

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



Una Institución Adventista

Una revisión de la biodegradación de plásticos por Pseudomonas

Por:

Magali Ccallo Arela
Franklin Sacaca Masco

Asesor:

Msc. Rose Adeline Callata Chura

Juliaca, agosto de 2020

DECLARACIÓN JURADA DE AUTORÍA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

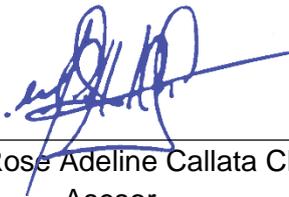
MSc. Rose Adeline Callata Chura de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que el presente trabajo de investigación titulado: UNA REVISIÓN DE LA BIODEGRADACIÓN DE PLÁSTICOS POR PSEUDOMONAS constituye la memoria que presentan los estudiantes Magali Ccallo Arela y Franklin Sacaca Masco para aspirar al grado de bachiller en Ingeniería Ambiental, cuyo trabajo de investigación ha sido realizado en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este trabajo de investigación son de entera responsabilidad de los autores, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en Juliaca, a los 06 días del mes de agosto del año 2020



Msc. Rose Adeline Callata Chura
Asesor

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

En Puno, Juliaca, Villa Chullunquiani, a 06 día(s) del mes de agosto del año 2022 siendo las 15:00 horas,

se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión campus Juliaca, bajo la dirección del (de la)

presidente(a): Ing. Juan Eduardo Vigo Rivera

secretario(a): Ing. Verónica Haydee Pari Mamani y los demás miembros

Ing. Ronny Daniel Díaz Aguilón

y el(la) asesor(a) Msc. Rose Adeline Gallata Chura

con el propósito de administrar el acto académico de sustentación del trabajo de

investigación titulado: Una revisión de la biodegradación de plásticos por Pseudomonas

de los (las) egresados (as): a) Magali Escallo Arela

b) Franklin Sacaca Masco

conducente a la obtención del grado académico de Bachiller en

Ingeniería Ambiental
(Denominación del Grado Académico de Bachiller)

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando a los candidato(a)/s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por los candidato(a)/s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Candidato/a (a): Magali Escallo Arela

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Líteral	Cualitativa	
<u>Aprobado</u>	<u>17</u>	<u>B+</u>	<u>Muy Bueno</u>	<u>Sobresaliente</u>

Candidato/a (b): Franklin Sacaca Masco

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Líteral	Cualitativa	
<u>Aprobado</u>	<u>17</u>	<u>B+</u>	<u>Muy Bueno</u>	<u>Sobresaliente</u>

(*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó a los candidato(a)/s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

Presidente/a

[Firma]
Secretario/a

Asesor/a

Miembro

Miembro

Candidato/a (a)

Candidato/a (b)

Una revisión de la biodegradación de plásticos por *Pseudomonas*

Magali Ccallo Arela ^{a*}, Franklin Sacaca Masco ^b, Rose Adeline Callata Chura

^aFacultad de Ingeniería y Arquitectura EP Ingeniería Ambiental, Universidad Peruana Unión

^aFacultad de Ingeniería y Arquitectura EP Ingeniería Ambiental, Universidad Peruana Unión

^aFacultad de Ingeniería y Arquitectura EP Ingeniería Ambiental, Universidad Peruana Unión

Resumen

Actualmente, la generación de 8.3 millones de toneladas de plásticos, forma uno de los problemas ambientales más severos a nivel internacional, ya que estos plásticos no se deterioran con facilidad, ni se descomponen u oxidan naturalmente con el transcurrir del tiempo, debido a la resistencia mecánica y su composición química de enlaces de carbono; el mismo que genera impactos irreversibles en los ecosistemas acuáticos y terrestres, ocasionando la muerte de animales y la pérdida de fertilidad de los suelos para cultivos. El objetivo de esta investigación es realizar una revisión bibliográfica sobre los mecanismos, métodos y técnicas para la biodegradación de plásticos por *Pseudomonas*. La investigación demuestra que las *Pseudomonas* tienen la capacidad de asimilar los plásticos, convirtiéndolos de polímeros a monómeros, esta capacidad de asimilación de estos microorganismos se debe a la generación de enzimas, que inician la biodegradación de los polímeros, sin embargo, estos microorganismos no solo poseen la capacidad de asimilación de los polímeros si no que se adaptan a diferentes medios y/o condiciones bióticas y abióticas con mayor facilidad que otras bacterias. Por tanto, los estudios experimentados demuestran que las *Pseudomonas* son capaces de biodegradar los polímeros sintéticos (plásticos) como el polietileno (PE), poliestireno (PS), poliuretano (PUR), polipropileno (PP), cloruro de polivinilo (PVC), tereftalato de polietileno (PET), entre otros polímeros, el cual tiene una aplicación directamente en los cambios de la estructura del polímero y el tiempo de vida de la permanencia en el medio ambiente.

Palabras clave: plásticos; *Pseudomonas*; biodegradación de polímeros.

Abstract

Currently, the generation of 8.3 million tons of plastics, is one of the most severe environmental problems internationally, since these plastics do not deteriorate easily, nor decompose or oxidize naturally over time, due to mechanical resistance and its chemical composition of carbon bonds, the same that generates irreversible impacts on aquatic and terrestrial ecosystems, causing the death of animals and loss of fertility of soils for crops. The objective of this research is to carry out a bibliographic review on the mechanisms, methods and techniques for the biodegradation of plastics by *Pseudomonas*. The research shows that *Pseudomonas* have the capacity to assimilate plastics, converting them from polymers to monomers. This capacity of assimilation of these microorganisms is due to the generation of enzymes, which initiate the biodegradation of polymers; however, these microorganisms not only have the capacity to assimilate polymers but they also adapt to different media and/or biotic and abiotic conditions more easily than other bacteria. Therefore, experienced studies show that *Pseudomonas* are capable of biodegrading synthetic polymers (plastics) such as polyethylene (PE), polystyrene (PS), polyurethane (PUR), polypropylene (PP), polyvinyl chloride (PVC), polyethylene terephthalate (PET), among other polymers, which has an application directly on the changes of the polymer structure and the life time of the permanence in the environment.

