

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA**

**FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA**



**Biodegradación de polietileno tereftalato por
consorcios microbianos de humus de lombriz y
compost - Ayacucho, 2023.**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
BIÓLOGO, ESPECIALIDAD: MICROBIOLOGÍA**

Presentado por:

Bach. Palomino Quispe, Enver Mijael

Asesor:

Dr. Chuchón Martínez, Saúl Alonso

AYACUCHO - PERÚ

2024

A mis padres, por el apoyo que siempre
me brindaron día a día en el transcurso
de cada año de mi carrera universitaria.

Mijael.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, una institución reconocida como el *Alma Mater*, por darme la oportunidad de estudiar en sus aulas durante mi formación profesional y haberme formado académicamente durante mis años de estudiante.

A todos los docentes de la Escuela Profesional de Biología, por compartir sus conocimientos, enseñanzas y transmitir los valores y el optimismo en el transcurso de mi formación profesional.

Al Dr. Saúl Alonso Chuchón Martínez; por su asesoramiento, paciencia y experiencia compartida en el desarrollo de la presente tesis.

Al Blgo. Pedro Mauricio Delgadillo Coronado, por ser buen guía en el proceso de esta etapa y apoyo incondicional en el desarrollo de la presente investigación.

Al Mg. Rilder Nemesio Gastelú Quispe, por su apoyo y guía en la elaboración del proyecto de tesis.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE GENERAL	vii
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS	xv
RESUMEN	xix
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	3
2.1. Antecedentes	3
2.1.1. Nivel internacional	3
2.1.2. Nivel nacional	5
2.2. Marco conceptual	7
2.2.1. Plásticos	7
2.2.2. Polímeros sintéticos	7
2.2.3. Polietileno tereftalato	8
2.2.4. Humus de lombriz	8
2.2.5. Compost	8
2.2.6. Degradación	8
2.2.7. Biodegradación	9
2.2.8. Biopelícula	9
2.3. Fundamento teórico	9
2.3.1. Clasificación de los polímeros sintéticos	9
2.3.2. Propiedades de los polímeros sintéticos	11
2.3.3. Características y composición del humus de lombriz	11
2.3.4. Microorganismos que intervienen en el proceso de producción de humus de lombriz	11
2.3.5. Microorganismos que intervienen en el proceso de producción de compostaje	12
2.3.6. Consorcio microbiano	13

2.3.7. Factores ambientales que intervienen en la biodegradación de polímeros sintéticos	13
2.3.8. Biodegradación microbiana de polímeros sintéticos	14
2.3.9. Mecanismos de biodegradación de polímeros sintéticos	14
2.3.10. Fundamento bioquímico de la biodegradación de polímeros sintéticos	15
2.3.11. Microorganismos involucrados en la biodegradación de polímeros sintéticos	16
III. MATERIALES Y MÉTODOS	21
3.1. Tipo y nivel de investigación	21
3.2. Lugar de ejecución	21
3.3. Metodología y recolección de los datos	21
3.3.1. Procedencia de humus de lombriz y compost	21
3.3.2. Procedencia de los envases de polietileno tereftalato	21
3.3.3. Pulverización y desinfección de polietileno tereftalato	21
3.3.4. Preparación de las láminas de polietileno tereftalato	22
3.3.5. Preparación de medio sales minerales	22
3.3.6. Primer periodo de adaptación de microorganismos de humus de lombriz y compost	22
3.3.7. Segundo periodo de adaptación de microorganismos	22
3.3.8. Aislamiento de microorganismos	23
3.3.9. Preparación del inóculo bacteriano para la evaluación de la biodegradación de polietileno tereftalato	23
3.3.10. Evaluación de la biodegradación de polietileno tereftalato	24
3.3.11. Estandarización de la curva patrón para las diversas concentraciones de la biomasa microbiana	24
3.3.12. Estandarización de la curva patrón para las diversas concentraciones de proteínas (ovoalbúmina)	25
3.3.13. Medición de la biomasa microbiana con espectrofotometría	26
3.3.14. Medición de las proteínas microbianas con espectrofotometría	27
3.3.15. Formación de biopelículas	27
3.3.16. Formación de porosidad	28

3.3.17. Identificación de los microorganismos degradadores de polietileno tereftalato	28
3.3.18. Análisis estadístico	28
IV. RESULTADOS	29
V. DISCUSIÓN	39
VI. CONCLUSIONES	47
VII. RECOMENDACIONES	49
VIII. REFERENCIAS	51
IX. ANEXO	55

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Condiciones ambientales en las que se desarrollan los microorganismos degradadores de los polímeros sintéticos.	17
Tabla 2. Condiciones ambientales en las que se desarrollan los microorganismos biodegradadores de LDPE.	18
Tabla 3. Consorcio microbiano implicados en la biodegradación de los diferentes tipos de polímeros sintéticos.	19
Tabla 4. Concentración de los suplementos en el medio sales minerales para la adaptación de microorganismos provenientes de humus de lombriz y compost en un periodo de incubación de 22 días. Ayacucho 2023.	23
Tabla 5. Cepas microbianas, con potencial degradativo de láminas de polietileno tereftalato, a partir de muestras de humus de lombriz y compost, seleccionadas por proceso de adaptación. Ayacucho 2023.	30
Tabla 6. Pérdida de peso de láminas de PET por acción de consorcio bacteriano aislado de humus de lombriz a través en un periodo de 42 días de incubación, evaluados cada siete días. Ayacucho 2023.	35
Tabla 7. Pérdida de peso de láminas de PET por acción de consorcio bacteriano aislado de compost a través en un periodo de 42 días de incubación, evaluados cada siete días. Ayacucho 2023.	35
Tabla 8. Identificación de cepas bacterianas degradadoras de láminas de PET aisladas de humus de lombriz y compost. Ayacucho 2023.	38

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Clasificación de los polímeros sintéticos.	10
Figura 2. Ruta metabólica de asimilación de los polímeros sintéticos por microorganismos.	16
Figura 3. Curva patrón de concentración de biomasa microbiana versus absorbancia a 600 nm de longitud de onda. Ayacucho 2023.	31
Figura 4. Incremento de la biomasa microbiana neto aisladas de humus de lombriz y compost en el proceso de la evaluación de la biodegradación de láminas de PET. Ayacucho 2023.	32
Figura 5. Curva patrón de concentración de proteínas (ovoalbúmina) versus absorbancia a 545 nm de longitud de onda. Ayacucho 2023	33
Figura 6. Incremento de concentraciones de proteínas microbianas neto aisladas de humus de lombriz y compost en el proceso de la evaluación de la biodegradación de láminas de PET. Ayacucho 2023.	34
Figura 7. Porcentaje de pérdida de peso neto de láminas de PET por acción de consorcio bacteriano aislado de humus de lombriz a través de un periodo de 42 días de incubación. Ayacucho 2023.	36
Figura 8. Porcentaje de pérdida de peso neto de láminas de PET por acción de consorcio bacteriano aislado de compost a través de un periodo de 42 días de incubación. Ayacucho 2023.	36
Figura 9. Tubos de ensayo con láminas de PET, con crecimiento de biopelículas, por consorcio bacteriano aislados de humus de lombriz y compost. Ayacucho 2023	37
Figura 10. Cambios en el aspecto de la superficie de las láminas de PET por acción de consorcio bacteriano aislado de compost. Ayacucho 2023.	37

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Obtención de las muestras de humus de lombriz y compost en el punto de ventas de plántulas situado en el mercado Mariscal Cáceres. Ayacucho 2023.	56
Anexo 2. Obtención de envases de polietileno tereftalato del contenedor de botellas en los laboratorios de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. Ayacucho 2023.	56
Anexo 3. Preparación de medio sales minerales suplementado con extracto de levadura por un litro de agua. Ayacucho 2023.	57
Anexo 4. Preparación de reactivo de Biuret modificado por un litro de agua. Ayacucho 2023.	57
Anexo 5. Flujograma del primer periodo de adaptación de microorganismos de humus de lombriz y compost. Ayacucho 2023.	58
Anexo 6. Flujograma del segundo periodo de adaptación de microorganismos a diferentes concentraciones de glucosa y PET pulverizado. Ayacucho 2023.	59
Anexo 7. Flujograma de aislamiento de microorganismos de humus de lombriz y compost. Ayacucho 2023.	60
Anexo 8. Tinción Gram de cepas bacterianas aisladas de humus de lombriz y compost a un aumento de 1000X. Ayacucho 2023.	61
Anexo 9. Flujograma para la evaluación de la biodegradación de láminas de PET por consorcio bacteriano aislados de humus de lombriz y compost. Ayacucho 2023.	62
Anexo 10. Microfotografías de consorcio bacteriano aislados de humus de lombriz y compost adheridos sobre la superficie de láminas de PET a un aumento de 400X. Ayacucho 2023.	63
Anexo 11. Microfotografía de formación de porosidades sobre la superficie de la lámina de PET por acción de consorcio bacteriano aislado de humus de lombriz a un aumento de 400X. Ayacucho 2023.	64

Anexo 12.	Estandarización de la curva patrón para las diversas concentraciones de la biomasa microbiana, en el proceso de evaluación de biodegradación de láminas de PET por consorcio microbiano aislados de humus de lombriz y compost. Ayacucho 2023.	65
Anexo 13.	Estandarización de la curva patrón de proteína (ovoalbúmina mg/mL), para la determinación de concentración de proteínas microbianas en el proceso de biodegradación de láminas de PET por consorcio microbiano aislados de humus de lombriz y compost. Ayacucho 2023.	66
Anexo 14.	Tabulación de los datos obtenidos a partir de la turbidez de cada tubo sometidas a una absorbancia a 600 nm de longitud de onda, por la ecuación de la recta de regresión lineal de la curva patrón, para la obtención de biomasa bacteriana en mg/mL, en el proceso de biodegradación de láminas de PET por consorcio bacteriano aislado de humus de lombriz. Ayacucho 2023.	67
Anexo 15.	Tabulación de los datos obtenidos a partir de la turbidez de cada tubo sometidas a una absorbancia a 600 nm de longitud de onda, por la ecuación de la recta de regresión lineal de la curva patrón, para la obtención de biomasa bacteriana en mg/mL, en el proceso de biodegradación de láminas de PET por consorcio bacteriano aislado de compost. Ayacucho 2023.	68
Anexo 16.	Tabulación de los datos obtenidos a partir de la turbidez de cada tubo sometidas a una absorbancia a 600 nm de longitud de onda, por la ecuación de la recta de regresión lineal de la curva patrón, para la obtención de concentración de proteínas microbianas en mg/mL, en el proceso de biodegradación de láminas de PET por consorcio bacteriano aislado de humus de lombriz. Ayacucho 2023.	69

Anexo 17.	Tabulación de los datos obtenidos a partir de la turbidez de cada tubo sometidas a una absorbancia a 600 nm de longitud de onda, por la ecuación de la recta de regresión lineal de la curva patrón, para la obtención de concentración de proteínas microbianas en mg/mL, en el proceso de biodegradación de láminas de PET por consorcio bacteriano aislado de compost. Ayacucho 2023.	70
Anexo 18.	Análisis de varianza entre las medias porcentuales de la pérdida de peso de láminas de PET a los 42 días de incubación de la biodegradación por consorcio bacteriano aislados de humus de lombriz y compost con un nivel de confianza de 95%. Ayacucho 2023.	71
Anexo 19.	Prueba de comparación de pares de Tukey de las medias porcentuales de la pérdida de peso de las láminas de PET a los 42 días de incubación de la biodegradación por consorcio bacteriano aislados de humus de lombriz y compost con un nivel de confianza de 95%. Ayacucho 2023.	71
Anexo 20.	Análisis de varianza entre las medias de biomasa bacteriana, a los 42 días de incubación, en el proceso de la evaluación de la biodegradación de láminas de PET, por consorcio bacteriano aislados de humus de lombriz y compost, con un nivel de confianza de 95%. Ayacucho 2023.	72
Anexo 21.	Análisis de varianza entre las medias de concentración de proteínas microbianas, a los 42 días de incubación, en el proceso de la evaluación de la biodegradación de láminas de PET, por consorcio bacteriano aislados de humus de lombriz y compost, con un nivel de confianza de 95%. Ayacucho 2023.	72
Anexo 22.	Prueba de comparación múltiple de Tukey para las medias de la biomasa bacteriana, a los 42 días de incubación de la biodegradación de las láminas de PET por consorcio bacteriano aislados de humus de lombriz y compost con un nivel de confianza de 95%. Ayacucho 2023.	73

Anexo 23.	Prueba de comparación múltiple de Tukey para las medias de concentración de proteínas microbianas, a los 42 días de incubación de la biodegradación de las láminas de PET por consorcio bacteriano aislados de humus de lombriz y compost con un nivel de confianza de 95%. Ayacucho 2023.	73
Anexo 24.	Identificación de la cepa bacteriana <i>Serratia liquefaciens</i> (HL-1), mediante secuenciamiento del gen ARNr 16S, aislada de humus de lombriz. Ayacucho 2023.	74
Anexo 25.	Identificación de la cepa bacteriana <i>Citrobacter murlinae</i> (HL-2), mediante secuenciamiento del gen ARNr 16S, aislada de humus de lombriz. Ayacucho 2023.	75
Anexo 26.	Identificación de la cepa bacteriana <i>Serratia marcescens</i> (C-1), mediante secuenciamiento del gen ARNr 16S, aislada de compost. Ayacucho 2023.	76
Anexo 27.	Identificación de la cepa bacteriana <i>Escherichia fergusonii</i> (C-2) mediante secuenciamiento del gen ARNr 16S, aislada de compost. Ayacucho 2023.	77
Anexo 28.	Matríz de consistencia.	78

RESUMEN

Tiene como objetivo general evaluar la biodegradación de polietileno tereftalato por consorcios microbianos aislados de humus de lombriz y compost, donde se realizó en el Laboratorio de Microbiología Ambiental de la UNSCH, entre los meses de febrero a julio de 2023.

La investigación realizada fue aplicada, ya que la principal contribución fue generar conocimientos con aplicación directa a los problemas ambientales, utilizando bacterias degradadoras de polietileno tereftalato

La metodología empleada consistió en evaluar dos tipos diferentes de muestras: humus de lombriz y compost para determinar si las bacterias presentes en estos degradan el PET o no. La evaluación se realizó de manera cuantitativa por la pérdida de peso de láminas de PET evaluándose cada siete días, hasta completar los 42 días. A partir de los pesajes de láminas de PET, se evaluaron los promedios de porcentajes de pérdida de peso que oscilaron entre 0,385% y 0,354% por acción de las cepas bacterianas aisladas de humus de lombriz y compost, respectivamente, donde se observó que las cepas bacterianas de humus de lombriz tuvieron mayor degradación frente a las cepas bacterianas de compost, pero no existió una diferencia significativa entre los tratamientos, pero sí frente al control. Asimismo, se evidenció la formación de biopelículas, porosidades y cambios en el aspecto de la superficie de las láminas de PET.

Además, se identificó cuatro cepas microbianas con capacidad degradativa de láminas de PET, mediante las pruebas moleculares, entre las especies fueron: *Serratia liquefaciens* y *Citrobacter murlinae* (aisladas a partir de cepas bacterianas de humus de lombriz), *Serratia marcescens* y *Escherichia fergusonii* (correspondientes a cepas bacterianas de compost).

Palabras clave: Polietileno tereftalato, biodegradación, consorcios microbianos, biopelículas.

I. INTRODUCCIÓN

La presente investigación se refiere al tema de la degradación biológica o biodegradación de polietileno tereftalato (PET); donde, grupos de microorganismos tienen la capacidad de utilizar estos polímeros sintéticos como fuentes de carbono y energía.

En la actualidad, en la ciudad de Huamanga existe un problema con los envases de polietileno tereftalato, los cuales son altamente contaminantes en las zonas que son consideradas como fuentes de vida, como el río de La Alameda y el río de Muyurina, y otros ambientes en toda su extensión. Estas prácticas inadecuadas del hombre están contribuyendo significativamente al cambio climático y la extinción de especies vivas, además de afectar la salud pública. La Municipalidad Provincial de Huamanga ha considerado estrategias como el reciclaje, pero este método resulta poco factible debido al alto costo de las maquinarias necesarias y la necesidad de contratar personal para llevar a cabo esta tarea.

En el año 2014, se registró en el Perú un consumo de 30 kg de plástico por persona. De acuerdo con la Sociedad Nacional de Industrias (SNI), tras una evaluación de varios establecimientos comerciales se halló que el 94% de ellos solo utilizaban bolsas de plástico para embalar sus productos, lo que ha llevado a un aumento de desechos plásticos en diferentes entornos (La República, 2018). Por ello, según, El MINAM (2019); Ley N.º 30884, promueve que los ciudadanos sean conscientes de las acciones que realizan cada día incorporando el pensamiento ambiental, desde la estrategia “Perú Limpio”, llegando a escuelas, mercados, supermercados y otros.

En respuesta a esta situación, se han llevado a cabo varios estudios para enfatizar los problemas ambientales generados por el hombre utilizando como alternativa los microorganismos degradadores de los polímeros sintéticos a través de cultivos puros

y consorcios microbianos (Gutiérrez, 2018).

Con esta investigación, se pretende demostrar si los consorcios microbianos aislados de humus de lombriz y compost tienen capacidad degradativa de polietileno tereftalato.

Por otra parte, es crucial encontrar formas de eliminar la contaminación plástica del ambiente, y la biodegradación surge como una alternativa prometedora. Distintas investigaciones demuestran que algunos microorganismos tienen la capacidad de emplear estos residuos como fuente exclusiva de carbono (Crespo, 2021). De acuerdo con De La Cruz y Arone (2020), la degradación de los polímeros sintéticos a través de la biodegradación puede ser una opción factible para combatir los impactos negativos de este material en el medio ambiente. Esta técnica requiere del trabajo en conjunto de colonias o grupos de microorganismos para crear biopelículas y adherirse a la superficie del polímero, lo que contribuye a acelerar el proceso de degradación en un periodo breve de tiempo. Por lo tanto, se considera una respuesta eficaz frente a la problemática de estos envases que albergan en nuestro entorno.

Por lo tanto, el objetivo principal de este estudio fue evaluar la biodegradación de polietileno tereftalato por los consorcios microbianos aislados de humus de lombriz y compost. Para alcanzar este propósito, se formularon los siguientes objetivos específicos.

1. Aislar la microbiota de humus de lombriz y compost.
2. Evaluar la capacidad de biodegradación de polietileno tereftalato por consorcios microbianos aislados de humus de lombriz.
3. Evaluar la capacidad de biodegradación de polietileno tereftalato por consorcios microbianos aislados del compost.
4. Identificar a los microorganismos con capacidad degradativa de polietileno tereftalato.
5. Determinar el porcentaje de pérdida de peso de polietileno tereftalato

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Nivel internacional

Según Meza (2013), con el trabajo titulado “Biodegradabilidad del polietileno tereftalato y oxopolietileno por acción de bacterias nativas presentes en humus de lombriz, estiércol de caballo y estiércol de gallina”. La finalidad de esta investigación es establecer un precedente o una posible alternativa para remediar el efecto medioambiental que provoca la producción desmedida de plásticos. Se llevaron a cabo experimentos utilizando bacterias autóctonas de tres tipos de muestras obtenidos de tres lugares diferentes: el IASA I, el Fuerte Militar Yaguachi y la Hacienda Campo Fértil de la ciudad de Sangolqui – Ecuador. Muestras de polietileno tereftalato y oxopolietileno fueron trituradas hasta convertirlas en finas partículas que servirían como única fuente de carbono para la bacteria en el medio de cultivo. Se controlaron ciertos parámetros como la luz, el pH y la oxigenación, mientras se determinaba el crecimiento de las bacterias mediante espectrofotometría. Luego de un tiempo de adaptación, se evaluó la capacidad de biodegradación de cada tipo de bacteria sobre los dos tipos de plástico cortados en pedazos de 2 cm x 4 cm. Se midió el peso residual en mg de los pedazos de plásticos cada 7 días durante un mes y cinco días. Los resultados mostraron que las bacterias presentes en la muestra de estiércol de caballo biodegradaron el 10,89% de polietileno tereftalato después de 35 días. En cuanto al oxopolietileno, las bacterias de humus de lombriz obtuvieron una tasa de biodegradación del 39,99%, siendo significativamente diferente a los otros tratamientos.

En México, González y Camarena (2013) citado por Gutiérrez (2019), con el trabajo titulado “Degradación de plásticos por *Rhizopus sp.*”, descubrieron una comunidad de

hongos que se habían adherido a las bolsas donde aislaron hongos del género *Rhizopus sp.* Utilizando la técnica de Kavelman y Kendrick, se analizó la actividad biodegradadora a temperaturas entre 28 y 30 °C y a un pH de 5 a 7. La superficie de tiras de PEBD fue sembrada con el género *Rhizopus sp.* y agar Czapeck, seguido de la observación del hongo en el microscopio. Los resultados mostraron que el hongo se desarrolló en el plástico, generando cambios en la corrosión de la superficie, la formación de grietas en el material y un cambio en el color. En resumen, este estudio demostró que los hongos del género *Rhizopus sp.* forman una comunidad multicelular capaz de degradar eficientemente el PEBD.

En España, Martín (2017), llevó a cabo un estudio preliminar "Biodegradación de plásticos por bacterias marinas". El objetivo del estudio fue identificar microorganismos capaces de degradar polímeros plásticos presentes en muestras de agua recolectadas en el puerto de Santa Cruz de Tenerife. Para lograr esto, se empleó una técnica de enriquecimiento en sales marinas, complementada con extracto de levadura y láminas de plástico. En el proceso de enriquecimiento, se utilizaron cinco tipos de plástico (PETE, HDPE, LDPE, PE y PP). Después de 32 días de incubación, se observó que el PET (polietileno tereftalato) mostró la mayor pérdida de peso, alcanzando un 0,187%.

