



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Efectividad de la bacteria *Ideonella Sakaiensis* para la biodegradación de materiales de Polietileno Tereftalato (PET), en el periodo 2019 II

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE:

Bachiller en Ingeniería Ambiental

AUTORES:

Flores Icochea, Yesenia Julieth (ORCID: 0000-0002-6540-1126)

Huaraca Huaman, Andrea (ORCID: 0000-0002-1983-0704)

Lujan Espinoza, Carlos Raúl (ORCID: 0000-0002-3074-580X)

Retamozo Calle, Ornella Victoria (ORCID: 0000-0002-4497-1154)

ASESOR:

Mg. Garzón Flores, Alcides (ORCID: 0000-0002-0218-8743)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Tratamiento y Gestión de los Residuos

LIMA – PERÚ
2019

Dedicatoria

Dedicado para nuestros padres, por habernos forjado como las personas que somos en la actualidad, por apoyarnos en este proyecto, por la motivación que nos dan y a nuestros profesores por ayudarnos y asesorarnos.

Agradecimiento

Agradecemos a Dios, que con su bendición nos guía por el buen camino, por ser nuestro apoyo y fortaleza. Gracias a nuestros padres por ser los motores de nuestros sueños y metas. Agradecer a nuestros docentes de la Escuela de Ingeniería Ambiental, por compartirnos sus conocimientos, dedicación y su apoyo incondicional.

Índice

Carátula.....	1
Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento	iii
Índice de Contenidos	iv
Índice de tablas.....	v
Índice de figuras	vi
Resumen	vii
Abstract.....	viii
I. INTRODUCCIÓN.....	9
II. MÉTODO.....	13
2.1 Tipo y diseño de investigación	13
2.2 Escenario de estudio.....	13
2.3 Participantes	13
2.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	14
2.5 Procedimiento.....	15
2.6 Método de análisis e información	15
2.7 Aspectos éticos	15
III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	16
IV. CONCLUSIONES.....	20
V. RECOMENDACIONES	21
REFERENCIAS.....	22
ANEXOS	28

Índice de tablas

Tabla 1: Cuadro de participantes 6

Tabla 2: Cuadro de trabajos previos (Bacteria *Ideonella Sakaiensis*) 9

Índice de figuras

Figura 1: Composición química del PET	2
Figura 2: Bacteria Ideonella Sakaiensis degradando al PET.....	3
Figura 3: Parámetro de pH.....	10
Figura 4: Parámetro de Temperatura.....	10
Figura 5: Parámetro de Tiempo	11

Resumen

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo, determinar la eficiencia de la bacteria *Ideonella Sakaiensis* para degradar el plástico polietileno tereftalato (PET), por ello se investigó más de teorías respecto al tema y antecedentes relacionados a nuestro trabajo. Nuestra investigación fue de tipo cualitativa, básica, no experimental - transversal, ya que se aplica una revisión de artículos científicos, tesis, revistas y libros en español e inglés de otros autores. El procedimiento que se utilizó fue la observación, de tipo documental, ya que se identificó, se seleccionó y finalmente se analizó los documentos relacionados con el hecho a estudiar. Teniendo como resultados, por recopilación y comparación, que, tras realizar diluciones sucesivas y cultivarlas en películas PET, se aisló la bacteria que lo degrada, tratándose de una Gram Negativa y aeróbica. Además, se realizó un cuadro con los participantes, comparando parámetros como pH, temperatura, tiempo y cantidad de PET degradante, para que al final, se explique con unas gráficas. Concluyendo que, la bacteria *Ideonella Sakaiensis* sí logra desintegrar el Polietileno tereftalato (PET) hasta sus componentes originales, es decir ácido tereftálico y etilenglicol, lo que permite inferir que los microorganismos utilizan distintas vías metabólicas para desintegrar estos materiales presentes en el ambiente.

Palabras clave: Bacteria, polietileno tereftalato, biodegradación, enzimas

Abstract

The present paper of investigation had like objective, to determine the efficiency of the bacterium *Ideonella Sakaiensis* to degrade the plastic polyethylene tereftalate (PET), for that reason more theories were investigated with respect to the subject and antecedents related to our work. Our research was of a qualitative, basic, non-experimental - transversal type, since a revision of scientific articles, theses, magazines and books in Spanish and English of other authors is applied. The procedure used was observation, of a documentary type, since the documents related to the event to be studied were identified, selected and finally analyzed. Having as results, by compilation and comparison, that, after carrying out successive dilutions and cultivating them in PET films, it was isolated the bacterium that degrades it, being a negative and aerobic Gram. In addition, a chart was made with the participants, comparing parameters such as pH, temperature, time and amount of degrading PET, so that at the end, it is explained with some graphs. Concluding that, the bacterium *Ideonella Sakaiensis* does manage to disintegrate the Polyethylene Terephthalate (PET) up to its original components, that is to say, terephthalic acid and ethylene glycol, which allows inferring that the microorganisms use different metabolic ways to disintegrate these materials present in the environment.

Keywords: Bacterium, polyethylene terephthalate, biodegradation, enzymes

I. INTRODUCCIÓN

La ONU informa, que, en la actualidad, se estima un promedio de 7.700 millones de habitantes en el mundo, y se sabe que el crecimiento poblacional va en aumento. Esto lleva a que la demanda de productos se incremente, especialmente los envoltorios que originan grandes volúmenes de desperdicios, estos están conformados por polímeros sintéticos o llamados plásticos, este tipo de material es resistente al proceso de degradación. El plástico se emplea más en el mundo y esto es porque es un elemento sencillo y barato para su fabricación, tiene una larga duración, a estas mal llamadas “ventajas” siendo aliados principales de la contaminación. “El politereftalato de etileno (PET) se usa en todo el mundo y se ha convertido en una preocupación ambiental. La degradación enzimática de PET está limitada por pocas especies de microorganismos, la biodegradación todavía no es una estrategia viable de remediación” (Yoshida, et al., 2016).

La producción de estos polímeros sintéticos, hoy en día, es una de las industrias más destacadas a nivel mundial. Por ello, existe un alto nivel de contaminación originado por el volumen excesivo de residuos que se generan día a día, la falta de tratamiento adecuado conlleva al deterioro del medio ambiente y la proliferación de enfermedades, trayendo como consecuencia que la salud de las personas descienda (Sharon y Sharon, 2012). Por otra parte, se han desarrollado diferentes investigaciones donde se evidencia las consecuencias de los polímeros sintéticos y respecto a su degradación. En los últimos años se han mencionado métodos biológicos para poder degradar estos materiales, es decir de manera natural y segura. El detalle está en ver qué tipos de microorganismos tiene la capacidad de poder descomponer estas cadenas poliméricas (Tokiwa et al., 2009).