Keywords: plastics; *Pseudomonas*; biodegradation of polymers.

Introducción

En la actualidad, la generación excesiva de residuos plásticos forma uno de los más grandes problemas ambientales de la presente década, siendo el plástico uno de los desechos más comunes a nivel mundial (Meza, 2013). Awasthi, Tan, & Li, (2020) mencionan que el avanzado crecimiento del sector industrial, el del plástico, ha formado una parte relevante en la vida cotidiana por el uso que se le da, propiciando problemas ambientales de gran impacto, debido a que estos productos son de difícil degradación, ya que no se oxidan ni se descomponen naturalmente con el transcurrir del tiempo. A nivel mundial se genera aproximadamente 8 300 millones toneladas de plásticos, de los que solo el 9% son reciclados, el 12% son incinerados y el 79% son acumulados en vertederos o entornos naturales (Moreno, 2018).

Zheng, Yanful, & Bassi, (2005) refieren que los plásticos sintéticos que constituyen alrededor del 79% del uso total, son: tereftalato de polietileno (PET), polipropileno (PP), polietileno (PE), poliestireno (PS), cloruro de polivinilo (PVC), poliuretano (PUR). Las propiedades físicas como la resistencia mecánica, y su composición química de enlaces de carbono como menciona Alania & Pérez, (2017) sobre la degradación natural de estos plásticos pueden tardar entre 100 e incluso hasta 600 años, también, a la permanencia de estos plásticos en los ecosistemas, ocasionan la muerte de los animales terrestres y acuáticos por el consumo o atrapamiento en bolsas de polietileno, del mismo modo Vijaya & Reddy, (2008) mencionan que el enterramiento de las bolsas

* Autor de correspondencia: Magali Ccallo Arela, Franklin Sacaca Masco

Km. 6 Salida Arequipa, Chullunquiani, Juliaca

Tel.: +978 975 183

E-mail: magaliccalloarela@gmail.com

de polietileno en el suelo provoca fenómenos como la obstrucción del agua y provocando la pérdida de la fertilidad de suelos para cultivos.

Shabbir et al., (2020) investigaron la degradación microbiana de los plásticos, debido a que se presenta como una alternativa para solucionar el problema de la disposición final de estos residuos, a diferencia de la incineración, la degradación microbiana presenta condiciones de operación que no serían drásticas ni costosas. Olaquibe (2016), indica que en la degradación microbiana o la biodegradación intervienen diferentes microorganismos, entre los que existe una gran diversidad catabólica. Y de acuerdo con Butron (2020), estos son capaces, de degradar, transformar, sintetizar y/o acumular de forma natural, un amplio rango de compuestos: desde ligninas, almidón, celulosa y hemicelulosa hasta hidrocarburos, fármacos y metales.

Gupta & Rana (2016) determinaron que la actividad de biodegradación de las colonias bacterianas con el método designado “zona clara” mediante el uso de polvo del polietileno de baja densidad (LPDE). La zona de aclaramiento se detectó mediante el uso de solución de azul de coomassie, 7 aislados demostraron resultados positivos para la zona clara alrededor de las colonias bacterianas, los aislados bacterianos se identificaron como *Bacillus sp.*, *Pseudomonas sp.* y *Micrococcus sp.* Begum & Umamagheswari (2015) realizaron aislamientos bacterianos y encontraron bacterias tales como *Desulfotomaculum nigrificans* y *Pseudomonas alcaligenes*. Se determinaron también que las *Pseudomonas alcaligenes* poseían un 20.1% de degradación más efectivo que *Desulfotomaculum nigrificans* con un 16.2% a los 30 días a 37 °C en la pérdida de peso de las bolsas de polietileno. De igual manera, Jalawi & Saraf (2015) determinaron que algunas condiciones óptimas para la degradación del polietileno van en relación de la temperatura y el pH. Se encontró que la *Pseudomona putida* tuvo un crecimiento en medio de sal mineral (pH 6.5) que contiene 0.5% de polietileno e incubado con agitación (180 rpm) a 37 °C durante 7 días. Además, se ha encontrado que la bacteria *Pseudomona putida* fue capaz de sobrevivir con hasta 0.9% de polietileno. Los resultados indicaron que el polietileno era degradado por *Pseudomona putida*, que utilizó los grupos (O-H, C-O y C-H) como fuente de carbono.

Por lo tanto, el presente trabajo tiene por objetivo, realizar una revisión bibliográfica sobre los mecanismos, métodos y técnicas para la biodegradación de plásticos por pseudomonas.

Desarrollo de la investigación

Polímeros

Son compuestos químicos con moléculas juntas en cadenas largas con repetición debido a su estructura, estos poseen propiedades únicas que pueden acopiarse para distintos usos. Sus macromoléculas están conformadas por monómeros unidos por enlaces covalentes (Yuan et al., 2020). Gutierrez (2018) menciona que existen polímeros naturales y artificiales, además que el polímero más común en la tierra es la celulosa, los cuales se encuentran en las paredes de las plantas y los polímeros artificiales y/o sintéticos incluyen materiales como polietileno y poliestireno. De acuerdo con Meza (2013), indica que algunos polímeros sintéticos son flexibles como los termoplásticos, que a su vez se clasifican en siete grupos los cuales son: polietileno de tereftalato (PET); polietileno de alta densidad (HDPE); cloruro de polivinilo (PVC); polietileno de baja densidad (LDPE); polipropileno (PP); poliestireno (PS); etc.

Los polímeros se pueden clasificar de acuerdo con el tamaño de su molécula o según su estructura orgánica e inorgánica, el estado físico, la composición química, el uso final o la reacción que tiene con el ambiente, de acuerdo con Posada (2012) la principal división de los polímeros son plásticos y elastómeros que se muestra en la figura 1.



Figura 1. Clasificación de plásticos (Defalla, 2016).

