

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DE CUSCO

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA



TESIS

**EFFECTIVIDAD DE HONGOS FILAMENTOSOS EN LA
DEGRADACIÓN DE POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD
PROVENIENTE DEL BOTADERO DE SICUANI PROVINCIA DE
CANCHIS - CUSCO**

PRESENTADA POR:

Br. RUTH LUCY AMBUR SONCCO

**PARA OPTAR AL TÍTULO
PROFESIONAL DE BIÓLOGO**

ASESORA:

Dra. MARTHA NATIVIDAD MOSTAJO
ZAVALETA

**FINANCIADO POR CONVENIO
CONCYTEC - FONDECYT - UNSAAC**

CUSCO – PERU

2023

INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-303-2020-UNSAAC)

El que suscribe, **Asesor** del trabajo de investigación/tesis titulada: **EFFECTIVIDAD DE HONGOS FILAMENTOSOS EN LA DEGRADACIÓN DE POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD PROVENIENTE DEL BOTADERO DE SICUANI PROVINCIA DE CANCHIS - CUSCO**

Presentado por: **RUTH LUCY AMBUR SONCCO** DNI N° **47999518**

presentado por: DNI N°:

Para optar el título profesional/grado académico de **BIÓLOGA**

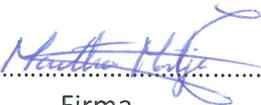
Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por **2** veces, mediante el Software Antiplagio, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso de Sistema Antiplagio de la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de **10** %.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No se considera plagio.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las correcciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica para que tome las acciones correspondientes. Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y **adjunto** las primeras páginas del reporte del Sistema Antiplagio.

Cusco, **10** de **Setiembre** de 20**25**


Firma

Post firma **MARTHA NATIVIDAD MOSTAJO ZAVALETA**

Nro. de DNI **23926260**

ORCID del Asesor **0000-0002-4350-9283**

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio: oid: **27259:491471333**

TESIS RUTH LUCY FINAL.pdf

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::27259:491471333

Fecha de entrega

4 sep 2025, 7:06 a.m. GMT-5

Fecha de descarga

4 sep 2025, 8:21 a.m. GMT-5

Nombre del archivo

TESIS RUTH LUCY FINAL.pdf

Tamaño del archivo

4.7 MB

130 páginas

24.333 palabras

134.487 caracteres

10% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Texto mencionado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 8 palabras)

Exclusiones

- ▶ N.º de fuente excluida
- ▶ N.º de coincidencias excluidas

Fuentes principales

- 8%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 6%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alerta de integridad para revisión

-  **Texto oculto**
14 caracteres sospechosos en N.º de páginas
El texto es alterado para mezclarse con el fondo blanco del documento.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Dedicatoria

Dedico a mis padres, especialmente a mi madre, por su apoyo incondicional en mi educación y crecimiento profesional.

A mis hermanos Carlos, Edwin, Jhulder y Palmira por darme fuerza y ánimos para seguir adelante, en mi formación académica y culminación del presente trabajo de investigación.

Agradecimiento

A la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco y a toda la plana docente de la Escuela Profesional de Biología por mi formación profesional.

Al Vicerrectorado de Investigación, CIENCIACTIVA y CONCYTEC por el apoyo financiero.

A la Municipalidad Provincial de Canchis por el permiso y facilidades que me brindaron en campo.

A la Dra. Martha Natividad Mostajo Zavaleta por el asesoramiento y el tiempo brindado en el desarrollo del presente trabajo de investigación, por su apoyo, su paciencia, a su rectitud en su profesión como docente, por sus consejos, que ayudan a formarse como persona e investigador, y especialmente por su amistad.

Gracias a todas y cada una de las personas que me alentaron durante el desarrollo y culminación del presente trabajo de investigación.

ÍNDICE	Página
RESUMEN	i
INTRODUCCIÓN	i
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	iv
JUSTIFICACIÓN	vi
OBJETIVOS	vii
HIPÓTESIS.....	viii
CAPITULO I: MARCO TEÓRICO	1
1.1 ANTECEDENTES.....	1
1.1.1 Antecedentes Internacionales.....	1
1.1.2 Antecedentes Nacionales	2
1.1.3 Antecedentes Locales.....	4
1.2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS	5
1.2.1 Características generales de los hongos filamentosos micelios o mohos	5
1.2.2 Polímeros	10
1.2.3 Disposición final de residuos sólidos en botaderos y botaderos controlados	16
1.2.4 Efecto de los botaderos en el medio ambiente.....	17
1.2.5 Normatividad.....	18
1.2.6 Metodología utilizada en la evaluación de la degradación de LDPE.	19
CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS	22
2.1 LUGAR DE OBTENCION DE MUESTRA	22
2.2 MATERIALES.....	24
2.2.1 Material biológico.....	24
2.2.2 Material polimérico.....	24
2.2.3 Material de campo.....	24
2.2.4 Material de laboratorio.....	24
2.2.5 Equipos de laboratorio	25
2.2.6 Soluciones	26
2.2.7 Medios de cultivo.....	26
2.2.8 Material de gabinete.....	26
2.3 METODOLOGÍA	27
2.3.1 Métodos y técnicas para la recolección de datos	27
2.3.2 Trabajo experimental en laboratorio.....	29

2.3.3	Trabajo experimental en suelo	33
2.3.4	Determinación la degradación de LDPE.....	36
	CAPÍTULO III: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	39
3.1	RESULTADOS	39
3.1.1	Hongos filamentosos con capacidad degradadora de LDPE, aislados de restos de bolsas plásticas a distintas profundidades en el botadero de Sicuani.	39
3.1.2	Efectividad de degradación de tipos de LDPE por hongos filamentosos colectados a diferentes profundidades del botadero incubados en medio mineral.....	42
3.1.3	Efectividad de degradación de tipos de LDPE por consorcios de hongos filamentosos bajo tratamiento en suelo.	47
3.1.4	Caracterización de la estructura química de LDPE.	52
3.1.5	Actividad fúngica sobre LDPE por Microscopia electrónica de barrido.....	67
3.2	DISCUSIÓN.....	70
3.2.1	Identificación de cepas de hongos filamentosos aisladas de restos de bolsas plásticas a distintas profundidades en el botadero de residuos sólidos de Sicuani, con capacidad degradativa de polietileno de baja densidad (LDPE).	70
3.2.2	Grado de efectividad de hongos filamentosos en la degradación de LDPE según profundidad en medio mineral.....	71
3.2.3	Grado de acción degradativa de consorcio de hongos en la degradación de tipos de LDPE en suelo.	75
	CONCLUSIONES	78
	RECOMENDACIONES	79
	REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.....	80
	ANEXOS	89

INDICE DE TABLA

Tabla 1	<i>Clasificación de plásticos o polímeros sintéticos</i>	11
Tabla 2	<i>Medios de cultivos para los hongos filamentosos de los Generos <i>Pennicillium</i> y <i>Aspergillus</i>.</i>	32
Tabla 3	<i>Análisis de varianza a diferentes profundidades de aislamiento y las cepas de hongos sobre el porcentaje de degradación de LDPE</i>	39
Tabla 4	<i>Prueba Tukey del porcentaje de degradación de LDPE, en cada nivel de profundidad por cepas de hongos filamentosos</i>	40
Tabla 5	<i>Géneros y especies de hongos filamentosos con capacidad degradadora de LDPE</i>	41
Tabla 6	<i>Análisis de varianza del efecto de las cepas hongos filamentosos aisladas en superficie, según tipos de LDPE</i>	42
Tabla 7	<i>Prueba tukey del porcentaje de degradación de las cepas de hongos aislados en superficie según tipos de LDPE</i>	43
Tabla 8	<i>Análisis de varianza del efecto de las cepas de hongos filamentosos aislados a 30 cm, según tipos de LDPE</i>	44
Tabla 9	<i>Análisis de varianza del efecto de las cepas de hongos filamentosos aislados a 50 cm, según tipos de LDPE</i>	45
Tabla 10	<i>Prueba de Tukey del porcentaje de degradación de las cepas aisladas a 50 cm, según tipo de LDPE</i>	46
Tabla 11	<i>Análisis de varianza del efecto del consorcio de hongos filamentosos frente al porcentaje de degradación de LDPE</i>	47
Tabla 12	<i>Prueba Dunnet del porcentaje de degradación de los consorcios de hongos filamentosos, según tipos de LDPE</i>	48
Tabla 13	<i>Análisis de varianza del efecto de consorcios de hongos filamentosos sobre el porcentaje de degradación de distintos tipos de LDPE</i>	49
Tabla 14	<i>Prueba Dunnet del efecto del consorcio de hongos filamentosos frente al porcentaje de degradación de dos tipos de LDPE</i>	50

INDICE DE FIGURA

Figura 1	<i>Características del genero Aspergillus Micheli</i>	8
Figura 2	<i>Características del género Penicillium link</i>	10
Figura 3	<i>Polimerización del etileno para la formación del polietileno</i>	12
Figura 4	<i>Degradación general de polímeros plásticos</i>	16
Figura 5	<i>Mapa de ubicación del botadero del distrito de Sicuani, provincia de Canchis – Cusco</i>	23
Figura 6	<i>Flujograma para la evaluación de degradación de LDPE por hongos filamentosos</i>	28
Figura 7	<i>Diseño de cultivo del sistema interno en medio mineral para LDPE</i>	31
Figura 8	<i>Diseño de cultivo del sistema interno en suelo para bolsas de polietileno de baja densidad</i>	35
Figura 9	<i>Comparación del porcentaje de degradación de las cepas aisladas en superficie, según tipo de LDPE</i>	44
Figura 10	<i>Comparación del porcentaje medio de degradación de las cepas, según tipo de polietileno de baja densidad</i>	47
Figura 11	<i>Comparación del porcentaje medio de degradación de los consorcios de hongos, según distintos tipos de LDPE</i>	51
Figura 12	<i>Caracterización de LDPE tipo A mediante FTIR: muestra control y tratadas con hongos filamentosos</i>	53
Figura 13	<i>Caracterización del LDPE tipo A mediante FTIR posterior al tratamiento con la cepa Sic – 008 (Aspergillus flavus)</i>	54
Figura 14	<i>Caracterización del LDPE tipo A mediante FTIR posterior al tratamiento con la cepa Sic – 015 (Penicillium chrysogenum)</i>	55
Figura 15	<i>Caracterización de LDPE tipo A mediante FTIR posterior al tratamiento con la cepa Sic – 018 (Aspergillus flavus)</i>	56
Figura 16	<i>Caracterización de LDPE tipo B mediante FTIR: muestra control y tratada con hongos filamentosos</i>	57
Figura 17	<i>Caracterización de LDPE tipo B mediante FTIR posterior al tratamiento con la cepa Sic – 004 (Aspergillus flavus)</i>	58
Figura 18	<i>Caracterización de LDPE tipo B mediante FTIR posterior al tratamiento con la cepa Sic – 008 (Aspergillus flavus)</i>	59
Figura 19	<i>Caracterización de LDPE tipo B mediante FTIR posterior al tratamiento con la cepa Sic – 009 (Aspergillus flavus)</i>	60
Figura 20	<i>Caracterización de LDPE tipo B mediante FTIR posterior al tratamiento con la cepa Sic – 015 (Penicillium chrysogenum)</i>	61
Figura 21	<i>Caracterización de LDPE tipo A mediante FTIR: muestra control y tratadas con consorcios de hongos filamentosos</i>	62
Figura 22	<i>Caracterización de LDPE tipo A mediante FTIR posterior al tratamiento con consorcio II en suelo</i>	63
Figura 23	<i>Caracterización de LDPE tipo B mediante FTIR: muestra control y tratada con consorcios de hongos filamentosos</i>	64

Figura 24 <i>Caracterización de LDPE tipo B mediante FTIR posterior al tratamiento con consorcio I en suelo.</i>	65
Figura 25 <i>Caracterización de LDPE tipo B mediante FTIR posterior al tratamiento con consorcio III en suelo.</i>	66
Figura 26 <i>Fotomicrografía de láminas de plástico LDPE tipo A, incubado en medio MSM.</i>	67
Figura 27 <i>Fotomicrografía de láminas de plástico LDPE tipo B, incubado en medio MSM.</i>	68
Figura 28 <i>Fotomicrografía de láminas de plástico LDPE tipo A, tratamiento en suelo.</i>	68
Figura 29 <i>Fotomicrografía de láminas de plástico LDPE tipo B, tratamiento en suelo.</i>	69

RESUMEN

En la presente investigación se determinó la efectividad de hongos filamentosos degradadores de polietileno de baja densidad, aislados de residuos plásticos provenientes del botadero de residuos sólidos del distrito de Sicuani, provincia de Canchis, Cusco, durante enero a diciembre de 2018. Las pruebas se realizaron en medio mineral y suelo, identificándose las especies por la técnica de Pitt. La acción degradativa se evidenciaron por gravimetría, Espectroscopia de Infrarrojo con Transformada de Fourier y Microscopia Electrónica de Barrido. Se determinaron 04 especies de hongos, destacando *Aspergillus flavus* (Sic-08 y Sic-18), y *Penicillium chrysogenum* (Sic-20). A los 45 días, Sic-08 mostró un 13.55 % de degradación aisladas en superficie, mientras que Sic-18 y Sic-20, aisladas a 50 cm, alcanzaron el 13.16 % y 10.87 %, respectivamente. A los 90 días, sobre polietileno de baja densidad tipo A, Sic-08, Sic-18 y Sic-20 lograron 21.04 %, 22.23 % y 11.59 %, respectivamente, sin observarse degradación en el tipo B. En condiciones de suelo los consorcios fúngicos I, III y II mostraron de 15.9 %, 13.6 % y 11.7 % de degradación, siendo más sobre polietileno de baja densidad tipo B con 11.28 %, 14.35 % y 14.66 % respectivamente, mientras que en el tipo A se observaron menores porcentajes. La espectroscopia de infrarrojo con transformada de Fourier, reveló cambios en el polietileno de baja densidad tratado, con aumento de bandas en las regiones de carbonilo C=O y C-O. En microscopio electrónico de barrido mostro hifas fúngicas adheridas en la superficie plástica, evidenciando actividad enzimática de los hongos filamentosos y su posible uso como fuente de carbono.

Palabras clave: Biodegradación, polietileno de baja densidad, hongos filamentosos, botadero de residuos sólidos.

INTRODUCCIÓN

Una de las principales innovaciones en la industria química fue la creación de polímeros sintéticos, lo que condujo a la posterior invención de los materiales plásticos. Este material se ha incorporado ampliamente en la vida cotidiana debido a su versatilidad, lo que ha generado una gran demanda, convirtiéndolo en un elemento prácticamente insustituible en la sociedad actual. Entre los productos plásticos más utilizados se encuentran las bolsas, que se volvieron esenciales por su utilidad, bajo costo y facilidad de producción, desplazando así a las bolsas de tela, papel y otros materiales.

Sin embargo, el uso indiscriminado de bolsas plásticas ha generado una problemática ambiental de gran magnitud. Se estima que cada año se consumen cerca de 5 billones de bolsas plásticas a nivel mundial. Aunque sus características físicas han beneficiado a diversas industrias y al consumo masivo, estas mismas propiedades dificultan su descomposición natural. Se calcula que las bolsas de plástico pueden tardar en descomponerse entre 400 y 1000 años en degradarse, y los residuos químicos que libera perduran por mucho más tiempo en el ambiente (Sanchez, 2010). Esta persistencia ha contribuido a la acumulación progresiva de desechos plásticos en vertederos, ríos, océanos y otros ecosistemas, generando impactos negativos en el suelo, el agua y la biodiversidad (Greenpeace, 2019). Particularmente, las bolsas plásticas representan un desafío para los sistemas de reciclaje, ya que su baja densidad y escaso valor económico hacen inviable su recuperación a gran escala (Ojeda et al., 2009).

Ante este contexto, surge la necesidad de buscar alternativas sostenibles para el tratamiento de residuos plásticos. Una opción prometedora es la biodegradación mediada por microorganismos. Dentro de este grupo, los hongos filamentosos presentan un alto potencial, dado que son organismos heterótrofos que degradan materia orgánica compleja mediante la secreción de enzimas extracelulares capaces de descomponer polímeros sintéticos (Lee et al., 1990 citado en Uribe et al., 2010).

En esta investigación se evaluó la efectividad degradativa de hongos filamentosos sobre polietileno de baja densidad (LDPE), aislados de bolsas de plástico que mostraban desgaste, recolectadas en el botadero del distrito de Sicuani. Con ello se busca aportar una alternativa que contribuya a reducir la acumulación de residuos plásticos en botaderos locales, mitigando su impacto sobre el recurso suelo y cuerpos de agua.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los plásticos son materiales muy utilizados a nivel mundial debido a su versatilidad, resistencia y bajo costo de producción. No obstante, su uso masivo y su difícil degradación natural lo han convertido en una de las principales fuentes de contaminación ambiental, ya que su acumulación en ecosistemas terrestres y acuáticos es cada vez mayor, generando impactos negativos severos.

