Z., XIN, X., SHI, X. y ZHANG, Y., 2020. A polystyrene-degrading *Acinetobacter* bacterium isolated from the larvae of *Tribolium castaneum*. *Science of the Total Environment* [en línea], vol. 726, pp. 138564. ISSN 18791026. DOI 10.1016/j.scitotenv.2020.138564. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138564>.
- WRIGHT, S.L., ULKE, J., FONT, A., CHAN, K.L.A. y KELLY, F.J., 2020. Atmospheric microplastic deposition in an urban environment and an evaluation of transport.

*Environment International*, vol. 136, pp. 105411. ISSN 18736750. DOI 10.1016/j.envint.2019.105411.

YANG, S.-S., BRANDON, A.M., ANDREW FLANAGAN, J.C., YANG, J., NING, D., CAI, S.-Y., FAN, H.-Q., WANG, Z.-Y., REN, J., BENBOW, E., REN, N.-Q., WAYMOUTH, R.M., ZHOU, J., CRIDDLE, C.S. y WU, W.-M., 2018. Biodegradation of polystyrene wastes in yellow mealworms (larvae of *Tenebrio molitor* Linnaeus): Factors affecting biodegradation rates and the ability of polystyrene-fed larvae to complete their life cycle. *Chemosphere* [en línea], vol. 191, pp. 979-989. ISSN 00456535. DOI 10.1016/j.chemosphere.2017.10.117. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.10.117>.

YANG, Y., YANG, J., WU, W.M., ZHAO, J., SONG, Y., GAO, L., YANG, R. y JIANG, L., 2015a. Biodegradation and Mineralization of Polystyrene by Plastic-Eating Mealworms: Part 1. Chemical and Physical Characterization and Isotopic Tests. *Environmental Science and Technology*, vol. 49, no. 20, pp. 12080-12086. ISSN 15205851. DOI 10.1021/acs.est.5b02661.

YANG, Y., YANG, J., WU, W.M., ZHAO, J., SONG, Y., GAO, L., YANG, R. y JIANG, L., 2015b. Biodegradation and Mineralization of Polystyrene by Plastic-Eating Mealworms: Part 2. Role of Gut Microorganisms. *Environmental Science and Technology*, vol. 49, no. 20, pp. 12087-12093. ISSN 15205851. DOI 10.1021/acs.est.5b02663.

ZETTLER, E.R., MINCER, T.J. y AMARAL-ZETTLER, L.A., 2013. Life in the «plastisphere»: Microbial communities on plastic marine debris. *Environmental Science and Technology*, vol. 47, no. 13, pp. 7137-7146. ISSN 0013936X. DOI 10.1021/es401288x.

ZHOU, B., WANG, J., ZHANG, H., SHI, H., FEI, Y., HUANG, S., TONG, Y., WEN, D., LUO, Y. y BARCELÓ, D., 2020. Microplastics in agricultural soils on the coastal plain of Hangzhou Bay, east China: Multiple sources other than plastic mulching film. *Journal of Hazardous Materials*, vol. 388, pp. 121814. ISSN 18733336. DOI 10.1016/j.jhazmat.2019.121814.

## **ANEXOS**

*Anexo 1: Porcentaje de Residuos sólidos plásticos con respecto a los principales distritos de Lima*

DISTRITO	ESTUDIO DE CARACTERIZACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS: GPC DOMICILIARIO (kg/hab/día)	ESTUDIO DE CARACTERIZACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS: COMPOSICIÓN: PLASTICO PET (%)	ESTUDIO DE CARACTERIZACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS: COMPOSICIÓN: PLÁSTICO DURO (%)	ESTUDIO DE CARACTERIZACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS: COMPOSICIÓN: BOLSAS (%)
ANCO	0.68	1.97	3.77	5.15
ATE	0.622	1.62	2.38	6.93
BARRANCO	0.69	3.71	2.47	3.63
BREÑA	0.68	2.7	1.96	7.94
CARABAYLLO	0.558	1.66	2.45	7.11
CHACLACAYO	0.6	1.86	1.21	5.8
CHORRILLOS	0.63	3.3	3.3	2.68
CIENEGUILLA	0.482	2.35	0.65	1.48
COMAS	0.575	1.28	2.02	1.37
EL AGUSTINO	0.79	2.24	2.17	6.26
INDEPENDENCIA	0.476	1.59	3.46	5.04
JESÚS MARIA	0.67	4.5	5.33	2.46
LA MOLINA	0.629	2.09	4.57	2.47
LA VICTORIA	0.672	2.02	1.52	3.45
LIMA	0.711	2.81	4.02	6.49
LINCE	0.552	3.47	2.66	3.49
LOS OLIVOS	0.65	2	3	3
LURI	0.76	1.85	1.82	5.17
LURIGANCHO	0.49	2.43	2.5	7.82

