



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**Revisión sistemática: Biodegradación del poliuretano utilizando  
microorganismos fúngicos**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERA AMBIENTAL

**AUTORAS:**

Flores Icochea, Yesenia Julieth (ORCID: 0000-0002-6540-1126)  
Retamozo Calle, Ornella Victoria (ORCID: 0000-0002-4497-1154)

**ASESOR:**

Mg. Ugarte Alván, Carlos Alfredo (ORCID: 0000-0001-6017-1192)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Tratamiento y Gestión de los Residuos

LIMA – PERÚ

2020

## **Dedicatoria**

A Dios, por brindarnos salud y fuerzas por alcanzar los objetivos trazados, a nuestros padres, por su infinito apoyo, paciencia y amor; y a todas las personas importantes en nuestras vidas, quienes siempre nos alentaron por ser cada día mejor, por todo este tiempo, se lo dedicamos con mucho cariño y agradecimiento a todos.

## **Agradecimiento**

En primer lugar, a Dios, por darnos vida y fuerzas para seguir adelante a pesar de todo, a nuestra familia por su apoyo incondicional, a nuestros asesores ing. Carlos Ugarte e ing. Fernando Sernaqué por su ayuda, paciencia y aliento por avanzar; asimismo, a todas las personas que significan mucho para nosotras, quienes estuvieron ahí, brindando su apoyo moral a lo largo del desarrollo de esta investigación.

## Índice de contenidos

Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento .....	iii
Índice de contenidos .....	iv
Índice de tablas.....	v
Índice de figuras .....	vi
Índice de abreviaturas .....	vii
Resumen.....	viii
Abstract .....	ix
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO.....	5
III. METODOLOGÍA .....	19
3.1 Tipo y diseño de investigación .....	20
3.2 Categorías, Subcategorías y matriz de categorización.....	21
3.3 Escenario de estudio.....	22
3.4 Participantes.....	23
3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	24
3.6 Procedimiento .....	25
3.7 Rigor científico .....	26
3.8 Método de análisis de datos .....	28
3.9 Aspectos éticos.....	28
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	30
V. CONCLUSIONES .....	52
VI. RECOMENDACIONES.....	54
REFERENCIAS .....	56
ANEXOS.....	70

## Índice de tablas

<b>Tabla 1.</b> Cuadro de Antecedentes.....	6
<b>Tabla 2.</b> Clasificación de los Plásticos.....	12
<b>Tabla 3.</b> Clasificación de los Polímeros.....	13
<b>Tabla 4.</b> Clasificación de los Poliuretanos .....	14
<b>Tabla 5.</b> Clasificación de las Enzimas .....	17
<b>Tabla 6.</b> Matriz de Categorización.....	21
<b>Tabla 7.</b> Técnicas de medición más usadas para la biodegradación del poliuretano (PU) .....	33
<b>Tabla 8.</b> Principales enzimas que catalizan la biodegradación del poliuretano (PU) por medio de microorganismos fúngicos.....	39
<b>Tabla 9.</b> Clasificación morfológica de los microorganismos fúngicos que biodegradan el poliuretano (PU).....	44
<b>Tabla 10.</b> Microorganismos fúngicos más utilizados para la biodegradación del poliuretano (PU).....	48

## Índice de figuras

<b>Figura 1.</b> Países donde se desarrollaron las investigaciones .....	31
<b>Figura 2.</b> Línea de tiempo de las investigaciones .....	32
<b>Figura 3.</b> Técnicas de medición del poliuretano .....	36
<b>Figura 4.</b> Tipo de enzimas.....	41
<b>Figura 5.</b> Enzima esterasa (pH - Temperatura) .....	42
<b>Figura 6.</b> Enzima ureasa (pH - Temperatura) .....	43
<b>Figura 7.</b> Clasificación taxonómica de los microorganismos fúngicos .....	46
<b>Figura 8.</b> Tiempo de degradación .....	50
<b>Figura 9.</b> Porcentaje de degradación .....	50

## Índice de abreviaturas

ABS	: Acrilonitrilo butadieno estireno
CH <sub>4</sub>	: Metano
Cl <sub>2</sub>	: Dicloro
CO	: Monóxido de Carbono
CO <sub>2</sub>	: Dióxido de Carbono
FPU	: Poliuretano flexible
FTIR	: Espectrometría Infrarroja
HCN	: Cianuro de hidrógeno
HDPE	: Polietileno de alta densidad
ISO	: Organización Internacional de Estandarización
LDPE	: Polietileno de baja densidad
NO <sub>x</sub>	: Óxidos de Nitrógeno
PBDD / Fs	: Dibenzo-P-dioxinas polibromadas, dibenzofuranos
PBS	: Polibutileno succinato
PBSA	: Poli (succinato-co-adipato de butileno)
PBT	: Polibutileno tereftalato
PC	: Policarbonato
PCL	: Policaprolactona
PE	: Polietileno
PEA	: Monoacrilato polietilenglicol (recubrimiento)
PE-PU	: Poliéter poliuretano
PES	: Poliéter-sulfonas
PET	: Tereftalato de polietileno
PHA	: Polihidroxialcanoatos
PHB	: Polihidroxibutirato
PLA	: Poliácido láctico
PMT	: Temperatura de fusión del polímero (Poliéster aromático)
PP	: Polipropileno
PS	: Poliestireno
PS-PU	: Poliéster Poliuretano
PU	: Poliuretano
PUI	: Poliuretanos Ionómeros
PVC	: Policloruro de vinilo
SDA	: Agar Sabouraud
MSM	: Metilsulfonilmetano
TGA	: Análisis Termogravimétrico
TPU	: Poliuretano Termoplástico
WPU	: Dispersión de poliuretano al agua

## Resumen

El objetivo de la investigación fue identificar los microorganismos fúngicos más utilizados para la biodegradación del poliuretano (PU). Se llevó a cabo una revisión sistemática a partir de los artículos científicos buscados en bases de datos entre los años de 2015 a 2020, de los cuales, se escogieron 19 artículos, estos se ordenaron para dar resultados, según los criterios de técnicas de medición del poliuretano, enzimas que segregaron y clasificación taxonómica de los microorganismos fúngicos. Llegando a la conclusión que, las técnicas más usadas fueron Análisis Termogravimétrico (TGA), Espectroscopía Infrarroja con Transformada de Fourier (FTIR) y Microscopía Electrónica de Barrido (SEM), las cuales son esenciales para poder observar la estructura del polímero, tanto física, química o biológicamente y sus cambios en el proceso. Por otra parte, las enzimas más segregadas fueron la ureasa y esterasa, las cuales, son clave en la descomposición del polímero. Asimismo, en cuanto a su clasificación taxonómica, se determinó que, en filo, son *Ascomycotas*, clase, *Eurotiomycetes*, orden, *Eurotiales*, y familia, *Trichocomaceae*, este describe el perfil ideal de un hongo biodegradador del poliuretano. Por último, se determinó que el mejor candidato para la biodegradación fue el género *Aspergillus*, debido a que fue el más usado de todos los artículos, comprobando en varias investigaciones, que es capaz de degradar el polímero en mayor porcentaje, en menor tiempo posible. Finalmente, se recomienda que sea trabajado a gran escala, implementando un diseño de biorreactores, para tratar con cantidades mayores, por encima de lo investigado en laboratorios.

**Palabras clave:** Biodegradación, plástico, hongos, poliuretano, microorganismos



## Abstract

The objective of the research was to identify the most used fungal microorganisms for the biodegradation of polyurethane (PU). A systematic review was carried out from the scientific articles searched in databases between the years 2015 to 2020, of which 19 articles were chosen, these were ordered to give results, according to the criteria of measurement techniques of the polyurethane, enzymes that segregated and taxonomic classification of fungal microorganisms. Concluding that the most used techniques were Thermogravimetric Analysis (TGA), Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) and Scanning Electron Microscopy (SEM), these are essential to be able to observe the polymer structure, physically, chemically or biologically and its changes in the process. On the other hand, the most secreted enzymes were urease and esterase, which are key in the decomposition of the polymer. Likewise, regarding their taxonomic classification, it was determined that, in phylum, they are *Ascomycota*, class, *Eurotiomycetes*, order, *Eurotiales*, and family, *Trichocomaceae*, this describes the ideal profile of a polyurethane biodegradable fungus. Finally, it was determined that the best candidate for biodegradation was the *Aspergillus* genus, since it was the most widely used of all the articles, verifying in several investigations that it is capable of degrading the polymer in a higher percentage, in the shortest possible time. Finally, it is recommended that it be worked on a large scale, implementing a bioreactor design, to deal with larger quantities, above what has been investigated in laboratories.

**Keywords:** Biodegradation, plastic, fungi, polyurethane, microorganisms

# **I. INTRODUCCIÓN**

Actualmente, los plásticos desempeñan un papel importante en la humanidad, contemplan muchas ventajas, como mantener o almacenar los alimentos en buena calidad, transportan distintos tipos de materiales y residuos, dan seguridad, entre otros (Ritchie y Roser, 2018, párr. 9). Además de ser livianos, son resistentes al agua, duraderos, flexibles, y de bajo costo de fabricación (Elias, 2018, p. 1). Estos son los motivos por los cuales, las personas tienen mucho interés por usarlos; pero, por otro lado, muestran un peligro y daños para la sociedad (Phanisankar, Vasudeva Rao y Manikanta, 2020, p. 1).

En el mundo, su producción es de 140 millones de toneladas anualmente (Fesseha y Abebe, 2019, p. 1), siendo los países en desarrollo, los que más consumen estos polímeros, por tener una mejor economía y mayor tasa de urbanización (Emadian, Onay y Demirel, 2017, p. 1). Según la Fundación Ellen MacArthur (2016) informó que su uso ha aumentado por veinte en el último medio siglo, esto conlleva que cada vez, estamos saturándonos más de plásticos. Asimismo, anunció que su producción se duplicará de nuevo en los siguientes 20 años y que se elevará cuatro veces más, para 2050, dando resultados de sobreacumulación de los desechos, relacionados al polímero (p. 11).

Los desechos plásticos, generados por actividades antrópicas, ha causado un gran problema ambiental, porque posee un extenso ciclo de vida y resistencia a la degradación, haciendo difícil su eliminación (Wang, He y Sen, 2019, p. 6), por ello permanece en los ecosistemas, perjudicando incluso a los animales, quienes quedan enredados, o son encontrados muertos, con estos polímeros en el interior de sus organismos. (Fesseha y Abebe, 2019, p. 1).

Debido a lo anteriormente expuesto, se vienen desarrollando investigaciones acerca de estos materiales poliméricos relacionado con su biodegradación, ya que estos polímeros son fuentes de carbono que podrían requerir algunos microorganismos tales como: bacterias u hongos, ya que estos últimos tiene la capacidad de degradar, es decir, reducir la longitud de las cadena poliméricas, mediante oxidación (Trivedi et al., 2016, p. 1), para ello, requieren de ciertos factores como su estructura química, su origen y complejidad de la fórmula del polímero (Emadian, Onay y Demirel, 2017, p. 2), y sus condiciones

ambientales (pH, temperatura, humedad, oxígeno), del polímero (Fesseha y Abebe, 2019, p. 4).

Dentro de estos seres vivos que “devoran” el plástico, existen los del reino fungi, estos hongos son capaces de biodegradar una gama extensa de polímeros (Hung et al., 2019, p. 1), gracias a que contienen enzimas capaces de degradar naturalmente, sobre todo a un polímero muy nocivo para la naturaleza, los materiales hechos de poliuretano y sus derivados (Russell et al., 2011, p. 2).

El material poliuretano (PU), por ser resistente, se puede usar, desde barnices hasta componentes duros, piezas de automóviles, espumas, materiales de embalaje, plásticos semirrígidos y fibras textiles. Por adaptarse con rapidez y facilidad a distintas funciones, se utilizan en diferentes industrias sustituyendo al metal o madera. No obstante, también presentan desventajas al finalizar su vida útil, degradándose lentamente (Álvarez et al., 2016, p. 1), tardando hasta 200 años (Nakamae et al., 1996, p. 7), además, hace falta métodos efectivos para su eliminación, tampoco se puede incinerar ya que libera gases dañinos al ambiente como el CO<sub>2</sub>, CO y el HCN. (Gallo, 2017, p. 49).

Por tal motivo, se planteó como problema general: ¿Cuáles son los microorganismos fúngicos más utilizados para la biodegradación del poliuretano? Por otro lado, se plantearon los siguientes problemas específicos: ¿Cuáles son las técnicas de medición más usadas para la biodegradación del poliuretano (PU)?, ¿Cuáles son las principales enzimas que catalizan la biodegradación del poliuretano (PU) por medio de microorganismos fúngicos? y, por último, ¿Cuál es la clasificación taxonómica de los microorganismos fúngicos que biodegradan el poliuretano (PU)?

Ahora bien, gracias a que los microbios degradan los plásticos, se incrementó el interés del estudio científico de estos por su capacidad, puesto que, estos microorganismos degradan el material orgánico e inorgánico (Trivedi et al., 2016, p. 6). Por ello, esta investigación se realizó con la finalidad de aportar un mayor conocimiento en la utilización de microorganismos fúngicos para la biodegradación de poliuretano. Así más adelante, se realicen más estudios sobre la biodegradación de polímeros con microorganismos, asimismo agregando más

investigaciones en idioma español, complementando junto con los artículos en el idioma inglés.

En base a la realidad problemática presentada, se planteó el objetivo general siguiente: Identificar los microorganismos fúngicos más utilizados para la biodegradación del poliuretano (PU). Mientras que los objetivos específicos fueron: Comparar las técnicas de medición más usadas para la biodegradación del poliuretano (PU); describir las principales enzimas que catalizan la biodegradación del poliuretano (PU) por medio de microorganismos fúngicos; y, por último, detallar la clasificación taxonómica de los microorganismos fúngicos que biodegraden el poliuretano (PU).

## **II. MARCO TEÓRICO**

Para la elaboración de este trabajo de investigación, se procedió a recopilar información de las siguientes bases de datos, Sciencedirect, Scientific Research Publishing, Scielo, Springer, American Society for Microbiology, Tübitak, Society for Applied Microbiology (SFAM), Royal Society of Chemistry y Sage Journals, fijado como periodo de referencia desde 2015 hasta 2020 y buscando que la información tenga en común lo siguiente: especie, método, el polímero, los parámetros y resultados. La información obtenida se resume en la tabla 1.

**Tabla 1.** Cuadro de Antecedentes

N°	Autor	Año	Especie	Metodología / Descripción	Polímeros	Parámetros de uso	Resultados
1	Khan et al.	2017	<i>Aspergillus tubingensis</i>	El hongo se cultivó en la placa SDA con películas de PU con 37°C/ 4 días Luego se cambió a la placa agar MSM a 37°C. En MSM se agregó 4g de glucosa a 200ml de sal mineral del medio, se incubó 37°C con 150rpm/3 semanas. PU se enterraron por 4 meses.	PU	Enzimas pH Carbono extra Temperatura Centímetros recíprocos (cm <sup>-1</sup> )	Temperatura óptima: 37°C pH: 9 y 5 Enzimas: Esterasa y lipasa Biodegradación óptima: En la placa agar SDA
2	Ibrahim et al.	2011	<i>Alternaria solani</i> <i>Fusarium solani</i> <i>Aspergillus fumigatus</i> <i>Aspergillus terreus</i> <i>Aspergillus flavus</i>	Los hongos se cultivaron en distintas pruebas como en placa de agar, prueba de zona clara y cultivo con agitación líquida. Se extrajeron de suelo, pintura y desechos plásticos.	(PS-PUR)	Peso	La degradación máxima se dio por el hongo <i>Aspergillus flavus</i> con un 94% de pérdida de peso del poliuretano.
3	Loredo et al.	2011	<i>Aspergillus</i> , <i>Trichoderma</i> , <i>Paecilomyces</i> , <i>Penicillium</i> , <i>Alternaria</i> y <i>Fusarium</i>	Se cultivó el hongo en un medio mineral con 3g/L de PU, se añadió 2g/L de glucosa. Las mediciones se hicieron cada 24 hrs. Las pruebas de hicieron por triplicado. La investigación se centra en la biodegradación del poliuretano junto a las enzimas que actúan en la hidrólisis de varias especies de hongos.	PU	Enzimas Tiempo	Posiblemente la ureasa es la principal enzima que ayuda en la biodegradación de PU como resultado en diferentes medios de cultivo, donde estaba el hongo <i>Trichoderma</i> DIA-T.

N°	Autor	Año	Especie	Metodología / Descripción	Polímeros	Parámetros de uso	Resultados
4	Oprea et al.	2017	<i>Alternaria tenuissima</i> <i>Chaetomium globosum</i>	Revisión bibliográfica que describe el papel que cumplen los microorganismos para la biodegradación del plástico y su importancia.	PU	Tiempo Temperatura Centímetros (cm)	Se vio que las distintas estructuras químicas de los derivados de piridina usados como extensores de cadena influyeron en la cohesión de segmentos duros. El hongo <i>A. tenuissima</i> fue una especie fúngica potencial para la degradación de poliuretano.
5	Brunner et al.	2018	<i>Agaricus bisporus</i> , <i>Marasmius oreades</i> , <i>Cladosporium cladosporioides</i>	En tubos, se mezcló plástico y las hifas de los hongos, con 2 ml de agua estéril mezclando por 10s, luego se extrajeron 100 µl y se sembraron en 4 placas Petri con T° ambiente.	PE PU	Tiempo Milímetros(m m)	<i>Cladosporium cladosporioides</i> fue el que degradó el PU, 4mm/día.
6	Hung et al.	2019	<i>Papiliotrema laurentii</i>	La capacidad de degradar se analizó primero con Impranil DLN, luego con poliésteres biodegradables e Irogran, sin carbono por 8 días con humedad relativa > 95%.	PES PEA Irogran PU	Tiempo Centímetros recíprocos (cm <sup>-1</sup> ) Humedad relativa	Usando irogran en contraste con PEA se vio que el <i>P. laurentii</i> hidrolizó el bloque del poliéster, pero no el del poliuretano.
7	Fernandes et al.	2016	<i>Aspergillus niger</i>	TPU a base de poliéster de calzado modificado con Lignina, almidón y celulosa.	TPU	Peso Tiempo	El poliuretano modificado con 4% de lignina, el polímero perdió 67% de su peso en 4 meses a una temperatura de 58°C en el suelo.



N°	Autor	Año	Especie	Metodología / Descripción	Polímeros	Parámetros de uso	Resultados
8	Mathur y Prasad	2012	<i>Aspergillus flavus</i>	Muestras de suelo que se inocularan en placas Petri con agar	PU	Peso Temperatura Centímetros (cm)	El hongo <i>A. flavus</i> redujo el poliuretano en un 60.6% su peso
9	Magnin et al.	2019	<i>Aspergillus</i> , <i>Cladosporium</i> sp., <i>Fusarium solani</i> , <i>Penicillium chrysogenum</i> , etc.	Es una revisión de estudios de microorganismos capaces de degradar el poliuretano, las características de sus enzimas y el uso de herramientas analíticas para ver la biodegradación. Se observaron las desventajas, ventajas y las técnicas de espectroscopía (FT-IR y SEC).	PU	Tiempo Enzimas	El poliuretano es un polímero con alta variabilidad en su estructura, la ruptura del enlace uretano es el factor clave, los microorganismos degradantes de este polímero pueden ser hongos y bacterias. El mecanismo de degradación es cuando el hongo segrega enzimas y estas activan el proceso de hidrólisis rompiendo el enlace uretano, comenzando el proceso de biodegradación.
10	Loredo et al.	2017	<i>Trichoderma</i> sp. DIA-T, <i>Aspergillus ustus</i> PSS y <i>Paecilomyces</i> sp. NK12.	Muestras de poliuretano se molieron a un tamaño de 0.5 -2 mm. Se incubaron en agar de papa-dextrosa a 30°C por 5 días. Se le puso como fuente de carbono adicional glucosa y glicerol, y como fuente de nitrógeno, la urea y sulfato de amonio. El PU se analizó con las técnicas de Espectrometría infrarroja (FTIR) y análisis termogravimétrico (TGA).	PU	Tiempo Peso Temperatura	Cuando se agrega glucosa como fuente adicional de carbono la cepa <i>Trichoderma</i> sp. DIA-T reaccionó y fue capaz de cambiar la molécula de poliuretano. Se vio que la enzima ureasa es la responsable de la hidrólisis del polímero.