Se estima que cada año se consumen cerca de 5 mil billones de bolsas plásticas a nivel mundial, de las cuales alrededor del 70% terminan en los océanos y vertederos, mientras que un 12% es incinerado, contribuyendo a la emisión de gases de efecto invernadero (Carrillo, 2022). En el caso del Perú, el Ministerio del Ambiente, reporta que se generan alrededor de 1.2 millones de toneladas de residuos plásticos al año y solo el 10% de esos residuos son reciclados adecuadamente. Por otro lado, se estima que cada ciudadano consume en promedio 30 kg de plástico al año, generando cerca de 3,000 millones de bolsas plásticas anualmente (Republica sostenible, 2023). En el año 2022 en la provincia del Cusco, la generación de residuos plásticos alcanzo aproximadamente 9,314.56 toneladas y 4,860.77 toneladas de bolsas plásticas. En el distrito de Sicuani, provincia de Canchis (Cusco), se generaron 441. 86 toneladas de residuos plásticos, y 320. 33 toneladas de bolsas de plástico (Ministerio del Ambiente, 2022).

Esto evidencia que los plásticos constituyen uno de los principales problemas de contaminación en las ciudades del interior del país, acumulándose en grandes cantidades en los botaderos, ya que los plásticos pueden permanecer en el ambiente durante cientos de años, y en el caso de las bolsas de plásticos de un solo uso, su degradación natural es de 400 a 1000 años (Sanchez, 2010), lo que agrava su impacto. Además, su reciclaje no es económicamente viable por su poca masa y suelen estar mezcladas con otros materiales de distinta naturaleza, lo cual dificulta su recolección, separación y procesamiento. El reciclaje de una tonelada de bolsas plásticas puede costar hasta \$4,000, mientras que su valor en el mercado de materias

primas es de apenas \$32 (Agencia de protección al Medio Ambiente Estados Unidos, 2005), favoreciendo su disposición final en botaderos como el de Chacuchayoc – pata, donde contaminan el suelo y las fuentes hídricas cercanas a través de la liberación de microplásticos y compuestos químicos generados durante su lenta descomposición.

Asimismo, muchos habitantes recurren a la incineración de bolsas de plástico como método de eliminación, lo cual libera gases tóxicos que afectan la calidad del aire y representan un riesgo para la salud humana (Georgina, 2014). Todas estas situaciones evidencian una deficiente gestión integral de residuos sólidos, particularmente en lo que respecta al manejo de plásticos de un solo uso, representando un serio riesgo ambiental para la zona.

Frente a estas limitaciones, diversas investigaciones han demostrado que los hongos poseen enzimas capaces de degradar polímeros sintéticos que podría ser una alternativa prometedora, por lo que las interrogantes de la investigación son:

Pregunta general

¿Cuál será la efectividad de hongos filamentosos en la degradación de polietileno de baja densidad provenientes del botadero de Sicuani provincia de Canchis, región Cusco?

Preguntas específicas

¿Qué hongos filamentosos con capacidad degradadora se aislarán de restos de bolsas plásticas a distintas profundidades del botadero de Sicuani?

¿Qué cepas de hongos filamentosos aislados tendrán mayor efectividad en la degradación de polietileno de baja densidad en medio de sales minerales?

¿Cuáles serán los consorcios de hongos filamentosos más efectivos en la degradación de polietileno de baja densidad en suelo?

JUSTIFICACIÓN

La presente investigación tiene la finalidad de contribuir a la reducción de la contaminación ambiental causada por los desechos plásticos, especialmente bolsas de plástico elaborados a base de polietileno de baja densidad, mediante la utilización de hongos filamentosos como agentes biodegradadores. Esta alternativa no genera subproductos tóxicos, permitiendo así la implementación de propuestas tecnológicas ecológicas y sostenibles.

El estudio contempla el aislamiento y la selección de cepas fúngicas nativas provenientes del botadero de Sicuani, con capacidad degradativa, en la que se busca validar científicamente su eficacia, generando conocimientos que contribuyen al mejoramiento de técnicas de degradación y que pueda ser aplicado a futuras estrategias de biorremediación adaptadas al contexto local.

Así mismo aportará alternativas de solución que coadyuven a mejorar la gestión de residuos sólidos, lo que a su vez favorecerá a mejorar la calidad de vida y condiciones de salud de la población, previniendo daños futuros.

OBJETIVOS

Objetivo General

Evaluar la efectividad de hongos filamentosos en la degradación el polietileno de baja densidad provenientes del botadero de residuos sólidos del distrito de Sicuani, provincia Canchis, región Cusco.

Objetivos específicos

- a. Identificar hongos filamentosos con capacidad degradadora de polietileno de baja densidad, aislados de restos de bolsas plásticas a distintas profundidades en el botadero de Sicuani.
- b. Determinar el grado de efectividad de cepas de hongos filamentosos en la degradación de polietileno de baja densidad en medio de sales minerales.
- c. Determinar el grado de efectividad de consorcios de hongos filamentosos en la degradación de polietileno de baja densidad en suelo.

HIPÓTESIS

Hipótesis general

- Los hongos filamentosos provenientes del botadero de residuos sólidos del distrito de Sicuani, provincia de Canchis, son efectivos en la degradación de polietileno de baja densidad.

Hipótesis específicos

- Los hongos filamentosos tendrán efectividad significativa en la degradación de polietileno de baja densidad en medio de sales minerales.
- Los Consorcios de hongos filamentosos tendrán efectividad significativa en la degradación de polietileno de baja densidad en suelo.

CAPITULO I: MARCO TEÓRICO

1.1 ANTECEDENTES

1.1.1 Antecedentes Internacionales

Nowak, (2011), evaluaron la biodegradación de tres tipos de materiales plásticos: LDPE (tipo 1: 100 % polietileno), poliéster (tipo 2:100% poliéster) y LDPE modificado (tipo 3: 70 % polietileno y 30 % bionolle). Estos fueron incubados en 3 tipos de suelo (carbón residual, bosque y cráter de volcán extinto) y analizados a los 75, 150 y 225 días mediante pérdida de peso, FTIR y SEM. Los resultados mostraron que el suelo del cráter presento las mayores tasas de degradación, con pérdida de peso de 0.28 % en el tipo 1, 0.62 % en el tipo 2 y 17.03 % en el tipo 3 después de 225 días. Además, identificaron bacterias del género, *Bacillus*, y hongos como *Gliocladium viride*, *Aspergillus awamori* y *Mortierella subtilissima*. La degradación del tipo 3 evidencio cambios en la propiedades mecánicas y adherencia de estructuras fúngicas observadas mediante SEM, así como modificaciones en las cadenas poliméricas detectadas por FTIR.

Gutierrez (2013), aisló consorcios de microorganismos capaces de degradar LDPE a partir de muestras colectadas a profundidades de 50 y 80 cm, en el lugar de disposición final de residuos sólidos en “Bordo Poniente” de México. Evaluó la actividad degradativa utilizando medio (MSM), donde comprobó la presencia de biopelículas, e identifico 6 hongos filamentosos (*Aspergillus flavus*, *Aspergillus fumigatus*, *Aspergillus niger*, *Cladosporium sp.*, *Gliocladium virens*, y *Penicillium sp.*), 3 levaduras (*Rhodotorula sp.*, *Saccharomyces cerevisiae*, *Schizosaccharomyces pombe*). La degradación de LDPE se evidencio mediante análisis de Microscopia Electrónica de Barrido (SEM), mostrando cambios en la superficie del material, y por la reducción de su peso. Los resultados indicaron promedios de pérdida de peso de 5.88%, a pH 7 y 8.33%, a pH 5, ambas sin agitación, mientras que a pH 5 con agitación se alcanzó una degradación del 18.12% a pH 5, con un valor máximo de 19.32%.

Quinchía & Maya, (2015), analizaron el potencial de biodegradación del polietileno de baja densidad LDPE, con la actividad del hongo *Pycnoporus sanguineus* UTCH03. Utilizaron LDPE como parte del sustrato de crecimiento en fase sólida, a condiciones óptimas en laboratorio. La degradación del polímero fue medida durante 6 meses. La verificación de la biodegradación lo realizaron por gravimetría, registro de cambios superficiales en el material por medio de Microscopia Electrónica de Barrido – SEM, cambios en los grupos funcionales superficiales mediante Espectrofotometría Infrarroja por Transformada de Fourier – FTIR y cambios en la cristalinidad a través de pruebas de Calorimetría Diferencial de Barrido - DSC. Los resultados de estas pruebas permiten corroborar que el hongo utiliza el polímero como fuente de carbono y su crecimiento genera cambios comprobables en un tiempo corto comparada con las proyecciones de vida útil del material.

Espinoza, (2018), determinó y cuantificó el nivel de degradación en LDPE por siete especies de hongos durante tres períodos de tiempos (35, 60 y 90 días). Para ello analizó y caracterizó fisicoquímicamente las muestras de plástico por variación de peso, SEM y FTIR. Los resultados evidenciaron que *Fusarium* es la más apta para degradar LDPE mostrando una pérdida de peso con una media de 0.99% +/- 0.11% tras 90 días de cultivo, mientras que *Aspergillus* mostro una degradación moderada. No se observaron cambios significativos en la composición molecular del LDPE, pero el análisis por SEM revelo signos de actividad metabólica fúngica, evidenciada por la presencia de rugosidad superficial, agujeros, grietas e incluso hifas integradas en la matriz polimérica del material.

1.1.2 Antecedentes Nacionales

Méndez et al., (2007), aislaron y caracterizaron micromicetos de polietileno procedentes del relleno sanitario “El Zapallal” de Lima. Se obtuvieron 30 muestras de productos plásticos, sometidos a un proceso de limpieza enérgica, de las cuales se aislaron 20 cepas pertenecientes a los géneros *Aspergillus* (06), *Penicillium* (03) *Cladosporium* (02),

Geotrichum (01), *Mucor* (01), *Helminthosporium* (02), *Chaetomium* (01), *Fusarium* (01), *Hormodendrum* (01), *Cephalosporium* (01) y *Nigrospora* (01). Para la prueba degradativa las cepas fueron incubadas a temperaturas de 20°C y 30°C en distintos valores de pH. A 20°C y pH 6.5, el 25 % de las cepas mostró capacidad degradativa mientras que a pH 8.0, solo el 15 % presento degradación, destacando *Aspergillus flavus* con actividad moderada (++) . A 30°C, pH 6.5 el 30% de las cepas degrado el polietileno, y a pH 8,0 el 15%, siendo *A. flavus* el mejor degradador en estas condiciones (+++). En ambos experimentos, ninguna cepa mostro actividad degradativa a pH4.5.

Uribe et al, (2010), aislaron y describieron la actividad biodegradativa de microorganismos sobre LDPE, a partir de plásticos deteriorados recolectados en un relleno sanitario de Lima. Para su preselección, los microorganismos fueron cultivados en un medio de solución de sales minerales (MSM) a pH 5.5 para hongos y pH 7 para bacterias, siendo incubados a 20°C por 60 días. Se lograron aislar seis cepas: *Pseudomonas sp.* (02), *Penicillium sp.* (01), *Rhodotorula sp.* (01), *Hyalodendron sp.* (01), y una levadura no identificada. La degradación de LDPE se evidencio mediante FTIR, observándose una reducción del 83.89 % en la fuente de carbono correspondiente al grupo funcional C-O a pH 7, y una disminución del 19.77 % en el grupo C = C a pH 5.5. Además, se estableció una relación de absorbancia en los picos de los grupos funcionales C-O (cercano a 1700 – 1735 cm⁻¹), C = C (cercano a 1340 – 1410 cm⁻¹) y CH₂ (cercano a 1465 cm⁻¹), indicando modificaciones estructurales en el polímero.

Iparraguirre & Vivanco , (2015), evaluaron la capacidad degradadora de hongos filamentosos aislados de plásticos deteriorados recolectados en un antiguo botadero de residuos sólidos en Santiago, Ica. Utilizando agar Sabouraud para el aislamiento; la identificación mediante claves taxonómicas confirmadas por el Instituto Nacional de Salud, aplicaron la técnica de Kavelman y Kendrick para evaluar la biodegradación durante dos meses, a 25–30 °C

y pH 5–7. Se identificaron cinco cepas biodegradadoras de PET y ocho de LDPE, destacando una del género *Mucor* por su alta eficiencia, con una pérdida de peso del 1.3 % en PET y del 20 % en LDPE. El estudio concluye que los hongos filamentosos poseen un alto potencial en la degradación de polímeros sintéticos como el polietileno.

Gutiérrez, (2019), aisló y describió la actividad biodegradativa de microorganismos sobre LDPE a partir de materiales plásticos deteriorados recolectados en el botadero de la municipalidad de Tacna. Para su preselección, los microorganismos fueron cultivados en medio (MSM) logrando aislar cepas de bacterias, hongos identificados como *Penicillium vanoranjei*, *Aspergillus sp*, así como levadura *Saccharomyces cereviceae*, además de dos cepas no identificadas. La degradación de LDPE se evidencio mediante Microscopia Electronica de Barrido (SEM), comparando las modificaciones estructurales con respecto a un control sin tratamiento. Se registró una pérdida del 2,88 % tras 70 días de incubación. El consorcio con mayor capacidad degradativa fue el número 3, alcanzando un 6,54 % de degradación. Además, se observó que la composición microbiana de los consorcios estuvo conformada en 69 % por bacterias y en un 31 % por hongos y levaduras.

1.1.3 Antecedentes Locales

Gessa y Peralta, (2013), determinaron la presencia de micromicetos con capacidad degradadora a partir de biopelículas presentes en polietileno recolectado en el botadero de Haqira, Cusco. Las muestras sometidas a lavado y desinfección, logrando aislar nueve cepas en medio sólido con extracto de malta, pertenecientes a los géneros *Fusarium* (05), *Rizophus* (01), *Chaetomium* (01). Para evaluar su capacidad degradativa las cepas fueron incubada a 26° C durante siete semanas, en medio solido Czapec – Doc, donde se evidencio su crecimiento utilizando polietileno como única fuente de carbono. La actividad fúngica fue confirmada mediante observaciones en microscopio óptico, demostrando su potencial en la biodegradación de este polímero.

1.2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

1.2.1 Características generales de los hongos filamentosos micelios o mohos

Son microorganismos eucariontes, heterótrofos y aerobios, con un metabolismo quimioheterotrofo. Se nutren por absorción, obteniendo su energía y carbono a partir de compuestos orgánicos sintetizados por otros organismos. Su crecimiento óptimo se da en un rango de Temperatura de 10 a 40°C, y la mayoría se desarrolla a un pH entre 2 y 9 (Liebana, 2002).

El pH del medio influye en su crecimiento, ya que valores elevados afectan la solubilidad de los metales, mientras que valores bajos pueden alterar la actividad enzimática, la absorción de vitaminas esenciales, ácidos orgánicos y nutrientes (Kavanagh, 2005). Fisiológicamente, los hongos filamentosos presentan una mayor tolerancia a condiciones extremas en comparación con otros microorganismos. Son capaces de crecer en sustratos con altas concentraciones de azúcar elevados, hasta el 10 %, debido a su resistencia la presión osmótica elevada. Su crecimiento es relativamente lento, tardando entre de 5 a 7 días, y pueden sobrevivir en medios con alta acidez (Moreno, 2000 y Cepero et al, 2012).

1.2.1.1 Morfología Fúngica

La estructura fúngica consta de un órgano filamentosos denominado hifa, cuyo conjunto forma el micelio. La hifa es una estructura tubular que se ramifica a medida que el hongo crece en forma apical, que normalmente se desarrollan a partir de esporas, aunque también pueden desarrollarse de fragmentos de otras hifas; ramificándose hasta formar una maraña de filamentos que constituyen el micelio; pueden ser incoloras y dematiáceas; pueden ser septadas, con un diámetro de 2-5 μm , cenocíticos o sifinados con 10-15 μm (Liebana, 2002).

El septo es una pared transversal interna, que se dispone de manera perpendicular a la hifa, se origina de un pequeño anillo interno de la pared celular el cual crece hasta formar una

especie de disco con unos poros que permiten el intercambio de protoplasma, organelos, mitocondrias y núcleo.

Los hongos presentan reproducción asexual y sexual. Las esporas son las células reproductoras de los hongos y tienen características propias de un taxón en particular. Estas varían en color, tamaño y forma, desde globosas hasta ovales, oblongas, helicoidales y en forma de aguja. Las esporas fungosas producidas asexualmente nacen de esporangios y son llamados esporangiosporas, o son producidos en la punta o al lado de hifas en varias formas y son llamados conidios (Arenas, 2014).

