



**UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO
RUIZ GALLO
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**



**DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE MICROBIOLOGÍA
Y PARASITOLOGÍA**

TESIS

Eficiencia en la degradación de poliestireno expandido por consorcios de bacterias aisladas de Ictiocompost y Biol

Presentada para optar el Título Profesional de Licenciada en *Ciencias Biológicas - Microbiología- Parasitología*

Autor (es):

Bach. Adela Risco León

Bach. Rosa Angela Tiparra Montoya

Asesor (a):

Dra. Carmen Rosa Carreño Farfan

LAMBAYEQUE, PERÚ

2025

“Eficiencia en la degradación de poliestireno expandido por consorcios de bacterias aisladas de Ictiocompost y Biol”



Bach. Adela Risco León



Bach. Rosa Angela Tiparra Montoya

Presentada para optar el título profesional de Licenciada en Ciencias
Biología-Microbiología-Parasitología

Aprobado por:



Dr. Carlos Eduardo Villanueva Aguilar
Presidente



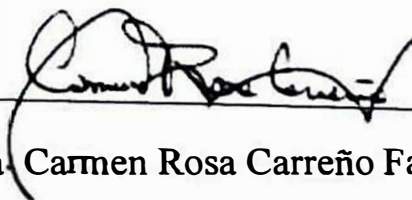
Dr. Alberto Díaz Zapata

Secretario



MSc. Jorge Fupuy Chung

Vocal



Dra. Carmen Rosa Carreño Farfán

Asesor



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 082-2025 / FCCBB-UI1

Siendo las 07:30 horas del día 23 de diciembre de 2025, en la Sala de Sesiones - Sustentaciones de la Facultad de Ciencias Biológicas se reunieron los miembros del Jurado designado mediante **Resolución N° 053-2024-FCCBB/D de fecha 16 de febrero de 2024** y **Resolución N° 310-2024-FCCBB/D de fecha 20 de setiembre de 2024**, conformado por:

Dr. Carlos Eduardo Villanueva Aguilar-Presidente

Dr. Alberto Díaz Zapata-Secretario

Mg. Jorge Antonio Fupuy Chung-Vocal

Dra. Carmen Rosa Carreño Farfán--Asesora


con la finalidad de evaluar la sustentación de tesis titulada: **Eficiencia en la degradación de poliestireno expandido por consorcios de bacterias aisladas de Ictiocompost y Biol**, a cargo de los Bachilleres ADELA RISCO LEÓN y ROSA ANGELA TIPARRA MONTOYA.

Sustentación autorizada mediante **Resolución N° 540-2025-FCCBB-D de fecha 07 de noviembre de 2025** y reprogramada mediante **RESOLUCIÓN N° 628-2025-FCCBB-D, de fecha 15 de diciembre de 2025** la misma que tuvo una duración de 30 minutos y luego de absueltas las preguntas y observaciones de los miembros del jurado; se procedió a la calificación respectiva, obteniendo 18 puntos que equivale al calificativo de MUY BUENO.

Por lo que los sustentantes quedan **APTOS** para obtener el título profesional de **Licenciada en Ciencias Biológicas - Microbiología- Parasitología** de acuerdo con la Ley Universitaria 30220 y la normatividad vigente de la Facultad de Ciencias Biológicas y la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

Siendo las 8:45 horas se dio por concluido el presente acto académico, dándose conformidad al presente acto, con la firma de los miembros del jurado.


Dr. Carlos Eduardo Villanueva Aguilar
Presidente


Dr. Alberto Díaz Zapata
Secretario


Mg. Jorge Antonio Fupuy Chung
Vocal


Dra. Carmen Rosa Carreño Farfán
Asesora

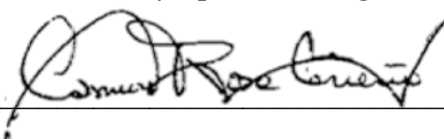
CONSTANCIA DE VERIFICACION DE ORIGINALIDAD

Yo, Dra. **Carreño Farfán Carmen Rosa**; usuario revisor del informe de tesis titulado: "**Eficiencia en la degradación de poliestireno expandido por consorcios de bacterias aisladas de Ictiocompost y Biol**" Cuyos autores son, Bach. **Risco León Adela** con DNI: **73261848** y Bach. **Tiparra Montoya Rosa Angela** con DNI: **75230371**; declaro que la evaluación realizada por el Programa informático ha arrojado un porcentaje de similitud de **14 %**, verificable en el Resumen de Reporte automatizado de similitudes que se acompaña.

El suscrito analizó dicho reporte y concluyó que cada una de las coincidencias detectadas dentro del porcentaje de similitud permitido no constituyen plagio y que el documento cumple con la integridad científica y con las normas para el uso de citas y referencias establecida en los protocolos respectivos.

Se cumple con adjuntar el Recibo Digital a efectos de la trazabilidad respectiva del proceso.

Lambayeque, 15 de agosto del 2025



Dra. Carmen Rosa Carreño Farfán
DNI: 16494424
ASESOR(A)

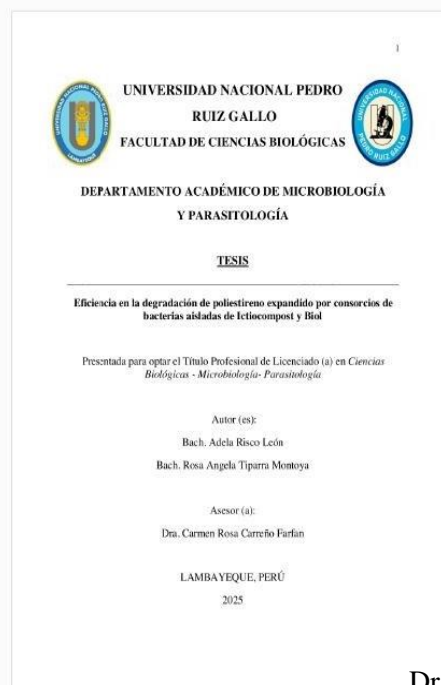


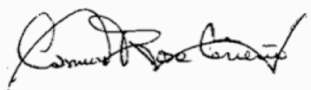
Digital Receipt

This receipt acknowledges that Turnitin received your paper. Below you will find the receipt information regarding your submission.

The first page of your submissions is displayed below.

Submission author: Adela Risco León Rosa Angela Tiparra Montoya
Assignment title: Quick Submit
Submission title: Eficiencia en la degradación de poliestireno expandido por co...
File name: Risco_y_Tiparra.pdf
File size: 1.25M
Page count: 43
Word count: 9,258
Character count: 45,233
Submission date: 14-Aug-2025 07:26AM (UTC-0500)
Submission ID: 2729514177




Dra. Carmen Rosa Carreño Farfán
DNI: 16494424
ASESOR(A)

Eficiencia en la degradación de poliestireno expandido por consorcios de bacterias aisladas de Ictiocompost y Biol

ORIGINALITY REPORT

14%

SIMILARITY INDEX

13%

INTERNET SOURCES

2%

PUBLICATIONS

2%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1	repositorio.unprg.edu.pe Internet Source	10%
2	hdl.handle.net Internet Source	1%
3	Submitted to Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo Student Paper	1%
4	Bahig El-Deeb, Khalaf Fayez, Youssuf Gherbawy. " Isolation and characterization of endophytic bacteria from medicinal plant in Saudi Arabia desert and their antimicrobial activities ", Journal of Plant Interactions, 2013 Publication	<1%
5	Hoda Ghavamipoor, S. Alireza Hashemi Golpayegani. "A Reinforcement Learning Based Model for Adaptive Service Quality Management in E-Commerce Websites", Business & Information Systems Engineering, 2019 Publication	<1%
6	www.ehn.org Internet Source	<1%
7	transparencia.ibimirim.pe.gov.br Internet Source	<1%
8	Submitted to BENEMERITA UNIVERSIDAD AUTONOMA DE PUEBLA BIBLIOTECA Student Paper	<1%
9	repositorio.banrep.gov.co Internet Source	<1%
10	repositorio.ufmg.br Internet Source	<1%

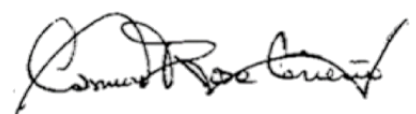
1library.co



Dra. Carmen Rosa Carreño Farfán
DNI: 16494424
ASESOR(A)

11	Internet Source	<1 %
12	Tapas Ghosh. "Recent advances in the probiotic application of the Bacillus as a potential candidate in the sustainable development of aquaculture", Aquaculture, 2025 Publication	<1 %
13	es.slideshare.net Internet Source	<1 %
14	nmbu.brage.unit.no Internet Source	<1 %
15	www.coursehero.com Internet Source	<1 %

Exclude quotes On Exclude matches < 15 words
Exclude bibliography On



Dra. Carmen Rosa Carreño Farfán
DNI: 16494424
ASESOR(A)

DEDICATORIA

A Dios por su gran amor, misericordia y por haberme acompañado en cada etapa, fortaleciéndome y dándome consuelo en los momentos difíciles para lograr seguir en este camino de la vida. A mis padres Augusto y Adelinda por su apoyo sin límites, por haberme guiado y acompañado, sus consejos fueron una parte fundamental en mi vida. A mis docentes y, de manera especial a la Dra. Carmen Rosa Carreño Farfán, por ser nuestra guía, por cada consejo, por habernos compartido grandes conocimientos y su valioso tiempo para poder llevar a cabo la presente investigación. A mi Panchita por ser mi alegría y hacer que mis días fueran más llevaderos.

Adela Risco León

A Dios, por el don de la vida, por iluminar mi camino y darme la fortaleza necesaria para continuar aun en los momentos más difíciles. Sin su guía nada de esto hubiera sido posible. A mis queridos padres Jose e Ita, por su compañía y cariño constante, que fueron un sostén fundamental a lo largo de este proceso, especialmente a mi madre, por su amor incondicional y por sus sabios consejos, que siempre han sido una guía esencial en mi vida y una fuente de motivación para no rendirme. A mi asesora, la Dra. Carmen Rosa Carreño Farfán, por su orientación, paciencia y dedicación, que han sido de gran valor para la culminación de este trabajo. Y a Blanca, mi querida gatita, por ser mi alegría y compañía en los días más agotadores, haciendo que este recorrido académico fuera más llevadero.

Rosa Angela Tiparra Montoya

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradecemos profundamente a Dios, por el don invaluable de la vida y por su presencia constante en cada paso de este camino académico. Él nos ha brindado la fuerza, la esperanza y la oportunidad de avanzar para cumplir nuestras metas, incluso en los momentos de mayor dificultad. A nuestros padres, pilares fundamentales en nuestra formación y crecimiento, por su apoyo incondicional, su paciencia inagotable y su amor sin medida. Sus palabras de aliento y su ejemplo de perseverancia fueron la luz que nos guió en los días más desafiantes de este proceso. A nuestra asesora y guía, Dra. Carmen Rosa Carreño Farfán, por ser más que una orientadora académica: por convertirse en una verdadera mentora. Agradecemos su confianza, dedicación y entrega en cada etapa de este trabajo, así como su generosidad al compartir sus conocimientos y su experiencia. Su motivación constante, su apoyo sincero y su compromiso con nuestra formación fueron esenciales para que este proyecto no solo se realizara, sino que se enriqueciera en cada detalle. Nuestro agradecimiento especial al personal de servicio técnico de laboratorio, Jaime y José, por su paciencia, amabilidad y consideración, recordándonos que la colaboración y el respeto también son parte esencial de cualquier logro. Finalmente, expresamos nuestra sincera gratitud a todas las personas e instituciones que, de forma directa o indirecta, dejaron su huella en la realización de esta tesis. Cada palabra de apoyo, cada gesto y cada contribución ha sido parte de este resultado.

ÍNDICE GENERAL

ACTA DE SUSTENTACIÓN	3
DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD	4
DEDICATORIA	5
AGRADECIMIENTO	6
ÍNDICE GENERAL	7
ÍNDICE DE TABLAS	8
ÍNDICE DE FIGURAS.....	9
RESUMEN	10
ABSTRACT.....	11
INTRODUCCIÓN	12
CAPÍTULO I. DISEÑO TEÓRICO	14
1.1. Antecedentes	14
1.2. Bases teóricas.....	17
1.3. Operacionalización de variables	20
CAPÍTULO II. DISEÑO METODOLÓGICO	21
2.1. Diseño de contrastación de hipótesis	21
2.2. Población y muestra.....	21
2.3. Métodos, técnica e instrumentos de recolección de datos:	21
2.4. Procedimiento	21
2.4.6. Análisis estadístico de los datos.....	26
CAPÍTULO III. RESULTADOS.....	27
3.1. Características físicas, químicas y microbiológicas de Ictiocompost y Biol de residuos de pescado obtenidos por la “APAPHCEPES”, Lambayeque 2023	27
3.2. Bacterias Gram positivas y Gram negativas diferenciadas en el Ictiocompost y Biol obtenido por la “APAPHCEPES”, Lambayeque 2023	27
3.3. Bacterias degradadoras de poliestireno expandido seleccionadas con base a la densidad óptica y el tiempo requerido para utilización del polímero	27
3.4. Géneros identificados de las cuatro bacterias degradadoras de poliestireno expandido seleccionados	36
3.5. Eficiencia de la degradación de PS por tres consorcios de bacterias.....	36
IV. DISCUSIÓN.....	47
CONCLUSIONES	53
RECOMENDACIONES.....	54
REFERENCIAS.....	55
ANEXOS	61

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Características de los morfotipos de colonias bacterianas aisladas de Ictiocompost y Biol, Lambayeque 2023	32
Tabla 2: Frecuencia de los morfotipos de colonias de bacterias aisladas de Ictiocompost, Lambayeque 2023	33
Tabla 3: Frecuencia de los morfotipos de colonias de bacterias aisladas de Biol, Lambayeque 2023.....	33
Tabla 4: Rango en la densidad óptica de bacterias aisladas de Ictiocompost cultivadas con poliestireno expandido (PS) y glucosa como fuentes de carbono, Lambayeque 2024	34
Tabla 5: Rango en la densidad óptica de bacterias aisladas de Biol cultivadas con poliestireno expandido (PS) y glucosa como fuentes de carbono, Lambayeque 2024.....	34
Tabla 6: Densidad óptica de caldo sales minerales cultivado con bacterias, con poliestireno expandido emulsionado y glucosa como fuentes de carbono, Lambayeque 2024	35
Tabla 7: Tiempo para la reducción del TTC por bacterias cultivadas con PS expandido como fuente de carbono, Lambayeque 2024	38
Tabla 8: Características diferenciales del género de bacterias degradadoras de poliestireno expandido seleccionadas, Lambayeque 2024	39
Tabla 9: Densidad óptica del caldo sales minerales con PS expandido como fuente de carbono utilizado por bacterias y consorcios bacterianos de Ictiocompost y Biol, Lambayeque 2024	40
Tabla 10: Valores del pH del caldo sales minerales con PS expandido como fuente de carbono utilizado por bacterias y consorcios bacterianos de Ictiocompost y Biol, Lambayeque 2024.....	41
Tabla 11: Variación del peso del poliestireno expandido degradado durante 120 días, por consorcios de bacterias aisladas de Ictiocompost y Biol	44
Tabla 12: Peso perdido, tasa de reducción y vida media del poliestireno expandido degradado durante 120 días por consorcios de bacterias aisladas de Ictiocompost y Biol	46

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Diseño completamente aleatorio para determinar la eficiencia de la degradación de poliestireno expandido por tres consorcios de bacterias aisladas de Ictiocompost y Biol.....	22
Figura 2: Ictiocompost obtenido por APAPHCEPES, Lambayeque, 2023.	23
Figura 3: Biol obtenido por APAPHCEPES”, Lambayeque, 2023.	23
Figura 4: Colonias de bacterias aisladas de Ictiocompost en agar nutritivo, Lambayeque 2023.....	28
Figura 5: Bacterias aisladas de Ictiocompost, Lambayeque 2023	28
Figura 6: Colonias de bacterias aisladas de Biol en agar nutritivo, Lambayeque 2023	29
Figura 7: Bacterias aisladas de Biol, Lambayeque 2023	29
Figura 8: Frecuencia de bacterias Gram positivas y Gram negativas aisladas de Ictiocompost en agar nutritivo, Lambayeque 2023	30
Figura 9: Frecuencia de bacterias Gram positivas y Gram negativas aisladas de Biol en agar nutritivo, Lambayeque 2023	30
Figura 10: Morfotipos de colonias de bacterias aisladas de Ictiocompost (a,b) y de Biol (c, d), Lambayeque 2023	31
Figura 11: Coloración observada con la reducción del indicador TTC por bacterias aisladas de Ictiocompost (a) y Biol (b) y cultivadas, con PS expandido como fuente de carbono y energía, Lambayeque 2024.	37
Figura 12: Variación de la densidad óptica del caldo sales minerales con PS expandido como fuente de carbono utilizado por bacterias y consorcios de bacterianos de Ictiocompost y Biol, Lambayeque 2024.....	40
Figura 13: Variación de pH del caldo sales minerales con PS emulsionado como fuente de carbono utilizado por bacterias aisladas de Ictiocompost y Biol, Lambayeque 2024	42
Figura 14: Variación de pH del caldo sales minerales con PS emulsionado como fuente de carbono utilizado por consorcios de bacterias aislados de Ictiocompost y Biol, Lambayeque 2024.....	43

RESUMEN

El poliestireno (PD) comercializado como poliestireno expandido (EPS) se utiliza en envases y embalajes y sólo 1-2 % se reutiliza, el resto se acumula en los vertederos, constituye el soporte donde se multiplican los microorganismos patógenos y se desintegra formando los microplásticos contaminantes del ambiente. El objetivo de la investigación fue determinar la eficiencia en la degradación del EPS por consorcios de bacterias aisladas de Ictiocompost y Biol. Se realizó la comparación de las características del Ictiocompost y Biol, se diferenciaron a nivel morfológico las bacterias aisladas, se seleccionaron e identificaron las bacterias degradadoras de poliestireno y se comparó la eficiencia en la degradación del polímero por cuatro consorcios de bacterias. El Ictiocompost y Biol presentaron similar contenido de materia orgánica y se aislaron 130 bacterias y 100 bacterias respectivamente. Las bacterias degradadoras de EPS desarrollaron con el polímero como fuente de carbono, alcanzaron una densidad óptica (600nm) de 0,121 - 0,226 (Ictiocompost) y 0,087 - 0,307 (Biol) y redujeron el TTC después de 3 - 16 días y 4 - 20 días respectivamente. Las bacterias seleccionadas se identificaron como *Bacillus* sp. [R3 I9(1)], *B. subtilis* [R3 I10(2)], *B. megaterium* [R2 B2(2)] y *Pseudomonas* sp. [R3 B5(3)]. Los consorcios bacterianos alcanzaron 3,55 - 14,37 % de peso perdido en el polímero, con una tasa de reducción de 0,302 - 1,298 mg día⁻¹ y una vida media del polímero residual de 564,66 - 2860,12 días. Se demostró la degradación del PS expandido por bacterias aisladas de Ictiocompost y Biol.

Palabras clave: Biodegradación, poliestireno expandido, consorcios bacterianos.