DISTRITO	ESTUDIO DE CARACTERIZACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS: GPC DOMICILIARIO (kg/hab/día)	ESTUDIO DE CARACTERIZACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS: COMPOSICIÓN: PLASTICO PET (%)	ESTUDIO DE CARACTERIZACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS: COMPOSICIÓN: PLÁSTICO DURO (%)	ESTUDIO DE CARACTERIZACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS: COMPOSICIÓN: BOLSAS (%)
MAGDALENA DEL MAR	0.53	3.68	1.64	3.65
MIRAFLORES	0.62	1.53	1.04	5.02
PACHACAMAC	0.612	2.3	6.68	0
PUCUSANA	0.61	8.57	9.35	6.33
PUEBLO LIBRE	0.62	2.06	2.59	2.88
PUENTE PIEDRA	0.5	1.45	3.79	4.41
PUNTA HERMOSA	0.67	1.02	1.8	5.57
PUNTA NEGRA		0	0	0
RIMAC	0.55	2.04	1.79	4.84
SAN BARTOLO	0.57	1.72	2.21	7.9
SAN BORJA	0.51	1.2	1.03	4.41
SAN ISIDRO	0.661	3.61	4.05	1.96
SAN JUAN DE LURIGANCHO	0.593	2.05	1.79	9.91
SAN JUAN DE MIRAFLORES	0.573	9.32	1.55	7.18
SAN LUIS	0.554	2.39	3.46	1.76
SAN MARTIN DE PORRES	0.611	1.68	1.79	2.76
SAN MIGUEL	0.7	5.08	5.09	4.61
SANTA ANITA	0.618	1.23	2.7	4.99
SANTA MARIA DEL MAR	0.699	1.17	2.64	4.73
SANTA ROSA	0.5	1.65	2.77	7.18
SANTIAGO DE SURCO	0.638	2.87	9.44	4.51

DISTRITO	ESTUDIO DE CARACTERIZACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS: GPC DOMICILIARIO (kg/hab/día)	ESTUDIO DE CARACTERIZACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS: COMPOSICIÓN: PLASTICO PET (%)	ESTUDIO DE CARACTERIZACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS: COMPOSICIÓN: PLÁSTICO DURO (%)	ESTUDIO DE CARACTERIZACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS: COMPOSICIÓN: BOLSAS (%)
SURQUILLO	0.75	5.34	4.01	2.29
VILLA EL SALVADOR	0.46	0.91	4.06	5.66
VILLA MARIA DEL TRIUNFO	0.67	3.65	4.13	2.96

Fuente(Sigersol 2018)



*Anexo 2: Matriz de Operacionalización*

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Unidad
<b>Biodegradación de Polímero</b>	Los polímeros sintéticos se definen como polímeros que se producen artificialmente en laboratorios. Estos también se conocen como polímeros artificiales. Algunos de los ejemplos de polímeros sintéticos son PE, PS, poliamidas (nylon), PVC, caucho sintético, teflón, epoxi y muchos otros.	En relación de la biodegradación del polímero se tiene en cuenta la disminución de peso en porcentaje y el tiempo de degradación.	Tipo de polímero	Pérdida de peso	Porcentaje(%)
			Tiempo de degradación del polímero	Tiempo	días
<b>Uso de Biotecnología bacteriana</b>	La biotecnología es un área extensa y puede definirse generalmente como la aplicación de <b>organismos</b> , biomateriales y sistemas o procesos en la fabricación y producción.	Se tomará en cuenta las características de la pared celular y la fuente de alimentación de la bacteria.	Tipo de pared celular	Gram negativas	Tinción de la pared celular
				Gram positivas	
			Fuente de obtención de energía	Quimioorganoheterótrofas	Fuente de nutrientes
				Quimiolitautótrofa	



**Anexo 3: Formato de recolección de datos**

<b>Título de la investigación:</b>	“Biotecnologías bacterianas para la biodegradación de polímeros. Una Revisión sistemática y metaanálisis, 2020”
<b>Autores:</b>	Contreras García, Sheyla Verónica - Cubas Linares, Margarita
<b>Escuela:</b>	Ingeniería Ambiental

Se presenta a usted el instrumento de recolección de datos del proyecto de investigación para su revisión y sugerencias

N°	CÓDIGO	TÍTULO	AUTOR	AÑO	MICROORGANISMO	TIPO DE PARED CELULAR	FUENTE DE ENERGÍA	POLÍMERO	DENSIDAD DEL POLÍMERO (mg/L)	TIEMPO (días)	Perdida Peso (%)	S <sup>3</sup>

Mediante la tabla para evaluación de expertos, usted tiene la facultad de evaluar cada ítem. Asimismo, le exhortamos en la corrección de los ítems indicando sus observaciones y/o sugerencias, con la finalidad de mejorar la coherencia de los ítems anteriormente mencionados.