Por otro lado, en una colonia de un hongo filamentoso se produce una diferenciación de las funciones, de tal forma que el micelio vegetativo penetra en el sustrato para obtener nutrientes, mientras que el aéreo o reproductor se proyecta hacia el exterior y origina las estructuras reproductoras (Liebana, 2002).

Presentan una pared celular, que está constituida por quitina, polisacáridos entre el 80 y 90 %, y proteínas que representan hasta el 15 % de la pared, que también pueden estar unidas a los polisacáridos formando glucoproteínas, y un pequeño porcentaje de lípidos. Encargada de penetrar a su hospedero, formar propagulos y generar ramificaciones; el espesor de la pared en mohos es menor a 200 nm,

La principal función de la pared es la de proteger contra factores ambientales como el estrés, la lisis osmótica y los daños por acción de la luz ultravioleta y productos químicos; además, de servir como una barrera física contra la acción de otros organismos. También tiene propiedades antigénicas que median la interacción con otros organismos y poseen algunas aglutininas que permiten al hongo la adhesión al sustrato así mismo también los apareamientos (Cepero et al., 2012).

Los hongos presentan enzimas extracelulares que degradan gran cantidad de sustancias, que en algunos casos les sirve como factor de virulencia en su hospedador. Las principales

enzimas fúngicas implicadas en la biodegradación del polietileno son las enzimas lignolíticas lacasas y peroxidasas (Temporiti et al., 2019).

1.2.1.2 Hongos filamentosos implicados en la biodegradación de polietileno de baja densidad (LDPE).

Muchas investigaciones han reportado hongos filamentosos con capacidad degradativa sobre polietileno de baja densidad. Entre ellos, los géneros *Aspergillus* y *Penicillium* destacan por su potencial degradador, el cual se debe a la producción de enzimas extracelulares que facilitan la descomposición de los polímeros plásticos.

1.2.1.2.1 Género: *aspergillus micheli*.

La clasificación modificada y traducida del reino de los hongos (Hibbett, y otros, 2007):

Posición taxonómica

Filo: Ascomycota

Subfilo: Pezizomycotina

Clase: Eurotiomycetes

Subclase: Eurotiomycetidae

Orden: Eurotiales

Familia: Trichocomaceae

Género: *Aspergillus Micheli*.

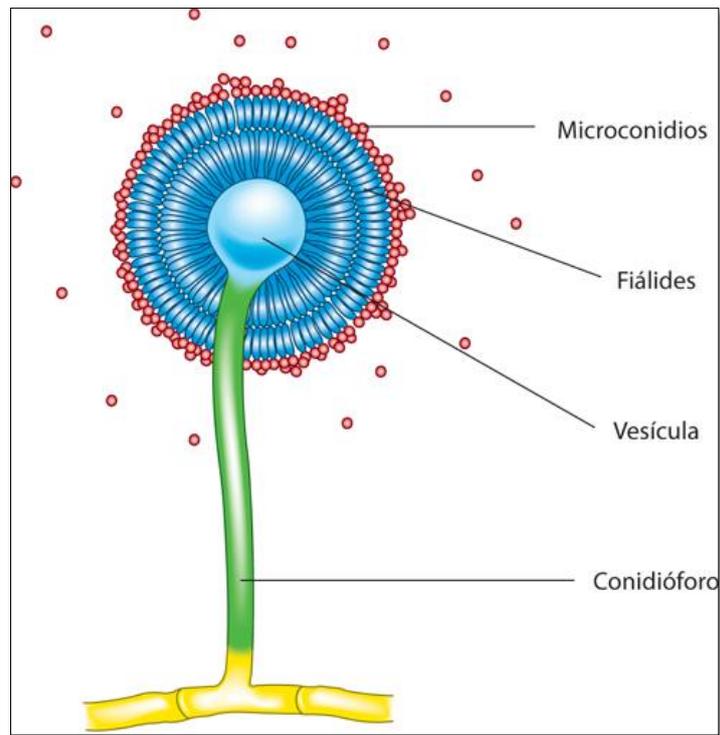
Las especies del género *Aspergillus* son conidióforos no ramificados, con una célula pie en la base, estípote alargado que termina en un ensanchamiento denominado vesícula de la que se originan las fiálides, en el grupo de los uniseriados, o las métulas en el grupo de los biseriados. No presentan septos, los conidios son unicelulares, lisos o rugosos, hialinos y en algunas especies pigmentadas (Cepero et al., 2012).

Los *Aspergillus* son de rápido desarrollo, la colonia es blanca algodonosa que posteriormente con las esporas se va tornado de color distinto según la especie (Arias et al.,

2008). Para la identificación de especies se observa el color de las colonias, estructuras reproductivas.

Figura 1

Características del genero Aspergillus Micheli



Nota. Obtenido de (Bonifaz, 2015).

1.2.1.2.2 Género: *penicillium* link.

Posición taxonómica

La clasificación modificada y traducida del reino de los hongos (Hibbett, y otros, 2007):

Filo: Ascomycota

Subfilo: Pezizomycotina

Clase: Eurotiomycetes

Subclase: Eurotiomycetidae

Orden: Eurotiales

Familia: Trichomaceae

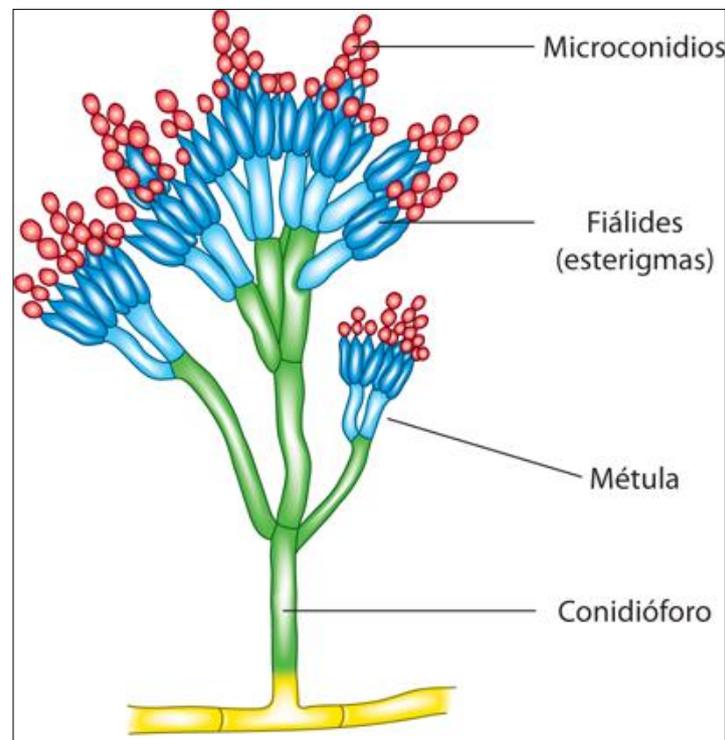
Género: *Penicillium* link.

Las especies del género *Penicillium* están constituidos por conidióforo, metula fialideconidio, que forman una estructura a manera de pincel, pueden ser simples (monoverticilados) o ramificados, y de acuerdo a la ramificación que presentan estas pueden ser biverticilados, terverticilados y cuaterverticilados; las ramificaciones pueden ser simétricas o asimétricas.

Los conidios se originan de las fialides, son unicelulares, hialinos o verdosos, son elipsoides a cilíndricos de paredes lisas o rugosas (Cepero et al., 2012). Son de rápido desarrollo forman colonias blancas aterciopeladas, que posteriormente con las esporas toman diferentes colores según la especie. El verticillum es fundamental en la clasificación del hongo (Arias et al., 2008).

Figura 2

Características del género Penicillium link



Nota. Fuente: (Bonifaz, 2015).

1.2.2 Polímeros

Moléculas de gran tamaño, constituidas por grandes cantidades de monómeros, mediante enlaces covalentes; pueden ser de origen natural o sintético. Entre los polímeros naturales se tiene a proteínas, polisacáridos, ADN, celulosa, algodón, seda, lana, y el primer caucho disponible de gran importancia comercial denominado látex, obtenido de la corteza del árbol de *Hevea brasiliensis* (Wade, 2004 y Vaysse et al., 2012).

Los polímeros sintéticos son materiales de alto peso molecular, se puede obtener por la transformación química controlada a partir de polímeros naturales sin destruir significativamente su naturaleza molecular como la seda artificial o pueden ser producidos con la transformación significativa de su estructura molecular como los producidos en forma

industrial, a partir de materias primas como el gas natural y petróleo crudo, que posteriormente se transformarán por diferentes procesos en materiales plásticos (Hashemi & Smith, 2006).

Tabla 1

Clasificación de plásticos o polímeros sintéticos

Tipos de plásticos	Abreviatura	Estructura	Símbolos de reciclaje
Polietileno tereftalato	PET		
Polietileno de alta densidad	HDPE	$(-\text{CH}_2-\text{CH}_2-)_n$	
Cloruro de polivinilo	PVC		
Polietileno de baja densidad	LDPE		
Polipropileno	PP		
Poliestireno	PS		

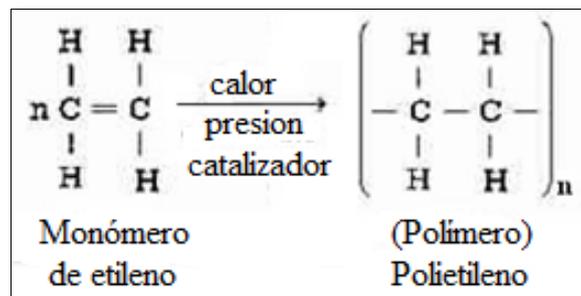
Nota. Principales tipos de plásticos, su abreviatura, unidad estructural polimérica y su código de identificación para reciclaje. *Adaptado de* (Seymour & Carraher, 2013).

1.2.2.1 Polietileno

Polímero termoplástico, ampliamente usado debido a su bajo costo, baja polaridad, flexibilidad, versatilidad. La unidad monomérica del polietileno es el etileno, gas fácilmente compresible a temperatura ambiente; se obtiene a partir de petróleo crudo y gas natural. La polimerización del etileno se lleva a cabo por la apertura del doble enlace, mediante un mecanismo de reacción en cadena que involucra radicales libres, por efecto de temperatura y presión, en presencia de un catalizador (Roca, 2005).

Figura 3

Polimerización del etileno para la formación del polietileno



Nota. Representación esquemática de la conversión del monómero de etileno a polietileno mediante la aplicación de calor, presión y un catalizador. *Adaptado de* (Hashemi & Smith, 2006).

1.2.2.2 Polietileno de baja densidad (LDPE).

Polímero que presenta alto índice de ramificaciones, estas ramificaciones pueden estar constituidas por radicales alquilo o pequeñas ramificaciones, obtenida por polimerización del etileno a presiones de 1500 a 3000 atm y 200 °C, con ayuda de un catalizador y por el mecanismo de radicales libres. Presentan una densidad de 0.910 a 0.925 g/cm³, no presenta color, es inodoro y no es tóxico (Roca, 2005).

1.2.2.3 Aditivos

Se consideran aditivos aquellos materiales que van dispersos físicamente en una matriz polimérica, sin afectar a su estructura molecular ; son productos que se mezclan con el polietileno con el objetivo de mejorar las propiedades del polímero (Roca, 2005), así como facilitar su procesado o dar un determinado color o textura, y se tiene a los colorantes, plastificantes, estabilizantes, lubricantes, retardantes de llama, agentes antiestáticos, colorantes, antioxidantes, etc. (Beltrán & Marcilla, 2012).

1.2.2.4 Problemática de los polímeros sintéticos (plásticos) como residuos.

El uso de plásticos ha aumentado considerablemente, reemplazando materiales como vidrio, papel, madera y metales. Desde 1950 hasta 2017, se han producido aproximadamente 9,200 millones de toneladas de plástico, de las cuales 7,000 millones se han convertido en residuos, acumulándose en vertederos o siendo desechadas en el medio ambiente, incluido los océanos, aproximadamente el 14 % ha sido incinerado y menos del 10 % ha sido reciclado.

Se estima que anualmente 8 millones de toneladas de desechos plásticos llegan a los océanos, lo que equivale a verter un camión de basura lleno de plástico cada minuto (United Nations Environment Programme, 2021). Esta contaminación impacta gravemente la vida marina, pues muchas especies, como tortugas, ballenas y delfines, ingieren o quedan atrapadas en los plásticos, poniendo en riesgo su supervivencia (Albarrán, 2019).

El uso indiscriminado y la mala gestión de los plásticos han generado una crisis ambiental. Su degradación natural es de 400 a 1000 años (Sanchez, 2010), dependiendo de su composición y las condiciones ambientales

Los residuos plásticos se transportan por ríos y océanos, afectando gravemente la biodiversidad y los ecosistemas marinos (Aimone, 2018). Esto ha dado lugar a la formación de grandes acumulaciones de plásticos en los océanos, conocidas como "islas de plástico", que se generan por la acción de los giros oceánicos. Actualmente, se han identificado cinco grandes

acumulaciones, destacando la del Pacífico Norte, entre California y Hawái, con una extensión de 1.6 millones de km² y un estimado de 1.8 billones de fragmentos de plástico con un peso total de 80,000 toneladas. Otras acumulaciones significativas se encuentran en el Atlántico Norte, el Pacífico Sur, el Océano Índico y el Atlántico Sur, afectando gravemente la vida marina (Socas, 2018).

Una vez en el mar, los plásticos se fragmentan en partículas menores de 5 mm, conocidas como microplásticos, debido a la acción del viento, la radiación solar y el oleaje. Estos microplásticos se dispersan globalmente, encontrándose desde la cima del Everest hasta la Fosa de las Marianas (Parker, 2019).

En el Perú, se estima que cada ciudadano consume en promedio 30 kg de plástico al año, generando cerca de 3,000 millones de bolsas plásticas anualmente. Solo en Lima Metropolitana y Callao, se producen 886 toneladas de residuos plásticos al día, representando el 46% del total nacional (Republica sostenible, 2023). En el año 2022 en la provincia del Cusco, la generación de residuos plásticos alcanzo aproximadamente 9,314.56 toneladas y 4,860.77 toneladas de bolsas plásticas. En el distrito de Sicuani, provincia de Canchis (Cusco), se generaron 441.86 toneladas de residuos plásticos, y 320.33 toneladas de bolsas de plástico (Ministerio del Ambiente, 2022).

Evidenciando que la acumulación de bolsas plásticas en vertederos municipales y provinciales genera serios problemas ambientales y de salud pública. Además, su lenta descomposición dificulta la gestión eficiente de los residuos, contribuyendo a la contaminación del recurso suelo y del agua.

Por otro lado, la quema de plásticos es una práctica común para reducir su volumen. Sin embargo, este proceso libera gases tóxicos que no solo agravan el cambio climático, sino que también afectan la salud humana, aumentando la incidencia de enfermedades respiratorias y otros padecimientos en las comunidades cercanas (Georgina, 2014).

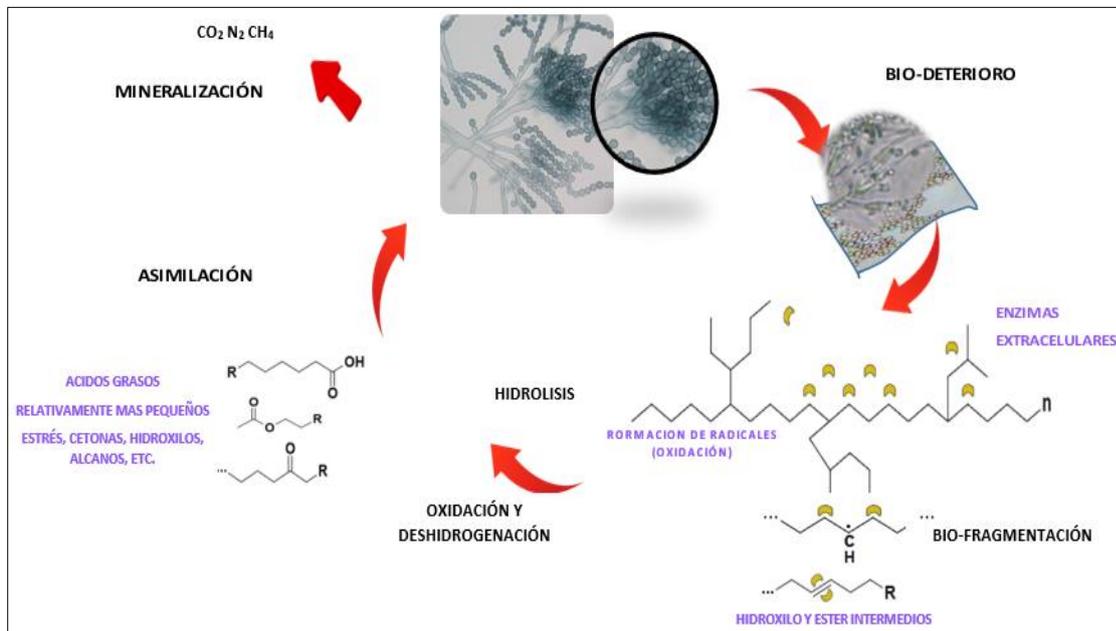
1.2.2.5 Degradación biológica de polímeros sintéticos.