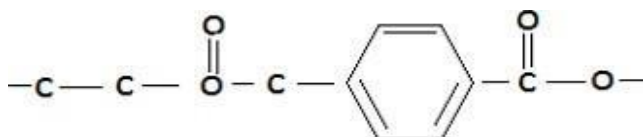
En cuanto los trabajos previos realizados de interés internacional se establecieron que la bacteria *Ideonella Sakaiensis* puede degradar PET con las enzimas PETasa y MHETasa (Yoshida, 2016, p.5). La degradación ambiental del PET se produce por acción sinérgica de foto-oxidación termo-oxidativa y actividad biológica (microorganismos). Su degradación se puede mejorar añadiendo aditivos, pues mejora la autooxidación, reduce el peso molecular para que los

microorganismos degraden más fácil el polímero (Tokiwa, 2009, p. 3735). La explicación anterior está detallada en el anexo 1.

Por otro lado, en las teorías relacionadas al trabajo de investigación, se define a los polímeros sintéticos como grandes moléculas que están compuestos por enlaces de muchas unidades repetitivas, estos están formados normalmente por enlaces covalentes entre los átomos de carbono que forman una cadena polimérica. (Ravve, 2013, p.1).

Asimismo, se describe al plástico Polietileno Tereftalato (PET), este polímero termoplástico se produce por la polimerización de etilenglicol con un ácido denominado tereftálico. En su estructura química consta de la unión del ácido tereftálico, etilenglicol, óxido de etileno y el etileno. El PET tiene una temperatura de fusión baja, y es básicamente un material blando, el anillo bencénico, por el cual está formado, también le brinda mayor rigidez (Susnavas, 2017, p.11). En la figura 1 se puede ver la composición química del PET.

Figura 1. Composición química del PET

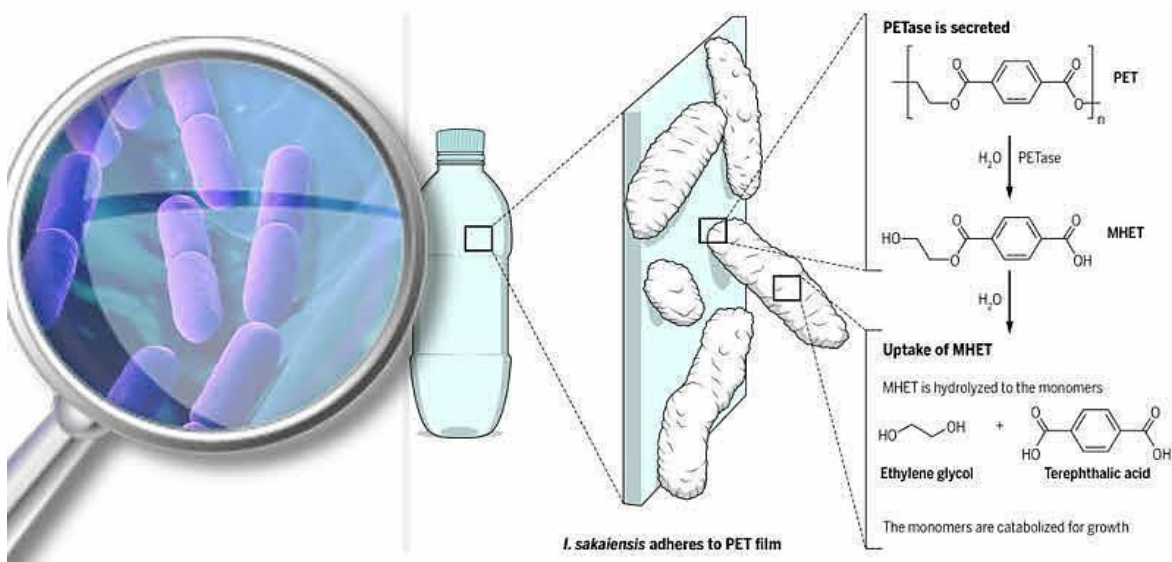


Fuente: Blanco, 2012

Por otra parte, existen los microorganismos, que se desarrollan en ambientes naturales, siendo su crecimiento variado, dependiendo de las interacciones que tenga ya sea sinérgicas, antagónicas, etc., así como también, por las características químicas y físicas del entorno en donde se encuentren (Aguirre et al. 2014, p.1). Dentro de este conocimiento, está el uso de microorganismos eficientes, que según el diario “El País”, científicos japoneses hallaron en una planta de reciclaje de plásticos, una bacteria denominada “*Ideonella Sakaiensis*”, la cual puede degradar el plástico PET en un menor tiempo que otras bacterias (2018). Esta codifica 2 enzimas PETasa y MHET hidrolasa, la primera convierte el PET en ácido tereftalato cuando lo ingiere y el segundo convierte el compuesto en dos, en ácido tereftálico y el etilenglicol, con esto quiere decir que revierte la

reacción química que da el origen al PET (Anaya, 2016, párr. 8). Sus características de esta bacteria son: Tiene la capacidad de degradar casi por completo las finas películas de PET en 6 semanas con una temperatura de 30°C. La bacteria crea unos apéndices entre la capa del plástico y el propio microorganismo que esto le permite la secreción de las enzimas sobre la superficie del PET. (Corral, 2016, párr. 8). Presenta dos enzimas para degradar el PET “ISF6_4831” el cual se refiere a la PETasa y “ISF6_0224” la cual su nombre es ácido mono-2-hidroxietil-tereftálico (MHETasa). (Yoshida, 2016, p.3). En la figura 2 se puede observar las enzimas que degradan y la estructura química.

Figura 2. Bacteria *Ideonella Sakaiensis* degradando alPET



Fuente: Brunel, 2016

Las enzimas son proteínas, son polímeros conformados por aminoácidos que están unidos por un enlace covalente que activan dentro de los organismos gran cantidad de reacciones químicas. (Ramírez y Ayala, 2014, p. 2).

En la actualidad la producción global de plásticos se ha aumentado en los últimos 50 años, el problema se va agrandando por la fácil fabricación y su corta duración de uso, además que es fácil y muy barato conseguir, pero estas mismas cualidades lo que lo hacen muy peligroso. Los países con mayor producción de plástico según Greenpeace son: “China con un 29% del total en el 2016, en segundo lugar, está Europa con un 19% y tercer lugar América del Norte con un

18%” (2018, párr. 3). Se han realizado muchos estudios para que la generación masiva de este tipo de residuos que están tanto en el agua y suelos, se degrade aún más rápido, sobretodo investigaciones de biodegradación. Como la investigación de Uribe, Giraldo, Gutiérrez y Merino (2010) con su investigación titulada “Biodegradation of low density polyethylene by the action of a microbial consortium isolated from a landfill, Lima, Perú” en la cual explicó cómo recolectó 3 muestras de materiales de plástico que tenían signos de degradación, y aplicó un análisis de espectroscopía infrarroja y una prueba cuantitativa para conocer su capacidad biodegradadora (p.2).

Por tales motivos, se planteó como problema general: ¿La bacteria *Ideonella Sakaiensis* posee características para degradar el plástico Polietileno de Tereftalato (PET) en un corto tiempo? De igual modo, para resolver ciertas interrogantes que facilitan encontrar las razones reales del problema general, se formulan los siguientes problemas específicos: ¿Cuáles son las principales enzimas contenidas en la bacteria *Ideonella Sakaiensis* vinculadas a la degradación de plásticos? y ¿Cuáles son las condiciones físicas y químicas a las que se encuentran sometidos en la bacteria *Ideonella Sakaiensis* para degradar el plástico?