Biorremediación

Martínez (2016) menciona que la biorremediación es una alternativa para degradar plásticos, este hace uso de los sistemas biológicos para la remediación de los contaminantes o sustancias tóxicas, pretendiendo acelerar los ciclos naturales a través de colonias microbianas y de acuerdo con Burguess et al. (2008) citado por Meza (2013) presenta otra alternativa frente a este problema, el cual es la fabricación de plásticos con pro - oxidantes o polímeros biológicamente degradables.

Biodegradación de polímeros

La biodegradación es un proceso natural que descompone un material en dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), agua (H₂O) y constituyentes orgánicos, a causa de la acción enzimática de los microorganismos (Gama, 2014). Por otra parte, Barbarán, Cabanillas, Rubio (2018) mencionan que la biodegradación es la asimilación de los polímeros por los organismos vivos. Y de acuerdo con Blanco (2007) menciona que la biodegradación se evidencia mediante la colonización de bacterias y hongos en la superficie del polímero, dependiendo de los factores como la tensión superficial, porosidad, textura superficial, etc.

También, Speight (2011) afirma que la biodegradación se debe a la alteración de la estructura física y/o química de la cadena del polímero que a su vez ésta minimiza el peso molecular del polímero, estas variaciones pueden ser indeseables como los

cambios durante el uso o deseables como en la biodegradación, estos cambios se producen principalmente por el efecto de factores en la composición de los polímeros, como se observa en la Figura 2.

Una manera simple y rápida de evaluar la biodegradación de los polímeros es a través de la determinación de la pérdida de peso, el cual es detectado sobre dicho polímero, el mismo que muestra deterioro en su integridad, producto de un ataque microbiano (Vertus et al., 2017).

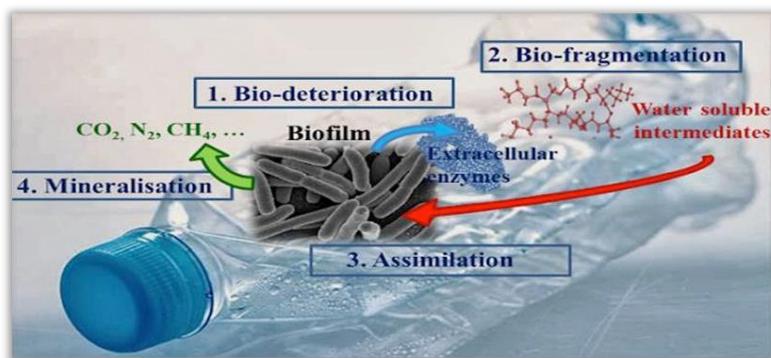


Figura 2. Biodegradación de un polímero (Muhonja, 2020).

Microorganismos, hongos y enzimas que biodegradan los polímeros

La biodegradación se da a través de procesos metabólicos y enzimáticos llevados a cabo por los microorganismos como bacterias, hongos, etc., las cuales secretan enzimas que se encargan de fragmentar la estructura molecular de los plásticos degradándolo con el tiempo (Tokiwa, 2009). De igual forma Sha & Fariha (2008), afirman que los microorganismos actúan de forma individual, así como en colonias o en consorcios microbianos, desarrollando un papel importante en el ecosistema y a su vez están estrechamente relacionados con la biodegradación de plásticos sintéticos, naturales y biodegradables.

Es por ello, que las bacterias representan un grupo importante de microorganismos que trabajan en forma multidisciplinaria sobre el polietileno y son los más abundantes de todos los organismos; estas habitan principalmente en el suelo, agua y la atmósfera, muchas especies son destacadas por su capacidad degradadora de contaminantes. Bakir, Rowland, S. Thompson, & R. (2014) y de acuerdo con Janssen, Yates, Grington, Taylor, & Sait. (2002) mencionan que para llevar a cabo el estudio sobre la biodegradación de plásticos en diferentes condiciones ambientales es preciso aislarlos de sus medios y de esta forma investigar las vías metabólicas y la susceptibilidad a ataques de microbios en comparación con otros materiales degradables.

Las enzimas son causantes directas e indirectas de la oxidación biótica de plásticos, estas son secretadas por las células microbianas, las cuales catalizan la formación de una o varias reacciones en la superficie como: la oxidación, reducción, hidrolisis y esterificación (Acuña, 2017); algunas de las exo-enzimas presentadas, usan oxígeno o peróxido para generar grupos carbonilo o hidroxilo en la superficie del material (Kershaw & M., 1998). En la tabla 2, se observa los reportes de las enzimas y microorganismos degradadores.

Tabla 1

Condiciones ambientales en las que se desarrolla los microorganismos, hongos y enzimas que biodegradan los polímeros

Enzimas, hongos, bacterias, consorcios microbianos	Condiciones	Material biodegradado	Biodegradación	Referencias
Amidasa (Enzima)	37°C, pH 7 y 51 días	PU	33% de 4g	(Magnin et al., 2019)
<i>Pseudomona aeruginosa</i>	20°C a 40°C, pH 5.5 a 9, 7 días	LPDE	67% de 7g	(Gutierrez, 2018)
<i>Pseudomona aeruginosa</i>	25°C, pH 7 y 35 días	LPDE	10.3% de 4g	(Martínez, 2016)
<i>Ideonella sakaiensis</i>	37°C, MSM, 160 días	PET	14.9% de 2g	(Gómez & Oliveros, 2016)
<i>Pseudomonas sp.</i>	26°C a 28°C, pH 7, 14 días	Fenantreno	56.9% de 0.2g	(Janbandhu & Fulekar, 2011)
<i>Bacillus sp.</i>	26°C a 28°C, pH 7, 14 días	Fenantreno	45.3% de 0.2g	(Janbandhu & Fulekar, 2011)
<i>Streptococci sp.</i>	26°C a 28°C, pH 7, 14 días	Fenantreno	23.2% de 0.2g	(Janbandhu & Fulekar, 2011)
<i>Aspergillus sp.</i> (hongo)	26°C a 28°C, pH 7, 14 días	Fenantreno	15.3% de 0.2g	(Janbandhu & Fulekar, 2011)
<i>Mucor sp.</i> (hongo)	26°C a 28°C, pH 7, 14 días	Fenantreno	18.9% de 0.2g	(Janbandhu & Fulekar, 2011)
<i>Rhodococcus rhodochrous</i>	27°C, 85% humedad, MSM, 6 meses	PET	5% de 0.5g	(Hakkarainen & Albertsson, 2004)
<i>Cladosporium cladosporoides</i>	27°C, 85% humedad, MSM, 6 meses	PET	8% de 0.5g	(Hakkarainen & Albertsson, 2004)
<i>Nocardia asteroides</i>	27°C, 85% humedad, MSM, 6 meses	PET	4% de 0.5g	(Hakkarainen & Albertsson, 2004)