En India, Ariba *et al.* (2015), realizaron un estudio, con el propósito de aislar microorganismos del suelo contaminado con plásticos. Los microorganismos aislados, como *Desulfotomaculum nigrificans* y *Pseudomonas alcaligenes*, se identificaron mediante su caracterización morfológica y bioquímica. El estudio evaluó la eficacia de la biodegradación de *Desulfotomaculum nigrificans* y *Pseudomonas alcaligenes* utilizando bolsas de polietileno. Los resultados indicaron que hubo una pérdida de peso del 10,5%, 14,7% y 16,2% para *Pseudomonas alcaligenes*, y del 10,2%, 13,2% y 16,2% para *Desulfotomaculum nigrificans*. Estas evaluaciones se llevaron a cabo durante un período de 10, 20 y 30 días, respectivamente

Según Gómez (2018), con la tesis titulada "Biodegradación de polietileno de tereftalato por microorganismos aislados de sitios de disposición final de residuos sólidos, Táchira, Venezuela". Realizó un estudio para determinar la capacidad degradadora de los microorganismos sobre el PET logrando aislar ocho cepas capaces de utilizarlo como única fuente de carbono. En cada uno de los tubos de caldo de medio mínimo mineral se inocularon individualmente una cepa microbiana,

entre las que se hallan bacilos Gram negativos, bacilos Gram positivos, levaduras y mohos. Cada una de las cepas fue inoculada por triplicado. Los tubos fueron llevados a incubación durante 15 días a 37 °C y 160 días a temperatura ambiente, finalizado este tiempo, se extrajeron las láminas para medir la pérdida de peso de estas. Adicionalmente, se observaron las características físicas de las láminas después de la incubación a través de observación directa y microscópica, arrojando como resultado de este proceso la pérdida de peso efectivas con resultados destacados en las cepas D (43,7 mg), seguida de E (1,1 mg) y luego C (0,8 mg), dos de las cuales (C y D) corresponden a bacterias del tipo bacilos Gram negativos. Adicionalmente fue posible apreciar cambios de opacidad en las láminas del polímero a simple vista y en las observaciones al microscopio se aprecian quiebres y zonas donde se estaría dando el desprendimiento de partes de la estructura, dando lugar a partículas microscópicas del material en suspensión en los tubos contenedores de los caldos de cultivo con las láminas de polietileno.

2.1.2. Nivel nacional

En Ica, Palacios y Prado (2018), desarrollaron un estudio con el objetivo de evaluar la capacidad degradadora de PET por bacterias presentes en diferentes sustratos (compost, estiércol de conejo y estiércol de caballo). La pérdida de peso del polietileno se evaluó cuantitativamente cada 15 días, y la formación de biopelícula y porosidad se evaluó cualitativamente. Los resultados indicaron que la degradación fue mayor en el compost en comparación con los otros tipos de sustratos, pero no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos, aunque sí en comparación con el control. El porcentaje promedio de degradación varió entre el 0% y el 4,5%.

En Tacna, Gutiérrez (2019), con la tesis titulada “Biodegradación de polietileno de baja densidad utilizando hongos, bacterias y consorcios bacterianos aislados del botadero municipal de Tacna”. Explica cómo aisló microorganismos de materiales plásticos con signos de deterioro en el vertedero municipal de Tacna y los evaluó por su capacidad de biodegradar polietileno de baja densidad. Las muestras se filtraron y preseleccionaron en un medio de sales minerales, y se encontraron cepas de diversos microorganismos, incluyendo *Bacillus sp.*, *Acinetobacter sp.*, *Pseudomonas sp.*, *Flavobacterium sp.*, *Micrococcus sp.*, *Rhodotorula sp.*, *Penicillium vanoranjei*, *Aspergillus sp.*, *Saccharomyces cereviceae* y dos cepas no identificadas. El consorcio microbiano fue capaz de degradar el polietileno de manera evidente, con un promedio

de pérdida de peso de 172,975 mg (2,88%) en 70 días de incubación, lo que se pudo observar en imágenes por el microscopio electrónico de barrido (SEM). El consorcio número tres tuvo el mayor porcentaje de biodegradación, con un 6,54%.

En Ica, Iparraguirre y Vivanco (2015), la tesis titulada "Aislamiento y caracterización de hongos filamentosos biodegradadores de polietileno de tereftalato y polietileno de baja densidad - Ica", explican que los hongos filamentosos tienen la capacidad de degradar polímeros mediante la secreción de enzimas extracelulares que descomponen los polímeros en compuestos más simples. El objetivo del estudio fue aislar y caracterizar hongos filamentosos capaces de degradar polietileno de baja densidad (PEBD) y polietileno de tereftalato (PET). Las muestras de polímeros deteriorados se obtuvieron de un antiguo vertedero en Ica. Se utilizó el agar Sabouraud para separar los hongos presentes en las muestras y se utilizaron claves taxonómicas para identificar las cepas aisladas. Para evaluar la capacidad de biodegradación de estas cepas, se aplicó la técnica de Kendrick y Kavelman a temperaturas de 30 y 25 °C, y se mantuvo un pH de 5-7 durante un período de dos meses. Se aislaron ocho cepas de PET, de las cuales cinco mostraron capacidad de biodegradación, y once cepas de PEBD, de las cuales ocho fueron biodegradadores. La cepa que mostró la mayor actividad biodegradadora en ambos tipos de polímeros fue identificada como perteneciente al género *Mucor*, siendo capaz de descomponer un 1,3% del peso del polietileno tereftalato a 25 °C y pH 5, y un 20% del PEBD a 25 °C y pH 5-7.

De acuerdo con los estudios realizados por Chunga y Cieza (2017), la investigación Titulada "Biodegradación del poliestireno utilizando microorganismos presentes en el humus de lombriz durante los meses, octubre – diciembre 2016". Para llevar a cabo el experimento, utilizaron muestras de poliestireno dispuestas en macetas con diferentes profundidades y días, cada una con la presencia de los géneros bacterianos *Bacillus* spp. y *Clostridium* spp. Durante 90 días, se midió el porcentaje de pérdida de peso de las muestras cada 30 días en diferentes profundidades de la maceta superficie, medio y fondo, obteniéndose los siguientes resultados: en octubre se observó una pérdida de peso de 0%, 0,4% y 1,6% en noviembre de 0,4%, 0,8% y 4,8% y en diciembre de 0%, 0,8% y 3%. Los datos indicaron que la tasa de biodegradación más alta se registró en el fondo de la maceta, alcanzando un porcentaje total del 9,4% durante los 90 días de estudio. Además, se verificó que los

géneros bacterianos identificados en la investigación continúan siendo efectivos en la degradación del poliestireno.

En Lima, Uribe *et al.* (2010) citado por Palacios y Prado (2018), realizaron un estudio con el objetivo de aislar y evaluar la capacidad degradativa de un consorcio microbiano sobre el polietileno de baja densidad (PEBD). Estos microorganismos fueron aislados de materiales plásticos que mostraban signos de desgaste, provenientes de un vertedero sanitario. Después de ser filtrados y preseleccionados en un medio mineral a un pH de 7 y 5,5 para bacterias y hongos, se encontraron seis cepas, identificadas como *Penicillium sp.*, *Rhodotorula sp.*, *Pseudomonas sp.*, MP3a y MP3b, *Hyalodendron sp.* y una levadura no identificada, que fueron cultivadas a 20 °C durante 45 días. La actividad degradativa del consorcio microbiano se confirmó mediante variaciones en el espectro infrarrojo del PEBD. Los autores observaron una reducción del 4,8% y 5,4% en el peso total del polietileno después de dos meses de incubación con las cepas aisladas a un pH de 5,5 y 7, respectivamente. En conclusión, este estudio demuestra la capacidad de un consorcio microbiano aislado para degradar PEBD en un vertedero sanitario.

2.2. Marco conceptual

2.2.1. Plásticos

Los plásticos (del griego “plastikos” que significa moldeable), son polímeros orgánicos y sintéticos con alta masa molecular obtenidos mediante reacciones de polimerización a partir de derivados del petróleo, gas o carbón (Martín, 2017).

Según la definición de la American Society for Testing Materials (ASTM) citada por Meza (2013), define plástico como: “Cualquier material de un extenso y variado grupo que contiene como elemento esencial una sustancia orgánica de gran peso molecular, siendo sólida en su estado final.

2.2.2. Polímeros sintéticos

Son sustancias formadas por moléculas que están unidas en cadenas largas y repetitivas debido a su estructura. Estas sustancias tienen características únicas que se pueden utilizar de diferentes maneras. Por lo general, son hidrófobas, resistentes y duraderas, y tienen propiedades flexibles y moldeables en un rango específico de temperaturas (Palacios y Prado, 2018).

2.2.3. Polietileno tereftalato

El PETE es un tipo de polímero sintético que se forma mediante una reacción química entre el ácido tereftálico y el etilenglicol. Se utiliza ampliamente en la fabricación de envases ligeros para diversos productos, como gaseosas, agua mineral, cosméticos y alimentos, así como en la producción de fibras textiles, películas radiográficas y cintas de video y audio. Su fórmula química es $(C_{10}H_8O_4)_n$. Este material se ha estado utilizando desde 1976 y se ha convertido en un elemento importante en la industria del envasado (Crespo, 2021).

2.2.4. Humus de lombriz

El humus es un tipo de fertilizante orgánico que se produce a través de la descomposición de materiales orgánicos por las lombrices rojas californianas. Durante este proceso, los microorganismos como hongos, bacterias y actinobacterias descomponen el material orgánico. El humus tiene un alto contenido de agua, lo que crea un ambiente propicio para el crecimiento de microorganismos. Además, el humus es una fuente de nutrientes rica en nitrógeno, fósforo y potasio, lo cual estimula el crecimiento de microorganismos beneficiosos para los cultivos (Crespo, 2021).

2.2.5. Compost

El compost, también conocido como composta, es un producto que se obtiene a partir de diversos materiales de origen orgánico. Este proceso se considera biológico, ya que implica la descomposición de la materia orgánica mediante la actividad metabólica de microorganismos en condiciones aeróbicas. El compostaje se utiliza como una herramienta biotecnológica para transformar los residuos sólidos orgánicos en productos agrícolas adecuados. Durante este proceso biológico controlado de oxidación, llamado compostaje, se generan productos con apariencia similar a la tierra, sin olores desagradables y libres de organismos patógenos y semillas. El compost puede utilizarse en diversas aplicaciones, como abono de fondo, reemplazando los fertilizantes químicos tradicionales (Camacho *et al.*, 2014).

2.2.6. Degradación

El término degradación se refiere a la capacidad de un material para experimentar cambios significativos en su estructura química, lo que puede traducirse en una disminución de algunas de sus propiedades. Estas pueden variar dependiendo de las pruebas y el tiempo de exposición aplicados. La degradación de polímeros es un

proceso dirigido a modificar la estructura del polímero para hacerlo vulnerable y perecedero; es decir que desaparezca como residuo. La degradación de los polímeros es causada principalmente, por reacciones que producen el rompimiento de los enlaces en las macromoléculas y puede ser física, mecánica, térmica, por efecto de radiaciones de energía alfa, foto degradación, química ambiental y biológica denominada biodegradación (Meza, 2013).

2.2.7. Biodegradación

La biodegradación es un proceso natural que se lleva a cabo a causa de la acción enzimática de ciertos microorganismos, que descomponen un material en dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), agua (H_2O) y constituyentes orgánicos (Ccallo *et al.*, 2020).

2.2.8. Biopelícula

La biopelícula se refiere a una agrupación organizada de microorganismos que se encuentra en una superficie tanto viva como inerte. Esta estructura compleja posee características funcionales propias y tiene un propósito de supervivencia en muchos entornos, ya que puede brindar seguridad contra las defensas y mecanismos de erradicación microbiana. Además, cuenta con un sistema de canales que permite la conexión con el medio externo, permitiendo el intercambio de nutrientes y la eliminación de productos metabólicos (Ccallo *et al.*, 2020).

2.3. Fundamento teórico

2.3.1. Clasificación de los polímeros sintéticos

Los polímeros sintéticos son materiales que tienen la propiedad de presentar flexibilidad y su naturaleza termoplástica, lo que significa que pueden ser moldeados mediante la aplicación de calor y conservar su forma cuando se enfrían. Estos polímeros se clasifican en siete grupos principales: polietileno de tereftalato (PET), polietileno de alta densidad (HDPE), polietileno de baja densidad (LDPE), cloruro de polivinilo (PVC), polipropileno (PP), poliestireno (PS) y otros (Meza, 2013).

Forma Primaria	Abreviatura	Símbolos de reciclaje	Propiedades	Estructura
Polietileno tereftalato	PET		Pertenece al grupo poliéster que se obtiene por policondensación entre el ácido tereftálico y etilenglicol La mayoría de las diferencias entre el polietileno lineal y el ramificado tiene que ver con la alta cristalinidad del polietileno lineal.	$\left[\text{O} - \text{C}(=\text{O}) - \text{C}_6\text{H}_4 - \text{C}(=\text{O}) - \text{O} - (\text{CH}_2)_2 - \right]_n$
Polietileno de alta densidad	HDPE		El polietileno lineal tiene una alta temperatura de transición vítrea (Tg) y temperatura de fusión (Tm), alto intervalo de reblandecimiento, mayor dureza y resistencia a la tracción.	$(-\text{CH}_2 - \text{CH}_2 -)_n$
Cloruro de polivinilo	PVC		Relativamente inestable a la luz o calor; resistente al fuego; resistente a los productos químicos, a los insectos, a los hongos; resistente a la humedad	$\begin{array}{cc} \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{Cl} \\ & & & \\ -(\text{C} - \text{C})- & -(\text{C} - \text{C})- \\ & & & \\ \text{H} & \text{Cl} & \text{H} & \text{Cl} \end{array}$
Polietileno de baja densidad	LDPE		Dependen del peso molecular. la ramificación, la distribución de pesos moleculares, etc.; buena tenacidad y flexibilidad en un amplio margen de temperaturas, propiedades eléctricas sobresalientes, buena transparencia en películas finas, químicamente inerte, resistente a ácidos y bases, se envejece al exponerlo a la luz y al oxígeno, baja densidad, flexible sin plastificantes, resiliente, alta resistencia al desgarro, resistente a la humedad.	$\begin{array}{cc} \text{H} & \text{H} \\ & \\ -(\text{C} - \text{C})- \\ & \\ \text{H} & \text{H} \end{array}$
Polipropileno	PP		De los plásticos es el más ligero; su gran cristalinidad le confiere una elevada resistencia a la tracción, rigidez y dureza, brillo, alta resistencia al deterioro; su alto intervalo de reblandecimiento permite la esterilización del material; buenas propiedades eléctricas, es químicamente inerte y resistente a la humedad.	$\begin{array}{cc} \text{H} & \text{H} \\ & \\ -(\text{C} - \text{C})- \\ & \\ \text{H} & \text{CH}_3 \end{array}$
Poliestireno	PS		Alta Tg elevada Tm, buenas propiedades mecánicas hasta 175°C, buena resistencia a los disolventes y al ataque químico, buena resistencia a la abrasión, baja absorción a la humedad, alto módulo de elasticidad.	$\left[\text{O} - \text{C}(=\text{O}) - \text{R} - \text{C}(=\text{O}) - \text{O} - \text{R} - \right]_n$

Figura 1. Clasificación de los polímeros sintéticos. (Raymond *et al.*, 2021).

2.3.2. Propiedades de los polímeros sintéticos

Los polímeros sintéticos son ampliamente utilizados debido a su variedad de propiedades, las cuales son determinadas por las estructuras que estos presentan (Meza, 2013).

- Fragilidad: algunas formas de poliestireno son frágiles y se deforman fácilmente con el calor.
- Elasticidad: capacidad del material para recuperar su forma original después de ser sometido a esfuerzo.
- Impermeabilidad: propiedad de impedir el paso de agua a través del material.
- Estabilidad térmica: algunos polímeros sintéticos presentan resistencia a ser moldeados a diferentes rangos de temperatura.
- Rigidez y resistencia al impacto: algunos polímeros sintéticos son rígidos y tienen una alta resistencia a los impactos.

2.3.3. Características y composición del humus de lombriz

De acuerdo con lo indicado por Crespo (2021), se describen las siguientes características:

- Contiene una alta carga microbiana, con aproximadamente 40 mil millones de microorganismos por gramo seco, lo que ayuda a restaurar la actividad biológica del suelo.
- Tiene un alto porcentaje de ácidos húmicos y fúlvicos, que actúan en conjunto para proporcionar nutrientes fácilmente asimilables y regular la nutrición de las plantas. Además, su actividad residual en el suelo puede durar hasta cinco años.
- Mejora la estructura del suelo, haciéndolo más permeable al agua y al aire. También aumenta la retención de agua y la capacidad de almacenar y liberar los nutrientes necesarios para las plantas de manera equilibrada y saludable.
- Actúa como un fertilizante bioorgánico activo, promoviendo una acción biodinámica en el suelo y mejorando las características organolépticas de las plantas, flores y frutas.
- Tiene un pH neutro y se puede aplicar las semillas en cualquier dosis sin riesgo de quemar las plantas.

2.3.4. Microorganismos que intervienen en el proceso de producción de humus de lombriz

Las características esenciales para obtener una gran población de microorganismos en los sustratos de humus de lombriz es el pH, que debe estar entre 6,5 y 8,0. Si el pH no se encuentra dentro de este rango, se retrasa la formación del proceso de producción, lo que dificulta alcanzar la fase termofílica, que es crucial para el crecimiento de la microbiota que forma parte del humus. Es importante tener en cuenta que se pueden encontrar diversos tipos de microorganismos en sustratos de humus de lombriz, como *Arthrobacter sp.*, *Pseudomonas sp.*, *Burkholderia sp.*, *Mycobacterium sp.*, *Sphingomonas sp.*, *Rhodococcus sp.*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus sp.*, *Aspergillus sp.*, *Candida sp.*, *Flavobacterium sp.* y otros (Crespo, 2021).

De acuerdo con lo indicado por Crespo (2021), los microorganismos previamente mencionados se emplean como el principal mecanismo de la biorremediación en ambientes contaminados con hidrocarburos de petróleo y polímeros sintéticos.

2.3.5. Microorganismos que intervienen en el proceso de producción de compostaje

Según Laich (2011), durante el proceso de compostaje se produce una sucesión compleja de poblaciones de microorganismos que son capaces de degradar materia orgánica compleja. La descripción de los microorganismos involucrados en este proceso es complicada debido a que las poblaciones y comunidades varían constantemente en respuesta a diferentes factores, como la temperatura, los nutrientes, el oxígeno, el agua, el pH y los compuestos antibióticos, entre otros.

La temperatura juega un papel importante como indicador de la actividad microbiana tanto pasada como actual. A medida que la temperatura aumenta, las poblaciones microbianas son reemplazadas por otras que están mejor adaptadas al ambiente térmico. Cada una de estas poblaciones tiene una duración limitada en el tiempo. Si la aireación es adecuada y constante, la fase termófila del compostaje continuará hasta que la producción de calor sea menor que la disipación del mismo, lo cual ocurre cuando se agotan los compuestos fácilmente metabolizables (Laich, 2011).

Las bacterias y bacterias filamentosas descritas en esta fase pertenecen a diferentes familias: *Alcaligenaceae*, *Alteromonadaceae*, *Bacillaceae*, *Burkholderiaceae*, *Bradyrhizobiaceae*, *Caryophanaceae*, *Caulobacteraceae*, *Cellulomonadaceae*, *Clostridiaceae*, *Comamonadaceae*, *Corynebacteriaceae*, *Enterobacteriaceae*,

Flavobacteriaceae, Flexibacteraceae, Hyphomicrobiaceae, Intrasporangiaceae, Methylobacteriaceae, Microbacteriaceae, Micrococcaceae, Moraxellaceae, Neisseriaceae, Nitrosomonadaceae, Nocardiopteraceae, Paenibacillaceae, Phyllobacteriaceae, Propionibacteriaceae, Pseudomonadaceae, Pseudonocardiaceae, Rhodobacteraceae, Sphingobacteriaceae, Staphylococcaceae, Xanthomonadaceae. Con respecto a los hongos filamentosos predominan los géneros *Aspergillus* y *Penicillium*, seguidos de *Trichoderma*, *Mucor*, *Rhizopus*, *Cladosporium*, *Beauveria*, *Ulocladium*, *Acremonium*, *Fusarium*, *Scopulariopsis*, *Geotrichum*, etc (Laich, 2011).

2.3.6. Consorcio microbiano

Un consorcio microbiano se refiere a la unión natural de dos o más poblaciones de diferentes especies de microorganismos que trabajan juntos como una comunidad en un sistema complejo, beneficiándose mutuamente. Esta asociación permite a los microorganismos llevar a cabo tareas complejas que no podrían lograr de forma individual. Además, vivir en asociación puede conferir mayor resistencia a los cambios ambientales y promover la estabilidad de los miembros a lo largo del tiempo (Palacios y Prado 2018).

Estas características particulares de los consorcios microbianos dependen de dos aspectos fundamentales. En primer lugar, existe una división del trabajo en la que la producción total del consorcio depende de la combinación de tareas desempeñadas por las diferentes poblaciones microbianas involucradas. Cada una de las poblaciones contribuye con habilidades específicas para el beneficio conjunto del consorcio. En segundo lugar, los miembros de un consorcio microbiano se comunican entre sí, ya sea a través del intercambio de sustancias o permitiendo que cada población detecte y responda a la presencia de otros dentro del consorcio. Esta comunicación es crucial para el desarrollo y funcionamiento efectivo del consorcio, ya que influye positiva o negativamente en la interacción y colaboración entre las distintas poblaciones microbianas (Palacios y Prado 2018).