La investigación se justifica teóricamente puesto que contiene las definiciones e ideas necesarias para entender, desarrollar y fundamentar una teoría conforme con las variables de estudios. Asimismo, este trabajo puede ayudar a ser soporte e incentivar a obtener resultados más extensos.

En base a la realidad problemática mostrada, se plantea el siguiente objetivo general: Determinar la eficiencia que tiene la bacteria *Ideonella Sakaiensis* para degradar el plástico polietileno tereftalato (PET). Por ende, para lograr el objetivo general, se establecen los objetivos específicos: Describir las principales enzimas contenidas en la bacteria *Ideonella Sakaiensis* encargadas de la degradación de plásticos (PET) y analizar las condiciones físicas y químicas que tiene la bacteria para degradar plástico.

II. MÉTODO

2.1 Tipo y diseño de investigación

Nuestro estudio fue tipo básico, no experimental - transversal, ya que se aplicó una revisión de artículos científicos, tesis, revistas de otros autores, y libros en español e inglés, de todas las fuentes bibliográficas, desde el año 2010 hasta la fecha.

Las investigaciones cualitativas tratan de determinar la naturaleza de las realidades, su método de coherencia, de su estructura dinámica. Esta especifica la relación entre variables, la generalización y el objetivo de los resultados por medio de una muestra para realizar una deducción a una población la cual toda muestra proviene (Pita y Pértegas, 2002, p. 76). En este caso, para poder realizar una recopilación de información, se usaron las palabras; Bacterias, Polietileno Tereftalato, biodegradación, enzimas

2.2 Escenario de estudio

El lugar donde se realizó el estudio de la bacteria *Ideonella Sakaiensis* fue en el Instituto de Tecnología de Kioto y en la Universidad de Keio, Japón. En el cual se recogieron 250 muestras de una planta de reciclaje.

2.3 Participantes

En la tabla 1 se recopilieron datos de distintos autores, de nuestros antecedentes que se asocian con la bacteria *Ideonella S.*, degradadora del PET, que han trabajado en sus investigaciones.

Tabla 1: Cuadro de participantes

Autor	Artículo	Año
Widyastuti, Galuh	Genetic Engineered Ideonella Sakaiensis Bacteria: A Solution of the Legendary Plastic Waste Problem	2018
Gomes, Jhonatan y Oliveros, Cleomary	Biodegradación de Polietileno de Tereftalato por microorganismos aislados de sitios de disposición final de residuos sólidos, Táchira, Venezuela	2016
Joo, Seonjoon et al.	Structural knowledge of the molecular mechanism of degradation of poly (Ethylene Terephthalate)	2018
Bing Liu et al	Protein Crystallography and Site-Direct Mutagenesis Analysis of the Poly (ethylene terephthalate) Hydrolase PETase from Ideonella Sakaiensis	2018
Yoshida, Shosuke	A bacterium that degrades and assimilates poly (ethylene terephthalate)	2016

Fuente: Elaboración propia

2.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La técnica es el conjunto de herramientas y sistemas de dirigir, para recolectar, conservar y analizar la investigación necesaria que permite lograr obtener datos. También es un procedimiento común, validado por la práctica, se consigue información útil para dar soluciones a los problemas de conocimiento científicos (Rojas, 2011, p. 278).

En esta presente investigación, se utilizó a la observación, de tipo documental, ya que consistió en la identificación, para después seleccionar y finalmente analizar los documentos relacionados con el hecho a estudiar. En este caso, la información no fue otorgada por los autores de manera directa, sino a través de sus trabajos, gráficos, etc. Y es a través de esta información recopilada que se pretende compartirla.

2.5 Procedimiento

En la presente investigación se aplicó el método observacional por lo que primero se identificaba y delimitaba el problema en cuestión al que se le encontró una respuesta, posterior a ello, se pasó a seleccionar y recoger todos los datos, en este proceso es donde se buscó tomar nota de la mayor cantidad de los detalles posibles para no alterar las condiciones en las que se da el problema.

Después los datos obtenidos se transcribieron en algún formato y se comenzó a organizar según su grado de relevancia, de ese modo, fue procesada de una forma más ordenada la información. Una vez que los datos han sido registrados, finalmente se procedió a realizar un análisis e interpretación con referencia al objetivo del trabajo de investigación, dando las respectivas conclusiones y las recomendaciones del fenómeno estudiado.

2.6 Método de análisis e información

El análisis de datos se realizó después de la recopilación de información para luego proceder a disminuir y a identificar, clasificar, sintetizar y finalmente agrupar. Luego de que la información haya sido recopilada y debidamente estructurada, pasamos a realizar la interpretación para así poder obtener conclusiones con una información ya más precisa.

2.7 Aspectos éticos

Durante la presente investigación, se tuvo presente la ética y honestidad en cuanto a la veracidad de la información, es decir, no alterando su contenido real, mostrando datos confiables para un desarrollo óptimo en este trabajo, el cual ha sido desarrollado sin ningún intento de plagio, ya que toda la información fue

recopilada de diferentes investigadores expertos en el tema. Ha sido analizada e interpretada de manera minuciosa como corresponde en este caso, citando cada una de la información recolectada, respetando los derechos intelectuales y de autor, además de una correcta mención.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados conseguidos en esta investigación fueron por la recopilación y comparación de investigaciones. Por consiguiente, el procedimiento usualmente usado para las investigaciones referidas a la bacteria *Ideonella Sakaiensis* para degradar plástico fue el siguiente:

Tras realizar diluciones sucesivas y cultivarlas en películas PET para así tener un enriquecimiento de células capaces de nutrirse con polímeros. Se aisló la bacteria que asimila y degrada PET. Se trató de una Gram Negativa, aeróbica, contiene un flagelo para su movimiento. Estas bacterias trabajan mejor en temperaturas de 30°C y pueden degradar una lámina delgada de PET en tan solo 6 semanas como se dice en el estudio de (Yoshida, 2016, p.1), las enzimas encargadas de biodegradar y asimilar el PET son la PET-hidrolasa y/o PETasa y MHETasa.

Estas enzimas funcionan de la siguiente manera, se tiene el sustrato que en este caso es PET este es degradado por la PETasa que presenta un centro activo el cual se adhiere el sustrato, este es degradado por la actividad enzimática teniendo como producto (2-hidroxietil) tereftálico conocido como MHET (sintetizado por la esterificación de ácido tereftálico y óxido de etileno) a su vez será degradado por la enzima MHETasa, esta al igual que la primera enzima, presenta un centro activo donde se introducirá el MHET , la enzima realiza la catálisis de la molécula lo cual da origen a dos moléculas nuevas que son; primero el etilenglicol, que este es usado en las pinturas y líquidos de frenos . La segunda molécula es el ácido tereftálico, se usa en la producción del antioxidante y anti-inflamatorios ácido protocatecuico. Estas dos moléculas luego se descomponen generando dióxido de carbono y agua.