<b>OBSERVACIONES:</b>		
<b>VALIDADO POR:</b>		
<b>Nombre y Apellidos:</b> Carlos Alfredo Ugarte Alvan  <b>Firma:</b> 	<b>Nombre y Apellidos:</b> Alex Rivera Torres  <b>Firma:</b> 	<b>Nombre y Apellidos:</b> ..... ..... <b>Firma:</b> .....
<b>CIP: 195796</b>	<b>CIP: 119723</b>	<b>CIP:</b>

#### **Anexo 4 Principales bacterias degradadoras**

<b>Autores</b>	<b>Año</b>	<b>Polímero</b>	<b>Microorganismo</b>
Giacomucci et al	2020	cloruro de polivinilo	Bacillus flexus
Giacomucci et al.	2019	cloruro de polivinilo	Pseudomonas citronellolis
Giacomucci et al.	2019	cloruro de polivinilo	Bacillus sp
Yang et al.	2015	Poliestireno	Exiguobacterium sp.
Auta et al	2017	Poliestireno	B. cereus
Auta et al	2017	Poliestireno	B. gottheilii
Chauhan et al	2018	Poliestireno	Exiguobacterium sp.
Auta et al	2017	Polietileno	B. cereus
Auta et al	2017	Polietileno	B. gottheilii
Farzi et al	2017	Polietileno	Streptomyces sp.
Mehmood et al.	2016	Polietileno	Stenotrophomonas pavanii
Sangeetha Devi et al	2019	Polietileno	Pseudomonas sp.
Auta et al	2017	Polietileno tereftalato	B. cereus
Auta et al	2017	Polietileno tereftalato	B. gottheilii
Farzi, Dehnad y Fotouhi	2019	Polietileno tereftalato	Streptomyces sp.
Auta et al	2018	Polipropileno	Bacillus sp
Auta et al	2018	Polipropileno	Rhodococcus sp.
Auta et al	2017	Polipropileno	B. gottheilii

## **Anexo 5 Script para meta análisis en R**

```
#####  
## Instalacion ##  
#####  
#Lectura de paquetes  
ipak <- function(pkg){  
  new.pkg <- pkg[!(pkg %in% installed.packages()[, "Package"])]  
  if (length(new.pkg))  
    install.packages(new.pkg, dependencies = TRUE)  
  sapply(pkg, require, character.only = TRUE)  
}  
  
packages <- c("metafor", "esc", "readxl", "robumeta",  
"dplyr", "meta", "compute.es", "MAd")  
ipak(packages)  
#####  
## carga de paquetes ##  
#####  
library("metafor")  
library("esc")  
library("readxl")  
library("robumeta")  
library("dplyr")  
library("meta")  
library("compute.es")  
library("MAd")  
#####  
## Importar datos de fichero excel ##  
#####  
  
baseMA <- read_excel("1.BDmeta.xlsx", sheet = "Hoja1")  
  
# Ver la data.
```

```

View(baseMA)
#####
####
#Calculo d y variabilidad para comparación de las medias estandarizadas#
#####
####
mid<-escalc(measure='SMD', m1i=baseMA$X1,
            m2i= baseMA$`Perdida de Peso (%)`,
            sd1i=baseMA$$S1,
            sd2i=baseMA$$S2,
            n1i=baseMA$n,
            n2i=baseMA$n, digits = 2)

mid
#####
#agregar a la base de datos estas variables#
#####
baseMA$nuevaD<-mid$yi
baseMA$nuevaVarD<-mid$vi
#####
#Exportando a Excel#
#####
library(writexl)
write_xlsx(baseMA,path = "baseMA.xlsx")
#####
#uso de esas variables para un Meta Análisis#
#####
resultMA<-rma(yi=baseMA$nuevaD, vi=baseMA$nuevaVarD,
             method="DL",
             weighted=TRUE,
             level=95,
             digits=4)
summary.rma(resultMA)
#####
# Exportar salidas#

```

```
#####
Meta_Análisis = summary.rma(resultMA)
capture.output(Meta_Análisis, file="Meta_Análisis.doc")
#####
# Diagram de Funnel#
#####
funnel(resultMA)
jpeg(filename="funnel.jpeg") # Nombre del archivo y extensión
funnel(resultMA)          # Gráfico
dev.off()                 # Cierre del archivo
#####
#Diagrama de FOREST#
#####
#Forest con autores pesos y eje x
forest(resultMA,
      slab = paste(baseMA$Autores_citacion,
                    baseMA$Año, sep = ", "),
      xlab="Diferencia entre las medias",
      order=order(baseMA$`N`),
      alim= c(-100, 500),
      showweights=TRUE)
jpeg(filename="forest.jpeg") # Nombre del archivo y extensión
forest(resultMA,
      slab = paste(baseMA$Autores_citacion,
                    baseMA$Año, sep = ", "),
      xlab="Diferencia entre las medias",
      order=order(baseMA$`N`),
      alim= c(-100, 500),
      showweights=TRUE)      # Gráfico
dev.off()                   # Cierre del archivo
```