N°	Autor	Año	Especie	Metodología / Descripción	Polímeros	Parámetros de uso	Resultados
11	Zafar et al.	2013	<i>Cándida ethanolica</i> <i>Fusarium solani</i>	Se realizaron pruebas de compostaje junto con PU y hongos	PS-PUR	Temperatura pH Peso	El hongo que más resalta para la biodegradación de poliuretano es el <i>F. solani</i> a una temperatura de 25°C y a los 45°C y 50° fue <i>C. ethanolica</i> .
12	Osman et al.	2017	<i>Aspergillus fumigatus</i>	Aislamiento de hongos de suelos contaminados con plástico e incubados en placas Petri.	PU	Peso CO2 Temperatura Enzimas	La degradación se detectó por técnicas de análisis como DSC, FTIR, SEM, se pudo observar hoyos grietas, cristalinidad, actividad de enzimas y se vio que este hongo puede aplicarse para la degradación de poliuretano.
13	Álvarez et al.	2016	<i>C. pseudocladosporioides</i> , <i>C. tenuissimum</i> , <i>C. asperulatum</i> y <i>C. montecillanum</i> , <i>Aspergillus fumigatus</i> y <i>Penicillium chrysogenum</i>	Se cultivó el hongo en medio mineral "MM" con sustratos de PU y diferentes reactivos, luego se incubaron con agar de 15g/L de PSD y PDB a 25 y 30°C.	PU PE-PU PS-PU	Tiempo Centímetros recíprocos (cm <sup>-1</sup> )	El que degradó mejor fue <i>C. pseudocladosporioides</i> , que en 14 días degradó el 87%. El análisis presentó la disminución de compuestos de éster, aumento de alcoholes y disocianato de hexano.
14	Albara et al.	2017	<i>Metarhiziumanisopliae</i>	Las películas de PU se pusieron en placas Petri con un medio de nutriente mínimo (MMM), se usó solución de etanol al 70%. 107 de las esporas de	PU	Tiempo Peso	Se presenció actividad fúngica en las películas donde se pretrataron con irradiación UV con presencia

N°	Autor	Año	Especie	Metodología / Descripción	Polímeros	Parámetros de uso	Resultados
				hongos eran inoculados en el centro de muestra poliméricas, se incubaron a 28°C durante 10 y 30 días, las pruebas se realizaron por triplicado.			de atmósferas reactivas. Es estas películas se encontró el hongo <i>M. anisopliae</i> atacando la película de poliuretano.
15	Ma y Wong	2013	<i>Aspergillus flavus</i>	El TPU se puso en 2 matraces y el PU a base de agua con reactivos, se agregó agua destilada al medio de cultivo. Se agregó <i>A. flavus</i> en un TPU y un PUR matraz, otros tenían cualquier hongo para control. Se agitó a 120rpm.	PU	Peso	<i>A. flavus</i> no pudo degradar el TPU, pero si al PU a base de agua con ayuda de una esterasa, que es la enzima que activó el proceso de biodegradación de este plástico.
16	Magnin et al.	2018	<i>Alternaria sp.</i> , Sección <i>Penicillium Lanata-Divaricata</i> y <i>Aspergillus sección flavi</i>	Las muestras sólidas se molieron y tamizaron, se centrifugó en las muestras líquidas, cada una de ellas, fue esparcida hasta la adhesión en los 4 medios usados para el aislamiento de los hongos, MM y agar de dextrosa de papa con y sin 2 gl <sup>-1</sup> de Impranil-DLN.	PU	Tiempo Temperatura	Los análisis de cromatografía dieron que los 3 hongos degradan un ácido grado TPU mientras que la biodegradación fue mayor en un TPU basada en policaprolactona. En otro análisis la cepa de <i>Penicillium</i> fue la mejor.
17	Beneš et al.	2020	<i>Fusarium solani</i>	<i>Fusarium solani</i>	PU	Temperatura Enzimas Peso	El hongo mostró actividad enzimática y degradación. La espuma PUR tenía una estructura porosa, con poros abiertos del 94%.

N°	Autor	Año	Especie	Metodología / Descripción	Polímeros	Parámetros de uso	Resultados
18	El-Morsy et al.	2017	<i>Monascus ruber</i> , <i>Monascus sanguineus</i> y <i>Monascus sp</i>	1ml de la disolución de 1/100 de la solución del suelo se cultivaron en la placa, se hicieron 5 réplicas de medios que tenían poliuretano diol. Los hongos se aislaron con agua destilada y un medio con nutrientes, cada uno con dos polímeros diferentes, con pH 7.2, temperatura 28°C por 14 días.	PU	Tiempo pH Enzimas	<i>Monascus sp</i> fue el más eficiente en la biodegradación de poliuretano que estaba en forma de Impranil-DLN, las micrografías SEM y la potencial zeta confirmaron las mediciones de adsorción y la forma que hay entre el poliuretano y las hifas del hongo.
19	Amaral et al.	2012	<i>Aspergillus niger</i>	Uso de un hongo en para biodegradar 2 RPU a base de lignina	RPU	CO2	El hongo <i>A. niger</i> puede degradar RPU, los resultados señalaron que al usar polioles a base de lignina esta mejora la degradación del poliuretano.
20	Krasowska, Heimowska y Rutkowska	2015	<i>Curvularia senegalensis</i> , <i>Fusarium solani</i> , <i>Aureobasidium pullulans</i> y <i>Cladosporium</i>	Se denotó la degradación de poliéster-uretano de dos tipos (poli-ε - caprolactona y poli-etileno-butileno adipato) en dos ambientes, en agua y compost.	PU	Peso Cristalinidad Resistencia de tracción Temperatura	La degradación se notó más en el ambiente de compost. El poli-ε -caprolactona fue el más degradable, esto se debe al entorno biótico de las enzimas que provocan el hidrólisis de los enlaces éster. Los hongos son responsables de la biodegradación de los poliéster-uretanos en el compost.

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a las teorías relacionadas al trabajo de investigación, se tienen en cuenta las siguientes definiciones: el plástico se define como una gama común de material sintético o semisintético, pues este se puede formar en diferentes materiales. Estos polímeros contienen carbono, silicio, oxígeno, hidrógeno, nitrógeno y cloruro (Trivedi et al., 2016, p. 211); por otro lado, el plástico es una palabra muy amplia que se ha dado para productos de polímeros que tienen alto peso molecular y generalmente proceden de productos petroquímicos, hay plásticos que no son biodegradables y otros que sí lo son, pero con un proceso lento (Haben y Fasil, 2019, p. 57).

Su clasificación se realiza de acuerdo con el tipo de composición que poseen (Chacón, 2016, p.67). En la tabla 2, se muestran las 7 clases.

**Tabla 2.** Clasificación de los Plásticos

<b>Plástico</b>	<b>Usos y Aplicaciones</b>
Polietileno tereftalato (PET)	Envases para bebidas, fibras textiles, de escobas, entre otros.
Polietileno de alta densidad (HDPE)	Bolsas plásticas negras, envases de leche, yogurt, aceite para motor, botellas de aseo personal y limpieza, entre otros.
Policloruro de vinilo (PVC)	Botellas de aceites de cocina, materiales de aseo y hogar, de comida rápida, tarjetas card y de celular, entre otros.
Polietileno de baja densidad (LDPE)	Bolsas de los supermercados y los que usan para envolverlos, entre otros.
Polipropileno (PP)	Tapas, sorbetes, redes, costales, lapiceros, ganchos de ropa, accesorios para el cabello, entre otros.
Poliestireno (PS)	Tecnopor, vasos y cubiertos desechables, recipientes donde contiene la comida rápida, cinta de pegar, entre otros.
Otros (ejemplos: ABS, PC, PU)	(Son mezclas de varios plásticos y no se pueden reciclar) CD's, botellones de agua, carcazas para computador, cauchos, esponjas, entre otros.

Fuente: Chacón et al., 2016

Dentro de los plásticos se puede encontrar macromoléculas, de cadena larga o pequeña, o monómeros, que en conjunto forman un polímero ya sea lineal o ramificado (Ardebili, Zhang y Pecht, 2019, p. 48).

Por otra parte, existe otra clasificación de plásticos, de los cuales puede ser en función al peso molecular, sensibilidad a la temperatura (termoplástico o termoestable) o cristalinidad. De acuerdo a la temperatura, el termoplástico es aquel que se suaviza y se derrite mientras se calientan, o se endurecen cuando se enfrían, y el termoestable es cuando se degrada exponiéndose a un calor excesivo (McKeen, 2019, p.10).

Los nombres que se originan por enlaces son referidos por nombre del enlace propio del cual se conecta el polímero, el prefijo es “poli” después el nombre del enlace. Por consiguiente, los polímeros que tienen enlace amida son poliamidas, los que tiene enlace éster son poliéster, entre otros (McKeen, 2019, p.19). En la tabla 3, se muestran familias de polímeros junto a sus enlaces.

**Tabla 3.** Clasificación de los Polímeros

<b>Familia de polímero</b>	<b>Enlace</b>	<b>Familia de polímero</b>	<b>Enlace</b>
Poliamida	-NH-C(=O)-	Polisiloxano	-O--Si-
Poliéster	-O-C(=O)-	Polivinilo	-C-C-
Poliuretano	-O-C(=O)-NH-	Policarbonato	-O-C(=O)-O-
Poliéter	--O--		

Fuente: McKeen, 2019

Y entre estos, se tiene al poliuretano (PU), el cual, fue descubierto por Otto Bayer en el año 1937, por la poliadición de isocianatos y de los polioles, las cuales dan sus características químicas y físicas de este polímero. Tiene una excelente biocompatibilidad y son utilizados en el área biomédica para tratar enfermedades cardiovasculares, como los implantes de huesos y cartílagos (Petry do Canto, Thompson y Netz, 2019, p. 82).

Su característica física es blanco lechoso y totalmente opaco, también es usado para la elaboración de revestimientos textiles, pinturas, recubrimientos líquidos, aislantes, elastómeros, espumas, entre otros (Russell et al., 2011, p.

6076). Pueden ser segmentos blandos o duros, que tienen cadena larga de diisocianatos y dioles (Choi et al., 2017, p. 3).

Por otro lado, respecto a las clases del poliuretano, Akindoyo (2016), los clasifica en cinco grupos más importantes con sus aplicaciones respectivas (p. 2). A continuación, se describen en la tabla 4.

**Tabla 4.** Clasificación de los Poliuretanos

<b>Clase</b>	<b>Descripción</b>	<b>Aplicaciones</b>
Poliuretano Termoplástico (TPU)	Son flexibles, buena resistencia, insoluble al agua.	Protector del teclado de computadora, artículos deportivos, balsas inflables, calzado, etc.
Poliuretano Flexible (FPU)	Son espumas flexibles, posee características físicas como densidad, durabilidad, firmeza, resistencia, etc.	Muebles, piezas del interior de un automóvil, envases, muebles, capas de alfombra, etc.
Poliuretanos Rígidos	Son las espumas rígidas más conocidas, tiene una conductividad baja y colabora con el ahorro de energía por medio del aislamiento térmico.	Aislantes térmicos y acústicos
Poliuretanos Ionómeros (PUI)	Tiene la característica de biocompatibilidad, este polímero se estudia para la compatibilidad sanguínea. Estos se aplican normalmente en la medicina.	Normalmente son objetos de medicina como tubos de conectores para el marcapaso, corazones artificiales, etc.
Dispersión de poliuretano al agua (WPU)	Es una resina de poliuretano que se dispersa en el agua.	Son adhesivos, aglutinantes, selladores, recubrimientos, etc.

Fuente: Akindoyo, 2016

Este material ha generado impactos ambientales negativos, ya que este no se puede degradar, en consecuencia, el proceso de reciclaje (químico, mecánico o termoquímico) de poliuretano termoestable es complejo y no rentable. En cuanto a las técnicas de recuperación basadas en la incineración para recuperar

energía, existen desventajas ambientales debido a la emisión de contaminantes atmosféricos como las dioxinas HCB y la emisión de partículas finas (Gómez et al., 2019, p. 1).

Agregado a ello, los autores Tantisattayakul, Kanchanapiya y Methacanon (2018) comentan también que, la incineración de residuos de poliuretano rígido provoca la formación de sustancias altamente tóxicas como CO, NO<sub>x</sub>, HCN, Cl<sub>2</sub> o dibenzodioxinas y dibenzofuranos polibromados (PBDD / Fs). Además, la eliminación por incineración y vertedero puede causar la pérdida del uso de recursos, debido a que el poliuretano rígido tiene una alta capacidad calorífica específica. El aumento de los costos de los vertederos, la disminución del espacio de estos y los problemas de contaminación del aire, está obligando a considerar alternativas para la eliminación de estos residuos (p. 4).

Por otro lado, se ha probado en diferentes laboratorios, el impacto de hongos, bacterias y enzimas en los poliuretanos, demostrando que los que son a base de poliéster, son más susceptibles al ataque de hongos (Rutkowska et al., 2002, p. 1).

Y esto se debe por la degradación, que se da por cualquier cambio físico o químico en el polímero, que ocurre por los diferentes factores ambientales como la luz, el calor, la humedad, actividad biológica, entre otros. Si esta descomposición sucede por la acción de las enzimas, que son secretadas por los microorganismos, se le conoce como biodegradación (Swapnil et al., 2015, p. 953). Este proceso también se puede realizar, por la hidrólisis enzimática y no enzimática de microorganismos como pueden ser hongos o bacterias (Haben y Fasil, 2019, p. 59).

Basándose en Helbling e Ipekoglu (citado por Shubha, 2018, p. 108), este método tiene 4 fases que consiste en: el biodeterioro, donde las poblaciones de microorganismos en descomposición son los que degradan física y químicamente, que dan como resultado la alteración de las propiedades de los plásticos; la biofragmentación, donde las enzimas segregadas dividen los monómeros del plástico cuando sucede la reacción catalítica; la asimilación, donde los monómeros son solo asimilados cuando cruzan la pared celular, que producen



metabolitos; y por último, la mineralización, donde se degrada las moléculas y liberan CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>O, etc.

Asimismo, el mecanismo primordial para la degradación de un polímero de alto peso molecular, es la hidrólisis por enzimas, pues estas crean agrupaciones funcionales que aumenten su hidrofilia, se obtienen cadenas de polímeros de bajo peso molecular y con características más débiles, lo que hace que sea más sencilla la asimilación de los microorganismos. En la degradación de polímeros hay dos tipos de enzimas que actúan, las extracelulares y las intracelulares despolimerasas (Loredo et al., 2011, p. 260).

La hidrólisis, con enzimas hidrolasas extracelulares, se da en 3 fases: primero se tiene a la disolución química de los enlaces éster y amida; segundo, se da la reducción de peso molecular y viscosidad; y, por último, se tiene la división de los polímeros en cadena. Por ello, las enzimas de género hidrolasas como la lipasa, proteasa y esterasa pueden degradar la cadena de polímeros (Mahajana y Gupta, 2015, p. 9).

Otros estudios señalan que, la degradación por hidrólisis se da en dos etapas, primero la enzima se une al polímero mediante el dominio hidrofóbico y luego se cataliza la descomposición hidrolítica. La degradación enzimática del PU puede ser reforzado por las hidrolasas como las ureasas, proteasas y esterasas. (Loredo et al., 2011, p. 260).

Ahora bien, el poliuretano es susceptible a la biodegradación fúngica, bacteriana y por las enzimas poliuretanasas. Parecido a la hidrólisis, el procedimiento de la degradación microbiana se da por la ruptura de enlaces de uretano y de los segmentos de polioliol, que son los elementos primordiales de los materiales de PU. Los poliuretanos que tiene enlace éster y un grupo hidrolíticamente débil son más rápidos de biodegradar (Gewert, Plassmann y MacLeod, 2015, párr. 22).

Sumado a ello, los hongos segregan enzimas para poder biodegradar el poliuretano, estas son también llamadas biocatalizadores, que aceleran la velocidad de reacciones químicas (Plou, 2016, p. 23). Estas además cuentan con

una clasificación según la reacción que catalizan. A continuación, se describe en la tabla 5.

**Tabla 5.** Clasificación de las Enzimas

<b>Tipo de enzima</b>	<b>Reacción que cataliza</b>
Oxidorreductasas	Oxidación y reducción
Hidrolasas	Hidrólisis
Transferasas	Transferencia de grupos químicos
Liasas	Se adiciona un sustrato a un enlace doble, o eliminación
Isomerasas	Isomeración
Ligasas	Forma enlaces con ATP

Fuente: Plou, 2016

Por último, para que sea posible la degradación del poliuretano por los microorganismos fúngicos, existen distintas técnicas de medición para poder analizar la estructura química, física y biológica. En las físicas se tiene al análisis termogravimétrico (TGA), según Grueiro (como se citó en Rodríguez y Villegas, 2012, p 26) la termogavimetría es un grupo de análisis térmico que identifica y mide los cambios físicos que experimenta los materiales cuando están siendo sometidos a temperaturas variadas. En otras palabras, este análisis se encarga de examinar continuamente la diferenciación de la masa del material mediante la variación de la temperatura con una tasa térmica constante. (Rodríguez y Villegas, 2012, p 26).

Igualmente, en las físicas, se encuentra la técnica de Microscopía Electrónica de Barrido (SEM), aquí se obtienen imágenes de alta resolución y analiza las características morfológicas y estructurales de los materiales (Clavijo, 2013, p 134).

Mientras tanto, en las técnicas químicas, la más utilizada por investigaciones, es la Espectroscopía Infrarroja con Transformada de Fourier (FTIR), esta se basa en la interacción entre la radiación y la muestra o material, mediante la radiación incidente se aprecia las características de longitud y número

de las ondas, como también, el tipo de interacción ya sea por vibraciones, rotaciones o excitaciones. (Orjuela y Ramos, 2008, p 3).

En definitiva, se ha denotado que los hongos son candidatos para biodegradar el poliuretano, por diferentes técnicas ya fundamentadas anteriormente, y gracias a la segregación de enzimas junto con la función de hidrólisis que se genera. Gracias al avance de las investigaciones, se espera que esta degradación natural sea más utilizada, para hacer posible la disminución de este polímero, que está contaminando y afectando cada vez más al mundo entero.

### **III. METODOLOGÍA**

### **3.1 Tipo y diseño de investigación**

El tipo de investigación es aplicada, esta se define como trabajos desarrollados para conseguir conocimientos nuevos, y están dirigidos a determinar mediante el conocimiento científico las metodologías, tecnologías y registros, de manera que se pueda cubrir una necesidad identificada y especial. (CONCYTEC, 2019, p. 2).