En la tabla 2 se recopilaron datos de distintos autores, donde se puede diferenciar el tiempo, pH, y cantidad de PET que degrada la bacteria *Ideonella S.* y a través de ella, saber cuáles son las mejores condiciones en las que trabajan.

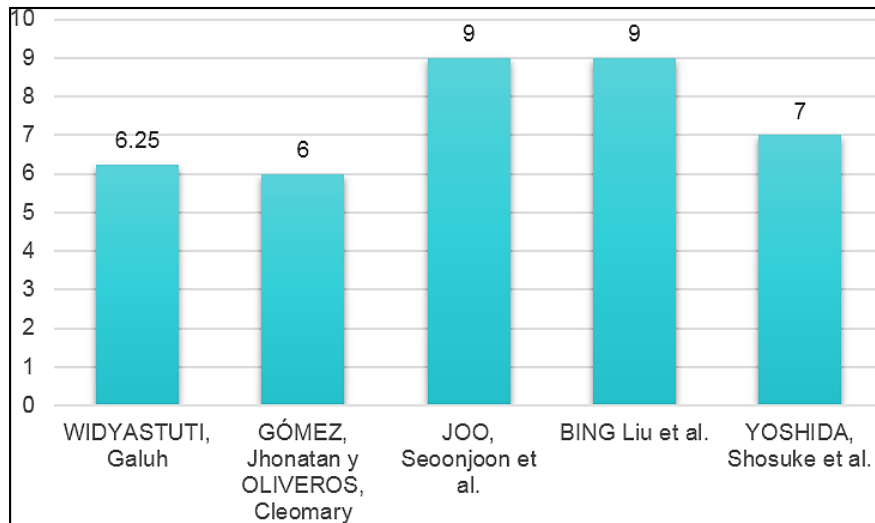
Tabla 2: Cuadro de trabajos previos (Bacteria *Ideonella Sakaiensis*)

NOMBRES PUBLICACION	AUTOR	BACTERIA	PH	T°	TIEMPO	CANTIDAD DE PET QUE DEGRADA	CRISTALINIDAD/ESPESOR
Genetic Engineered <i>Ideonella sakaiensis</i> Bacteria: A Solution of the Legendary Plastic Waste Problem	WIDYASTUTI, Galuh	I.S	5-7.5	30° - 37°	42 días	1 lámina(completa)	Baja cristalinidad (1.9%)
Biodegradación de Polietileno de tereftalato por microorganismos aislados de sitios de disposición final de residuos sólidos, Táchira, Venezuela	GÓMEZ, Jhonatan y OLIVEROS, Cleomary	I.S	5-7	37°	15 días	1 lámina de 2x5 cm	A partir de botellas de PET asignadas con el número uno (1) de acuerdo con la clasificación internacional
Structural knowledge of the molecular mechanism of degradation of poly (ethylene terephthalate)	JOO, Seoonjoon et al.	I.S	9	30°	18 h: 22.4% - 36 h: 32.4%	1 lámina de 6 mm de diámetro	_____
Protein Crystallography and Site-Direct Mutagenesis Analysis of the Poly(ethylene terephthalate) Hydrolase PETase from <i>Ideonella sakaiensis</i>	BING Liu et al.	I.S	9	30°	24h	26cm x 6cm	_____
A bacterium that degrades and assimilates poly (ethylene terephthalate)	YOSHIDA, Shosuke et al.	I.S	7	30°	0.13 mg x cm ² : 24h	1 lámina de 20 × 15 × 0.2 mm	Baja cristalinidad (1.9%)

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se explicarán a cerca de cada parámetro referido de la tabla:

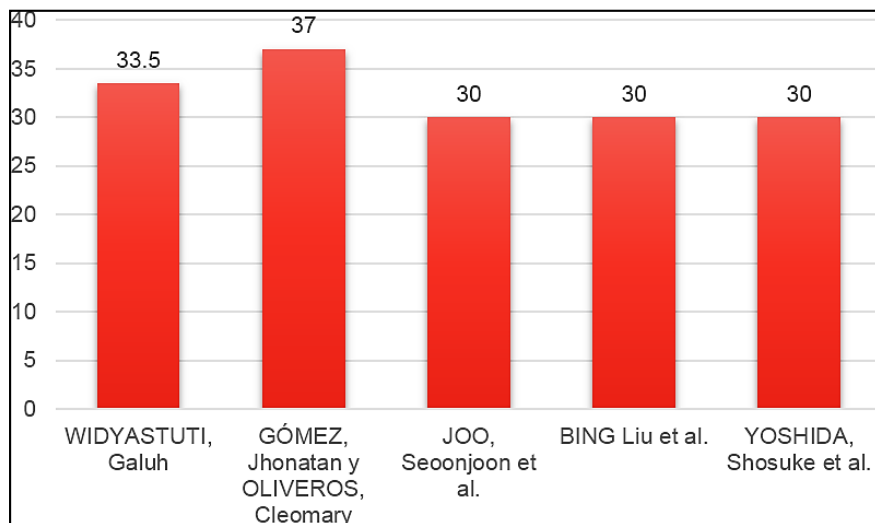
Figura 3: Parámetro de pH



Fuente: Elaboración propia

En la figura 3 podemos observar que la bacteria sobrevive en un pH que va desde 6 hasta 9 de valores, con un promedio de 7.45, es decir que puede vivir en un ambiente tanto alcalino como ácido, esto es un buen indicador para poder trabajarlo y realizar más investigaciones.

Figura 4: Parámetro de Temperatura

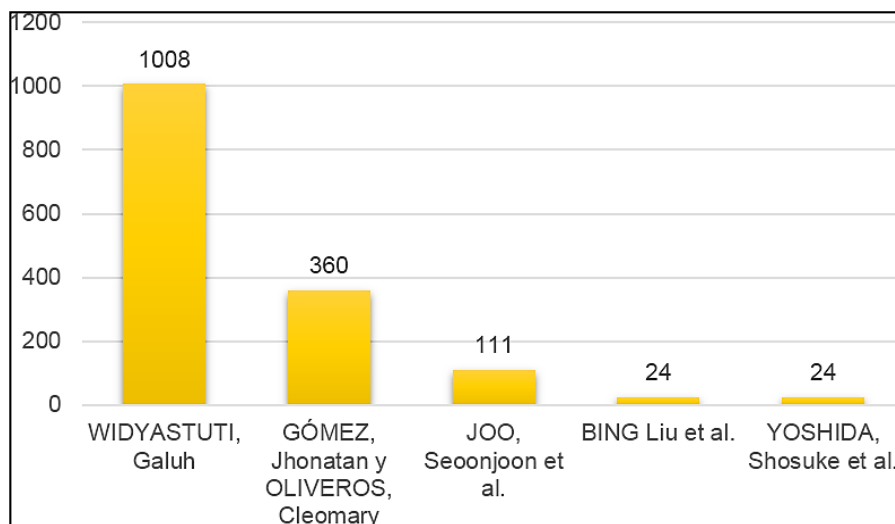


Fuente: Elaboración propia

En la figura 4 se demuestra que esta bacteria trabaja solo en temperatura altas, con un promedio de 32.1 °C, esta sobrevive a altas temperaturas, por ello

podemos también decir, que, si se quieren realizar trabajos experimentales con esta bacteria, tendremos que realizarla en temporadas de verano y primavera, pues en temporadas frías corremos el riesgo de que el proyecto no funcione como se espere; o que se puede trabajar a estas temperaturas en laboratorios.