ABSTRACT

Polystyrene (PS) marketed as expanded polystyrene (EPS) is used in containers and packaging, and only 1-2% is reused. The rest accumulates in landfills, where it provides a breeding ground for pathogenic microorganisms and disintegrates, forming microplastics that pollute the environment. The objective of the research was to determine the efficiency of EPS degradation by consortia of bacteria isolated from Ictiocompost and Biol. The characteristics of Ictiocompost and Biol were compared, the isolated bacteria were differentiated morphologically, the polystyrene-degrading bacteria were selected and identified, and the efficiency of polymer degradation by four bacterial consortia was compared. Ictiocompost and Biol had similar organic matter content, and 130 and 100 bacteria were isolated, respectively. The EPS-degrading bacteria developed with the polymer as a carbon source, reaching an optical density (600 nm) of 0.121–0.226 (Ictiocompost) and 0.087–0.307 (Biol) and reduced the TTC after 3–16 days and 4–20 days, respectively. The selected bacteria were identified as *Bacillus* sp. [R3 I9(1)], *B. subtilis* [R3 I10(2)], *B. megaterium* [R2 B2(2)] and *Pseudomonas* sp. [R3 B5(3)]. The bacterial consortia achieved 3.55–14.37% weight loss in the polymer, with a reduction rate of 0.302–1.298 mg day⁻¹ and a half-life of the residual polymer of 564.66–2860.12 days. The degradation of expanded PS by bacteria isolated from Ictiocompost and Biol was demonstrated.

Keywords: Biodegradation, expanded polystyrene, bacterial consortia.

INTRODUCCIÓN

El poliestireno (PS) ocupa el sexto lugar en la demanda mundial de los plásticos. Es un termoplástico constituido por monómeros de estireno, con bajo peso específico, alta transparencia, incoloro, de baja contracción y con un proceso simple de producción. El PS se comercializa como poliestireno de uso general (GPPS), poliestireno de alto impacto (HIPS), poliestireno expandido (EPS) y poliestireno extruido, XPS (De La Torre et al., 2020). El EPS está constituido por monómeros de estireno polimerizados con agua y un agente expansor. El EPS está compuesto de 95 % de aire y 5 % de poliestireno, por lo que el proceso de reciclaje sería costoso, difícil y no rentable porque solamente se recuperaría el 5 % del material (Siesquén y Trujillo, 2019). El EPS se utiliza en envases, embalajes y construcción y sólo 1-2 % se reutiliza. El resto se acumula en los vertederos, donde ocupa grandes volúmenes, constituye el soporte donde persisten y se multiplican microorganismos patógenos y se desintegra formando los microplásticos o contaminantes emergentes (Cruz y Zaldúa, 2018) del suelo, agua y aire (Muñiz y Rahman, 2025).

Adicionalmente, como todos los plásticos, el PS tiene aditivos antioxidantes, estabilizadores UV, lubricantes de procesamiento, antiestáticos y retardantes de llama (FR) que evitan la combustión y retardan la propagación del fuego. Entre estos últimos se encuentran los retardantes bromados (BFR) como los hexabromociclododecanos (HBCD) no aromáticos. Los HBCD, así como los oligómeros de estireno (SO) originados durante la degradación del PS se han encontrado en diferentes ambientes. Los SO son considerados indicadores de contaminación por PS en los océanos y en la arena (Kwona et al., 2015) y se han cuantificado 31 400 ug/kg en Grecia; 18 924 ug/kg en Malasia y 29 106 ug/kg en los Ángeles. En el agua de mar se ha cuantificado 1,62 ng HBCD/L (De La Torre et al., 2020).

Los lixiviados de EPS son tóxicos para los invertebrados acuáticos como *Ceriodafnia dubia* (Thaysen et al., 2018), los microplásticos de PS se acumulan y afectan la ultraestructura en raíces, brotes y hojas de *Crisantemo coronario* (Khan et al., 2023), reducen el crecimiento y causan estrés oxidativo y daño físico en las algas *Chlorella pyrenoidosa* (Mao et al., 2018) y tienen efectos crónicos y transgeneracionales en *Eisenia foetida* “lombrices de tierra” (Sobhani et al., 2021).

En diferentes ambientes como la rizósfera (Liu et al., 2023), sedimentos marinos (Ganesh Kumar et al., 2021), suelo de botaderos de residuos (Rayahu et al., 2019) y en productos obtenidos en procesos microbianos aerobios como el compostaje

(Udochukwa et al., 2020; Chen et al., 2020; Bello et al., 2020) se han identificado bacterias que degradan el PS. Los géneros de bacterias degradadoras de PS incluyen *Klebsiella* (Carhuajulca et al., 2025), *Gordonia*, *Novosphingobium* (Liu et al., 2024), *Acinetobacter* (Xiang et al., 2023), *Bacillus* (Yuan et al., 2022), *Thermus*, *Geobacillus* (Chen et al., 2020) y *Pseudomonas* (Udochukwa et al. 2020)

Las bacterias calificadas como degradadoras de PS secretan enzimas, que tienen la capacidad de romper los enlaces químicos del poliestireno y descomponerlo en fragmentos más pequeños (Gavilán y Palomino, 2023); no obstante, en condiciones naturales la eficiencia en la degradación microbiana es muy baja (Kaur et al., 2022) y el proceso puede demorar más de 50 años (Ali et al., 2021). Asimismo, para alcanzar la mineralización del polímero se necesita la acción de diversas enzimas que no se encuentran en un solo microorganismo, pero sí en los consorcios microbianos (Gaytán et al., 2020; Jaiswal et al., 2020). El problema de la investigación fue: ¿Cuál es la eficiencia en la degradación de poliestireno expandido por los consorcios de bacterias aisladas de Ictiocompost y Biol? La hipótesis fue: La eficiencia es mayor de 10 % en la degradación de poliestireno expandido por los consorcios bacterianos aislados de Ictiocompost y Biol.

El objetivo general de la investigación fue determinar la eficiencia en la degradación de poliestireno expandido por consorcios de bacterias aisladas de Ictiocompost y Biol. Los objetivos específicos fueron: Comparar las características físicas, químicas y microbiológicas del Ictiocompost y Biol obtenidos por la Asociación de Productores Artesanales de Productos Hidrobiológicos del Centro Pesquero de Santa Rosa “APAPHCEPES”, Lambayeque, diferenciar bacterias Gram positivas y Gram negativas en el Ictiocompost y Biol, seleccionar las bacterias degradadoras de poliestireno expandido con base a la densidad óptica y el tiempo requerido para la utilización del polímero, identificar a nivel fenotípico el género de las cuatro bacterias degradadoras de poliestireno expandido seleccionadas y comparar la eficiencia en la degradación de poliestireno expandido por tres consorcios de bacterias.

CAPÍTULO I. DISEÑO TEÓRICO

1.1. Antecedentes

Liu et al. (2024) investigaron la degradación del PS por bacterias rizosféricas de manglares. Los microorganismos se sembraron en medio libre de carbono (MMS) con un fragmento de PS durante 30 días, se realizaron observaciones de la superficie bajo el microscopio de rastreo (SEM), se determinó el porcentaje de pérdida de peso y se identificaron los cambios en el polímero mediante las pruebas de ángulo de contacto y espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR). El ángulo de contacto de 91,48 °C disminuyó a menos de 80 °C, lo que evidenció la pérdida de hidrofobicidad. Mediante FTIR se mostró la presencia de picos a 1550-1610 y 1800-2000 cm^{-1} que demostraron la ruptura de los anillos benzénicos del PE así como también picos a 1731 cm^{-1} por formación de grupos carbonilo. La pérdida de peso del PS fue de 4,60-7,73 % con *Gordonia* spp. y 2,66 % con *Novosphingobium* sp. Se demostró la degradación del PS por estas bacterias marinas.

Yuan et al. (2022) estudiaron la degradación de microplásticos de PS por bacterias aisladas de ecosistemas acuáticos. Éstas se cultivaron en MMS con 0,5 g microplásticos PS L^{-1} , se incubaron a 25 °C a 120 rpm y la densidad óptica (600 nm) se monitoreó durante 10 días. Asimismo, se determinó el porcentaje de peso perdido, la tasa de reducción, los cambios en la estructura del polímero (FTIR), morfología de la superficie (microscopio de rastreo), cambios en el ángulo de contacto y en la temperatura de degradación. *B. cereus* H6 presentó el tiempo de generación más corto con una pérdida de 10,7 % del peso del polímero después de 50 días de incubación y una tasa de reducción de 0,967 mg día^{-1} . El ángulo de contacto disminuyó de 85,032 a 78,99 °C. En la superficie del PS se observó adherencia de las bacterias junto a grietas, agujeros y deformaciones. La temperatura de degradación fue de 448°C en comparación con 452-456 °C en el control. *B. cereus* H6 demostró capacidad para degradar microplásticos de PS.

Ganesh Kumar et al. (2021) evaluaron la degradación del PS por *B. paralicheniformis*, una bacteria aislada de sedimentos marinos. Las bacterias se aislaron en agar con 0,5 % PS, la actividad degradadora se determinó cultivándolas en MMS con fragmentos de PS emulsionado y se registró la densidad óptica cada 10 días durante 60 días. Asimismo, se calculó el porcentaje de reducción del peso y los cambios en el polímero mediante FTIR, termogravimetría y microscopía electrónica de barrido. Se seleccionó *B. paralicheniformis*, que alcanzó 18 % de pérdida de peso del polímero después de 30 días y

34% después de 60 días. FTIR demostró picos a $3200-3500\text{ cm}^{-1}$, 1450 y 1500 cm^{-1} . Después de 60 días la estabilidad térmica del PS se redujo, evidenciando una ruptura en la cadena polimérica y bajo el SEM se verificó la colonización de la superficie por la bacteria y su capacidad para degradar el polímero.

Bello et al. (2020) investigaron la degradación de residuos de PS reforzado con diferentes niveles de fibra, bajo condiciones de compostaje. Las fibras tratadas con hidróxido de sodio 0,5 %, se utilizaron (0,10,20,30,40,50 %) para reforzar el PS. Los fragmentos de PS reforzados se enterraron a una profundidad de 5 cm en la pila compostera y cada 7 días durante 22 semanas los fragmentos de PS se sacaron, lavaron, secaron ($60\text{ }^{\circ}\text{C}$) y se determinó el porcentaje del peso perdido. En las fibras de PS reforzadas con 50 % de fibras se determinó 44,91 % de pérdida de peso, en comparación con el control no reforzado donde se alcanzó 1,35 %. El número de bacterias fue de 4×10^4 / UFC g^{-1} y se identificó *Bacillus* sp. Se demostró que las condiciones de compostaje favorecen la degradación del PS reforzado con fibras.

Chen et al. (2020) estudiaron la biodegradación de microplásticos de lodos residuales mediante la tecnología microbiana de composteo hipertermofílico (HTC). Las muestras de microplásticos enterradas en las pilas de composteo se analizaron mediante FTIR. El contenido de microplásticos fue de 10^4 partículas kg^{-1} de lodos residuales y los tamaños fueron de 2,5; 1,25; 0,5; 0,3 y menos de 0,3 mm. Después de 45 días de HTC, el 43,7 % de los microplásticos se removieron de los lodos residuales. El inóculo microbiano HTC degradó el 7,3 % de los microplásticos a $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ en 56 días, lo que correspondió a 6,6 veces más que el inóculo microbiano convencional (CTC) a $40\text{ }^{\circ}\text{C}$. El análisis del peso molecular y de las propiedades de los microplásticos residuales demostraron que las bacterias hipertermofílicas en el HTC aceleraron la degradación del plástico, con predominancia de los géneros *Thermus*, *Bacillus* y *Geobacillus*.

Udochukwa et al. (2020) evaluaron la degradabilidad del PS por bacterias aisladas de suelo de residuos plásticos compostados. El aislamiento bacteriano se realizó en MMS con plástico como fuente de carbono, la utilización del PS se monitoreó cada 2 días durante 10 días mediante el recuento de UFC mL^{-1} y la densidad óptica a 600 nm. Asimismo, se determinaron las variaciones del pH, temperatura, carbono orgánico total, demanda bioquímica de oxígeno, contenido de sulfatos, nitratos y fosfatos. Todos los parámetros investigados mostraron evidencia de la degradación del PS. Los nutrientes y el oxígeno se utilizaron en el proceso metabólico, tal que su concentración disminuyó. El pH osciló entre 6,5 a 7,4 y el

bisfenol A (BPA) se redujo de 37,04 a 1,19 mg kg⁻¹. Se identificaron *B. subtilis* y *P. aeruginosa*, bacterias en las que se demostró el potencial para degradación del PS.

Rahaju et al. (2019) estudiaron la morfología del PS degradado por bacterias aisladas de suelo de botaderos de residuos. En 250 mL de MMS se depositaron 250 g de suelo y fragmentos de Styrofoam. Después de 8 semanas, los fragmentos del polímero se esterilizaron, secaron y se pesaron para determinar el porcentaje de peso perdido. A continuación, se deshidrataron con alcohol 70 % y se observaron bajo SEM. Se aislaron e identificaron *P. aeruginosa*, *B. amyloliquefaciens*, *B. cereus* y *B. firmus*, bacterias que degradaron el PS, con 8,27 % de peso perdido, después de 7 días y 18,23 % después de 4 semanas. Bajo SEM se observaron cambios en el color, textura y formación de biopelícula en la superficie del polímero. Al inicio ésta fue de color blanco, superficie lisa y aplanada y a los 7 días de color marrón, superficie rugosa y limosa, características que verificaron la degradación bacteriana del Styrofoam.

1.2. Bases teóricas

La biodegradación es un proceso natural en el que los organismos vivos, como bacterias, hongos y otros microorganismos, descomponen materiales orgánicos o compuestos químicos inorgánicos en componentes más simples (Montero, 2022). Estos organismos liberan enzimas que descomponen las moléculas complejas en moléculas más pequeñas que pueden ser utilizadas como fuente de energía y nutrientes. La biodegradación es un proceso fundamental en la naturaleza y desempeña un papel crucial en el ciclo de la materia. Permite la eliminación de materiales orgánicos muertos y residuos, reciclando los nutrientes y devolviéndolos al medio ambiente de una forma utilizable por otros organismos. Además, la biodegradación contribuye a la descomposición y eliminación de contaminantes y productos químicos en el medio ambiente (Rowe, 2019).

La biodegradación puede ocurrir de forma aerobia o anaerobia. En la biodegradación aerobia, el proceso requiere oxígeno y los microorganismos descomponedores utilizan el oxígeno para degradar los compuestos orgánicos (Rowe, 2019). En la biodegradación anaerobia, el proceso ocurre en ausencia de oxígeno y los microorganismos descomponedores utilizan otros compuestos como nitratos o sulfatos como aceptores de electrones. Es importante destacar que la biodegradación se aplica a materiales orgánicos y no a materiales inorgánicos, como metales (Ccallo et al., 2020)

La unión superficial de microorganismos al polímero es un paso esencial para la biodegradación de PS. A medida que los microbios se adhieren a las superficies, colonizan el área y forman una biopelícula mientras secretan proteínas y sustancias poliméricas extracelulares. Las enzimas despolimerasas pueden excretarse al medio extracelular, y en combinación con otros biomateriales excretados pueden actuar para convertir sustratos hidrofóbicos en hidrofílicos. Esta condición mejora la unión de las bacterias u otros microorganismos y enzimas a sus sustratos objetivo. Por ejemplo, la PETasa tiene una superficie altamente polar que favorece la unión a regiones más hidrofílicas del sustrato. Después, la descomposición del polímero comienza con la escisión inicial de las macromoléculas insolubles en fragmentos más pequeños que luego pueden ser absorbidos por microorganismos para su uso posterior (Hou y Majumder 2021).

Entre las enzimas principales encontradas en microorganismos degradadores de PS están la alcano hidroxilasa, la monooxigenasa, el citocromo P450, la hidroxilasa de anillo aromático y la esterasa/alfa/beta hidrolasa. Las oxidorreductasas, incluidas el citocromo P450, la monooxigenasa, la alcano hidroxilasa y la hidroxilasa de anillo aromático, son más eficientes en la degradación del PS en comparación con las hidroxilasas como la esterasa y la alfa/beta hidrolasa, debido a que el PS no tiene enlaces éster. Las esterases pertenecientes a las hidroxilasas muestran una amplia especificidad de sustrato hacia los oxoésteres o tioésteres de varios ácidos grasos. Las alfa/beta hidrolasas pueden funcionar como hidrolasas, liasas, transferasas, precursores o transportadores de hormonas, chaperonas o enrutadores de otras proteínas. La presencia de estas enzimas en los genomas de los microorganismos implicados, puede indicar su papel en la escisión de los enlaces éster en pequeños compuestos que pueden formarse durante la despolimerización de PS (Rezende et al., 2022).

Las características del poliestireno se basan en su estructura química y su proceso de obtención a partir de derivados del petróleo. El poliestireno es un polímero formado por unidades repetitivas de estireno, un compuesto derivado del petróleo. El estireno se produce a partir de la destilación del petróleo crudo o del gas natural y luego se somete a un proceso de polimerización para formar el poliestireno. El poliestireno se caracteriza por tener una estructura lineal compuesta por cadenas largas de unidades de estireno unidas mediante enlaces químicos. La estructura química del poliestireno le confiere propiedades como su rigidez, transparencia, resistencia al impacto y baja conductividad térmica (Rezende et al., 2022).

En el marco legal internacional, en 2020, Maryland (Estados Unidos) fue el primer estado norteamericano en prohibir el uso de EPS como lo estableció el estatuto de Maryland en su capítulo 15-A (Maryland, 2020), siguiéndole Maine, Vermont, Nueva York, Nueva Jersey, Colorado en 2022, quienes prohibieron los envases de EPS de un solo uso y como contenedores de comida. En junio del 2020, en ese mismo país, California aprobó la Ley de Responsabilidad del Productor de Envases y Prevención de la Contaminación por Plásticos y codificó los requisitos de responsabilidad extendida del productor (EPR, por sus siglas en inglés) para los plásticos, incluido el requisito de que se prohíba el poliestireno si las tasas de reciclaje no alcanzan el 25 % para 2025 (Ravenna, 2021).

En Perú, se hacen esfuerzos propios por reducir el uso del EPS. En el 2019, en Lima (Diario El Peruano, 2021), se publicó una ordenanza municipal que prohíbe el uso de envases y recipientes de EPS en establecimientos comerciales dedicados a la venta de alimentos y bebidas. Asimismo, desde diciembre del 2021 quedó establecido por Ley N° 30884 (Diario El Peruano, 2021) la regulación de plásticos de un solo uso, así como de envases o contenedores descartables incluyendo el EPS; sin embargo, en el Perú, este polímero continuó en uso

1.3. Bases conceptuales (Operacionalización de variables)

Variables de la fase experimental

a. **Variable independiente:** Consorcios de bacterias

b. **Variable dependiente:** Degradación del poliestireno expandido

Variable	Tipo	Indicadores	Técnica
Conorcios de bacterias	Independiente	Cuatro consorcios (C1 a C4)	Microbiológica
		Densidad óptica (600 nm)	Espectrofotometría
		Reducción del TTC (días)	Colorimetría
Degradación del poliestireno expandido	Dependiente	Tiempo requerido para la utilización del poliestireno expandido	Microbiológica
		Pérdida de peso (%)	Gravimetría
		Tasa de reducción (g día ⁻¹)	Cálculo
		Vida media del LDPE residual (días ⁻¹)	Cálculo
		Densidad óptica (DO ₆₀₀)	Espectrofotometría
		Viabilidad de las bacterias	Microbiológica
		Variaciones del pH del caldo cultivado	pHmetría

CAPÍTULO II. DISEÑO METODOLÓGICO

2.1. Diseño de contrastación de hipótesis

En la investigación explicativa la hipótesis se contrastó mediante el diseño experimental completamente aleatorio (DCA) con siete tratamientos, un control no inoculado y tres repeticiones en cada tratamiento (Figura 1).