Es la capacidad de microorganismos o enzimas extracelulares excretadas por ellos para causar deterioro o transformar materiales (Domínguez et al., 2011).

EL biodeterio, es el proceso en la cual los microorganismos secretan enzimas extracelulares capaces de romper los enlaces moleculares del polímero, produciendo envejecimiento en la superficie. A esta etapa le sigue la biofragmentación, donde las enzimas de los microorganismos catalizan la ruptura de los polímeros en compuestos más simples, tales como oligómeros, dímeros, monómeros. Estos productos pueden ser hidrosolubles en la que eventualmente podrán ser transportadas dentro de los microorganismos. Posteriormente seguirá la etapa de asimilación, en la cual se inicia la incorporación al metabolismo microbiano, formando grupos carboxílicos, que luego son degradadas por la B – oxidación, e integradas al ciclo del ácido cítrico. Finalmente, el proceso termina con la mineralización, etapa donde ocurre la total degradación por acción del metabolismo microbiano, resultado de la excreción de metabolitos completamente oxidados como CO₂, H₂O, N₂, CH₄, entre otros. (Dussud & Ghiglione, 2014 y Zahra et al., 2010).

Figura 4

Degradación general de polímeros plásticos



Nota. Proceso de degradación de polímeros plásticos. *Adaptado de* (Dussud & Ghiglione, 2014 y Zahra et al., 2010).

1.2.3 Disposición final de residuos sólidos en botaderos y botaderos controlados

1.2.3.1 Botaderos

Lugar de disposición final inapropiado de residuos sólidos en vías, espacios públicos, zonas urbanas, rurales o baldíos; estos funcionan sin ningún criterio técnico ni control sanitario o ambiental, produciendo lixiviados, malos olores, polvo, emisión de gases como el metano u otras sustancias tóxicas. Estas acumulaciones existen al margen de la Ley y carecen de autorización. (Guía técnica para la clausura y conversión de botaderos de residuos sólidos, 2004 y Decreto Legislativo N° 1278, 2016).

1.2.3.2 Botaderos controlados.

Lugar de disposición final de residuos sólidos que no cuenta con la infraestructura adecuada, pero se dan condiciones mínimas de operación para que los residuos no se encuentren a cielo abierto; los residuos son compactados en capas para reducir su volumen y

son confinados periódicamente con material de cobertura (Guía técnica para la clausura y conversión de botaderos de residuos sólidos, 2004).

1.2.4 Efecto de los botaderos en el medio ambiente.

A nivel mundial, el manejo de los residuos sólidos ha representado un problema muy grande, debido, a los altos volúmenes de residuos sólidos generados por la población; por esta razón es que los botaderos reciben a diario miles de toneladas de basura, llegando a colapsar y disminuir su vida útil, ya que el manejo no es el adecuado, además la falta de cultura en el reciclaje, lo que afecta la salud de la población y al medio ambiente.

Entre los botaderos más grandes se tiene a Jianguogou, China, que recibe a diario alrededor de 10000 toneladas diarias, pero que fue diseñada para 2500 toneladas (BBC Mundo, 2019). Y Bantargerbang, Indonesia que ha sobrepasado sus límites de salubridad, llegando a alcanzar una montaña de alrededor de 40 m de altura y que recibe a diario entre 6500 y 7000 toneladas de basura (Nurul, 2019).

En el Perú existen 1585 botaderos informales, y entre los departamentos con mayor presencia de botaderos se encuentran Ancash (149), Cajamarca (123) y Puno (111) (OEFA, 2018). Y la generación de basura diaria alcanza 23 toneladas y solo 15 % se logra reciclar (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental., 2018).

La acumulación excesiva de los residuos en los botaderos causa contaminación del suelo, aire y agua, además la presencia de animales transmisores de enfermedades como roedores, insectos, y demás vectores como bacterias virus, etc. incrementan el riesgo de enfermedades infecciosas, que representan un peligro para la salud y la seguridad de los pobladores y recolectores (Guía Técnica para la Clausura y Conversión de Botaderos de Residuos Sólidos, 2004).

1.2.5 Normatividad.

En Perú, la gestión y disposición final de residuos sólidos, incluidos los plásticos, se rige por un conjunto de normas que tiene como objetivo fomentar acciones sustentables, con el fin de reducir el impacto ambiental.

1.2.5.1 Decreto Legislativo N°1278 “Ley de Gestión Integral de Residuos sólidos”

Aprobado en 2016, esta normativa establece directrices para la gestión y manejo integral de residuos sólidos en el Perú. Su objetivo principal es reducir la generación de residuos, promover su aprovechamiento y garantizar una adecuada disposición final. La normativa asigna responsabilidades compartidas al estado, el sector privado y la ciudadanía, fomentando un enfoque integral y sostenible en la gestión de residuos sólidos (Decreto Legislativo N° 1278, 2016). La normativa fue reglamentada a través del Decreto Supremo N°014-2017-MINAM, en la que establece disposiciones específicas para la reducción de residuos en la fuente, la valorización material y energética, y la sostenibilidad de los servicios de limpieza pública (Reglamento del Decreto Legislativo N°1278, 2017).

1.2.5.2 Ley N° 30884: Ley que regula el Plástico de un solo Uso y los Recipientes o Envases Descartables.

Promulgada en diciembre de 2018, esta normativa estableció un marco legal regulatorio para reducir el uso, distribución y comercialización de plásticos de un solo uso y otros materiales plásticos no reutilizables. Asimismo, la reducción de recipientes o envases descartables de poliestireno expandido (tecnopor) destinados al consumo de alimentos y bebidas. La normativa también promueve la sustitución progresiva de estos productos por alternativas reutilizables o biodegradables (Ley N° 30884, 2018).

Para su implementación, la ley fue reglamentada mediante el Decreto Supremo N°006-2019-MINAM, que establece medidas y plazos para la aplicación. Los plazos para la prohibición, obligación de los productores y comercializadores en la reducción del uso de

plásticos y la adopción de alternativas sostenibles. La fiscalización y sanciones por parte del (MINAM) y las municipalidades que garantizan su cumplimiento (Reglamento que regula la Ley N°30884, 2019).

1.2.6 Metodología utilizada en la evaluación de la degradación de LDPE.

1.2.6.1 Método gravimétrico

La pérdida o reducción de peso se fundamenta en la capacidad de ciertos microorganismos para descomponer polímeros plásticos en compuestos más sencillos. Este proceso implica la fragmentación de las cadenas poliméricas, generalmente debido a la alteración en la estructura física y química, lo que a su vez provoca la disminución en el peso molecular del polímero. Según (Singh & Sharma, 2008) la pérdida de masa molecular y los cambios en la distribución de la masa molecular, son considerados indicadores directos de degradación, ya que afectan de manera significativa las propiedades del material. Por esta razón, la medición de pérdida de peso se utiliza muy frecuentemente para evaluar de la biodegradabilidad de los plásticos.

1.2.6.2 Fundamento teórico del análisis de varianza (ANOVA).

El ANOVA constituye un conjunto de técnicas estadísticas de gran utilidad, diseñados para evaluar la existencia de diferencias significativas entre las medias de tres o más grupos. Su aplicación resulta pertinente cuando las mediciones son repetidas o presentan estructuras experimentales con uno o varios factores. ANOVA permite determinar el efecto de los factores sobre una variable dependiente cuantitativa, en la que cada tratamiento puede tener una o varias unidades experimentales (Dagnino, 2014). Una vez que el análisis de varianza indica la existencia de diferencias significativas entre medias, se recurre a pruebas de comparaciones múltiples para identificar específicamente qué pares de medias difieren estadísticamente entre sí (Fallas, 2012).

1.2.6.3 Fundamento del método por Espectroscopia de Infrarrojo por transformada de Fourier (FTIR)- ATR.

Es una técnica que permite identificar grupos funcionales y estructuras moleculares, así como para evidenciar las modificaciones químicas que ocurren en el polímero durante su biodegradación por acción de microorganismos. La espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR), se basa en que los fotones de radiación infrarroja son absorbidos por los enlaces de una sustancia o molécula en estudio, pasando a niveles vibracionales superiores y cada tipo de enlace absorbe radiación infrarroja a una frecuencia distinta en forma cualitativa y cuantitativa, utilizando la región del infrarrojo, con valores de $4000-400\text{ cm}^{-1}$ de número de onda (Wade, 2004).

La técnica ATR (Attenuated Total Reflectance) es una variante de la espectroscopía FTIR que permite analizar directamente muestras sólidas, líquidas o semisólidas sin preparación previa. Utiliza un cristal de alta refracción donde la radiación infrarroja genera una onda evanescente que penetra superficialmente en la muestra ($0.5-2\ \mu\text{m}$), siendo parcialmente absorbida según su composición. Esto permite identificar grupos funcionales y detectar cambios químicos superficiales con alta precisión (Smith, 2011).

El espectro infrarrojo se analiza en dos regiones referenciales; la primera, llamada región de los grupos funcionales ($1200\text{ a }3600\text{ cm}^{-1}$), donde se identifican los enlaces característicos de grupos funcionales comunes, y la región conocida como “huella digital” ($600\text{ a }1200\text{ cm}^{-1}$); altamente específica para cada polímero. Esta última se mantiene constante salvo que el polímero haya experimentado alteraciones químicas, físicas o biológicas (Gulmine et al., 2002).

Mediante FTIR, diversos estudios han documentado la actividad degradativa de microorganismos sobre polímeros como el polietileno, evidenciada por la aparición de nuevas bandas asociadas a enlaces $\text{C}=\text{O}$ y $-\text{OH}$, así como la formación de grupos funcionales como

aldehídos, cetonas, ácidos carboxílicos y ésteres, producto de los procesos de oxidación y ruptura de cadenas (Ojha et al., 2017; Quinchía & Maya, 2015). También se han reportado cambios en bandas relacionadas con el estiramiento de enlaces $-C\equiv C-$, $N-H$, $C=O$ de aldehídos, $C-O$ de éteres y $C-C=C$ de anillos aromáticos. (Ojha et al., 2017; Gajendiran et al, 2016).

La degradación del LDPE puede cuantificarse mediante FTIR a través de la reducción de los índices de grupos carbonilo $C=O$ y dobles enlaces terminales $C=C$, los cuales son indicadores estables en ausencia de modificación estructural. Las variaciones en estos índices permiten estimar la intensidad de la biodegradación (Uribe et al., 2010).

1.2.6.4 Fundamento del método de Microscopia electrónica de barrido (SEM).

La microscopia electrónica de barrido (SEM) es una técnica que emplea un haz de electrones para formar imágenes de alta resolución de la superficie de una muestra. El equipo cuenta con un cañón de emisión de campo donde se ubica un cátodo de Tungsteno, el cual emite haces de electrones que inciden sobre la muestra. La interacción del haz electrónico con la superficie genera electrones secundarios, los cuales son captados por un detector que transforma la señal en una imagen que revela las características superficiales, pudiendo proporcionar información de las formas, texturas y composición química de sus constituyentes del material analizado (Egas, 1998).

En el estudio de biodegradación del polietileno de baja densidad (LDPE), esta técnica permite visualizar evidencias directas del ataque microbiano. A través de SEM se pueden identificar estructuras fúngicas, colonizaciones sobre el polímero, e incluso la incrustación de hifas en el plástico. Asimismo, la comparación de imágenes antes y después de la exposición al consorcio microbiano revela alteraciones físicas asociadas al proceso de degradación, como grietas, cavidades, fisuras, erosión, rugosidad superficial y perforaciones (Quinchía & Maya, 2015).

CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS

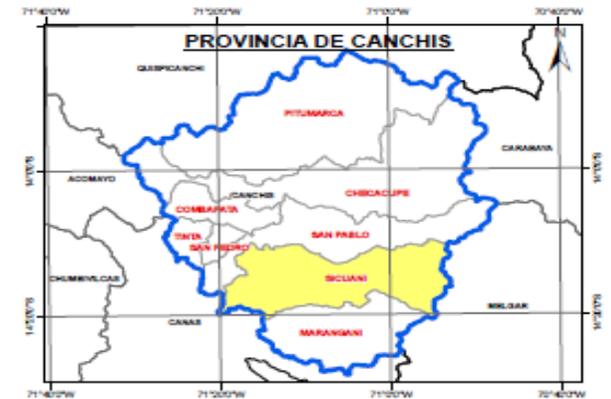
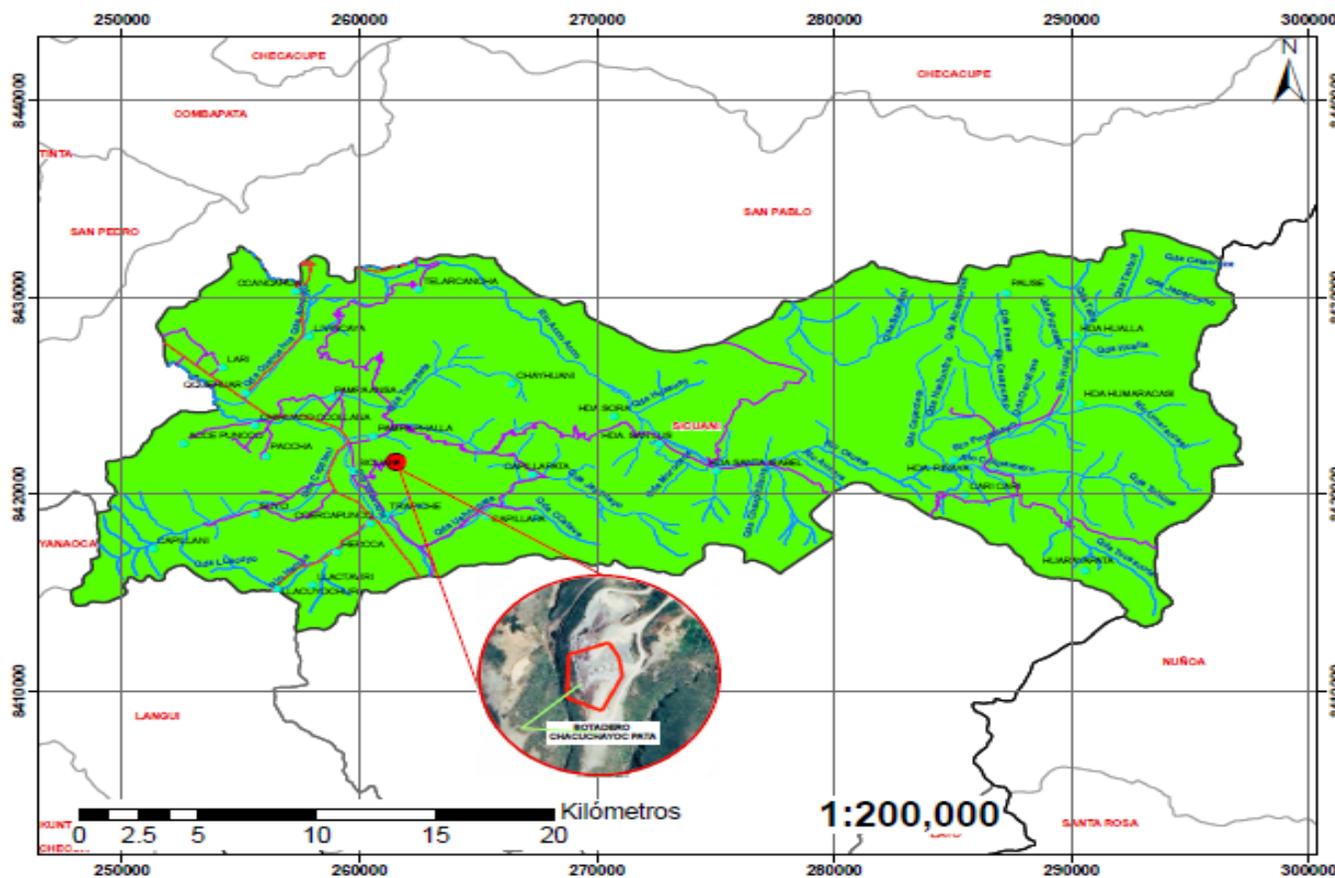
2.1 LUGAR DE OBTENCION DE MUESTRA

Las muestras de bolsas con signos de deterioro se colectaron en el botadero de residuos sólidos de Chacuyayocpata. Ubicado en el cerro Jururo, dentro del área perteneciente a la comunidad Pampaphalla, jurisdicción del distrito de Sicuani, a una distancia aproximada de 6.5 km de la población (Gerencia de Gestion Ambiental, Sub Gerencia de Residuos Solidos y Areas Verdes - Municipalidad Provincial de Canchis, 2023), según los datos obtenidos mediante GPS, está ubicado a 3998 metros de altitud.