Figura 5: Parámetro de Tiempo



Fuente: Elaboración propia

Según en la figura 5, se representan las horas que transcurrieron para biodegradar el PET respecto a cada investigación, y esto se denota una gran diferencia, debido que se trabajaron con distintos tamaños de láminas. Así que el tiempo también dependerá del tamaño que se tenga la muestra, pero de igual manera, logra degradar en poco tiempo, en solo días como máximo y ya no en meses ni años, dependiendo de la cantidad que se solicite por supuesto.

IV. CONCLUSIONES

La capacidad degradadora que tienen los microorganismos respecto al material sintético resultó, según la revisión de diversos autores, ser eficientes y una de las alternativas más viables, de tal forma que puedan contribuir con el cuidado del medio ambiente, con la finalidad de reducir el problema que representa en la actualidad, la acumulación de residuos sólidos. Dentro de estos trabajos previos se encontraron para comenzar, que la bacteria *Ideonella Sakaiensis* sí logra desintegrar el Polietileno tereftalato (PET) hasta sus componentes originales, es decir ácido tereftálico y etilenglicol; ya que estas bacterias emplean el polietileno tereftalato como única fuente de carbono, lo que permite inferir que los microorganismos utilizan distintas vías metabólicas para desintegrar estos materiales presentes en el ambiente.

Se halló que las enzimas de la bacteria *Ideonella Sakaiensis*, biodegradan el PET, gracias a las enzimas PETasa y MHETasa, estas funcionan de la siguiente manera, se tiene el sustrato que en este caso es PET, este es degradado por la PETasa que presenta un centro activo el cual se adhiere el sustrato, este es degradado por la actividad enzimática teniendo como producto (2-hidroxietil) tereftálico conocido como MHET (sintetizado por la esterificación de ácido tereftálico y óxido de etileno) a su vez será degradado por la enzima MHETasa, esta al igual que la primera enzima, presenta un centro activo donde se introducirá el MHET, la enzima realiza la catálisis de la molécula, el cual da origen a dos moléculas nuevas que son el etilenglicol y el ácido tereftálico. Estas dos luego, se descomponen generando dióxido de carbono y agua.

La bacteria, trabaja con una temperatura promedio de 32.1 °C y con un pH promedio de 7.45, es decir esta bacteria trabaja en condiciones muy cálidas y el pH puede variar entre alcalino y ácido, eso es muy favorable, pues la bacteria se adapta a ambas condiciones y se pueden hacer más investigaciones y en distintas partes del mundo. Su tiempo va a variar dependiendo de la cantidad de láminas PET que se requiera degradar, pero de igual manera no supera de las 6 semanas, tiempo óptimo que esperar años y años a que se degrade en el ambiente.

V. RECOMENDACIONES

Profundizar la presente investigación con los trabajos previos encontrados y por encontrar, ya que presentan las características adecuadas para elegir los factores o parámetros que se requiere para alcanzar el propósito por el cual se planteó la investigación.

Se recomienda promover más investigaciones acerca de la biodegradación de plástico en general, con microorganismos ya que no traen consecuencias alternas, y por las averiguaciones realizadas podemos decir que los microorganismos son muy eficientes degradando este contaminante tan común.

Se encontró una amplia información acerca de la biodegradación de polietileno con microorganismos, pero esta técnica no se realiza en Perú, ni en pequeñas escalas y si la técnica es sostenible llegaría a ser una alternativa ecológica, la cual generaría un impacto positivo en relación al problema actual de la mala gestión de los residuos sólidos especialmente los plásticos.

REFERENCIAS

- A bacterium that degrades and assimilates polyethylene terephthalate poor Yoshida, S [et al.]. *Revista Science* [en línea]. 351(6278): 1196-1199, 2016.
- Acerca de la biotecnología ambiental [en línea]. España: Universidad de Extremadura, 2014 [fecha de consulta: 8 de noviembre de 2019]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.3989/arbor.2014.768n4011>.
ISSN: 0210-1963.
- AISLAMIENTO y caracterización de micromicetos biodegradadores de polietileno por Méndez, Carmen. [et al.]. *Revista Peruana de Biología* [en línea]. vol. 13(3): 203– 205, Julio 2 0 0 9 [Fecha de consulta: 02 de noviembre de 2019].
ISSN: 1727-9933
- Bing, Liu (et.al). Protein Crystallography and Site-Direct Mutagenesis Analysis of the Poly (ethylene terephthalate) Hydrolase PETase from *Ideonella Sakaiensis*. *ChemBiochem Communications*. [en línea]. Marzo 2018, n°.19. [Fecha de consulta: 30 de octubre de 2019].
- Biodegradability of Plastics por Tokiwa, T [et al.]. *International Journal of Molecular Sciences* [en línea].10:3722-3742, 2009.
- Biodegradation of low density polyethylene by the action of a microbial consortium isolated from a landfill, Lima, Perú por Diego Uribe [et al.]. *Revista Scielo* [en línea]. 17(1): 133 – 136, abril 2010. ISSN: 1727-9933
- Biodegradation of polyethylene microplastics by the marine fungus *Zalerion maritimum* por PAÇO, Ana [et al.]. *Revista Science of the Total Environment* [en línea]. Vol. 586, 15 de mayo de 2017 [Fecha de consulta: 04 de noviembre de 2019].
- CARRAHER, C. *Carraher's Polymer Chemistry* [en línea]. 9.^a ed. Estados Unidos: Revista CRC Press-Taylor & Francis, 2013 [Fecha de consulta: 05 de noviembre de 2019].

ISBN: 9781466552036

- CARREÓN, ILSE. Aislamiento de microorganismos degradadores de Tereftalato de Polietileno (PET) en medio ambiente combinado. Trabajo de investigación (Ingeniero de Biotecnología). México: Instituto Politécnico Nacional, 2008. 49 pp.
- CIFRAS del mundo y el Perú. Ministerio del Ambiente (MINAM) 2017.
- DATOS sobre la producción de plásticos. Greenpeace. 2 de agosto del 2018.
- DEGRADATION of polyester polyurethane by an indigenously developed consortium of Pseudomonas and Bacillus species isolated from soil por Shah, Ziaullah. [et al.]. Revista Polymer Degradation and Stability [en línea]. Vol. 134, diciembre de 2016 [Fecha de consulta: 04 de noviembre de 2019].
- Effect of different degradation types on properties of plastic waste obtained from espresso coffee capsules por Anne Shayene Campos de Bomfim [et al.]. Gestión de residuos [en línea]. Vol. 83, enero de 2019. ISSN: 0956-053X
- ENHANCED polymer degradation of polyethylene and polypropylene by novel thermophilic consortia of Brevibacillus sps and Aneurinibacillus sp. screened from waste management landfills and sewage treatment plants por Skariyachan, Sinosh [et al.]. Revista Polymer Degradation and Stability [en línea]. Vol.149, marzo de 2018 [Fecha de consulta: 03 de noviembre de 2019].
- FLASHMAN, Evelyn. [en línea]. Cómo funcionan realmente las bacterias que comen plástico. El País, 24 de noviembre del 2018. [Fecha de consulta: 24 de noviembre de 2019].
- GÓMEZ, Jhonathan y OLIVEROS, Cleomary. Biodegradación de Polietileno de Tereftalato por microorganismos aislados de sitios de disposición final de residuos sólidos, Táchira, Venezuela. Revista Redieluz [en línea]. Julio - diciembre 2016 Vol. 6, n°. 2. [Fecha de consulta: 25 de noviembre de 2019]. Disponible en <https://produccioncientificaluz.org/index.php/redieluz/article/view/23646/24017>