El proyecto de investigación es aplicado porque busca brindar conocimientos científicos en cuanto al desarrollo de tecnologías de degradación del poliuretano, utilizando microorganismos fúngicos, ya que este es un proceso natural y beneficioso para el medio ambiente. Esto ayuda a disminuir la contaminación de este plástico puesto que, como se mencionó anteriormente, no se puede degradar este polímero por sí solo.

Por otro lado, el diseño de investigación es cualitativo, dado que, está enfocado en los múltiples medios de recopilación de datos, el análisis y la redacción de informes que difieren de los enfoques cuantitativos tradicionales (Williams, 2007, p. 1), siendo flexible y adaptándose a la nueva información basada en los datos compilados, proporcionando una perspectiva global sobre el tema (Rutberg y Bouikidis, 2018, p. 1). Y se considera narrativa de tópicos, debido a que se orienta en experiencias vividas sobre sucesos o fenómenos de manera cronológica, plasmado en narrativas escritas por los investigadores (Hernández, Fernández y Baptista, 2014, p. 469).

En este trabajo, es cualitativo porque se utiliza toda recolección de varias fuentes de autores que hayan trabajado con distintos microorganismos fúngicos y se ha analizado los datos para resolver diversas dudas e incertidumbres en el proceso de la biodegradación del poliuretano. Y narrativa de tópicos, ya que, la recopilación de todas las investigaciones, fueron descripciones de los hechos que han ocurrido al reaccionar los hongos con el poliuretano.

### 3.2 Categorías, Subcategorías y matriz de categorización

Tabla 6. Matriz de Categorización

OBJETIVOS ESPECÍFICOS	PROBLEMAS ESPECÍFICOS	CATEGORÍA	SUBCATEGORÍA	CRITERIO 1	CRITERIO 2	CRITERIO 3	CRITERIO 4
Comparar las técnicas de medición más usadas para la biodegradación del poliuretano (PU)	¿Cuáles son las técnicas de medición más usadas para la biodegradación del poliuretano (PU)?	Técnicas de medición	Reacciones en la estructura física / Reacciones en enlaces  Loredo et al. (2017)	Técnicas físicas  Álvarez et al. (2016)	Técnicas biológicas  Beneš et al. (2020)	Técnicas químicas  Álvarez et al. (2016)	Test (actividad enzimática)  Loredo et al. (2017)
Describir las principales enzimas que catalizan la biodegradación del poliuretano (PU) por medio de microorganismos fúngicos	¿Cuáles son las principales enzimas que catalizan la biodegradación del poliuretano (PU) por medio de microorganismos fúngicos?	Enzimas	Actividad catalítica / Hidrólisis  Loredo et al. (2011)	Clases  El-Morsy et al. (2017)	Enlaces  Magnin et al. (2019)	pH  Krasowska et al. (2015)	Temperatura en que actúan  Mahajana y Gupta (2015)
Detallar la clasificación taxonómica de los microorganismos fúngicos que biodegraden el poliuretano (PU).	¿Cuál es la clasificación taxonómica de los microorganismos fúngicos que biodegradan el poliuretano (PU)?	Clasificación taxonómica	Hongos ascomicetos / Hongos basidomicetos  Brunner et al. (2018)	Especie  Magnin et al. (2019)	Género  Mahajana y Gupta (2015)	Familia  Cepero et al. (2012)	Filo  Brunner et al. (2018)

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 6, se presentó la matriz de categorización apriorística, dividida en ocho casillas, las cuales explicaron brevemente los objetivos y problemas específicos, y estos se expresaron con el apoyo de las categorías y subcategorías siendo ordenados, en una serie de criterios que se llevó a cabo.

En las categorías se denotó a las técnicas de medición, teniendo como subcategoría a las reacciones en la estructura física o reacciones en los enlaces, junto a los criterios que fueron evaluados. Se muestra, además, la categoría de las enzimas, y su subcategoría, a la actividad catalítica o hidrólisis que ocurrieron en la biodegradación por hongos, con sus respectivos criterios. Por último, se dispuso a la categoría de clasificación taxonómica, con las subcategorías de hongos ascomicetos u hongos basidomicetos, para poder biodegradar el poliuretano acordado a los criterios dados.

### **3.3 Escenario de estudio**

Según Sánchez, Reyes y Mejía (2018), definen el escenario como el contexto, zona o ambiente, en el cual se lleva a cabo el estudio o investigación, es el lugar donde ocurren los hechos (p. 62).

En este proyecto de investigación, se encuentran distintos escenarios de estudio para cada especie de hongos, que se utilizaron para biodegradar el poliuretano en distintos países de manera in situ y ex situ.

En los escenarios de estudio in situ, se observó que los hongos crecían en depósitos de residuos plásticos o sitios contaminados, los cuales llevaron a realizar estudios, y por medio de la técnica de entierro en el suelo, donde agregaban muestras de poliuretano junto con nutrientes o reactivos, quienes ayudaban al hongo en su crecimiento, usando como fuente de carbono al polímero, las enzimas y los factores ambientales, pudiendo biodegradar este tipo de polímero.

En el caso de los escenarios ex situ, como se dijo anteriormente, estos hongos se descubrían en sectores de desechos plásticos o en zonas contaminadas en distintos países, se tomaba una muestra del suelo y estos eran transportados a laboratorios de universidades, en donde se aislaban diferentes

cepas para analizarlas y observar quiénes tenían la capacidad de biodegradar al poliuretano, ver qué enzimas producían, bajo qué factores ambientales trabajaban y qué reactivos pueden ayudar a mejorar esta degradación.

### **3.4 Participantes**

Para esta investigación, se buscó información en las siguientes revistas electrónicas indexadas: *Advances in Environmental Biology*, *Journal of Applied & Environmental Microbiology*, *Plos One*, *Polymers*, *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, *Journal of Applied Microbiology*, *International Journal of Molecular Sciences*, *Journal of Student Science and Technology*, *Journal of Business & Economics Research*, *Journal Of Biochemical Technology*, *Mycosphere* y *Polymer-Plastics Technology and Engineering*.

Los repositorios digitales donde se buscó la información fueron los siguientes: Springer, Sciencedirect, American Society for Microbiology, Scientific Research Publishing, Krishi Sanskriti, Royal Society of Chemistry, Scielo, Scientific and Technological Research Council of Turkey (TÜBİTAK), Openventio publishers, Sage Journals, IOP Publishing Y Society for Applied Microbiology.

Entre todas estas revistas científicas electrónicas, las más importantes o destacadas para realizar esta investigación fueron: *Plos One*, *Polymers*, *Mycosphere*, *Journal of Student Science and Technology*, *Journal Of Biochemical Technology*, *Advances in Environmental Biology*, *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, *International Journal of Molecular Sciences* y *Journal of Business & Economics Research*.

Por último, entre los repositorios digitales, los más importantes y de donde se extrajeron la información de artículos o revistas científicas fueron los siguientes: SciELO, Springer, Sciencedirect, American Society for Microbiology, Sage Journals, Sage Journals, Krishi Sanskriti, Society for Applied Microbiology y Royal Society of Chemistry.



### **3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

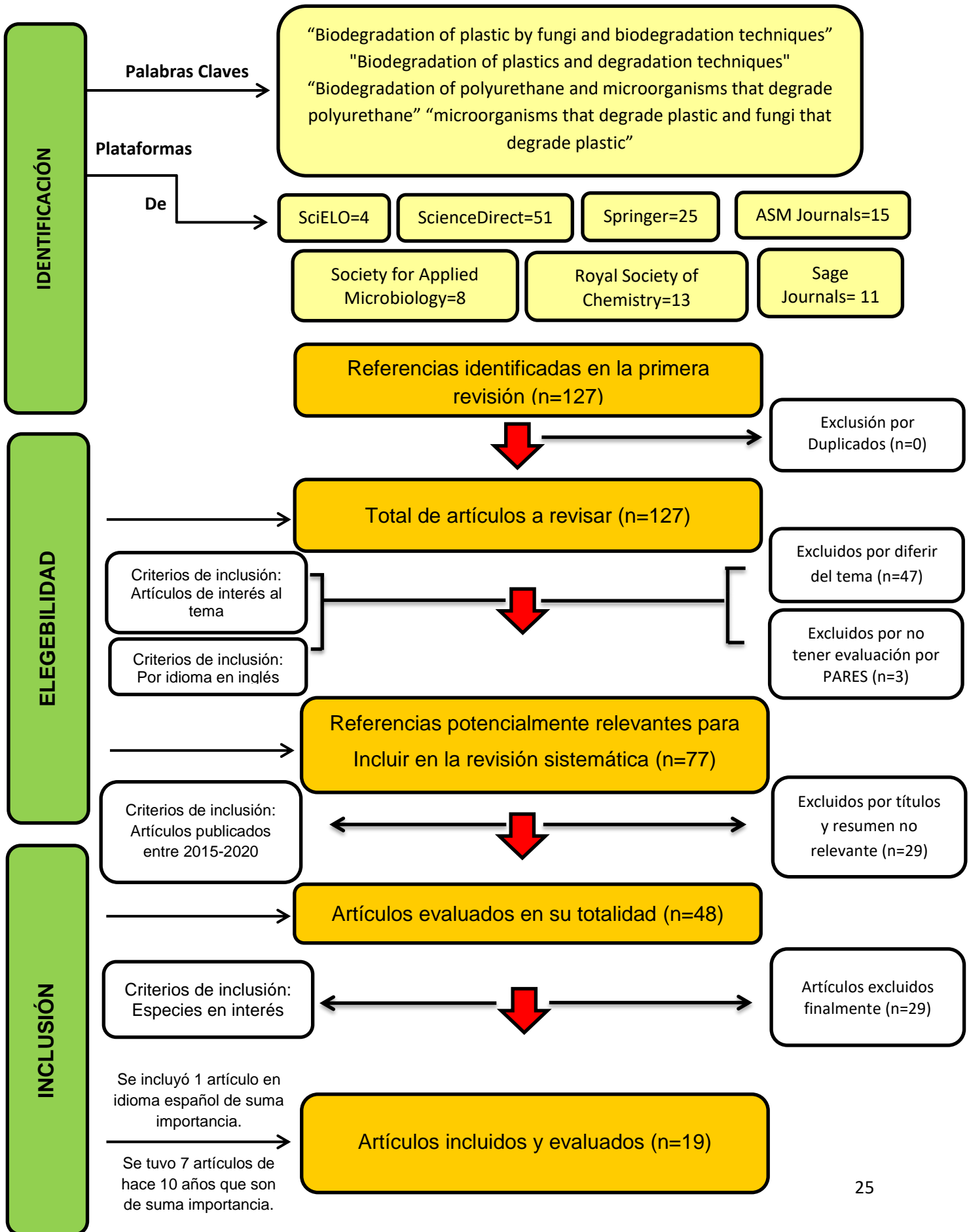
La técnica es el conjunto de herramientas y sistemas de administrar, en la recolección y conservación de información, analizando la investigación necesaria que permita el logro de conseguir datos. También es un procedimiento común y de recursos, que son útiles para la ciencia, expresándose como un grupo de operaciones y reglas para manejar instrumentos que ayuden al investigador al momento de aplicar sus métodos (Sánchez, Reyes y Mejía, 2018, p. 120).

Las técnicas de recolección de datos son variadas, en la investigación cualitativa puede ser las entrevistas, test proyectivos, formularios abiertos, focus groups, biografías, estudio de archivos, indagación, análisis documental, etc. (Bernardo, Carbajal y Contreras, 2019, p. 36).

En esta investigación, se utilizó como técnicas de recolección, al análisis documental, que es el conjunto de operaciones que busca representar y detallar los distintos documentos de una forma sistemática para simplificar la recuperación y su información. Contiene el proceso analítico – sintético, que este incluye revisión bibliográfica, la traducción, clasificación, elaboración de reseñas, entre otras. (Dulzaides y Molina, 2004, párr.11). Ya que, se indagó en cada metodología de diferentes autores relacionados al tema a estudiar; y se basó en identificar, seleccionar y posteriormente, evaluar los estudios correspondidos con el proyecto a tratar. En este caso, la información no fue brindada directamente por los autores, sino se obtuvo a través de sus publicaciones en páginas científicas. Y es por medio de esta información recopilada, que fue compartida.

En anexo 1, se muestra la ficha de recolección de datos, captando así, toda la información relevante para la formación de este proyecto de investigación. La ficha está compuesta por: título de la investigación, nombre de la revista, año de la publicación, lugar donde fue publicado, el tipo de investigación, el código URL o DOI del artículo, el nombre del autor(es), las palabras claves usadas, el tipo de plástico empleado, la enzima utilizada, el nombre del hongo usado, la clasificación taxonómica del hongo, las técnicas de análisis que realizan al plástico, los resultados, y, por último, las conclusiones.

### 3.6 Procedimiento



El procedimiento para la búsqueda de artículos se realizó de la siguiente forma, se utilizaron las palabras claves como “Biodegradation of plastic by fungi and biodegradation techniques” o “microorganisms that degrade plastic and fungi that degrade plastic”, entre otras. Se revisaron en artículos o revistas científicas en línea más destacadas, se obtuvieron investigaciones en inglés con duplicados, ya que estas se encontraban en otras páginas de artículos o investigaciones. Se obtuvo un total de revistas, las cuales fueron revisadas y se aplicó los criterios de exclusión (por diferir del tema, por no tener evaluación por PARES, no cumplir los criterios de inclusión y artículos de años antiguos) y los criterios de inclusión (artículos de interés al tema, que estén entre los años de 2015-2020 y las especies de interés). Por último, se tuvo 19 artículos que fueron estrictamente analizados y evaluados para el apoyo del proyecto de investigación.

### **3.7 Rigor científico**

El rigor en la investigación cualitativa pertenece al proceso válido y confiable. Es esencial para el investigador profundizar en los datos, examinar todos los matices y relaciones posibles, ver los datos desde una variedad de perspectivas minuciosamente, para una mejor comprensión y generación de teorías (Maher et al., 2018, p. 6).

*La dependencia:* Es el rango en que distintos investigadores recolectan datos que son idénticos al tema escogido y realicen los mismos análisis, generando resultados similares (Rojas y Osorio, 2017, p. 66). Para adquirir la dependencia, Hernández, Fernández y Baptista (2014) recomiendan, al momento de dar sentido en interpretar los estudios, no relacionar con nuestras opiniones o ideas propias; además, tomar en cuenta todos los datos a detalle; y por último, analizar toda la información antes de determinar las conclusiones (p. 487).

Por ello, en este trabajo se recopiló una amplia variedad de información acerca de los distintos microorganismos fúngicos, con un tema en común, que biodegraden al poliuretano, teniendo en cuenta, diferentes métodos que existen.

*La credibilidad:* Es la representación precisa y veraz de la experiencia vivida de un participante, para conocer el contexto del fenómeno en el que está

estudiando (Cypress, 2017, p. 5). Mientras que, para Norena et al. (2012) es el rango clave en la calidad de la investigación, pues permite demostrar los eventos y experiencias humanas igual como se han percibido por los sujetos. Se refiere a la proximidad que tiene los resultados de una investigación deben tener conexión con el fenómeno observado, así el investigador puede realizar hipótesis a priori sobre la verdad estudiada (párr.16).

En relación con este proyecto, los investigadores mencionados de todas las fuentes recopiladas experimentaron con distintos organismos fúngicos a lo largo de un periodo de tiempo y cada uno, dio su resultado de análisis.

*La transferencia:* En la investigación cualitativa, se define como la posibilidad de trasplantar los estudios a otros contextos diferentes de la investigación (Arias y Giraldo, 2011, p. 5). Este rango se logra a través de una explicación detallada de las características del contexto en el cual se ejecuta la investigación y los participantes. Esta explicación será útil para relacionar y encontrar lo similar y lo diferente con otros estudios (Norena et al., 2012, párr.18).

Acoplado con el presente trabajo, este criterio cumplió al momento de recoger de todas las fuentes, el tema en común, el biodegradar el poliuretano con diferentes mecanismos, y así se pudo neutralizar toda la data y se consiguió un análisis e interpretación conjunta.

*La confirmación:* Este criterio se refiere a la credibilidad y confianza en el análisis y resultados de la información, corroborados o confirmados por otros investigadores (Forero et al., 2018, p. 3). Es fundamental este plan, incorporar argumentos que tengan relación con la toma de decisiones para los principios teóricos usados y la elección del método (Ruiz y Vives, 2016, p.194).

En este caso, la confirmación implica que hay más de un autor que acreditó los estudios realizados de estos hongos degradadores del poliuretano, además que, de otros investigadores también sostuvieron sus exploraciones, sumado a ello, que fueron publicados en revistas científicas prestigiosas o reconocidas por todo el mundo, y así compartidos por más personas interesadas al tema.

### **3.8 Método de análisis de datos**

Para el análisis de información conseguida, se analizó bajo tres criterios por cada categoría, las cuales son i) Técnicas de medición, ii) Enzimas, iii) Clasificación taxonómica. Cada una de estas, tiene sus subcategorías presentadas en la matriz de categorización apriorística (Tabla 6).

En cuanto a la primera categoría, técnicas de medición, se realizó la evaluación al contenido que se obtuvieron de los artículos científicos que se recolectaron. Se describió las técnicas que se dieron para poder evaluar la degradación del poliuretano por medio de microorganismos fúngicos. Esta evaluación se sostuvo por los tres criterios de investigación para la categoría que se mencionó, estas fueron, técnicas físicas, técnicas biológicas, técnicas químicas y test (actividad enzimática)

En la segunda categoría se denotó las enzimas, de la misma forma hubo una evaluación al contenido de los artículos científicos que fueron seleccionados. Esta evaluación se estableció por medio de los 3 criterios de la investigación para esta categoría; los cuales fueron, clases de enzimas, enlaces en que actúan, el pH en donde actúan, y la temperatura que se desarrolló.

Por último, se muestra la tercera categoría, su clasificación taxonómica, de igual manera acorde a los artículos científicos recolectados, se procederá a detallar la clasificación de los microorganismos fúngicos, teniendo en cuenta los criterios dados, de acuerdo a la especie, al género, familia y al filo que pertenecen.