2.2. Población y muestra

En la investigación descriptiva se consideró como población al Ictiocompost y el Biol obtenido por APAPHCEPES y se procesaron 30 muestras de cada uno, colectadas durante julio - diciembre de 2023 (Figuras 2, 3). En la fase explicativa de la investigación la población - muestra no probabilísticas y por conveniencia correspondió a 21 unidades experimentales.

2.3. Métodos, técnica e instrumentos de recolección de datos:

2.3.1. Técnica: Cuantitativa observacional.

2.3.2. Instrumento: Ficha de registro de datos.

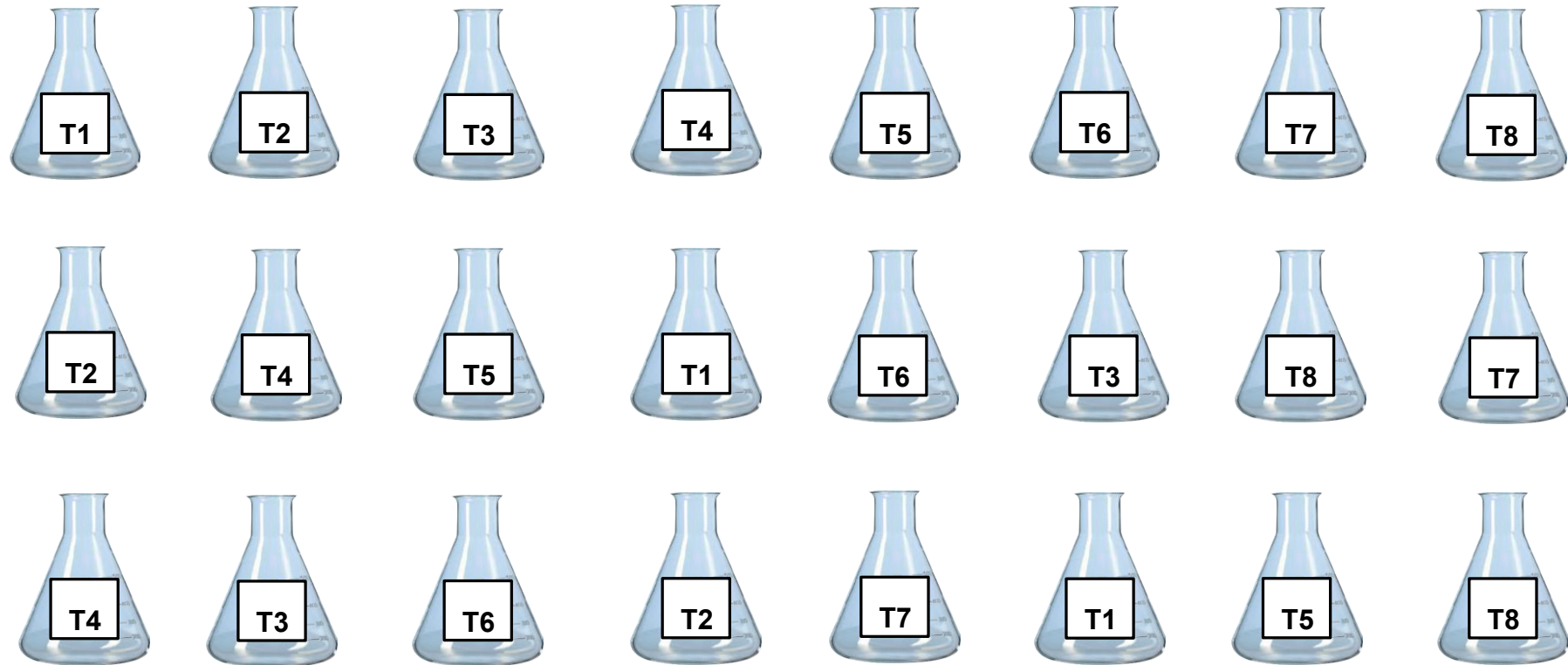
2.4. Procedimiento

2.4.1. Determinación de las características físicas, químicas y microbiológicas del Ictiocompost y Biol obtenidos por APAPHCEPES, Lambayeque, 2023

El Ictiocompost y el Biol fueron solicitados a APAPHCEPES ubicada en el distrito de Santa Rosa, provincia de Chiclayo, región Lambayeque. A los productos Ictiocompost y Biol se les determinaron las características físicas y químicas en el Laboratorio de Suelos y Aguas (LABSAF) del Instituto Nacional de Innovación Agraria de Chiclayo.

Figura 1

Diseño completamente aleatorio para determinar la eficiencia de la degradación de poliestireno expandido por consorcios de bacterias aisladas de Ictiocompost y Biol.



T1: Bacteria 1, T2: Bacteria 2, T3: Bacteria 3, T4: Bacteria 4, T5: Consorcio 1, T6: Consorcio 2, T7: Consorcio 3, T8: Control

Figura 2

Ictiocompost obtenido por APAPHCEPES, Lambayeque, 2023.



Figura 3

Biol obtenido por APAPHCEPES”, Lambayeque, 2023.



En el análisis microbiológico se determinó el número de coliformes totales, coliformes termotolerantes y *Escherichia coli* (Lakhal et al., 2017), según la Norma Técnica Peruana NTP 360.506.2020, denominada “CALIDAD DE AGUA. Coliformes totales, coliformes termotolerantes (fecales) y *Escherichia coli*. Método de ensayo por fermentación en tubos múltiple” (INACAL, 2020).

2.4.2. Diferenciación de bacterias Gram positivas y Gram negativas en el Ictiocompost y Biol obtenido por APAPHCEPES, Lambayeque 2023

Se pesaron submuestras de 10 g de Ictiocompost y se midieron 10 mL de Biol, se depositaron en 90 mL de solución salina esterilizada y se homogeneizaron durante 10 minutos. En las disoluciones se tomaron alícuotas, se sembraron en agar nutritivo, se incubaron a 30 °C por 48 horas y se seleccionaron las colonias bacterianas desarrolladas a las que se les realizó coloraciones de Gram para diferenciar las bacterias Gram positivas y Gram negativas. Los cultivos puros con un mínimo de 100 bacterias se guardaron en refrigeración (4°C).

2.4.3. Selección de bacterias degradadoras de poliestireno expandido con base a la densidad óptica y el tiempo requerido para utilización del polímero

La selección de las bacterias degradadoras de poliestireno expandido se realizó mediante el cultivo en caldo sales minerales (Anexo 1) con 0,1 g de poliestireno expandido emulsionado y 0,1 % de glucosa con control positivo. Después de la incubación a 30 °C por 7 días se determinó la densidad óptica a 600 nm considerando como blanco el caldo con el polímero y glucosa no inoculados. Las diez bacterias con los mayores valores en la densidad óptica del caldo sales minerales con poliestireno expandido se cultivaron en 5 mL del mismo caldo con 20 µL de una solución acuosa de cloruro de 2,3,5-trifeniltetrazolio (TTC) al 1 % como indicador de la viabilidad, se incubaron a 30 °C en agitación constante (180 rpm) y se registró el tiempo requerido para el cambio de color del indicador, lo que demostró la actividad metabólica y por tanto la utilización del polímero (Tan et al., 2021). Las cuatro bacterias con el menor tiempo requerido para la reducción se seleccionaron.

2.4.4. Identificación fenotípica del género de las cuatro bacterias degradadoras de poliestireno expandido seleccionados

Las cuatro bacterias degradadoras de poliestireno expandido en el menor tiempo posible, fueron cultivadas en agar soya triptica para identificar el género mediante pruebas morfológicas, bioquímicas y fisiológicas (Farro et al., 2021).

2.4.5. Comparación de la eficiencia en la degradación de poliestireno por cuatro consorcios de bacterias

La eficiencia en la degradación de poliestireno expandido se determinó de manera directa mediante el peso perdido del polímero (Maroof et al., 2021), la tasa de reducción (K) y la vida media del polímero residual (T112) según Auta et al. (2017) y de manera indirecta con la turbidez generada por el crecimiento microbiano y variaciones del pH, así como la viabilidad de las bacterias.

Con las cuatro bacterias seleccionadas se formularon tres consorcios (combinaciones de tres bacterias). El inóculo mixto se obtuvo con una mezcla de volúmenes iguales de una suspensión de células de cada una de las tres bacterias constituyentes (Skariyachan et al., 2021) (DO₆₀₀ 0, 08). El inóculo (24 horas) mixto y de las bacterias en forma independiente se depositó (3 % v/v) en Erlenmeyers con 100 mL de caldo mínimo sales minerales y tres fragmentos de poliestireno expandido con un peso inicial (Pc) determinado y se incubó a 30 °C con agitación constante (180 rpm) por 120 días (Maroof et al., 2021).

La eficiencia en la degradación del PS se estimó con base al porcentaje de peso perdido del polímero, la tasa de reducción (k) y la vida media del PS residual, $t_{1/2}$ (Carhuajulca et al., 2025). El peso perdido del poliestireno expandido se determinó a los 120 días, para lo cual los fragmentos de poliestireno se lavaron con una solución de 2 % dodecilsulfato de sodio (SDS), se enjuagaron (agua destilada), se secaron, pesaron (Pf) y se calculó el peso perdido (Maroof et al., 2021), la tasa de reducción (k) y la vida media (Gupta y Devi, 2020):

$$\text{Peso perdido (\%)} = \frac{\text{Peso inicial} - \text{Peso final}}{\text{Peso inicial}} \times 100$$

$$K = -\frac{1}{t} \left(\ln \frac{W}{W_0} \right)$$

(K es la tasa de reducción del polímero por día, t es el tiempo en días, W es el peso del polímero residual (g) o final y W₀ es el peso inicial del polímero, g).

$$t_{1/2} = \ln(2)/K$$

A partir de las 0 horas de la incubación y cada 10 horas, hasta las 100 horas, se midió la densidad óptica (600nm) y se determinó la variación del pH (Waqas et al., 2021). Asimismo, se verificó la viabilidad de las bacterias para lo cual se extrajo la biomasa adherida al poliestireno, se resuspendió en solución salina (NaCl, 0,8%), se cultivó en agar nutritivo y se incubó a 30°C por 24 horas. Aquellas bacterias que formaron colonias en el agar después de 24 - 48 horas se consideraron viables (Gupta y Devi, 2019)

2.4.6. Análisis estadístico de los datos

Los valores obtenidos en las fases descriptiva y explicativa de la investigación fueron ordenados mediante tablas y figuras. Las diferencias en el peso perdido del PS expandido entre tratamientos se establecieron mediante el análisis de varianza y la significancia ($p < 0,05$) entre ellos mediante la prueba de comparaciones múltiples de Tukey (Hernández et al., 2014).

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1. Características físicas, químicas y microbiológicas de Ictiocompost y Biol de residuos de pescado obtenidos por la “APAPHCEPES”, Lambayeque 2023

El Ictiocompost presentó carbono (16,60 %), nitrógeno (1,39 %), fósforo (2,15 %) y potasio (1,17 %) además de calcio, magnesio, materia orgánica, materia seca y cenizas. El Biol presentó carbono (18,90 %), nitrógeno (1,58 %), fósforo (2,13 %) y potasio (1,24 %) además de calcio, magnesio, materia orgánica, materia seca y cenizas. Respecto a las características microbiológicas el Ictiocompost y el Biol de residuos de pescado presentaron menos de 1,8 NMP / 100 mL coliformes totales, termotolerantes, *E. coli* y *Salmonella* sp. (Tablas 1, 2, anexos 2, 3).

3.2. Bacterias Gram positivas y Gram negativas diferenciadas en el Ictiocompost y Biol obtenido por la “APAPHCEPES”, Lambayeque 2023

En el Ictiocompost se aislaron 130 bacterias (Figuras 4, 5) y en el Biol se aislaron 100 bacterias (Figuras 6, 7). Entre las bacterias aisladas del Ictiocompost el 45,38 % correspondió a Gram positivas y el 54,62 % a Gram negativas. Entre las bacterias aisladas del Biol el 68,00 % correspondió a formas Gram positivas y el 32 % a Gram negativas (Anexos 4 a 7). En el Ictiocompost y en el Biol, predominaron los cocos con 62,7 % y 58,0 % respectivamente (Anexo 7). Las bacterias aisladas se agruparon en 17 morfotipos (Figura 8, tabla 1). El morfotipo predominante en el Ictiocompost fue el 2 con una frecuencia de 19,23 % y el morfotipo predominante en el Biol fue el morfotipo 3 con una frecuencia de 24 % (Tablas 2, 3, anexos 8, 9).

3.3. Bacterias degradadoras de poliestireno expandido seleccionadas con base a la densidad óptica y el tiempo requerido para utilización del polímero

El 42,30 % de las bacterias aisladas del Ictiocompost y el 53% de las bacterias aisladas del Biol se consideran degradadoras del PS expandido porque en el cultivo con el polímero como fuente de carbono alcanzaron 51% a más de 100% de la densidad óptica observada con la glucosa como control (Tablas 4,5). Entre las bacterias degradadoras, las 10 aisladas de Ictiocompost y 10 de Biol que alcanzaron los mayores valores en la densidad óptica, predominaron las Gram positivas con frecuencias de 80 y 70 % respectivamente (Tabla 6).

Figura 4

Colonias de bacterias aisladas de Ictiocompost en agar nutritivo, Lambayeque 2023



Figura 5

Bacterias aisladas de Ictiocompost, Lambayeque 2023



Figura 6

Colonias de bacterias aisladas de Biol en agar nutritivo, Lambayeque 2023



Figura 7

Bacterias aisladas de Biol, Lambayeque 2023



Figura 8

Morfotipos de colonias de bacterias aisladas de Ictiocompost (a,b) y de Biol (c, d), Lambayeque 2023

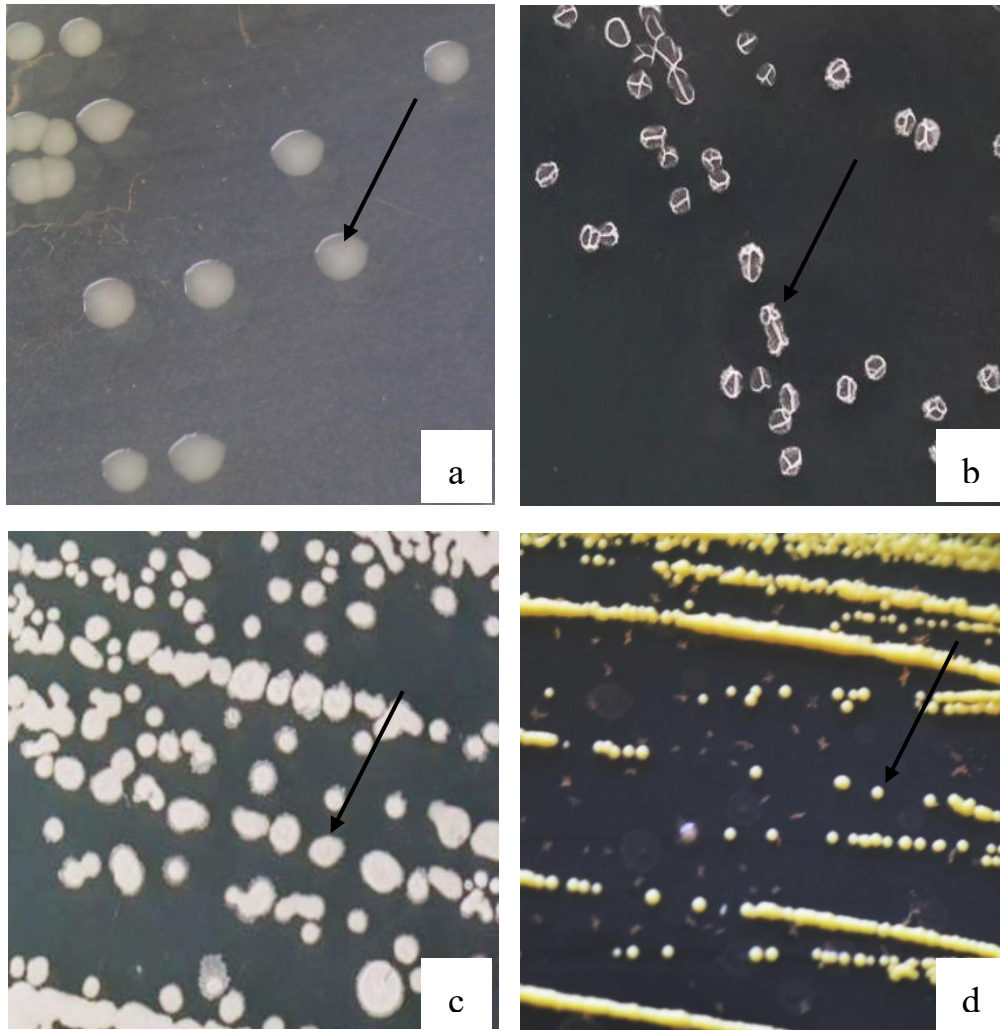


Tabla 1*Características de los morfotipos de colonias bacterianas aisladas de Ictiocompost y Biol, Lambayeque 2023*

Morfotipo	Procedencia	Forma	Tamaño	Borde	Color	Aspecto	Consistencia
1	Ictiocompost	Redonda	Regular	Regular	Crema	Liso	Mucosa
2	Ictiocompost, Biol	Redonda	Pequeña	Regular	Blanquecina	Liso	Mucosa
3	Ictiocompost, Biol	Redonda	Grande	Regular	Blanquecina	Liso	Cremosa
4	Ictiocompost, Biol	Redonda	Pequeña	Regular	Blanquecina	Liso	Seca
5	Ictiocompost, Biol	Redonda	Pequeña	Regular	Translúcido	Liso	Seca
6	Ictiocompost, Biol	Redonda	Regular	Irregular	Blanquecina	Rugoso	Seca
7	Ictiocompost	Redonda	Pequeña	Regular	Translúcido	Liso	Mucosa
8	Ictiocompost, Biol	Redonda	Regular	Regular	Amarilla	Liso	Mucosa
9	Ictiocompost, Biol	Ondulada	Regular	Irregular	Blanquecina	Rugoso	Seca
10	Ictiocompost	Ondulada	Regular	Irregular	Blanquecina	Liso	Mucosa
11	Ictiocompost, Biol	Irregular	Regular	Rizado	Blanquecina	Liso	Seca
12	Ictiocompost	Irregular	Regular	Ondulado	Blanquecina	Rugosa	Seca
13	Ictiocompost, Biol	Redonda	Regular	Regular	Amarilla	Lisa	Cremosa
14	Biol	Redonda	Grande	Regular	Marrón claro	Lisa	Mucosa
15	Biol	Redonda	Regular	Ondulado	Blanquecina	Rugosa	Seca
16	Biol	Redonda	Regular	Regular	Translúcida	Lisa	Cremosa
17	Biol	Redonda	Regular	Rizado	Blanquecina	Rugosa	Seca

Tabla 2

Frecuencia de los morfotipos de colonias de bacterias aisladas de Ictiocompost, Lambayeque 2023

Morfotipo de colonias	Cultivos de bacterias	
	Nº	%
2	25	19,23
8	22	16,92
3	18	13,85
11	16	12,31
9	14	10,77
6	12	9,23
4	9	6,92
5	6	4,62
1	3	2,31
7	2	1,54
10	1	0,77
12	1	0,77
13	1	0,77

Tabla 3

Frecuencia de los morfotipos de colonias de bacterias aisladas de Biol, Lambayeque 2023