2.3.7. Factores ambientales que intervienen en la biodegradación de polímeros sintéticos

a. Humedad

Acuña (2017), indica que, el desarrollo de microorganismos biodegradadores está estrechamente relacionado con la cantidad de humedad presente en su ambiente de

crecimiento. Es decir, si el sustrato contiene mayor cantidad de humedad, el crecimiento de estos microorganismos será más acelerado.

b. El pH

El pH es un factor importante en la biorremediación, ya que afecta la supervivencia y actividad de los microorganismos con habilidades de biodegradación. De acuerdo con De La Cruz y Arone (2020), estos microorganismos tienen cierta tolerancia a condiciones extremas, pero su capacidad de supervivencia y actividad es óptima en un rango de pH que va de 6 a 8.

c. La temperatura

De La Cruz y Arone (2020), menciona que los microorganismos biodegradan materia orgánica en condiciones óptimas de temperatura que oscilan entre los 20 – 25 °C, pero sobre todo a temperaturas máximas de 35 – 40 °C, que son las que favorecen el crecimiento y desarrollo de las bacterias.

2.3.8. Biodegradación microbiana de polímeros sintéticos

Según lo indicado por Gutiérrez (2019), la biodegradación microbiana puede ser definida como el proceso bioquímico en el cual los polímeros se transforman en monómeros. Durante este proceso, los microorganismos como bacterias, actinobacterias y algunos hongos, liberan múltiples enzimas que actúan sobre el material polimérico, para romper su estructura molecular y degradarlo. Esta degradación se produce con el tiempo, y el material degradado es utilizado por estos microorganismos como fuente de energía.

La descomposición de los polímeros ocurre en presencia de un grupo carbonilo próximo a un átomo de carbono secundario o terciario, permitiendo su transformación por microorganismos. Como resultado, ocurre la fragmentación del material, que es comprimido en trozos más pequeños a través de la acción de las enzimas por hidrólisis. De esta manera, los microorganismos pueden descomponer los fragmentos de menor peso molecular generados en este proceso, tal como se explica en su tesis de (De La Cruz y Arone, 2020).

2.3.9. Mecanismos de biodegradación de polímeros sintéticos

Según Butrón (2020), los pasos involucrados en la biodegradabilidad de polímeros sintéticos son los siguiente.

- Degradación primaria del polímero (pretratamiento). El proceso previo al tratamiento del polímero permite la adición de grupos hidrofílicos en su superficie,

haciendo más hidrofílico para la fijación de los microorganismos de tal forma que puedan empezar a usar al plástico como fuente de carbono para su crecimiento.

- Fijación de microorganismos a la superficie del polímero. Los microorganismos pueden fijarse a la superficie del polímero si este presenta una propiedad hidrofílica. Por lo general, los polímeros sintéticos poseen propiedades hidrofóbicas dadas por los grupos metilo.
- Crecimiento de los microorganismos utilizando el polímero como fuente de carbono.
- Tasa de evolución de dióxido de carbono.
- Cambios en la estructura de la superficie del polímero.

2.3.10. Fundamento bioquímico de biodegradación de polímeros sintéticos

La biodegradación se basa en reacciones de óxido-reducción que se producen en la cadena respiratoria o transportadora de electrones de las células y que tienen como objetivo obtener energía. Esta cadena comienza con un sustrato orgánico externo a la célula que actúa como donador de electrones, y la célula termina degradando y consumiendo esta sustancia. Los aceptores más comúnmente utilizados por los microorganismos son el oxígeno (O_2), los nitratos ($NaNO_3$), el óxido de hierro (III) (Fe_2O_3), los sulfatos (SO_4)⁻² y el dióxido de carbono (CO_2) (Butrón, 2020).

Cuando se utiliza el oxígeno como receptor de electrones en la respiración microbiana y en presencia de oxígeno, ocurre la biodegradación aerobia convirtiendo los polímeros en monómeros y finalmente en dióxido de carbono (CO_2) y agua (H_2O). Por otro lado, si se utilizan sulfatos (SO_4)⁻², nitratos ($NaNO_3$) o dióxido de carbono (CO_2) en condiciones anaerobias, el resultado final de la biodegradación es la producción de metano (Butrón, 2020).

Por otra parte, Barbarán *et al.* (2018) explican que la biodegradación se refiere al proceso en el cual los microorganismos asimilan los polímeros. Y de acuerdo con Butrón (2020), la biodegradación se puede evidenciar cuando los microorganismos colonizan la superficie del polietileno a través de reacciones de hidrólisis, formando biopelículas.

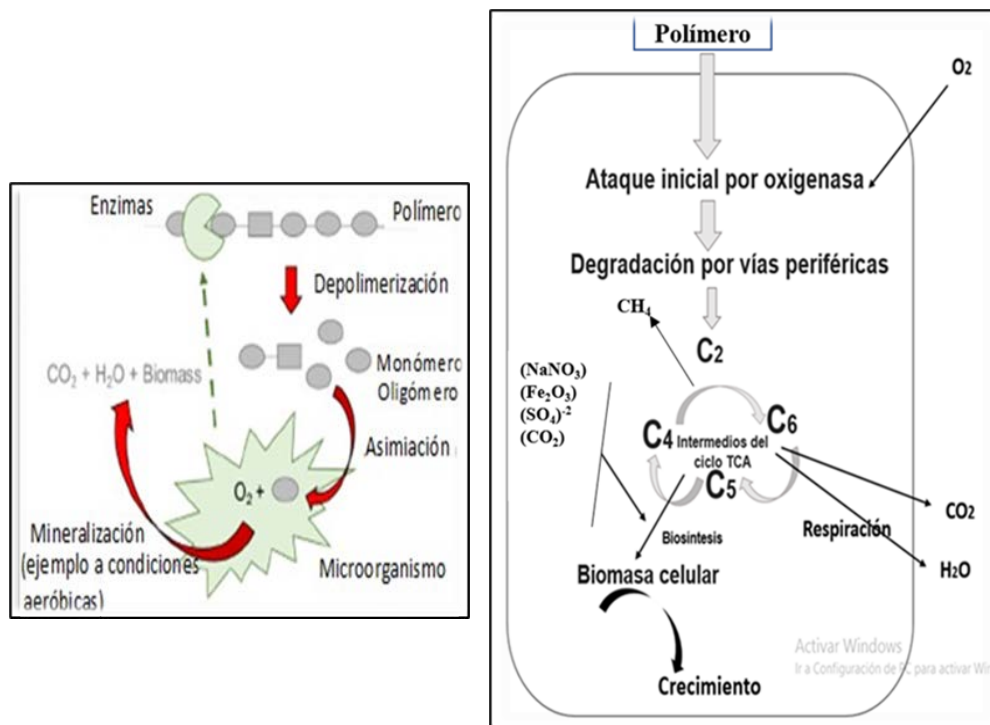


Figura 2. Ruta metabólica de asimilación de los polímeros sintéticos por microorganismos. Audrey (2019) citado por Ccallo *et al.* (2020).

2.3.11. Microorganismos involucrados en la biodegradación de polímeros sintéticos

Según, Ccallo *et al.* (2020), la capacidad de biodegradación de polímeros sintéticos está influenciada por los microorganismos presentes en distintos ambientes y sustratos, tales como suelos, humus de lombriz y compost. Cada uno de estos sustratos alberga diferentes tipos de microorganismos debido a las condiciones en las que se desarrollan. En el suelo, por ejemplo, se pueden encontrar tres grupos principales de microorganismos responsables de la biodegradación de los polímeros sintéticos como: bacterias, hongos y actinobacterias, como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Condiciones ambientales en las que se desarrollan los microorganismos degradadores de los polímeros sintéticos (Ccallo *et al.*, 2020).

Enzimas, hongos, bacterias, consorcios microbianos	Condiciones	Material Biodegradado	Biodegradación	Referencias
Amidasa (Enzima)	37°C, pH 7 y 51 días	PU	33% de 4g	(Magnin <i>et al.</i> , 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>Streptococcus 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)

Tabla 2. Condiciones ambientales en las que se desarrollan los microorganismos biodegradadores de LDPE (Vertus *et al.*, 2017).

Especie	Condiciones	Fuente de microorganismos aislados	Material	% de biodegradación
<i>Pseudomonas putida</i>	22 °C a 37 °C, pH 6,4 por 6 meses	Tierra de jardín	Tapa de leche – LDPE	75,3
<i>Streptomyces sp.</i>	T (°C) por 6 meses	Tierra de basura	LDPE	46,07
<i>Pseudomonas sp.</i>	22° C a 37° C, pH 6,4 por 6 meses	Lodos residuales de depuradoras	Polímero Natural y sintético	46,2 y 29,1
<i>Brevibacillus borstelensis</i> cepa 707	50 °C con un pre-Tto de radiación UV	Suelo	LDPE	30
<i>Serratia marcescens</i>	T (°C) a pH 4 por 60 días	Vertedero	LDPE	22
<i>Staphylococcus sp.</i>	25 °C a 30 °C por 6 meses	Mangle	LDPE	2,19 a 20,54
<i>Staphylococcus sp.</i>	25 °C a 30 °C por 6 meses	Mangle	LDPE	0,56 a 8,16
<i>Pseudomonas sp.</i> y <i>Bacillus cereus</i>	21 °C a 37 °C a pH 7 por 3 meses	Vertedero	LDPE	12,5
<i>Rhodococcus ruber</i> C208	T (°C) por 28 días	Relleno de sanitario	No especificado	7,5

Tabla 3. Consorcio microbiano implicados en la biodegradación de los diferentes tipos de polímeros sintéticos. Jaiswal *et al.* (2020)

citado por Silverio (2021).

Polímeros plásticos	Microorganismos	Referencias
Polietileno de baja densidad	<i>Microbacterium paraoxidans</i> <i>Pseudomona aeruginosa</i>	Rajandas et al. (2012)
Di-n-ftalato de butilo	<i>Gordonia sp.</i> <i>Burkholderia sp.</i> <i>Achromobacter sp.</i>	He et al. (2013)
Ácido poliláctida	<i>Cladosporium sphaerospermum</i> <i>Rhodotorula mucilaginosa</i> <i>Penicillium chrysogenum</i> <i>Serratia marcescens</i>	Nair et al. (2016)
Polietileno de baja densidad	<i>Enterobacter sp.</i> <i>Enterobacter sp.</i> <i>Pantoea sp.</i>	Skariyachan et al. (2016)
Poliuretano	<i>Bacillus subtilis</i> MZA-75 <i>Pseudomonas aeruginosa</i> MZA-85	Shah et al. (2016)
Polietileno de tereftalato	<i>Pseudomonas chlororaphis</i> <i>Bacillus cereus</i>	Vague et al. (2019)

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Tipo y nivel de investigación

Experimental – aplicada.

3.2. Lugar de ejecución

Laboratorio de Microbiología Ambiental de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, situada en la ciudad universitaria en la ciudad de Ayacucho distrito del mismo nombre provincia de Huamanga, a una altitud de 2670 m s.n.m.

3.3. Metodología y recolección de los datos

3.3.1. Procedencia de humus de lombriz y compost

Las muestras de humus de lombriz y compost, de un kg cada uno, fueron obtenidas del punto de ventas de plántulas situado en el mercado Mariscal Cáceres, Jr. Los Pinos S/N del distrito de Ayacucho.

3.3.2. Procedencia de los envases de polietileno tereftalato

Fueron obtenidos del contenedor de botellas en los laboratorios de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.

3.3.3. Pulverización y desinfección de polietileno tereftalato (Martín, 2017)

Se lijaron cuatro envases de botellas de gaseosa obteniéndose el polvo de PET los que se sometieron a un tratamiento de desinfección según los siguientes detalles: se pesaron aproximadamente 10 g de polvo de PET que fueron desinfectados con 15 mL de alcohol etílico al 96° durante 30 min, transcurrido el tiempo el alcohol se evaporó en una estufa de corriente de aire a 60 °C. Se repitió el proceso utilizando alcohol etílico de 70°. El polvo de PET desinfectado, se conservó en placas de Petri estériles hasta su posterior utilización.

3.3.4. Preparación de las láminas de polietileno tereftalato

Según lo indicado por Martín (2017), para la preparación de las láminas de PET, se cortaron láminas de 4x1 cm. Las láminas fueron pesadas y desinfectadas, para ello se sumergieron en 20 mL de alcohol etílico al 96° durante 15 min y en una segunda etapa se sumergieron en 20 mL de alcohol etílico al 70°, también por un periodo de 15 min. En ambos casos, las láminas se voltearon dentro del alcohol cada 5 min para asegurar la acción del desinfectante en toda su superficie. Finalmente, las láminas se colocaron en tubos de ensayo estériles para su posterior uso.

3.3.5. Preparación de medio sales minerales

Según lo indicado por Meza (2013), el medio de sales minerales está compuesto de macro y microelementos (ver anexo 3); en nueve frascos de vidrio conteniendo, cada uno, 50 mL agua destilada se añadieron, uno por uno, los componentes del medio y se sometieron a agitación hasta su completa disolución, posteriormente, en un frasco de mayor volumen de capacidad, se reunieron las soluciones de los nueve frascos y previa agitación, se completó a un volumen final de un litro añadiendo más agua destilada, medio que fue sometido a esterilización en autoclave.

3.3.6. Primer periodo de adaptación de microorganismos de humus de lombriz y compost (Meza, 2013)

Se pesaron individualmente de 4 g de humus de lombriz y compost, los cuales fueron vertidos a frascos de vidrio de 500 mL de capacidad conteniendo 200 mL de medio sales minerales y suplementado con PET pulverizado en una cantidad de 1 g por cada 100 mL del medio. Como control, se utilizó otro frasco de vidrio con 200 mL de medio sales minerales suplementado con PET pulverizado al que no se añadió humus de lombriz, ni compost. Los tres frascos fueron sometidos a incubación a temperatura ambiente y se agitaron horizontalmente durante un periodo de 21 días por el equipo utilizando un agitador universal.

3.3.7. Segundo periodo de adaptación de microorganismos

Se prepararon 650 mL de medio sales minerales y se vertieron a frascos de 500 mL a razón de 50 mL en cada uno; a los cuales se añadieron glucosa más PET a diferentes concentraciones (ver tabla 4); con la aclaración que seis frascos corresponden para la adaptación de microorganismos provenientes de humus de lombriz, seis frascos para la adaptación de microorganismos provenientes de compost y más un frasco como blanco al cual se añadió solamente PET pulverizado a una

concentración de 1 g por cada 100 ml de medio.

Tabla 4. Concentración de suplementos en el medio de sales minerales para la adaptación de microorganismos provenientes de humus de lombriz y compost en un periodo de incubación de 22 días. Ayacucho 2023.

N° frascos	Medio sales minerales (mL)	Glucosa (g)	PET (g)	Inóculo *	Periodo de incubación (días)**
01	50	2,5	0,0	1	1
02	50	2,0	0,5	1	2
03	50	1,5	1,0	1	3
04	50	1,0	1,5	1	4
05	50	0,5	2,0	1	5
06	50	0,0	2,5	1	7

* Cultivo del primer periodo de adaptación.

**Periodo total de incubación: 22 días.

Al frasco N° 01 se inoculó un mL del cultivo proveniente del primer periodo de adaptación, se incubó por 24 horas (un día), a temperatura ambiente y en agitación horizontal por el equipo utilizando un agitador universal; transcurrido el tiempo de incubación se tomó un mL del cultivo y se transfirió al frasco N° 02, así sucesivamente hasta el frasco N° 06, con periodos de incubación según lo indicado en la Tabla 04 y en las mismas condiciones que el frasco N° 01; haciendo un total de 22 días de incubación.

3.3.8. Aislamiento de microorganismos

A partir de los frascos N° 06, de cultivo de adaptación de microorganismos de humus de lombriz y compost respectivamente, se aislaron los microorganismos, en placas de Petri conteniendo agar nutritivo, por la técnica de siembra por agotamiento en superficie, se incubaron a 37 °C por 24 horas, para la obtención de colonias, cada colonia fue repicada en agar nutritivo contenidos en viales, obteniéndose de esta manera los cepario. Paralelamente, las colonias fueron sometidas a tinción de Gram y observadas al microscopio con objetivo de inmersión.

3.3.9. Preparación del inóculo bacteriano para la evaluación de la biodegradación de polietileno tereftalato

Una asada de cada cepa aislada de humus de lombriz y de compost, fueron inoculadas en un tubo de ensayo conteniendo 13 mL de caldo nutritivo, incubados a 37°C por un tiempo que permitió alcanzar a una turbidez equivalente al del tubo N° 5

de la escala de MacFarland que corresponde aproximadamente a una suspensión homogénea de *Escherichia coli* de 15×10^8 cel/mL. De este modo, se logró obtener dos tubos de inóculos microbiano, uno con cepas aisladas de humus de lombriz y otro con cepas aisladas de compost.

3.3.10. Evaluación de la biodegradación de polietileno tereftalato

Se dispusieron 63 tubos de ensayo de 20 mL de capacidad, de los cuales 21 tubos corresponden para la evaluación de la degradación de polietileno tereftalato por cepas bacterianas aisladas de humus de lombriz, 21 tubos para la evaluación de la degradación de polietileno tereftalato por cepas bacterianas aisladas de compost y 21 tubos para el blanco, a cada uno de los 63 tubos se les agregaron pedazos de PET de 4x1 cm que fueron tarados previamente y desinfectados, seguidamente, a cada uno de los tubos se añadieron 13 mL de medio sales minerales más 0,5 mL de inóculo microbiano, con excepción de los tubos que corresponden al blanco, todos los tubos fueron incubados a temperatura ambiente y se agitaron horizontalmente por el equipo utilizando un agitador universal.

La evaluación de la degradación de láminas de PET, se realizaron por pesaje de los mismos con sus tres repeticiones, a través de una balanza analítica limpiándose con alcohol de 70° y agua destilada en los siguientes periodos: tres láminas al inicio de la evaluación (cero días), tres láminas a los siete días, así sucesivamente, cada siete días, hasta completar los 42 días, realizándose un total de nueve pesajes, tres pesajes por tratamiento.

Según lo indicado por Meza (2013), se utilizó la siguiente fórmula matemática para calcular el porcentaje de pérdida de peso de PET.

$$\% \text{ pérdida} = \frac{W_{\text{inicial}} - W_{\text{final}}}{W_{\text{inicial}}} \times 100$$

W_{inicial} : Peso inicial de polietileno tereftalato (mg)

W_{final} : Peso final de polietileno tereftalato en función del tiempo

3.3.11. Estandarización de la curva patrón para las diversas concentraciones de la biomasa microbiana

A partir de las dos cepas microbianas aisladas de cada tratamiento, se tomó una asada, de cada uno, y se inocularon en 15 ml de caldo nutritivo contenido en un tubo de ensayo; lo mismo se hizo con las dos cepas del otro tratamiento; se llevaron a incubación a 37 °C por un tiempo que permitió alcanzar a una turbidez equivalente al

del tubo N° 5 de la escala de MacFarland que corresponde aproximadamente a una suspensión homogénea de *Escherichia coli* de 15×10^8 cel/mL; donde, los cultivos resultantes se vertieron a un matraz con 150 mL de medio sales minerales suplementado con dos gramos PET pulverizado, incubado por 7 días a temperatura ambiente.

Finalizado el periodo de incubación, el cultivo fue transferido a siete frascos de vidrio de 250 ml de capacidad a razón de 30, 25, 20, 15, 10 y 5 mL, a cada frasco se le agregó agua destilada a razón de 0, 5, 10, 15, 20 y 25 mL, respectivamente, así se obtuvieron seis frascos con un volumen total de 30 mL a diferentes concentraciones de número de células microbianas.

La turbidez resultante de cada frasco fue sometida a lectura de absorbancia en un espectrofotómetro UV – visible thermo Scientific GENESYS 10 a 600 nm, de este modo los datos obtenidos fueron sujetas a cálculos de la prueba de regresión lineal. Los contenidos restantes de los siete frascos descritos, fueron filtrados a través de un filtro de membrana de 0,45 µm de porosidad, que fueron previamente taradas antes de su uso.

Luego de la filtración, cada filtro de membrana fue retirado del equipo de filtración y colocados en placas de Petri y secados en una estufa a 80 °C por 24 horas, transcurrido el tiempo fueron pesados en una balanza analítica.

Para el cálculo de biomasa se utilizó la siguiente fórmula.

$$\text{Peso seco} = \frac{\text{Peso de la membrana con biomasa (mg)} - \text{Peso de la membrana sin biomasa (mg)}}{\text{Contenido del tubo (mL)}}$$

Los datos obtenidos fueron sujetas a cálculo de la prueba de regresión lineal y cálculo del valor de R^2 (ver anexo 14); relacionando la densidad (D.O) con la concentración de biomasa microbiana (mg/mL), obteniéndose de este modo la curva patrón.

3.3.12. Estandarización de la curva patrón para las diversas concentraciones de proteínas (ovoalbúmina).

En un frasco de vidrio de 500 mL de capacidad, se agregaron 1,1 g de reactivo de ovoalbúmina en contenido de 100 mL de agua destilada, lo que resultó en una solución de ovoalbúmina con una concentración de 11 mg/mL (Ortega *et al.*, 2021). Paralelamente, en otro frasco se preparó 450 mL de reactivo de Biuret (ver anexo 4). La primera solución de ovoalbúmina (11 mg/mL) fue transferida a seis tubos de ensayo a razón 10, 8, 6, 4, 2 y 0 mg/mL, a cada tubo se le agregó agua destilada a

razón de 0, 2, 4, 6, 8 y 10 mL, respectivamente; el tubo seis que no contiene ninguna concentración de ovoalbúmina, representó el blanco.

De este modo se calcularon las diferentes concentraciones de ovoalbúmina para los seis tubos de ensayo empleándose la siguiente formula:

$$C1 \times V1 = C2 \times V2$$

Posterior, se tomaron 0,5 mL de cada uno de los tubos de las diferentes concentraciones y se transfirieron a otros seis tubos de ensayo. A estos tubos se les añadieron 2 mL de reactivo de Biuret modificado, lo que resultó en una coloración violeta. Se utilizó agua destilada como blanco de referencia.

Las soluciones de los seis tubos fueron sometidos a lectura de absorbancia en un espectrofotómetro UV – visible thermo Scientific GENESYS 10 a 545 nm.

Los datos obtenidos fueron sujetas a cálculo de la prueba de regresión lineal y cálculo del valor de R^2 (ver anexo 15); relacionando la densidad (D.O) con la concentración de ovoalbúmina (mg/mL) obteniéndose de este modo la curva patrón.