ISSN: 2244-7334

- IDENTIFICAN la enzima come plástico. [Mensaje en un blog]. Miami: Brunel, J., (12 de abril de 2016). Recuperado de <https://www.foodnewslatam.com/paises/79-cuba/5466-identifican-la-enzima-come-pl%C3%A1stico.html>
- INDUMATHI Y T. Gayathri. Plastic Degrading ability of *Aspergillus oryzae* isolated from the garbage dumping sites of Thanjavur, India. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences* [en línea]. Febrero, 2016. [Fecha de consulta: 25 de octubre de 2019].
- KHAN, Sehroon. Biodegradation of polyester polyurethane by *Aspergillus Tubingensis* [en línea]. 469-480, 2017.
- KYOTO Institute of Technology. Keio University. 30 de marzo de 2016. Disponible en https://www.keio.ac.jp/en/press_releases/2016/cb96u90000005501att/160330_2.pdf
- MATERIALES poliméricos de mayor interés industrial. [Mensaje en un blog]. España, Blanco F., (8 de octubre de 2012). [Fecha de consulta: 28 de octubre de 2019]
- Microbial assisted High Impact Polystyrene (HIPS) degradation por MOHAN, Arya J. [et al.]. *Revista Bioresource Technology* [en línea]. Vol. 213, agosto de 2016-2018 [Fecha de consulta: 02 de noviembre de 2019].
- MICROORGANISMS participating in the biodegradation of modified polyethylene films in different soils under laboratory conditions por BOZENA, Nowak [et al.]. *Revista International Biodeterioration & Biodegradation* [en línea]. Vol. 65, Setiembre 2011, n° 6. [Fecha de consulta: 04 de noviembre de 2019].
- MINAM: El plástico representa el 10% de todos los residuos que generamos en el Perú. Ministerio del Ambiente. (MINAM). 5 de agosto del 2019.

- M.O. Rodrigues, N. Abrantes, F.JM Gonçalves, H. Nogueira, J.C. Marques y A.MM Gonçalves Impacts of plastic products used in daily life on the environment and human health: What is known? Revista Sciencedirect. [En línea]. 72. noviembre 2019, n° 103239. [Fecha de consulta: 28 de octubre de 2019].
- NOTICIAS ONU, Programa de la ONU para el Medio Ambiente (PNUMA). 12 de mayo del 2017.
- ORGANIZACIÓN de las Naciones Unidas. Población. Julio de 2014.
- PALM, Gottfried [et al.]. Structure of the plastic-degrading Ideonella Sakaiensis MHETase bound to a substrate. Nature Communications. [en línea]. Vol. 10, n°17. 12 de abril del 2019. [Fecha de consulta: 29 de octubre de 2019]. ISSN: 41467019093263
- PARDO, L.; MENÉNDEZ, J. y GIRAUDO, M. Envases biodegradables: Una necesidad de compromiso, Argentina: Alimentación Latinoamericana. n° 292:42-44, 2011.
- SANGEETHA Devi, R., et al. Biodegradation of HDPE by Aspergillus spp. from marine ecosystem of Gulf of Mannar, India. Mar. Pollut. Bull. (2015), [en línea], 96(1-2), 32–40. [Fecha de consulta: 29 de noviembre de 2019].
- Seongjoon, Joo (et.al). Structural insight into molecular mechanism of poly (ethylene terephthalate) degradation. Nature Communication. [En línea]. Diciembre 2018, 9 n°.1. [Fecha de consulta: 25 de noviembre de 2019].
- PITA, Salvador y PÉRTEGAS, Sonia. Investigación cuantitativa y cualitativa. Revista Cadernos de atención primaria [en línea], vol. 9 (2): 76-78, 2002.
- POSADA, Beatriz. La degradación de los plásticos. Revista Universidad EAFIT. [En línea]. Agosto 2012, n.º 94. [Fecha de consulta: 10 de noviembre de 2019].
- RAMIREZ, Grace. Biodegradación de residuos industriales mediante la bacteria Bacillus Licheniformis. Trabajo de titulación (Ingeniera en

Biotecnología de los recursos naturales) Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana, 2017, 93 pp.

- RAMÍREZ, Joaquín y AYALA, Marcela. Enzimas: ¿Qué son y Cómo funcionan? Revista digital universitaria. [En línea]. vol. 15 n° 12. 1 de diciembre del 2014.
- RAVVE, A. Principles of Polymer Chemistry [en línea]. 3.^a ed. Estados Unidos: Springer Science, 2013 [fecha de consulta: 05 de noviembre de 2019].
- RECICLADO, síntesis y biodegradación de plásticos más sostenibles mediante el uso de enzimas. [Mensaje en un blog]. España: Martí y Monje, 14 de diciembre del 2018. [Fecha de consulta: 5 de noviembre de 2019].
- RUSSELL, Jonathan [et al.]. Biodegradation of Polyester Polyurethane by Endophytic Fungi. ASM Journals. [En línea]. Vol. 77, n° 17.15 de Julio del 2011. [Fecha de consulta: 26 de octubre de 2019].
- SALAZAR, Yudy. Contaminación bacteriana y tipo de bacterias en teléfonos celulares del personal de salud en la unidad de cuidados intensivos, Hospital Nacional 2017. Tesis (Especialista en enfermería en cuidados intensivos). Lima: Universidad Cayetano Heredia, Facultad de enfermería, 2018.
- SHARON, C. y SHARON, M. Studies on Biodegradation of Polyethylene terephthalate: A synthetic polymer. Journal of Microbiology and Biotechnology Research [en línea]. 2(2): 248-257, 2012.
- STRUCTURAL insight into molecular mechanism of poly (ethylene terephthalate) degradation [en línea]. Corea 2018, n. 382.
- SUASNAVAS, Darwin. Degradación de materiales plásticos "PET" (polyethylene terephthalate), como alternativa para su degradación. Monografías (Licenciado en Ciencias Químicas con mención en Química Analítica). Quito: Pontificia universidad católica del Ecuador, Facultad de ciencias exactas y Naturales, 2017.