Sicuani es un distrito perteneciente a la provincia de Canchis, departamento del Cusco. Ubicado a 3593 m de altitud, presenta una superficie de 646 km² (Municipalidad Provincial de Canchis, 2023), situado a 118 km al sureste del Cusco. Limita al norte con el distrito de San Pablo, al sur con el distrito de Maranganí, al este con el distrito de Nuñoa y al oeste con los distritos de San Pedro y Langui (Quispe, 2020).

Figura 5

Mapa de ubicación del botadero del distrito de Sicuani, provincia de Canchis – Cusco



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO		
FACULTAD DE CIENCIAS		
ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA		
Efectividad de hongos filamentosos en la degradación de polietileno de baja densidad proveniente del botadero de Sicuani, provincia de Canchis - Cusco		
MAPA	UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	
UBICACIÓN	DISTRITO: SICUANI PROVINCIA: CANCHIS REGIÓN: CUSCO	COORDENADAS UTM 261821 m E 8421795 m S
COORDENADAS GEOGRÁFICAS	14°16'56.20" Lat Sur 71°12'37.45" Lat Oeste	WGS84 ZONA: 19S Altitud: 2894 msnm
TESISTA	RUTH LUCY AMBUR SONCCO	
ASESOR	Dra. MARTHA NATIMIDAD MOSTAJO ZAVALETA	
FUENTE	CARTA NACIONAL DIGITALIZADA MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE SICUANI GOOGLE EARTH PRO (26/12/2019)	
		MAPA N° 1

SIMBOLOGÍA					
●	Botadero Chacuchayoc Pata	—	Red Vial nacional	—	Drenaje
●	Centros Poblados	—	Camino Vecinal	—	Lagunas
			Límite distrital		Límite departamental
			Límite provincial		

2.2 MATERIALES

2.2.1 Material biológico

Hongos filamentosos aislados de bolsas de plásticos con signos de deterioro colectados del botadero de residuos sólidos de Sicuani, provincia de Canchis.

2.2.2 Material polimérico

- Restos de bolsas de plásticos con signos de deterioro (desgaste y roturas) colectados del botadero de residuos sólidos del distrito de Sicuani, provincia de Canchis.
- Bolsas de plástico de primer uso blancas y transparentes

2.2.3 Material de campo

- Material y equipo de bioseguridad personal
- Pinza metálica
- Frascos de vidrio
- GPS (GARMIN)
- Plumón marcador
- Termohigrómetro (Kintel)
- Libreta de campo
- Cámara fotográfica
- Cinta métrica
- Pico

2.2.4 Material de laboratorio

- Material de bioseguridad
- Placa Petri
- Pipeta
- Propipeta (pera de goma)
- Bagueta

- Asa y aguja de siembra
- Tubos de ensayo
- Lámina porta y cubre objeto
- Frascos de vidrio con tapa
- Probeta de 1000 mL y 500 mL
- Matraces
- Tips de 1000 μL y 100 μL
- Micropipeta
- Cámara Neubauer
- Papel aluminio
- Papel craft
- Tijera
- Pinza
- Gradilla

2.2.5 Equipos de laboratorio

- Ultramicrobalanza con DS de $\pm 0.2 \mu\text{g}$ o 0.0002 mg , Parkin Elmer AD 6000
- Balanza analítica $\pm 0.0001\text{g}$ calibrada, marca Chyo JK – 200
- Balanza electrónica marca HENKEL
- Autoclave vertical serie AV – 10064 de 80 L
- Incubadora marca BINDER
- Refrigeradora
- Bortex
- Mechero bunsen
- Microscopio compuesto LEICA CME modelo 1349521X.

- Espectrómetro Infrarrojo con Transformada de Fourier, marca Thermo NICOLET 380.
- Microscopio Electrónico de Barrido marca ZEISS H.W. Kessel S.A.
- Cámara fotográfica.
- pHmetro (pH, Cond, Temp) modelo 616.HI98103.

2.2.6 Soluciones

- Antibiótico (Cloranfenicol 0.5 mg/ml)
- Alcohol (70 %)
- Alcohol (96 %)
- Hipoclorito de sodio (3 %)
- Agua destilada
- Twen 80 (0.1 %)

2.2.7 Medios de cultivo

- Agar PDA
- Medio de sales minerales (MSM)
- Agar Czapeck
- Agar extracto de Malta (MEA)
- Agar Czapeck extracto de levadura (CYA)
- Agar nitrato 20% glicerol (G25N)
- Agar Czapeck extracto de levadura 20% sacarosa (CYA20S)

2.2.8 Material de gabinete

- Laptop
- Lapiceros
- Lápiz
- Cuaderno de apuntes

- Software
- R studio 4.1.3
- EXCEL

2.3 METODOLOGÍA

2.3.1 Métodos y técnicas para la recolección de datos

2.3.1.1 Tipo y diseño de investigación

La investigación realizada sobre el efecto que tiene los hongos filamentosos aislados de restos de bolsas de plástico provenientes del botadero de residuos sólidos del distrito de Sicuani, sobre el polietileno de baja densidad, es de tipo experimental, explicativo y de diseño longitudinal.

2.3.1.2 Población y muestra

- **Población:** Hongos filamentosos aislados de bolsas de plástico con signos de deterioro presentes en el botadero de Sicuani de la provincia de Canchis, departamento Cusco.
- **Muestra:** Hongos filamentosos con efectividad en la degradación, seleccionados de acuerdo a los signos de deterioro de bolsas de plástico de un solo uso.

2.3.1.3 Identificación de Variables

a) Variables Independientes:

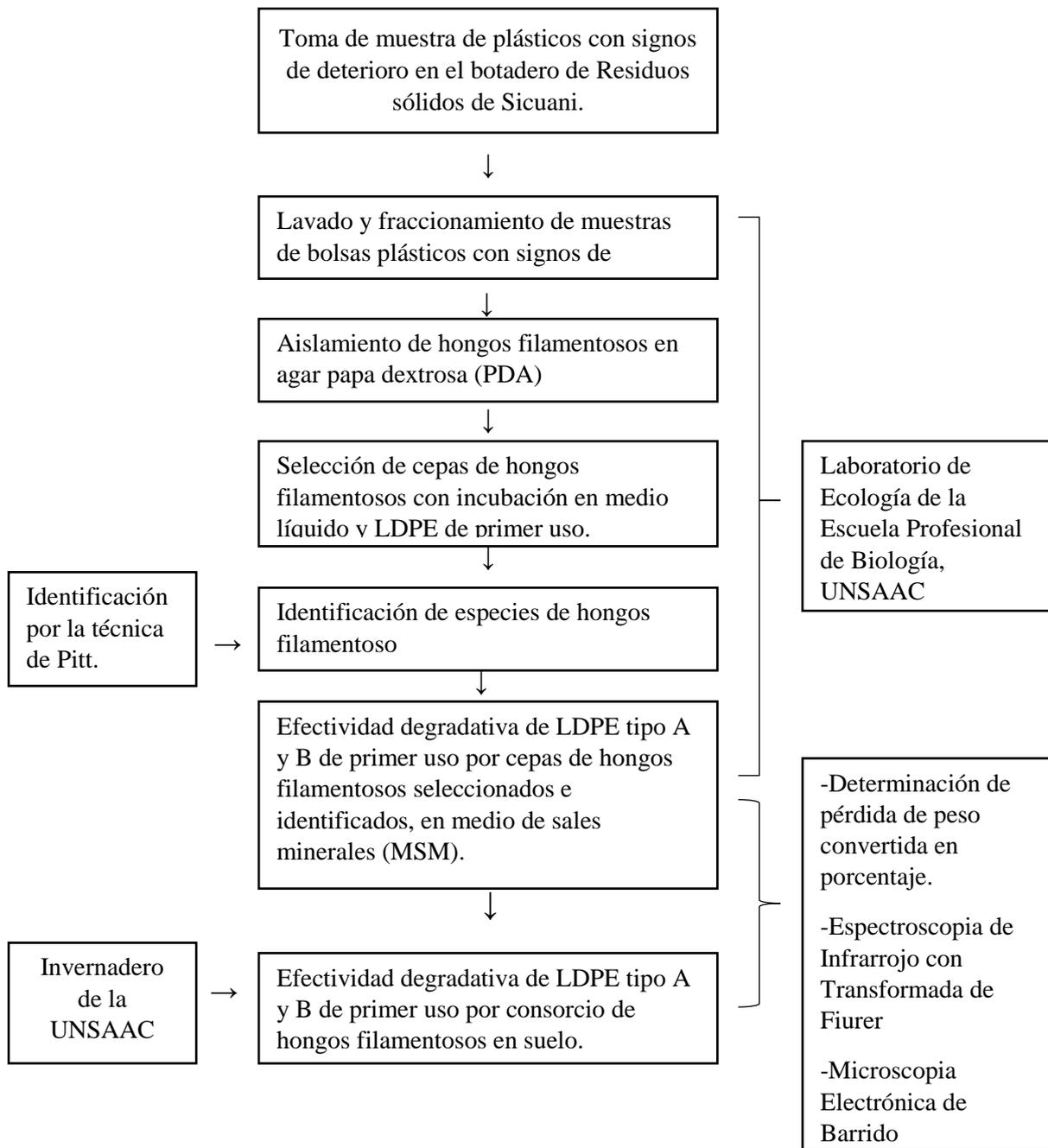
- Cepas de hongos filamentosos
- Consorcios de hongos filamentosos
- Tipos de bolsas de polietileno de baja de baja densidad

b) Variable dependiente: Efectividad de degradación de polietileno de baja densidad

2.3.1.4 Flujograma de la investigación

Figura 6

Flujograma para la evaluación de degradación de LDPE por hongos filamentosos



2.3.1.5 Muestreo de bolsas de plástico de un solo uso en botadero de Sicuani.

El muestreo se realizó en enero de 2018, de acuerdo al área donde se observaron bolsas con signos de deterioro, se enmarco un área de 25 metros cuadrados, con cuadrantes de 1 metro cuadrado cada uno, las muestras se obtuvieron en los cuadrantes de los extremos y el centro (se colectaron en superficie y profundidades de 5, 10, 20, 30 y 50, haciendo un total de 30 muestras de restos de bolsas plásticas), las cuales fueron colocadas en frascos estériles y llevadas para su procesamiento al laboratorio de Ecología de la Escuela Profesional de Biología de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de San Antonio del Cusco.

2.3.2 Trabajo experimental en laboratorio.

2.3.2.1 Aislamiento de hongos filamentosos degradadores de LDPE.

Las muestras de restos de bolsas de plásticos colectadas del botadero fueron recortadas en trozos más pequeñas y posteriormente fueron lavadas con una solución de cloramfenicol en agua destilada estéril, con una concentración final de 0,5 mg/mL durante 60 minutos y luego con agua destilada estéril durante 30 minutos (Méndez et al., 2007). Posteriormente se sembraron en agar PDA, suplementando con un 3 % de extracto de levadura y se incubaron a 25°C, durante 7 días. No obstante, debido a un crecimiento insuficiente, se extendió el periodo de incubación a 10 días.

Transcurrido este tiempo, se realizó una nueva siembra con el propósito de conseguir cultivos puros de hongos, empleando agar PDA bajo las mismas condiciones ya mencionadas. Una vez obtenida las cepas purificadas se procedió a conservar a 4°C en viales con agar PDA.

2.3.2.2 Selección de cepas degradadoras de LDPE.

2.3.2.2.1 Obtención de esporada por la técnica de cámara neubauer

Obtenida la colonia de hongos filamentosos desarrollados, se agregó 10 mL de solución tween 80 al (0.1 %) estéril, (se frotó y removió la colonia con una bagueta), esta suspensión se

agregó a frascos con 40 mL de agua destilada estéril, para obtener una suspensión de 10^8 esporas /mL.

El recuento de la concentración de esporas se realizó agregando 10 μ L de suspensión de esporas sobre la cámara de Neubauer (Aquiahuatl et al., 2012). El conteo del número de esporas se realizó en 5 cuadros con ayuda del microscopio óptico, obteniendo un valor promedio de 5.5×10^8 esporas /mL. Con la siguiente formula.

$$\text{Número de conidios/mL} = \frac{1 \text{ mm}^3 \times n}{0.02 \text{ mm}^3} \times 10^4$$

Dónde:

- N = Número de conidios
- 10^4 = Factor de corrección
- 1 = Área total de la cámara Neubauer
- 0.02 = Área del número de celdas o cuadrículas contadas

2.3.2.2.2 Preparación de trozos de bolsas de plástico

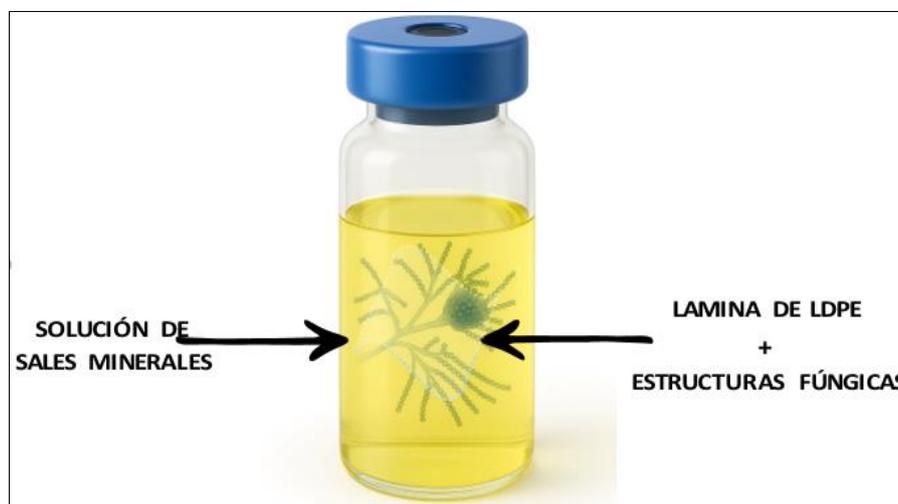
Se utilizaron bolsas de plásticos (LDPE) de primer uso, fueron cortadas en láminas 1cm^2 , pesadas y esterilizadas como sigue: se sumergió las láminas en 20 ml de alcohol 96% durante 30 minutos, dándoles la vuelta cada 10 minutos, posteriormente las láminas fueron sumergidas en 20 ml de alcohol 70% durante otros 30 minutos; finalmente, las láminas fueron lavadas con agua destilada estéril para eliminar el exceso de alcohol, se secaron con la ayuda de papel de filtro estéril (Martin, 2017) y se añadieron a cada uno de los matraces de cultivo y sus respectivos controles.

2.3.2.2.3 Actividad degradativa de LDPE por el método de (méndez et al., 2007).

Las láminas de LDPE previamente pesadas y esterilizadas, se incorporaron a los frascos que contenían 50 mL de medio de sales minerales (MSM). Posteriormente, se añadió 1 mL de la suspensión de esporada a cada frasco y se incubaron a 25°C, por 45 días. Cada tratamiento se hizo por triplicado, incluyendo una muestra control.

Figura 7

Diseño de cultivo del sistema interno en medio mineral para LDPE



Al término de los 45 días de incubación, las láminas de LDPE fueron cuidadosamente lavadas y desinfectadas para eliminar la impregnación de hongos filamentosos adheridos en la superficie. Posteriormente se realizó una observación microscópica a 40x para verificar la remoción de estructuras fúngicas. El pesaje de las láminas se efectuó en balanza analítica modelo Chyo JK – 200 ($\pm 0.0001g$) y, para mayor precisión, se determinaron los pesos con una ultramicrobalanza Parkin Elmer AD 6000($\pm 0.0002mg$). A partir de los datos obtenidos, se determinó la pérdida de masa y se calculó el porcentaje de degradación, explicado en el ítem (2.3.4.1).

2.3.2.3 Identificación de hongos filamentosos degradadores de LDPE

En la presente investigación se identificó dos tipos de géneros de hongos filamentosos de acuerdo a la guía de (Watanabe, 2012), mientras que para la identificación de especies se utilizó la guía descrita por (Pitt, 2001).