Morfotipo de colonias	Cultivos de bacterias	
	Nº	%
3	24	24
2	21	21
13	10	10
6	9	9
16	9	9
9	7	7
11	7	7
15	4	4
8	3	3
14	3	3
4	1	1
5	1	1
17	1	1

Tabla 4

Rango en la densidad óptica de bacterias aisladas de Ictiocompost cultivadas con poliestireno expandido (PS) y glucosa como fuentes de carbono, Lambayeque 2024

Porcentaje de la densidad óptica respecto al control (rango)	Bacterias	
	Nº	%
1 - 25	13	10,00
26 - 50	62	47,69
51 - 75	36	27,69
76 - 100	12	9,23
>100	7	5,38

Tabla 5

Rango en la densidad óptica de bacterias aisladas de Biol cultivadas con poliestireno expandido (PS) y glucosa como fuentes de carbono, Lambayeque 2024

Porcentaje de la densidad óptica respecto al control (rango)	Bacterias	
	Nº	%
1 - 25	5	5
26 - 50	42	42
51 - 75	33	33
76 - 100	12	12
>100	8	8

Tabla 6

Densidad óptica de caldo sales minerales cultivado con bacterias, con poliestireno expandido emulsionado y glucosa como fuentes de carbono, Lambayeque 2024

Bacterias	Procedencia	Coloración de Gram	Densidad óptica (DO ₆₀₀)		
			Glucosa (Control)	PS expandido emulsionado	Densidad óptica de PS respecto al control (%)
R2 I 1(3)	Ictiocompost	Negativo	0,393	0,168	42,75
R2 I 6(3)	Ictiocompost	Positivo	0,335	0,141	42,09
R3 I 9(2)	Ictiocompost	Positivo	0,284	0,142	50,00
R3 I 10(3)	Ictiocompost	Negativo	0,236	0,127	53,81
R3 I 9(3)	Ictiocompost	Positivo	0,216	0,150	69,44
R2 I 8(1)	Ictiocompost	Positivo	0,187	0,153	81,82
R1 I 10(2)	Ictiocompost	Positivo	0,176	0,136	77,27
R2 I 5(2)	Ictiocompost	Positivo	0,164	0,121	73,78
R3 I 10(2)	Ictiocompost	Positivo	0,162	0,124	76,54
R3 I 9(1)	Ictiocompost	Positivo	0,108	0,226	209,26
R3 B 10(2)	Biol	Positivo	0,289	0,307	106,23
R3 B 4(3)	Biol	Positivo	0,253	0,290	114,62
R2 B 8(3)	Biol	Positivo	0,212	0,126	59,43
R2 B 9(3)	Biol	Negativo	0,182	0,134	73,63
R3 B 10(1)	Biol	Positivo	0,178	0,164	92,13
R3 B 9(1)	Biol	Positivo	0,164	0,125	76,22
R2 B 9(1)	Biol	Positivo	0,142	0,125	88,03
R3 B 5(3)	Biol	Negativo	0,123	0,156	126,83
R1 B 1(3)	Biol	Negativo	0,123	0,124	100,81
R2 B 2(2)	Biol	Positivo	0,092	0,087	94,57

En el cultivo de las bacterias con PS expandido como fuente de carbono, se observó la reducción del TTC (Figura 9) durante. 3 - 20 días y seleccionaron las bacterias R3 I9(1), R3 I10(2) aisladas de Ictiocompost y R2 B2(2) y R3 B5(3) aislados de Biol a los que les correspondieron los tiempos de 3 y 4 días respectivamente (Tabla 7).

3.4. Géneros identificados de las cuatro bacterias degradadoras de poliestireno expandido seleccionados

Las bacterias degradadoras de PS expandido se identificaron como *Bacillus* sp. [R3 I9(1)], *B. subtilis* [R3 I10(2)], *B. megaterium* [R2 B2(2)] y *Pseudomonas* sp. [R3 B5(3)] como se observa en la tabla 8.

3.5. Eficiencia de la degradación de PS por tres consorcios de bacterias

Las bacterias seleccionadas desarrollaron en el caldo con PS expandido como fuente de carbono y como consecuencia la densidad óptica se incrementó hasta las 50 horas con todos los tratamientos, a excepción de T1 que aumentó hasta las 60 horas. La mayor densidad óptica (0,188) se alcanzó como *Bacillus* sp. (T1), seguido del consorcio *B. subtilis* + *B. megaterium* + *Pseudomonas* sp. (T6) con 0,163 en la DO₆₀₀. Una vez alcanzado el valor máximo (50 - 60 horas), la densidad óptica disminuyó hasta 0,091 - 0,141 (Tabla 9, figura 10).

El pH del caldo con PS expandido cultivado con las bacterias se alcalizó ligeramente hasta 7,3 en comparación con el control (7,0). El pH fue de 7,3 después de 10 horas con T3, 30 horas con T1 y T5, 50 horas con T2 y 80 horas con T7. El pH fue de 7,2 de 40 horas con T6 y 10 horas con T5 y T7 (Tabla 10). El pH disminuyó ligeramente a las 80 horas (T2), 90 horas (T1, T3, T4, T6), 50 horas (T5) y 100 horas (T7) según se observa en las figuras 11 y 12.

La eficiencia de la degradación del PS se determinó con base al porcentaje del peso del polímero perdido durante la biodegradación, la tasa de reducción y la vida media residual. El peso del PS expandido degradado por las bacterias y los consorcios bacterianos disminuyó (3,55 - 14,37 %) en comparación con el control. La prueba F del análisis de varianza determinó diferencias entre los tratamientos y según la prueba de comparaciones múltiples de Tukey la mayor pérdida de 14,37 % se alcanzó con el consorcio *B. subtilis* + *B. megaterium* + *Pseudomonas* sp. (T6), con diferencias significativas frente a los demás tratamientos. La mayor pérdida de peso en el polímero con las bacterias en forma individual se alcanzó con *Bacillus* sp. (T1) y la menor pérdida de peso en el PS expandido correspondió a los consorcios T5 y T7 (Tabla 11).

Figura 9

Coloración observada con la reducción del indicador TTC por bacterias aisladas de Ictiocompost (a) y Biol (b) y cultivadas, con PS expandido como fuente de carbono y energía, Lambayeque 2024.

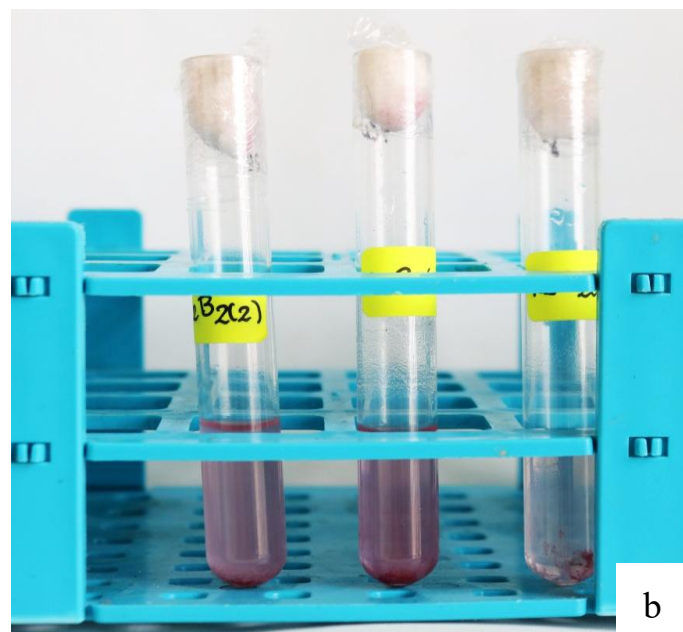
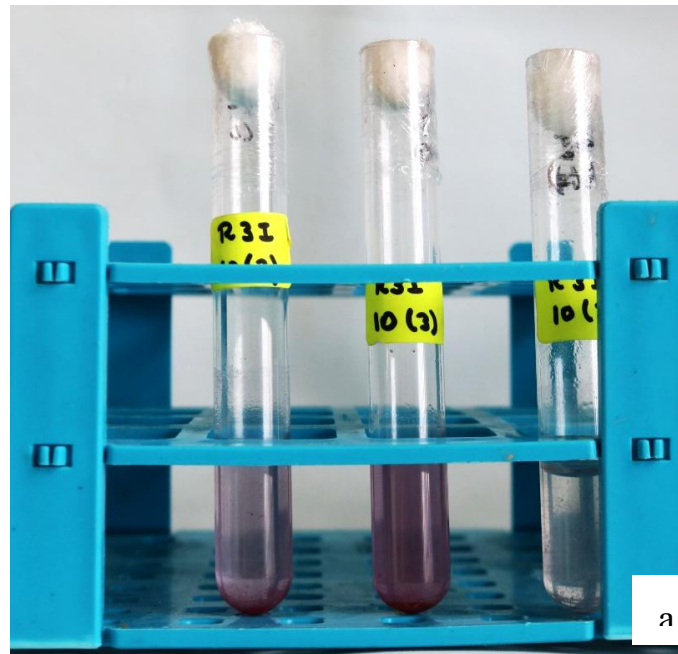


Tabla 7

Tiempo para la reducción del TTC por bacterias cultivadas con PS expandido como fuente de carbono, Lambayeque 2024

Bacterias (código)	Procedencia	Coloración de Gram	Tiempo requerido para la reducción del TTC (días)
R3 I 9(1)	Ictiocompost	Positivo	3
R3 I 10 (2)	Ictiocompost	Positivo	3
R2 B 2(2)	Biol	Positivo	4
R3 B 5(3)	Biol	Negativo	4
R3 B 10(2)	Biol	Positivo	7
R1 B 1(3)	Biol	Negativo	7
R2 I 5(2)	Ictiocompost	Positivo	8
R2 I 1(3)	Ictiocompost	Negativo	9
R3 B 4(3)	Biol	Positivo	9
R2 I 6(3)	Ictiocompost	Positivo	9
R3 I 9(2)	Ictiocompost	Positivo	10
R2 B 9(3)	Biol	Negativo	10
R3 B 10(1)	Biol	Positivo	11
R3 I 10(3)	Ictiocompost	Negativo	11
R3 I 9(3)	Ictiocompost	Positivo	14
R1 I 10(2)	Ictiocompost	Positivo	14
R2 I 8(1)	Ictiocompost	Positivo	16
R2 B 8(3)	Biol	Positivo	20
R3 B 9(1)	Biol	Positivo	20
R2 B 9(1)	Biol	Positivo	20

Tabla 8

Características diferenciales del género de bacterias degradadoras de poliestireno expandido seleccionadas, Lambayeque 2024

Bacterias (código)	Bacterias			
	R3 I 9(1)	R3 I 10 (2)	R2 B 2(2)	R3 B 5(3)
Forma de colonia	Circular	Irregular	Circular	Circular
Color de colonia	Amarillo	Crema	Crema	Blanco
Aspecto de colonia	Liso	Rugoso	Rugoso	Liso
consistencia de colonia	Cremoso	Seco	Seco	Cremoso
Elevación	Convexa	Convexa	Convexa	Convexa
Tinción de Gram	Gram +	Gram +	Gram +	Gram -
Motilidad	+	+	+	+
Formación de esporas	+	+	+	-
Prueba de catalasa	+	+	+	+
Prueba de oxidasa	+	-	-	-
Utilización de citrato	+	+	+	+
Voges Proskauer	+	+	-	-
Acidez de glucosa	+	+	+	+
Acidez arabinosa	+	+	+	+
Acidez manitol	+	+	+	-
Acidez xilosa	+	+	+	+
Hidrólisis de almidón	+	+	+	+
Género identificado	<i>Bacillus</i> sp.	<i>Bacillus subtilis</i>	<i>Bacillus megaterium</i>	<i>Pseudomonas</i> sp.

Tabla 9

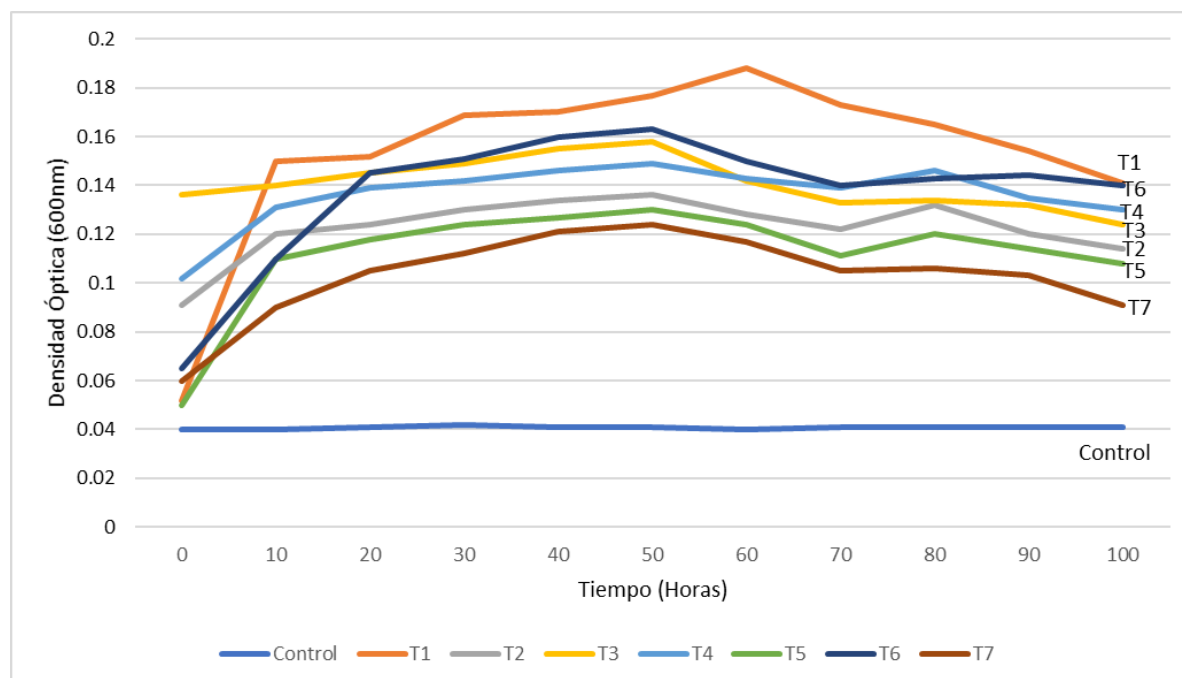
Densidad óptica del caldo sales minerales con PS expandido como fuente de carbono utilizado por bacterias y consorcios bacterianos de Ictiocompost y Biol, Lambayeque 2024

Tiempo (Horas)	Control	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
0	0,040	0,052	0,091	0,136	0,102	0,050	0,065	0,060
10	0,040	0,150	0,120	0,140	0,131	0,110	0,110	0,090
20	0,041	0,152	0,124	0,145	0,139	0,118	0,145	0,105
30	0,042	0,169	0,130	0,149	0,142	0,124	0,151	0,112
40	0,041	0,170	0,134	0,155	0,146	0,127	0,160	0,121
50	0,041	0,177	0,136	0,158	0,149	0,130	0,163	0,124
60	0,040	0,188	0,128	0,142	0,143	0,124	0,150	0,117
70	0,041	0,173	0,122	0,133	0,139	0,111	0,140	0,105
80	0,041	0,165	0,132	0,134	0,146	0,120	0,143	0,106
90	0,041	0,154	0,120	0,132	0,135	0,114	0,144	0,103
100	0,041	0,141	0,114	0,124	0,130	0,108	0,140	0,091

*T1= *Bacillus* sp.; T2 = *B. subtilis*; T3 = *B. megaterium*; T4 = *Pseudomonas* sp.; T5 = *Bacillus* sp. + *B. subtilis* + *B. megaterium*; T6 = *B. subtilis* + *B. megaterium* + *Pseudomonas* sp.; T7= *B. megaterium* + *Pseudomonas* sp. + *Bacillus* sp.

Figura 10

Variación de la densidad óptica del caldo sales minerales con PS expandido como fuente de carbono utilizado por bacterias y consorcios bacterianos de Ictiocompost y Biol, Lambayeque 2024



*T1= *Bacillus* sp.; T2 = *B. subtilis*; T3 = *B. megaterium*; T4 = *Pseudomonas* sp.; T5 = *Bacillus* sp. + *B. subtilis* + *B. megaterium*; T6 = *B. subtilis* + *B. megaterium* + *Pseudomonas* sp.; T7= *B. megaterium* + *Pseudomonas* sp. + *Bacillus* sp.

Tabla 10

Valores del pH del caldo sales minerales con PS expandido como fuente de carbono utilizado por bacterias y consorcios bacterianos de Ictiocompost y Biol, Lambayeque 2024

Tiempo (horas)	Control	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
0	7,0	7,2	6,9	7,0	7,0	6,9	7,0	7,1
10	7,0	7,2	7,0	7,3	7,1	7,2	7,1	7,2
20	7,0	7,2	7,0	7,2	7,1	7,2	7,1	7,2
30	7,0	7,3	7,1	7,2	7,1	7,3	7,1	7,2
40	7,0	7,3	7,2	7,2	7,1	7,3	7,2	7,2
50	7,0	7,3	7,3	7,2	7,1	7,2	7,2	7,2
60	7,0	7,3	7,3	7,2	7,1	7,2	7,2	7,2
70	7,0	7,3	7,3	7,2	7,1	7,2	7,2	7,2
80	7,0	7,3	7,2	7,2	7,1	7,2	7,2	7,3
90	7,0	7,2	7,2	7,1	7,0	7,1	7,1	7,3
100	7,0	7,2	7,1	7,1	7,0	7,1	7,1	7,2

*T1= *Bacillus* sp.; T2 = *B. subtilis*; T3 = *B. megaterium*; T4 = *Pseudomonas* sp.; T5 = *Bacillus* sp. + *B. subtilis* + *B. megaterium*; T6 = *B. subtilis* + *B. megaterium* + *Pseudomonas* sp.; T7= *B. megaterium* + *Pseudomonas* sp. + *Bacillus* sp.