Pseudomonas

Los microorganismos del género *Pseudomonas*, son bacilos Gram negativos, aerobios, oxidasa positivos con una cierta facilidad de adaptación que les permite adecuarse al hábitat donde se encuentren para hacer uso de diferentes fuentes como el carbono o el nitrógeno para su nutrición (Fernández, 2012). Estos microorganismos se han caracterizado por ser críofílicas y mesófilas, muchas de estas suelen desarrollarse en un rango de 2 °C a 42 °C de temperatura y debido a su capacidad de adaptación en el medio ambiente. Las pseudomonas, se han convertido en un problema para la salud pública, ya que estos microorganismos son capaces de colonizar un amplio rango de nichos, como el cuerpo humano así lo mencionan (Estupinán, Ávila de Nava, & López, 2016).

En cuanto a la clasificación taxonómica, el género *Pseudomonas*, tiene como división a la proteobacteria, de clase *gammaproteobacterial*, en el orden *pasteurellales - pseudomonales* y perteneciente a la familia *pasteurellaceae – Pseudomonadaceae* (Pescador, 2013).

Las *pseudomonas* son usadas para procesos de biorremediación, ya que tienen la capacidad de utilizar como parte de su metabolismo al carbono, se han realizado diversas investigaciones con el objetivo de introducir nuevas metodologías que puedan ser aplicados en la reducción de plásticos (González et al., 2013). En la Tabla 2, se muestra las condiciones en las que se desarrollan las *Pseudomonas*, según diversos autores.

Tabla 2

Condiciones ambientales para el desarrollo de las pseudomonas

Microorganismo	Condiciones	Tipo de polietileno	Biodegradación	Referencia
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	25°C y 35°C, pH 5 y 7 por 30 días	LDPE	27.3% de 0.024 mg	(Butron, 2020)
<i>Deinococcus thermus</i>	25°C, pH 6.8 por 60 días	PP, PE y PET	25%, 35% y 28% de 2.0 g	(Shabbir et al., 2020)
<i>Pseudomonas putida</i>	25°C y 35°C, pH 6 y 8 por 7 días	PP	51.5 % de 5 g	(Yang et al., 2020)
<i>Pseudomonas sp.</i>	60°C, 24h por 10 días	PPS y PE	10% de 2 g	(Li et al., 2020)
<i>Pseudomonas sp.</i>	27°C, MSM por 70 días	LDPE	2.88% de 6g	(Gutiérrez, 2019)
<i>Pseudomona aeruginosa</i>	Solución salina y UFC	PET	19.93% de 35g	(Barbarán et al., 2018)

Pseudomonas modificadas genéticamente

El papel biodegradador de las *pseudomonas* resultan ser efectivas en distintos casos, sin embargo las que son modificadas genéticamente tienen una mayor capacidad para sobrevivir a factores ambientales adversos (Torres, 2003).

El análisis del genoma KT2440 reveló características de la adaptabilidad de la *Pseudomona putida*, y su aplicabilidad a la biorremediación (Silby, Winstanley, Godfrey, Levy, & Jackson, 2011).

Mecanismos de la biodegradación del plástico

Son procesos químicos (oxidación, hidrólisis); físicos (degradación térmica, fotodegradación y degradación mecánica) y procesos biológicos (biodegradación con microorganismos). La biodegradación del plástico involucra un mecanismo, en el que los microorganismos actúan en relación con la degradación de los polímeros, así como se muestra en la figura 3 (Arutchelvi, Sudhakar, Arkatkar, y Doble, 2008).



Figura 3. Mecanismo de la biodegradación de los plásticos (Arutchelvi, Sudhakar, Arkatkar, y Doble, 2008)

Factores que intervienen en la biodegradación

Es importante tener en cuenta que la biodegradación depende de varios factores como las características del plástico, tipo de microorganismo y la fase de pretratamiento. Arutchelvi, Sudhakar, Arkatkar, & Doble, (2008) mencionan que la biodegradabilidad de los polímeros está determinada esencialmente por diferentes e importantes características físicas y químicas como: la disponibilidad de grupos funcionales que aumentan las propiedades hidrofílicas, forma, peso, peso molecular, densidad

del plástico, cantidad de regiones amorfas y cristalinas del polímero, de igual forma Shabbir et al., (2020) menciona la complejidad estructural del plástico, composición molecular, presencia de grupos fácilmente fragmentables como los grupos éster o amidas como lo menciona Zheng et al., (2005).

Hakkarainen & Albertsson (2004) mencionan el efecto de la humedad en la biodegradación en el medio sólido, de acuerdo con la cantidad de humedad que existe en el ambiente, éste se puede dividir en dos categorías: ambientes acuáticos y ambientes sólidos o secos, el contenido de humedad en el sustrato tiene un efecto directo en el crecimiento de los microorganismos, así mismo Acuña (2017) menciona que hizo el uso de microorganismos *Pycnoporus sanguineus* para degradar el polietileno de baja densidad, donde observó que el crecimiento fue más rápido y de forma intensa en el sustrato compuesto por 67% de polímero y 33% a 22% que era el de mayor humedad.