3.3.13. Medición de la biomasa microbiana con espectrofotometría

Después de la incubación a temperatura ambiente de los 63 tubos de ensayo del proceso de la evaluación de la degradación de láminas de PET por 42 días, 21 tubos correspondieron para la evaluación de la biomasa microbiana aisladas de humus de lombriz, 21 tubos correspondieron para la evaluación de la biomasa microbiana aisladas de compost y 21 tubos para el control.

Antes de realizar la evaluación de la biomasa microbiana, se agitaron vigorosamente los tubos de ensayo con el fin de remover restos de microorganismos que estuvieran adherido a la superficie de las láminas de PET. De esta forma, se evaluaron tres tubos al inicio de la evaluación (cero días), tres tubos a los siete días, así sucesivamente cada semana, hasta completar los 42 días; realizándose un total de nueve evaluaciones, tres evaluaciones por tratamiento.

Para la determinación de la biomasa microbiana resultante, la turbidez de cada uno de los tubos correspondientes fueron sometidas a lectura de absorbancia en un espectrofotómetro UV – visible thermo Scientific GENESYS 10 a 600 nm, los datos fueron comparados con los valores de la curva patrón correspondiente, obteniéndose de este modo los valores de la concentración de la biomasa bacteriana para cepas aislada de humus de lombriz y compost en distintos tiempos de incubación (ver anexos 16 y 17).

Los datos de la concentración de la biomasa bacteriana, se llevaron al programa de Excel para la elaboración de la gráfica para ambos tratamientos (ver figura 4).

3.3.14. Medición de las proteínas microbianas con espectrofotometría

Los mismos 63 tubos de ensayo del proceso de la evaluación de la biodegradación de las láminas de PET por 42 días, incubadas a temperatura ambiente, 21 tubos correspondieron para la evaluación de las proteínas microbiana aisladas de humus de lombriz, 21 tubos correspondieron para la evaluación de las proteínas microbiana aisladas de compost y 21 tubos para el control.

Antes de realizar la evaluación de las proteínas microbiana, se agitaron vigorosamente los tubos de ensayo con el fin de remover restos de microorganismos que estuvieran adherido a la superficie de las láminas de PET. De esta forma, se evaluaron tres tubos al inicio de la evaluación (cero días), tres tubos a los siete días, así sucesivamente cada siete días, hasta completar los 42 días; realizándose un total de nueve evaluaciones, tres evaluaciones por tratamiento. De los cuales se tomaron dos mL del cultivo microbiano, de cada uno de los tubos correspondientes, y fueron trasvasados a celdas del equipo de espectrofotómetro UV – visible thermo Scientific GENESYS 10, donde se añadieron, también a cada uno, un mL de reactivo de Biuret, se dejaron en reposo por 30 min a temperatura ambiente.

Las soluciones coloreadas contenidas en las celdas fueron sometidas a lectura de absorbancia en un espectrofotómetro UV – visible a 545 nm, los datos fueron comparados con los valores de la curva patrón correspondiente, obteniéndose de este modo los valores de la concentración de proteína microbiana en distintos tiempos de incubación (ver anexos 18 y 19)

Los datos de la concentración de proteínas microbiana, se llevaron al programa de Excel para la elaboración de la gráfica para ambos tratamientos (ver figura 6).

3.3.15. Formación de biopelículas (Palacios y Prado 2018)

Se trabajó con nueve tubos de ensayo del último periodo de evaluación de la degradación de las láminas de PET, a los 42 días de incubación, tres tubos correspondieron para la evaluación de formación de biopelículas por cepas microbianas aisladas de humus de lombriz, tres tubos correspondieron para la evaluación de formación de biopelículas por cepas microbianas aisladas de compost y tres tubos para el blanco, realizándose un total de nueve evaluaciones, tres evaluaciones por tratamiento con sus tres repeticiones.

Las láminas de PET fueron extraídas de los tubos de ensayo y colocadas a nueve placas de Petri. Cada una de las láminas fueron colocadas sobre portaobjetos y observadas al microscopio con un aumento de 400X.

3.3.16. Formación de porosidad (Palacios y Prado 2018)

Las mismas láminas evaluadas de la formación de biopelículas, fueron retiradas de los portaobjetos y colocadas en nueve placas de Petri para ser removidas restos de microorganismos con alcohol de 70° y agua destilada, posterior se examinaron cada una de las láminas de PET sobre portaobjetos y observadas al microscopio con un aumento de 400X.

3.3.17. Identificación de los microorganismos degradadores de polietileno tereftalato

En un contenedor se enviaron las cepas bacterianas aisladas de humus de lombriz y compost a la empresa “UMBRELLA GENOMICS COMPANY”, para su identificación taxonómica.

3.3.18. Análisis estadístico

- Para la elaboración de tablas y figuras en se empleó el programa Excel.
- Se empleó ANOVA para saber si existe una diferencia significativa entre medias.
- Para comparar las medias se empleó la prueba de comparación múltiple de Tukey

IV. RESULTADOS

Tabla 5. Cepas microbianas, con potencial degradativo de láminas de polietileno tereftalato, a partir de muestras de humus de lombriz y compost, seleccionadas por proceso de adaptación. Ayacucho 2023.

Muestra	Código de cepas	Características microscópicas		Grupo microbiano	Consortio
		Gram	Forma		
Humus de lombriz	HL-1	-	Bacilo	Bacteria	HL-1,2
	HL-2	-	Bacilo	Bacteria	
Compost	C-1	-	Bacilo	Bacteria	C-1,2
	C-2	-	Bacilo	Bacteria	

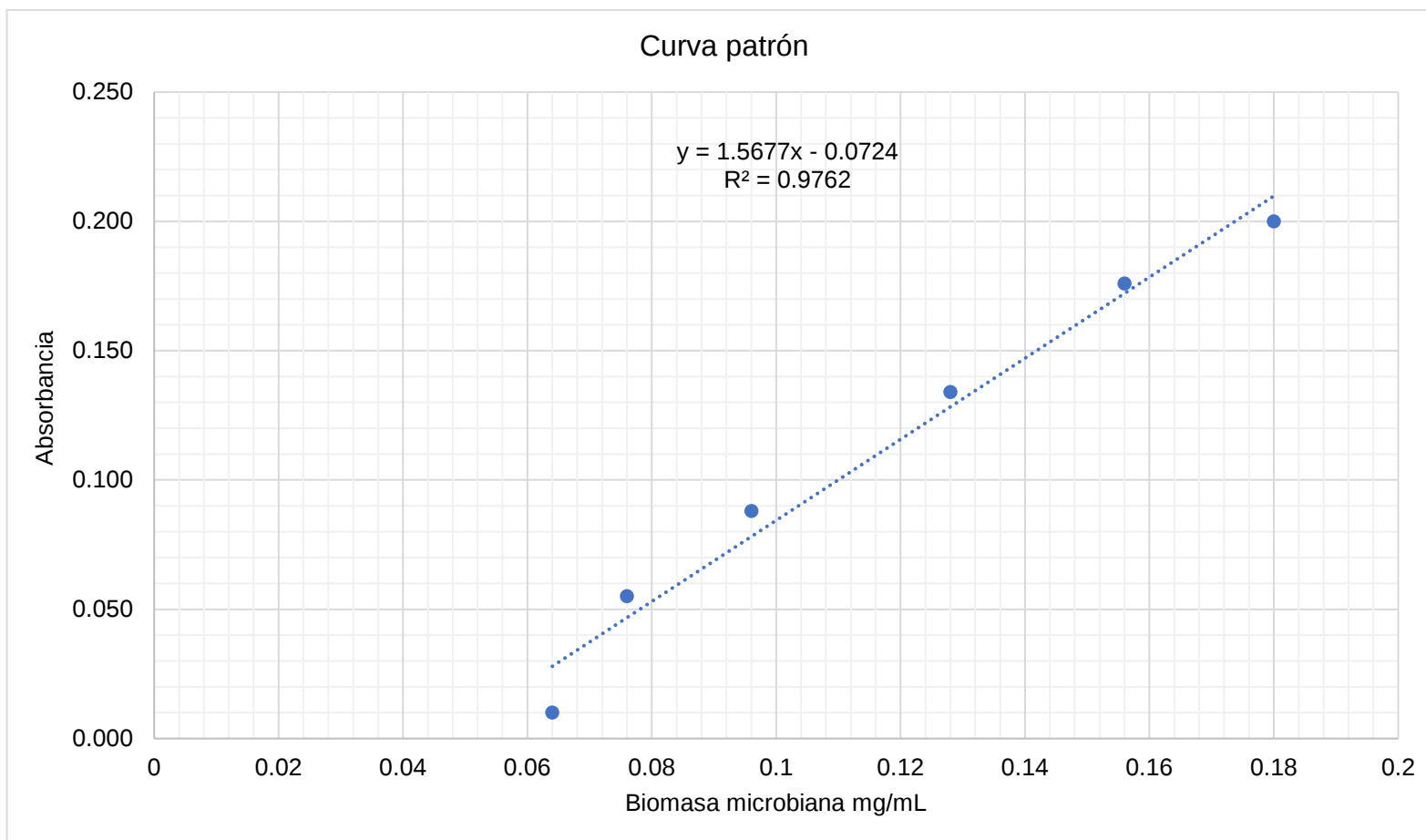


Figura 3. Curva patrón de concentración de biomasa microbiana versus absorbancia a 600 nm de longitud de onda. Ayacucho 2023.

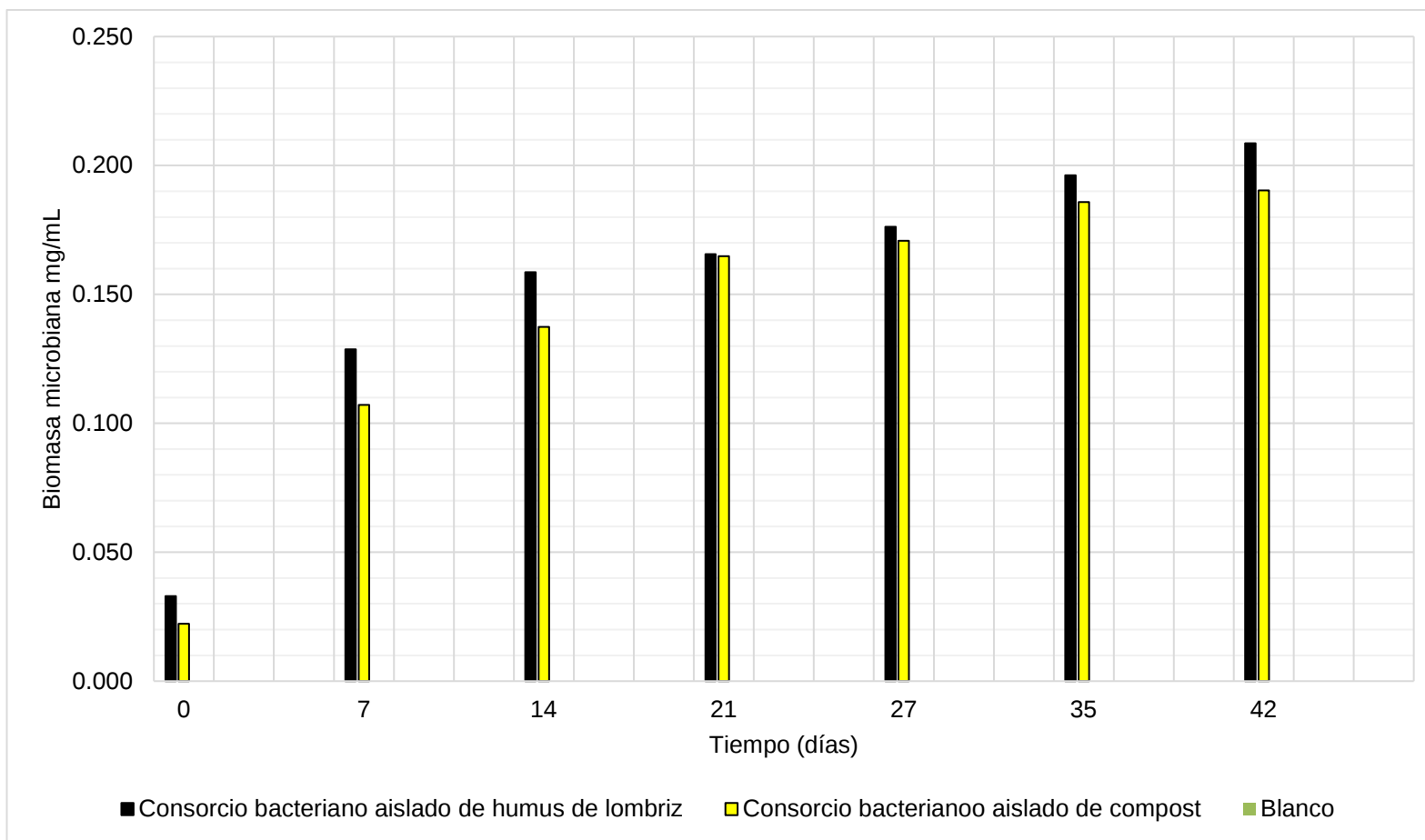


Figura 4. Incremento de la biomasa microbiana neto aisladas de humus de lombriz y compost en el proceso de la evaluación de la biodegradación de láminas de PET. Ayacucho 2023.

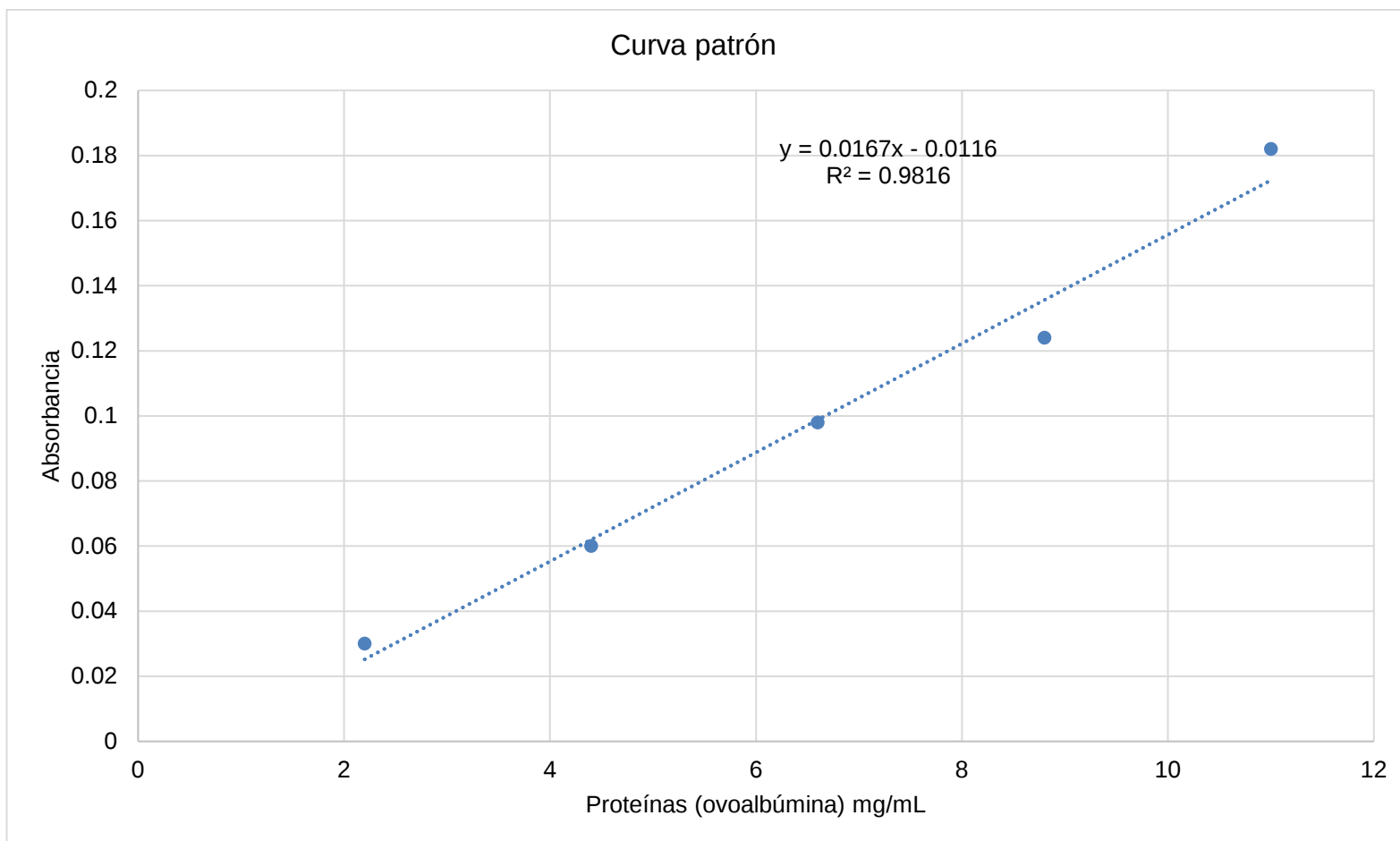


Figura 5. Curva patrón de concentración de proteínas (ovoalbúmina) versus absorbancia a 545 nm de longitud de onda. Ayacucho 2023.

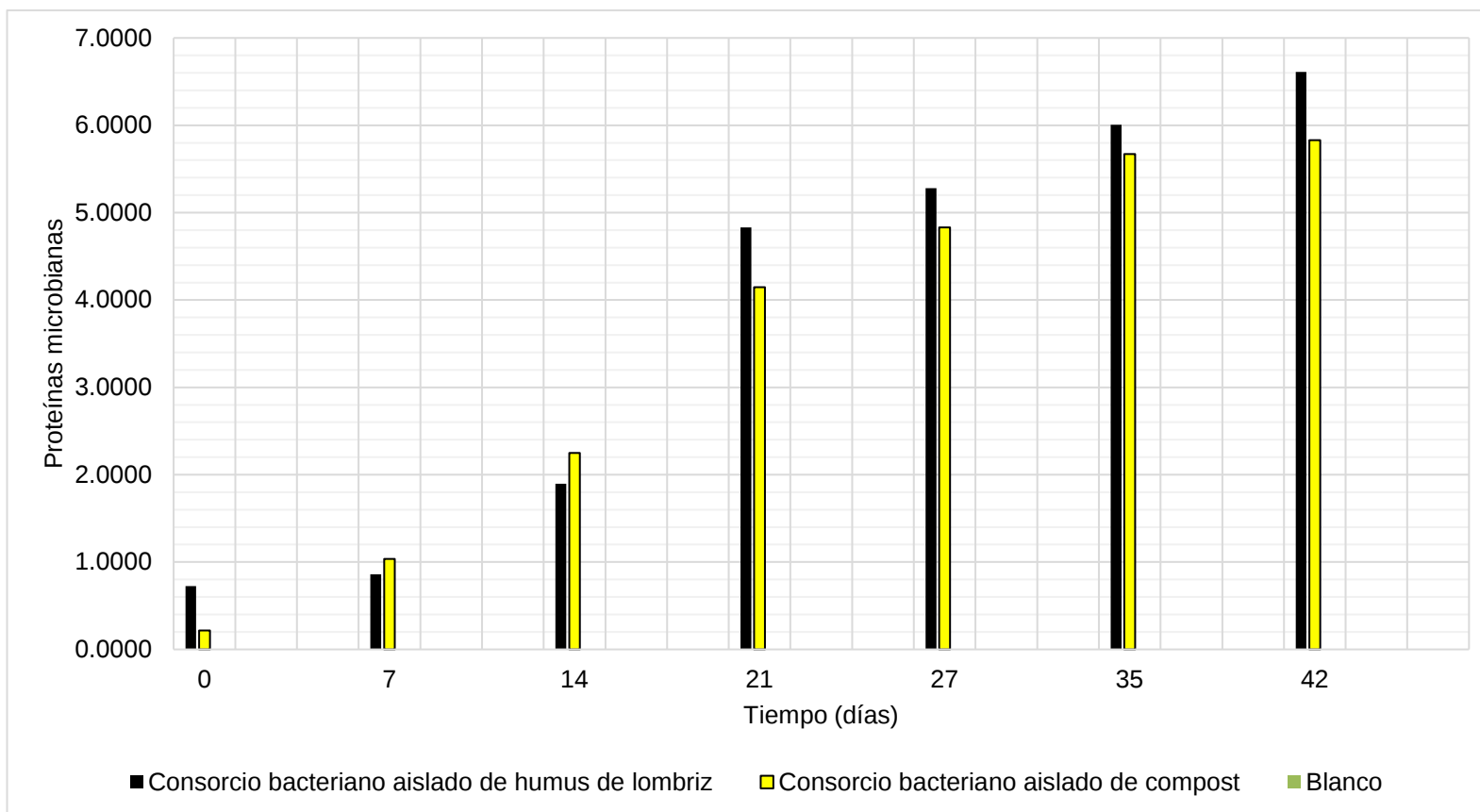


Figura 6. Incremento de concentraciones de proteínas microbianas neto aisladas de humus de lombriz y compost en el proceso de la evaluación de la biodegradación de láminas de PET. Ayacucho 2023.

Tabla 6. Pérdida de peso de láminas de PET por acción de consorcio bacteriano aislado de humus de lombriz a través en un periodo de 42 días de incubación, evaluados cada siete días. Ayacucho 2023.

Consortio	Peso de láminas de PET a través en un periodo de 42 días							Pérdida de peso (mg)
	0	7	14	21	28	35	42	
HL-1,2	0,3805							0,0000
	0,3835	0,3828						0,0007
	0,3922		0,3913					0,0009
	0,3848			0,3838				0,0010
	0,3350				0,3339			0,0011
	0,3713					0,3700		0,0013
	0,4294						0,4276	0,0018

Tabla 7. Pérdida de peso de láminas de PET por acción de consorcio bacteriano aislado de compost a través en un periodo de 42 días de incubación, evaluados cada siete días. Ayacucho 2023.