Figura 11

Variación de pH del caldo sales minerales con PS emulsionado como fuente de carbono utilizado por bacterias aisladas de Ictiocompost y Biol, Lambayeque 2024

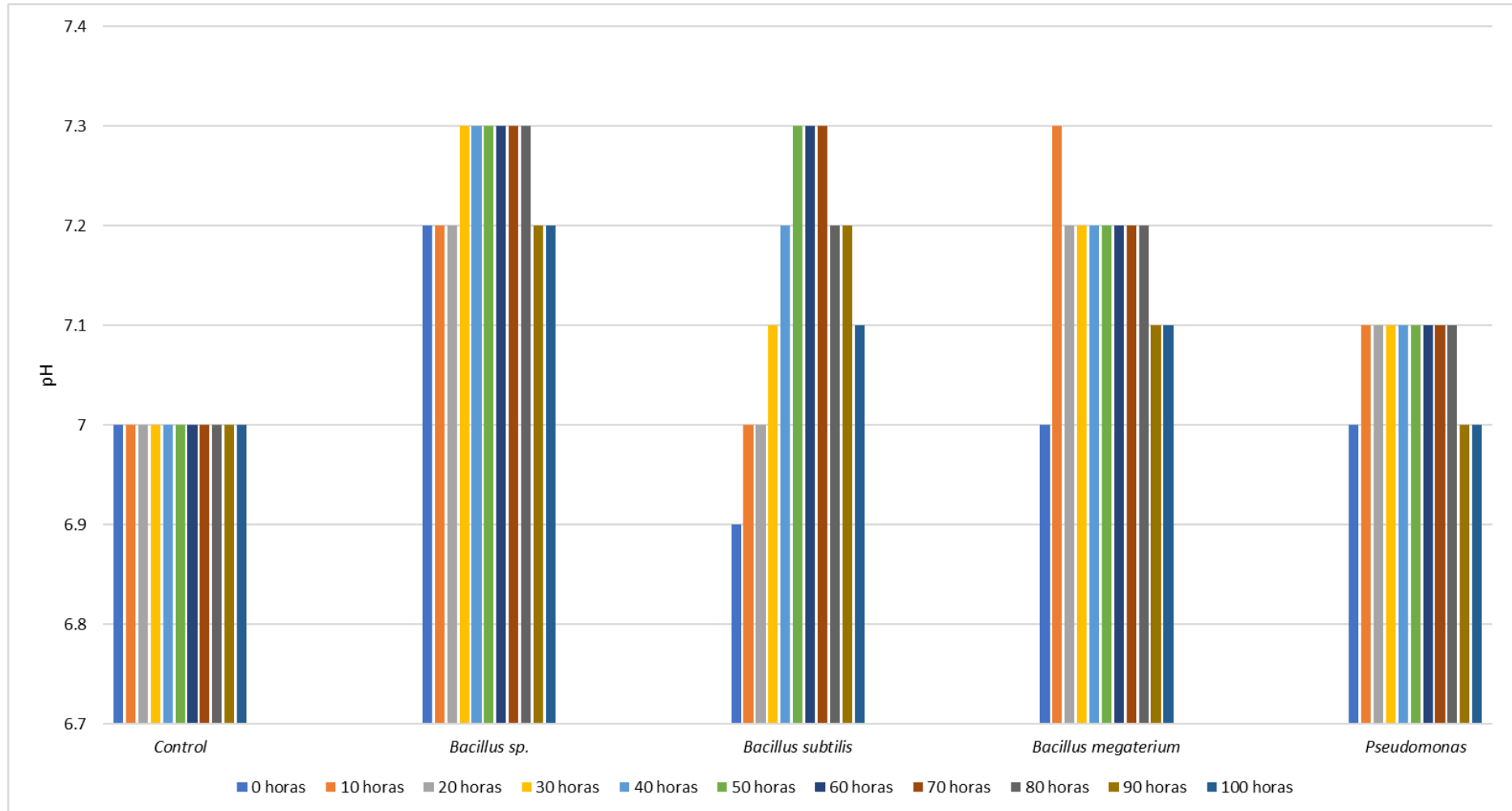


Figura 12

Variación de pH del caldo sales minerales con PS emulsionado como fuente de carbono utilizado por consorcios de bacterias aislados de Ictiocompost y Biol, Lambayeque 2024

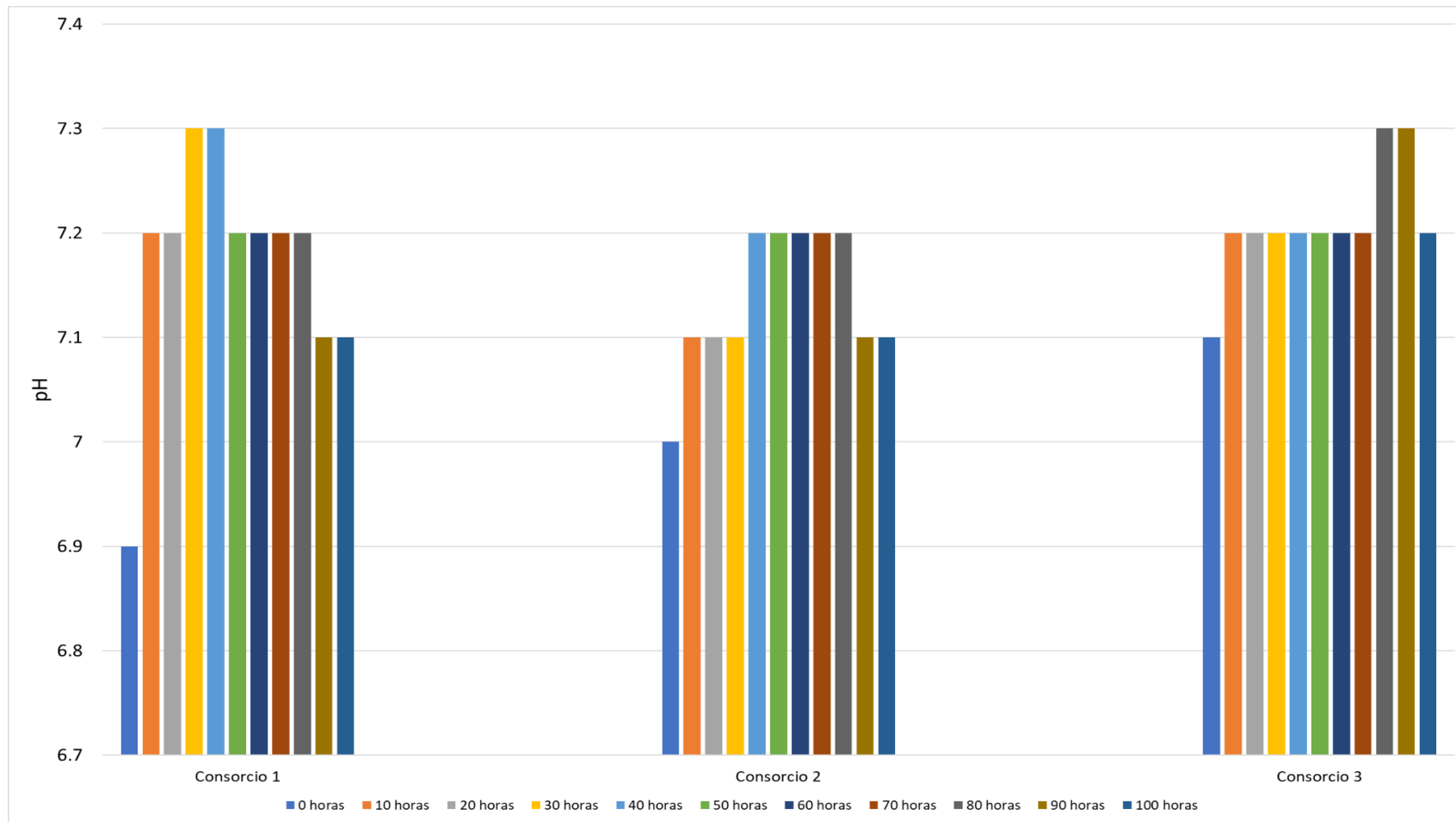


Tabla 11

Variación del peso del poliestireno expandido degradado durante 120 días, por consorcios de bacterias aisladas de Ictiocompost y Biol

Tratamientos	Repeticiones	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Peso perdido		Significancia	
				g	%		
T1 <i>Bacillus</i> sp.	r1	0,44	0,39	0,05	11,36	10,92 ± 0,83	b
	r2	0,41	0,37	0,04	9,76		
	r3	0,43	0,38	0,05	11,63		
T2 <i>Bacillus subtilis</i>	r1	0,39	0,36	0,03	7,69	6,09 ± 1,40	c
	r2	0,35	0,33	0,02	5,71		
	r3	0,41	0,39	0,02	4,88		
T3 <i>Bacillus megaterium</i>	r1	0,41	0,40	0,01	2,44	4,86 ± 2,16	d
	r2	0,39	0,36	0,03	7,69		
	r3	0,45	0,43	0,02	4,44		
T4 <i>Pseudomonas</i> sp.	r1	0,47	0,45	0,02	4,26	4,90 ± 0,78	d
	r2	0,45	0,42	0,02	4,44		
	r3	0,50	0,46	0,03	6,00		
T5 <i>Bacillus</i> sp., <i>B. subtilis</i> y <i>B. megaterium</i>	r1	0,49	0,48	0,01	2,04	3,55 ± 1,07	d
	r2	0,48	0,46	0,02	4,17		
	r3	0,45	0,43	0,02	4,44		
T6 <i>B. subtilis</i> , <i>B. megaterium</i> y <i>Pseudomonas</i> sp.	r1	0,39	0,32	0,07	17,95	14,37 ± 1,20	a
	r2	0,38	0,34	0,04	10,53		
	r3	0,41	0,35	0,06	14,63		
T7 <i>B. megaterium</i> , <i>Pseudomonas</i> sp. y <i>Bacillus</i> sp	r1	0,44	0,41	0,03	6,82	3,77 ± 2,17	d
	r2	0,41	0,40	0,01	2,44		
	r3	0,49	0,48	0,01	2,04		

La tasa de reducción (k) del PS expandido fue de 0,322 - 1,298 mg día⁻¹, con una vida media del polímero residual de 2605,98 - 564,66 (Tabla 12). La mayor tasa de reducción (1,298 mg día⁻¹) y menor vida media (564,66 días) correspondió al consorcio *B. subtilis* + *B. megaterium* + *Pseudomonas* sp. (T6). Con las bacterias en forma individual, a *Bacillus* sp. (T1) le correspondió la mayor tasa de reducción (0,964 mg día⁻¹) y menor vida media del polímero residual (724, 23 días).

Tabla 12

Peso perdido, tasa de reducción y vida media del poliestireno expandido degradado durante 120 días por consorcios de bacterias aisladas de Ictiocompost y Biol

Tratamientos	Peso perdido (%)	Tasa de reducción (k) mg día ⁻¹	Vida media PS residual (días)
T1: <i>Bacillus</i> sp.	10,92	0,964	724,23
T2: <i>Bacillus subtilis</i>	6,09	0,525	1372,00
T3: <i>Bacillus megaterium</i>	4,86	0,417	2079,09
T4: <i>Pseudomonas</i> sp.	4,90	0,544	1371,98
T5: <i>Bacillus</i> sp., <i>B. subtilis</i> y <i>B. megaterium</i>	3,55	0,302	2605,98
T6: <i>B. subtilis</i> , <i>B. megaterium</i> y <i>Pseudomonas</i> sp.	14,37	1,298	564,66
T7: <i>B. megaterium</i> , <i>Pseudomonas</i> sp. y <i>Bacillus</i> sp.	3,77	0,322	2860,12

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN

El aislamiento de bacterias a partir del Ictiocompost y Biol se atribuye a su naturaleza, como productos de la biodegradación de la materia orgánica (Gil et al., 2023; Valente et al., 2017). Los fertilizantes orgánicos Ictiocompost y Biol contienen una variedad de microorganismos benéficos, que promueven el crecimiento de las plantas y por su rentabilidad y naturaleza respetuosa con el ambiente, constituyen alternativas efectivas para disminuir el uso de fertilizantes químicos (Maquén et al., 2024; Wang et al., 2023).

El número de bacterias aisladas fue mayor en el Ictiocompost respecto al Biol, superioridad que puede ser explicada por el requerimiento de oxígeno durante el proceso y el pH del producto. El Ictiocompost se obtuvo en aerobiosis y por lo contrario el Biol en anaerobiosis. En los procesos aerobios se genera mayor biomasa que en los anaerobios y el aislamiento de bacterias también se realizó en aerobiosis (Delgado et al., 2019; Valente et al., 2017). El compost es el producto de la degradación aerobia de la materia orgánica bajo condiciones controladas de humedad, aireación y temperatura (Valente et al., 2017). El Biol es el producto de la degradación anaerobia de la materia orgánica, en la que se diferencian las fases de hidrólisis de los polímeros hasta monómeros y fermentación hasta ácidos grasos de cadena corta; la fase de acetogénesis con formación de ácido acético, alcoholes, hidrógeno y dióxido de carbono y la fase de metanogénesis en la que se forma el metano como parte del biogás, además del Biol y el Biosol. La fase de hidrólisis y fermentación es realizada por bacterias fermentativas. Por lo contrario, las fases de acetogénesis y metanogénesis son producto de la actividad de bacterias anaerobias (Wang et al., 2023; Delgado et al., 2019).

El pH de los abonos orgánicos también puede explicar el mayor número de aislamientos obtenidos en el Ictiocompost con un pH neutro (7,0). El rango óptimo de crecimiento de las

bacterias es neutro a ligeramente alcalino. A diferencia, el Biol presentó un pH de 4,6 que selecciona bacterias tolerantes a la acidez menos numerosas que en el Ictiocompost.

Los cocos predominaron en el Ictiocompost y el Biol, ambos con una conductividad eléctrica elevada, al igual que en la investigación de Rathakrishnan y Gopalan (2022) quienes reportaron mayor frecuencia de esta forma de bacterias en microorganismos halofílicos. Éstos agrupan una diversidad de formas microbianas, con predominio de los dominios Bacteria y Archaea (DasSarma y DasSarma, 2017).

El aislamiento de bacterias degradadoras de polímeros plásticos en productos de la degradación aerobia y anaerobia de la materia orgánica coincide con Chen et al. (2020), Bello et al. (2020) y Novotný et al. (2018). Las bacterias degradadoras de los polímeros plásticos se pueden aislar de ambientes contaminados (Kim et al., 2021) y de ambientes no contaminados (Yuan et al., 2022). Se ha reportado aislamientos de suelo y agua (Xiang et al. 2023); manglares (Liu et al., 2023), suelo contaminado (Kim et al., 2021), sedimento de lago (Yuan et al., 2022), sedimento marino (Ganesh Kumar et al., 2021), suelo de botaderos (Kim et al., 2021; Rahayu et al., 2019) e intestino de insectos (Carhuajulca et al., 2025).

El incremento de la densidad óptica del caldo sales minerales en PS expandido como fuente de carbono demostró la utilización del polímero como fuente de carbono, coincidiendo con Carhuajulca et al. (2025), Yuan et al., (2022) y Kim et al (2021). Aquellas bacterias que en el caldo sales minerales en PS expandido alcanzaron más del 50 % de la densidad óptica observada en el mismo caldo con glucosa se calificaron como degradadoras de PS, al igual que en la investigación de Carhuajulca et al. (2025). En el proceso degradativo, las bacterias se adhieren a la superficie del PS y secretan enzimas para degradarlo a oligómeros y unidades monoméricas. La vía del ciclo de Krebs es mayoritaria en la oxidación del estireno hasta

fenilacetato e intermediarios como el óxido de estireno, fenilacetaldehído y fenilacético (Ho et al., 2018).

La DO₆₀₀ del caldo sales minerales con PS expandido como fuente de carbono cultivado con las bacterias investigadas alcanzó un máximo de 0,188 después de 60 horas, valor inferior a 3,500 registrado con *Pseudomonas lini* después de 6 horas bajo condiciones de agitación constante (200 rpm). La bacteria alcanzó la fase exponencial en 1-4 días, acumuló mayor biomasa con las concentraciones mayores de PS (8-10 mg mL⁻¹) y se diferenció la fase estacionaria después de 4 días. Por su parte, Yuan et al. (2022) demostraron la utilización del PS como fuente de carbono por *B. cereus*. A los 15 días la DO₆₀₀ aumentó de 0,2119 a 0,4433; a los 20 días incrementó de 0,4433 a 0,4592 y entre los 30 y 50 días la DO₆₀₀ disminuyó a 0,250. Los resultados evidenciaron el crecimiento bacteriano, significativo en la fase exponencial y disminuido en la fase estacionaria. Por lo contrario, en la fase de muerte la DO₆₀₀ disminuyó de forma drástica, debido a que los productos inhibitorios en el medio de cultivo causaron la lisis celular.

El tiempo requerido para la reducción del 2,3,5 trifeniltetrazolio (TTC) por las bacterias investigadas permitió diferenciarlas, al igual que en los reportes de Tan et al (2021a) y Tan et al. (2021b). La reducción del TTC es un indicador del metabolismo celular microbiano. Es una prueba rápida que verifica la degradación del PS al ser metabolizado como fuente de carbono. El indicador TTC oxidado es incoloro y al ser reducido como aceptor de electrones forma el compuesto coloreado formazan (Tan et al., 2021b).

Las bacterias degradadoras de PS seleccionadas se identificaron en los géneros *Bacillus* y *Pseudomonas*, reportados previamente por Salinas et al. (2024) con *B. subtilis* y *B. altitudinis*; Liu et al. (2023) con *B. aquimaris*; Xiang et al. (2023) con *B. velezensis*; Yuan et al. (2022) con *B. cereus*; Ganesh Kumar et al. (2021) con *B. paralicheniformis*; Udochukwa et al., (2020) con *B. subtilis* y Rahayu et al. (2019) con *B. amyloliquefaciens* y

B. firmus, Wang et al. (2024) con *Pseudomonas sp.*, Liu et al. (2024) con *P. carboxydovorans* y *P. balearica*; Salinas et al. (2024) con *P. alloputida*, Kim et al. (2021) con *P. lini* y Udochukwa et al. (2020) con *P. aeruginosa*.

Respecto al género *Bacillus*, se han reportado especies degradadoras de PS, con una eficiencia mayor a la de *Pseudomonas spp.* atribuido a la actividad enzimática presentada (Yuan et al., 2022; Salinas et al., 2024). Al respecto Salinas et al. (2024) evaluaron la degradación del LDPE, PE y PS y demostraron actividad lipasa, cutinasa y lacasa en *B. subtilis* y *B. altitudinis*, en comparación con la actividad cutinasa, polifenoloxidasa y lignina de *P. alloputida*. Por su parte, Yuan et al. (2022) evaluaron la actividad esterasa de *B. cereus* durante la degradación del PS y determinaron la actividad máxima después de 30 días, tiempo que correspondió a la fase logarítmica de crecimiento. En cuanto a *Pseudomonas spp.* se ha identificado al gen *AlkB* que codifica para la enzima *AlkB* que cataliza la hidroxilación de los alcanos y está asociada a las reacciones de oxidación e hidroxilación del PS (Wang et al., 2024). La enzima es una alcanohidroxilasa y al mezclarla con PS durante 18 horas incrementa el número de grupos hidroxilo, evidenciando la hidroxilación del polímero (Kim et al., 2021).

La alcalización ligera del medio de cultivo durante la degradación bacteriana del PS coincide con la investigación de Xiang et al. (2023), quienes reportaron que el pH (7,0) del caldo sales minerales aumentó a 7,4 - 7,9 después de 60 días de incubación. A su vez, Yuan et al. (2022) demostraron incremento del pH desde 7,01 a 8,23 después de 50 días del proceso degradativo del PS por *B. cereus*. El pH impacta en la actividad microbiana y las variaciones son importantes para la supervivencia. El incremento del pH durante la degradación del PS es atribuido a la producción y acumulación de componentes básicos aromáticos y otros metabolitos (Auta et al., 2018) o la transformación del polímero en compuestos alcalinos por la acumulación de metabolitos microbianos (Yuan et al., 2022).

Con *B. subtilis*, *B. megaterium* y *Pseudomonas* sp. en forma individual se alcanzó 4,48 - 6,09% de peso perdido en el PS y con el consorcio de estas bacterias 14,37%, superioridad que evidenció una interacción benéfica entre los microorganismos que puede ser comensalismo o mutualismo, donde uno o todos los microorganismos respectivamente son beneficiados por la relación (Cabeza-Vásquez et al., 2025). En comparación con las bacterias en forma individual, los consorcios microbianos demuestran mayor actividad degradativa, debido a que los metabolitos de un microorganismo pueden ser utilizados por otro para un mayor crecimiento y reproducción (Auta et al., 2017).