Esmeralda et al. (2008) mencionan el efecto del pH en el medio, este factor es uno de los indicadores del proceso de biorremediación y aunque las pseudomonas pueden adaptarse fácilmente a condiciones extremas, estas cepas microbianas tienen un determinado rango de tolerancia. Como lo demuestra Acuña (2017) a un pH extremadamente alcalino o ácido la biodegradación se hace lenta, el rango óptimo para la biodegradación está entre 6 a 8 de pH, sin embargo, para mantener una capacidad degradante, el pH debe ser neutro, el cual comprende entre 7.4 a 7.8 pH evitando el máximo de fluctuaciones.

Alania & Pérez (2017) mencionan el efecto de la temperatura de desarrollo de las pseudomonas corresponde a los valores de los 2 °C hasta 55 °C en general, las bacterias termofílicas como las *Streptomyces coelicoflavus* soportan variaciones de temperaturas desde los 12 °C hasta los 42 °C, no obstante, la temperatura óptima fue de 28 + 2 °C. en tanto para las bacterias *Pseudomonas putida* determinaron que la temperatura óptima para que se desarrolle eficientemente es de 37 °C. además Yang et al., (2020) afirman que las *Pseudomonas sp.* son microorganismos euritéricos, es decir, que estos son capaces de adaptarse a los cambios, lo cual hace que estas bacterias, sean las mejores alternativas para la aplicación de biodegradación en diferentes condiciones ambientales de temperatura.

Song, Wang, Meng, Qiao, y Takeuchi (2015) afirman que debido a que el proceso de la biodegradación es complejo, puede iniciarse de múltiples maneras recorriendo varios procesos o reacciones, por lo que la biodegradación del polietileno de baja densidad (LDPE) se da a través de dos mecanismos básicos como: la hidrobiodegradación y la oxobiodegradación. Los cuales dependen del grado de oxidación del material y del tipo de aditivo adicionado, que puede ser almidón o pro-oxidantes como lo menciona Gómez & Oliveros (2016). En la figura 3 se muestra la ruta de biodegradación del polietileno.

Janbandhu & Fulekar (2011) mencionan que la mineralización del polietileno inicia degradación abiótica u oxidación, que es causada principalmente por la luz solar y las condiciones del entorno como el: pH, la salinidad, la disponibilidad de oxígeno, el estrés físico, la humedad, la temperatura, etc., facilitando el posterior ataque microbiano, en la figura 4 se muestra el proceso que tiene la oxidación del polietileno.

Técnicas y métodos de análisis de la biodegradación del polietileno de baja densidad

A través de los años se han ido desarrollando nuevas técnicas que se enfocan en el estudio de los microorganismos que utilizan el LDPE como fuente de carbono y energía, también, los cambios que ocurren en las poblaciones microbianas a través del tiempo, las enzimas liberadas, los cambios en la biomasa a través de todas las etapas de crecimiento (Gutiérrez, 2013). A continuación, se muestran las siguientes técnicas y métodos utilizados para el presente estudio, en la Tabla 3.

Las técnicas usadas en los estudios de investigación fueron técnicas espectrofotométricas microscópicas y espectrométricas. Las cuales se basan en la interacción entre la materia LDPE y la energía, cada uno de sus átomos absorbe y refleja la energía que se emite por las distintas fuentes (Acuña, 2017).

El instituto de ciencia de materiales de Madrid, citado por Acuña, (2017) afirman que la microscopia electrónica de barrido (SEM) nos permite determinar la forma, textura, composición química, cambios superficiales y colonización microbiana de los polietilenos biodegradados, mediante el uso de electrones en lugar de luz para formar una imagen, así mismo el equipo cuenta con un dispositivo que genera un haz de electrones que interactúan con la superficie del polietileno.

Mahalaksmi, (2017) citado por Acuña (2017), indica que el Espectro fotometría infrarrojo (FTIR), nos permite determinar los enlaces de carbono y carbonilos presentes en la biodegradación del LDPE, mediante la emisión de frecuencias infrarrojo que absorben las moléculas orgánicas y así mismo dichas moléculas reflejan las frecuencias y se puede determinar en enlace que pertenece a dicha frecuencia y por consiguiente la degradación del LDPE como lo determinaron Uribe, Gutiérrez, Giraldo & Merino (2010).

La microscopia óptica nos permite conocer la microestructura de muestras biológicas e inorgánicas mediante la interacción con un haz de luz de fotones (Universitat de les Illes Balears [UIB], 2010).

Tabla 3

Métodos y técnicas utilizadas para estudiar la biodegradación del LDPE.

Microorganismo	Método	Técnica	Condiciones de biodegradación, tipo de PE.	% biodegradación	Referencia
----------------	--------	---------	--	------------------	------------

<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Pérdida de peso.	M.O.	25°C y 35°C, pH 5 – 7, mg 0.021 – 0.024, 30 días, LDPE	27.3%	(Butron, 2020)
<i>Pseudomonas sp.</i>	Pérdida de peso.	SEM, FT-IR	60°C, 24h por 10 días, 2g de PE y PPS	10%	(Li et al., 2020)
<i>Pseudomonas putida</i> .	-----	M.O. MS-MS	25°C – 35°C, pH 6-8, MSM, 7 días, 5 g de PP	51.5%	(Yang et al., 2020)
<i>Deinococcus th.</i>	Pérdida de peso.	SEM, FTIR-ATR	25°C, pH 6.8, 60 días, 2g de PP, PE y PET	25%, 35% y 28%	(Shabbir et al., 2020)
<i>Pseudomonas sp.</i>	Pérdida de peso.	SEM	27°C, MSM, 70 días, 6g de LDPE	6.54%	(Gutiérrez Alvarez, 2019)
<i>Rhodococcus rh, Cladosporium cl, Nocardia as.</i>	-----	SEM, FT-IR	20°C a 40°C, 85% humedad, MSM, inóculos, por 6 meses, 4g de PET.	4% a 8%	(Hakkarainen & Albertsson, 2004)
<i>Pseudomonas sp. Streptococcus sp. Diplococcus sp.</i>	UFC	ASTM D882 y D5899-96	30°C por 12 meses, HDPE, LDPE	11.54% 10.47% 2.87%	(Vijaya & Reddy, 2008)
<i>Pseudomonas chororaphis</i>	UFC	Kalb y Bernlohr (1977).	30 °C, 12 – 18 horas, pH 7 – 8.5, PS	2.8%,	(Ruiz et al., 1999)

Según Acuña (2017), existe una amplia gama de métodos que permiten estudiar la biodegradación del polietileno incluso algunos métodos fueron estandarizados por la Organización Internacional de Estandarización (ISO), los métodos tienen múltiples propósitos, que pueden enfocarse en los microorganismos, la biodegradación o los productos de la biodegradación, etc.