### **3.9 Aspectos éticos**

Durante la presente investigación, se tuvo muy en cuenta la ética y honestidad en cuanto la autenticidad de la información, es decir, no alterando su contenido real, mostrando datos confiables para un desarrollo óptimo en este trabajo, como se refiere en la política antiplagio del artículo 15 del Código de Ética de la Investigación de la Universidad César Vallejo, aceptado en la resolución de Consejo Universitario N° 0126-2017-UCV emitido el 23 de mayo de 2017. Ya que toda la información fue recopilada de diferentes investigadores expertos en el tema, se analizó e interpretó de manera minuciosa como correspondió en este

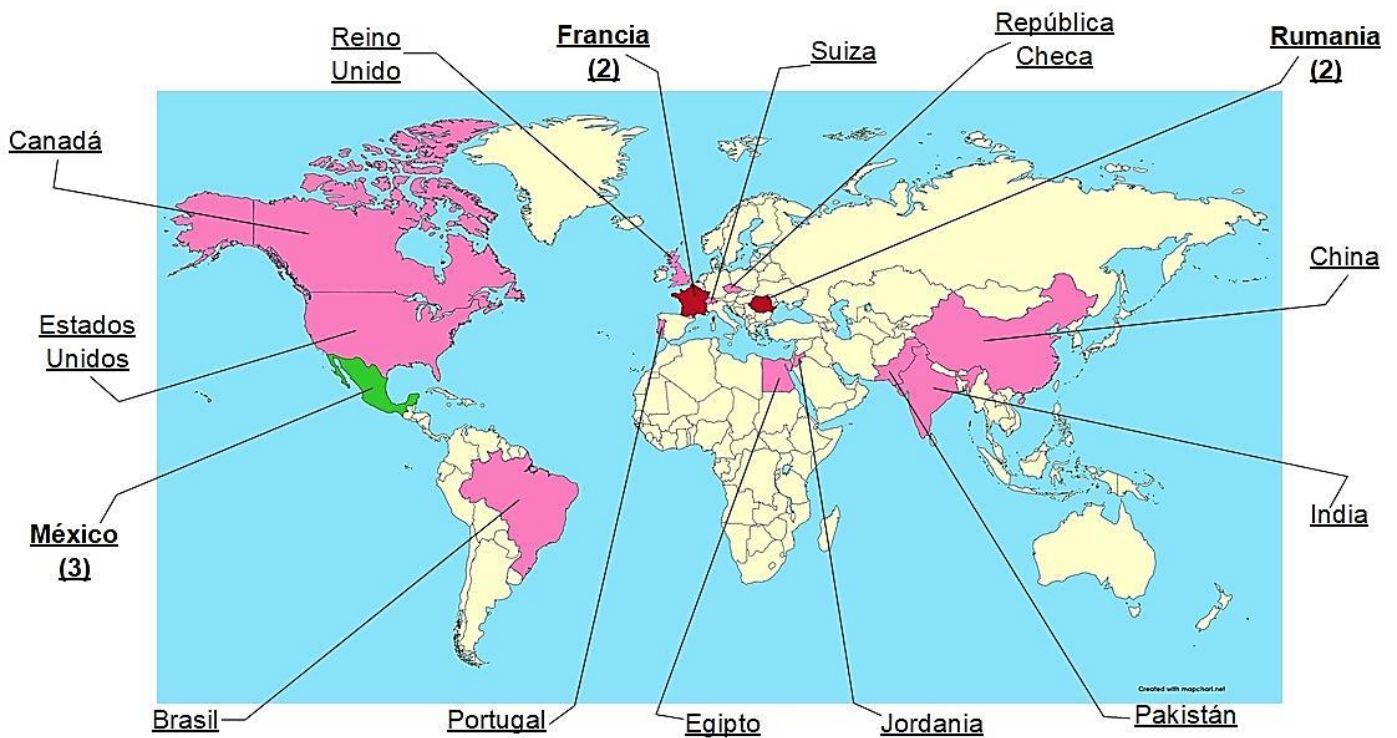
caso, citando y referenciando cada una de la información recolectada usando la norma internacional ISO 690-2, de tal forma que se respetó los derechos intelectuales y de autor.

## **IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Desde un principio, se hallaron 127 artículos en relación con el tema de investigación, con el paso del desarrollo, se estuvieron filtrando y quedando los más relevantes, con los criterios de exclusión (por diferir del tema, no tener evaluación por PARES, no cumplir los criterios de inclusión y artículos de años antiguos) y los criterios de inclusión (artículos de interés al tema, que estén entre los años de 2015-2020 y las especies de interés). Finalmente, se obtuvo 19 artículos con un tema en común, para luego, ser clasificados en las 3 categorías: técnicas de medición, enzimas, y clasificación taxonómica, con sus criterios respectivos para cada una de las categorías antes mencionadas (ver tabla 7, 8, 9 y 10).

Los estudios, fueron realizados en 15 países que se presentan en la figura 1, mediante un mapamundi, señalando las ubicaciones.

**Figura 1.** Países donde se desarrollaron las investigaciones



Fuente: Elaboración propia

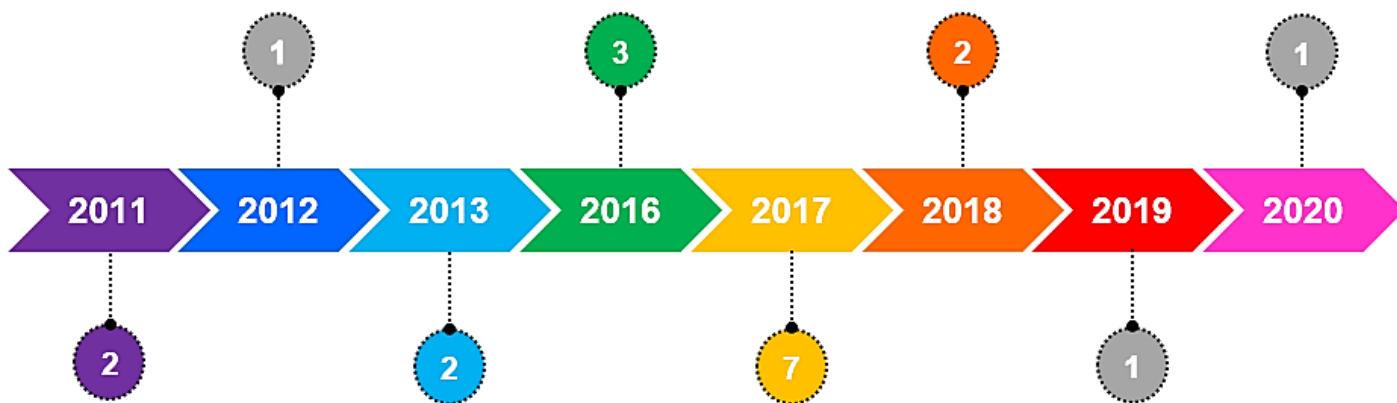
Como se denota, hay 3 publicaciones que se realizaron en México, seguido de 2 investigaciones en Francia y otros 2 en Rumania, los demás se desarrollaron



en Canadá, Estados Unidos, Brasil, Portugal, Egipto, Jordania, Pakistán, India, China, República Checa, Suiza y Reino Unido individualmente.

Adicionalmente, en estos últimos años se han realizado estas investigaciones sobre la degradación de poliuretano por microorganismos fúngicos. Lo cuales, se explicarán a continuación en la figura 2.

**Figura 2.** Línea de tiempo de las investigaciones



Fuente: Elaboración propia

Como se demuestra en la figura 2, desde el 2011 hasta la actualidad, se han realizado los 19 artículos que concuerden con los criterios de selección de la presente investigación. El año que hubo una mayor publicación fue el 2017, con 7 publicaciones, seguido de, 3 publicaciones el 2016, luego se realizaron 2 artículos en el 2011 y 2018 respectivamente, y el resto de los años solo hubo 1 estudio.

La tabla que se presenta a continuación, muestra las diferentes técnicas utilizadas por distintos autores para poder analizar la estructura física, química y biológica de la degradación del poliuretano, mediante microorganismos fúngicos, por otro lado, se muestran los test realizados para poder identificar las enzimas que segregan los hongos.

**Tabla 7.** Técnicas de medición más usadas para la biodegradación del poliuretano (PU)

AUTORES	TÉCNICAS DE MEDICIÓN	TÉCNICAS FÍSICAS	TÉCNICAS BIOLÓGICAS	TÉCNICAS QUÍMICAS	TEST
Loredo et al. (2017)	Análisis Termogravimétrico (TGA)	X			Para contenido de fenol (PSMF)
	Espectroscopía Infrarroja con Transformada de Fourier (FTIR)			X	
Khan et al. (2017)	Espectroscopía Infrarroja con Transformada de Fourier (FTIR)			X	Efecto de pH para determinar enzimas Efecto de carbono extra para determinar enzimas
	Microscopía Electrónica de Barrido (SEM)	X		X	Efecto de tensioactivos (Tween 20 y Tween 80) para determinar enzimas Efecto de temperatura para determinar enzimas
Loredo et al. (2011)	Caracterización de enzimas		X	X	Enzima proteasa (Y.E.S.) Enzima esterasa (Tween 80) Enzima ureasa (Medio de urea Christensen) Enzima lacasa (PDA-ABTS)
Amaral et al. (2012)	Espectroscopía Infrarroja con Transformada de Fourier (FTIR)			X	No se utilizaron
	Microscopía Electrónica de Barrido (SEM)	X			
Beneš et al. (2020)	Espectroscopía Infrarroja con Transformada de Fourier (FTIR)			X	Enzima proteasa por medio de hidrólisis de caseína
	Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC)	X			Enzima esterasa por absorción de nitrofenol
	Microscopía Electrónica de Barrido (SEM)	X			Enzima ureasa por medio de actividad en BSM
Espectrometría de masas MALDI-TOF			X		

AUTORES	TÉCNICAS DE MEDICIÓN	TÉCNICAS FÍSICAS	TÉCNICAS BIOLÓGICAS	TÉCNICAS QUÍMICAS	TEST
Fernandes et al. (2016)	Espectroscopía Infrarroja con Transformada de Fourier (FTIR) Determinación de pérdida de peso	X		X	No se utilizaron
Hung et al. (2019)	Espectroscopía Infrarroja con Transformada de Fourier (FTIR)			X	Ensayo de qPCR para poder medir los cambios en el número de copias de ADNr del hongo
Albara et al. (2017)	Espectroscopía Infrarroja con Transformada de Fourier (FTIR) Microscopía Electrónica de Barrido (SEM)	X		X	Mediciones de ángulo de contacto con el agua (WCA)
El-Morsy et al. (2017)	Microscopía Electrónica de Barrido (SEM)	X			Enzima lipasa (medio SIERRA) Enzima esterasa (Tween 20) Enzima lacasa (medio PDA) Enzima proteasa (medio azul de coomassie)
Oprea et al. (2016)	Espectroscopía Infrarroja con Transformada de Fourier (FTIR) Análisis Termogravimétrico (TGA) Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC) Microscopía Electrónica de Barrido (SEM)		X X X	X	No se utilizaron
Álvarez et al. (2016)	Espectroscopía Infrarroja con Transformada de Fourier (FTIR) Cromatografía de Gases - Espectrometría de Masas (GC-MS) Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) Espectrometría de Masas de Tiempo de Vuelo (MS/TOF)			X X X	Enzima lipasa (catálogo, Sigma-Aldrich) Enzima proteasa (espectrofotométricamente por hidrólisis) Enzima ureasa (espectrofotométricamente con ensayo de hipoclorito de fenol)
Ibrahim et al. (2011)	Pérdida de Peso (Pérdida de peso = Peso inicial - Peso final)	X			No se utilizaron

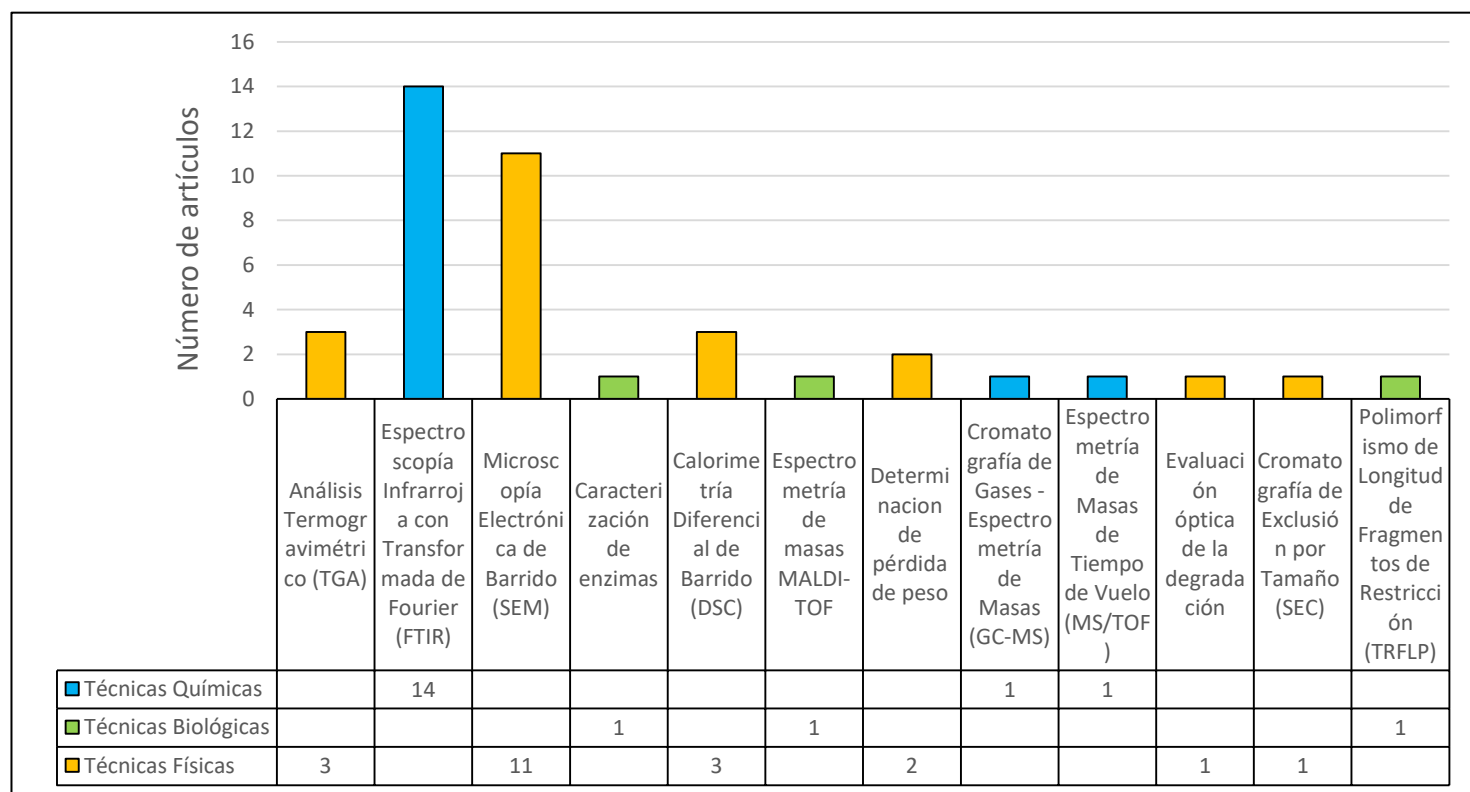
AUTORES	TÉCNICAS DE MEDICIÓN	TÉCNICAS FÍSICAS	TÉCNICAS BIOLÓGICAS	TÉCNICAS QUÍMICAS	TEST
Brunner et al. (2018)	Evaluación óptica de la degradación	X			No se utilizaron
Ma y Wong (2013)	Espectroscopía Infrarroja con Transformada de Fourier (FTIR)			X	Enzimas esterasa (Electroforesis en gel)
Magnin et al. (2018)	Microscopía Electrónica de Barrido (SEM)	X			Enzima esterasa (p-Nitrofenil acetato y p-Nitrofenol hexanoato- hidrólisis)
	Análisis de espectroscopia infrarroja			X	
	Cromatografía de Exclusión por Tamaño (SEC)	X			
Mathur y Prasad (2012)	Espectroscopía Infrarroja con Transformada de Fourier (FTIR)			X	Enzimas esterasa (Hidrólisis de éster de p-nitrofenilo)
	Microscopía Electrónica de Barrido (SEM)	X			
	Análisis Termogravimétrico (TGA)	X			
Oprea et al (2017)	Espectroscopía Infrarroja con Transformada de Fourier (FTIR)			X	No se utilizaron
	Microscopía Electrónica de Barrido (SEM)	X			
	Microscopía Electrónica de Barrido (SEM)	X			
Osman et al. (2017)	Espectroscopía Infrarroja con Transformada de Fourier (FTIR)			X	Enzima esterasa (p-nitrofenol liberado)
	Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC)	X			
Zafar et al. (2013)	Polimorfismo de longitud de fragmentos de restricción (TRFLP)		X		Determinación de la resistencia de tracción (Tinius Olsen H5KT-0586)

Fuente: Elaboración Propia

En la figura 3 se puede observar que el procedimiento de biodegradación del poliuretano fue más monitoreado por las técnicas de medición químicas y físicas como son la Espectroscopía Infrarroja con Transformada de Fourier (FTIR) y Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) y Análisis Termogravimétrico (TGA).

La solidez del poliuretano en una degradación térmica, depende de la relación que tenga las partes flexibles y rígidas en su molécula, como comentan Loredó et al. (2017). Este polímero tiene la característica en degradarse en tres fases: 100°C a 300°C (pérdida de compuestos volátiles), en 300° a 400°C (degradación de uretanos) y a la temperatura de 400°C a 500°C (degradación de enlaces éster) como lo mencionan en el trabajo de Loredó et al. (2017) y Mathur y Prasad (2012). Estas fases de degradación coincidieron con el trabajo de Oprea et al. (2016), en donde señalaron que un poliuretano con celulosa mostró su degradación a una temperatura de 329°C, siguiendo los términos de degradación en fases, esto quiere decir, que comenzó a degradar los enlaces uretanos. Esta técnica es esencial para el análisis de poliuretano, porque se observa la masa del polímero cuando está a diferentes temperaturas, examinando así, los cambios de peso que tiene este, proporcionando información precisa.

**Figura 3.** Técnicas de medición del poliuretano



Fuente: Elaboración Propia

Por otro lado, se tiene a la Microscopía electrónica de barrido (SEM), esta técnica se usó en 2 medios, el primero en placas de agar donde se apreció

características como poros, rugosidad y grietas como lo indicaron Khan et al. (2017) y Beneš et al. (2020), en otros estudios indicaron que esta técnica muestra la topografía de la superficie del polímero, en este caso el poliuretano, se pudo observar manchas oscuras, hoyos, erosiones en el trabajo de Mathur y Prasad (2012), por otra parte, en Albara et al. (2017) observaron en su estudio cómo las hifas se adhirieron al polímero, coincidiendo con Oprea et al. (2017), también se vieron grietas y agujeros en la superficie del polímero. De este modo, la prueba de la capacidad para degradar poliuretano es cuando hay un gran número de hifas creciendo en la superficie y en el interior de este plástico como indica Álvarez et al. (2016). Debido a esto, se vio que el polímero mostró deformidades en su superficie con aparición de picaduras y agujeros como en el artículo científico de Osman et al. (2017). El segundo medio fue en líquido, el poliuretano presentó grietas y poros con pequeños trozos según el estudio de Khan et al. (2017), por otra parte, una espuma a base de lignina que estaba en respirometría líquida se apreciaron hifas y agujeros en el caso de Amaral et al. (2012). Por último, se tuvo la técnica de entierro de suelo, en el que se notó la decoloración del poliuretano en Khan et al. (2017) junto con un mayor número de agujeros como señaló Amaral et al. (2012). En efecto, esta técnica física es sustancial para el análisis del poliuretano, ya que muestra los cambios físicos en la estructura de este, junto con imágenes de alta resolución.

Finalmente, se tiene a la técnica de medición química, que es Espectroscopía Infrarroja con Transformada de Fourier (FTIR), el poliuretano se distingue por mostrar señales en  $3320\text{ cm}^{-1}$  relacionado con (N-H), vibraciones que están relacionadas con el enlace éster (C=O) a  $1730\text{ cm}^{-1}$ , en  $1620\text{ cm}^{-1}$  la vibración de enlaces uretanos (C=O) y dos vibraciones en  $1513\text{ cm}^{-1}$  y  $1234\text{ cm}^{-1}$  relacionados a (N-H) y (C-N) indicado por Loredó et al., (2017).