Consortio	Peso de láminas de PET a través en un periodo de 42 días							Pérdida de peso (mg)
	0	7	14	21	28	35	42	
C-1,2	0,3448							0,0000
	0,3801	0,3796						0,0005
	0,3913		0,3905					0,0008
	0,4149			0,4138				0,0011
	0,4035				0,4023			0,0012
	0,3180					0,3169		0,0011
	0,4110						0,4094	0,0016

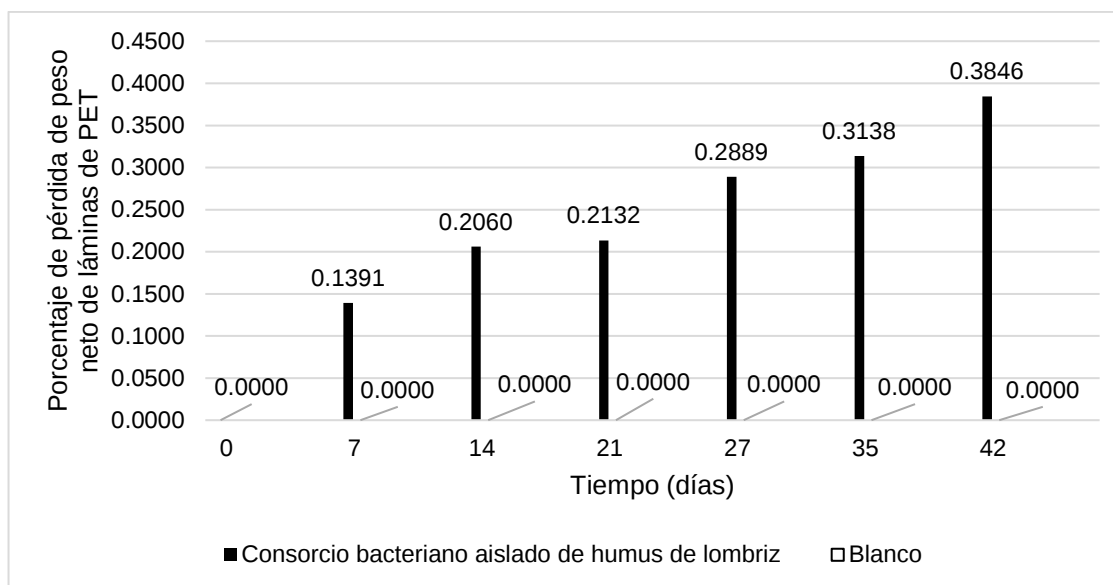


Figura 7. Porcentaje de pérdida de peso neto de láminas de PET por acción de consorcio bacteriano aislado de humus de lombriz a través de un periodo de 42 días de incubación. Ayacucho 2023.

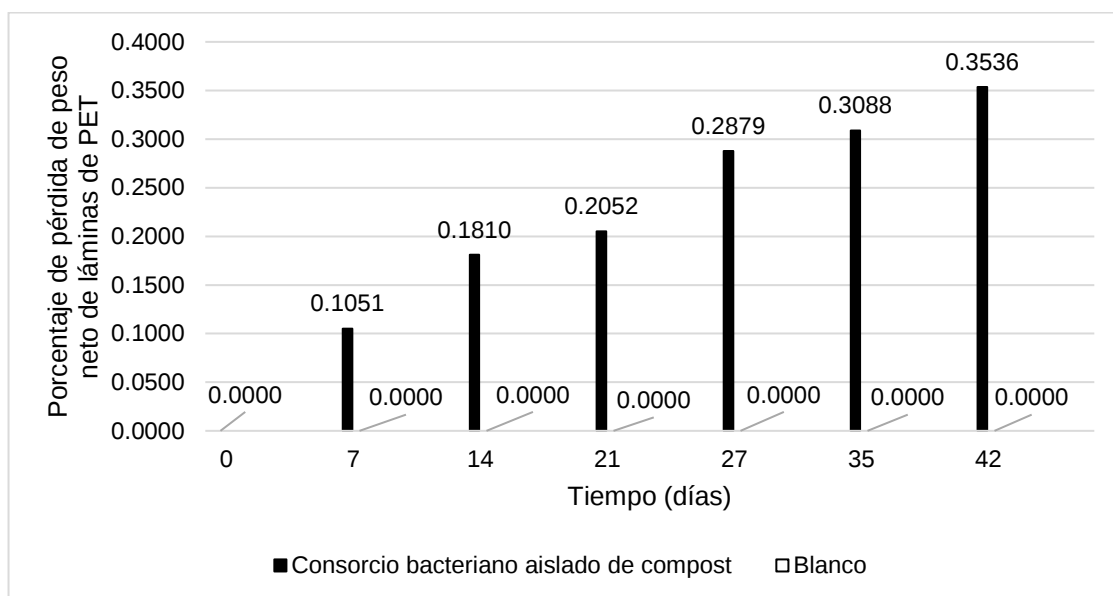


Figura 8. Porcentaje de pérdida de peso neto de láminas de PET por acción de consorcio bacteriano aislado de compost a través de un periodo de 42 días de incubación. Ayacucho 2023.



Figura 9. Tubos de ensayo con láminas de PET, con crecimiento de biopelículas, por consorcio bacteriano aislados de humus de lombriz y compost. Ayacucho 2023



a) C-1,2

b) Blanco

Figura 10. Cambios en el aspecto de la superficie de las láminas de PET por acción de consorcio bacteriano aislado de compost. Ayacucho 2023.

Tabla 8. Identificación de cepas bacterianas degradadoras de láminas de PET aisladas de humus de lombriz y compost. Ayacucho 2023.

Cepas	Especies bacterianas	Número de especies
HL-1	<i>Serratia liquefaciens</i>	2
HL-2	<i>Citrobacter murlinae</i>	
C-1	<i>Serratia marcescens</i>	2
C-2	<i>Escherichia fergusonii</i>	
Total		4

V. DISCUSIÓN

La **Tabla 5**, muestra los resultados de las cepas microbianas, con potencial degradativo de láminas de polietileno tereftalato, a partir de muestras de humus de lombriz y compost, seleccionadas por proceso de adaptación (ver tabla 4).

Las cepas microbianas aisladas de humus de lombriz y compost, dos de cada uno, fueron codificadas como HL-1, HL-2 y C-1, C-2, respectivamente. Estas cepas correspondieron a bacterias, todos bacilos y Gram negativas.

Los resultados del estudio, fueron comparados por Gutiérrez (2019), que explica que aisló microorganismos a partir del polietileno de baja densidad con signos de deterioro en el vertedero municipal de Tacna, aislándose nueve cepas de diversos microorganismos, en las que se hallaron bacilos Gram negativo y bacilos Gram positivos.

Asimismo, Gómez (2018), realizó un estudio para determinar la capacidad degradadora de los microorganismos sobre el PET logrando aislar ocho cepas capaces de utilizarlo como única fuente de carbono, entre las que se hallaron bacilos Gram negativos y otro como bacilos Gram positivos, levaduras y mohos.

En las **Figuras 4 y 6** se muestran el incremento de la biomasa microbiana y el incremento de concentración de proteínas de consorcio bacteriano aislados de humus de lombriz y compost en el proceso de la evaluación de la biodegradación de láminas de PET, a través del periodo de 42 días, evaluaciones realizadas cada siete días, donde los promedios de la biomasa bacteriana y la concentración de proteínas de consorcio bacteriano de humus de lombriz y compost van en incremento hasta el último periodo de evaluación, esto se debe que los microorganismos utilizan las láminas de PET como fuente de carbono y energía, puesto que el medio sales minerales no dispone de otras fuentes similares de nutrientes, esto evidenciado por

la adherencia de la biomasa bacteriana en la superficie inerte del PET, formando biopelículas.

Se aplicó el análisis de varianza entre las medias de biomasa bacteriana y la concentración de proteínas de consorcio bacteriano aisladas de humus de lombriz y compost en el proceso de la evaluación de la biodegradación de láminas de PET, a través del periodo de 42 días, con un nivel de confianza de 95% (ver anexo 9 y 10). Los resultados del análisis mostraron una diferencia significativa entre los grupos de tratamiento de estudio y el blanco, lo que llevó a rechazar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis alternativa, que los diferentes tipos de tratamiento de consorcio bacteriano de (HL-1,2 y C-1,2); existen microorganismos capaces de utilizar el polietileno tereftalato como única fuente de carbono, ya que en el control en ausencia de microorganismos no se evidenció crecimiento bacteriano ni producción de concentración de proteínas.

Asimismo, se aplicó la prueba de comparación múltiple de Tukey para las medias de la biomasa bacteriana y la concentración de proteínas, a los 42 días de incubación de la biodegradación de láminas de PET por consorcio bacteriano aislados de humus de lombriz y compost con un nivel de confianza de 95 % (ver anexo 11 y 12). Los resultados mostraron que las medias de los diferentes tratamientos de consorcio bacteriano de (HL-1,2 y C-1,2); fueron similares entre sí, pero difieren para el blanco, donde no hubo crecimiento bacteriano ni producción de concentración de proteínas. Según Cuevas y Edwards (2017) citado por López *et al.* (2019), hace referencia que las curvas de crecimiento bacteriano son importantes para comprender el metabolismo de las bacterias en diferentes medios y etapas de crecimiento.

En la investigación de López *et al.* (2019), indica que las curvas de crecimiento permiten caracterizar la formación de biopelículas, que son importantes para la supervivencia de los microorganismos en ambientes hostiles o en superficies inertes, donde, las biopelículas les permiten a los microorganismos colonizar y sobrevivir en estos ambientes que se han adherido a una superficie comenzando a multiplicarse y producir una matriz extracelular compuesta por exopolisacáridos, proteínas y ADN extracelular. Esta matriz extracelular proporciona una estructura tridimensional que sostiene y protege a los microorganismos en la biopelícula.

En las **Tablas 6 y 7**, muestran las pérdidas de peso de láminas de PET por acción de consorcio bacteriano aislados de humus de lombriz y compost a través en un periodo

de 42 días de incubación, evaluaciones realizadas cada siete días, donde, los promedios de pérdida de peso de PET van en incremento hasta el último periodo de evaluación. Los resultados mostraron que el consorcio bacteriano (HL-1,2 y C-1,2); presentaron un promedio de pérdida de peso de láminas de PET de 0,0018 mg y 0,0016 mg; respectivamente.

Los resultados del estudio, fueron confirmados por Gómez (2018), logró aislar ocho cepas de microorganismos capaces de utilizar el PET como única fuente de carbono. Los resultados más destacados mostraron que la cepa (D) obtuvo una pérdida de peso efectiva de 43,7 mg, seguida por la cepa (E) con 1,1 mg y la cepa (C) con 0,8 mg.

Asimismo, Gutiérrez (2019), menciona que la degradación de polietileno por consorcio microbiano aislados de materiales con signos de deterioro fue capaz de degradar el polietileno de baja densidad de manera evidente, con un promedio de pérdida de peso de 172,975 mg en un periodo de 70 días de incubación.

En las **Figuras 7 y 8**, muestran los porcentajes de pérdida de peso neto de las láminas de PET por acción de consorcio bacteriano aislados de humus de lombriz y compost a través de un periodo de 42 días de incubación, evaluaciones realizadas cada siete días, donde los porcentajes de pérdida de peso van en incremento hasta el último periodo de evaluación. Los resultados mostraron que el consorcio bacteriano de (HL-1,2 y C-1,2); presentaron un promedio porcentual de pérdida de peso neto de 0,385% y 0,354%; respectivamente, en el proceso de biodegradación.

Según el estudio realizado, encontramos resultados similares realizadas por Palacios y Prado (2018), quienes sostienen que, los promedios de pérdida de peso porcentual debido a la biodegradación del polietileno tereftalato en la primera medición fueron 0,136%, 0,110% y 0,226% para las bacterias presentes en estiércol de conejo, compost de vegetales y estiércol de caballo, respectivamente. Estos promedios aumentaron al finalizar los 90 días (3 meses) a 4,158%, 4,512% y 4,298%.

Asimismo, Yoshida *et al.* (2016), reportaron que las bacterias *Ideonella sakaiensis* es capaz de desintegrar el polietileno tereftalato de manera evidente, con un promedio de pérdida de peso de 2g (14,9%) en 160 días, hasta sus componentes originales, es decir en ácido tereftálico y etilenglicol; lo que permite inferir que los microorganismos utilizan distintas rutas metabólicas para desintegrar los materiales tóxicos en el

ambiente.

Por su parte, Gutiérrez (2019), menciona que la degradación de polietileno de baja densidad por consorcio microbiano aislados de materiales con signos de deterioro fue capaz de biodegradar el polietileno de baja densidad de manera evidente, con un promedio porcentual de pérdida de peso de 2,88% en un periodo de 70 días de incubación.

Meza (2013), en su tesis, sobre la biodegradación de polietileno tereftalato al finalizar los 35 días del tiempo experimental, determinó que las bacterias presentes en estiércol de caballo, estiércol de gallina y humus de lombriz fueron 10,89%, 6,64% y 7,87% respectivamente. Mientras para el oxopolietileno por las bacterias presentes en estiércol de caballo, estiércol de gallina y humus de lombriz, obtuvieron un porcentaje de pérdida de peso de 6,49%, 5,28% y 39,99% presentando su valor más alto en el día 35.

Por su parte Iparraguirre y Vivanco (2015), identificaron y describieron los hongos filamentosos responsables de la degradación del polietileno de baja densidad (PEBD) y polietileno tereftalato (PET), donde lograron aislar ocho cepas de PET, de las cuales cinco fueron capaces de biodegradar, y 11 cepas de PEBD, de las cuales ocho demostraron capacidad de biodegradación. La cepa que presentó la mayor actividad biodegradadora en ambos tipos de polímeros fue identificada como perteneciente al género *Mucor*, logrando descomponer un 1,3% del peso de polietileno tereftalato a 25 °C y pH 5, y un 20% del PEBD a 25 °C y pH 5 – 7.

Según Uribe *et al.* (2010) citado por Palacios y Prado (2018), realizaron un estudio para evaluar la capacidad degradativa de un consorcio microbiano sobre el polietileno de baja densidad (PEBD). Los resultados mostraron que un consorcio formado solo por bacterias logró reducir el peso total del polietileno de baja densidad en un 5,4%. Por otro lado, los hongos lograron una reducción del 4,8% del peso total del polietileno de baja densidad.

El estudio realizado por Ariba *et al.* (2015), tuvo como objetivo evaluar la eficacia degradadora por parte de las bacterias *Desulfotomaculum nigrificans* y *Pseudomonas alcaligenes*. Los resultados indicaron que hubo un porcentaje de pérdida de peso del 10,2%, 13,2% y 16,2% para *Desulfotomaculum nigrificans* y del 10,5%, 14,7% y 16,2% para *Pseudomonas alcaligenes*, evaluaciones que se llevaron a cabo durante un período de 10, 20 y 30 días, donde concluyeron que cualquier de las especies son

eficaces para el proceso de la biodegradación de polietileno de baja densidad.

En la **Figura 9**, muestra los tubos de ensayo con láminas de PET, con crecimiento de biopelículas, por consorcio bacteriano aislados de humus de lombriz y compost, donde se pudo evidenciar a través del periodo de 42 días de evaluación.

Según el estudio realizado, encontramos resultados similares obtenidos por Palacios y Prado (2018), quienes evidenciaron la formación de biopelículas sobre la superficie de polietileno tereftalato durante los 90 días de evaluación, donde; el plástico tratado con bacterias presentes en el compost de vegetales mostró la mayor cantidad de biopelícula acumulada en toda la superficie.

De acuerdo con Butrón (2020), la biodegradación se evidencia mediante la colonización de microorganismos en la superficie del polietileno por medio de reacciones de hidrólisis. Esto se confirma en nuestra investigación (ver anexo 10), donde, se muestran las microfotografías de consorcio bacteriano aislados de humus de lombriz y compost adheridas sobre la superficie de láminas de PET a un aumento de 400X.

Asimismo, Debroas *et al.* (2017); Yoshida *et al.* (2016) y Uribe *et al.* (2010) citato por Palacios y Prado (2018), sostienen, que la formación de biopelículas sobre la superficie del plástico evidencia el ataque microbiano para su asimilación de los polímeros sintéticos.

En sus estudios realizados por Tokiwa *et al.* (2009) citado por Gómez y Oliveros (2018), indican que, durante el proceso de colonización del material a través de reacciones de hidrólisis, los microorganismos secretan una serie de enzimas que les permiten adherirse a este y a su vez causar el deterioro de los polímeros que generan estructuras de bajo peso molecular y finalmente son mineralizados a dióxido de carbono y agua.

En la **Figura 10**, muestra los cambios en el aspecto de la superficie de las láminas de PET por acción de consorcio bacteriano aislado de compost, al finalizar el periodo de los 42 días de evaluación del proceso degradativo de las láminas de PET.

Los resultados del estudio, fueron confirmados por Aradilla *et al.* (2007) citado por Gómez y Oliveros (2018), quienes expresan que las modificaciones más palpables se encuentran en la pérdida de brillo, color y formación de grietas, ocasionando desgaste en las superficies de las láminas. Esto se confirma en las investigaciones realizadas por González y Camarena (2013) citado por Gutiérrez (2019), que, en un análisis

minucioso, descubrieron una comunidad de hongos que se habían adherido a la superficie de los plásticos, lo que les permitió estudiar su actividad biodegradadora. Los resultados revelaron que los hongos que se desarrollaron en el plástico provocaron cambios en la corrosión de la superficie, la formación de grietas en el material y un cambio en el color, esto se corrobora en nuestra investigación (ver anexo 11), donde se muestran las microfotografías de formación de porosidades sobre la superficie de la lámina de PET por acción de consorcio bacteriano aislada de humus de lombriz a un aumento de 400X.

En la **Tabla 8**, muestra la identificación de las cepas bacterianas degradadoras de láminas de PET aisladas de humus de lombriz y compost; donde se reportaron cuatro especies de bacterias diferentes pertenecientes al orden de los enterobacterales. Dos especies fueron identificadas a partir de cada consorcio bacteriano (HL-1,2 y C-1,2); como *Serratia liquefaciens*, *Citrobacter murlinae* y *Serratia marcescens*, *Escherichia fergusonii*, respectivamente.

Los resultados del estudio, fueron comparados por Vertus *et al.* (2017), mediante una literatura (ver tabla 2); nos muestra las condiciones ambientales en las que se desarrollan los microorganismos biodegradadores de los diferentes polímeros sintéticos dentro de ello se menciona la especie de *Serratia marcescens*, lo cual fue identificado en el presente trabajo. Asimismo, menciona que existe varios microorganismos que fueron evaluados y aislados de diferentes sustratos, siendo el más representativo el género de *Pseudomonas* y *Staphylococcus*.

Asimismo, Nair *et al.* (2016) citado por Silverio (2021), indica que la biodegradación del poliláctico están implicados por un consorcio de bacterias (ver tabla 3); donde este consorcio, están formados por un grupo de microorganismos, entre los cuales se mencionan las especies de *Cladosporium sphaerospermum*, *Rhodotorula mucilaginosa*, *Penicillium chrysogenum*, *Serratia marcescens*, que actúan simultáneamente en la degradación del ácido poliláctico, semejante al polietileno tereftalato.

Por otro lado, Martín (2017), menciona que el polietileno, polipropileno y otros, son derivados del petróleo; donde, Pasumarthi *et al.* (2013), aislaron un grupo de microorganismos degradadores de hidrocarburos de la costa de Goa, India, entre ellos mencionan las bacterias como *Pseudomonas aeruginosa* y *Escherichia fergusonii*. Asimismo, Ccolque y Vargas (2017), en sus presentes trabajos que tienen

como objetivo aislar, caracterizar e identificar cepas microbianas nativas procedentes de suelos contaminados con hidrocarburos totales de petróleo; donde lograron aislar nueve cepas bacterianas entre ello se menciona *Citrobacter* spp. La identificación de las bacterias *Escherichia fergusonii* y *Citrobacter* spp., degradadoras de hidrocarburos se menciona en el presente trabajo, que presentan una actividad degradadora de PET.

Por otro lado, Kariyachan *et al.* (2016) citado por Silverio (2021), mediante una literatura (ver tabla 3); nos muestra que un grupo microbiano están implicados en la biodegradación de polietileno de baja densidad, dentro de ello se menciona las especies de *Enterobacter* sp. y *Pantoea* sp., perteneciente al orden de los enterobacterales, esto; se corrobora en el presente trabajo acerca de las especies perteneciente a este mismo orden.

VI. CONCLUSIONES

1. A partir de muestras de humus de lombriz y compost, se aislaron cuatro cepas bacterianas con capacidades degradadoras de polietileno tereftalato: dos cepas HL-1 y HL-2 pertenecientes a humus de lombriz y dos cepas C1 y C2 pertenecientes a compost.
2. La capacidad biodegradadora de polietileno tereftalato, a los 42 días de incubación, por acción de consorcio bacteriano aislado de humus de lombriz mostraron un promedio de pérdida de peso de láminas de PET en un 0,0018 mg en 4cm².
3. La capacidad biodegradadora de polietileno tereftalato, a los 42 días de incubación, por acción de consorcio bacteriano aislado de compost mostraron un promedio de pérdida de peso de láminas de PET en un 0,0016 mg en 4cm².
4. A partir de las cepas bacterianas se identificó cuatro especies de bacterias con capacidad degradativa de polietileno tereftalato: *Serratia liquefaciens* (HL-1), *Citrobacter murlinae* (HL-2), *Serratia marcescens* (C-1) y *Escherichia fergusonii* (C-2).
5. Los porcentajes de pérdida de peso de láminas de polietileno tereftalato, a los 42 días de incubación, por acción de consorcio bacteriano aislados de humus de lombriz y compost fueron de 0,385% y 0,354%, respectivamente.