- URIBE, Diego, Giraldo, Daniel., Gutiérrez, Susana y Merino Fernando. Biodegradación de polietileno de baja densidad por acción de un consorcio microbiano aislado de un relleno sanitario, Lima, Perú. Cielo. [en línea].17 (1), 2010.
- USE of rhizosphere microorganisms in the biodegradation of PLA and PET polymers in compost soil por JANCZAKA, Katarzyna [et al.]. Revista International Biodeterioration & Biodegradation [en línea]. Vol. 130, mayo de 2018 [Fecha de consulta: 03 de noviembre de 2019].
- WIDYASTUTI, Galuh. Genetic Engineered Ideonella Sakaiensis Bacteria: A Solution of the Legendary Plastic Waste Problem. SSRN. [En línea]. 3rd International Conference of Integrated Intellectual Community (ICONIC).27 de marzo del 2018. [Fecha de consulta: 5 de noviembre de 2019].
- YOSHIDA, Shosuke. A bacterium that degrades and assimilates poly (ethylene terephthalate). Science: AAAS. [En línea]. 351,11 de marzo del 2016. [Fecha de consulta: 29 de octubre de 2019].

ANEXOS

ANEXO 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

AUTORES	INVESTIGACIÓN	OBJETIVO	CONDICIONES DE OPERACIÓN	RESULTADOS	CONSIDERACIONES
<p>Widyastuti, Galuh</p>	<p>Genetic Engineered Ideonella Sakaiensis Bacteria: A Solution of the Legendary Plastic Waste Problem</p>	<p>Entender e interpretar como la ingeniería genética puede mejorar el potencial de la bacteria ideonella sakaiensis en la degradación de plástico</p>	<p>Se aisló el ADN del Azobacter, luego se hizo cortes para los cuales se realizaron con ondas ultrasónicas para fragmentar el ADN. Se insertó el ADN en el material genético de la bacteria ideonella sakaiensis</p>	<p>La bacteria ideonella sakaiensis tiene una gran capacidad para degradar plásticos pero desafortunadamente solo ese gran potencial funciona de manera ideal en los pantanos, por lo tanto en esta investigación hicieron una modificación genética, incorporaron un gen de ADN de Azobacter en su plásmido del microorganismo, pues este gen ayuda a que la bacteria pueda sobrevivir en cualquier lugar donde se encuentren residuos sólidos habitualmente</p>	<p>Se está viendo a futuro que esta técnica pueda convertirse en una solución biológica ideal para llevar a cabo de manera sostenible</p>

<p>Yoshida Shosuke [et.al.]</p>	<p>A BACTERIUM THAT DEGRADES AND ASSIMILATES POLY(ETHYLENE TEREPHTHALATE)</p>	<p>Examinar los microorganismos que usan las películas de PET de baja cristalinidad (1.9%) como fuente de carbono para su crecimiento.</p>	<p>Se tomó 250 muestras ambientales que estaban contaminadas con PET que tenían también sedimentos, aguas residuales, lodos, entre otros, de un sitio de reciclaje de botellas. Se examinó los microorganismos que pueden usar la película de PET de baja cristalinidad como fuente principal de carbono para su crecimiento. Una de las muestras se sedimentó y esta tenía un microorganismo formado en la película del PET, a través de la microscopía se pudo identificar que la película tenía una mezcla de bacterias que tenían características similares a levaduras y protozoos, estos degradaron la superficie de la película del PET. Se usó disoluciones para cultivar la película de PET, para así alimentar a los microorganismos, se pudo aislar exitosamente la bacteria que tenía la capacidad de degradar el PET, la representaron como nueva especie con el género de Ideonella Sakaiensis. Después de 6 semanas a una temperatura de 30°C la película de PET ya casi estaba completamente degradada, para explorar los genes que hacen que el PET se degrade en la bacteria se hizo un borrador de secuencias de genomas, se purificó</p>	<p>Se observó PETasa y MHETasa, la primera es la que hidroliza el PET para que luego se produzca MHETasa. Se determinó cómo funcionaba el metabolismo del PET y como estaba compuesto su genoma (PETasa, MHETasa, TPA dioxigenasa y PCA dioxigenas)</p>	<p>Se quería ver si otros microorganismo con capaces de degradar este compuesto pero no se pudo encontrar un microorganismo con el mismo genes enzimáticos (PETasa, MHETasa, TPA dioxigenasa y PCA dioxigenasa)</p>
--	--	--	--	---	---

<p>A, Indumathi y T, Gayathri</p>	<p>PLASTIC DEGRADING ABILITY OF ASPERGILLUS ORYZAE ISOLATED FROM THE GARBAGE DUMPING SITES OF THANJAVUR, INDIA</p>	<p>Determinar la capacidad degradativa de hongos de degradación plástica del suelo.</p>	<p>Se recogió muestra de plástico y suelo de la basura desechados suelos en Thanjavur. Estas muestras se recogieron en cremallera estéril. Después las muestras se diluyeron en serie y se vertieron en placas Agar estéril de patata dextrosa para estimar y aislar hongos heterotróficos respectivamente. fueron incubado a 37 ° C durante 48 h. Después de la incubación Se eligieron placas con 30-300 colonias para recuento y el recuento total de placas para hongos se expresó como número de colonias formando unidades por gramo de suelo. Después del conteo y estimación de colonias morfológicamente diferentes eran recogido con pinzas y agujas estériles y transferido asépticamente a PDA estéril inclinaciones de agar para una mayor caracterización. Los hongos fueron elegidos para caracterización y identificado por macroscópico y microscópico observación por Lacto fenol Algodón azul técnica de tinción Entre todas las muestras de suelo recolectadas Aspergillus oryzae se encuentra para ser el hongo dominante y fue probado para su capacidad de degradación de plásticos en condiciones de laboratorio.</p>	<p>Las especies de hongos que se encuentran asociadas con los materiales degradantes fueron identificadas como A. Níger, A. Oryzae, A. Japonicus, Penicillium sp., etc., la especie dominante que se encuentra en todos se encontró que las muestras de suelo eran A. Oryzae. En el presente estudio, las piezas de plástico fueron enterrado en el medio de cultivo del suelo que contiene A. oryzae aísla y mantiene durante 2 meses para Observe el porcentaje de pérdida de peso. el resultado muestra la capacidad degradativa de los microorganismos después de dos meses de incubación. Aspergillus oryzae muestra degradación considerable del plástico como el de otras especies de Aspergillus. Esta muestra que también tiene el mayor potencial de degradación en comparación con otros hongos especies. Las propiedades físicas de las tiras de plástico fueron monitoreadas para el cambio morfológico como microgrietas, la fragilidad por análisis SEM s Por lo tanto, a través de estos resultados entre todas las especies de hongos que son identificado para degradar los plásticos A. Oryzae también implica en efectivo en Exsitu degradación de plásticos.</p>	<p>Cuando se considera el proceso de biodegradación total de cualquier sustrato orgánico, el La formación de colonias microbianas es crítica para el inicio de la biodegradación. Por lo tanto, la duración de la colonización microbiana es un factor importante que afecta el total período de degradación</p>
-----------------------------------	--	---	---	---	--