Igualmente, con Álvarez et al. (2016) en su estudio, se denotó la disminución de grupos carbonilos en  $1729\text{ cm}^{-1}$ , que está relacionado a los enlaces éster y se vio que los enlaces uretanos fueron afectados en  $1540\text{ cm}^{-1}$  y  $1261\text{ cm}^{-1}$ . Por otra parte, en Oprea et al., (2017) se observó un estiramiento de grupos carbonilo unidos a H en  $1680\text{ cm}^{-1}$  y  $1700\text{ cm}^{-1}$  y los enlaces uretanos muestran cambios estructurales en  $1719\text{ cm}^{-1}$  y  $1727\text{ cm}^{-1}$ . Sin embargo, en Khan

et al. (2017) se observó la deformación de N-H en  $1643.6\text{ cm}^{-1}$  y hubo presencia de una banda C-O-C a  $1218\text{ cm}^{-1}$ , esto evidenció que los enlaces éster no fueron hidrolizados.

En el caso de Magnin et al. (2018) en el TPU, se percibió que hubo un aumento de intensidad en  $3300\text{ cm}^{-1}$  y  $1700\text{ cm}^{-1}$ , la mayor disminución dio en  $1720\text{ cm}^{-1}$  donde se da la pérdida de peso. En Amaral et al. (2012) el grupo carbonilo disminuyó en  $1720\text{ cm}^{-1}$  relacionado con los enlaces uretanos y se vio que el pico relacionado con el éter fue en  $1080\text{ cm}^{-1}$ , eso concuerda con Fernandes et al. (2016) ya que en  $1720\text{ cm}^{-1}$ , por otra parte, se da la disminución de grupos carbonilos en CO-O se da un estiramiento en  $1163\text{ cm}^{-1}$ . Se puede apreciar que en el estudio de Beneš et al. (2020) hay un estiramiento del grupo carbonilo en  $1731\text{ cm}^{-1}$  al igual que Hung et al. (2019). Desde otro punto de vista, Ma y Wong (2013) en un rango de  $1000$  y  $1320\text{ cm}^{-1}$ , corresponden a los enlaces CO que son los enlaces éster.

Por lo contrario, Albara et al. (2017) indican que las bandas principales que caracterizan al polímero son: el estiramiento de NH se da en  $3325\text{ cm}^{-1}$ , el estiramiento de CH asimétrico y simétrico en  $2940\text{ cm}^{-1}$  y  $2855\text{ cm}^{-1}$ , en el caso de C=O se da entre  $1730\text{ cm}^{-1}$ . Es necesario resaltar que, cuando ocurre una reducción de enlaces o la reducción de picos, esto puede representar la ruptura de la cadena del polímero (Oprea et al., 2017).

Se puede comprender que esta técnica, percibe el cambio de los poliuretanos químicamente, ya sea el estiramiento o rompimiento de enlaces del grupo carbonilo, grupo amino, los enlaces éster y uretanos. Es por ello que, esta técnica es esencial para el análisis del poliuretano en tratamiento con hongos, ya que proporciona información esencial sobre los cambios químicos que tiene este tipo de polímero.

A continuación, se presenta la tabla 8 con los principales enzimas catalizadores de la biodegradación del poliuretano, tomando en cuenta a los autores, enzimas, clase, enlaces, pH y temperaturas recopilados de los artículos investigados.

**Tabla 8.** Principales enzimas que catalizan la biodegradación del poliuretano (PU) por medio de microorganismos fúngicos

AUTORES	ENZIMAS	CLASE	ENLACES	pH	TEMPERATURA
Loredo et al. (2017)	Ureasa	Hidrolasa	Dióxido de carbono Amoniaco	4.5	30°C
	Esterasa	Hidrolasa	Enlaces éster		
Khan et al. (2017)	Esterasa	Hidrolasa	Enlaces éster	9	37°C
	Lipasa	Hidrolasa	Enlace triacilglicerol	5	
Amaral et al. (2012)	Ureasa	Hidrolasa	Dióxido de carbono Amoniaco	Sistema de respirómetro en el suelo se tenía un pH de 6.8 30°C	
El-Morsy et al. (2017)	Proteasa	Hidrolasa	Enlaces peptídicos	pH oscilaba entre los valores de 7 y 8	28°C
	Lipasa	Hidrolasa	Enlace triacilglicerol		
	Lacasa	Oxidoreductasas	Sobre difenoles, sustancias a fines de donante Oxígeno como receptor		
	Esterasa	Hidrolasa	Enlaces éster		
Álvarez et al. (2016)	Esterasa	Hidrolasa	Enlaces éster	7	25° a 30°C
	Proteasa	Hidrolasa	Enlaces peptídicos		
	Ureasa	Hidrolasa	Dióxido de carbono		
			Amoniaco		

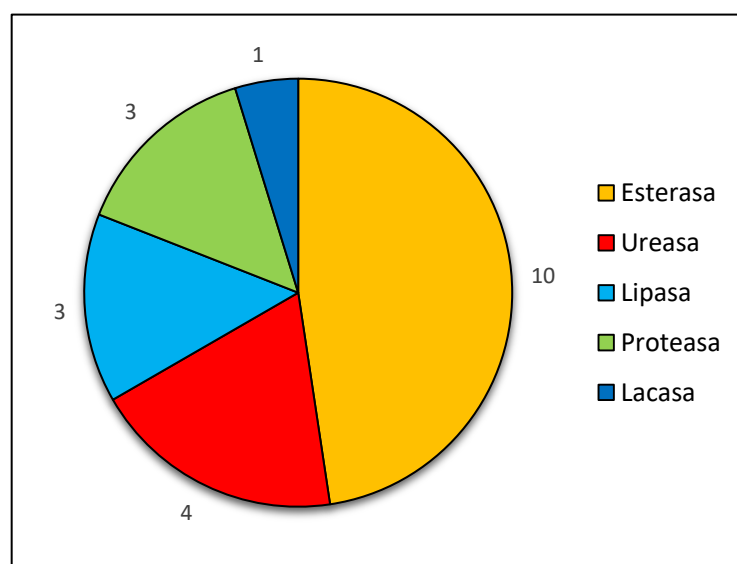


AUTORES	ENZIMAS	CLASE	ENLACES	pH	TEMPERATURA
Beneš et al. (2020)	Lipasa	Hidrolasa	Enlace triacilglicerol	No se identificó	28°C
Ibrahim et al. (2011)	Ureasa	Hidrolasa	Dióxido de carbono Amoniaco	7.2	30°C
	Proteasa	Hidrolasa	Enlaces peptídicos		
	Esterasa	Hidrolasa	Enlaces éster		
Brunner et al. (2018)	Esterasa	Hidrolasa	Enlaces éster	No se identificó	Temperatura ambiente entre 15° a 30°C
Mathur y Prasad (2012)	Esterasa	Hidrolasa	Enlaces éster	6.0 a 6.5	28°C
Osman et al. (2017)	Esterasa	Hidrolasa	Enlaces éster	7	30°C
Fernandes et al. (2016)	No se identificó	No se identificó	No se identificó	No se identificó	30°C
Hung et al. (2019)	No se identificó	No se identificó	No se identificó	4.5	25°C
Albara et al. (2017)	No se identificó	No se identificó	No se identificó	No se identificó	28°C
Oprea et al. (2016)	No se identificó	No se identificó	No se identificó	No se identificó	28°C
Ma y Wong (2013)	Esterasa	Hidrolasa	Enlaces éster	No se identificó	No se identificó
Magnin et al. (2018)	Esterasa	Hidrolasa	Enlaces éster	No se identificó	30°C
Oprea et al. (2017)	No se identificó	No se identificó	No se identificó	No se identificó	28°C
Zafar et al. (2013)	No se identificó	No se identificó	No se identificó	No se identificó	25°C, 45°C y 50°C

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4, se puede observar que, en todos los artículos recopilados, hubo mayor número de enzimas esterasa y ureasa. Según la base de datos llamado BRENDA (Universidad Técnica de Braunschweig, 2020), la ureasa y esterasa son de clase hidrolasa, esto quiere decir, que se encargan de reacciones de hidrólisis en la biodegradación.

**Figura 4.** Tipo de enzimas



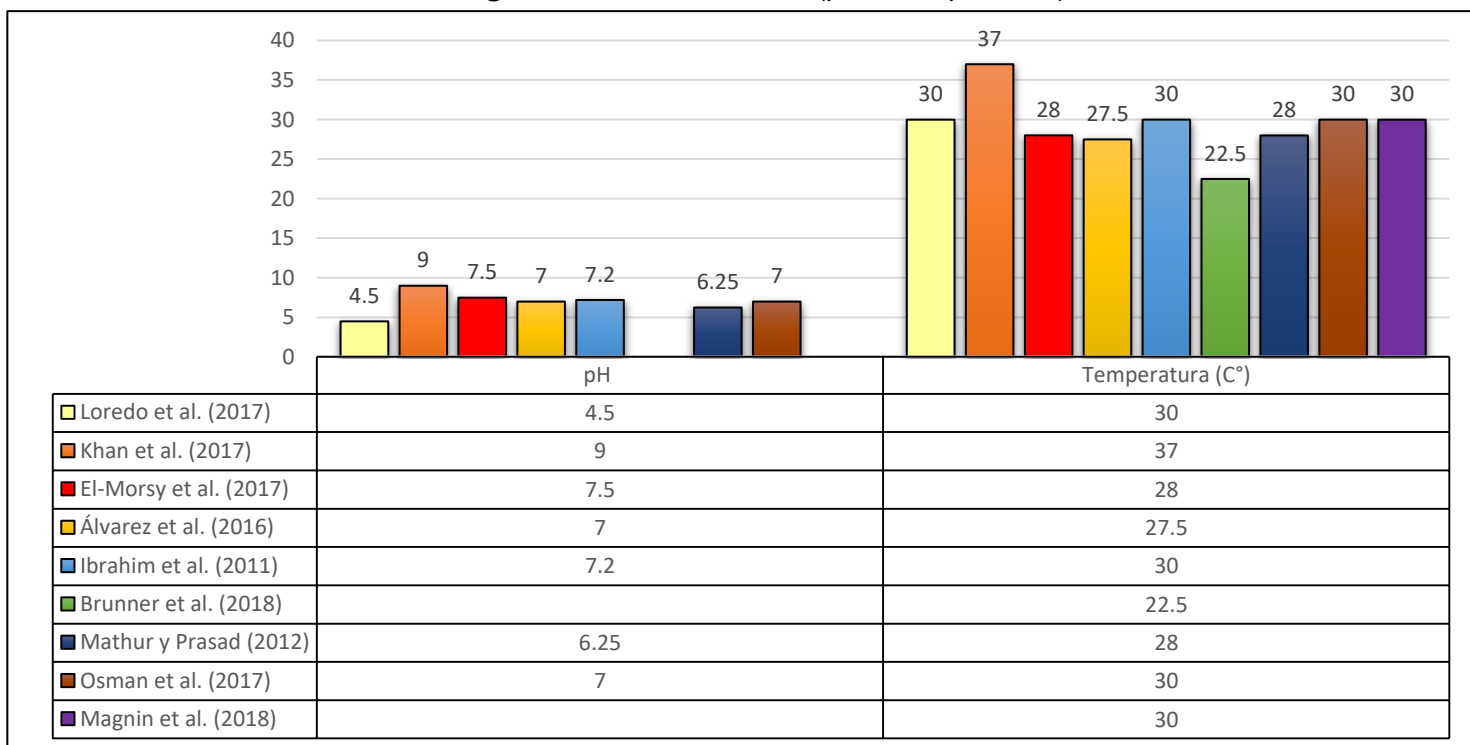
Fuente: Elaboración Propia

La enzima esterasa aparece en tratamientos de poliuretano como única fuente de carbono, como comentaron Loredo et al. (2017) y Magnin et al. (2018), por otra parte los tensoactivos aumentan la producción de esterasa como dice Khan et al. (2017), por otro lado, en estudios de aislamiento de 33 hongos hubo un 66.7% que eran productores de esterasa como se vio en el artículo de El-Morsy et al. (2017), coincidiendo con el estudio de Brunner et al. (2018), que durante la degradación de poliuretano se detectó, gran cantidad de segregación de la enzima esterasa, la cual juega un papel importante en la degradación de este polímero, realizando una reacción catalítica (Mathur y Prasad, 2012; Ma y Wong, 2013), según Osman et al. (2017) las enzimas que pueden degradar los sustratos como el poliuretano tienen propiedades que les permiten adsorber en su superficie. Es posible que la enzima más importante de la degradación del poliuretano es la enzima esterasa ya que se presentan en la mayoría de los estudios, este ayuda en la reacción de hidrólisis, rompiendo enlaces éster.

Por otra parte, la enzima ureasa actúa en los enlaces de dióxido de carbono y amoníaco, mientras que la enzima esterasa actúa en enlaces éster como indicaron Álvarez et al. (2016), esto es importante ya que existen tipos de poliuretano como, por ejemplo, el poliéster poliuretano, que tiene enlaces éster y el cual puede ser degradado por las enzimas esterasas por otro lado, la enzima ureasa inicia la hidrólisis del poliuretano, ayudando a degradar este polímero por acciones catalíticas. La ureasa puede modificar la molécula de poliuretano iniciando la etapa de hidrólisis, como se demostró en el estudio de Loredó et al. (2017), cuando se ve la ruptura de enlaces uretanos, se puede asimilar que la responsable de esta acción catalítica es gracias a la ureasa, como fue demostrado por Amaral et al. (2012). La mayoría de estudios donde se aislaron hongos como actores claves para la degradación, se segregaban enzimas, de las que destacó más la ureasa según Ibrahim et al. (2011). Probablemente, esta enzima es crucial para la biodegradación del poliuretano (Álvarez et al., 2016) ya que reacciona en la hidrólisis, en enlaces de grupo carbonilo y aparece por los sustratos que le suministran al hongo.

A continuación, se analiza el pH y temperatura de cada enzima mencionada anteriormente, según en los estudios recopilados para esta investigación.

**Figura 5.** Enzima esterasa (pH - Temperatura)

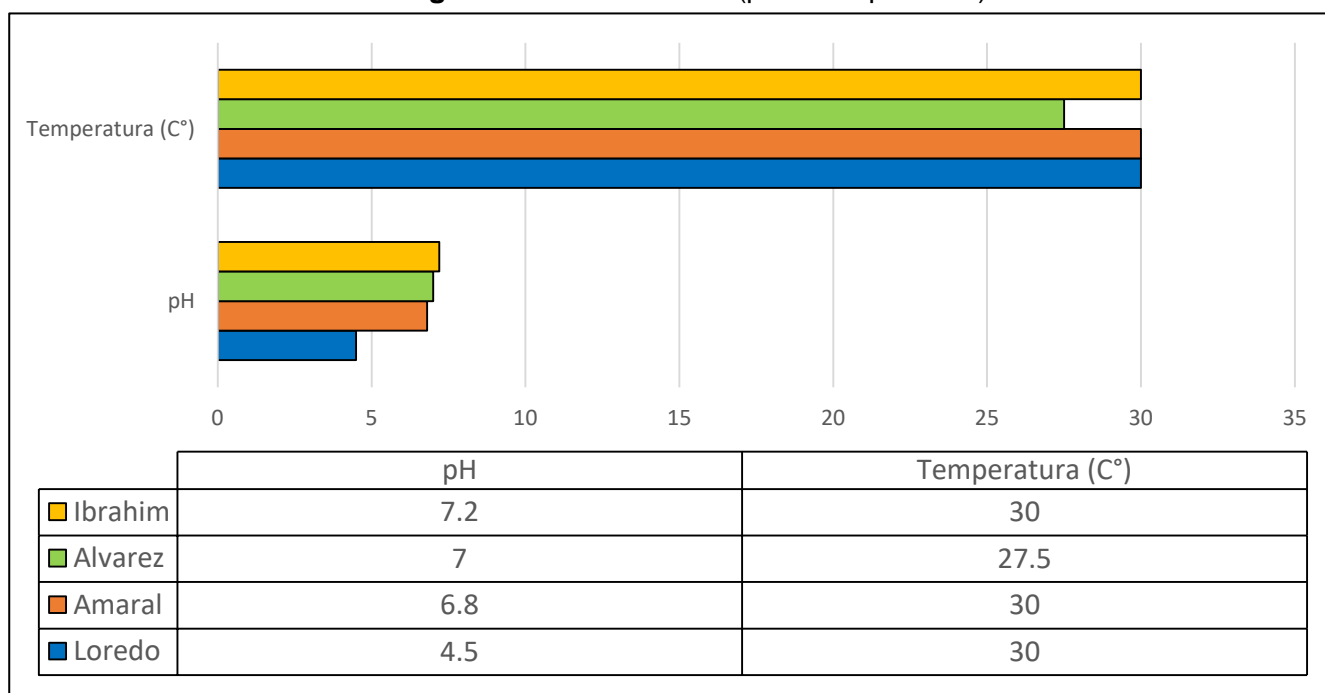


Fuente: Elaboración Propia

En las figuras 5 y 6, muestran las distintas temperaturas y pH que trabajan las enzimas ureasa y esterasa en distintos microorganismos fúngicos, muchos trabajos que trataron sobre la degradación de PU se enfocaban en estudios con bacterias, pero ahora en años recientes, se concentraron en la investigación con hongos, algunas de las enzimas fúngicas en el año 1980 fueron esterasa, endo y exo poliuretanasas del *Aspergillus terreus* como (Loredo et al., 2017). Los cambios que presentaron distintas películas de poliuretano fueron por las enzimas segregadas por los hongos que rompen y forman otros enlaces como mencionaron Khan et al. (2017). Esto coincide con otros estudios, como el de Magnin et al. (2018), en el que los microorganismos secretan enzimas extracelulares que son capaces de despolimerizar las macromoléculas de polímeros, reduciéndolas a monómeros

Los hongos segregan diferentes enzimas dependiendo del sustrato polimérico que se le otorga (Ibrahim et al., 2011). Otros estudios, como el de Álvarez et al. (2019), afirmaron que las enzimas que están relacionadas con la biodegradación del poliuretano, son la esterasa, ureasa y proteasa, coincidiendo esto con Mathur y Prasad (2012). Las enzimas que degradan los sustratos de poliuretano tienen propiedades que les permite absorber la superficie del sustrato, como afirma Osman et al. (2017).

**Figura 6.** Enzima ureasa (pH - Temperatura)



Fuente: Elaboración Propia

A continuación, se presenta la tabla 9, detallando la clasificación morfológica de los microorganismos fúngicos que biodegradan el poliuretano (PU), conformado por las especies, género, familia, orden, clase y filo, trabajados con los hongos de todos los autores recopilados.