Vertus et al. (2017) mencionan que los métodos desarrollados por diversos autores se enfocan en aspectos subjetivos de interés tales como: las condiciones antes y durante los experimentos, en tiempo que serán expuestos a los microorganismos, y Li et al., (2020) agrega que las variables a analizar durante la experimentación son, el tipo de material a biodegradar, los microorganismos que serán utilizados para la biodegradación, entre otras variables que se consideran a evaluar.

“Para la biodegradación del LDPE se debe tener en cuenta las siguientes variables, tipo de microorganismos, la disponibilidad de oxígeno, disponibilidad de agua, temperatura, ambiente químico, pH, enzimas, consorcios microbianos, etc.” (Acuña, 2017).

Productos de la biodegradación

Los estudios demuestran que los microorganismos toman a los polímeros sintéticos y lo reducen a micromoléculas, más fáciles de metabolizar y mineralizar los cuales se enlistan a continuación, Benceno, metilo benceno, docosanoato de metilo propilo, undecano, octano, elcosanol, docosano, tetracosano, pentacosano, hexacosano, ciclo propano, acetona, ácido acético, tricosano, etc. (Awasthi et al., 2020).

Conclusiones

Se concluye que la técnica de pérdida de peso es la más factible para su aplicación y el método de microscopía óptica, donde se puede evidenciar las fragmentaciones y cambios en la estructura de los polímeros sintéticos de manera más sencilla y de esa forma acelerar el proceso de degradación, minimizando los impactos ambientales negativos causados por los plásticos. Cabe indicar también que estos poseen múltiples mecanismos que le permiten biodegradar los polímeros sintéticos desde la liberación de enzimas hasta la adaptabilidad a los cambios físicos, para posteriormente convertir los polímeros a monómeros

Referencias

- Acuña Molina, N. R. (2017). *Revisión Bibliográfica sobre los microorganismos biodegradadores de polietileno de baja densidad y sus efectos en el materia. Journal of Child Psychology and Psychiatry*. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.2010.02280.x>
- Alania Vilcachagua, Y. M., & Pérez Romero, S. G. (2017). *Efecto de la temperatura en el crecimiento de dos cepas ATCC de Pseudomonas sp. expuestas a polipropileno*. Universidad Peruana Cayetano Heredia. Recuperado de <https://docplayer.es/94219006-Tesis-para-optar-por-el-titulo-profesional-de-licenciado-en-tecnologia-medica-especialidad-laboratorio-clinico.html>
- Anzola, J., & Netlogo, M. A. (2014). Detección e identificación de islas de calor urbano: un acercamiento desde el estado del arte. *Detección e identificación de islas de calor urbano: un acercamiento desde el estado del arte*, 11(2), 127–139. <https://doi.org/10.14483/2322939X.9726>
- Awasthi, A. K., Tan, Q., & Li, J. (2020). Biotechnological Potential for Microplastic Waste. *Trends in Biotechnology*, xx(xx), 1–4.