Para el estudio macroscópico se realizó utilizando medios de cultivo: Czapeck Yeast Extract Agar (CYA), Malt Extract Agar (MEA), 25% Glycerol Nitrate Agar (G25N), y Czapek Yeast Agar with 20% Sacarosa (CY20S).

Tabla 2

*Medios de cultivos para los hongos filamentosos de los Generos *Penicillium* y *Aspergillus*.*

Género	Medio de Cultivo	Temperatura			Tiempo de Incubación
		5 °C	25 °C	37 °C	
<i>Penicillium</i>	CYA	✓	✓	✓	7 días
	MEA	-	✓	-	7 días
	G25N	-	✓	-	7 días
<i>Aspergillus</i>	CYA	-	✓	✓	7 días
	MEA	-	✓	-	7 días
	CY20S	-	✓	-	7 días

Para realizar la siembra primeramente se preparó una suspensión de una asada de esporas en agua destilada con un volumen de 3 ml, se agitó y luego se inoculó por punción en ángulo recto, realizando tres puntadas equidistantes y su posterior incubación a diferentes temperaturas por 7 días.

Al cabo de 7 días, se realizó la descripción de las características macroscópicas con la observación de la forma de desarrollo de la colonia, aspectos, tamaño (diámetro de las colonias), textura, coloración de ambas caras y la producción de pigmentos. Para el reconocimiento de las características microscópicas se realizó por comparación, de diferencia y semejanza de características morfológicas con la ayuda de un microscopio óptico, considerando el tamaño de hifa, presencia o ausencia de septos, tamaño de conidio, tipo de spora, etc. (Pitt, 2001).

2.3.2.4 Determinación del grado de efectividad degradativa de hongos filamentosos sobre LDPE en medio de sales minerales.

2.3.2.4.1 Preparación de trozos de bolsas de plástico

Se utilizaron 2 tipos de LDPE de uso común:

- LDPE Tipo A: bolsas de plástico de primer uso, incoloras.
- LDPE Tipo B: bolsas de plástico de primer uso, color blanco.

Las bolsas de plásticos (LDPE) de primer uso, fueron cortadas en láminas 1cm², pesadas y esterilizadas, de acuerdo al ítem (2.3.2.2.2).

2.3.2.4.2 Actividad degradativa de LDPE por el método de (Méndez et al.,2007).

Las láminas de LDPE tipo A y B, previamente pesadas y esterilizadas se incorporaron a los frascos que contenían 100 mL de medio de sales minerales (MSM). Posteriormente, se añadió 1 mL de la suspensión de esporada y la determinación de la efectividad degradativa se realizó de acuerdo al ítem (2.3.2.2.3) y se incubaron a 25°C por 90 días.

2.3.3 Trabajo experimental en suelo

El entierro en suelo se realizó en el Invernadero de la UNSAAC.

2.3.3.1 Determinación del grado de efectividad degradativa de consorcios de hongos filamentosos sobre LDPE en suelo.

2.3.3.1.1 Preparación de medio de cultivo

La preparación de sustrato de suelo, se realizó utilizando 70 % de suelo de cultivo y 30 % de arena fina a un pH de 7.03 y estas fueron esterilizadas en autoclave.

2.3.3.1.2 Preparación de trozos de bolsas de plástico LDPE

Se utilizaron dos tipos de LDPE de uso común, tipo A (incoloras) y tipo B (blanco). La obtención de láminas de bolsas de LDPE se realizó de acuerdo al ítem (2.3.2.2.2).

2.3.3.1.3 Preparación del inóculo de esporas de los consorcios

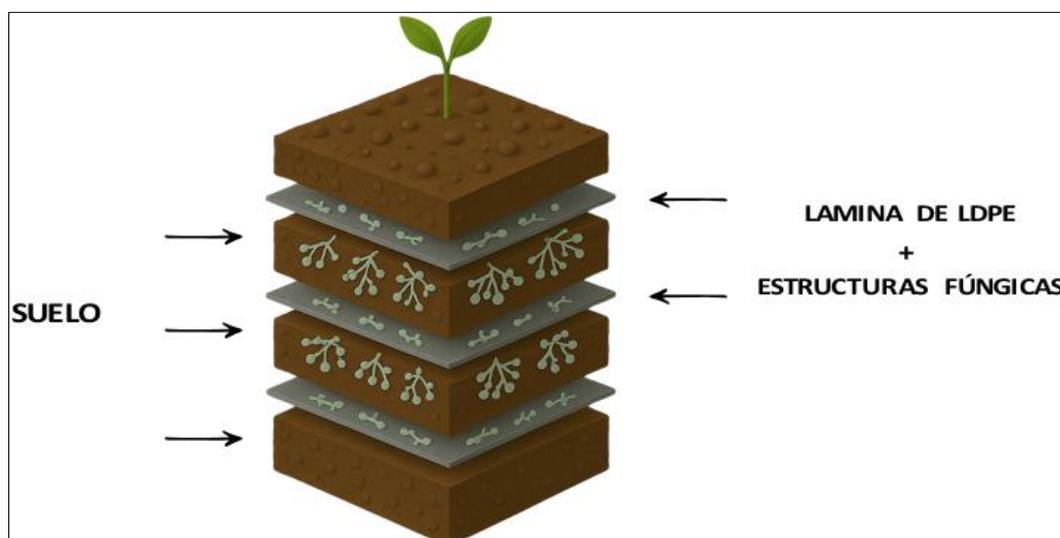
Una vez obtenidas las colonias de hongos filamentosos, se adicionaron 10 mL de una solución estéril de Tween 80 al 0.1 %, frotando la superficie con una bagueta estéril para facilitar el desprendimiento de esporas. La suspensión resultante se transfirió a frascos que contenían 40 mL de agua destilada estéril. Para la preparación de los consorcios fúngicos, se mezclaron 10 mL de cada una de las suspensiones individuales en un nuevo frasco, y obtener una concentración final aproximada de 10^8 esporas/mL.

2.3.3.1.4 Actividad degradativa de consorcios de hongos filamentosos degradadores de LDPE

Los cultivos se realizaron en cubetas de plástico, colocando inicialmente una base de 600 g de suelo. A continuación, se incorporaron aleatoriamente 5 láminas de LDPE tipo A y 5 tipo B, sobre las cuales se aplicó 1 mL de inóculo de esporas por lámina. Posteriormente, se añadió una segunda capa de 500 g de suelo, seguida por una nueva disposición de 5 láminas de LDPE tipo A y 5 tipo B, y la aplicación del inóculo en las mismas condiciones. Finalmente, se cubrió con una tercera capa de 200 g de suelo. Se prepararon cuatro cubetas en total, incluyendo una muestra control sin inoculación de hongos filamentosos. Cada cubeta fue regada inicialmente con 200 mL de agua destilada estéril y posteriormente mantenida en invernadero por un periodo de 4 meses, realizando riegos interdiarios con 100 mL de agua destilada estéril.

Figura 8

Diseño de cultivo del sistema interno en suelo para bolsas de polietileno de baja densidad



Al finalizar los 120 días de cultivo, las láminas de LDPE fueron cuidadosamente lavadas y desinfectadas para remover residuos de hongos filamentosos y partículas de suelo adheridas a su superficie. Posteriormente, se realizó una observación microscópica a 40x para verificar la presencia de estructuras fúngicas remanentes. Finalmente, las láminas fueron pesadas con el objetivo de calcular la pérdida de masa y determinar el porcentaje de degradación.

Se diseñaron tres consorcios de hongos filamentosos a partir de cepas eficientes en la degradación

- **Consortio I:** Integrado por cinco cepas: Sic-8, Sic-9, Sic-16 (aisladas en superficie), y Sic-18, Sic-20 (aisladas a 50 cm de profundidad).
- **Consortio II:** Compuesto por tres cepas: Sic-4 (superficie), Sic-15 (30 cm), y Sic-21 (50 cm de profundidad).
- **Consortio III:** Formado por ocho cepas seleccionadas por su mayor eficiencia degradativa: Sic-4, Sic-8, Sic-9 (superficie), Sic-15, Sic-16 (30 cm), y Sic-18, Sic-20, Sic-21 (50 cm de profundidad).

2.3.4 Determinación la degradación de LDPE.

2.3.4.1 Pérdida de peso de las láminas de LDPE.

La pérdida de masa del polietileno de baja densidad (LDPE), utilizada como indicador cuantitativo del proceso de degradación, fue determinada a partir del pesaje de las láminas antes y después del tratamiento experimental. Los valores obtenidos fueron transformados a porcentajes con la finalidad de estandarizar los datos, facilitar su análisis estadístico y permitir una comparación más precisa con otros estudios. El porcentaje de degradación fue calculado utilizando la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Degradacion} = \frac{P_0 - P_1}{P_0} \times 100$$

Como sigue:

P_0 = peso inicial

P_1 = peso final

2.3.4.2 Análisis estadístico de los datos.

Los datos de la cantidad de peso perdido convertido en porcentajes de cada una de las muestras de LDPE, se analizó utilizando el lenguaje de programación R versión 4.1.3. En una primera etapa se evaluó la influencia de las variables cepa y profundidad sobre el porcentaje de degradación del LDPE mediante un diseño factorial anidado, en el cual la variable cepa estuvo anidada dentro de los niveles de profundidad, conforme a la estructura experimental establecida.

Posteriormente, con la finalidad de evaluar la efectividad degradativa tanto de cepas individuales como de consorcios de hongos filamentosos, se empleó un diseño completamente al azar de tipo factorial. En ambos casos, los tratamientos se estructuraron como combinaciones de niveles de los factores considerados.

Se aplicaron pruebas estadísticas para validar los supuestos del modelo. La normalidad de los residuos fue evaluada mediante la prueba de Shapiro-Wilk, y la homogeneidad de

varianzas mediante la prueba de Levene, ambas con un nivel de significancia del 5 %, con el propósito de garantizar la validez de los análisis inferenciales.

El análisis estadístico de los datos incluyó un análisis de varianza (ANOVA), seguido de pruebas de comparación múltiple de medias. Para las comparaciones entre tratamientos en el análisis de cepas individuales se utilizó la prueba de Tukey, mientras que en los experimentos con consorcios de hongos se empleó la prueba de Dunnett para contrastar los tratamientos frente al control.

Las hipótesis estadísticas son:

Hipótesis general

- **H₀:** Los hongos filamentosos provenientes del botadero de Sicuani no son efectivos en la degradación del polietileno de baja densidad.
- **H₁:** Los hongos filamentosos provenientes del botadero de Sicuani sí son efectivos en la degradación del polietileno de baja densidad.

Hipótesis específicas

Efectividad en medio de sales minerales (MSM):

- **H₀:** Los hongos filamentosos no tendrán una efectividad significativa en la degradación del polietileno de baja densidad en medio de sales minerales.
- **H₁:** Los hongos filamentosos si tendrán una efectividad significativa en la degradación del polietileno de baja densidad en medio de sales minerales.

Efectividad de consorcios en suelo:

- **H₀:** Los consorcios de hongos filamentosos no tendrán una efectividad significativa en la degradación del polietileno de baja densidad en suelo.
- **H₁:** Los consorcios de hongos filamentosos si tendrán una efectividad significativa en la degradación del polietileno de baja densidad en suelo.

2.3.4.3 Espectroscopia de Infrarrojo por transformada de Fourier - ATR

Los fragmentos de LDPE que fueron sometidos a incubación con hongos filamentosos se analizaron mediante espectroscopía infrarroja por Reflectancia Total Atenuada (ATR). Para ello, se colocaron en el portamuestras y se introdujeron en la celda del equipo, posicionándolos entre el haz infrarrojo y el detector. La composición química de los fragmentos fue determinada utilizando el software OMNIC, el cual permitió obtener los espectros de absorbancia y transmitancia.

Los análisis en Espectroscopia de infrarrojo con transformada de Fourier (FTIR) se realizó en el Laboratorio de Cromatografía y Espectrofotometría de la Escuela profesional de Química de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco y laboratorio Fractal Químicos – Lima.

2.3.4.4 Microscopia electrónica de barrido

Los fragmentos de LDPE se analizaron en el Laboratorio de Microscopía Electrónica de la Universidad Católica Santa María – Arequipa.

CAPÍTULO III: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 RESULTADOS

3.1.1 Hongos filamentosos con capacidad degradadora de LDPE, aislados de restos de bolsas plásticas a distintas profundidades en el botadero de Sicuani.

3.1.1.1 Cepas aisladas

Se aislaron un total de 21 cepas de hongos filamentosos a partir de restos de bolsas plásticas recolectadas en cinco niveles de profundidad (superficie, 5 cm, 10 cm, 30 cm y 50 cm) del botadero de Sicuani. Se obtuvieron 9 cepas de superficie, 1 de 5cm, 2 de 10 cm, 4 de 30 cm y 5 de 50 cm (Anexo 3).

3.1.1.2 Capacidad degradadora de LDPE por cepas aisladas.

De las 21 cepas obtenidas, 8 cepas (38%) mostraron capacidad degradativa significativa sobre polietileno de baja densidad (LDPE), mientras que 13 cepas (62%) no presentaron actividad degradadora destacable. Evaluación realizada mediante ensayos de biodegradación con análisis estadístico del porcentaje de pérdida de peso convertida en porcentajes del LDPE (Tabla N° 04).

3.1.1.3 Selección de las cepas de hongos filamentosos con mayor capacidad degradadora de LDPE por profundidad de aislamiento.

Tabla 3

Análisis de varianza a diferentes profundidades de aislamiento y las cepas de hongos sobre el porcentaje de degradación de LDPE

Factor	Gl	SC	SC Media	F	P-valor
Profundidad	4	244.7	61.18	2.989	0.0212 *
Profundidad:cepas	21	2320.1	110.48	5.398	5.12e-10 ***
Residuos	130	2660.5	20.47		

En la tabla 3, se observa que la profundidad de aislamiento tiene un efecto significativo sobre el porcentaje de degradación de LDPE, con p-valor de 0.0212, evidenciando que la profundidad influye en la eficacia degradativa de las cepas. Además, la diferencia entre cepas dentro de cada nivel de profundidad es altamente significativo con un p-valor de 5.12×10^{-10} ***, lo que evidencia que, incluso dentro de un mismo nivel de profundidad, las cepas presentan diferencias significativas en su capacidad para degradar LDPE, con un nivel de significancia del 5 % e intervalo de confianza del 95 %.

Tabla 4

Prueba Tukey del porcentaje de degradación de LDPE, en cada nivel de profundidad por cepas de hongos filamentosos

Profundidades	Cepas	Media	Se	Df	IC al 95%	Grupo
Superficie	Sic-03	0.459	1.85	130	-4.801 5.72	a
	Sic-02	0.583	1.85	130	-4.677 5.84	a
	Sic-01	0.656	1.85	130	-4.604 5.92	a
	Sic-06	1.831	1.85	130	-3.429 7.09	a
	Sic-22 (Control)	1.85	1.85	130	-3.41 7.11	a
	Sic-05	1.936	1.85	130	-3.324 7.2	a
	Sic-07	2.299	1.85	130	-2.961 7.56	a
	Sic-04	5.579	1.85	130	0.32 10.84	b
	Sic-09	10.729	1.85	130	5.469 15.99	b
	Sic-08	13.545	1.85	130	8.285 18.8	b
5 cm	Sic-10	0.919	1.85	130	-3.26 5.1	a
	Sic-22 (Control)	1.85	1.85	130	-2.329 6.03	a
10 cm	Sic-12	1.11	1.85	130	-3.357 5.58	a
	Sic-22 (Control)	1.85	1.85	130	-2.617 6.32	a
	Sic-11	2.337	1.85	130	-2.13 6.8	a
30 cm	Sic-22 (Control)	1.85	1.85	130	-2.964 6.66	a
	Sic-13	2.055	1.85	130	-2.76 6.87	a
	Sic-14	4.178	1.85	130	-0.637 8.99	ab
	Sic-15	5.405	1.85	130	0.59 10.22	b
	Sic-16	10.345	1.85	130	5.531 15.16	b
50 cm	Sic-19	0.696	1.85	130	-4.238 5.63	a
	Sic-17	0.921	1.85	130	-4.013 5.86	a
	Sic-22(Control)	1.85	1.85	130	-3.084 6.78	a
	Sic-21	8.934	1.85	130	-1.001 10.87	b
	Sic-20	10.872	1.85	130	5.938 15.81	bc
	Sic-18	13.164	1.85	130	8.23 18.1	c

En la tabla 4 se observan las diferencias estadísticamente significativas en la capacidad degradativa entre las cepas evaluadas según la profundidad de aislamiento. En la superficie, las cepas Sic-08 (13.55 %) y Sic-09 (10.73 %), mostraron mayor actividad degradativa, ubicándose en el grupo b. A 30 cm de profundidad, las cepas Sic-16 (10.34 %) y Sic-15 (5.41 %), presentan mayores porcentajes de degradación, ubicándose en los grupos b y ab, respectivamente. A 50 cm, sobresalió la cepa Sic-18 (13.16 %), ubicada en el grupo c, seguida de Sic-20 (10.87 %) en el grupo bc. En contraste las cepas aisladas a 5 y 10 cm, así como la muestra control (Sic - 22), mostraron una baja capacidad de degradación, agrupándose estadísticamente en el grupo a, con un nivel de significancia del 5 %.