La tasa de degradación del PS alcanzada con el consorcio T6 fue de 1,298 mg día⁻¹ superior a 0,967 mg día⁻¹ alcanzada con *B. cereus* durante 60 días (Yuan et al., 2022). La superioridad de los consorcios bacterianos en la degradación del PS fue reportado por Xiang et al. (2023) quienes registraron 9,56 con *S. maltophilia*; 4,1 % con *B. velezensis* y 43,5% con ambas bacterias. Al respecto, Salinas et al. (2024) concluyeron que los microorganismos en forma individual no presentan todas las enzimas requeridas para la degradación de los plásticos, por lo que se propone el uso de diversos microorganismos cuya actividad enzimática se complementa en los denominados consorcios microbianos. Éstos tienen un amplio rango en la actividad catabólica que favorece la eficiencia en la degradación de los polímeros sintéticos (Cabeza-Vásquez et al., 2025).

Bacillus sp. alcanzó el mayor porcentaje (10,92) de peso perdido en el PS, en comparación con otras bacterias en forma individual; sin embargo, en los consorcios junto a *B. subtilis* y *B. megaterium* (T5) y *B. megaterium* y *Pseudomonas* spp. (T7) alcanzó 3,55 - 3,77% de peso perdido, valor inferior a los obtenidos por las bacterias individualmente. Este efecto negativo puede ser atribuido a la competencia interespecífica, al igual que en el reporte de Xiang et al. (2023), quienes demostraron 4,1% de pérdida de peso del PS con *B. velezensis*; 16,7% con *Acinetobacter radioresistens* y 16,1% en el consorcio de ambas

bacterias. En las interacciones microbianas antagónicas se produce competencia por espacio o nutrientes o una de las bacterias produce metabolitos que no favorece el crecimiento de la otra.

La pérdida del peso (gravimetría) en el PS degradado por los microorganismos puede ser complementada con técnicas analíticas que demuestran alteraciones en la superficie como rugosidades, grietas, biopelículas (SEM), disminución del ángulo de contacto con el agua que evidencia pérdida de la hidrofobicidad (ángulo de contacto, WCA), reducción en el peso molecular, Mw (cromatografía en gel con alta temperatura, GPC), cambios químicos en la estructura de la superficie (análisis por transformada de Fourier, FTIR) y en la estabilidad térmica (análisis termogravimétrico, TGA). Los cambios en las propiedades físicas, mecánicas y químicas del PS verifican la capacidad de los microorganismos para utilizar el polímero como fuente de carbono (Xiang et al., 2023; Liu et al., 2023; Yuan et al., 2022) y que tienen potencial para la biorremediación de ambientes contaminados.

CONCLUSIONES

5.1. El Ictiocompost y Biol obtenidos por APAPHCEPES, Lambayeque, presentaron similares contenidos de materia orgánica y relación carbono: nitrógeno. Ambos se diferenciaron por el pH, conductividad eléctrica y la humedad cuyos valores fueron de 7,0; 40 milimhos/cm y 36,3 % en el Ictiocompost y 4,6; 20,40 milimhos/cm y 85,38 en el Biol.

5.2. En el Ictiocompost se aislaron 130 bacterias y en el Biol 100 bacterias con predominio de Gram negativas y Gram positivas, respectivamente.

5.3. Las bacterias degradadoras de PS expandido alcanzaron una densidad óptica de 0,121 - 0,226 (Ictiocompost) y 0,087 - 0,307 (Biol) y redujeron el TTC después de 3 - 16 días (Ictiocompost) y 4 - 20 días (Biol).

5.4. Las bacterias degradadoras de PS expandido se identificaron como *Bacillus* sp. [R3 I9(1)], *B. subtilis* [R3 I10(2)], *B. megaterium* [R2 B2(2)] y *Pseudomonas* sp. [R3 B5(3)].

5.5. Los consorcios de bacterias degradadoras de PS expandido alcanzaron 3,55 - 14,37% de peso perdido en el polímero, con una tasa de reducción de 0,302 - 1,298 mg día⁻¹ y una vida media del PS expandido residual de 564,66 - 2860,12 días.

RECOMENDACIONES

Identificar a nivel molecular las bacterias *Bacillus* sp. [R3 I9(1)], *B. subtilis* [R3 I10(2)], *B. megaterium* [R2 B2(2)] y *Pseudomonas* sp. [R3 B5(3)].

Diferenciar las características del PS expandido degradado por las bacterias investigadas utilizando las técnicas de SEM, WCA, GPC, FTIR y TGA.

Cuantificar el oxígeno consumido y dióxido de carbono producido durante la degradación del PS expandido.

REFERENCIAS

- Ali, S., Elsamahy, T., Al-Tohamy, R., Zhu, D., Mahmoud, Y., Koutra, E., Metwally, A., Kornaros, M., y Sun, J. (2021). Plastic wastes biodegradation: Mechanisms, challenges and future prospects. *The Science of The Total Environment*, 780, 146590. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146590>
- Auta, H., Emenike, C., y Fauziah, S. (2017). Screening of Bacillus strains isolated from mangrove ecosystems in Peninsular Malaysia for microplastic degradation. *Environmental Pollution*, 231(2), 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.09.043>
- Auta, H., Emenike, C., Jayanthi, B., y Fauziah, S. H. (2018). Growth kinetics and biodeterioration of polypropylene microplastics by Bacillus sp. and Rhodococcus sp. isolated from mangrove sediment. *Marine pollution bulletin*, 127, 15-21.
- Bello, T., Akabeb, M., y Isaa, M. (2020). Biodegradation of Luffa Fiber Reinforced Waste Polystyrene foam composite in a natural compost environment. *Premier Journal of Engineering and Applied Sciences*, 1(3), 9-15. https://www.researchgate.net/profile/Ibrahim-Omiogbemi/publication/349163952_Geotechnical_Properties_of_Bagasse_Ash_Stabilized_Black_Cotton_Soil/links/6023a6ed4585158939937501/Geotechnical-Properties-of-Bagasse-Ash-Stabilized-Black-Cotton-Soil.pdf#page=17
- Cabeza-Vásquez, H., Reaño, Y., Sánchez, M., Barturen, A., Caro, J., Vásquez, S., Villanueva C. y Carreño, C. (2025). Low-Density Polyethylene (LDPE) Degradation by Consortia of Chryseobacterium Sp. and Methylobacterium Spp. Isolated From a Solid Waste Landfill. *Applied and Environmental Soil Science*, 2025(1), 9895980. <https://doi.org/10.1155/aess/9895980>
- Caruajulca, L., Huamán, K., Sánchez, M., Caro, J., Barturén, A., Vásquez, S., & Carreño, C. (2025). *Klebsiella pneumoniae* isolated from the intestines of Tenebrio molitor larvae (Coleoptera: Tenebrionidae) that consume expanded polystyrene. *Revista Ambiente & Agua*, 20, e3037. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.3037>
- Ccallo, A., Sacaca, F., Callata, R., Vigo, E. y Calla, J. (2020). Biodegradación de polímeros de plástico por Pseudomonas. *Revista de Investigación: Ciencia, Tecnología y Desarrollo*, 6 (2) 46-59. https://revistas.upeu.edu.pe/index.php/ri_ctd/article/view/1457
- Chen, Z., Zhao, W., Xing, R., Xie, S., Yang, X., Cui, P., Lu, J., Liao, H., Yu, Z., Wang, S. y Zhou, S. (2020). Enhanced in situ biodegradation of microplastics in sewage sludge using hyperthermophilic composting technology. *Journal of Hazardous Materials*, 384, 121271. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121271>
- Chunga, L., y Cieza, C.(2017). *Biodegradación de poliestireno utilizando microorganismos presentes en el humus de lombriz durante los meses, Octubre–Diciembre 2016* [tesis de pregrado, Universidad César Vallejo] https://repositorio.udl.edu.pe/bitstream/UDL/83/3/TESIS_BIODEGRADACION.pdf
- Cruz, T. y Zaldúa, J. (2018). Análisis de ciclo de vida del poliestireno expandido usado en contenedores de alimentos en Colombia. *Ingeciencia*, 3(2), 53-65.

http://editorial.ucentral.edu.co/ojs_uc/index.php/Ingeciencia/article/view/2874/2835

- DasSarma, S. y DasSarma, P. (2017). Halophiles. *John Wiley & Sons*. DOI: 10.1002/9780470015902.a0000394.pub4
- De la Torre, G., Dioses Salinas, D., Castro, J., Antay, R., Fernández, N., Espinoza, D., y Saldaña, M. (2020). Abundance and distribution of microplastics on sandy beaches of Lima, Peru. *Marine Pollution Bulletin*, 151, 110877. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.110877>
- Delgado, E., Benavente, G., y Cáceres, G. (2019). Elaboración de fertilizante orgánico a partir de vísceras de trucha (*Oncorhynchus mykiss*) y jurel (*Trachurus murphyi*), cuantificación y evaluación del efecto de los nutrientes minerales. *In Anales Científicos* (Vol. 80, No. 2, pp. 452-461). Universidad Nacional Agraria La Molina. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7522821>
- Dey, A., Bose, H., Mohapatra, B. y Sar, P. (2020). Biodegradation of unpretreated low density polyethylene (ldpe) by *Stenotrophomonas* sp. and *Achromobacter* sp., isolated from waste dumpsite and drilling fluid. *Frontiers in Microbiology*, 11(1), 1-15. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33391224/>
- Diario Oficial El Peruano. (2021). Ordenanza que promueve la disminución progresiva del plástico de un solo uso y otros envases descartables en la provincia de Lima. Empresa Peruana de Servicios Editoriales, Perú. URL DISPONIBLE EN: <https://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/ordenanza-que-promueve-la-disminucion-progresiva-del-plastic-ordenanza-no-2362-2021-1964775-2/>
- Diario Oficial El Peruano. (2021). Ley que regula el plástico de un solo uso y los recipientes o envases descartables. Empresa Peruana de Servicios Editoriales, Perú. URL DISPONIBLE EN: <https://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/ley-que-regula-el-plastico-de-un-solo-uso-y-los-recipientes-ley-n-30884-1724734-1/>
- Farro, R., Ramos, W., Iglesias, S., y Carreño, C. (2021). Aislamiento e identificación de microorganismos ambientales del museo Tumbas Reales de Sipán. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 24(2). http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0123-42262021000200017&script=sci_arttext
- Ganesh Kumar, A., Hinduja, M., Sujitha, K., Nivedha Rajan, N., y Dharani, G. (2021). Biodegradation of polystyrene by deep-sea *Bacillus paralicheniformis* G1 and genome analysis. *The Science of The Total Environment*, 774, 145002. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145002>
- Gavilan, M. y Palomino, W. (2023). *Recuperación de residuos de poliestireno expandido con aceite esencial de mandarina para elaborar un barniz ecológico para madera*. [tesis de pregrado, Universidad Continental]. <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/12963>
- Gaytan, I., Sánchez, A., Burelo, M., Vargas, M., Liachko, I., Press, M., Sullivan, Cruz, M., y Loza, H. (2020). Degradation of recalcitrant polyurethane and xenobiotic additives by a selected landfill microbial community and its biodegradative potential revealed by proximity ligation-based metagenomic análisis. *Frontiers in Microbiology*, 10(2986). <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.02986>

- Gil, R., Leiva, F., Lezama, M., Bardales, C., y León, C. (2023). Biofertilizante “biol”: caracterización física, química y microbiológica. *Alfa Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinaria*, 7(20), 336-345. <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v7i20.219>
- Gupta, K. y Devi, D. (2019). Biodegradation of low density polyethylene by selected *Bacillus* sp. *Gazi University Journal of Science*, 32(3), 802 – 813. <https://doi.org/10.35378/gujs.496392>
- Gupta, K. y Devi, D. (2020). Characteristics investigation on biofilm formation and biodegradation activities of *Pseudomonas aeruginosa* strain ISJ14 colonizing low density polyethylene (LDPE) surface. *Heliyon*, 6(7), 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04398>
- Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, P. (2014). *Metodología de la Investigación* (6ta ed.). Hill Interamericana Editores S.A. Hill. <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>
- Ho, B., Roberts, T., y Lucas, S. (2018). An overview on biodegradation of polystyrene and modified polystyrene: the microbial approach. *Critical Reviews in Biotechnology*, 38(2), 308–320. <https://doi.org/10.1080/07388551.2017.1355293>
- Hou, L. y Majumder, E. (2021). Potential for and Distribution of Enzymatic Biodegradation of Polystyrene by Environmental Microorganisms . *Materials*, 14 (503). <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7864516/pdf/materials-14-00503.pdf>
- Instituto Nacional de Calidad [INACAL] Art. 1. 31 de Agosto de 2020 (Perú).
- Jaiswal, S., Sharma, B., y Shukla, P. (2020). Integrated approaches in microbial degradation of plastics. *Environmental Technology & Innovation*, 17, 100567. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2019.100567>
- Kaur, P., Singh, K., y Singh, B. (2022). Microplastics in soil: Impacts and microbial diversity and degradation. *Pedosphere*, 32(1), 49–60. [https://doi.org/10.1016/s1002-0160\(21\)60060-7](https://doi.org/10.1016/s1002-0160(21)60060-7)
- Khan, K., Li, G., Du, D., Ali, B., Zhang, S., Zhong, M., y Guo, Y. (2023). Impact of polystyrene microplastics with combined contamination of norfloxacin and sulfadiazine on *Chrysanthemum coronarium*. *Environmental Pollution*, 316, 120522. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0269749122017365>
- Kim, H. , Jo, J. , Kim, Y., Le, T. , Cho, C. , Yun, C., Chi, W. y Yeom, S. (2021). Biodegradation of polystyrene by bacteria from the soil in common environments. *Journal of Hazardous Materials*, 416, 126239. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126239>
- Kwona, B., Koizumi, K., Chung, S., Kodera, Y., Kim, J. y Saido, K. (2015). Global styrene oligomers monitoring as new chemical contamination from polystyrene plastic marine pollution. *Journal of Hazardous Materials*, 300, pp 359-367. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2015.07.039>
- Lakhal, D., Boutaleb, N., Taiek, T., Fathi, A., Mekouar, M., Abouakil, N., Lazar, S., Antr, S. y Bahlaouan, B. (2017). Mixture Experimental Design in the Development of a Bio Fertilizer from Fish Waste, Molasses and Scum. *International Journal of*

- Engineering Research and Technology*, 6. <https://www.ijert.org/research/mixture-experimental-design-in-the-development-of-a-bio-fertilizer-from-fish-waste-molasses-and-scum-IJERTV6IS060242.pdf>
- Liu, R., Zhao, S., Zhang, B., Li, G., Fu, X., Yan, P., y Shao, Z. (2023). Biodegradation of polystyrene (PS) by marine bacteria in mangrove ecosystem. *Journal of Hazardous Materials*, 442, 130056. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.130056>
- Mao, Y., Ai, H., Chen, Y., Zhang, Z., Zeng, P., Kang, L., Li, W., Gu, W., He, Q., y Li, H. (2018). Phytoplankton response to polystyrene microplastics: Perspective from an entire growth period. *Chemosphere*, 208, 59–68. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.05.170>
- Maquén, J., Aldana, S., Muguera, L., Sánchez, M., Caro, J., & Carreño, C. (2023). Biofertilizer based on fish waste increases the yield of *Vigna unguiculata* L. Walp, *Zea mays* L., and the rhizospheric microbiota. *Scientia Agropecuaria*, 14(4), 529–538. <http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2023.044>
- Maroof, L., Khan, I., Yoo, H., Kim, S., Park, H., Ahmad, B., y Azam, S. (2021). Identification and characterization of low density polyethylene-degrading bacteria isolated from soils of waste disposal sites. *Environmental Engineering Research*, 26(3), 1–9. <https://doi.org/10.4491/eer.2020.167>
- Montero M. (2022). *Influencia del estiércol de ganado vacuno en las propiedades fisicoquímicas y metales pesados del compost doméstico, distrito de Campo verde, provincia de coronel portillo, región Ucayali* [tesis pregrado, Universidad Nacional de Ucayali]. http://repositorio.unu.edu.pe/bitstream/handle/UNU/5400/B5_2022_UNU_AMBIENTAL_2022_T_MIGUEL_MONTERO.pdf?sequence=1
- Muñiz, R. y Rahman, M. (2025). Microplastics in coastal and marine environments: A critical issue of plastic pollution on marine organisms, seafood contaminations, and human health implications. *Journal of Hazardous Materials Advances*, 18, 100663. <https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2025.100663>
- Novotný C., Malachova, K., Adamus, G., Kwiecien, M., Lotti, N., Soccio, M., Verney, V. y Fava, F., (2018). Deterioration of irradiation/high-temperature pretreated, linear low-density polyethylene (LLDPE) by *Bacillus amyloliquefaciens*. *Int. Biodeterior. Biodegrad.* 132, 259–267. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2018.04.014>
- Rahayu, T., Indrawati, I. y Herlina, T. (2019). Morphological Structure of Polystyrene Degradated by Soil Bacteria from Sarimukti Final Landfill Cipatat Bandung. *International Journal of Science and Society (IJSOC)*, 1 (3). <https://doi.org/10.54783/ijssoc.v1i3.36>
- Rathakrishnan, D., y Gopalan, K. (2022). Isolation and characterization of halophilic isolates from Indian salterns and their screening for production of hydrolytic enzymes. *Environmental Challenges*, 6, 100426. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100426>
- Ravenna E. (2021). Florida trabaja en normativa para prohibir los envases de poliestireno en los alimentos. Portal Oficial de la Fruta Chilena de Exportación. URL DISPONIBLE EN: <https://www.simfruit.cl/florida-trabaja-en-normativa-para-prohibir-los-envases-de-poliestireno-en-los-alimentos/>

- Rezende R., Eddingsaas N., Parthasarathy, A., Chu, J., Tyler, A., Freezman y Hudson A. (2022). Polystyrene Degradation by *Exiguobacterium* sp. RIT 594: Preliminary Evidence for a Pathway Containing an Atypical Oxygenase. *Microorganisms*, 10(8), 1619. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10081619>
- Rowe J. (2019). *Química orgánica*. LibreTexts. [https://espanol.libretexts.org/Vocacional/Tecnolog%C3%ADa_de_Sistemas_de_Agua/Water_135%3A_Calidad_del_Agua_\(Rowe\)/01%3A_Cap%C3%ADtulos/1.04%3A_Qu%C3%ADmica_Org%C3%A9nica](https://espanol.libretexts.org/Vocacional/Tecnolog%C3%ADa_de_Sistemas_de_Agua/Water_135%3A_Calidad_del_Agua_(Rowe)/01%3A_Cap%C3%ADtulos/1.04%3A_Qu%C3%ADmica_Org%C3%A9nica)
- Salinas, J., Martínez, M., Jurado, M., Suárez, F., López, J., Estrella, M., Toribio, A., Carpena, V., Barbani, N. Cappello, M, Cinelli, P. y López, M. (2024). Microbial consortia for multi-plastic waste biodegradation: Selection and validation. *Environmental Technology & Innovation*, 36, 103887. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2024.103887>
- Siesquen, B., y Trujillo, L. (2019). *Utilización del gusano de cera (Galleria mellonella) para la biodegradación de los contenedores de poliestireno expandido (tecnopor), Moyobamba, 2019* [tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/47724/Siesquen_AB_N-Trujillo_VLM-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Sobhani, Z., Panneerselvan, L., Fang, C., Naidu, R., y Megharaj, M. (2021). Chronic and Transgenerational Effects of Polystyrene Microplastics at Environmentally Relevant Concentrations in Earthworms (*Eisenia fetida*). *Environmental toxicology and chemistry*, 40(8), 2240–2246. <https://doi.org/10.1002/etc.5072>
- Statutes of Maryland. (2020). MRS Title 38. Estado de Maryland. Estados Unidos. URL DISPONIBLE EN: <https://legislature.maine.gov/statutes/38/title38ch15-A.pdf>
- Tan, K., Mohd, N., Mohd, A., Razak, A., y Kamarudin, K. (2021a). Isolation and identification of polystyrene degrading bacteria from zophobas morio's gut. *Walailak Journal of Science and Technology*, 18(8), 9118. <https://doi.org/10.48048/wjst.2021.9118>
- Tan, K., Mohd, A., Razak, A., y Mohd, N. (2021b). *Bacillus megaterium*: a potencial and an efficient bio-degrader of polystyrene. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 64, 1-12. <https://doi.org/10.1590/1678-4324-2021190321>
- Thaysen, C., Stevack, K., Ruffolo, R., Poirier, D., De Frond, H., DeVera, J., Chen, G. y Rochman, C. M. (2018). Leachate From Expanded Polystyrene Cups Is Toxic to Aquatic Invertebrates (*Ceriodaphnia dubia*). *Frontiers in Marine Science*, 5. doi:10.3389/fmars.2018.00071
- Udochukwa, U., Atuanya, E. y Usman, Z. (2022). Biodegradability of polystyrene plastics by bacterial isolates from plastic composted waste soil and molecular characterization of plastic degrading bacterial isolates. *African Journal of Microbiology Research* 16(6), 247-257. DOI: 10.5897/AJMR2020.9341
- Valente, B., Andrezza, R., Xavier, E., Gomes, M., Pereira, H., y Ávila, F.. (2017). Composting for valuation of marine fish waste. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, 18(4), 594-603. <https://doi.org/10.1590/S1519-99402017000400010>

- Wang, W., Yao, S., Zhao, Z., Liu, Z., Li, Q. X., Yan, H., & Liu, X. (2024). Degradation and potential metabolism pathway of polystyrene by bacteria from landfill site. *Environmental Pollution*, 343, 123202. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.123202>
- Waqas, M., Haris, M., Asim, N., Islam, H., Abdullah, A., Khan, A., Khattak, H., Waqas, M. y Ali, S. (2021). Biodegradable Potential of *Bacillus amyloliquefaciens* and *Bacillus safensis* using low density polyethylene thermoplastic (LDPE) substrate. *European Journal of Environment and Public Health*, 5(2), 1-4. <https://doi.org/10.21601/ejeph/9370>
- Xiang, P., Zhang, Y., Zhang, T., Wu, Q., Zhao, C., y Li, Q. (2023). A novel bacterial combination for efficient degradation of polystyrene microplastics. *Journal of Hazardous Materials*, 458, 131856. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.131856>
- Yuan, J., Cao, J., Yu, F. y Ma, J. (2022). Microbial degradation of polystyrene microplastics by a novel isolated bacterium in aquatic ecosystem. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 30. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2022.100873>

ANEXOS

Anexo 1

Medio de cultivo: Caldo mínimo basal libre de carbono en Tan et al., 2021.

K_2HPO_4 (fosfato dipotásico) 0,7 gL⁻¹

KH_2PO_4 (fosfato potásico) 0,7 gL⁻¹

NaCl (cloruro sódico) 0,002 gL⁻¹

NH_4NO_3 (nitrato amónico) 0,005 gL⁻¹

$MgSO_4 \cdot 7H_2O$ (sulfato de Magnesio) 1,0 gL⁻¹

$ZnSO_4 \cdot H_2O$ (sulfato de Zinc) 0,001 gL⁻¹

$MnSO_4 \cdot H_2O$ (sulfato de Manganeseo) 0,001 gL⁻¹

$FeSO_4 \cdot 7H_2O$ (sulfato de Hierro) 0,002 gL⁻¹

Agua desionizada 1L

Anexo 2




Instituto Nacional de Innovación Agraria

LABORATORIO ANALISIS DE SUELOS Y AGUAS

Tipo de Análisis **Completo**
Nombre **ADELA RISCO LEÓN**
ROSA TIPARRA MONTOYA
Procedencia **SANTA ROSA**
Muestra **ICTIOCOMPOST**
Fecha de Emisión **14/09/2024**

Muestra	
pH	7.00
Cec. (milimhos/Cm)	40.00
Materia Orgánica (%)	28.62
Nitrógeno (%)	1.39
Fósforo (P ₂ O ₅) (%)	2.15
Potasio (K ₂ O) (%)	1.17
Calcio (CaO) (%)	2.00
Magnesio (MgO) (%)	0.76
Materia Seca (%)	63.70
Humedad (%)	36.30
Cenizas (%)	10.70
Carbono (%)	16.60
Relación C/N (%)	11.94

Resultado: Muestra con pH de reacción neutra y nivel alto de salinidad. Su contenido nutricional es aceptable con buen tenor de Materia Orgánica y con presencia buena de Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Calcio, Magnesio y cenizas. La relación Carbono/Nitrógeno (C/N) es buena y permite que su aplicación al campo rápido se mineraliza. Para fines comerciales bajar el Porcentaje de humedad a 25% ó 30%. Utilizar en plantas ornamentales, frutales fuertes como mango, uva, granadas y cereales con dosis de 5 a 8 Kg/árbol.



Inés Dante Bolivia Díaz
Jefe Laboratorio de Química y Suelos
Dirección de Química y Suelos

Características físico-químicas y microbiológicas del Ictiocompost, Lambayeque 2024

Características físico-químicas	Unidad	Valores
pH	-	7,00
Conductividad eléctrica	milimhos/cm	40,00
Humedad	%	36,30
Materia seca	%	63,70
Cenizas	%	10,70
Materia orgánica	%	28,62
Carbono (C)	%	16,60
Nitrógeno (N)	%	1,39
Fósforo (P ₂ O ₅)	%	2,15
Potasio (K ₂ O)	%	1,17
Relación C/N	%	11,94
Calcio (CaO)	%	2,00
Magnesio (MgO)	%	0,76
Características microbiológicas	Valores (NMP 100 mL ⁻¹)	
Coliformes totales	< 1,8	
Coliformes termotolerantes	< 1,8	
<i>Escherichia coli</i>	< 1,8	
<i>Salmonella</i> sp.	< 1,8	

*Laboratorio de Suelos y Aguas (LABSAF) del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA)

Anexo 3



Instituto Nacional de Innovación Agraria

LABORATORIO ANALISIS DE SUELOS Y AGUAS

Tipo de Análisis **Completo**
Nombre **ADELA RISCO LEÓN**
ROSA TIPARRA MONTOYA
Procedencia **SANTA ROSA**
Muestra **BIOL**
Fecha de Emisión **14/09/2024**

Muestra	
pH	4.60
Cec (milimhos/Cm)	20.40
Materia Orgánica (%)	32.63
Nitrógeno (%)	1.58
Fósforo (P ₂ O ₅) (%)	2.13
Potasio (K ₂ O) (%)	1.24
Calcio (CaO) (%)	2.23
Magnesio (MgO) (%)	0.86
Materia Seca (%)	14.70
Humedad (%)	85.30
Cenizas (%)	10.05
Carbono (%)	18.90
Relación C/N (%)	11.96

Resultado: Muestra con pH de reacción ácida y contenido normal de salinidad.

En su composición química se resalta el buen tenor de Materia Orgánica, Nitrógeno, Calcio, Potasio, y Magnesio. Siendo la Materia seca normal para este tipo de producto.

Las cenizas son aceptables, así como el Carbono, dando una buena relación Carbono/Nitrógeno (C/N).

Se puede usar como abono líquido en cultivos semitolerantes y foliares en arroz y mango.


ING. JANETE BOLIVIA DIAZ
Jefe Laboratorio de Química y Suelos
Vere Lab. de Química y Suelos

Características físico-químicas y microbiológicas del Biol, Santa Rosa 2024

Características físico-químicas	Unidad	Valores
pH	-	4,60
Conductividad eléctrica	milimhos/cm	20,40
Humedad	%	85,30
Materia seca	%	14,70
Cenizas	%	10,05
Materia orgánica	%	32,63
Carbono (C)	%	18,90
Nitrógeno (N)	%	1,58
Fósforo (P ₂ O ₅)	%	2,13
Potasio (K ₂ O)	%	1,24
Relación C/N	%	11,96
Calcio (CaO)	%	2,23
Magnesio (MgO)	%	0,86
Características microbiológicas	Valores (NMP 100 mL ⁻¹)	
Coliformes totales	< 1,8	
Coliformes termotorelantes	< 1,8	
<i>Escherichia coli</i>	< 1,8	
<i>Salmonella</i> sp.	< 1,8	

*Laboratorio de Suelos y Aguas (LABSAF) del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA)

Anexo 4

Morfología y reacción a la coloración de Gram de bacterias aisladas de Ictiocompost , Lambayeque 2024.

Bacterias código		Bacterias código		Bacterias código		Bacterias código		Bacterias código		Bacterias código	
R1 I 1(1)	Cocos Gram -	R1 I 5(3)	Cocos Gram -	R1 I 9(4)	Cocos Gram-	R2 I 3(4)	Cocos Gram +	R2 I 7(4)	Bacilos Gram -	R3 I 1(3)	Cocos Gram +
R1 I 1(2)	Bacilos Gram +	R1 I 5(4)	Cocos Gram -	R1 I 9(5)	Bacilos Gram +	R2 I 3(5)	Cocos Gram +	R2 I 7(5)	Bacilos Gram +	R3 I 1(4)	Cocos Gram -
R1 I 1(3)	Cocos Gram -	R1 I 5(5)	Cocos Gram -	R1 I 10(1)	Cocos Gram -	R2 I 4(1)	Cocos Gram -	R2 I 8(1)	Bacilos Gram +	R3 I 2(1)	Bacilos Gram +
R1 I 1(4)	Bacilos Gram +	R1 I 6(1)	Cocos Gram -	R1 I 10(2)	Cocos Gram-	R2 I 4(2)	Bacilos Gram +	R2 I 8(2)	Cocos Gram -	R3 I 2(2)	Cocos Gram -
R1 I 2(1)	Bacilos Gram +	R1 I 6(2)	Cocos Gram +	R1 I 10(3)	Cocos Gram-	R2 I 4(3)	Bacilos Gram +	R2 I 8(3)	Cocos Gram -	R3 I 2(3)	Bacilos Gram +
R1 I 2(2)	Cocos Gram -	R1 I 6(3)	Cocos Gram +	R1 I 10(4)	Cocos Gram-	R2 I 4(4)	Bacilos Gram +	R2 I 8(4)	Cocos Gram +	R3 I 2(4)	Cocos Gram -
R1 I 2(3)	Bacilos Gram +	R1 I 6(4)	Bacilos Gram +	R2 I 1(1)	Bacilos Gram +	R2 I 5(1)	Bacilos Gram -	R2 I 9(1)	Bacilos Gram +	R3 I 3(1)	Bacilos Gram -
R1 I 2(4)	Bacilos Gram +	R1 I 7(1)	Bacilos Gram +	R2 I 1(2)	Cocos Gram +	R2 I 5(2)	Cocos Gram -	R2 I 9(2)	Bacilos Gram -	R3 I 3(2)	Bacilos Gram -
R1 I 3(1)	Cocos Gram +	R1 I 7(2)	Cocos Gram -	R2 I 1(3)	Cocos Gram -	R2 I 5(3)	Bacilos Gram +	R2 I 9(3)	Cocos Gram -	R3 I 3(3)	Cocos Gram -
R1 I 3(2)	Cocos Gram -	R1 I 7(3)	Cocos Gram -	R2 I 1(4)	Bacilos Gram+	R2 I 5(4)	Bacilos Gram +	R2 I 9(4)	Bacilos Gram +	R3 I 3(4)	Bacilos Gram +
R1 I 3(3)	Cocos Gram -	R1 I 7(4)	Cocos Gram -	R2 I 1(5)	Cocos Gram -	R2 I 5(5)	Cocos Gram +	R2 I 9(5)	Bacilos Gram +	R3 I 3(5)	Bacilos Gram +
R1 I 3(4)	Cocos Gram -	R1 I 8(1)	Cocos Gram -	R2 I 2(1)	Cocos Gram +	R2 I 6(1)	Cocos Gram +	R2 I 10(1)	Cocos Gram +	R3 I 4(1)	Bacilos Gram +
R1 I 4(1)	Cocos Gram -	R1 I 8(2)	Bacilos Gram +	R2 I 2(2)	Bacilos Gram -	R2 I 6(2)	Cocos Gram +	R2 I 10(2)	Cocos Gram +	R3 I 4(2)	Cocos Gram -
R1 I 4(2)	Cocos Gram -	R1 I 8(3)	Cocos Gram -	R2 I 2(3)	Cocos Gram +	R2 I 6(3)	Bacilos Gram +	R2 I 10(3)	Cocos Gram +	R3 I 4(3)	Cocos Gram -
R1 I 4(3)	Cocos Gram -	R1 I 8(4)	Cocos Gram -	R2 I 2(4)	Bacilos Gram -	R2 I 6(4)	Cocos Gram -	R2 I 10(4)	Cocos Gram +	R3 I 4(4)	Cocos Gram -
R1 I 4(4)	Bacilos Gram +	R1 I 9(1)	Bacilos Gram +	R2 I 3(1)	Cocos Gram +	R2 I 7(1)	Bacilos Gram -	R2 I 10(5)	Bacilos Gram +	R3 I 5(1)	Cocos Gram -
R1 I 5(1)	Cocos Gram +	R1 I 9(2)	Cocos Gram -	R2 I 3(2)	Cocos Gram +	R2 I 7(2)	Cocos Gram+	R3 I 1(1)	Cocos Gram -	R3 I 5(2)	Cocos Gram -
R1 I 5(2)	Bacilos Gram +	R1 I 9(3)	Cocos Gram -	R2 I 3(3)	Bacilos Gram +	R2 I 7(3)	Cocos Gram -	R3 I 1(2)	Cocos Gram +	R3 I 5(3)	Bacilos Gram -

Continuación...

Bacterias código		Bacterias código		Bacterias código		Bacterias código		Bacterias código		Bacterias código	
R3 I 5(4)	Bacilos Gram +	R3 I 6(3)	Cocos Gram -	R3 I 7(3)	Cocos Gram +	R3 I 8(3)	Cocos Gram +	R3 I 9(2)	Bacilos Gram +	R3 I 10(3)	Cocos Gram -
R3 I 5(5)	Cocos Gram -	R3 I 6(4)	Bacilos Gram +	R3 I 7(4)	Bacilos Gram +	R3 I 8(4)	Bacilos Gram +	R3 I 9(3)	Bacilos Gram +	R3 I 10(4)	Bacilos Gram -
R3 I 6(1)	Bacilos Gram +	R3 I 7(1)	Cocos Gram +	R3 I 8(1)	Cocos Gram +	R3 I 8(5)	Cocos Gram +	R3 I 10(1)	Bacilos Gram +		
R3 I 6(2)	Bacilos Gram +	R3 I 7(2)	Bacilos Gram +	R3 I 8(2)	Bacilos Gram +	R3 I 9(1)	Bacilos Gram +	R3 I 10(2)	Bacilos Gram +		

Anexo 5

Morfología y reacción a la coloración de Gram de bacterias aisladas de Biol , Lambayeque 2024

Bacterias código		Bacterias código		Bacterias código		Bacterias código		Bacterias código		Bacterias código	
R1 B 1(1)	Cocos Gram +	R1 B 6(2)	Bacilos Gram -	R2 B 1(3)	Cocos Gram +	R2 B 7(2)	Bacilos Gram +	R3 B 2(4)	Bacilos Gram -	R3 B 8(2)	Bacilos Gram +
R1 B 1(2)	Bacilos Gram +	R1 B 6(3)	Cocos Gram -	R2 B 2(1)	Cocos Gram +	R2 B 7(3)	Cocos Gram +	R3 B 3(1)	Cocos Gram -	R3 B 8(3)	Bacilos Gram -
R1 B 1(3)	Cocos Gram -	R1 B 6(4)	Bacilos Gram +	R2 B 2(2)	Bacilos Gram +	R2 B 8(1)	Cocos Gram +	R3 B 3(2)	Bacilos Gram +	R3 B 8(4)	Cocos Gram -
R1 B 1(4)	Bacilos Gram +	R1 B 7(1)	Bacilos Gram +	R2 B 2(3)	Bacilos Gram -	R2 B 8(2)	Cocos Gram +	R3 B 3(3)	Bacilos Gram +	R3 B 9(1)	Bacilos Gram +
R1 B 2(1)	Cocos Gram -	R1 B 7(2)	Cocos Gram +	R2 B 2(4)	Cocos Gram -	R2 B 8(3)	Bacilos Gram +	R3 B 4(1)	Bacilos Gram -	R3 B 9(2)	Bacilos Gram +
R1 B 2(2)	Cocos Gram -	R1 B 7(3)	Cocos Gram +	R2 B 3(1)	Bacilos Gram +	R2 B 8(4)	Bacilos Gram +	R3 B 4(2)	Cocos Gram -	R3 B 9(3)	Cocos Gram +
R1 B 2(3)	Cocos Gram -	R1 B 8(1)	Cocos Gram +	R2 B 3(2)	Bacilos Gram -	R2 B 9(1)	Cocos Gram +	R3 B 4(3)	Bacilos Gram +	R3 B 10(1)	Cocos Gram +
R1 B 2(4)	Bacilos Gram +	R1 B 8(2)	Bacilos Gram +	R2 B 3(3)	Cocos Gram -	R2 B 9(2)	Bacilos Gram +	R3 B 5(1)	Cocos Gram +	R3 B 10(2)	Cocos Gram +
R1 B 3(1)	Bacilos Gram +	R1 B 8(3)	Cocos Gram -	R2 B 4(1)	Bacilos Gram +	R2 B 9(3)	Cocos Gram -	R3 B 5(2)	Cocos Gram +	R3 B 10(3)	Bacilos Gram +
R1 B 3(2)	Cocos Gram +	R1 B 9(1)	Bacilos Gram +	R2 B 4(2)	Bacilos Gram +	R2 B 10(1)	Bacilos Gram -	R3 B 5(3)	Bacilos Gram -		
R1 B 3(3)	Cocos Gram +	R1 B 9(2)	Bacilos Gram -	R2 B 4(3)	Cocos Gram +	R2 B 10(2)	Cocos Gram -	R3 B 5(4)	Bacilos Gram +		
R1 B 4(1)	Cocos Gram +	R1 B 9(3)	Cocos Gram -	R2 B 5(1)	Cocos Gram +	R2 B 10(3)	Bacilos Gram +	R3 B 6(1)	Cocos Gram +		
R1 B 4(2)	Cocos Gram +	R1 B 10(1)	Bacilos Gram +	R2 B 5(2)	Cocos Gram +	R3 B 1(1)	Cocos Gram -	R3 B 6(2)	Cocos Gram +		
R1 B 4(3)	Cocos Gram +	R1 B 10(2)	Bacilos Gram +	R2 B 5(3)	Bacilos Gram +	R3 B 1(2)	Cocos Gram +	R3 B 6(3)	Cocos Gram +		
R1 B 5(1)	Bacilos Gram +	R1 B 10(3)	Cocos Gram +	R2 B 6(1)	Cocos Gram -	R3 B 1(3)	Cocos Gram +	R3 B 7(1)	Bacilos Gram +		
R1 B 5(2)	Cocos Gram +	R1 B 10(4)	Cocos Gram +	R2 B 6(2)	Bacilos Gram -	R3 B 2(1)	Cocos Gram +	R3 B 7(2)	Bacilos Gram +		
R1 B 5(3)	Cocos Gram -	R2 B 1(1)	Cocos Gram +	R2 B 6(3)	Cocos Gram -	R3 B 2(2)	Bacilos Gram +	R3 B 7(3)	Bacilos Gram -		
R1 B 6(1)	Cocos Gram -	R2 B 1(2)	Bacilos Gram +	R2 B 7(1)	Bacilos Gram +	R3 B 2(3)	Cocos Gram +	R3 B 8(1)	Cocos Gram -		

Anexo 6

Reacción a la coloración de Gram de bacterias aisladas de Ictiocompost y Biol

Coloración	Ictiocompost	Biol
Gram +	59	68
Gram -	71	32

Anexo 7

Morfología de bacterias aisladas de Ictiocompost y Biol, Lambayeque 2024.