<https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2020.03.002>

- Barbarán Silva, Hellen Maripaz. Cabanillas Paredes, Lilian Janet. Rubio Rodriguez, Y. E. (2018). *Biodegradación de polietileno tereftalato (PET) por acción de Pseudomona aeruginosa, en condiciones de laboratorio*. Universidad Cesar Vallejo. Recuperado de https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UCVV_44689f90593842836b69665e0df7c682/Details
- Bustos F., C. (2010). La problemática de los desechos sólidos. *Economía*, 0(27), 121–144.
- Butron Pinazo, S. B. (2020). *Capacidad de Biodegradación de Pseudomonas aeruginosa frente al polietileno de baja densidad*. Universidad Nacional del Altiplano. Recuperado de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/13475>
- Cáceres Azurín, O. (2012). *Biodegradación bacteriana de polietileno de baja densidad bajo condiciones controladas en biorreactores Air Life*. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Recuperado de <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/356>
- Calzada, E. O. (2016). *Aplicación de Percepción Remota para el Estudio de Áreas con un Potencial Geotérmico*. Recuperado de <https://centrogeo.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1012/20/1/64-2016-Tesis-Edgar Omar Calzada Iglesias-Maestro en Geomática.pdf>
- Chunga Campos, L. del R., & Cieza Martínez, C. A. (2017). *Biodegradación de poliestireno utilizando microorganismos presentes en el humus de lombriz durante los meses, octubre-diciembre 2016*. Universidad de Lambayeque. Recuperado de [http://repositorio.udl.edu.pe/bitstream/handle/UDL/83/CHUNGA CAMPOS, LOURDES DEL ROSARIO ok.pdf;jsessionid=D638FD33F0B8475D442C6F6F28BF315C?sequence=3](http://repositorio.udl.edu.pe/bitstream/handle/UDL/83/CHUNGA_CAMPOS, LOURDES DEL ROSARIO ok.pdf;jsessionid=D638FD33F0B8475D442C6F6F28BF315C?sequence=3)
- Di Martino, C. (2015). *Estudio de bacterias del género Pseudomonas en la degradación de hidrocarburos y síntesis de biosurfactantes: análisis del efecto de los polihidroxicanoatos*. Universidad de Buenos Aires. Recuperado de https://bibliotecadigital.exactas.uba.ar/collection/tesis/document/tesis_n5752_DiMartino
- Esmeralda, S., Romero, G., Carolina, D., Bustos, G., María, A., Marín, H., ... Vargas, M. (2008). N Document 1, 6(9), 76–84.
- Fernández Escapa, I. (2012). *Estudio del metabolismo de polihidroxicanoatos en Pseudomonas putida: Implicaciones fisiológicas y aplicaciones en el desarrollo de bioplásticos funcionalizados*. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad de Complutense. Madrid, España. Universidad Complutense de Madrid. Recuperado de <http://www.tdx.cat/handle/10803/90999>
- Ferrelli, F., Bustos, M. L., & Piccolo, M. C. (2016). La expansión urbana y sus impactos sobre el clima y la sociedad de la ciudad de Bahía Blanca, Argentina. *Estudios Geográficos*, 77(281), 469–489. <https://doi.org/10.3989/estgeogr.201615>
- Fuentes Pérez, C. A. (2014). Islas de calor urbano en Tampico, México. Impacto del microclima a la calidad del hábitat. *Nova Scientia*, 7(13), 495. <https://doi.org/10.21640/ns.v7i13.41>
- Gómez, J., & Oliveros, C. (2016). Biodegradación de polietileno de tereftalato por microorganismos aislados de sitios de disposición final de residuos sólidos, Táchira, Venezuela. *Redieluz*, 6(4), 57–62. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/327944588_BIODEGRADACION_DE_POLIETILENO_DE_TEREFTALATO_POR_MICROORGANISMOS_AISLADOS_DE_SITIOS_DE_DISPOSICION_FINAL_DE_RESIDUOS_SOLIDOS_TACHIRA_VENEZUELA_Polyethylene_terephthalate_Biodegradation_by_microorganism%0A
- González, J. J. G., Carrión, I. N. C., & Juárez, J. (2013). Efecto de la temperatura y del pH sobre el crecimiento de Pseudomonas aeruginosa MBLA-04 en solución mínima de sales con detergente Ace. *Revista Rebiol*, 33(1), 1–8. Recuperado de <http://revistas.unitru.edu.pe/index.php/faccbiol/article/view/167>
- Gorni, A. (2015). Introducao Aos Plásticos. *ResearchGate*, xxx(January), 18. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/266178341_INTRODUCAO_AOS_PLASTICOS
- Gutiérrez Alvarez, A. I. (2019). *Biodegradación del polietileno de baja densidad utilizando hongos, bacterias y consorcios microbianos aislados del botadero municipal de Tacna*. Universidad Privada de Tacna. Recuperado de <http://repositorio.upt.edu.pe/bitstream/UPT/1269/1/Gutierrez-Alvarez-Ana.pdf>
- Gutierrez Taipe, K. Y. R. (2018). *Influencia de factores ambientales de crecimiento microbiano en la degradación de polietileno de baja densidad por la bacteria pseudomona aeruginosa en Huancayo*. Universidad Continental. Recuperado de <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/4507>
- Hakkarainen, M., & Albertsson, A. C. (2004). Environmental degradation of polyethylene. *Advances in Polymer Science*, 169(March 1991), 177–199. [https://doi.org/10.1016/S0141-3910\(03\)00129-0](https://doi.org/10.1016/S0141-3910(03)00129-0)
- Howard, G. T. (2002). Biodegradation of polyurethane: A review. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 49(4), 245–252. [https://doi.org/10.1016/S0964-8305\(02\)00051-3](https://doi.org/10.1016/S0964-8305(02)00051-3)
- Huamani Montesinos, C., Tudela Mamani, J. W., & Huamani Peralta, A. (2020). Gestión de residuos sólidos de la ciudad de Juliaca-Puno-Perú. *Journal of High Andean Research*, 22(1), 49–56. <https://doi.org/10.18271/ria.2020.541>
- Janbandhu, A., & Fulekar, M. H. (2011). Biodegradation of phenanthrene using adapted microbial consortium isolated from petrochemical contaminated environment. *Journal of Hazardous Materials*, 187(1–3), 333–340. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.01.034>
- Janczak, K., Hryniewicz, K., Znajewska, Z., & Dąbrowska, G. (2018). Use of rhizosphere microorganisms in the biodegradation of PLA and PET polymers in compost soil. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 130, 65–75. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2018.03.017>
- Li, J., Kim, H. R., Lee, H. M., Yu, H. C., Jeon, E., Lee, S., & Kim, D. H. (2020). Rapid biodegradation of polyphenylene sulfide plastic beads by Pseudomonas sp. *Science of the Total Environment*, 720, 24. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137616>
- Li, Z., Tang, B., Wu, H., Ren, H., Yan, G., Wan, Z., ... Sobrino, J. A. (2013). Remote Sensing of Environment Satellite-derived land surface temperature: Current status and perspectives. *Remote Sensing of Environment*, 131, 14–37. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.12.008>
- Martínez, P. N. (2016). Efectos de las Asociaciones Microbianas sobre la Degradabilidad del Polietileno de Baja Densidad. *Estudios e Investigaciones del Saber Académico*, 10, 13–18. Recuperado de <http://publicaciones.uni.edu.py/index.php/eisa/article/view/104>
- Méndez, C. R., Vargaray, G., Béjar, V. R., Cárdenas, K. J., Nacional, U., De, M.-Y., ... Carmen Méndez, E. (2007). Aislamiento y caracterización de micromicetos biodegradadores de polietileno. *Revista Peruana biología*, 13(3), 203–205. Recuperado de <http://www.scielo.org.pe/pdf/rpb/v13n3/v13n3a08.pdf>
- Meza Vargas, M. F. (2013). *Biodegradabilidad de polietileno teraftalato y de oxopolietileno, a nivel de laboratorio, por la acción de bacterias nativas presentes en humus de lombriz, caballo y gallina*. Escuela politecnica del ejército. Recuperado de <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/6261>
- MINAM. (2010). *Informe anual de residuos sólidos municipales y no municipales en el Perú, gestión 2009*. Perú. Recuperado de <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/informe-anual-residuos-solidos-municipales-no-municipales-peru>
- Mujabar, P. S. (2019). Spatial-temporal variation of land surface temperature of Jubail Industrial City , Saudi Arabia due to seasonal effect by using Thermal Infrared Remote Sensor (TIRS) satellite data. *Journal of African Earth Sciences*, 155(March), 54–63. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2019.03.008>
- Obeso Rodríguez, J. I. (2017). *Síntesis de polihidroxicanoatos en Pseudomonas putida: estudios bioquímicos, genéticos y ultraestructurales*. Universidad de León. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=125059>
- Olaquibe, M. A. (2016). *Estudio de la capacidad degradativa sobre materiales plásticos de microorganismos aislados del lixiviado del relleno sanitario de la ciudad de Santa Fé*. Santa Fe.
- Olcina Cantos, J., Rico Amorós, A. M., Moltó Mantero, E., Paulo Gomes, W., & Trindade Amorim, M. C. de C. (2016). Análisis de la isla de calor de superficie en la ciudad de Ubatuba, Brasil. *Clima, sociedad, riesgos y ordenación del territorio*, 19(band 10), 121–129. <https://doi.org/10.14198/xcongresoaealicante2016-11>
- Palao Villasante, A. S., Nuñez Delgado, E. J., & Delgado, N. (2014). Modelo de sistema de información de registro y monitoreo socio ambiental participativo del proyecto de exploración minero Chucapaca comparando las metodologías ágiles Scrum y Kanban, 120.
- Pescador Gutiérrez, G. J. (2013). *Biodegradación de polietileno de baja densidad por consorcios microbianos*. Universidad Nacional Autónoma de México. Recuperado de https://www.zaragoza.unam.mx/wp-content/Portal2015/Licenciaturas/biologia/tesis/tesis_gutierrez_pescador.pdf
- Porras Vásquez, P. (2018). Detección de núcleos de islas de calor en la Ciudad de Arequipa, 58. Recuperado de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/3204>
- Posada Bustamente, B. (2012). La degradación de los plásticos. *Revista universidad Eafit*, 30, 67–86. Recuperado de <http://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/revista-universidad-eafit/article/view/1408>