3.1.1.4 Identificación taxonómica de hongos filamentosos degradadores de LDPE.

Tabla 5

Géneros y especies de hongos filamentosos con capacidad degradadora de LDPE

Genero	Sub Genero	Sección	Especie	Cepas	Profundidad
<i>Aspergillus</i>			<i>A. flavus</i>	Sic - 008	superficie
			<i>A. flavus</i>	Sic - 009	superficie
			<i>A. flavus</i>	Sic - 018	50 cm
<i>Penicillium</i>	<i>Penicillium</i>		<i>P. brevicompactum</i>	Sic - 004	superficie
			<i>P. chrysogenum</i>	Sic - 015	30 cm
		<i>Viridicata</i>	<i>P. viridicatum</i>	Sic - 016	30 cm
		<i>Chrysogena</i>	<i>P. chrysogenum</i>	Sic - 020	50 cm
		<i>Chrysogena</i>	<i>P. chrysogenum</i>	Sic - 021	50 cm

Se observa especies de hongos filamentosos degradadores de LDPE, pertenecientes a dos géneros diferentes correspondientes a *Aspergillus* y *Penicillium*. El género *Aspergillus* con 03 cepas de *Aspergillus flavus* y el género *Penicillium* con 05 cepas: 03 de *Penicillium chrysogenum*, 01 *Penicillium brevicompactum*, y 01 especie de *Penicillium viridicatum*.

3.1.2 Efectividad de degradación de tipos de LDPE por hongos filamentosos colectados a diferentes profundidades del botadero incubados en medio mineral.

3.1.2.1 Degradación de LDPE por cepas de hongos filamentosos aisladas en superficie.

Tabla 6

Análisis de varianza del efecto de las cepas hongos filamentosos aisladas en superficie, según tipos de LDPE

Factor	gl	SC	SC Media	F	p-valor
Cepas	3	370.8	123.58	16.57	3.65e-05 ***
Tipo de LDPE	1	85.2	85.21	11.42	0.00382 **
Cepas: Tipo de LDPE	3	439.5	146.49	19.64	1.30e-05 ***
Residuos	16	119.3	7.46		

En la tabla anterior se observa que las cepas tienen diferencia estadísticamente significativa frente al porcentaje de degradación con un p-valor de (3.65e-05 ***). Similarmente, los tipos de LDPE, frente al porcentaje de degradación con un p-valor de (0.00382 **), menor que el nivel de significancia del 5%. Es decir, que ambos tipos de polietileno presentan porcentajes de degradación similares. Por otro lado, la interacción entre cepas y tipo de LDPE, es altamente significativa con p-valor de 1.30e-05 ***, lo que indica que el comportamiento de las cepas varía dependiendo del tipo de LDPE, con un intervalo de confianza del 95 %.

Tabla 7

Prueba tukey del porcentaje de degradación de las cepas de hongos aislados en superficie según tipos de LDPE

Tipo de LDPE	Cepas	Media	SE	df	lower.CL	upper.CL	Grupo
1(A)	9 (Control)	1.26	1.58	16	-3.681	6.21	a
1(A)	3 (Sic - 9)	1.79	1.58	16	-3.158	6.73	a
2(B)	1 (Sic - 4)	1.84	1.58	16	-3.099	6.79	a
2(B)	9 (Control)	2.96	1.58	16	-1.985	7.9	a
2(B)	2 (Sic - 8)	3.33	1.58	16	-1.61	8.28	a
1(A)	1 (Sic - 4)	5.43	1.58	16	0.486	10.37	a
2(B)	3 (Sic - 9)	6.31	1.58	16	1.366	11.25	a
1(A)	2 (Sic - 8)	21.04	1.58	16	16.098	25.99	b

Nota. (A) y (B), tipos de polietileno de baja densidad; Sic – 04 (*Penicillium*

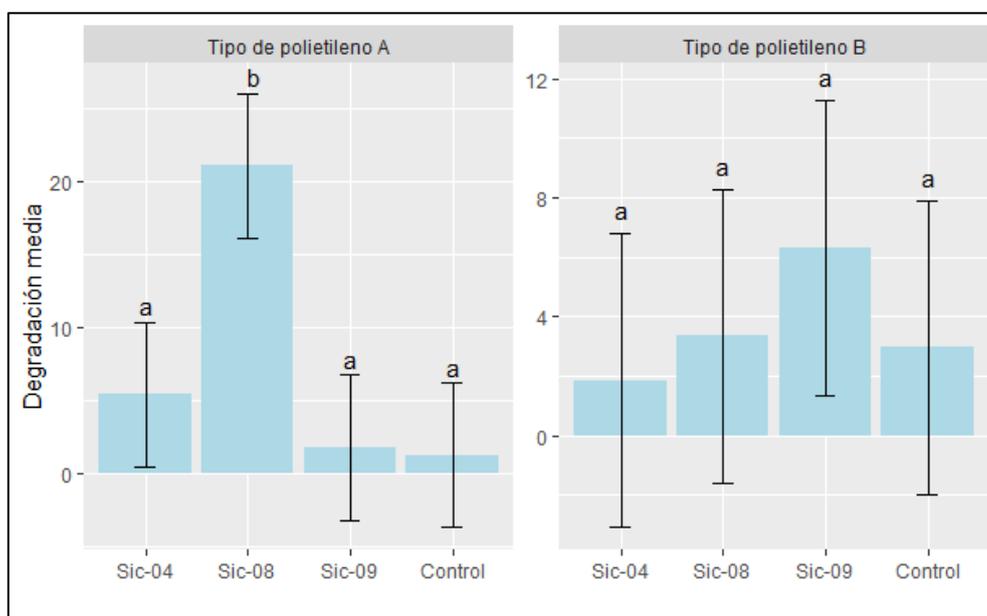
brevicompectum), Sic – 08 (*Aspergillus flavus*), Sic – 09 (*Aspergillus flavus*) y Control

(Tratamiento sin inóculo de cepas).

En la tabla 7, se observa que existe diferencia significativa en la degradación de LDPE tipo A por la cepa Sic – 8 (*Aspergillus flavus*) con un valor de 21.04 %, en comparación con el resto de las cepas evaluadas, incluido el control. Esta diferencia es estadísticamente significativa, con un nivel de significancia del 5 %, como lo indica su pertenencia exclusiva al grupo "b", en contraste con el resto de tratamientos agrupados en la categoría "a". Por el contrario, para LDPE tipo B, no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre las cepas, ya que todas se agruparon dentro del grupo "a".

Figura 9

Comparación del porcentaje de degradación de las cepas aisladas en superficie, según tipo de LDPE



Nota. Sic – 04 (*Penicillium brevicompactum*), Sic – 08 (*Aspergillus flavus*), Sic – 09 (*Aspergillus flavus*) y Control (Tratamiento sin inóculo de cepas).

3.1.2.2 Degradación de polietileno de baja densidad por cepas aisladas a 30 cm.

Tabla 8

Análisis de varianza del efecto de las cepas de hongos filamentosos aislados a 30 cm, según tipos de LDPE

Factor	gl	SC	SC Media	F	p-valor
Cepas	2	19.15	9.574	0.801	0.471
Tipo de LDPE	1	18.68	18.678	1.563	0.235
Cepas:Tipo de LDPE	2	31.76	15.88	1.329	0.301
Residuos	12	143.4	11.95		

El análisis de varianza indica que no existen diferencias estadísticamente significativas en el porcentaje medio de degradación del polietileno de baja densidad por el tipo de cepa ($p = 0.471$), ni al tipo de polietileno ($p = 0.235$), dado que ambos valores son mayores al nivel de significancia del 5 %. Esto sugiere que, en este nivel de profundidad, las cepas evaluadas presentan comportamientos similares frente a ambos tipos de polietileno. Asimismo, la interacción entre cepa y tipo de polietileno ($p = 0.301$) tampoco mostró un efecto significativo sobre el porcentaje de degradación, lo que indica que la combinación de ambos factores no influye de forma diferenciada en la capacidad degradativa observada.

3.1.2.3 Degradación del polietileno de baja densidad por cepas aisladas a 50 cm.

Tabla 9

Análisis de varianza del efecto de las cepas de hongos filamentosos aislados a 50 cm, según tipos de LDPE.

Factor	gl	SC	SC Media	F	p-valor
Cepas	3	459.4	153.1	41.46	9.01e-08 ***
Tipos de LDPE	1	327.4	327.4	88.64	6.31e-08 ***
Cepas: Tipo de LDPE	3	367.4	122.5	33.16	4.25e-07 ***
Residuals	16	59.1	3.7		

En la tabla 9 se observa que existe diferencia estadísticamente significativa en el porcentaje de degradación de LDPE, atribuible a las cepas, con un p-valor de 9.01e-08 ***. De igual manera, el tipo de LDPE presenta un efecto estadísticamente significativo sobre el porcentaje de degradación, dado que el p-valor es de 6.31e-08 ***. Además, la interacción de las cepas y el tipo LDPE resultó estadísticamente significativa con un p-valor de 4.25e-07, lo que evidencia que el efecto sobre la degradación del LDPE depende tanto de la cepa utilizada como del tipo de LDPE. En otras palabras, a 50 cm de profundidad y con un nivel de significancia del 5 %,

se puede afirmar que las cepas de hongos filamentosos degradan según el tipo de LDPE evaluado.

Tabla 10

Prueba de Tukey del porcentaje de degradación de las cepas aisladas a 50 cm, según tipo de LDPE

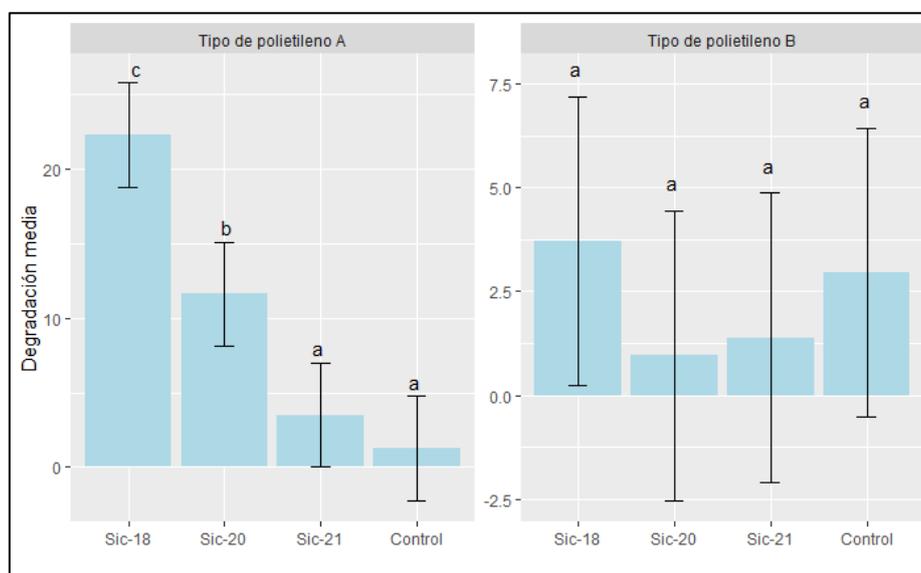
Tipo de polietileno	Cepas	Media	SE	df	lower.CL	upper.CL	Grupo
2(B)	7(Sic – 020)	0.956	1.11	16	-2.52323	4.43	a
1(A)	9(Sic - 021)	1.262	1.11	16	-2.21628	4.74	a
2(B)	8 (Sic - 021)	1.388	1.11	16	-2.09069	4.87	a
2(B)	9 (Control)	2.958	1.11	16	-0.52045	6.44	a
1(A)	8 (Sic - 021)	3.479	1.11	16	0.000384	6.96	a
2(B)	6 (Sic - 018)	3.718	1.11	16	0.239166	7.2	a
1(A)	7 (Sic - 020)	11.593	1.11	16	8.11381	15.07	b
1(A)	6 (Sic - 018)	22.233	1.11	16	18.75455	25.71	c

Nota. (A) y (B), tipos de polietileno de baja densidad; Sic – 018 (*Aspergillus flavus*), Sic – 020 (*Penicillium chrysogenum*), Sic – 021 (*Penicillium chrysogenum*) y Control (Tratamiento sin inóculo de cepas).

En la tabla 10 se observa que existe diferencias significativas en la degradación de LDPE tipo A por la cepa Sic – 020 (*Penicillium chrysogenum*), que presentó un porcentaje de degradación media de 11.593 %, y la cepa Sic – 018 (*Aspergillus flavus*) con una media de 22.233%, con un 5% de significancia, como lo indica su pertenencia exclusiva al grupo "b" y "c", en comparación con el resto de las cepas evaluadas, incluido el control, agrupados en la categoría "a". Por el contrario, para LDPE tipo B, no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre las cepas, ni el control, ya que las cepas evaluadas se agruparon dentro del grupo "a".

Figura 10

Comparación del porcentaje medio de degradación de las cepas, según tipo de polietileno de baja densidad



Nota. Sic – 018 (*Aspergillus flavus*), Sic – 020 (*Penicillium chrysogenum*), Sic – 021 (*Penicillium chrysogenum*) y Control (Tratamiento sin inóculo de cepas).

3.1.3 Efectividad de degradación de tipos de LDPE por consorcios de hongos filamentosos bajo tratamiento en suelo.

3.1.3.1 Degradación de LDPE por consorcio de hongos filamentosos

Tabla 11

Análisis de varianza del efecto del consorcio de hongos filamentosos frente al porcentaje de degradación de LDPE

	Df	Suma de Cuadrados	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Consortio	3	2886	963.9	39.73	8.54e-14
Residuals	55	1330	24.20		

En la tabla 11 muestra que los consorcios de hongos filamentosos tienen un efecto estadísticamente significativo sobre el porcentaje de degradación de LDPE, con p-valor de $8.54e-14$, con un nivel de significancia del 5 %, lo que implica rechazar la hipótesis nula de igualdad de medias de degradación por consorcio.

Tabla 12

Prueba Dunnet del porcentaje de degradación de los consorcios de hongos filamentosos, según tipos de LDPE

Consorcio	Porcentaje medio de degradación	SE	df	IC al 95%		Grupo
Control	-4.07	0.898	55	-6.34	-1.80	a
Consorcio II	7.67	1.560	55	3.74	11.6	b
Consorcio III	9.58	1.640	55	5.43	13.7	b
Consorcio I	11.84	1.560	55	7.91	15.8	b

La tabla 12 se observa que los tres consorcios de hongos filamentosos presentan diferencias estadísticamente significativas en los porcentajes de degradación, como lo indica su pertenencia exclusiva al grupo "b", en comparación con el control agrupada en "a", manteniéndose en un grupo aislado, para el 95% de confianza. El consorcio I alcanzó un porcentaje de degradación del 15.9 %, mientras que el consorcio II mostró una diferencia de 11.7 %, y el consorcio III una diferencia significativa de 13.6 % respecto al control. Por tanto, se concluye que el consorcio I presenta la mayor diferencia en el porcentaje medio de degradación, seguido por el consorcio III y finalmente el consorcio II. Aunque los tres consorcios difieren significativamente del control, no presentan diferencias estadísticamente significativas entre sí, con un nivel de significancia del 5 %.

3.1.3.2 Degradación de distintos tipos de LDPE por consorcio de hongos filamentosos

Tabla 13

Análisis de varianza del efecto de consorcios de hongos filamentosos sobre el porcentaje de degradación de distintos tipos de LDPE

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Consortio	3	2882.6	960.9	72.237	<2e-16 ***
Tipo de polietileno	1	461.2	461.2	34.672	3.07e-07 **
Consortio*Tipo de polietileno	3	190.7	63.6	4.779	0.0052**
Residuals	51	678.4	13.3		

En la tabla anterior se observa que existe diferencias estadísticamente significativas entre los consorcios, frente al porcentaje de degradación, con un p-valor de $2e-16$ ***, por lo tanto, se puede afirmar que el porcentaje de degradación es distinto en cada consorcio. De igual manera, el tipo de LDPE también muestra diferencias estadísticamente significativas, con un p-valor de ($3.07e-07$ **), menor al nivel de significancia del 5%, lo que confirma que el tipo de LDPE influye en el porcentaje de degradación.