**Tabla 9.** Clasificación morfológica de los microorganismos fúngicos que biodegradan el poliuretano (PU)

AUTORES	ESPECIE	GÉNERO	FAMILIA	ORDEN	CLASE	FILO
Brunner et al. (2018)	<i>bisporus</i>	<i>Agaricus</i>	<i>Agaricaceae</i>	<i>Agaricales</i>	<i>Agaricomycetes</i>	<i>Basidiomycota</i>
	<i>cladosporioides</i>	<i>Cladosporium</i>	<i>Capnodiaceae</i>	<i>Capnodiales</i>	<i>Dothideomycetes</i>	<i>Ascomycota</i>
	<i>griseofulvum</i>	<i>Penicillium</i>	<i>Trichocomaceae</i>	<i>Eurotiales</i>	<i>Eurotiomycetes</i>	<i>Ascomycota</i>
	<i>graminea</i>	<i>Xepiculopsis</i>	<i>Stachybotryaceae</i>	<i>Hypocreales</i>	<i>Sordariomycetes</i>	<i>Ascomycota</i>
	<i>sp.</i>	<i>Leptosphaeria</i>	<i>Leptosphaeriaceae</i>	<i>Pleosporales</i>	<i>Sordariomycetes</i>	<i>Ascomycota</i>
Ibrahim et al. (2011)	<i>oreades</i>	<i>Marasmius</i>	<i>Marasmiaceae</i>	<i>Agaricales</i>	<i>Agaricomycetes</i>	<i>Basidiomycota</i>
	<i>solani</i>	<i>Alternaria</i>	<i>Pleosporaceae</i>	<i>Pleosporales</i>	<i>Dothideomycetes</i>	<i>Ascomycota</i>
	<i>solani</i>	<i>Fusarium</i>	<i>Nectriaceae</i>	<i>Hypocreales</i>	<i>Sordariomycetes</i>	<i>Ascomycota</i>
	<i>fumigatus</i>	<i>Aspergillus</i>	<i>Trichocomaceae</i>	<i>Eurotiales</i>	<i>Eurotiomycetes</i>	<i>Ascomycota</i>
	<i>terreus</i>	<i>Aspergillus</i>	<i>Trichocomaceae</i>	<i>Eurotiales</i>	<i>Eurotiomycetes</i>	<i>Ascomycota</i>
Magnin et al. (2018)	<i>flavus</i>	<i>Aspergillus</i>	<i>Trichocomaceae</i>	<i>Eurotiales</i>	<i>Eurotiomycetes</i>	<i>Ascomycota</i>
	<i>flavi</i>	<i>Aspergillus</i>	<i>Trichocomaceae</i>	<i>Eurotiales</i>	<i>Eurotiomycetes</i>	<i>Ascomycota</i>
	<i>lanata-divaricata</i>	<i>Penicillium</i>	<i>Trichocomaceae</i>	<i>Eurotiales</i>	<i>Eurotiomycetes</i>	<i>Ascomycota</i>
Oprea et al (2017)	<i>sp.</i>	<i>Alternaria</i>	<i>Pleosporaceae</i>	<i>Pleosporales</i>	<i>Dothideomycetes</i>	<i>Ascomycota</i>
	<i>tenuissima</i>	<i>Alternaria</i>	<i>Pleosporaceae</i>	<i>Pleosporales</i>	<i>Dothideomycetes</i>	<i>Ascomycota</i>
Loredo et al. (2017)	<i>globosum</i>	<i>Chaetomium</i>	<i>Chaetomiaceae</i>	<i>Sordariales</i>	<i>Sordariomycetes</i>	<i>Ascomycota</i>
	<i>ustus</i>	<i>Aspergillus</i>	<i>Trichocomaceae</i>	<i>Eurotiales</i>	<i>Eurotiomycetes</i>	<i>Ascomycota</i>
	<i>sp.</i>	<i>Paecilomyces</i>	<i>Trichocomaceae</i>	<i>Eurotiales</i>	<i>Eurotiomycetes</i>	<i>Ascomycota</i>
Khan et al. (2017)	<i>sp.</i>	<i>Trichoderma</i>	<i>Hypocreaceae</i>	<i>Hypocreales</i>	<i>Sordariomycetes</i>	<i>Ascomycota</i>
	<i>tubingensis</i>	<i>Aspergillus</i>	<i>Trichocomaceae</i>	<i>Eurotiales</i>	<i>Eurotiomycetes</i>	<i>Ascomycota</i>

AUTORES	ESPECIE	GÉNERO	FAMILIA	ORDEN	CLASE	FILO
Amaral et al. (2012)	<i>niger</i>	<i>Aspergillus</i>	<i>Trichocomaceae</i>	<i>Eurotiales</i>	<i>Eurotiomycetes</i>	<i>Ascomycota</i>
Fernandes et al. (2016)	<i>niger</i>	<i>Aspergillus</i>	<i>Trichocomaceae</i>	<i>Eurotiales</i>	<i>Eurotiomycetes</i>	<i>Ascomycota</i>
Hung et al. (2019)	<i>niger</i>	<i>Aspergillus</i>	<i>Trichocomaceae</i>	<i>Eurotiales</i>	<i>Eurotiomycetes</i>	<i>Ascomycota</i>
Ma y Wong (2013)	<i>flavus</i>	<i>Aspergillus</i>	<i>Trichocomaceae</i>	<i>Eurotiales</i>	<i>Eurotiomycetes</i>	<i>Ascomycota</i>
Mathur y Prasad (2012)	<i>flavus</i>	<i>Aspergillus</i>	<i>Trichocomaceae</i>	<i>Eurotiales</i>	<i>Eurotiomycetes</i>	<i>Ascomycota</i>
	<i>fumigatus</i>	<i>Aspergillus</i>	<i>Trichocomaceae</i>	<i>Eurotiales</i>	<i>Eurotiomycetes</i>	<i>Ascomycota</i>
	<i>pseudocladosporioides</i>	<i>Cladosporium</i>	<i>Capnodiaceae</i>	<i>Capnodiales</i>	<i>Dothideomycetes</i>	<i>Ascomycota</i>
Álvarez et al. (2016)	<i>tenuissimum</i>	<i>Cladosporium</i>	<i>Capnodiaceae</i>	<i>Capnodiales</i>	<i>Dothideomycetes</i>	<i>Ascomycota</i>
	<i>asperulatum</i>	<i>Cladosporium</i>	<i>Capnodiaceae</i>	<i>Capnodiales</i>	<i>Dothideomycetes</i>	<i>Ascomycota</i>
	<i>montecillanum</i>	<i>Cladosporium</i>	<i>Capnodiaceae</i>	<i>Capnodiales</i>	<i>Dothideomycetes</i>	<i>Ascomycota</i>
Osman et al. (2017)	<i>fumigatus</i>	<i>Aspergillus</i>	<i>Trichocomaceae</i>	<i>Eurotiales</i>	<i>Eurotiomycetes</i>	<i>Ascomycota</i>
Zafar et al. (2013)	<i>ethanolica</i>	<i>Cándida</i>	<i>Saccharomycetaceae</i>	<i>Saccharomycetidae</i>	<i>Saccharomycetes</i>	<i>Ascomycota</i>
	<i>solani</i>	<i>Fusarium</i>	<i>Nectriaceae</i>	<i>Hypocreales</i>	<i>Sordariomycetes</i>	<i>Ascomycota</i>
Beneš et al. (2020)	<i>solani</i>	<i>Fusarium</i>	<i>Nectriaceae</i>	<i>Hypocreales</i>	<i>Sordariomycetes</i>	<i>Ascomycota</i>
Albara et al. (2017)	<i>anisopliae</i>	<i>Metarhizium</i>	<i>Clavicipitaceae</i>	<i>Hypocreales</i>	<i>Sordariomycetes</i>	<i>Ascomycota</i>
	<i>ruber</i>	<i>Monascus</i>	<i>Monascaceae</i>	<i>Eurotiales</i>	<i>Eurotiomycetes</i>	<i>Ascomycota</i>
El-Morsy et al. (2017)	<i>sanguineus</i>	<i>Monascus</i>	<i>Monascaceae</i>	<i>Eurotiales</i>	<i>Eurotiomycetes</i>	<i>Ascomycota</i>
	<i>sp</i>	<i>Monascus</i>	<i>Monascaceae</i>	<i>Eurotiales</i>	<i>Eurotiomycetes</i>	<i>Ascomycota</i>

Fuente: Elaboración propia



Según el dendograma de la figura 7, en filo, la mayoría de los autores señalaron que fueron *Ascomycotas*, exactamente 28 se identificaron y esto es a que son hongos con micelio compuesto de estructuras filamentosas (hifas) que producen ascosporas endógenas, sin embargo, hubo un estudio diferente, el cual fue de Brunner et al. (2018), quienes trabajaron con otro filo llamado *Basidiomycota*, dando como resultado que no degradó el polímero como esperaron, sino otra especie del filo mencionado al principio, esto garantiza aún más, que los hongos del filo *Ascomycota*, son mejor degradadoras que otras.

Por otra parte, en el grupo de clase, se encontró, de los 19 artículos científicos, a los *Eurotiomycetes* lo más común, esto es debido a que son hongos (mohos) capaces de vivir en ambientes muy variados, continuando luego con los *Dothideomycetes* y *Sordariomycetes*, que fueron más repetitivas también, salvo del estudio de Zafar et al. (2013) quienes utilizaron una *Cándida ethanolica* en su estudio, siendo de clase *Saccharomycetes* la única especie no repetida de todas.

Asimismo, en la clasificación según el orden, se encontró como 7 tipos y los que más sobresalieron fueron *Eurotiales* con 13 menciones en las investigaciones, esto significa que estos hongos forman mohos, seguido luego de los *Hypocreales* usados en 6 estudios, *Capnodiales*, experimentados por Brunner et al. (2018) y Álvarez et al. (2016), y *Pleosporales*, también empleados en 4 estudios diferentes.

Finalmente, se tuvo presente, a su familia, se presentó una variedad, pero el que más resaltó fue el *Trichocomaceae*, el cual significa que estos hongos se alimentan de residuos y sustancias descompuestas, esto no concordaron con los estudios de El-Morsy et al. (2017), quienes fueron los únicos en utilizar especies de la familia *Monascacea*, e indican que del mismo modo, fueron eficientes en la biodegradación de poliuretano. Pero de igual manera, se asegura más la teoría que es el *Trichocomaceae*, ya que fue mencionado por 12 artículos, como Ibrahim et al. (2011), quienes trabajaron con los *Aspergillus* de la misma familia.



Por otro lado, se realizó la tabla 10, con la finalidad de contestar al objetivo principal de esta exploración, se enfocó en el tipo de hongo, tanto su género como su especie, cuánto degradó, el tiempo, el polímero utilizado y su tamaño inicial, y los autores de cada estudio.

**Tabla 10.** Microorganismos fúngicos más utilizados para la biodegradación del poliuretano (PU)

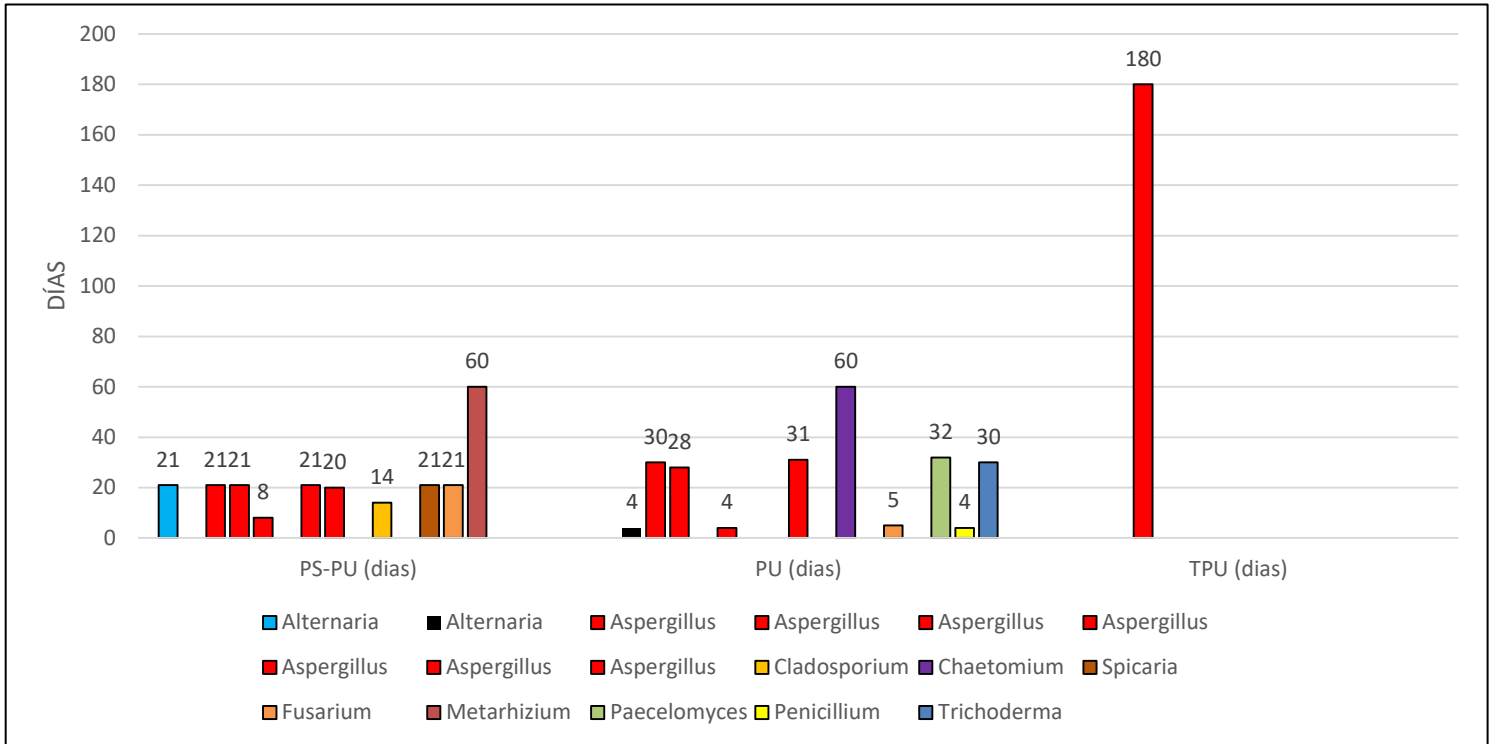
TIPO DE HONGO		CUÁNTO DEGRADÓ	TIEMPO	POLÍMERO	TAMAÑO INICIAL	AUTORES
GÉNERO	ESPECIE					
<i>Alternaria</i>	<i>solani</i>	71.80%	21 días	Poliéster - Poliuretano (PS-PU)	5 x 20 cm	Ibrahim et al. (2011)
	<i>sp.</i>	1.70%	4 días	Poliuretano (PU)	2 x 2 cm	Magnin et al. (2018)
<i>Aspergillus</i>	<i>flavus</i>	94%	21 días	Poliéster - Poliuretano (PS-PU)	5 x 20 cm	Ibrahim et al. (2011)
		60.60%	30 días	Poliuretano (PU)	4 x 3 cm	Mathur y Prasad (2012)
	<i>fumigatus</i>	43.50%	21 días	Poliéster - Poliuretano (PS-PUR)	5 x 20 cm	Ibrahim et al. (2011)
		20%	28 días	Poliuretano (PU)	2 x 2 cm	Osman et al. (2017)
		67%	180 días	Termoplástico Poliuretano (TPU)	0.6. x 0.6 cm	Fernandes et al. (2016)
<i>Aspergillus</i>	<i>niger</i>	32%	8 días	Poliéster - Poliuretano (PS-PU)	No se identificó	Hung et al. (2019)
		8.90%	4 días	Poliuretano (PU)	2 x 2 cm	Magnin et al. (2018)
	<i>terreus</i>	58%	21 días	Poliéster - Poliuretano (PS-PU)	5 x 20 cm	Ibrahim et al. (2011)
	<i>tubingensis</i>	90%	20 días	Poliéster - Poliuretano (PS-PU)	No se identificó (Beads de 1g)	Khan et al. (2017)
	<i>ustus</i>	40%	31 días	Poliuretano (PU)	0.05 a 0.2 cm	Loredo et al. (2017)
<i>Cladosporium</i>	<i>pseudocladosporioides</i>	87%	14 días	Poliéster - Poliuretano (PE-PU)	No se identificó	Álvarez et al. (2016)
<i>Chaetomium</i>	<i>globosum</i>	60%	60 días	Poliuretano (PU)	No se identificó	Oprea et al. (2016)

TIPO DE HONGO		CUÁNTO DEGRADÓ	TIEMPO	POLÍMERO	TAMAÑO INICIAL	AUTORES
GÉNERO	ESPECIE					
<i>Spicaria</i>	<i>spp.</i>	22.90%	21 días	Poliéster - Poliuretano (PS-PU)	5 x 20 cm	Ibrahim et al. (2011)
<i>Fusarium</i>	<i>solani</i>	100%	21 días	Poliéster - Poliuretano (PS-PU)	5 x 20 cm	Ibrahim et al. (2011)
		94%	5 días	Poliuretano (PU)	0.07 a 0.04 cm	Beneš et al. (2020)
<i>Metarhizium</i>	<i>anisopliae</i>	3%	60 días	Poliéster - Poliuretano (PS-PU)	2 x 2 cm	Albara et al. (2017)
<i>Paecilomyces</i>	<i>sp.</i>	40%	32 días	Poliuretano (PU)	0.05 a 0.2 cm	Loredo et al. (2017)
<i>Penicillium</i>	<i>lanata-divaricata</i>	1.30%	4 días	Poliuretano (PU)	2 x 2 cm	Magnin et al. (2018)
<i>Trichoderma</i>	<i>sp.</i>	40%	30 días	Poliuretano (PU)	0.05 a 0.2 cm	Loredo et al. (2017)

Fuente: Elaboración propia

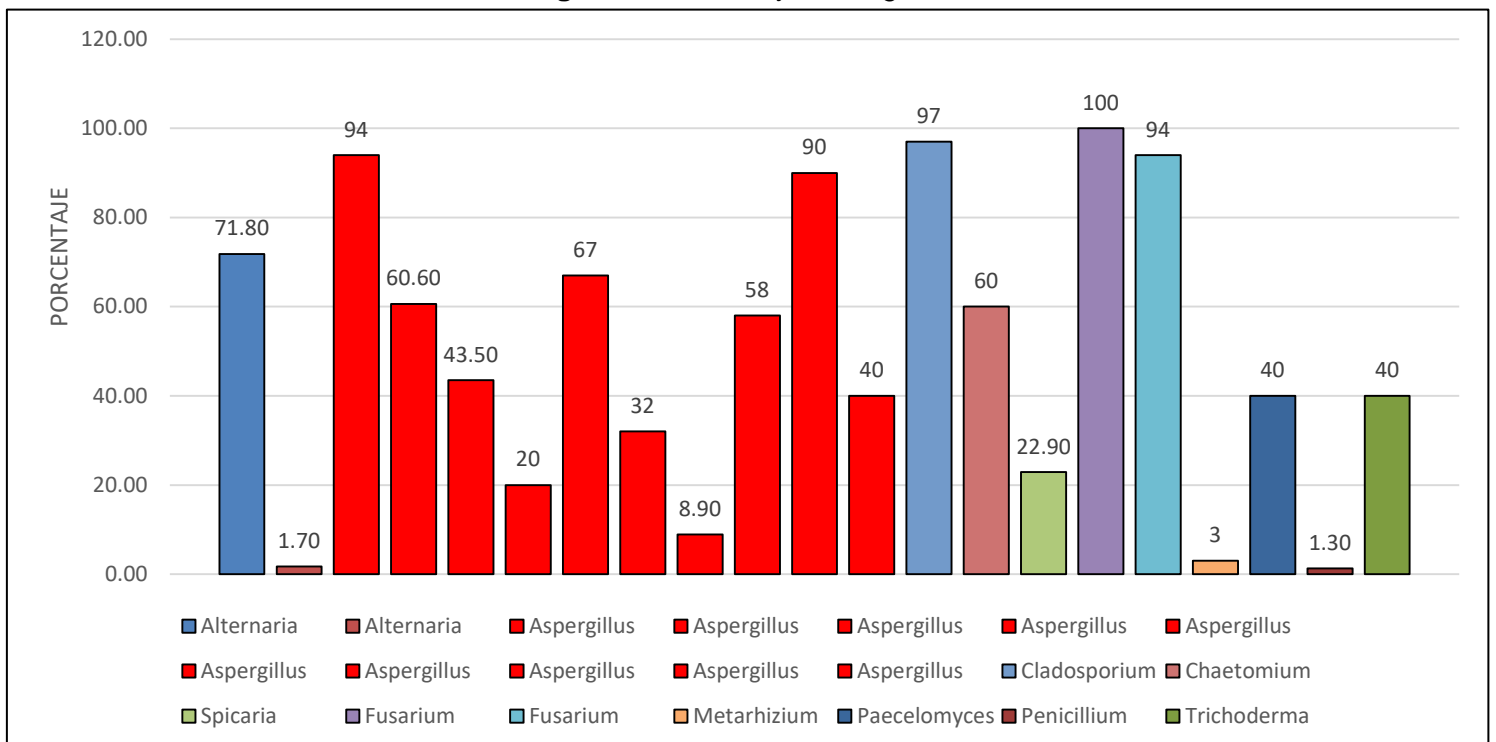
Se aprecia en el cuadro anterior, que, gracias a los seres vivos microscópicos con sus diferentes metodologías que usaron, se pudo disminuir las distintas cantidades de poliuretano, que es el objetivo primordial para estas investigaciones. La mayoría de autores trabajaron con la familia del hongo *Aspergillus*, de los 19 artículos, se usaron 7 especies de su género, inclusive hubo 2 autores que usaron el mismo tipo de hongo, como el caso *del A. flavus* por Ibrahim et al. (2011) y Mathur y Prasad (2012), *del A. fumigatus* trabajados por Ibrahim et al. (2011) y Osman et al. (2017) y *del A. niger* utilizados por Fernandes et al. (2016) y Hung et al. (2019). Y efectivamente se denota que esta especie son las que más porcentaje degrada en aquellos polímeros en menor tiempo, como se observa en la gráfica 8 presentada a continuación.