<p>Jonathan R. Russell [et.al.]</p>	<p>Biodegradation of Polyester Polyurethane by Endophytic Fungi</p>	<p>Evaluar la capacidad de los organismos para degradar el poliuretano. Aislar lo microorganismos con capacidad degradadora y que utilizan carbono como unica fuente.</p>	<p>Se seleccionó varias docenas de hongos endofitos por su capacidad de degradar el polímero sintético poliéster poliuretano (PUR), se observó una actividad particular en varios aislamientos en el género de Pestalotiopsis, se aislaron los microorganismos que fueron capaces de crecer de manera unica en PUR usando la unica fuente el carbono trabajando en condiciones aeróbicas como anaeróbicas La caracterización molecular sugiere una seria a hidrolasa que es la responsable de la degradacion de PUR, el crecimiento de microorganismos utilizando PUR sugiere que los endofitos son una fuente prometedor de biodiversidad las cuales son útiles para la biorremediacion</p>	<p>Se aislo endofitos de la selva ecuatoriana y se analizaron las muestras para poder ver si degradaban poliéster poliuretano (PUR), la mitad de los organismos mostraron la capacidad de degradar 18 de ellos se caracterizaron como endofitos activos y dos inactivos, se identificaron 8 organismos del genero Pestalotiopsis. La amplia distribución de la actividad sugiere que los endofitos podrían ser una fuente de biodiversidad para evaluar actividades importantes para la biorremediacion. Todos los hongo encontrados se identificaron como Ascomycota con un grupo de clases Dothidiomycetes con el orden de Pleosporales. La mayoría de hongos activos pertenecían a la clase de Sordariomycetes incluyendo los Pestalotiopsos sp.</p>	<p>Los endofitos son una fuente útil de biodiversidad con potencial de biorremediacion la facilidad que tiene los organismos para aislarse y seleccionares hace que el proyecto sea accesible y ambientalmente relevante</p>
--	---	---	--	---	--

<p>Gómez, Jhonathan y Oliveros, Cleomary</p>	<p>Biodegradación de polietileno de tereftalato por microorganismos aislados de sitios de disposición final de residuos sólidos, Táchira, Venezuela</p>	<p>Determinar el efecto de degradación de un conglomerado de microorganismos, que ha sido extraídos de los suelos y lixiviados de Táchira, sobre el PET para reducir el plástico de manera natural.</p>	<p>Se aisló cepas que tenían la capacidad de utilizar el PET como fuente de carbono, se cultivó con láminas PET en un tubo de ensayo con un caldo nutritivo mineral, se incubó y se midió el tiempo. Luego se sacaron las láminas para poder medir su peso y se observaron las características físicas de manera directa y por microscopio.</p>	<p>Se formó una biopelícula entre las láminas de PET lo cual se dice que la degradación de estos materiales se puede dar por factores físicos, químicos y biológicos. Se vio en la superficie de la lámina que el PET estaba suspendido y que estaba junto con unos microorganismo, esto quiere decir que las enzimas dan el proceso de hidrólisis, rompen los enlaces de los polímeros, creando estructuras de bajo peso molecular y al final convierten en dióxido de carbono y agua.</p>	<p>La biorremediación como herramienta para minimizar los residuos plásticos, especialmente PET, es una alternativa ecológica y muy viable para disminuir este problema que va creciendo cada día por la acumulación de residuos.</p>
---	---	---	---	---	---

<p>BING Liu et al.</p>	<p>Protein Crystallography and Site-Direct Mutagenesis Analysis of the Poly(ethylene terephthalate) Hydrolase PETase from Ideonella sakaiensis</p>	<p>Analizar la mutagénesis directa del sitio activo de la poli (hidrolasa PETasa de tereftalato de etileno).</p>	<p>Se vio las propiedades de la PETasa y se analizó, para lo cual crearon una estructura de esta enzima y se analizó en una botella PET para ver las propiedades físicas y químicas.</p>	<p>La mutagénesis que se da en esta enzima PETasa que le da la capacidad de degradar los plásticos PET es una modificación racional y puede ayudar al pos consumo de los procesos industriales , las hidrolasas muestra características catalíticas favorables para degradar PET.</p>	
-------------------------------	--	--	--	---	--

ANEXO 2. MATRIZ DE VARIABLES

<i>VARIABLE</i>	<i>DEFINICIÓN CONCEPTUAL</i>	<i>DEFINICIÓN OPERACIONAL</i>	<i>DIMENSIONES</i>	<i>INDICADORES</i>
<p>Variable Dependiente: Biodegradación de material de polietileno tereftalato(PET)</p>	<p>La biodegradación es un proceso natural que es realizado muchas veces gracias a microorganismos, bacterias, hongos u otros medios biológicos.</p>	<p>Los microorganismos se encargan de biodegradar los elementos que sean formados o estén compuestos por Polietileno Tereftalato(PET)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Degradación del PET ● Eficacia de degradación de la bacteria Ideonella Sakaiensis y del hongo aspergillus Tubingensis 	<ul style="list-style-type: none"> ● Cantidad del PET a biodegradar ● Eficacia
<p>Variable Independiente: Efectividad de la bacteria IDEONELLA SAKAIENSIS</p>	<p>La bacteria IDEONELLA SAKAIENSIS es una bacteria del género Ideonella y de la familia Comamonadaceae, esta bacteria fue descubierta en una planta que se utilizaba para el reciclaje de botellas y era capaz de descomponer PET.</p>	<p>Se podrá investigar cual es la efectividad de cada la bacteria y el hongo para degradar Polietileno Tereftalato (PET).</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Apariencia Física de la bacteria. ● Efectividad para degradar ● Efectividad para degradar 	<ul style="list-style-type: none"> ● temperatura ● Tiempo de degradación ● Producción de enzimas, digestión.

Declaratoria de Autenticidad

Yo, Yesenia Julieth Flores Icochea con DNI N° 72698479, Andrea Huaraca Huaman con DNI N° 70776407, Carlos Raúl Lujan Espinoza con DNI N° 75361665 y Ornella Victoria Retamozo Calle con DNI N° 73241158, a efecto de cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, declaramos bajo juramento que toda la documentación que acompaño es veraz y auténtica. Asimismo, declaramos también bajo juramento que todos los datos e información que se presenta en la presente tesina son auténticos y veraces. En tal sentido, asumimos la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada por lo cual nos sometemos a lo dispuesto en las normas académicas de la Universidad César Vallejo.

Lima, 13 de Setiembre de 2019



Yesenia Julieth Flores Icochea

DNI: 72698479



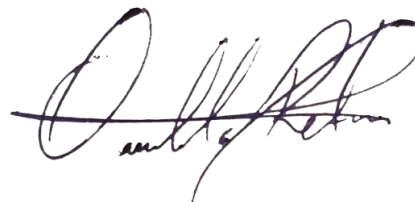
Andrea Huaraca Huaman

DNI: 70776407



Carlos Raúl Lujan Espinoza

DNI: 75361665



Ornella Victoria Retamozo Calle

DNI: 73241158