VII. RECOMENDACIONES

1. Realizar experimentos específicos con cada una de las cepas microbianas aisladas para identificar cual es el que mejores cualidades presentan para una mejor biodegradación y al mismo tiempo observar cómo trabajan.
2. Continuar con más investigaciones relacionadas a este trabajo para poder aislar otras especies de microorganismos que tengan la capacidad degradativa de polietileno tereftalato, por ejemplo, aislar consorcios microbianos a partir de rellenos sanitarios donde los sustratos se encuentran adheridos a los envases de PET.
3. Trabajar con aquellos microorganismos aislados de humus de lombriz y compost bajo condiciones controladas como la temperatura, pH y concentración de PET que juegan un rol muy importante en el proceso de la adaptación y crecimiento para evaluar la máxima eficiencia degradativa en los diferentes tipos de polímeros sintéticos que hoy en día es un contaminante para el ambiente y la salud pública.

VIII. REFERENCIAS

- Acuña, N. (2017). Revisión bibliográfica sobre los microorganismos biodegradadores de polietileno de baja densidad y sus efectos en el material. [tesis para optar el título de Licenciado en Química]. Bogotá: Universidad Distrital Francisco José De Caldas.
- Ariba, A., Varalakshmi, B. y Umamageshwari, k. (2015). Biodegradación de bolsas de polietileno utilizando bacterias aisladas del suelo. *Rev. Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci*, 4(11): 674-680.
- Barbarán, S., Cabanillas, H., Rubio L. y Escalante, Y. (2018). Biodegradación de polietileno tereftalato (PET) por acción de *Pseudomona aeruginosa*, en condiciones de laboratorio. [tesis para optar el título Profesional de Biólogo]. Trujillo: Universidad Cesar Vallejo.
- Butrón, P. (2020). Capacidad de biodegradación de *Pseudomonas aeruginosa* frente al polietileno de baja densidad. [tesis para optar el Grado Académico de Doctor en Ciencias, Tecnología y Medio Ambiente]. Puno: Universidad Nacional del Altiplano.
- Camacho, A., Martínez, L., Ramírez, H., Valenzuela, R. y Valdés, M. (2014). Potencial de algunos microorganismos en el compostaje de residuos sólidos. *Rev. Terra Latinoamericana*, 32(4): 291-300. Recuperado en 26 de agosto de 2023, de <https://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v32n4/2395-8030-tl-32-04-00291.pdf>
- Ccallo, M., Sacaca, F., Callata, R., Vigo, J. y Calla, J. (2020). Biodegradación de polímeros de plásticos por *Pseudomonas*. *Rev. Ciencia, Tecnología y Desarrollo*, 6 (2): 46-59.
- Chunga, L. & Cieza, C. (2017). Biodegradación de poliestireno utilizando microorganismos presentes en el humus de lombriz durante los meses, octubre – diciembre. [Tesis para obtener el título Profesional de Ingeniero Ambiental]. Chiclayo: Universidad de Lambayeque.
- Crespo, A. (2021). Biodegradación de partículas de microplásticos de polietileno a partir de un consorcio microbiano aislado del contenido intestinal de la larva *Galleria mellonella* L. [tesis para optar el título Profesional de Ingeniería en Biotecnología de los Recursos Naturales]. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana.
- Ccolque, C. y Vargas, M. (2017). Biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos totales de petróleo mediante el método de biopilas con dos tipos de sustratos (tierra y abonos orgánicos). [Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Biotecnólogo]. Arequipa: Universidad Católica de Santa María.
- De La Cruz, C. y Arone, A. (2020). Biodegradación de polietileno de baja densidad mediante un consorcio microbiano a condiciones anaerobias y aerobias. [tesis para obtener el título Profesional de Ingeniero Ambiental]. Lima: Universidad Peruana Unión.
- Fernández, E y Galván A. (2014, 02 de febrero). *Métodos para la cuantificación de proteínas*. Scribbr. Recuperado 26 de febrero de 2024, de <https://www.uco.es/organiza/departamentos/bioquimica-biol-mol/pdfs/27%20METODOS%20PARA%20LA%20CUANTIFICACION%20DE%20PROTEINAS.pdf>
- Gómez, J., y Oliveros, C. (2018). Biodegradación de polietileno de tereftalato por microorganismos aislados de sitios de disposición final de residuos sólidos, Táchira, Venezuela. *Rev. REDIELUZ*, 6(2): 57 - 62.

- Gutiérrez, A. (2019). Biodegradación de polietileno de baja densidad utilizando hongos, bacterias y consorcios bacterianos aislados del botadero municipal de Tacna. [tesis para obtener el título Profesional de Ingeniero Ambiental]. Tacna: Universidad Privada de Tacna.
- Gutierrez, K. (2018). Influencia de factores ambientales de crecimiento microbiano en la degradación de polietileno de baja densidad por la bacteria *pseudomona aeruginosa* en Huancayo. [tesis para obtener el título Profesional de Ingeniero Ambiental]. Huancayo: Universidad Continental.
- Iparraguirre, K., y Vivanco, M. (2015). Aislamiento y caracterización de hongos filamentosos biodegradadores de polietileno de tereftalato y polietileno de baja densidad. [tesis para obtener el título Profesional de Biólogo]. Ica: Universidad Nacional San Luis Gonzaga de Ica.
- Laich, F. (2011). El papel de los microorganismos en el proceso de compostaje. [archivo PDF]. Santa Cruz de Tenerife. Recuperado de: <https://www.fermojica.com/he/media/microorg.pdf>
- La República. (17 de febrero, 2018). *Bolsas plásticas, enemigo silencioso*. Obtenido de la página web de La República: <https://larepublica.pe/domingo/1199040-no-las-use>
- López, S. *et al.* (2019). Evaluación in vitro de la formación de biopelículas de bacterias marinas del Caribe colombiano. *Bol. Invest. Mar. Cost*, 48(2): 71-93. Recuperado en 10 de enero de 2023 de: <https://doi.org/10.25268/bimc.invemar.2019.48.2.767>.
- Ministerio del Ambiente. (31 de julio, 2019). Ley N° 30884, Ley que regula el consumo de bienes de plástico de un solo uso que generan riesgo para la salud pública y/o el ambiente. Obtenido de la página web del MINAM: <https://sinia.minam.gob.pe/novedades/ley-ndeg-30884-regula-consumo-bienes-plastico-un-solo-uso-que-generan#:~:text=La%20Ley%20N%C2%B0%2030884%2C%20que%20regula%20el%20pl%C3%A1stico,un%20mecanismo%20que%20se%20viene%20aplicando%20en%20>
- Martín, A. (2017). Estudio preliminar de la biodegradación de plásticos por bacterias marinas. [tesis para optar el Grado Académico de Ciencias Biología]. España: Universidad de La Laguna.
- Meza, M. (2013). Biodegradabilidad de polietileno tereftalato y de oxopolietileno, a nivel de laboratorio, por la acción de bacterias nativas presentes en humus de lombriz, caballo y gallina. [tesis para optar el Título Profesional de Ingeniería en Biotecnología]. Sangolquí: Escuela Politécnica del Ejército.
- Ortega, R., López, A., Andrés, P. y Aparicio, A. (2021). *Composición nutricional de los alimentos. Herramienta para el diseño y valoración de alimentos y dietas*. [Archivo PDF]. Recuperado de <https://www.ucm.es/idinutricion/file/tca-2021?ver>
- Palacios, C. y Prado, V. (2018). Biodegradación de polietileno tereftalato por acción de consorcios bacterianos procedentes de diferentes tipos de humus. [tesis para optar el título Profesional de Biólogo]. Ica: Universidad nacional San Luis Gonzaga de Ica.
- Pasumarthi *et al.* (2013). Biodegradación del petróleo crudo por *Pseudomonas aeruginosa* y *Escherichia fergusonii* aislado de la costa de Goa. *Rev. Elsevier*, 76(1), 276–282. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.08.026>
- Raimond, B., Seymour, Jr. y Charles, E. (2021). *Introducción a la química de los*

- polímeros*. 1ª ed. Barcelona: Editorial Reverté, S.A.
- Silverio, R, (2021). Biopolímeros: alternativa sostenible en el marco de la economía circular. [Tesis para obtener el título profesional de Máster en Biotecnología Industrial y Agroalimentaria]. España. Universidad de Almería.
- Vertus, D. et al. (2017). Biodegradación bacteriana de polietileno y propuesta de aplicación en Cerro Patacón. *Revista de Iniciación Científica*, 1: 1.
- Yoshida, S., Hiraga, K., Takehana, T., Taniguchi, I., Yamaji, H., Maeda, Y., Toyohara, K., Miyamoto, K., Kimura, Y., y Oda, K. (2016). A bacterium that degrades and assimilates (polyethylene terephthalate). *Rev. New York Science Journal*, 351(6278), 1196–1199. <https://doi.org/10.1126/science.aad6359>

IX. ANEXOS

Anexo 1. Obtención de las muestras de humus de lombriz y compost en el punto de ventas de plántulas situado en el mercado Mariscal Cáceres. Ayacucho 2023.



Anexo 2. Obtención de envases de polietileno tereftalato del contenedor de botellas en los laboratorios de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. Ayacucho 2023.



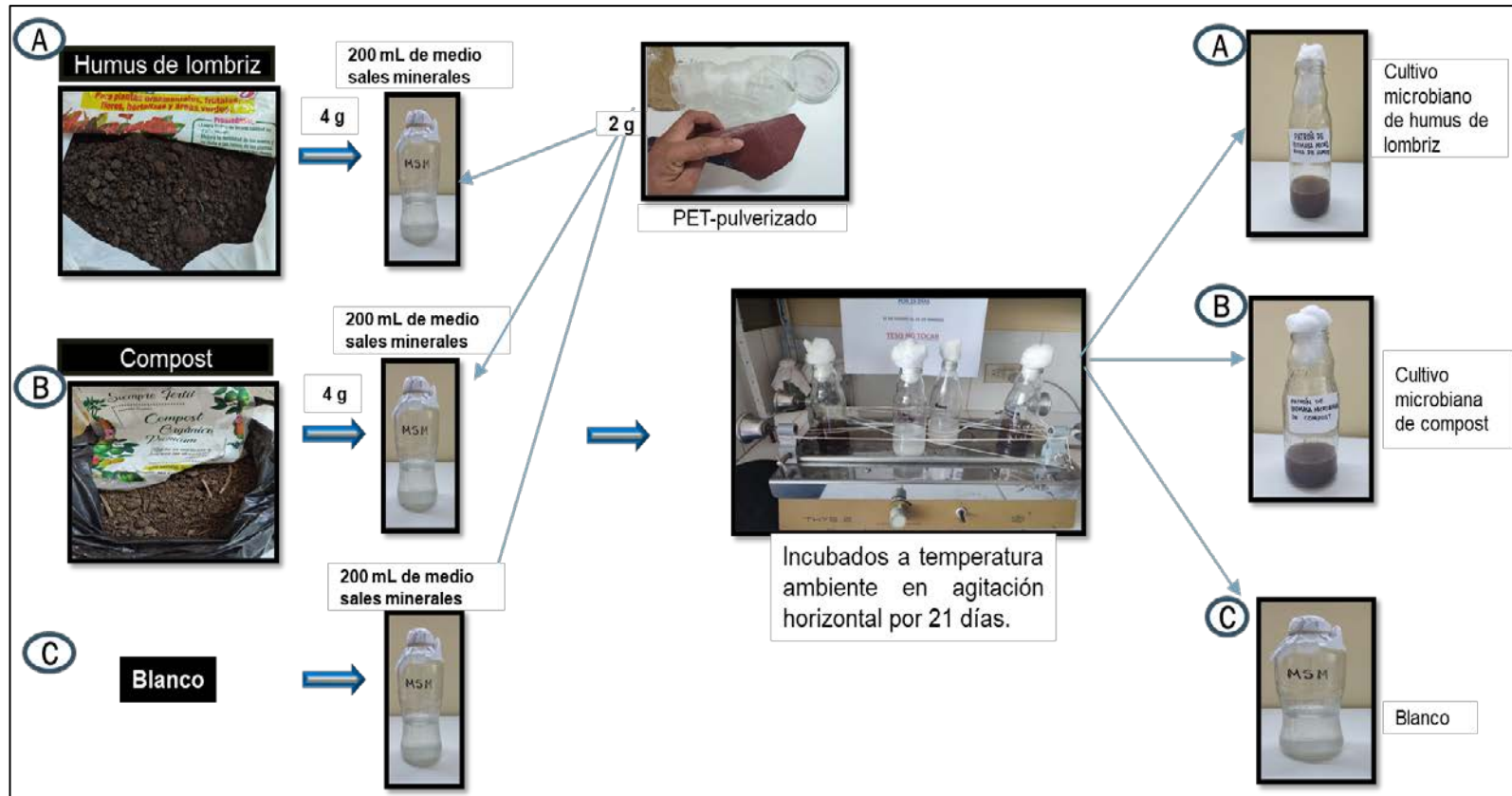
Anexo 3. Preparación de medio sales minerales suplementado con extracto de levadura por un litro de agua, según Meza (2013). Ayacucho 2023.

Solución	Cantidad (g)
$\text{Na}_2\text{HPO}_4(12\text{H}_2\text{O})$	2,52
CaCl_2	0,002
KH_2PO_4	0,5
$\text{FeSO}_4(7\text{H}_2\text{O})$	0,001
NH_4Cl	1,0
$\text{MgSO}_4(7\text{H}_2\text{O})$	0,5
$\text{MnSO}_4(7\text{H}_2\text{O})$	0,007
$\text{ZnSO}_4(7\text{H}_2\text{O})$	0,007
Extracto de levadura	0,1

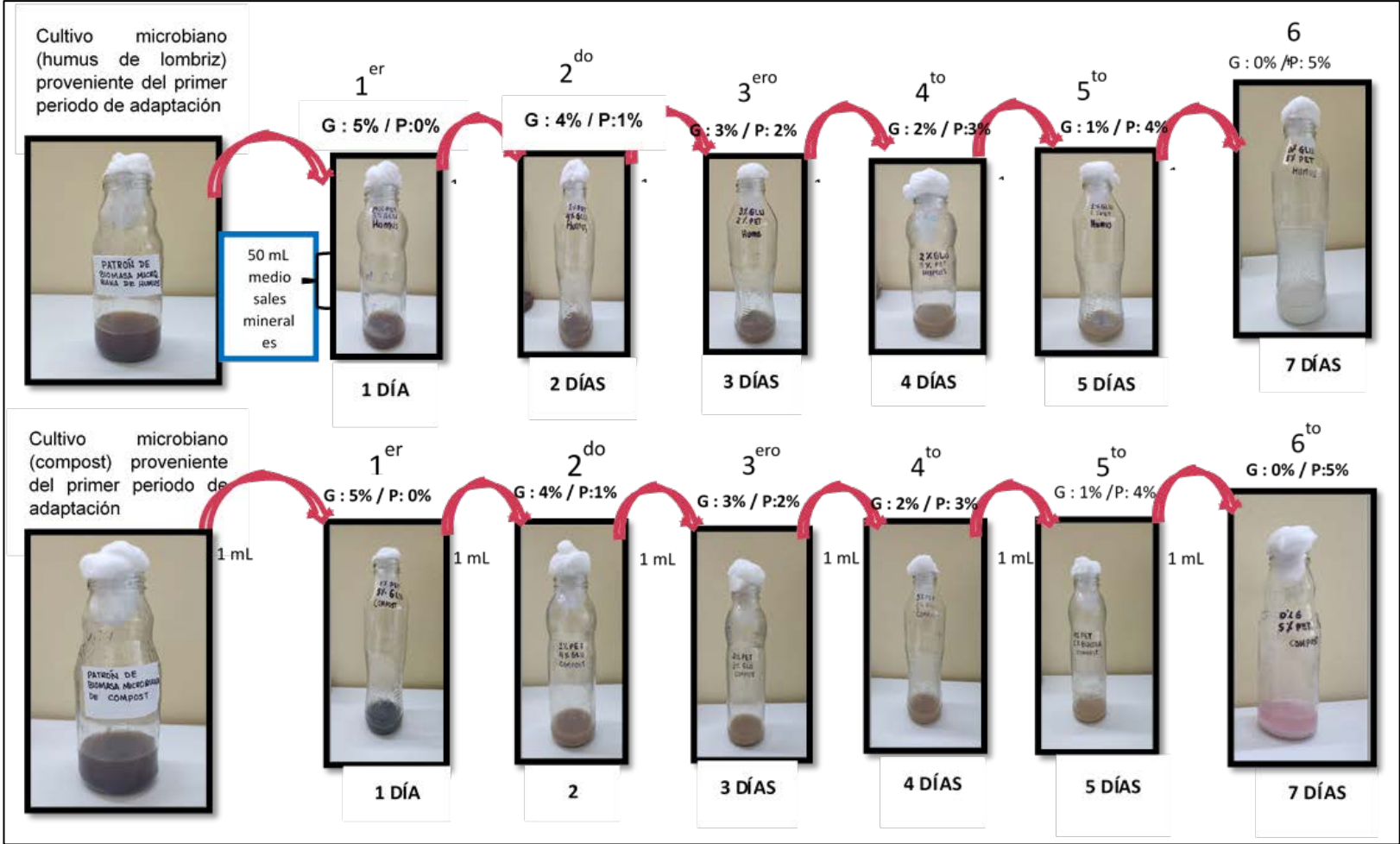
Anexo 4. Preparación de reactivo de Biuret modificado por un litro de agua, según Fernández y Galván (2014). Ayacucho 2023.

Solución	Cantidad (g)
$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	3,8
Na EDTA	6,7
NaOH	40
KI	1,0

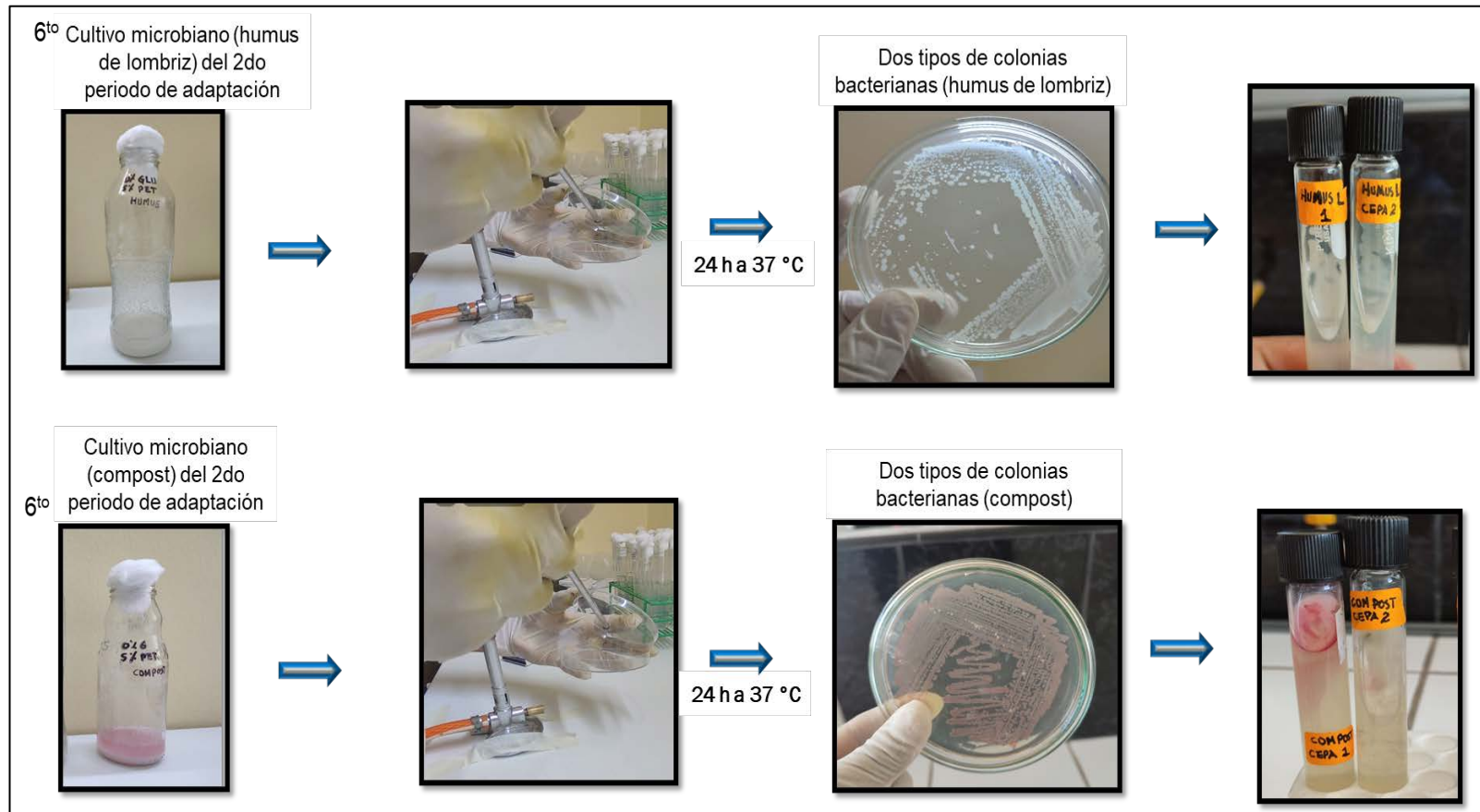
Anexo 5. Flujograma del primer periodo de adaptación de microorganismos de humus de lombriz y compost. Ayacucho 2023.



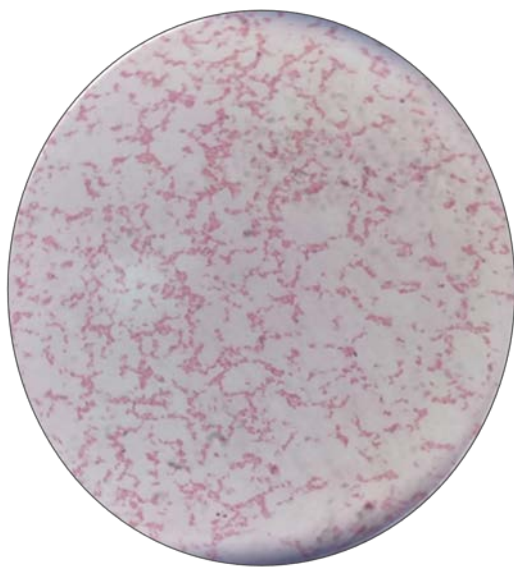
Anexo 6. Flujograma del segundo periodo de adaptación de microorganismos a diferentes concentraciones de glucosa y PET pulverizado. Ayacucho 2023.