**Figura 8. Tiempo de degradación**



Fuente: Elaboración propia

**Figura 9. Porcentaje de degradación**



Fuente: Elaboración propia

En las figuras 8 y 9 anterior, se puede apreciar el tiempo en que degradó el poliuretano y el porcentaje de degradación de distintos microorganismos fúngicos, además, se puede observar que el hongo de *Aspergillus niger* con el polímero TPU, tardó 180 días, degradando un 67%, esto se notó en Fernandes et al. (2016), al contrario con Hung et al. (2019), el cual su *A. niger* con PS-PU degradó un 32% en 8 días, esto se debe a la distintas metodologías usadas, las técnicas de análisis, el PH, la temperatura, entre otras, que utilizaron cada estudio. Por otro lado, se aprecia 3 hongos del género *Aspergillus* que consumió el poliuretano en 21 días, estos son el *Aspergillus flavus*, que degradó un 94%, el *Aspergillus fumigatus* con un 20% y al *Aspergillus terreus* con 58%.

Por parte de Ibrahim et al. (2011), el tiempo de degradación coincide probablemente por utilizar el mismo tipo de polímero Poliéster - Poliuretano (PS-PU), por otro lado, con el hongo *Aspergillus flavus*, degradó en 30 días un porcentaje de 60.60% del plástico (Mathur y Prasad, 2012), igualmente Osman et al. (2017) trabajó con el hongo *Aspergillus fumigatus*, el cual biodegradó en 28 días con un porcentaje de 20%, esto posiblemente se debe a que experimentó con una misma fuente, la cual fue el polímero poliuretano (PU).

Asimismo, Magnin et al. (2018) realizó un estudio con el hongo *Aspergillus flavi*, el cual logró degradar el polímero poliuretano (PU) en 4 días, pero solo un 8.9%, a diferencia de Loredó et al. (2017), el cual pudo degradar un 40% en 31 días, utilizando el mismo sustrato polimérico. Por último, se menciona a Khan et al. (2017), quienes estudiaron con el hongo *Aspergillus tubingensis*, obteniendo un 90% en biodegradación en 20 días, teniendo como fuente de carbono, al poliéster-poliuretano (PS-PU).

## **V.CONCLUSIONES**

En este presente estudio, se pudo evaluar la capacidad que tiene algunos microorganismos fúngicos para la biodegradación de poliuretano como única fuente de carbono. Con respecto a las técnicas de medición más usadas para la degradación del poliuretano, se concluye que, son la espectroscopía infrarroja con transformada de Fourier (FTIR), la microscopía electrónica de barrido (SEM) y el análisis termogravimétrico (TGA); estas son esenciales para poder observar la estructura del polímero, ya sea en forma física, química o biológica y ver los cambios que suceden en su biodegradación por microorganismos fúngicos.

Por otro lado, como principales enzimas que catalizan la biodegradación, se llega a la conclusión que, son la ureasa, esterasa, lipasa, proteasa y lacasa, sin embargo, las que más destacan en esta biodegradación, son la ureasa y esterasa, que trabajan en los enlaces de dióxido de carbono o amoníaco y enlaces éster respectivamente. Estas dos enzimas son clave para que los microorganismos fúngicos biodegraden el poliuretano.

Asimismo, en cuanto a su clasificación taxonómica, se concluye que, en filo, estos son *Ascomycotas*, lo que significa que, son hongos con micelio compuesto de hifas que producen ascosporas endógenas; también, en clase, pertenecen a los *Eurotiomycetes*, esto es debido a que son capaces de vivir en ambientes muy variados; en la clase de orden, son *Eurotiales*, se caracteriza los hongos por formar mohos; finalmente, respecto a su familia, sobresalió más el *Trichocomaceae*, este describe al hongo como seres que se alimentan de residuos y sustancias descompuestas. Todo esto mencionado, describe como el perfil de un hongo que biodegrada el poliuretano.

Por último, en los microorganismos fúngicos más utilizados para la biodegradación del poliuretano, se llega a la conclusión que, el hongo *Aspergillus*, fue el más usado de todos los artículos, comprobando en varias investigaciones, que es capaz de degradar el polímero en mayor porcentaje y en menor tiempo, que lo que se puede descomponer en el medio ambiente.

## **VI. RECOMENDACIONES**

Resultado de la revisión, se sugiere lo siguiente:

Se recomienda investigar, con mayor profundidad, la biodegradación de poliuretano utilizando el género de *Aspergillus*, ya que se vio que es un gran candidato para degradar este polímero, junto a sus enzimas degradadoras como son la ureasa y esterasa.

Si bien es cierto, la mayoría de las investigaciones realizaron la biodegradación en placas Petri, verdaderamente hace falta ampliar o escalar el nivel de exploración, pudiéndose aplicar biorreactores semi-industriales o biorreactores de laboratorio, de esta manera se calcularía el volumen del plástico que se degrada ya sea por horas, días, meses o años y la cantidad de biomasa que se requiera para la degradación y los desechos que estos se generen.

Además, se puede observar que los hongos tienen una efectividad positiva para biodegradar el plástico poliuretano, sin embargo, se recomendaría realizar otros estudios con los mismos microorganismos fúngicos, pero con diferentes tipos de plástico que existen como, por ejemplo, el polietileno tereftalato (PET), poliestireno (PS), policloruro de vinilo (PVC), polipropileno (PP), entre otros.



## **REFERENCIAS**

1. ABILITY of fungi isolated from plastic debris floating in the shoreline of a lake to degrade plastic por Ivano Brunner [et al]. *Plos One* [en línea]. 22 de Agosto del 2018, vol. 13, n° 8. [Fecha de consulta: 22 de abril de 2020]. Disponible en <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0202047>  
ISSN: 1932-6203
2. APLICABILIDAD de los criterios de rigor y éticos en la investigación cualitativa por Ana Norena [et al]. *Scielo* [en línea]. 11 de Septiembre del 2012, vol. 12, n° 3. [Fecha de consulta: 8 de Junio de 2020]. Disponible en [http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1657-59972012000300006&script=sci\\_abstract&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1657-59972012000300006&script=sci_abstract&tlng=es)  
ISSN: 1657-5997.
3. APPLICATION of four-dimension criteria to assess rigour of qualitative research in emergency medicine por Roberto Forero [et al]. *BMC Health Serv Res.* [en línea]. 17 de Febrero de 2018, vol. 18. [Fecha de consulta: 20 de Junio de 2020]. Disponible en <https://doi.org/10.1186/s12913-018-2915-2>
4. ARDEBILI, Haleh, ZHANG, Jiawei y PECHT, Michael. Plastic encapsulant Materials. *Sciencedirect* [en línea]. 12 de Noviembre del 2011, vol. 20, n° 1. Fecha de consulta: 12 de Mayo de 2020]. Disponible en <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811978-5.00002-X>  
ISSN: 9780128119792
5. ARIAS, María y GIRALDO, Clara. El rigor científico en la investigación cualitativa. *Investigación y Educación en Enfermería* [en línea]. 2011, n° 3, vol. 29. [Fecha de consulta: 19 de Junio de 2020]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=105222406020>  
ISSN: 0120-5307
6. ASSESSMENT of potential plastic-degrading fungi in Jordanian habitats por Ibrahim N. [et al.]. *Tubitak* [en línea]. Enero 2011, vol. 35, n° 5. [Fecha de consulta: 25 de agosto de 2020]. Disponible en: [doi:10.3906/biy-0901-9](https://doi.org/10.3906/biy-0901-9)  
ISSN: 1300-0152

7. BAENA, Guillermina. Metodología de la investigación [en línea]. 1. a ed. México: Grupo Editorial Patria, 2014 [fecha de consulta: 27 de Mayo de 2020]. Disponible en <https://editorialpatria.com.mx/mobile/pdf/files/9786074384093.pdf>  
ISBN: 9786077440031
8. BERNARDO, Carlos, CARBAJAL, Yvana y CONTRERAS, Victoria. Metodología de la Investigación: Manual del estudiante. Lima: Universidad de San Martín de Porres, 2019. 168 pp. [Fecha de consulta: 24 de Junio de 2020]. Disponible en <https://www.usmp.edu.pe/estudiosgenerales/pdf/2019-I/MANUALES/II%20CICLO/METODOLOGIA%20DE%20LA%20INVESTIGACION.pdf>
9. BIOBASED Additives as Biodegradability Enhancers with Application in TPU-Based Footwear Components por Isabel Fernandes [et al]. Journal of Renewable Materials [en línea]. Enero 2016, vol.4, n° 1, [Fecha de consulta: 03 de agosto de 2020]. Disponible en:  
DOI:10.7569/JRM.2015.634126  
ISSN: 2164-6341
10. BIOCHEMICAL properties and biotechnological applications of microbial enzymes involved in the degradation of polyester-type plastics por Aneta Urbanek, Aneta [et al]. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Proteins and Proteomics* [en línea]. 22 de octubre del 2019, vol. 1868, n° 2. [Fecha de consulta: 07 de Mayo de 2020].  
Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.bbapap.2019.140315>  
ISSN: 1570-9639
11. BIODEGRADACIÓN fúngica de poliuretano rígido por Araceli Loredo [et al]. *Química Nova* [en línea]. 19 de septiembre de 2017, n° 8, vol. 40. [Fecha de consulta: 20 de junio de 2020]. Disponible en <https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170094>  
ISSN: 1678-7064
12. BIODEGRADATION of polyester polyurethane by *Aspergillus tubingensis* por Sehroon Khan [et al]. *Environmental Pollution* [en línea]. 15 de marzo

- 2017, vol. 225. [Fecha de consulta: 21 de abril de 2020]. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.03.012>  
ISSN: 0269-7491
13. BIODEGRADATION of Polyester Polyurethane by Endophytic Fungi por Jonathan Russell [et al]. *American Society for Microbiology* [en línea]. 21 de Junio del 2011, vol. 77, n° 17. [Fecha de consulta: 21 de abril de 2020]. Disponible en <https://doi.org/10.1128/AEM.00521-11>  
ISSN: 0099-2240
14. BIODEGRADATION of pyridine-based polyether polyurethanes by the *Alternaria tenuissima* fungus por Stefan Oprea [et al]. *Applied Polymer* [en línea]. Noviembre 2017, vol. 135, n° 4. [Fecha de consulta: 21 de agosto de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/app.46096>  
ISSN:1097-4628
15. BIODEGRADATIVE Activities of Selected Environmental Fungi on a Polyester Polyurethane Varnish and Polyether Polyurethane Foams por Joyce Álvarez [et al]. *American Society for Microbiology* [en línea]. 17 de junio del 2016, vol. 82, n° 17. [Fecha de consulta: 23 de abril de 2020]. Disponible en <https://aem.asm.org/content/82/17/5225.short>
16. BIOLOGÍA de Hongos por CEPERO María [et al.]. Bogotá: Universidad de los Andes, Facultad de Ciencias, Departamento de Ciencias Biológicas; Ediciones Uniandes, 2012. 522pp.  
ISBN: 9789586957014
17. BRENDA, the comprehensive enzyme information system. Alemania: Universidad Técnica de Braunschweig. 2 de Julio del 2020. Disponible en: <https://www.brenda-enzymes.org/index.php>
18. CARLILE, Michael, WATKINSON, Sarah y GOODAY, Graham. *The Fungi*. 2.a ed. USA: A Harcourt Science and Technology company, 2001. 603 pp.  
ISBN: 0127384464
19. CHARACTERIZATION of Polyurethane Foam Waste for Reuse in Eco-Efficient Building Materials por Raúl Gómez [et al]. *Polymers* [en línea]. 19

- de febrero de 2019, n° 2, vol. 11. [Fecha de consulta: 21 de junio de 2020].  
Disponible en <https://doi.org/10.3390/polym11020359>  
ISSN 2073-4360
20. CLAVIJO, Josué. Caracterización de materiales a través de medidas de microscopía electrónica de barrido (SEM). *Dialnet* [en línea]. Marzo del 2013, n° 3 [Fecha de consulta: 02 de noviembre de 2020]. Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5085347>  
ISSN: 2248-5252
21. CYPRESS, Brigitte. Rigor or Reliability and Validity in Qualitative Research. *Dimens Crit Care Nurs* [en línea]. Julio de 2017, n° 4, vol. 36. [Fecha de consulta: 11 de Junio de 2020]. Disponible en <https://doi.org/10.1097/DCC.0000000000000253>
22. DEGRADATION of Polyester Polyurethane by *Aspergillus* sp. Strain S45 Isolated from Soil por Muhammad Osman [et al]. *Springer* [en línea]. 6 de febrero de 2017. n° 26. [Fecha de consulta: 21 de junio de 2020].  
Disponible en <https://doi.org/10.1007/s10924-017-0954-0>  
ISSN: 1566-2543
23. DEGRADATION of polyurethanes in sea water por Maria Rutkowskaz [et al]. *Polymer Degradation and Stability* [en línea]. Diciembre de 2002, n° 2, vol. 76. [Fecha de consulta: 12 de Junio de 2020]. Disponible en [https://doi.org/10.1016/S0141-3910\(02\)00019-8](https://doi.org/10.1016/S0141-3910(02)00019-8)
24. DULZAIDES, María y MOLINA, Ana. Análisis documental y de información: dos componentes de un mismo proceso. *Scielo* [en línea]. Abril 2004, n°. 2. [Fecha de consulta: 02 de julio de 2020]. Disponible en [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1024-94352004000200011&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1024-94352004000200011&lng=es&tlng=es)  
ISSN: 1024-9435
25. EFECTOS nocivos del humo de la combustión sobre la salud y medio ambiente [en línea]. Sevilla: Diputación Provincial de Sevilla. Área de servicios públicos supramunicipales. [Fecha de consulta: 01 de noviembre de 2020]. Disponible en <https://www.aptb.org/descargas->

aptb/descargar?path=Invitados%252FEFECTOS\_NOCIVOS\_DEL\_HUMO\_DE\_LA\_COMBUSTION\_SOBRE\_LA\_SALUD\_Y\_EL\_MEDIO\_AMBIENTE\_ULTIMO.pdf

26. ELIAS, S.A. Plastics in the Ocean. *Encyclopedia of the Anthropocene* [en línea]. 2018. [Fecha de consulta: 28 de Abril de 2020]. Disponible en <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809665-9.10514-2>
27. ELLEN MacArthur Foundation. The new plastics economy: rethinking the future of plastics & catalyzing action [en línea]. Diciembre 2017. [Fecha de consulta: 29 de abril de 2020]. Disponible en <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/publications/the-new-plastics-economy-rethinking-the-future-of-plastics-catalysing-action>
28. EL-MORSY, E.M., HASSAN, H.M. y AHMED, Engy. Biodegradative activities of fungal isolates from plastic contaminated soils. *Mycosphere* [en línea]. 6 de agosto del 2017, vol. 8, n° 8. [Fecha de consulta: 10 de junio de 2020]. Disponible en <https://doi.org/10.5943/mycosphere/8/8/13>  
ISSN: 2077-7019
29. EMADIAN, Mehdi, ONAY, Turgut y DEMIREL, Burak. Biodegradation of bioplastics in natural environments. *Waste Management* [en línea]. 59: 526–536, enero de 2017. [Fecha de consulta: 29 de Abril de 2020]. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.10.006>  
ISSN: 0956-053X
30. ENSURING Rigor in Qualitative Data Analysis: A Design Research Approach to Coding Combining NVivo with Traditional Material Methods por Carmel Maher [et al]. Sage Journals [en línea]. 10 de Julio de 2018, vol. 17. [Fecha de consulta: 15 de Junio de 2020]. Disponible en <https://doi.org/10.1177/1609406918786362>
31. EVALUATION of biodegradability of green polyurethane/nanosilica composite synthesized from transesterified castor oil and palm oil based isocyanate por Sonalee Das [et al]. *ScienceDirect* [en línea]. 2 de Enero del 2017, vol. 117. [Fecha de consulta: 10 de junio de 2020].

Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2017.01.015>

ISSN: 0964-8305

32. EVALUATION of biological degradation of polyurethanes por Audrey Magnin [et al]. *Sciencedirect* [en línea]. 30 de Setiembre de 2019, vol. 39. [Fecha de consulta: 20 de junio de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2019.107457>  
ISSN: 0734-9750
33. EXPLORENZ. Trinity College de Dublín. 2005. Disponible en: <http://enzyme-database.org/>
34. FESSEHA, Haben y ABEBE, Fasil. Degradation of Plastic Materials Using Microorganisms: A Review. *Openventio Publishers* [en línea]. 19 de diciembre del 2019, vol. 4, n° 2. [Fecha de consulta: 21 de abril de 2020]. Disponible en <http://dx.doi.org/10.17140/PHOJ-4-136>  
ISSN 2472-3878
35. FUNGAL degradation of lignin-based rigid polyurethane foams por Amaral Joana [et al]. *Sciencedirect* [en línea]. Abril 2012, vol.17, n° 10. [Fecha de consulta: 02 de agosto de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2012.03.037>  
ISSN: 0141-3910
36. GEWERT, Berit, PLASSMANN, Merle y MACLEOD, Matthew. Pathways for degradation of plastic polymers floating in the marine environment. *Royal Society of Chemistry* [en línea]. 3 de Julio del 2015, vol. 17, n° 9. [Fecha de consulta: 08 de Mayo de 2020]. Disponible en <https://doi.org/10.1039/C5EM00207A>  
ISSN: 2050-7887
37. HERNÁNDEZ, Roberto, FERNÁNDEZ, Carlos y BAPTISTA, María. Metodología de la investigación. 6.<sup>a</sup> ed. México: McGRAW-HILL, 2014. 600 pp. [Fecha de consulta: 18 de Junio de 2020]. Disponible en [https://periodicooficial.jalisco.gob.mx/sites/periodicooficial.jalisco.gob.mx/files/metodologia\\_de\\_la\\_investigacion\\_-\\_roberto\\_hernandez\\_sampieri.pdf](https://periodicooficial.jalisco.gob.mx/sites/periodicooficial.jalisco.gob.mx/files/metodologia_de_la_investigacion_-_roberto_hernandez_sampieri.pdf)  
ISBN: 9781456223960

38. ISOLATION and characterization of different promising fungi for biological waste management of polyurethanes por Audrey Magnin [et al].  
*Sfamjournals* [en línea]. 27 de Diciembre 2018, vol. 12, n° 3. [Fecha de consulta: 09 de junio de 2020]. Disponible en <https://doi.org/10.1111/1751-7915.13346>  
ISSN: 1751-7915
39. JASMALA, Y. y MALAR, A. A new insight of degradation and stability performance of polyurethane and its composites. *Sciencedirect* [en línea]. 2018, vol. 5, n° 2. [Fecha de consulta: 08 de Junio de 2020].  
Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.12.213>  
ISSN: 2214-7853
40. KRASOWSKA, Katarzyna, HEIMOWSKA, Aleksandra y RUTKOWSKA, Maria. Thermoplastic Elastomers: Synthesis and Applications [en línea]. Croacia: InTech DTP team, 2015 [fecha de consulta: 11 de junio de 2020].  
Capítulo 4. Environmental Degradability of Polyurethanes.  
Disponible en <http://dx.doi.org/10.5772/60925>  
ISBN: 9789535122234
41. LIFETIME expectancy of polyurethane binder as magnetic recording media por Katsuhiko Nakamae [et al]. *Sciencedirect* [en línea]. 4 de marzo de 1996, n° 4 [Fecha de consulta: 02 de noviembre de 2020]. Disponible en [https://doi.org/10.1016/S0143-7496\(96\)00015-2](https://doi.org/10.1016/S0143-7496(96)00015-2)  
ISSN: 0143-7496
42. MA, Alina y WONG, Quentin. Identification of esterase in *Aspergillus flavus* during degradation of polyester polyurethane. *Canadian Young Scientist Journal*. Septiembre del 2013, vol. 6, n° 2. [Fecha de consulta: 12 de junio de 2020]. Disponible en <https://doi.org/10.13034/cysj-2013-004>  
ISSN: 1913-1925
43. MAHAJANA, Neha y GUPTA, Pankaj. New insights into the microbial degradation of polyurethanes. *Royal Society of Chemistry*. [en línea]. 21 de Abril del 2015, n° 5. [Fecha de consulta: 6 de Mayo de 2020].



Disponible en <https://doi.org/10.1039/C5RA04589D>

ISSN: 20462069

44. MATHUR, Garima y PRASAD, Ramasare. Degradation of Polyurethane by *Aspergillus flavus* (ITCC 6051) Isolated from Soil [en línea]. 26 de febrero del 2012, vol. 192, n° 2. [Fecha de consulta: 20 de agosto de 2020].  
Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s12010-012-9572-4>  
ISSN: 1559-0291
45. MCKEEN, Laurence. The Effect of UV Light and Weather on Plastics and Elastomers [en línea]. 4.<sup>a</sup> ed. Estados Unidos: *Plastics Design Library*, 2019 [fecha de consulta: 12 de mayo de 2020]. Capítulo 1. Introduction to Plastics and Polymers.  
Disponible en <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816457-0.00001-0>  
ISBN: 9780128164570
46. MICROBIAL degradation of plastic: a review por Kale Swapnil [et al]. *Journal of Biochemical Technology* [en línea]. 25 de Diciembre del 2015, vol. 6, n° 2. [Fecha de consulta: 05 de Mayo de 2020]. Disponible en <https://jbiochemtech.com/en/article/microbial-degradation-of-plastic-a-review>  
ISSN: 0974-2328
47. MICROBIAL Enzymes InVolved in Polyurethane Biodegradation: A Review por Araceli Loredó [et al]. *Journal of Polymers and the Environment* [en línea]. 12 de Noviembre del 2011, vol. 20, n° 1. [Fecha de consulta: 12 de Mayo de 2020]. Disponible en <https://doi.org/10.1007/s10924-011-0390-5>  
ISSN: 1566-2543
48. MICROORGANISM as Plastic Biodegradation Agent towards Sustainable Environment por Naimatul Muhamad [et al]. *AENSI Journals* [en línea]. 6 de Junio del 2015, vol. 9, n° 13. [Fecha de consulta: 03 de Mayo de 2020].  
Disponible en [https://www.researchgate.net/publication/332553623\\_Microorganism\\_as\\_plastic\\_biodegradation\\_agent\\_towards\\_sustainable\\_environment](https://www.researchgate.net/publication/332553623_Microorganism_as_plastic_biodegradation_agent_towards_sustainable_environment)  
ISSN: 1995-0756

49. MULTIFUNCTIONAL and fully aliphatic biodegradable polyurethane foam as porous biomass carrier for biofiltration por Hynek Beneš [et al].  
*Sciencedirect* [en línea]. Junio 2020, vol. 176 [Fecha de consulta: 01 de Agosto de 2020]. Disponible en  
<https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2020.109156>  
ISSN: 0141-3910
50. MYCO, Vicent. 21 de septiembre del 2020. Disponible en:  
<https://www.mycobank.org/>
51. PETRY DO CANTO, Vanessa, THOMPSON, Claudia y NETZ, Paulo.  
Polyurethanases: Three-dimensional structures and molecular dynamics simulations of enzymes that degrade polyurethane. *Journal of Molecular Graphics and Modelling* [en línea]. 6 de Marzo del 2019, vol. 89. [Fecha de consulta: 21 de abril de 2020]. Disponible en  
<https://doi.org/10.1016/j.jmglm.2019.03.001>  
ISSN: 1873-4243
52. PHANISANKAR, B. S. S., VASUDEVA RAO, N y MANIKANTA, J.E.  
Conversion of waste plastic to fuel products. *Materials Today: Proceedings* [en línea]. 28 de Marzo de 2020. [Fecha de consulta: 29 de Abril de 2020].  
Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.02.880>
53. PLOU, Francisco. ¿Qué sabemos de? Las enzimas [en línea]. España: Los Libros de la Catarata, 2016 [Fecha de consulta: 18 de marzo de 2005].  
Disponible en: <https://www.amazon.com/-/es/Francisco-J-Plou-Gasca/dp/8490971285>  
ISBN: 9788490971284
54. POLYURETHANE foam as substrate for fungal strains por Araceli Loredo [et al]. *Scientific Research* [en línea]. Abril 2011, vol.2, n° 2. [Fecha de consulta: 03 de agosto de 2020]. Disponible en [10.4236/abb.2011.22009](https://doi.org/10.4236/abb.2011.22009)  
ISSN: 2156-8502
55. POLYURETHANE types, synthesis and applications - a review por John Akindoyo [et al]. *Royal Society of Chemistry* [en línea]. 21 de Noviembre del 2016, vol. 6, n° 115. [Fecha de consulta: 10 de Mayo de 2020].

Disponible en <https://doi.org/10.1039/C6RA14525F>

ISSN: 2046-2069

56. REGLAMENTO de calificación, clasificación y registro de los investigadores del sinacyt [en línea]. Perú: Concytec. [Fecha de consulta: 20 de octubre de 2020]. Disponible en [https://portal.concytec.gob.pe/images/noticias/Propuesta\\_del\\_nuevo\\_Reglamento\\_del\\_investigador.pdf](https://portal.concytec.gob.pe/images/noticias/Propuesta_del_nuevo_Reglamento_del_investigador.pdf)
57. RITCHIE, Hannah y ROSER, Max. Plastic pollution. Our World in Data [en línea] Setiembre 2018. [Fecha de consulta: 28 de Abril de 2020]. Disponible en <https://ourworldindata.org/plastic-pollution>
58. RODRÍGUEZ, Ellen y VILLEGAS, Ernesto. Caracterización de polímeros aplicando el método termogravimétrico. *Portal de revistas académicas* [en línea]. Julio del 2012, n° 1 [Fecha de consulta: 02 de noviembre de 2020]. Disponible en: 10.15517/MYM.V2I1.13470  
ISSN: 2215-4558
59. RODRÍGUEZ, Walabonso. Guía de investigación científica [en línea]. Perú: Universidad de Ciencias y Humanidades Fondo Editorial, 2011 [fecha de consulta: 18 de marzo de 2005]. Disponible en [http://repositorio.uch.edu.pe/bitstream/handle/uch/23/rodriguez\\_arainaga\\_walabonso\\_guia%20\\_investigacion\\_cientifica.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.uch.edu.pe/bitstream/handle/uch/23/rodriguez_arainaga_walabonso_guia%20_investigacion_cientifica.pdf?sequence=1&isAllowed=y)  
ISBN: 9786124109041
60. ROJAS, Xiomara y OSORIO, Belkis. Criterios de Calidad y Rigor en la Metodología Cualitativa. *Gaceta de pedagogía revista electrónica (RGP)* [en línea]. 2017, n° 36. [Fecha de consulta: 08 de Junio de 2020]. Disponible en [https://www.researchgate.net/publication/337428163\\_Criterios\\_de\\_Calidad\\_y\\_Rigor\\_en\\_la\\_Metodologia\\_Cualitativa](https://www.researchgate.net/publication/337428163_Criterios_de_Calidad_y_Rigor_en_la_Metodologia_Cualitativa)  
ISSN: 0435-026X
61. ROLE of microbes in degradation of synthetic plastics and manufacture of bioplastics por Priya Trivedi [et al]. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research* [en línea]. 8(3):211-216, 2016. [Fecha de consulta: 29 de abril de


- 2020]. Disponible en <http://www.jocpr.com/articles/role-of-microbes-in-degradation-of-synthetic-plastics-and-manufacture-of-bioplastics.pdf>  
ISSN: 0975-7384
62. RUIZ, Margarita y VIVES, Tania. Autenticidad y calidad en la investigación educativa cualitativa: multivocalidad. *Revista investigación en educación médica* [en línea]. 29 de Abril del 2016, vol. 5, n° 19. [Fecha de consulta: 8 de Junio de 2020]. Disponible en <http://riem.facmed.unam.mx/node/542>  
ISSN: 2007-5057
63. RUTBERG, Shannon y BOUIKIDIS, Christina. Focusing on the Fundamentals: A Simplistic Differentiation Between Qualitative and Quantitative Research. *Nephrology Nursing Journal* [en línea]. Marzo de 2018, n° 2, vol. 45. [Fecha de consulta: 11 de Junio de 2020]. Disponible en <http://www.homeworkgain.com/wp-content/uploads/edd/2019/09/20181009143525article2.pdf>
64. SÁNCHEZ, Hugo, REYES, Carlos y MEJÍA, Katia. Manual de términos en investigación científica, tecnológica y humanística [en línea]. Perú: Universidad Ricardo Palma, 2018 [fecha de consulta: 28 de mayo de 2020]. Disponible en <http://repositorio.urp.edu.pe/handle/URP/1480?show=full>  
ISBN: 9786124735141
65. SHUBHA, Rani. Bioremediation of Polythenes and Plastics: A Microbial Approach. *SpringerOpen* [en línea]. 9 de diciembre del 2018. [Fecha de consulta: 05 de mayo de 2020]. Disponible en [https://doi.org/10.1007/978-3-030-02369-0\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-030-02369-0_6)  
ISSN: 978-3-030-02369-0
66. SYNTHESIS of highly functionalized thermoplastic polyurethanes and their potential applications por Jihyun Choi [et al]. *Polymer* [en línea]. 31 de marzo del 2017, vol. 116. [Fecha de consulta: 08 de mayo de 2020]. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2017.03.083>  
ISSN: 0032-3861
67. SYNTHESIS, properties, and fungal degradation of castor-oilbased polyurethane composites with different cellulose contents por Stefan Oprea

- [et al]. Springer [et al]. 4 de junio de 2016, n°. 47. [Fecha de consulta: 15 de junio de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10570-016-0972-4>  
ISSN: 09690239
68. TANTISATTAYAKUL, Thanapol, KANCHANAPIYA, Premrudee y METHACANON, Pawadee. Comparative waste management options for rigid polyurethane foam waste in Thailand. *Journal of Cleaner Production* [en línea]. 20 de Setiembre de 2018, vol. 196. [Fecha de consulta: 16 de Junio de 2020].  
Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.166>
69. TENDENCIA del crecimiento en la cultura del reciclaje por María Chacón [et al]. *Revista de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales* [en línea]. Septiembre Del 2016, vol. 2, n° 5. [Fecha de consulta: 12 de mayo de 2020]. Disponible en  
[https://www.ecorfan.org/spain/researchjournals/Ciencias\\_Ambientales\\_y\\_Recursos\\_Naturales/vol2num5/Revista\\_de\\_Ciencias\\_Ambientales\\_y\\_Recursos\\_Naturales\\_V2\\_N5\\_7.pdf](https://www.ecorfan.org/spain/researchjournals/Ciencias_Ambientales_y_Recursos_Naturales/vol2num5/Revista_de_Ciencias_Ambientales_y_Recursos_Naturales_V2_N5_7.pdf)  
ISSN: 2444-4936
70. THE biodegradation of polyester and polyester polyurethane coatings using *Papiliotrema laurentii* por Chia-Suei Hung [et al]. *International Biodeterioration & Biodegradation* [en línea]. Abril del 2019, vol. 139. [Fecha de consulta: 22 de abril de 2020]. Disponible en  
<https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2019.02.002>  
ISSN: 0964-8305
71. TUTORIAL para el Aprendizaje de la Técnica de Espectroscopia de Infrarrojo de Transformada de Fourier (FTIR) para Estudiantes de Biofísica: Estudio de Membranas por Orjuela, Natalia del Pilar [et al]. *Góndola* [en línea]. Enero del 2008, n° 1. [Fecha de consulta: 01 de noviembre de 2020]. Disponible en  
<https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/GDLA/article/view/5279/6913>  
ISSN: 2145-4981

72. UV-Surface Treatment of Fungal Resistant Polyether Polyurethane Film- Induced Growth of Entomopathogenic Fungi por Gabriela Albara [et al]. *International Journal of Molecular Sciences* [en línea]. 18 de Julio del 2017, vol. 18, n° 7. [Fecha de consulta: 10 de junio de 2020]. Disponible en <https://doi.org/10.3390/ijms18071536>  
ISSN: 1422-0067
73. WANG, Mary, HE, Yaodong y SEN, Yaodong. Research and management of plastic pollution in coastal environments of China. *Environmental Pollution* [en línea]. 28 de Febrero del 2019, vol. 248. [Fecha de consulta: 10 de Mayo de 2020]. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.02.098>
74. WILLIAMS, Carrie. Research Methods. *Journal of Business & Economics Research* [en línea]. 01 de Marzo de 2007, n° 3, vol. 5. [Fecha de consulta: 14 de Junio de 2020]. Disponible en <https://doi.org/10.19030/jber.v5i3.2532>
75. ZAFAR, Urooj, HOULDEN, Ashley y ROBSON, Geoffrey. Fungal Communities Associated with the Biodegradation of Polyester Polyurethane Buried under Compost at Different Temperatures. *AEM* [en línea]. Julio 2013, vol. 79, n°23. [Fecha de consulta: 19 de agosto de 2020]. Disponible en: DOI: 10.1128/AEM.02536-13  
ISSN:0099-2240

## **ANEXOS**

## ANEXO 01: FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

 <b>UCV</b> UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO	<h1 style="margin: 0;">FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS</h1>	
<b>TÍTULO:</b> Biodegradation of polyester polyurethane by <i>Aspergillus tubingensis</i>		
<b>REVISTA:</b> Sciencedirect	<b>AÑO DE PUBLICACIÓN:</b> 2017	<b>LUGAR DE PUBLICACIÓN:</b> China
<b>TIPO DE INVESTIGACION:</b> Cuantitativa		<b>CÓDIGO:</b> doi.org/10.1016/j.envpol.2017.03.012
<b>AUTOR(ES):</b>	Sehroon Khan, Sadia Nadir, Zia Ullah Shah, Aamer Ali Shah, Samantha C. Karunarathna, Jianchu Xu, Afsar Khan, Shahzad Munir, y Fariha Hasan	
<b>PALABRAS CLAVES:</b>	Biodegradación, Esterasa, Lipasa, Poliuretano, ATR-FTIR, Microscopía electrónica de barrido	
<b>TIPO DE POLIURETANO:</b>	Poliéster Poliuretano	
<b>ENZIMA:</b>	Esterasa y Lipasa	
<b>NOMBRE DEL HONGO:</b>	<i>Aspergillus tubingensis</i>	
<b>CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA:</b>	Filo: <i>Ascomycota</i> Clase: <i>Eurotiomyctes</i> Orden: <i>Eurotiales</i> Familia: <i>Trichocomaceae</i> Género: <i>Aspergillus</i> Especie: <i>tubingensis</i>	
<b>TÉCNICAS DE ANÁLISIS:</b>	- Espectroscopía Infrarroja con Transformada de Fourier (FTIR) - Microscopía Electrónica de Barrido (SEM)	
<b>RESULTADOS:</b>	Mostraron que el <i>Aspergillus tubingensis</i> puede crecer en la superficie del poliuretano y biodegradarlo, se mostraron grietas, poros y la pérdida de resistencia de tracción por medio de las técnicas de análisis.	
<b>CONCLUSIONES:</b>	La biodegradación del poliuretano fue mayor en la placa de agar SDA, y se llegó a la conclusión que, esto se debe a la disponibilidad de los nutrientes y el alto crecimiento y segregación de enzimas.	

Fuente: Elaboración Propia





## **Declaratoria de Originalidad del Autor / Autores**

Yo (Nosotros), ORNELLA VICTORIA RETAMOZO CALLE, YESENIA JULIETH FLORES ICOCHEA estudiante(s) de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA y Escuela Profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO, declaro (declaramos) bajo juramento que todos los datos e información que acompañan al Trabajo de Investigación / Tesis titulado: "REVISIÓN SISTEMÁTICA: BIODEGRADACIÓN DEL POLIURETANO UTILIZANDO MICROORGANISMOS FÚNGICOS", es de mi (nuestra) autoría, por lo tanto, declaro (declaramos) que el :

1. No ha sido plagiado ni total, ni parcialmente.
2. He (Hemos) mencionado todas las fuentes empleadas, identificando correctamente toda cita textual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes.
3. No ha sido publicado ni presentado anteriormente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

En tal sentido asumo (asumimos) la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

<b>Apellidos y Nombres del Autor</b>	<b>Firma</b>
ORNELLA VICTORIA RETAMOZO CALLE <b>DNI:</b> 73241158 <b>ORCID</b> 0000-0002-4497-1154	Firmado digitalmente por: ORETAMOZOC el 23 Dic 2020 22:25:43
YESENIA JULIETH FLORES ICOCHEA <b>DNI:</b> 72698479 <b>ORCID</b> 0000-0002-6540-1126	Firmado digitalmente por: YFLORESIC el 10 May 2021 17:06:18

Código documento Trilce: