

Aislamiento de microorganismos del Botadero Municipal de Tacna para biodegradación de polietileno de baja densidad

Isolation of microorganisms from the Municipal Dump of Tacna for biodegradation of low-density polyethylene

Ana Ivana Gutiérrez Alvarez ¹ • Leo Ulises Michael Tirado Rebaza ² ✉ • Alberth Jhon Maita Vilavila ³ • Efrén Eugenio Chaparro Montoya ³ • Lorenzo Rebaza Enriquez ⁴ • Yessenia Danidtzá Gómez Aguilar ³ • Fray Yhoni Quispe Aro ³ • Fernando Daniel Limache Quispe ³

Recibido: 7 Agosto 2024 / Revisado: 29 Octubre 2024 / Aceptado: 18 Noviembre 2024 / Publicado: 27 Mayo 2025

Resumen

La mala disposición de residuos plásticos representa un grave problema ambiental debido al perjuicio

Ana Ivana Gutiérrez Alvarez
<https://orcid.org/0009-0001-8160-6914>

Alberth Jhon Maita Vilavila
<https://orcid.org/0009-0007-9179-9709>

Efrén Eugenio Chaparro Montoya
<https://orcid.org/0000-0003-4230-4929>

Lorenzo Rebaza Enriquez
<https://orcid.org/0000-0003-1094-9036>

Yessenia Danidtzá Gómez Aguilar
<https://orcid.org/0009-0003-8468-1877>

Fray Yhoni Quispe Aro
<https://orcid.org/0000-0002-5343-7148>

Fernando Daniel Limache Quispe
<https://orcid.org/0000-0003-2165-8437>

✉ Leo Ulises Michael Tirado Rebaza /leotiradorebaza@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-6599-8866>

- 1 Universidad Privada de Tacna, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental.
- 2 Universidad Privada de Tacna, Escuela Profesional de Ingeniería Civil.
- 3 Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental.
- 4 Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Doctorado en Ciencias Ambientales.

que le produce a los recursos naturales (suelo, agua, aire, flora y fauna). El objetivo de la presente investigación, fue aislar microorganismos del Botadero Municipal de Tacna para biodegradar polietileno de baja densidad. Para ello, se extrajo una muestra de 15 bolsas y 15 botellas plásticas del Botadero Municipal de Tacna, se sumergieron en medio salino hasta lograr la suspensión de los microorganismos y tras una filtración, se inoculó hacia los medios de cultivo. El aislamiento de cultivos se llevó a cabo en agar nutritivo (para bacterias) y en agar papa dextrosa (para hongos). La observación microscópica se llevó a cabo mediante coloración Gram (para bacterias) y aplicando la técnica de la cinta pegante (para hongos). Se llevaron a cabo pruebas de catalasa y de fermentación de carbohidratos. Hubo una disgregación de cuatro consorcios, evaluando su capacidad de biodegradación de polietileno de baja densidad con una diferencia de pesos antes y después de su actividad microbiana tras 70 días. Dentro de las cepas aisladas del Botadero Municipal se encontraron: bacilos esporulados,

cocos, diplococos, bacilos cortos y cocobacilos; dentro de los hongos aislados destacan *Rhodotorula sp*, *Penicillium vanoranjei*, *Aspergillus sp* y *Saccharomyces sp*. Se determinó que el consorcio compuesto por *Penicillium vanoranjei* y bacterias cocoides fue el que produjo una mayor pérdida de peso de polietileno del 6,01%. Asimismo, se evidenciaron diferencias significativas entre los grupos que recibieron un tratamiento por consorcio microbiano y los que no.

Palabras claves: Plástico, Consorcios microbianos, Hongos, Medios de cultivo, Pérdida de peso.

Abstract

The improper disposal of plastic waste represents a serious environmental problem due to the damage it causes to natural resources (soil, water, air, flora, and fauna). This research aimed to isolate microorganisms from the Tacna Municipal Landfill that could biodegrade low-density polyethylene. To this end, a sample of 15 plastic bags and 15 bottles were extracted from the Tacna Municipal Landfill and immersed in a saline medium until the microorganisms were suspended. After filtration, the samples were inoculated into the culture media. Culture isolation was carried out on nutrient agar (for bacteria) and potato dextrose agar (for fungi). Microscopic observation was performed using Gram staining (for bacteria) and the adhesive tape technique (for fungi). Catalase and carbohydrate fermentation tests were performed. Four consortia were disaggregated, and their capacity to biodegrade low-density polyethylene was evaluated, comparing their weights before and after microbial activity after 70 days. Among the strains isolated from the Municipal Landfill were spore-forming bacilli, cocci, diplococci, short bacilli, and coccobacilli; among the fungi isolated were *Rhodotorula sp*, *Penicillium vanoranjei*, *Aspergillus sp*, and *Saccharomyces sp*. The consortium of *Penicillium vanoranjei* and coccoid bacteria produced the greatest polyethylene weight loss, 6.01%.

Significant differences were also evident between the groups that received microbial consortium treatment and those that did not.

Keywords: Plastic, Microbial consortia, Fungi, Culture media, Weight loss.

Introducción

Hoy en día, muchos productos se fabrican para un solo uso y se desechan inmediatamente después de cumplir su función. Desde la aparición del plástico, su bajo costo y versatilidad han incrementado significativamente su consumo (Molina et al., 2021). Se calcula que la producción mundial anual de plástico es de 300 millones de toneladas (Elias, 2015), lo que genera entre 5 y 50 billones de fragmentos plásticos (Botterell et al., 2019). Estos fragmentos dañan los tejidos animales y deterioran funciones esenciales para la salud y la biodiversidad (Reyes-Bonilla et al., 2019), poniendo en peligro los ecosistemas en todo el planeta. Los desechos plásticos constituyen hasta un 13 % de los residuos sólidos urbanos en el mundo, encontrándose principalmente conformados por bolsas, vasos, botellas, materiales de empaques, recipientes o tapas; los mismos que son elaborados a partir de PET (Polietileno tereftalato), PEAD (Polietileno de alta densidad), PVC (Policloruro de vinilo), PEBD (Polietileno de baja densidad), PP (Polipropileno), PS (Poliestireno), entre otros (Casas-Martínez et al., 2022; Moharir & Kumar, 2019).

Actualmente la disposición final de los residuos sólidos generados en los distritos de Coronel Gregorio Albarracín Lanchipa, Pocollay, Ciudad Nueva, Alto de la Alianza y Tacna, se encuentra en el Botadero Municipal de Tacna (Moreno-Salazar, 2019). Este lugar presenta problemas técnico-operativos como la inexistencia de máquinas y equipos requeridos para los procesos de tapado, compactado y esparcido de residuos (Ticona, 2021), así como la presencia de recicladores que trabajan sin condiciones mínimas de seguridad

y salud ocupacional, lo que representa un grave riesgo para su salud (Rojas, 2018).

En esta investigación se buscó ampliar el conocimiento sobre cómo los microorganismos contribuyen a la reducción del peso del polietileno de baja densidad, que suele depositarse a la intemperie como disposición final.

El objetivo general fue aislar microorganismos adheridos en bolsas y botellas plásticas del Botadero Municipal de Tacna para evaluar su capacidad de biodegradar polietileno de baja densidad.

Los objetivos específicos son los siguientes:

1. Identificar los géneros de microorganismos que biodegradan polietileno de baja densidad en el Botadero Municipal de Tacna.
2. Evaluar el porcentaje de pérdida de peso

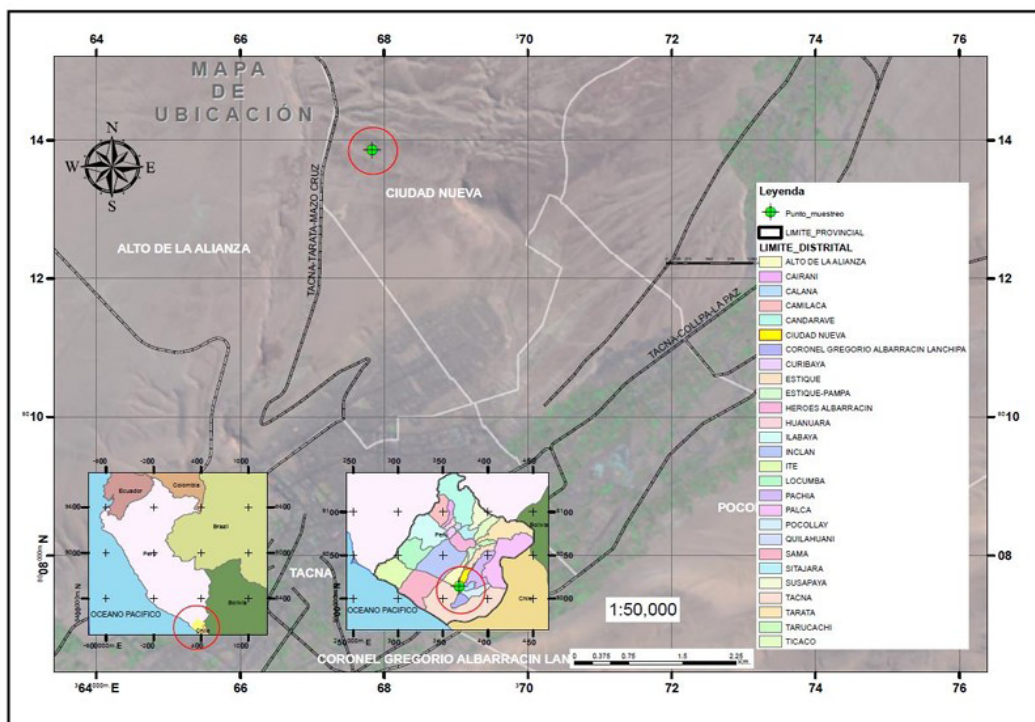
del polietileno de baja densidad causado por los microorganismos aislados en el Botadero Municipal de Tacna.

Materiales y métodos

Muestreo

Se extrajeron intencionalmente perlas de PEBD de un total de 15 bolsas y 15 botellas halladas en el Botadero Municipal de Tacna, aparentemente depositadas hace varios años, considerando que los materiales debían mostrar una degradación visible atribuible a la actividad microbiana. En la Figura 1 se observa el área de extracción de la muestra.

Figura 1. Ubicación del punto en el que se recolectaron las muestras



Preparación de medio salino e inoculación

Las muestras extraídas se sumergieron y agitaron vigorosamente en una solución salina al 0,85 % de NaCl para despegar y suspender los microorganismos adheridos al plástico, siguiendo las recomendaciones de Madigan et al. (2018).

Este insumo químico fue utilizado porque las soluciones de NaCl previenen el estrés o la lisis celular debido a cambios osmóticos, manteniendo las células intactas durante la manipulación.

Posteriormente, se realizó una filtración con papel Whatman, empleándose como inóculo para los medios de cultivo.

Preparación de medio de sales minerales

El inóculo fue sembrado en un medio de sales minerales constituido por una solución de 2,52 g de $\text{Na}_2\text{HPO}_4(12\text{H}_2\text{O})$; 0,002 g de CaCl_2 ; 0,5 g de KH_2PO_4 ; 0,001 g de $\text{FeSO}_4(7\text{H}_2\text{O})$; 1 g de NH_4Cl ; 0,5 g de $\text{MgSO}_4(7\text{H}_2\text{O})$; 0,007 g de $\text{MnSO}_4(7\text{H}_2\text{O})$ y 0,007 g de $\text{ZnSO}_4(7\text{H}_2\text{O})$.

Pesado de PEBD

Se pesaron aproximadamente 6 g de perlas de PEBD empleando una balanza analítica para llevar a cabo la experimentación. Estas perlas se distribuyeron en cuatro matraces que contenían medio salino mineral y un inóculo de microorganismos. Además, se pesaron otros 6 g de perlas de PEBD que fueron colocadas en agua destilada para ser utilizadas como control. Si bien no existe una referencia exacta que indique 6 g como cantidad estándar para este tipo de trabajos, según Shah et al. (2008), señala que esta masa se encuentra dentro de los rangos adecuados para condiciones experimentales relacionadas con la biodegradación de polímeros.

Aislamiento de microorganismos en Agar Nutritivo

Se calculó la cantidad necesaria de agar nutritivo deshidratado para el volumen de medio requerido. La cantidad medida se pesó y se añadieron 300 ml de agua destilada a un matraz de 500 ml. Cabe destacar que este agar se empleó porque contiene una mezcla de extractos de carne y peptonas que proporcionan una fuente considerable de carbono, nitrógeno y otros nutrientes esenciales. Además, es fácil de preparar y esterilizar, proporcionando un sustrato sólido que facilita la separación y visualización de colonias individuales, a diferencia de otros medios de cultivo (Brown, 2018).

Luego, el medio fue disuelto en una coccinilla eléctrica hasta alcanzar el punto de ebullición (pasados 10 minutos, llegando a 98 °C), con agitación constante. A continuación, se esterilizó en una autoclave durante 15 min a 121 °C.

Una vez completado el proceso de esterilización, se retiró el matraz del equipo y se dejó enfriar hasta aproximadamente 45 °C. Posteriormente, se realizaron los plaqueos y las placas se rotularon con la fecha, tipo de medio y número de muestra, utilizando tres placas Petri para cada muestra.

La siembra se realizó utilizando las técnicas de agotamiento y diseminación, incubándose a 27 °C durante 72 h.

Aislamiento de microorganismos en agar papa dextrosa

El aislamiento de microorganismos en agar papa dextrosa se realizó de manera similar al aislamiento en agar nutritivo, desde el pesaje requerido hasta la incubación, teniendo como única particularidad que, tras dejar enfriar el matraz hasta 45 °C, se añadió cloranfenicol hasta alcanzar una concentración final de 0,02 %, para inhibir el crecimiento de bacterias gram positivas.

obedeciendo lo dispuesto por Banda (2014). Este agar se utilizó debido a su elevada concentración de carbohidratos, provenientes de la papa y la dextrosa (González & Guzmán, 2024), además de las condiciones ligeramente ácidas que favorecen el crecimiento de los organismos. Por otro lado, el cloranfenicol fue añadido al medio para inhibir el crecimiento de bacterias no deseadas, permitiendo así un aislamiento más selectivo de hongos (Madigan et al., 2018).

Cabe destacar que, después de la incubación, se seleccionaron colonias con características diferentes para ser purificadas en el agar correspondiente, las cuales han sido descritas en la Tabla 2.

Observación microscópica mediante coloración Gram para bacterias

La observación al microscopio electrónico Tescan VEGA TS 5136XM se realizó mediante la tinción Gram. Primero, se colocó una gota de agua destilada en un portaobjetos y, con la ayuda de un asa de Kolle en argolla, se tomó cuidadosamente una muestra pequeña que fue diluida en la gota de agua destilada. Luego, la muestra fue fijada por calor utilizando un mechero, lo que permitió que las bacterias se adhirieran al portaobjetos y no fueran enjuagadas fácilmente durante la tinción.

Se añadió cristal violeta al portaobjetos durante 2 min, tras lo cual fue enjuagado con agua destilada. Luego, el procedimiento fue repetido con lugol durante 1 minuto, seguido de un nuevo enjuague con agua destilada. Posteriormente, se añadió alcohol-acetona durante 20 segundos, y el portaobjetos fue nuevamente enjuagado.

Finalmente, se añadió safranina durante 1 minuto, se enjuagó el portaobjetos y fue rotulado con el número de muestra. Las células fueron identificadas tanto por su morfología como por su característica Gram, denominándolas Gram negativas si se teñían de color fucsia y Gram

positivas si se teñían de color violeta azulado (Caycedo Lozano et al., 2021).

Observación microscópica aplicando la técnica de la cinta pegante para hongos

Se recortó una cinta adhesiva de aproximadamente 5 cm y se colocó sobre la colonia de hongos. Además, se añadió una gota de azul de metileno diluido con agua destilada en un portaobjetos.

La muestra fue observada al microscopio con aumentos de 10X y 40X para examinar la morfología de las hifas y los conidios. Esto permitió identificar características específicas cruciales para la identificación taxonómica, como la forma, el tamaño y la disposición de estas estructuras. La identificación se llevó a cabo hasta el nivel de género.

Prueba de catalasa

En un portaobjetos se añadió una gota de peróxido de hidrógeno y, utilizando un asa de Kolle en argolla, se tomó una muestra bacteriana que fue incorporada en el peróxido de hidrógeno y mezclada suavemente. La aparición de burbujas indica la actividad de la enzima catalasa, la cual descompone el peróxido de hidrógeno en agua y oxígeno. Si no se observan burbujas, se concluye que la bacteria es catalasa negativa y no tiene la capacidad de degradar el peróxido de hidrógeno.

El uso de H_2O_2 permite evaluar la capacidad de ciertas bacterias para descomponer compuestos potencialmente tóxicos en el medio ambiente, lo que representa un aspecto crucial en estudios de biodegradación (Bautista & Huaman, 2024).

Purificación de cepas

La purificación de cepas se llevó a cabo en dos ocasiones, tanto para bacterias como para hongos.

Bacterias: Con la ayuda de un asa de Kolle

en argolla, se tomó una colonia aislada que fue sembrada por diseminación en una placa Petri que contenía agar nutritivo. La placa fue rotulada, envuelta en papel kraft y colocada en la incubadora a 27 °C durante 3 días.

Hongos: Utilizando un asa de Kolle en forma de L, se tomó una colonia aislada y se sembró cuidadosamente en el medio de una placa Petri que contenía agar papa dextrosa. La placa fue rotulada, envuelta en papel kraft y se incubó a 27 °C durante 3 días.

Cabe destacar que la codificación de las cepas presentadas en la Tabla 1 y 2 fue dispuesta aleatoriamente por decisión del investigador.

Fermentación de carbohidratos

Se prepararon matraces que contenían caldo con 10 g/L de peptona, 5 g/L de cloruro de sodio y diferentes tipos de carbohidratos (manitol, xilosa, sacarosa, fructosa y glucosa). Cada matraz se mezcló uniformemente y se añadieron gotas de rojo de fenol, agitándolo con una varilla de vidrio hasta que la muestra adquirió un color rojo oscuro (pH 7,5).

Luego, se distribuyeron 10 ml de caldo a cada tubo de vidrio, previamente rotulado con el nombre del azúcar y la cepa de bacteria u hongo. En el tubo que contenía glucosa, se colocó una campana Durham para determinar la producción de CO₂.

Los tubos fueron autoclavados por 15 min a 116 °C. Posteriormente, con un asa de Kolle en argolla, se inoculó una cepa (tanto de bacterias como de hongos) en cada tubo con carbohidrato y se incubaron a 27 °C durante 72 horas. La producción de ácido láctico fue identificada si el color del tubo cambiaba de rojo a amarillo, mientras que la producción de gas fue observada en la campana

Durham del tubo con glucosa. Esto permitió determinar la capacidad generadora de corriente eléctrica que poseía la bacteria o el hongo.

Pesado final del PEBD

Después de 70 días de incubación de las perlas de polietileno de baja densidad, estas fueron extraídas asépticamente de los matraces y lavadas con alcohol de 96° para desinfectarlas. Luego, se limpiaron con detergente neutro para eliminar el biofilm formado en la superficie de las perlas de polietileno. Posteriormente, fueron secadas a 55 °C durante 12 horas para lograr una evaporación efectiva de la humedad y del detergente.

Finalmente, se pesaron utilizando una balanza analítica.

Análisis estadístico

Para seleccionar el método estadístico adecuado, se aplicaron una prueba de homogeneidad de varianzas, de normalidad y de independencia, las cuales indicaron la idoneidad de utilizar la prueba de Kruskal-Wallis (prueba no paramétrica) (Villavicencio-Caparó et al., 2023).

Resultados

Identificación de géneros de microorganismos que se encuentran biodegradando polietileno de baja densidad

En la Tabla 1 se presentan las cepas de bacterias que fueron aisladas, junto con la morfología microscópica de los consorcios microbianos del Botadero Municipal de Tacna, su comportamiento en la fermentación de carbohidratos y los consorcios que conformaron.

Tabla 1. Cepas de bacterias aisladas del Botadero Municipal

Cepa	Consortio	Gram	Forma	Catalasa	Glucosa	Xilosa	Manitol	Fructosa	Sacarosa	Gas	Descripción
M1-AN	1	Positivo	Bacilo esporulado	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Colonias de bordes irregulares de color crema
M1-AN1	1	Negativo	Diplococos	Positivo	Positivo	Positivo	Negativo	Negativo	Positivo	Negativo	Colonias pequeñas puntiformes de color crema
M2-AN	2	Negativo	Bacilos cortos	Positivo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Positivo	Negativo	Colonias pequeñas puntiformes color crema
M2-BN	2	Negativo	Bacilos cortos y diplococos	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Colonias pequeñas de color blanco puntiformes
M3-AN	3	Negativo	Diplococos	Positivo	Positivo	Positivo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Colonias pequeñas de color crema amarillo
M4-BN	4	Negativo	Bacilos cortos	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Colonias pequeñas de color anaranjado
M1-AN3	1	Positivo	Cocos	Positivo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Positivo	Negativo	Colonias anaranjadas pequeñas mucoides
M1-AN2	1	Positivo	Cocobacilo	Positivo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Colonias blanco lechoso colonias mucoides
M1-BN	1	Negativo	Diplococos	Positivo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Colonias blanco lechoso pequeñas mucoides

En la tabla 2 se puede evidenciar los hongos aislados, su descripción, la morfología microscópica de los consorcios microbianos del

Botadero Municipal de Tacna, su comportamiento para la fermentación de carbohidratos y el consorcio que conformó.

Tabla 2. Hongos aislados del Botadero Municipal

Cepa	Consortio	Forma	Género	Glucosa	Xilosa	Manitol	Fructosa	Sacarosa	Gas	Descripción
M2-AP	2	Levaduras redondas pequeñas	<i>Rhodotorula sp</i>	Positivo	Negativo	Negativo	Negativo	Positivo	Negativo	Colonia mucóide de color salmón invade la placa de polietileno
M3-AP	3	Hifas con fialides y conidios	<i>Penicillium vanoranjei</i>	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Colonia anaranjada con borde blanco regular de aspecto aterciopelado con incrustaciones anaranjado intenso
M4-BP	4	Hifas con conidios alrededor	<i>Aspergillus sp</i>	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Colonias de color verde paca con un centro blanco abultado borde irregular y textura terrosa
M4-AP	4	Levaduras redondas pequeñas en gemación	<i>Saccharomyces sp</i>	Positivo	Positivo	Negativo	Positivo	Positivo	Negativo	Colonias blancas cremosas de 3 mm de diámetro

Evaluación del porcentaje de pérdida de peso del polietileno de baja densidad por efecto de los microorganismos

Cabe destacar que la conformación de los consorcios se puede evidenciar en las Tablas 1 y 2.

A continuación se presenta el rendimiento de los consorcios microbianos en la pérdida de peso del polietileno de baja densidad:

- Consortio 1: El cual accionó en 6,0059 g de perlas de PEBD y tras 70 días degradó 0,0766 g (pérdida de peso de 1,28 %).
- Consortio 2: El cual accionó en 6,0277 g de perlas de PEBD y tras 70 días degradó 0,0539 g (pérdida de peso de 0,89 %).
- Consortio 3: El cual accionó en 6,0000 g de perlas de PEBD y tras 70 días degradó 0,3610 g (pérdida

de peso de 6,01 %).

- Consortio 4: El cual accionó en 6,0059 g de perlas de PEBD y tras 70 días degradó 0,2004 g (pérdida de peso de 3,34 %).

Se evidenció una pérdida de peso promedio de 2,88 %. Para unificar los promedios de pérdida de peso obtenidos por acción de los cuatro consorcios y para comparar estadísticamente los pesos del polietileno de baja densidad, se seleccionaron cuatro grupos conformados por cuatro muestras: grupo de control (al inicio), grupo de control (al final), grupo que recibió el tratamiento (al inicio) y grupo que recibió el tratamiento (al final). Es importante destacar que los pesos finales fueron tomados tras 70 días de incubación. El estadístico de Kruskal-Wallis se empleó con esta finalidad, como se observa en la Tabla 3.

Tabla 3. Prueba de Kruskal-Wallis para la comparación de peso de polietileno de baja densidad

	Tamaño de muestra	Rango promedio
<i>Peso de grupo de control (al inicio)</i>	4	10,625
<i>Peso de grupo de control (al final)</i>	4	10,625
<i>Peso de grupo que recibió el tratamiento (al final)</i>	4	2,5
<i>Peso de grupo que recibió el tratamiento (al inicio)</i>	4	10,25
<i>Estadístico = 9,39</i>		
<i>Valor p = 0,02</i>		

Nota.- Los rangos promedio son valores adimensionales provenientes del número de orden del conjunto de datos del cual han sido recabados.

Los resultados permiten concluir que existen diferencias estadísticas significativas entre los pesos de los cuatro grupos mencionados, con un nivel de confianza del 95 %. Esto indica que hubo un efecto en la degradación del polietileno de baja densidad, atribuido al consorcio microbiano 3.

Discusión

Los microorganismos que se encuentran en suelos contaminados con plásticos poseen la capacidad de descomponer estos polímeros debido a su exposición a condiciones adversas y a la falta de otros nutrientes esenciales para su supervivencia (Skariyachan et al., 2018). En los vertederos, los residuos se descomponen de manera descontrolada y las bolsas de plástico pueden permanecer durante períodos prolongados (más de 10 años), lo que incrementa la probabilidad de hallar bacterias capaces de degradar ciertos tipos de plásticos como el polietileno de baja densidad (Maroof et al., 2020).

En cuanto al aislamiento de cepas bacterianas, existen registros de Diplococos y Rhodococcus en botaderos de otras ciudades, reconocidos por su capacidad de biodegradar polietileno con tasas superiores al 0,85 % por semana (Acuña, 2017).

Asimismo, la predominancia de bacterias Gram negativas asociadas a plásticos (principalmente

bacilos), reportada en estudios como el de Cabeza & Reaño (2024) en Lambayeque, Perú, y en Skariyachan et al. (2016) respaldan los hallazgos de la presente investigación.

Por otro lado, la investigación de Murillo (2022), confirmó que *Aspergillus brasiliensis* tiene la propiedad de biodegradar polietileno de baja densidad, corroborando lo hallado en este estudio. Según Gonzales (2020), bajo condiciones de laboratorio, *Aspergillus flavus* fue clasificado como un excelente biodegradador de polietileno, superando a *Mucor sp* y *Fisarium sp*, que también fueron aislados de un botadero municipal de residuos sólidos.

Según Muthumani & Anbuselvi (2014), *Saccharomyces sp* demostró la capacidad de biodegradar un 43 % de polietileno de forma independiente en 30 días, tras ser aislado de un basurero en Asia junto con *Streptococcus sp*, *E. coli*, *Bacillus sp*, *Aspergillus*, *Streptomyces*, entre otros. Cabe destacar que en el estudio de Uribe et al. (2010), un consorcio aislado de un relleno sanitario compuesto por *Penicillium sp*, *Rhodotorula sp* y *Hyalodendron sp* logró una pérdida de peso del 4,8 % de polietileno de baja densidad en 60 días, valor comparable al 6,01 % reportado en este estudio tras la acción de un consorcio integrado por *Penicillium sp* y bacterias cocoides Gram negativas en un periodo de 70 días.

La biodegradación de plásticos como el PEBD

tiene implicaciones importantes en la gestión de residuos plásticos y la remediación ambiental. En particular, el uso de consorcios microbianos en procesos de biorremediación ofrece una solución sostenible para reducir la acumulación de plásticos en vertederos y ecosistemas naturales. Aunque el PEBD en su forma actual no es biodegradable, la investigación sobre microorganismos capaces de degradarlo podría inspirar el diseño de plásticos más fácilmente biodegradables. La ingeniería de microorganismos mediante biotecnología para mejorar la eficiencia de la degradación de plásticos es un área de interés. La modificación genética de bacterias u hongos para producir enzimas más potentes o tolerar condiciones extremas podría aumentar la velocidad y efectividad de la biodegradación.

Conclusiones

Dentro del grupo de bacterias que biodegradan polietileno de baja densidad del Botadero Municipal, se identificaron formas como bacilos esporulados, diplococos, bacilos cortos, cocos y cocobacilos. Por otro lado, se encontraron hongos pertenecientes a los géneros *Rhodotorula sp*, *Penicillium vanoranjei*, *Aspergillus sp* y *Saccharomyces sp*.

En cuanto a la degradación de PEBD, se determinó que el consorcio 3 alcanzó la mayor reducción de peso de las perlas de PEBD, logrando un 6,01 %. Este consorcio estuvo compuesto por bacterias con forma de diplococos y por *Penicillium vanoranjei*.

Correspondencia

El presente artículo científico deriva de la tesis denominada: “Biodegradación de Polietileno de Baja Densidad Utilizando Hongos, Bacterias y Consorcios Microbianos Aislados del Botadero Municipal de Tacna”, sustentada y aprobada por la Universidad Privada de Tacna.

Bibliografía

Acuña, N. R. (2017). Revisión Bibliográfica sobre los Microorganismos Biodegradadores de Polietileno de Baja Densidad LDPE y sus Efectos en el Material [Tesis de Grado para optar por el Título de Licenciado en Química, Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas]. <http://hdl.handle.net/11349/5608>

Banda, P. E. (2014). Caracterización morfológica de hongos fitopatógenos en el cultivo de mora de castilla (*rubus glaucus benth*) sector Huachi Chico-Ambato-Tungurahua, 2014 [Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Agrónomo, Universidad Técnica de Cotopaxi]. <http://localhost/handle/27000/2536>

Bautista, M. D., & Huaman, C. L. (2024). Evaluación del proceso tipo fenton con Cu²⁺, ácido oxálico y H₂O₂ en la degradación de aguas residuales del teñido de lana de oveja [Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Químico e Ingeniera Química Ambiental, Universidad Nacional del Centro del Perú]. <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/11367>

Botterell, Z. L. R., Beaumont, N., Dorrington, T., Steinke, M., Thompson, R. C., & Lindeque, P. K. (2019). Bioavailability and effects of microplastics on marine zooplankton: A review. *Environmental Pollution*, 245, 98–110. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.10.065>

Brown, A. (2018). *Benson's Microbiological Applications: Laboratory Manual in General Microbiology* (14a ed.). McGraw-Hill Education.

Cabeza, H. T., & Reaño, Y. J. (2024). Potencial en la degradación de polietileno de baja densidad en consorcios de bacterias del botadero de residuos sólidos “Pampas de Reque”, 2022 [Tesis para optar el Título Profesional de Licenciado(a) en Biología Microbiología - Parasitología, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo]. <http://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/13172>

Casas-Martínez, Y. D. P., Fuquen-Fúquene,

- L. T., & Gómez-Rodríguez, A. M. (2022). AVANCES EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL: BIORREMEDIACIÓN DE PLÁSTICOS. *I3+*, 4(2), Article 2. <https://doi.org/10.24267/23462329.939>
- Caycedo Lozano, L., Ramírez, L. C. C., & Suárez, D. M. T. (2021). Las bacterias, su nutrición y crecimiento: Una mirada desde la química. *Nova*, 19(36), 49–94. <https://doi.org/10.22490/24629448.5293>
- Elias, R. (2015). Mar del plástico: Una revisión de los problemas del plástico en el mar. *Rev. Invest. Desarr. Pesq.* 27: 83-105, 27, 83–105.
- Gonzales, V. C. (2020). Capacidad biodegradativa de hongos filamentosos frente al polietileno. *Revista de Investigaciones*, 9(3), Article 3. <https://doi.org/10.26788/riepg.v9i3.1625>
- González, K., & Guzmán, J. (2024). Identificación de condiciones controladas de laboratorio para el crecimiento del hongo *Hericium erinaceus*. *Expo Ibero Primavera 2024*. Departamento de Ciencias e Ingenierías, 1–5. <https://repositorio.iberopuebla.mx/handle/20.500.11777/6004>
- Madigan, M., Bender, K., Buckley, D., Sattley, W., & Stahl, D. (2018). *Brock Biology of Microorganisms* (15a ed.). Pearson.
- Maroof, L., Khan, I., Sang Yoo, H., Park, H., Kim, S., Ahmad, B., & Azam, S. (2020). Identification and characterization of low density polyethylene-degrading bacteria isolated from soils of waste disposal sites. *Environmental Engineering Research*, 26(3), 200167. <https://doi.org/10.4491/eer.2020.167>
- Moharir, R. V., & Kumar, S. (2019). Challenges associated with plastic waste disposal and allied microbial routes for its effective degradation: A comprehensive review. *Journal of Cleaner Production*, 208, 65–76. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.059>
- Molina, R. E., Gómez, W. J., & De la Cruz, J. (2021). Contaminación marina por desechos plásticos en países del perfil costero del Pacífico Sur, 2016-2021. *Polo del Conocimiento: Revista científico - profesional*, 6(5), 458–478. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8016951>
- Moreno-Salazar, K. A. B. (2019). Una mirada a las prácticas de reciclaje: El caso de una asociación de recicladores en Tacna, Perú. *Revista Estudios del Desarrollo Social: Cuba y América Latina*, 7(3). <http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sciabstract&pid=S2308-01322019000300022&lng=es&nrm=iso&tlng=es>
- Murillo, T. E. (2022). Estudio del efecto de microorganismos degradadores en el espectro del polietileno de baja densidad a través de técnicas estadísticas multivariantes [Trabajo de titulación previo a la obtención del Título de Ingeniera en Biotecnología de los Recursos Naturales, Universidad Politécnica Salesiana]. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/22584>
- Muthumani, S., & Anbuselvi, S. (2014). Waste management and environment protection – A study with isolation and characterisation of low density polyethylene degrading microbes. *International Journal of ChemTech Research*, 7(6), 2841–2845.
- Reyes-Bonilla, H., Alvarez-Filip, L., Rivera Garibay, O., Pérez España, H., Santillo, D., Olivera-Bonilla, A., Pérez-Cervantes, E., & Rivas-Soto, M. (2019). Estudio sobre el impacto de la contaminación por microplásticos en peces de México. *Greenpeace*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.31686.63049>
- Rojas, A. (2018). Implementación de un plan de manejo de residuos sólidos en la Universidad Latinoamericana CIMA, Tacna 2018 [Tesis de Título Profesional de Ingeniero Ambiental, Universidad Latinoamericana CIMA]. <http://repositorio.ulc.edu.pe/handle/ULC/124>
- Shah, A. A., Hasan, F., Hameed, A., & Ahmed, S. (2008). Biological degradation of plastics: A comprehensive review. *Biotechnology Advances*, 26(3), 246–265. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2007.12.005>
- Skariyachan, S., Manjunatha, V., Vassist, K.,

Sultana, S., Jois, S., & Bai, V. (2016). Novel bacterial consortia isolated from plastic garbage processing areas demonstrated enhanced degradation for low density polyethylene. *Environmental Science and Pollution Research*, 23, 18307–18319. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-7000-y>

Skariyachan, S., Patil, A. A., Shankar, A., Manjunath, M., Bachappanavar, N., & Kiran, S. (2018). Enhanced polymer degradation of polyethylene and polypropylene by novel thermophilic consortia of *Brevibacillus* sps. And *Aneurinibacillus* sp. Screened from waste management landfills and sewage treatment plants. *Polymer Degradation and Stability*, 149, 52–68. <https://doi.org/10.1016/j.polyimdegradstab.2018.01.018>

Ticona, F. (2021). ELABORACIÓN DE UNA GUÍA DE CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES PARA LA MEJORA DEL PLAN INTEGRAL DE GESTIÓN

AMBIENTAL MUNICIPAL EN LA PROVINCIA DE TACNA 2021 [Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental, Universidad Privada de Tacna]. <https://repositorio.upt.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12969/2095/Ticona-Sotomayor-Frank.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Uribe, D., Giraldo, D., Gutiérrez, S., & Merino, F. (2010). Biodegradación de polietileno de baja densidad por acción de un consorcio microbiano aislado de un relleno sanitario, Lima, Perú. *Revista Peruana de Biología*, 17(1), 133–136. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1727-99332010000100017&lng=es&nrm=iso&tlng=es

Villavicencio-Caparó, E., Lima-Illescas, M., Cuenca-León, K., Patiño-Ramón, E., & Pacheco-Quito, E. (2023). ¿Cómo escoger la prueba estadística? Manejo de datos parte 2. *Odontología Activa Revista Científica*, 8(2), Article 2. <https://doi.org/10.31984/oactiva.v8i2.885>