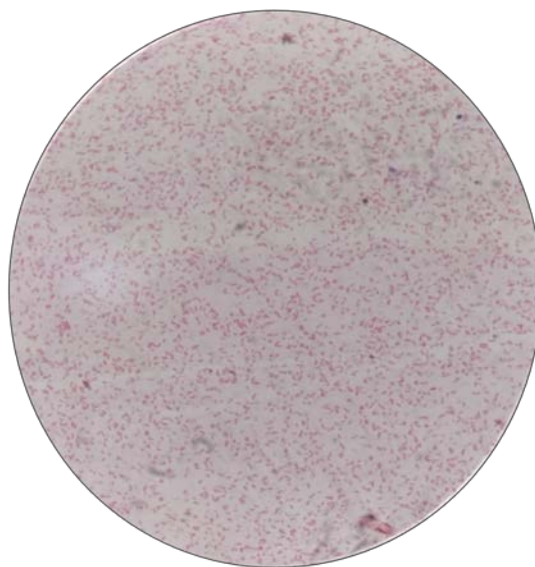
Anexo 7. Flujograma de aislamiento de microorganismos de humus de lombriz y compost. Ayacucho 2023.



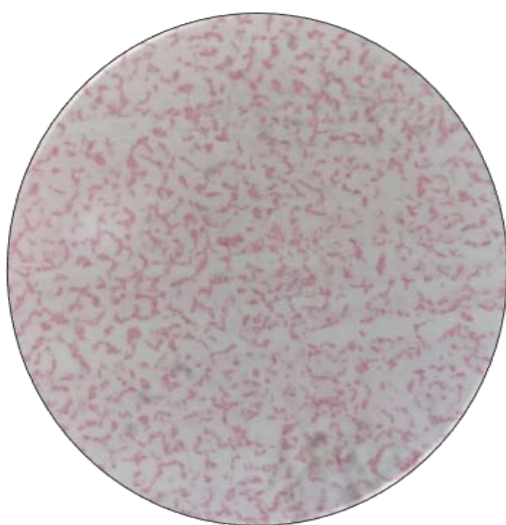
Anexo 8. Tinción Gram de cepas bacterianas aisladas de humus de lombriz y compost a un aumento de 1000X. Ayacucho 2023.



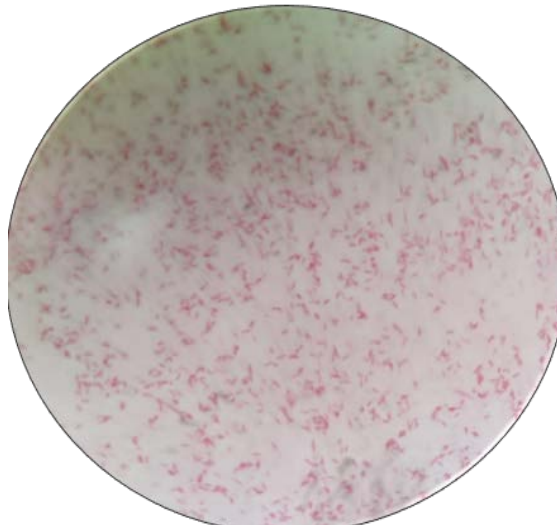
a) Ceba HL-1



b) Ceba HL-2



a) Ceba C-1



b) Ceba C-2

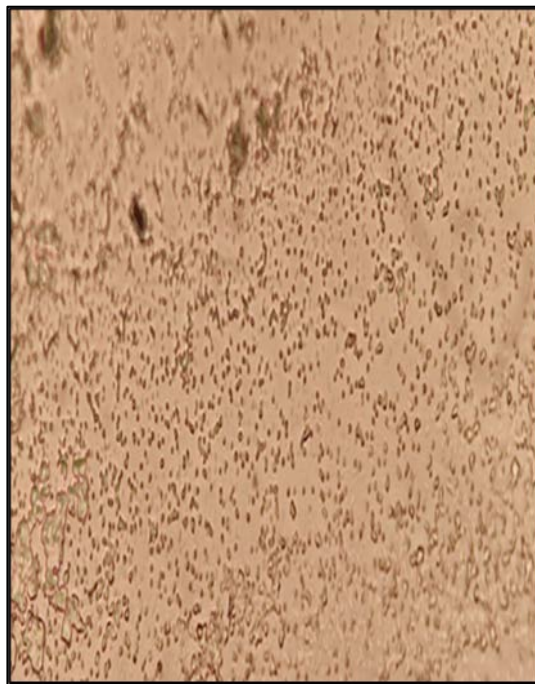
Anexo 9. Flujograma para la evaluación de la biodegradación de láminas de PET por consorcio bacteriano aislados de humus de lombriz y compost. Ayacucho 2023.



Anexo 10. Microfotografías de consorcio bacteriano aislados de humus de lombriz y compost adheridos sobre la superficie de láminas de PET a un aumento de 400X. Ayacucho 2023.



a) HL-1,2

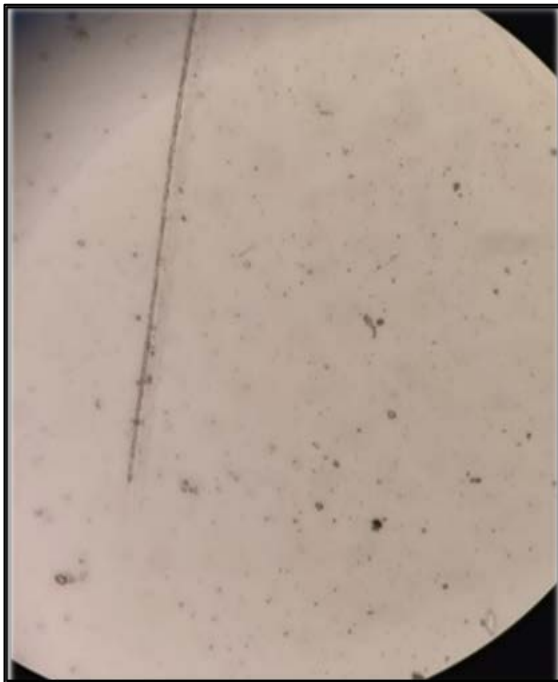


b) C-1,2

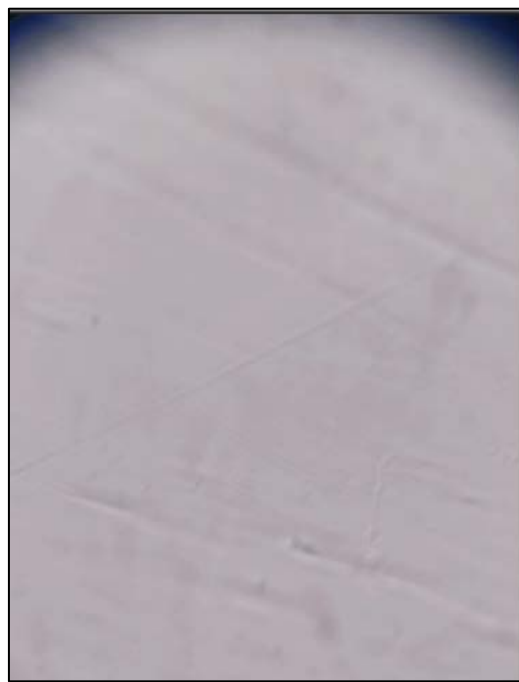


c) Blanco

Anexo 11. Microfotografía de formación de porosidades sobre la superficie de la lámina de PET por acción de consorcio bacteriano aislado de humus de lombriz a un aumento de 400X. Ayacucho 2023.

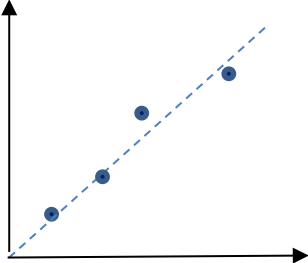


a) HL-1,2



b) Blanco

Anexo 12. Estandarización de la curva patrón para las diversas concentraciones de la biomasa microbiana, en el proceso de evaluación de biodegradación de láminas de PET por consorcio microbiano aislados de humus de lombriz y compost. Ayacucho 2023.

N° de frascos	Cultivo microbiano preparado (mL)	Concentración de biomasa microbiana (mg/mL) $\text{Peso seco} = \frac{\text{Peso final (mg)} - \text{Peso inicial (mg)}}{25 \text{ mL}}$	Absorbancia a 600 nm	Recta de regresión lineal de la curva patrón $Y = bx + a$
1	5	0,064	0,010	$Y = 1,5677X - 0,0724$ $R^2 = 0,9762$ 
2	10	0,076	0,055	
3	15	0,096	0,088	
4	20	0,128	0,134	
5	25	0,156	0,176	
6	30	0,18	0,200	

Donde:

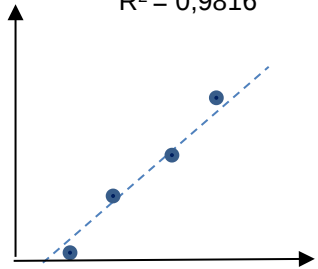
Y = Absorbancia de la ecuación de la regresión lineal de la curva patrón

X = Concentración la ecuación de la regresión lineal de la curva patrón

b = Pendiente de la ecuación de la regresión lineal de la curva patrón

a = Constante de la ecuación de la regresión lineal de la curva patrón

Anexo 13. Estandarización de la curva patrón de proteína (ovoalbúmina mg/mL), para la determinación de concentración de proteínas microbianas en el proceso de biodegradación de láminas de PET por consorcio microbiano aislados de humus de lombriz y compost. Ayacucho 2023.

N° de tubos	Ovoalbúmina preparada (11mg/mL)	Concentración de proteína (Ovoalbúmina 11mg/mL) $C1 \times V1 = C2 \times V2$	Absorbancia a 545 nm	Recta de regresión lineal de la curva patrón $Y = bx + a$
1	2	2,2	0,030	$Y = 0,0167X - 0,0116$ $R^2 = 0,9816$ 
2	4	4,4	0,060	
3	6	6,6	0,098	
4	8	8,8	0,124	
5	10	11	0,182	

Donde:

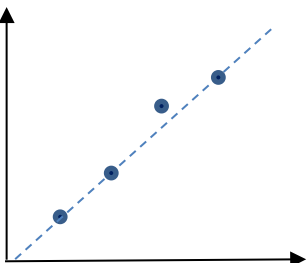
Y = Absorbancia de la ecuación de la regresión lineal de la curva patrón.

X = Concentración de la ecuación de la regresión lineal de la curva patrón.

b = Pendiente de la ecuación de la regresión lineal de la curva patrón.

a = Constante de la ecuación de la regresión lineal de la curva patrón.

Anexo 14. Tabulación de los datos obtenidos a partir de la turbidez de cada tubo sometidas a una absorbancia a 600 nm de longitud de onda, por la ecuación de la recta de regresión lineal de la curva patrón, para la obtención de biomasa bacteriana en mg/mL, en el proceso de biodegradación de láminas de PET por consorcio bacteriano aislado de humus de lombriz. Ayacucho 2023.

N° de tubos	Absorbancia a 600 nm	Concentración de biomasa bacteriana (mg/mL)	Recta de regresión lineal de la curva patrón $Y = bx + a$
1	0,101	0,11	$Y = 1.5677X - 0,0724$ $R^2 = 0,9762$ 
2	0,254	0,20	
3	0,307	0,23	
4	0,316	0,24	
5	0,335	0,25	
6	0,366	0,27	
7	0,390	0,29	

Donde:

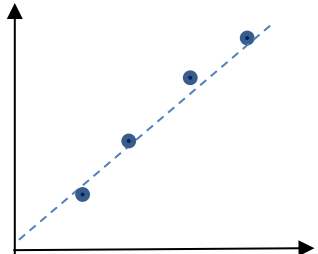
Y = Absorbancia de la ecuación de la regresión lineal de la curva patrón.

X = Concentración de la ecuación de la regresión lineal de la curva patrón.

b = Pendiente de la ecuación de la regresión lineal de la curva patrón.

a = Constante de la ecuación de la regresión lineal de la curva patrón.

Anexo 15. Tabulación de los datos obtenidos a partir de la turbidez de cada tubo sometidas a una absorbancia a 600 nm de longitud de onda, por la ecuación de la recta de regresión lineal de la curva patrón, para la obtención de biomasa bacteriana en mg/mL, en el proceso de biodegradación de láminas de PET por consorcio bacteriano aislado de compost. Ayacucho 2023.

N° de tubos	Absorbancia a 600 nm	Concentración de biomasa microbiana (mg/mL)	Recta de regresión lineal de la curva patrón $Y = bx + a$
1	0,084	0,10	$Y = 1,5677X - 0,0724$ $R^2 = 0,9762$ 
2	0,219	0,18	
3	0,273	0,21	
4	0,314	0,24	
5	0,326	0,25	
6	0,350	0,26	
7	0,360	0,27	

Donde:

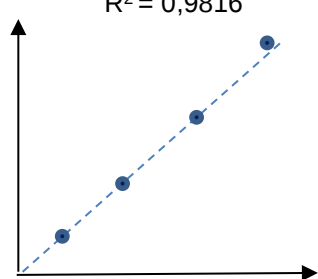
Y = Absorbancia de la ecuación de la regresión lineal de la curva patrón.

X = Concentración de la ecuación de la regresión lineal de la curva patrón.

b = Pendiente de la ecuación de la regresión lineal de la curva patrón.

a = Constante de la ecuación de la regresión lineal de la curva patrón.

Anexo 16. Tabulación de los datos obtenidos a partir de la turbidez de cada tubo sometidas a una absorbancia a 600 nm de longitud de onda, por la ecuación de la recta de regresión lineal de la curva patrón, para la obtención de concentración de proteínas microbianas en mg/mL, en el proceso de biodegradación de láminas de PET por consorcio bacteriano aislado de humus de lombriz. Ayacucho 2023.

N° de tubos	Absorbancia a 545 nm	Concentración de proteínas microbianas (mg/mL)	Recta de regresión lineal de la curva patrón de proteínas (ovoalbúmina)
			$Y = bx + a$
1	0,059	4,22	$Y = 0,0167X - 0,0116$ $R^2 = 0,9816$ 
2	0,068	4,76	
3	0,074	5,12	
4	0,134	8,71	
5	0,140	9,07	
6	0,151	9,73	
7	0,171	10,93	

Donde:

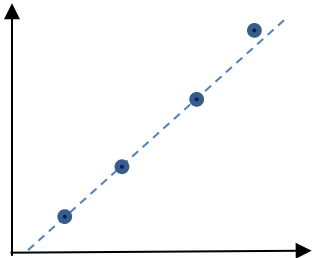
Y = Absorbancia de la ecuación de la regresión lineal de la curva patrón.

X = Concentración de la ecuación de la regresión lineal de la curva patrón.

b = Pendiente de la ecuación de la regresión lineal de la curva patrón.

a = Constante de la ecuación de la regresión lineal de la curva patrón.

Anexo 17. Tabulación de los datos obtenidos a partir de la turbidez de cada tubo sometidas a una absorbancia a 600 nm de longitud de onda, por la ecuación de la recta de regresión lineal de la curva patrón, para la obtención de concentración de proteínas microbianas en mg/mL, en el proceso de biodegradación de láminas de PET por consorcio bacteriano aislado de compost. Ayacucho 2023.

N° de tubos	Absorbancia a 545 nm	Concentración de proteínas microbianas (mg/mL)	Recta de regresión lineal de la curva patrón de proteínas (ovoalbúmina) $Y = bx + a$
1	0,051	3,74	$Y = 0,0167X - 0,0116$ $R^2 = 0,9816$ 
2	0,071	4,94	
3	0,080	5,48	
4	0,122	8,00	
5	0,133	8,65	
6	0,145	9,37	
7	0,158	10,15	

Donde:

Y = Absorbancia de la ecuación de la regresión lineal de la curva patrón.

X = Concentración de la ecuación de la regresión lineal de la curva patrón.

b = Pendiente de la ecuación de la regresión lineal de la curva patrón.

a = Constante de la ecuación de la regresión lineal de la curva patrón.

Anexo 18. Análisis de varianza entre las medias porcentuales de la pérdida de peso de láminas de PET a los 42 días de incubación de la biodegradación por consorcio bacteriano aislados de humus de lombriz y compost con un nivel de confianza de 95%. Ayacucho 2023.

Fuente de variaciones	Gl	Suma cuadrados	Media cuadrática	F _c	P	Valor crítico F
Entre grupos	2	0,30486	0,15243	99,37676	0,00003	5,143253
Dentro de grupos	6	0,00920	0,00153			
Total	8	0,31407		1,36483		

Anexo 19. Prueba de comparación de pares de Tukey de las medias porcentuales de la pérdida de peso de las láminas de PET a los 42 días de incubación de la biodegradación por consorcio bacteriano aislados de humus de lombriz y compost con un nivel de confianza de 95%. Ayacucho 2023.

HSD de Tukey	N	(%) de pérdida de peso de láminas de PET	Subconjunto para $\alpha = 0.05$	
Consorcio			1	2
HL-1,2	3	0,397		B*
C-1,2	3	0,367		B*
Blanco	3	0,013	A	
Sig.			1,000	0,359

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Anexo 20. Análisis de varianza entre las medias de biomasa bacteriana, a los 42 días de incubación, en el proceso de la evaluación de la biodegradación de láminas de PET, por consorcio bacteriano aislados de humus de lombriz y compost, con un nivel de confianza de 95%. Ayacucho 2023.

Fuente de variaciones	Gl	Suma cuadrados	Media cuadrática	F _c	P	Valor crítico F
Entre grupos	2	0,0801	0,0400	757,399	6,14099E-08	5,143
Dentro de grupos	6	0,0003	0,0001			
Total	8	0,0804				

Anexo 21. Análisis de varianza entre las medias de concentración de proteínas microbianas, a los 42 días de incubación, en el proceso de la evaluación de la biodegradación de láminas de PET, por consorcio bacteriano aislados de humus de lombriz y compost, con un nivel de confianza de 95%. Ayacucho 2023.

Fuente de variaciones	Gl	Suma cuadrados	Media cuadrática	F _c	P	Valor crítico F
Entre grupos	2	78,2977	39,1488	393,554	4,32969E-07	5,1433
Dentro de grupos	6	0,5968	0,0995			
Total	8	78,8946				

Anexo 22. Prueba de comparación múltiple de Tukey para las medias de la biomasa bacteriana, a los 42 días de incubación de la biodegradación de las láminas de PET por consorcios bacteriano aislados de humus de lombriz y compost con un nivel de confianza de 95%. Ayacucho 2023.

HSD de Tukey	N	Media	Subconjunto	
Consortio			1	2
HL-1,2	3	0,2905		B
C-1,2	3	0,2722		B
Blanco	3	0,0819	A	
<i>Sig.</i>			1,000	0,353

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Anexo 23. Prueba de comparación múltiple de Tukey para las medias de concentración de proteínas microbianas, a los 42 días de incubación de la biodegradación de las láminas de PET por consorcio bacteriano aislados de humus de lombriz y compost con un nivel de confianza de 95%. Ayacucho 2023.

HSD de Tukey	N	Media	Subconjunto	
Consortio			1	2
HL-1,2	3	10,8367		B
C-1,2	3	10,0543		B
Blanco	3	4,2254	A	
<i>Sig.</i>			1,000	0,619

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Anexo 24. Identificación de la cepa bacteriana *Serratia liquefaciens* (HL-1), mediante secuenciación del gen ARNr 16S, aislada de humus de lombriz. Ayacucho 2023.



Serratia liquefaciens

TAGAGTTTGATCATGGCTCAGATTGAACGCTGGCGGCAGGCCTAACACATGCAAG
TCGAGCGGTAGCACAGAGGAGCTTGCTCTCTGGGTGACGAGCGGCGGACGGGT
GAGTAATGTCTGGGAACTGCCTGATGGAGGGGATACTACTGGAAACGGTAG
CTAATACCGCATAACGTCTACGGACCAAAGTGGGGGACCTTCGGGCCTCATGCCA
TCAGATGTGCCAGATGGGATTAGCTAGTAGGTGGGGTAATGGCTCACCTAGGC
GACGATCCCTAGCTGGTCTGAGAGGATGACCAGCCACACTGGAAGTGAAGACAG
GTCCAGACTCCTACGGGAGGCAGCAGTGGGGAATATTGCACAATGGGCGCAAGC
CTGATGCAGCCATGCCGCGTGTGTGAAGAAGGCCTTCGGGTTGTAAAGCACTTTC
AGCGAGGAGGAAGGGTTGTGTGTTAATAGCACATTGCATTGACGTTACTCGCAGA
AGAAGCACCGGCTAACTCCGTGCCAGCAGCCGCGGTAATACGGAGGGTGCAAGC
GTTAATCGGAATTACTGGGCGTAAAGCGCACGCAGGCGGTTTGTAAAGTCAGATG
TGAAATCCCCGCGCTTAACGTGGGAACTGCATTTGAAACTGGCAAGCTAGAGTCT
TGTAGAGGGGGGTAGAATTCCAGGTGTAGCGGTGAAATGCGTAGAGATCTGGAG
GAATACCGGTGGCGAAGGCGGCCCTGGACAAAGACTGACGCTCAGGTGCGAA
AGCGTGGGGAGCAAACAGGATTAGATACCCTGGTAGTCCACGCTGTAAACGATGT
CGACTTGAGGTTGTGCCCTTGAGGCGTGGCTTCCGGAGCTAACGCGTTAAGTC
GACCGCCTGGGGAGTACGGCCGCAAGGTTAAACTCAAATGAATTGACGGGGGC
CCGCACAAGCGGTGGAGCATGTGGTTTAATTCGATGCAACGCGAAGAACCTTACC
TACTCTTGACATCCAGAGAATTGCTAGAGATAGCTTAGTGCTTCGGGAAGTCTG
AGACAGGTGCTGCATGGCTGTCGTCAGCTCGTGTGTGAAATGTTGGGTTAAGTC
CCGCAACGAGCGCAACCCCTTATCCTTTGTTGCCAGCAGCGTAATGGTGGGAACTC
AAAGGAGACTGCCGGTGATAAACCGGAGGAAGGTGGGGATGACGTCAAGTCATC
ATGGCCCTTACGAGTAGGGCTACACACGTGCTACAATGGCGTATACAAAGAGAAG
CGAACTCGCGAGAGCAAGCGGACCTCATAAAGTACGTCGTAGTCCGGATCGGAG
TCTGCAACTCGACTCCGTGAAGTCGGAATCGCTAGTAATCGTAGATCAGAATGCT
ACGGTGAATACGTTCCCGGGCCTTGACACACCGCCCGTCACACCATGGGAGTG
GGTTGCAAAAGAAGTAGGTAGCTTAACCTTCGGGAGGGCGCTTACCACCTTGTGA
TTCATGACTGGGGTGAAGTCGTAACAAGGTAACCGTAGGGGAACCTGCGGCTGG
ATCACC



 Luis Alberto Saucedo Mejía
 Lic. en Biología
 C.B.P. 16195

Dirección: Emilio Althaus 576, Lince
 Celular: +51 925708785

Página web: www.ugenomics.pe
 Correo electrónico: ventas@ugenomics.pe

Anexo 25. Identificación de la cepa bacteriana *Citrobacter murlinae* (HL-2), mediante secuenciamiento del gen ARNr 16S, aislada de humus de lombriz. Ayacucho 2023.



Citrobacter murlinae

TAGAGTTTGATCATGGCTCAGATTGAACGCTGGCGGCAGGCCTAACACATGCAAG
TCAACGGTAGCACAGAGGAGCTTGCTCCTTGGGTGACGAGTGGCGGACGGGTG
AGTAATGTCTGGGAACTGCCGATGGAGGGGGATAACTACTGGAAACGGTAGC
TAATACCGCATAACGTCGCAAGACCAAAGAGGGGGACCTTCGGGCCTCTTGCCAT
CGGATGTGCCAGATGGGATTAGCTAGTAGGTGGGGTAACGGCTCACCTAGGCG
ACGATCCCTAGCTGGTCTGAGAGGATGACCAGCCACACTGGAAGTGAACACGG
TCCAGACTCCTACGGGAGGCAGCAGTGGGGAATATTGCACAATGGGCGCAAGCC
TGATGCAGCCATGCCGCGTGTATGAAGAAGGCCTTCGGGTTGTAAAGTACTTTCA
GCGAGGAGGAAGGTGTTGTGGTTAATAACCGCAGCAATTGACGTTACTCGCAGAA
GAAGCACCGGCTAACTCCGTGCCAGCAGCCGCGGTAATACGGAGGGTGCAAGC
GTTAATCGGAATTACTGGGCGTAAAGCGCACGCAGGCGGTCTGTCAAGTCGGAT
GTGAAATCCCCGGGCTCAACCTGGGAAGTGCATCCGAACTGGCAGGCTAGAGT
CTTGATAGAGGGGGGTAGAATTCCAGGTGTAGCGGTGAAATGCGTAGAGATCTGG
AGGAATACCGGTGGCGAAGGCGGCCCTGGACAAAGACTGACGCTCAGGTGC
GAAAGCGTGGGGAGCAAACAGGATTAGATACCCTGGTAGTCCACGCCGTAAACG
ATGTCGACTTGGAGGTTGTGCCCTTGAGGCGTGGCTTCCGAGCTAACGCGTTAA
GTCGACCGCCTGGGGAGTACGGCCGCAAGGTTAAACTCAAATGAATTGACGGG
GGCCCGCACAAGCGGTGGAGCATGTGGTTTAATTGATGCAACGCGAAGAACCT
TACCTACTCTTGACATCCAGAGAACTTAGCAGAGATGCTTTGGTGCCCTTCGGGAA
CTCTGAGACAGGTGCTGCATGGCTGTCGTCAGCTCGTGTGTGAAATGTTGGGT
AAGTCCCGCAACGAGCGCAACCCTTATCCTTTGTTGCCAGCGGTTAGGCCGGGA
ACTCAAAGGAGACTGCCAGTGATAAACTGGAGGAAGGTGGGGATGACGTCAAGT
CATCATGGCCCTTACGAGTAGGGCTACACACGTGCTACAATGGCATATACAAAGA
GAAGCGACCTCGCGAGAGCAAGCGGACCTCATAAAGTATGTCGTAGTCCGGATT
GGAGTCTGCAACTCGACTCCATGAAGTCGGAATCGCTAGTAATCGTGGATCAGAA
TGCCACGGTGAATACGTTCCCGGGCCTTGACACACCGCCCGTCACACCATGGG
AGTGGGTTGCAAAAGAAGTAGGTAGCTTAACCTTCGGGAGGGCGCTTACCACTTT
GTGATTCATGACTGGGGTGAAGTCGTAACAAGGTAACCGTAGGGGAACCTGCGG
CTGGATCACC



Lic. en Biología
C.B.P. 18195

Dirección: Emilio Althaus 576, Lince
Celular: +51 925708785

Página web: www.ugenomics.pe
Correo electrónico: ventas@ugenomics.pe

Anexo 26. Identificación de la cepa bacteriana *Serratia marcescens* (C-1), mediante secuenciamiento del gen ARNr 16S, aislada de compost. Ayacucho 2023.



Serratia marcescens

TAGAGTTTGATCATGGCTCAGATTGAACGCTGGCGGCAGGCCTAACACATGCAAG
TCGAACGGTAACAGGAAGCAGCTTGCTGCTTGGCTGACGAGTGGCGGACGGGTG
AGTAATGTCTGGGAACTGCCTGATGGAGGGGGATAACTACTGGAAACGGTAGCT
AATACCGCATAACGTGCAAGACCAAAGAGGGGGACCTTCGGGCCTCTTGCCAT
CGGATGTGCCCAGATGGGATTAGCTAGTAGGTGGGGTAACGGCTCACCTAGGCG
ACGATCCCTAGCTGGTCTGAGAGGATGACCAGCCACACTGGAAGTGAAGACACGG
TCCAGACTCCTACGGGAGGCAGCAGTGGGGAATATTGCACAATGGGCGCAAGCC
TGATGCAGCCATGCCGCGTGTATGAAGAAGGCCTTCGGGTGTAAAGTACTTTCA
GCGGGGAGGAAGGTGGTAAAGTTAATAACCTTTGCTCATTGACGTTACCCGCAGA
AGAAGCACC GGCTAACTCCGTGCCAGCAGCCGCGGTAATACGGAGGGTGCAAGC
GTTAATCGGAATTACTGGGCGTAAAGCGCACGCAGGCGGTTTGTTAAGTCAGATG
TGAAATCCCCGGGCTCAACCTGGGAAGTGCATCTGATACTGGCAAGCTAGAGTCT
CGTAGAGGGGGGTAGAATTCCAGGTGTAGCGGTGAAATGCGTAGAGATCTGGAG
GAATACCGGTGGCGAAGGCGGCCCCCTGGACGAAGACTGACGCTCAGGTGCGA
AAGCGTGGGGAGCAAACAGGATTAGATACCCTGGTAGTCCACGCCGTAAACGAT
GTCGACTTGGAGGTTGTGCCCTTGAGGCGTGGCTTCCGGAGCTAACGCGTTAAG
TCGACCGCCTGGGGAGTACGGCCGCAAGGTTAAACTCAAATGAATTGACGGGG
GCCCCGACAAGCGGTGGAGCATGTGGTTTAATTCGATGCAACGCGAAGAACCTTA
CCTGGTCTTGACATCCACAGAAGTTTCCAGAGATGGATTGGTGCCTTCGGGAACT
GTGAGACAGGTGCTGCATGGCTGTCGTCAGCTCGTGTTGTGAAATGTTGGGTTAA
GTCCCGCAACGAGCGCAACCCTTATCCTTTGTTGCCAGCGGTCCGGCCGGGAAC
TCAAAGGAGACTGCCAGTGATAAACTGGAGGAAGGTGGGGATGACGTCAAGTCA
TCATGGCCCTTACGACCAGGGCTACACACGTGCTACAATGGCGCATACAAAGAGA
AGCGACCTCGCGAGAGCAAGCGGACCTCATAAAGTGCGTCGTAGTCCGGATTGG
AGTCTGCAACTCGACTCCATGAAGTCGGAATCGCTAGTAATCGTGGATCAGAAATG
CCACGGTGAATACGTTCCCGGGCCTTGACACACCGCCCGTCACACCATGGGAG
TGGGTTGCAAAAGAAGTAGGTAGCTTAACCTTCGGGAGGGCGCTTACCACCTTGT
GATTCATGACTGGGGTGAAGTCGTAACAAGGTAACCGAAGGGGAACCTGCGGCT
GGATCACC


 Lina Alberto Saucedo Mejía
Lic. en Biología
C.B.P. 16195

Dirección: Emilio Althaus 576, Lince
Celular: +51 925708785

Página web: www.ugenomics.pe
Correo electrónico: ventas@ugenomics.pe

Anexo 27. Identificación de la cepa bacteriana *Escherichia fergusonii* (C-2) mediante secuenciamiento del gen ARNr 16S, aislada de compost. Ayacucho 2023.



Escherichia fergusonii

TAGAGTTTGATCATGGCTCAGATTGAACGCTGGCGGCAGGCTTAACACATGCAAG
TCGAGCGGTAGCACAGGGGAGCTTGCTCCCTGGGTGACGAGCGGCGGACGGGT
GAGTAATGTCTGGGAACTGCCTGATGGAGGGGGATAACTACTGGAAACGGTAG
CTAATACCGCATAACGTCGCAAGACCAAAGAGGGGGACCTTCGGGCCTCTTGCC
ATCAGATGTGCCAGATGGGATTAGCTAGTAGGTGGGGTAATGGCTCACCTAGGC
GACGATCCCTAGCTGGTCTGAGAGGATGACCAGCCACACTGGAAGTGAAGACAG
GTCCAGACTCCTACGGGAGGCAGCAGTGGGGAATATTGCACAATGGGCGCAAGC
CTGATGCAGCCATGCCGCGTGTGTGAAGAAGGCCTTCGGGTTGTAAAGCACTTTC
AGCGAGGAGGAAGGTGGTGAAGCTTAATACGTTTCAATTGACGTTACTCGCAGA
AGAAGCACCGGCTAACTCCGTGCCAGCAGCCGCGGTAATACGGAGGGTGCAAGC
GTTAATCGGAATTACTGGGCGTAAAGCGCACGCAGGCGGTTTGTAAAGTCAGATG
TGAAATCCCCGGGCTCAACCTGGGAAGTGCATTTGAAACTGGCAAGCTAGAGTCT
CGTAGAGGGGGTAGAATTCCAGGTGTAGCGGTGAAATGCGTAGAGATCTGGAGG
AATACCGGTGGCGAAGGCGGCCCCCTGGACGAAGACTGACGCTCAGGTGCGAAA
GCGTGGGGAGCAAACAGGATTAGATACCCTGGTAGTCCACGCTGTAAACGATGTC
GATTTGGAGGTTGTGCCCTTGAGGCGTGGCTTCCGGAGCTAACGCGTTAAATCGA
CCGCCTGGGGAGTACGGCCGCAAGGTTAAACTCAAATGAATTGACGGGGGCC
GCACAAGCGGTGGAGCATGTGGTTTAATTGATGCAACGCGAAGAACCTTACCTA
CTCTTGACATCCAGAGAACTTTCCAGAGATGGATTGGTGCCTTCGGGAAGTCTGA
GACAGGTGCTGCATGGCTGTCGTCAGCTCGTGTGTGAAATGTTGGGTTAAGTCC
CGCAACGAGCGCAACCCTTATCCTTTGTTGCCAGCGGTTCCGGCCGGGAAGTCAA
GGAGACTGCCAGTGATAAACTGGAGGAAGGTGGGGATGACGTCAAGTCATCATG
GCCCTTACGAGTAGGGCTACACACGTGCTACAATGGCATATACAAAGAGAAGCGA
CCTCGCGAGAGCAAGCGGACCTCATAAAGTATGTCGTAGTCCGGATTGGAGTCTG
CAACTCGACTCCATGAAGTCGGAATCGCTAGTAATCGTAGATCAGAATGCTACGG
TGAATACGTTCCCGGGCCTTGACACACCGCCCGTCACACCATGGGAGTGGGTT
GCAAAAAGAAGTAGGTAGCTTAACCTTCGGGAGGGCGCTTACCCTTTGTGATTCA
TGACTGGGGTGAAGTCGTAACAAGGTAACCGTAGGGGAACCTGCGGTTGGATCA
CC




Lina Alberto Salcedo Mejía
Lic. en Biología
C.B.P. 16195

Dirección: Emilio Althaus 576, Lince
Celular: +51 925708785

Página web: www.ugenomics.pe
Correo electrónico: ventas@ugenomics.pe

Anexo 28. Matriz de consistencia.

Título : Biodegradación de polietileno tereftalato por consorcios microbianos de humus de lombriz y compost – Ayacucho, 2023.

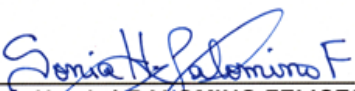
PROBLEMA	HIPÓTESIS	OBJETIVOS	MARCO TEÓRICO	VARIABLES E INDICADORE	METODOLOGÍA
¿Los consorcios microbianos aislados de humus de lombriz y compost tendrán la capacidad de degradar el polietileno tereftalato?	Los consorcios microbianos aislados de humus de lombriz y compost tienen capacidad degradativa de polietileno tereftalato.	OBJETIVO GENERAL Evaluar la biodegradación de polietileno tereftalato por los consorcios microbianos aislados de humus de lombriz y compost. OBJETIVOS ESPECÍFICOS • Aislar la microbiota de humus de lombriz y compost. • Evaluar la capacidad de biodegradación de polietileno tereftalato por consorcios microbianos aislados de humus de lombriz. • Evaluar la capacidad de biodegradación de polietileno tereftalato por consorcios microbianos aislados del compost. • Identificar a los microorganismos con capacidad degradativa de polietileno tereftalato.	ANTECEDENTES Nivel internacional Nivel nacional MARCO CONCEPTUAL • Plásticos • Polímeros sintéticos • Polietileno tereftalato • Humus de lombriz • Compost • Degradación • Biodegradación • Biopelículas FUNDAMENTO TEÓRICO • Clasificación de los polímeros. • Propiedades de los polímeros. • Microorganismos que intervienen en el proceso de humus de lombriz. • Microorganismos que intervienen en el proceso de compost. • Mecanismos de la biodegradación.	VARIABLE INDEPENDIENTE Consortios microbianos Indicadores Cepas bacterianas aislada de humus de lombriz Cepas bacterianas aislada de compost VARIABLE DEPENDIENTE Biodegradación de polietileno tereftalato Indicadores Porcentaje de pérdida de peso de láminas de PET	TIPO DE INVESTIGACIÓN Experimental NIVEL DE INVESTIGACIÓN Aplicada. TÉCNICAS • Primer periodo de adaptación • Segundo periodo de adaptación • Cálculo del porcentaje de pérdida de peso residual. • Pruebas moleculares (secuenciamiento del gen 16S rRNA) ANÁLISIS ESTADÍSTICO • Para la elaboración de tablas y figuras se empleó el programa Excel. • Para comparar sus medias se empleó ANOVA. • Para comparas sus medias individuales se empleó la prueba de comparación múltiple de Tukey.

**UNSCH**FACULTAD DE
CIENCIAS BIOLÓGICAS**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS**
Bach. Enver Mijael PALOMINO QUISPE
R.D.N° 120-2024-UNSCH-FCB-D

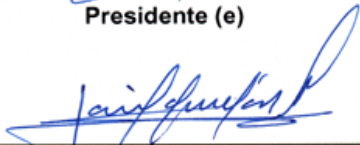
En la ciudad de Ayacucho, siendo las diez de la mañana del veintiuno de marzo del año dos mil veinticuatro; se reunieron los miembros del Jurado Evaluador en el Auditorio de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Estando como presidente encargada la Mg. Sonia Haydeé PALOMINO FELICES mediante Memorando N° 109-2024-UNSCH (IN)-FCB con fecha diecinueve de marzo del dos mil veinticuatro; Mg. Ruth Elsa HUAMÁN DE LA CRUZ (Miembro-Jurado); Dr. Saúl Alonso CHUCHÓN MARTÍNEZ (Miembro - asesor); Mg. Rilder Nemesio GASTELÚ QUISPE (Miembro- 4to. Jurado); actuando como secretario docente el Mg. Jime Jack RIVERA VILLAR; para presenciar la sustentación de tesis titulada: **Biodegradación de polietileno tereftalato por consorcios microbianos de humus de lombriz y compost-Ayacucho, 2023**, presentado por el **Bach. Enver Mijael PALOMINO QUISPE**; la presidente encargada luego de verificar la documentación presentada, indicó al secretario docente dar lectura a la documentación generada que refrenda el presente acto académico, luego de ello dispuso el inicio al acto de sustentación, indicando al sustentante que dispone de cuarenta y cinco minutos para exponer su trabajo de investigación tal como establece el Reglamento de Grados y Títulos de la Escuela Profesional de Biología. Culminada la exposición, la presidente invitó a cada uno de los Miembros del Jurado a participar con sus observaciones, sugerencias y preguntas al sustentante. Culminada esta etapa, la presidente invitó al sustentante y al público asistente a abandonar momentáneamente el Auditorio para que los miembros del jurado evaluador puedan realizar las deliberaciones y calificaciones, cuyos resultados son los que se consignan a continuación:

Miembros del Jurado Evaluador	Exposición	Respuesta/preguntas	Promedio
Mg. Sonia Haydeé PALOMINO FELICES (Presidente)	18	16	17
Mg. Ruth Elsa HUAMÁN DE LA CRUZ (Miembro - Jurado)	17	17	17
Mg. Rilder Nemesio GASTELÚ QUISPE (Miembro 4 ^{to} jurado)	17	15	16
PROMEDIO FINAL			17

El sustentante alcanzó el promedio de 17 aprobatorio. Acto seguido, la presidente autorizó el ingreso del sustentante y el público al Auditorio dando a conocer los resultados, e indicando que de este modo se da por finalizado el presente acto académico, siendo las doce y quince del medio día; firmando al pie del presente en señal de conformidad.


Mg. Sonia Haydeé PALOMINO FELICES
Presidente (e)


Mg. Ruth Elsa HUAMÁN DE LA CRUZ
Miembro - Jurado


Dr. Saúl Alonso CHUCHÓN MARTÍNEZ
Miembro-Asesor


Mg. Rilder Nemesio GASTELÚ QUISPE
Miembro-4to Jurado


Mg. Jime Jack RIVERA VILLAR
Secretario-Docente



FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA

DECANATURA - ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE TESIS

Nº 40-2024-FCB-D

Yo, FIDEL RODOLFO MUJICA LENGUA, Director de la Escuela Profesional de Biología de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga; autoridad encargada de verificar la tesis titulada: **Biodegradación de polietileno tereftalato por consorcios microbianos de humus de lombriz y compost - Ayacucho, 2023**, por ENVER MIJUEL PALOMINO QUISPE; he constatado por medio del uso de la herramienta TURNITIN, procesado CON DEPÓSITO, una similitud de 24%, grado de coincidencia, menor a lo que determina la ausencia de plagio definido por el Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación de la UNSCH, aprobado con Resolución del Consejo Universitario Nº 039-2021-UNSCH-C.

En consecuencia, la tesis cumple con las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. Se acompaña el INFORME FINAL DE TURNITIN correspondiente.

Ayacucho, 25 de junio de 2024.


UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
Escuela Profesional de Biología
Dr. Fidel R. Mujica Lengua
DIRECTOR

Biodegradación de polietileno tereftalato por consorcios microbianos de humus de lombriz y compost - Ayacucho, 2023.

por Enver Mijael PALOMINO QUISPE

Fecha de entrega: 20-jun-2024 10:48a.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2405806651

Nombre del archivo: PALOMINO-QUISPE-Enver-Mijael-pregrado_Tesis-2024-TESIS.pdf (991.09K)

Total de palabras: 11969

Total de caracteres: 63390

Biodegradación de polietileno tereftalato por consorcios microbianos de humus de lombriz y compost - Ayacucho, 2023.

INFORME DE ORIGINALIDAD

24%
INDICE DE
SIMILITUD

20%
FUENTES DE INTERNET

2%
PUBLICACIONES

9%
TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	5%
2	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	5%
3	revistas.upeu.edu.pe Fuente de Internet	3%
4	www.researchgate.net Fuente de Internet	2%
5	repositorio.espe.edu.ec:8080 Fuente de Internet	2%
6	steemit.com Fuente de Internet	1%
7	repositorio.unica.edu.pe Fuente de Internet	1%
8	es.scribd.com Fuente de Internet	1%

9	ri.uaemex.mx Fuente de Internet	1%
10	repositorio.unap.edu.pe Fuente de Internet	1%
11	Shweta Jaiswal, Babita Sharma, Pratyooash Shukla. "Integrated approaches in microbial degradation of plastics", Environmental Technology & Innovation, 2020 Publicación	<1%
12	es.slideshare.net Fuente de Internet	<1%
13	repositorio.unbosque.edu.co Fuente de Internet	<1%
14	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	<1%
15	Submitted to Universidad San Ignacio de Loyola Trabajo del estudiante	<1%
16	editorial.inudi.edu.pe Fuente de Internet	<1%
17	docplayer.es Fuente de Internet	<1%
18	prezi.com Fuente de Internet	<1%

repositorio.unh.edu.pe

Excluir citas	Activo
Excluir bibliografía	Activo
Excluir coincidencias words	< 30