- Sangines-Coral, D. E. (2013). Metodología de evaluación de la isla de calor urbana y su utilización para identificar problemáticas energéticas y de planificación urbana, 2008. <https://doi.org/2254-7606>
- Shabbir, S., Faheem, M., Ali, N., Kerr, P. G., Wang, L. F., Kuppasamy, S., & Li, Y. (2020). Periphytic biofilm: An innovative approach for biodegradation of microplastics. *Science of the Total Environment*, 717, 43. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137064>
- Silby, M. W., Winstanley, C., Godfrey, S. A. C., Levy, S. B., & Jackson, R. W. (2011). Pseudomonas genomes: Diverse and adaptable. *FEMS Microbiology Reviews*, 35(4), 652–680. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6976.2011.00269.x>
- Soberón Forsberg, V. S., & Obregón Párraga, E. (2016). Identificación De Islas De Calor En La Ciudad De Lima Metropolitana Utilizando Imágenes Del Satélite Landsat 5Tm. *Anales Científicos*, 77(1), 34. <https://doi.org/10.21704/ac.v77i1.475>
- Soberón, V. S. (2014). Islas de calor urbanas en la ciudad de Lima utilizando imágenes satelitales, 127.
- Song, C., Wang, S., Meng, Z., Qiao, M., & Takeuchi, S. (2015). Estimation of the Number of Degrading Microorganisms for Biodegradable Plastic in Natural Environments. *ResearchGate*, (February), 9. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/268412137_ESTIMATION_OF_THE_NUMBER_OF_DEGRADING_MICROORGANISMS_FOR_BIODEGRADABLE_PLASTICS_IN_NATURAL_ENVIRONMENTS
- Soto, J., Garzón, J., & Jiménez-Cleves, G. (2020). Análisis de islas de calor urbano usando imágenes Landsat: caso de estudio Armenia-Colombia 1996-2018. *Espacios*, 41(8), 9. Recuperado de <https://www.revistaespacios.com/a20v41n08/20410809.html>
- Torres, D. (2003). 54012219. *Ecosistemas*, XII(2), 5.
- Urbano, C. (s. f.). Curso : Contaminación Atmosférica Tema : Isla de Calor Urbano.
- Uribe, D., Giraldo, D., Gutiérrez, S., & Merino, F. (2010). Biodegradation of low density polyethylene by the action of a microbial consortium isolated from a landfill, Lima, Peru. *Revista Peruana de Biología*, 17(1), 133–136.
- Vertus, D., Ruíz, M., Henriquéz, J., & Ortíz, V. (2017). Biodegradación bacteriana de polietileno y propuesta de aplicación en Cerro Patacón. *Revista de Iniciación Científica*, (1): 3(1), 1–6. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/318315747_Biodegradacion_bacteriana_de_polietileno_y_propuesta_de_aplicacion_para_Cerro_Patacon
- Wilkes, R. A., & Aristilde, L. (2017). Degradation and metabolism of synthetic plastics and associated products by *Pseudomonas* sp. : capabilities and challenges. *Journal Applied Microbiology*, 123(3), 582–593. <https://doi.org/10.1111/jam.13472>
- Yang, Y., Pratap Singh, R., Song, D., Chen, Q., Zheng, X., Zhang, C., ... Li, Y. (2020). Synergistic effect of *Pseudomonas putida* II-2 and *Achromobacter* sp. QC36 for the effective biodegradation of the herbicide quinclorac. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 188(October). <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.109826>
- Yuan, J., Ma, J., Sun, Y., Zhou, T., Zhao, Y., & Yu, F. (2020). Microbial degradation and other environmental aspects of microplastics/plastics. *Science of The Total Environment*, 715, 9. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136968>
- Zheng, Y., Yanful, E. K., & Bassi, A. S. (2005). A Review of Plastic Waste Biodegradation. *Critical Reviews in Biotechnology*, 25(4), 243–250. <https://doi.org/10.1080/07388550500346359>