Morfología	Ictiocompost	Biol
Bacilos	52	42
Cocos	78	58

Anexo 8

Morfotipos de colonias de bacterias aisladas de Ictiocompost en agar nutritivo, Lambayeque 2023.

Muestra N°	Repeticiones		
	R1	R2	R3
1	Morfotipo 1,1,2,3	Morfotipo 1,1,2,3	Morfotipo 4,11,11,3
2	Morfotipo 3,4,5,9	Morfotipo 3,4,5,9	Morfotipo 8,11,11,6
3	Morfotipo 1, 5,3,6	Morfotipo 1, 5,3,6	Morfotipo 2,3,8,11,6
4	Morfotipo 2,8,6,6,	Morfotipo 2,8,6,6,	Morfotipo 3,11, 11,3
5	Morfotipo 2,3,8,9,4	Morfotipo 2,3,8,9,4	Morfotipo 2,2,9,11,4
6	Morfotipo 2,2,3,4	Morfotipo 2,2,3,4	Morfotipo 2,2, 11,6
7	Morfotipo 2, 2,3,8	Morfotipo 2, 2,3,8	Morfotipo 2,8,9,11
8	Morfotipo 2, 4, 4,5	Morfotipo 2, 4, 4,5	Morfotipo 3,8,9,11,5
9	Morfotipo 2,4, 9,3,5	Morfotipo 2,4, 9,3,5	Morfotipo 9,8,8
10	Morfotipo 2,3,3,11	Morfotipo 2,3,3,11	Morfotipo 2,8,8,8

Anexo 9

Morfotipos de colonias de bacterias aisladas de Biol en agar nutritivo, Lambayeque 2023.

Muestra N°	Repeticiones		
	R1	R2	R3
1	Morfotipo 3,3,3,13	Morfotipo 4,15,16	Morfotipo 3,3,16
2	Morfotipo 2,3,3,13	Morfotipo 8,16,16,16	Morfotipo 2,11,16,16
3	Morfotipo 3,13,13	Morfotipo 8,16,16	Morfotipo 3,3,16
4	Morfotipo 2,3,12,14	Morfotipo 13,13,16	Morfotipo 3,11,11,16
5	Morfotipo 3,3,11,11	Morfotipo 16,16,17	Morfotipo 2,3,3,16
6	Morfotipo 2,3,3,16	Morfotipo 17,17,17	Morfotipo 2,3,8
7	Morfotipo 2,2,8	Morfotipo 16, 17,17	Morfotipo 2,2,8,16
8	Morfotipo 3,3,12	Morfotipo 12,12,12,15	Morfotipo 2,3,3,8
9	Morfotipo 3,13,13	Morfotipo 3,16,16	Morfotipo 2,3,3
10	Morfotipo 3,3,8,16	Morfotipo 5,15,15	Morfotipo 3,8,11,11

Anexo 10

Densidad óptica de bacterias aisladas de Ictiocompost, cultivadas con poliestireno expandido (PS) y glucosa como fuentes de carbono, Lambayeque 2024

Bacterias	Densidad óptica corregida* (600 nm)		
	Control glucosa 1%	PS	Densidad óptica respecto al control (%)
R1 I 1(1)	0,177	0,113	63,84
R1 I 1(2)	0,183	0,098	53,55
R1 I 1(3)	0,135	0,076	56,30
R1 I 1(4)	0,214	0,052	24,20
R1 I 2(1)	0,152	0,094	61,84
R1 I 2(2)	0,148	0,062	41,89
R1 I 2(3)	0,143	0,088	61,54
R1 I 2(4)	0,214	0,051	23,81
R1 I 3(1)	0,164	0,078	47,56
R1 I 3(2)	0,146	0,086	58,90
R1 I 3(3)	0,145	0,086	59,31
R1 I 3(4)	0,212	0,047	22,11
R1 I 4(1)	0,175	0,067	38,29
R1 I 4(2)	0,189	0,084	44,44
R1 I 4(3)	0,217	0,102	47,00
R1 I 4(4)	0,142	0,060	42,25
R1 I 5(1)	0,183	0,080	43,72
R1 I 5(2)	0,146	0,069	47,26
R1 I 5(3)	0,170	0,081	47,65
R1 I 5(4)	0,138	0,057	41,30
R1 I 5(5)	0,160	0,039	24,31
R1 I 6(1)	0,142	0,073	51,41

R1 I 6(2)	0,202	0,088	43,56
R1 I 6(3)	0,216	0,089	41,20
R1 I 6(4)	0,145	0,036	24,81
R1 I 7(1)	0,293	0,079	26,96
R1 I 7(2)	0,147	0,086	58,50
R1 I 7(3)	0,139	0,075	53,96
R1 I 7(4)	0,205	0,048	23,31
R1 I 8(1)	0,180	0,067	37,22
R1 I 8(2)	0,171	0,075	43,86
R1 I 8(3)	0,128	0,057	44,53
R1 I 8(4)	0,206	0,048	23,30
R1 I 9(1)	0,164	0,164	99,39
R1 I 9(2)	0,171	0,064	37,43
R1 I 9(3)	0,226	0,109	48,23
R1 I 9(4)	0,225	0,112	49,61
R1 I 9(5)	0,385	0,165	42,82
R1 I 10(1)	0,162	0,074	45,68
R1 I 10(2)	0,176	0,136	77,27
R1 I 10(3)	0,180	0,083	46,11
R1 I 10(4)	0,198	0,086	43,26
R2 I 1(1)	0,136	0,064	47,06
R2 I 1(2)	0,206	0,086	41,75
R2 I 1(3)	0,393	0,168	42,75
R2 I 1(4)	0,234	0,103	43,91
R2 I 1(5)	0,133	0,061	45,71
R2 I 2(1)	0,178	0,069	38,76
R2 I 2(2)	0,229	0,103	44,98

R2 I 2(3)	0,071	0,073	102,82
R2 I 2(4)	0,214	0,068	31,78
R2 I 3(1)	0,201	0,069	34,33
R2 I 3(2)	0,072	0,071	98,61
R2 I 3(3)	0,171	0,099	57,89
R2 I 3(4)	0,173	0,063	36,32
R2 I 3(5)	0,171	0,097	56,82
R2 I 4(1)	0,174	0,061	35,06
R2 I 4(2)	0,197	0,081	41,12
R2 I 4(3)	0,276	0,065	23,55
R2 I 4(4)	0,197	0,060	30,46
R2 I 5(1)	0,266	0,106	39,85
R2 I 5(2)	0,164	0,121	73,78
R2 I 5(3)	0,170	0,061	35,88
R2 I 5(4)	0,298	0,055	18,46
R2 I 5(5)	0,136	0,092	67,59
R2 I 6(1)	0,231	0,095	41,13
R2 I 6(2)	0,308	0,100	32,47
R2 I 6(3)	0,335	0,141	42,09
R2 I 6(4)	0,208	0,079	37,98
R2 I 7(1)	0,172	0,069	40,12
R2 I 7(2)	0,218	0,103	47,25
R2 I 7(3)	0,150	0,080	53,33
R2 I 7(4)	0,163	0,087	53,25
R2 I 7(5)	0,170	0,096	56,31
R2 I 8(1)	0,187	0,153	81,82
R2 I 8(2)	0,162	0,077	47,53

R2 I 8(3)	0,221	0,087	39,37
R2 I 8(4)	0,147	0,071	48,30
R2 I 9(1)	0,182	0,078	42,86
R2 I 9(2)	0,208	0,086	41,35
R2 I 9(3)	0,168	0,088	52,38
R2 I 9(4)	0,194	0,065	33,51
R2 I 9(5)	0,104	0,072	68,92
R2 I 10(1)	0,148	0,069	46,62
R2 I 10(2)	0,149	0,077	51,68
R2 I 10(3)	0,181	0,061	33,70
R2 I 10(4)	0,087	0,062	71,26
R2 I 10(5)	0,074	0,046	61,38
R3 I 1(1)	0,327	0,064	19,57
R3 I 1(2)	0,239	0,053	22,18
R3 I 1(3)	0,334	0,073	21,86
R3 I 1(4)	0,086	0,051	59,22
R3 I 2(1)	0,227	0,073	32,16
R3 I 2(2)	0,245	0,062	25,31
R3 I 2(3)	0,160	0,058	36,25
R3 I 2(4)	0,148	0,122	82,36
R3 I 3(1)	0,153	0,083	54,25
R3 I 3(2)	0,168	0,091	54,17
R3 I 3(3)	0,113	0,079	69,91
R3 I 3(4)	0,113	0,090	79,22
R3 I 3(5)	0,102	0,086	84,22
R3 I 4(1)	0,172	0,074	43,02
R3 I 4(2)	0,328	0,075	22,87
R3 I 4(3)	0,121	0,090	74,38

R3 I 4(4)	0,066	0,059	88,26
R3 I 5(1)	0,209	0,105	50,24
R3 I 5(2)	0,218	0,082	37,61
R3 I 5(3)	0,167	0,106	63,47
R3 I 5(4)	0,051	0,041	77,92
R3 I 5(5)	0,034	0,031	89,32
R3 I 6(1)	0,124	0,082	66,13
R3 I 6(2)	0,196	0,097	49,49
R3 I 6(3)	0,183	0,118	64,48
R3 I 6(4)	0,108	0,086	79,26
R3 I 7(1)	0,165	0,098	59,39
R3 I 7(2)	0,210	0,104	49,52
R3 I 7(3)	0,198	0,102	51,52
R3 I 7(4)	0,095	0,106	110,62
R3 I 8(1)	0,158	0,079	50,00
R3 I 8(2)	0,094	0,105	111,70
R3 I 8(3)	0,137	0,083	60,58
R3 I 8(4)	0,117	0,122	103,82
R3 I 8(5)	0,124	0,126	101,36
R3 I 9(1)	0,108	0,226	209,26
R3 I 9(2)	0,284	0,142	50,00
R3 I 9(3)	0,216	0,150	69,44
R3 I 10(1)	0,180	0,090	50,00
R3 I 10(2)	0,162	0,124	76,54
R3 I 10(3)	0,236	0,127	53,81
R3 I 10(4)	0,126	0,072	57,14

*Densidad Óptica del control = 0.017

Anexo 11

Densidad óptica de bacterias aisladas de Biol, cultivadas con poliestireno expandido (PS) y glucosa como fuentes de carbono, Lambayeque 2024

Bacterias	Densidad óptica corregida* (600 nm)		
	Control glucosa 1%	PS	Densidad óptica respecto al control (%)
R1 B 1(1)	0,119	0,068	57,14
R1 B 1(2)	0,102	0,075	73,53
R1 B 1(3)	0,123	0,124	100,81
R1 B 1(4)	0,161	0,104	64,60
R1 B 2(1)	0,094	0,084	89,36
R1 B 2(2)	0,160	0,089	55,63
R1 B 2(3)	0,183	0,123	67,21
R1 B 2(4)	0,185	0,064	34,59
R1 B 3(1)	0,243	0,086	35,39
R1 B 3(2)	0,251	0,069	27,49
R1 B 3(3)	0,220	0,072	32,73
R1 B 4(1)	0,252	0,08	31,75
R1 B 4(2)	0,209	0,098	46,89
R1 B 4(3)	0,041	0,153	373,17
R1 B 5(1)	0,207	0,078	37,68
R1 B 5(2)	0,259	0,073	28,19
R1 B 5(3)	0,220	0,060	27,27
R1 B 6(1)	0,221	0,051	23,08
R1 B 6(2)	0,232	0,083	35,78
R1 B 6(3)	0,200	0,116	58,00
R1 B 6(4)	0,230	0,086	37,39
R1 B 7(1)	0,176	0,082	46,59

R1 B 7(2)	0,076	0,086	113,16
R1 B 7(3)	0,183	0,102	55,74
R1 B 8(1)	0,175	0,075	42,86
R1 B 8(2)	0,243	0,105	43,21
R1 B 8(3)	0,081	0,062	76,54
R1 B 9(1)	0,242	0,078	32,23
R1 B 9(2)	0,225	0,085	37,78
R1 B 9(3)	0,230	0,063	27,39
R1 B 10(1)	0,211	0,102	48,34
R1 B 10(2)	0,167	0,098	58,68
R1 B 10(3)	0,253	0,066	26,09
R1 B 10(4)	0,235	0,058	24,68
R2 B 1(1)	0,132	0,057	43,18
R2 B 1(2)	0,164	0,063	38,41
R2 B 1(3)	0,154	0,067	43,51
R2 B 2(1)	0,178	0,083	46,63
R2 B 2(2)	0,092	0,087	94,57
R2 B 2(3)	0,122	0,102	83,61
R2 B 2(4)	0,175	0,094	53,71
R2 B 3(1)	0,150	0,052	34,67
R2 B 3(2)	0,101	0,060	60,40
R2 B 3(3)	0,177	0,079	44,63
R2 B 4(1)	0,125	0,063	50,40
R2 B 4(2)	0,134	0,068	50,75
R2 B 4(3)	0,135	0,088	65,19
R2 B 5(1)	0,138	0,065	47,10

R2 B 5(2)	0,138	0,064	46,38
R2 B 5(3)	0,110	0,088	80,00
R2 B 6(1)	0,201	0,073	36,32
R2 B 6(2)	0,180	0,061	33,89
R2 B 6(3)	0,136	0,058	42,65
R2 B 7(1)	0,121	0,073	60,33
R2 B 7(2)	0,285	0,104	36,49
R2 B 7(3)	0,169	0,087	51,48
R2 B 8(1)	0,201	0,094	46,77
R2 B 8(2)	0,153	0,084	54,90
R2 B 8(3)	0,212	0,126	59,43
R2 B 8(4)	0,175	0,104	59,43
R2 B 9(1)	0,142	0,125	88,03
R2 B 9(2)	0,13	0,104	80,00
R2 B 9(3)	0,182	0,134	73,63
R2 B 10(1)	0,125	0,094	75,20
R2 B 10(2)	0,288	0,073	25,35
R2 B 10(3)	0,196	0,116	59,18
R3 B 1(1)	0,335	0,067	20,00
R3 B 1(2)	0,337	0,062	18,40
R3 B 1(3)	0,212	0,058	27,36
R3 B 2(1)	0,120	0,073	60,83
R3 B 2(2)	0,158	0,087	55,06
R3 B 2(3)	0,196	0,074	37,76
R3 B 2(4)	0,166	0,078	46,99
R3 B 3(1)	0,167	0,090	53,89
R3 B 3(2)	0,152	0,094	61,84
R3 B 3(3)	0,141	0,079	56,03

R3 B 4(1)	0,045	0,090	202,22
R3 B 4(2)	0,181	0,084	46,41
R3 B 4(3)	0,253	0,290	114,62
R3 B 5(1)	0,124	0,101	81,45
R3 B 5(2)	0,202	0,105	51,98
R3 B 5(3)	0,123	0,156	126,83
R3 B 5(4)	0,193	0,101	52,33
R3 B 6(1)	0,242	0,103	42,56
R3 B 6(2)	0,145	0,081	55,86
R3 B 6(3)	0,155	0,113	72,90
R3 B 7(1)	0,184	0,079	42,93
R3 B 7(2)	0,062	0,077	124,19
R3 B 7(3)	0,050	0,115	225,49
R3 B 8(1)	0,195	0,084	43,08
R3 B 8(2)	0,144	0,095	65,97
R3 B 8(3)	0,134	0,090	67,16
R3 B 8(4)	0,143	0,084	58,74
R3 B 9(1)	0,164	0,125	76,22
R3 B 9(2)	0,158	0,094	59,49
R3 B 9(3)	0,160	0,088	54,66
R3 B 10(1)	0,178	0,164	92,13
R3 B 10(2)	0,289	0,307	106,23
R3 B 10(3)	0,178	0,140	78,65
R3 B 10(4)	0,240	0,073	30,42

*Densidad Óptica del control = 0.017

Anexo 12

Peso del EPS emulsionado utilizado como fuente de carbono por bacterias aisladas de Ictiocompost y Biol distribuidas en tratamientos, Lambayeque 2025

Tratamientos	R1			R2			R3		
	Peso inicial	Peso final	Peso Perdido	Peso inicial	Peso final	Peso Perdido	Peso inicial	Peso final	Peso Perdido
T1:	0,44	0,39	0,05	0,41	0,37	0,04	0,43	0,38	0,05
<i>Bacillus</i> sp.	0,50	0,47	0,03	0,48	0,45	0,03	0,40	0,35	0,05
	0,43	0,41	0,02	0,40	0,35	0,05	0,42	0,34	0,08
T2:	0,39	0,35	0,04	0,34	0,32	0,02	0,37	0,36	0,01
<i>Bacillus subtilis</i>	0,38	0,36	0,02	0,36	0,36	0	0,41	0,39	0,02
	0,39	0,36	0,03	0,35	0,33	0,02	0,39	0,39	0
T3	0,40	0,38	0,02	0,38	0,38	0	0,44	0,42	0,02
<i>Bacillus</i>	0,43	0,43	0	0,40	0,40	0	0,45	0,43	0,02
<i>megaterium</i>	0,41	0,39	0,02	0,39	0,36	0,03	0,43	0,43	0
T4	0,52	0,52	0	0,50	0,49	0,01	0,49	0,47	0,02
<i>Pseudomonas</i> sp.	0,47	0,45	0,02	0,45	0,42	0,03	0,43	0,42	0,01
	0,48	0,48	0	0,46	0,46	0	0,50	0,46	0,04
T5	0,49	0,48	0,01	0,48	0,46	0,02	0,46	0,46	0
<i>Bacillus</i> sp., <i>B.</i>	0,44	0,40	0,04	0,42	0,40	0,02	0,45	0,43	0,02
<i>subtilis</i> y <i>B.</i>	0,45	0,43	0,02	0,41	0,41	0	0,40	0,40	0
<i>megaterium</i>									

Continuación...

Tratamiento	R1			R2			R3		
	Peso inicial	Peso final	Peso Perdido	Peso inicial	Peso final	Peso Perdido	Peso inicial	Peso final	Peso Perdido
T6	0,39	0,36	0,03	0,36	0,35	0,01	0,41	0,37	0,04
<i>B. subtilis</i> , <i>B. megaterium</i> y <i>Pseudomonas</i> sp.	0,40	0,39	0,01	0,37	0,37	0	0,43	0,41	0,02
	0,40	0,39	0,01	0,38	0,34	0,04	0,40	0,39	0,01
T7	0,44	0,41	0,03	0,41	0,40	0,01	0,49	0,48	0,01
Consorcio 3	0,47	0,47	0	0,45	0,43	0,02	0,43	0,41	0,02
	0,45	0,45	0	0,43	0,42	0,01	0,39	0,39	0
T8	0,48	0,48	0	0,46	0,46	0	0,43	0,43	0
(Control)	0,49	0,49	0	0,45	0,45	0	0,40	0,40	0
	0,50	0,50	0	0,48	0,48	0	0,46	0,46	0