Además, la interacción entre consorcio y tipo de polietileno resulto ser estadísticamente significativa un p-valor de 0.0052 menor al 5%, lo que sugiere que el efecto del consorcio sobre la degradación varía según el tipo de polietileno evaluado. Por lo tanto, se puede afirmar que tanto los consorcios fúngicos, como los tipos de LDPE, así como su combinación, afectan de manera significativa en los porcentajes de degradación, con un nivel de confianza del 95%.

Tabla 14

Prueba Dunnet del efecto del consorcio de hongos filamentosos frente al porcentaje de degradación de dos tipos de LDPE

Tipo de LDPE (A)	Porcentaje medio de degradación	SE	df	IC al 95%		Grupo
Control	-5.94	0.942	51	-8.33	-3.554	a
Consortio II	0.99	1.630	51	-3.14	5.123	b
Consortio I	8.21	1.630	51	4.08	12.345	c
Consortio III	9.01	1.630	51	4.88	13.145	c

Tipo de LDPE (B)	Porcentaje medio de degradación	SE	df	IC al 95%		Grupo
Control	-2.20	0.942	51	-4.59	0.186	a
Consortio III	11.28	1.820	51	6.66	15.904	b
Consortio I	14.35	1.630	51	10.22	18.483	b
Consortio II	14.66	1.630	51	10.53	18.795	b

Nota. Los valores negativos de degradación en los grupos control (LDPE tipo A: -5.94 %, tipo B: -2.20 %) sugieren una ligera ganancia de peso, posiblemente por adsorción de compuestos del suelo o absorción de humedad. Sin embargo, sirven como referencia para contrastar los efectos reales de los consorcios fúngicos.

En la tabla 14 se observa que, para el LDPE tipo A, los consorcios I y III, presentan diferencias estadísticamente significativas en comparación con la muestra control, con porcentajes medios de degradación del 8.21 % y 9.01 %, respectivamente. Ambos se agrupan en la categoría "c", lo que indica un efecto significativamente distinto al del control, que mostró una degradación negativa de -5.94 % y pertenece al grupo "a". El consorcio II mostró menor

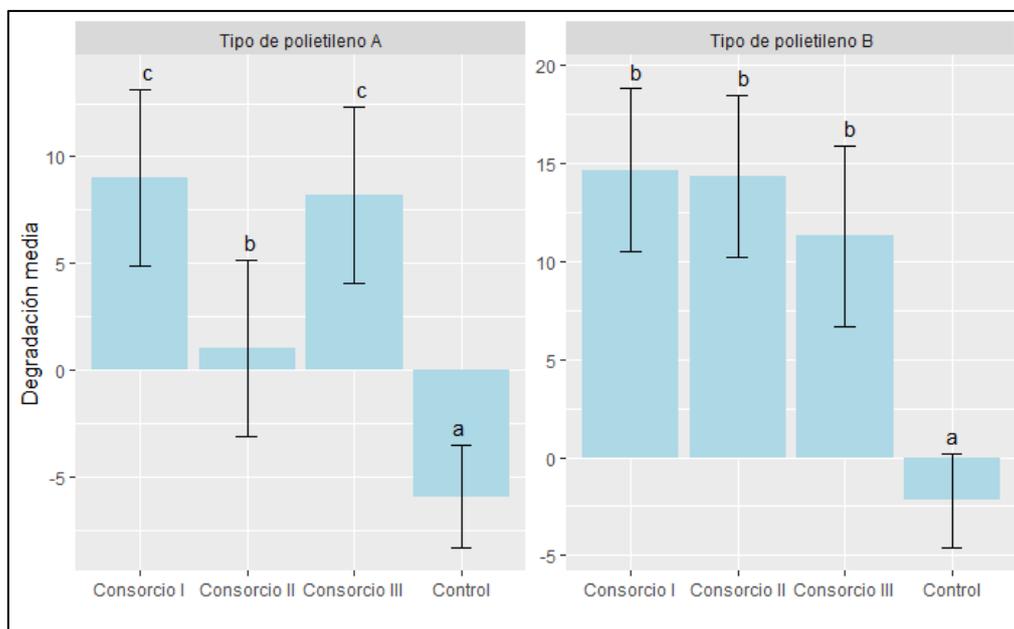
degradación con 0.99 %, agrupándose en "b", lo que también se distingue del control, aunque con menor porcentaje.

En el caso del LDPE tipo B, los tres consorcios (I, II y III) presentaron efectos significativamente distintos respecto al control. Todos ellos se agruparon dentro del grupo "b", con porcentajes medios de degradación de 11.28 %, 14.35 % y 14.66 % respectivamente, mientras que el control presento un valor negativo (-2.20 %), ubicándose en el grupo "a".

En ambos tipos de LDPE, las diferencias son estadísticamente significativas con un intervalo de confianza del 95 %, lo que evidencia la efectividad de los consorcios fúngicos en la biodegradación del LDPE, especialmente en el caso del tipo B.

Figura 11

Comparación del porcentaje medio de degradación de los consorcios de hongos, según distintos tipos de LDPE.



- *Nota.*Consortio I (Sic-8, Sic-9, Sic-16, Sic-18, Sic-20), Consortio II (Sic-4, Sic-15 y Sic-21) y Consortio III (Sic-4, Sic-8, Sic-9, Sic-15, Sic-16, Sic-18, Sic-20, Sic-21).

3.1.4 Caracterización de la estructura química de LDPE.

La caracterización de la estructura química del polietileno de baja densidad (LDPE) y las evidencias de las modificaciones estructurales inducidas por el tratamiento con hongos filamentosos, se realizaron por Espectroscopia de Infrarrojo con transformada de Fourier.

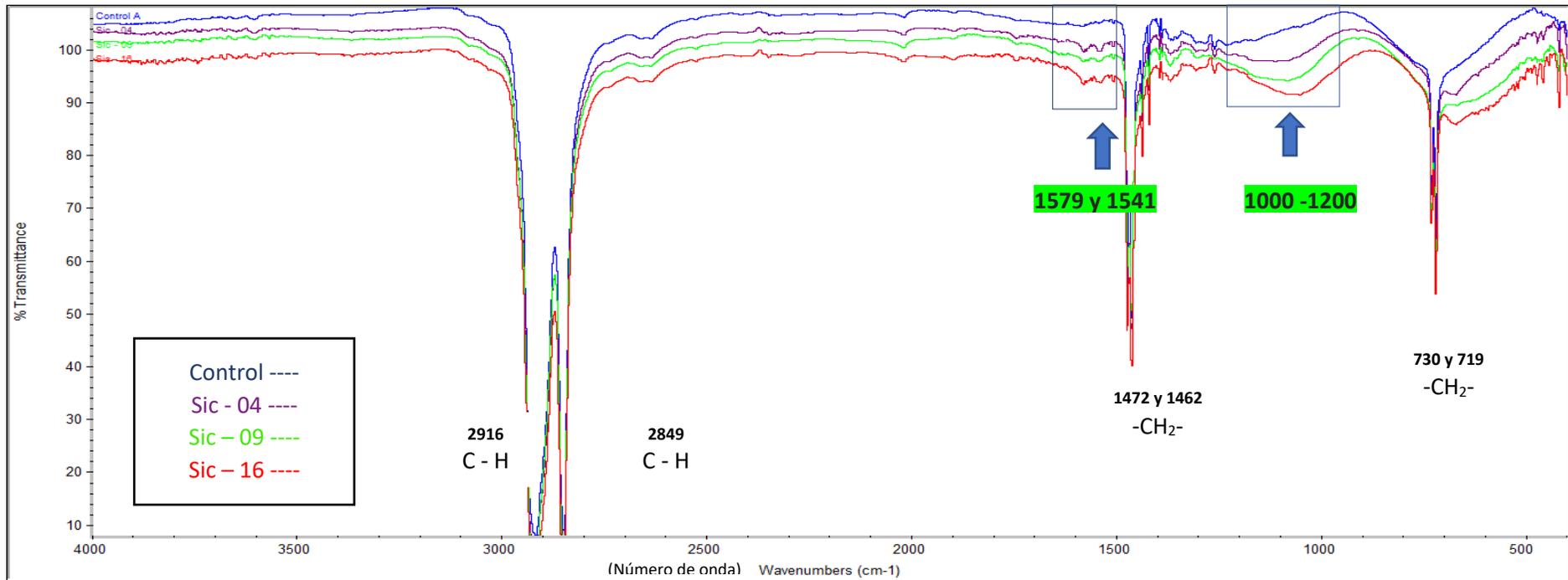
Los resultados obtenidos incluyen la comparación entre las muestras control (sin inoculación fúngica) y aquellas expuestas a diferentes cepas de hongos en condiciones de medio mineral y suelo.

En las Figuras 12 y 21 se presentan los espectros correspondientes a las muestras de polietileno tipo A, tratadas en medio mineral y suelo, respectivamente; mientras que las Figuras 16 y 23 muestran los espectros del polietileno tipo B bajo las mismas condiciones experimentales.

En todos los casos, las muestras control mostraron los picos característicos del LDPE, tales como el estiramiento de los enlaces C-H ($2915 - 2916$ y $2848 - 2849 \text{ cm}^{-1}$), la flexión de los grupos metilo -CH₂- (1472 y 1462 cm^{-1}), y las vibraciones de flexión fuera del plano asociadas a los enlaces -CH₂- (730 y $720 - 719 \text{ cm}^{-1}$), estiramiento de los enlaces CH₂ en ($874-875 \text{ cm}^{-1}$) y el estiramiento del enlace C-H (668 cm^{-1}). En contraste, los espectros de las muestras tratadas con hongos filamentosos presentan alteraciones en la intensidad y/o desplazamiento de estas bandas, lo cual sugiere posibles modificaciones estructurales del polietileno de baja densidad como resultado de la actividad degradativa de los hongos filamentosos.

Figura 12

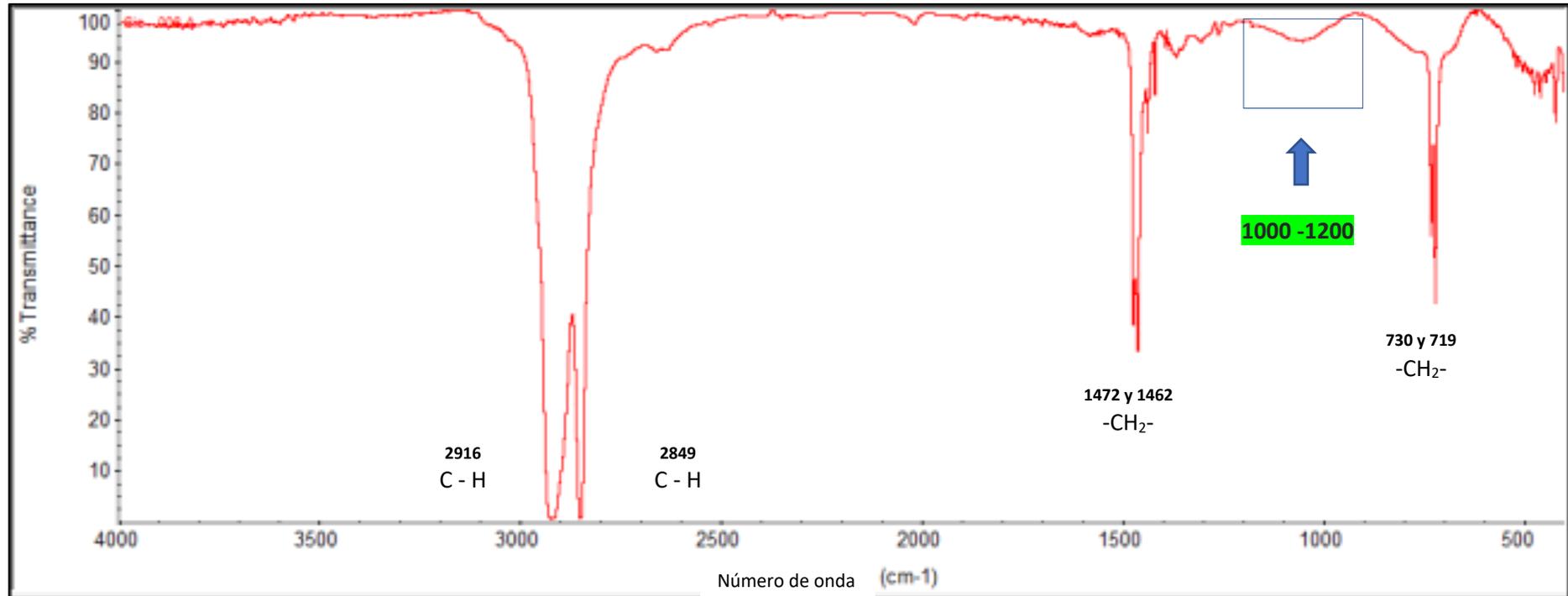
Caracterización de LDPE tipo A mediante FTIR: muestra control y tratadas con hongos filamentosos.



La figura 12 muestra el análisis FTIR, comparativo entre la muestra control y las tratadas con las cepas Sic-04(*P. brevicompactum*), Sic-09 (*Aspergillus flavus*) y Sic-16(*P. viridicatum*). En contraste con el espectro control, las láminas tratadas con hongos presentan modificaciones en la que se detectaron nuevas bandas en las regiones de 1579 y 1541 cm^{-1} , asignadas a la presencia de grupos carbonilo C=O, se observó también un incremento en la intensidad de la banda entre 1000 y 1200 cm^{-1} , atribuida a la formación de grupos C-O. Esto indica que se ha producido oxidación de la matriz polimérica.

Figura 13

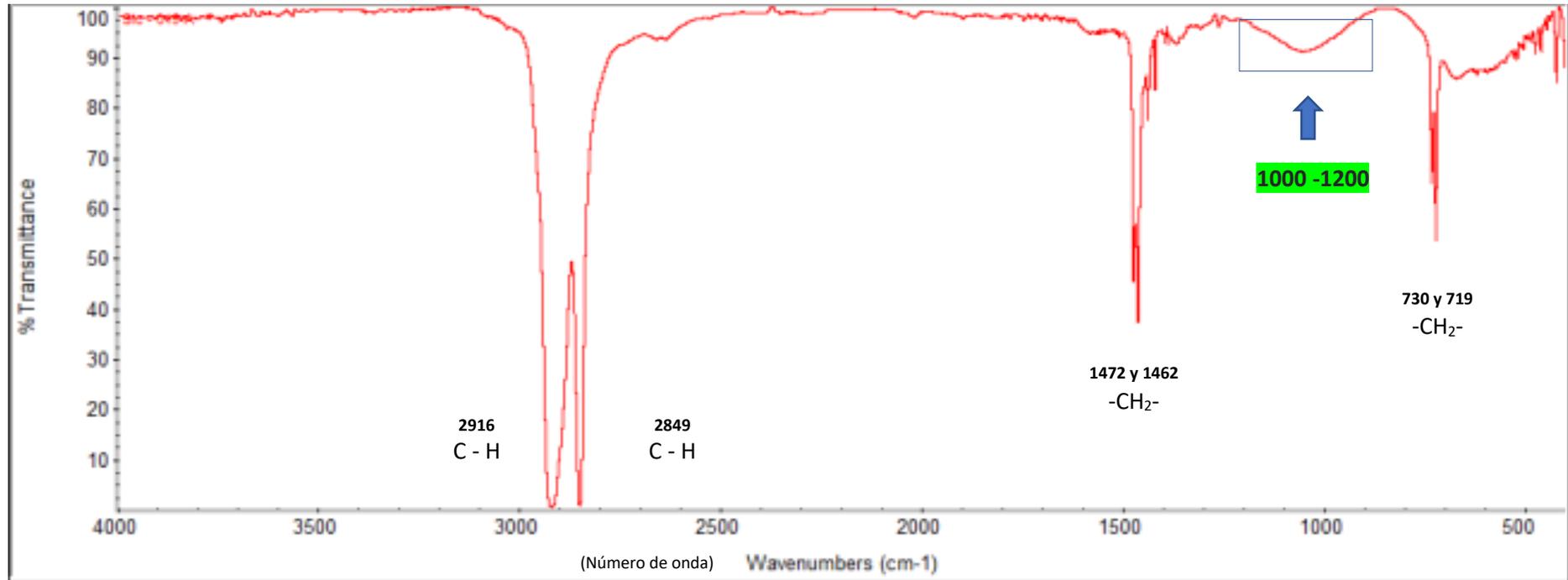
Caracterización del LDPE tipo A mediante FTIR posterior al tratamiento con la cepa Sic – 008 (*Aspergillus flavus*).



En la figura 13 se observa espectro característico de LDPE que presentan modificaciones en la región comprendida entre 1000 - 1200 cm⁻¹, donde se aprecian señales tenues que podrían corresponder a vibraciones de enlaces C-O, posible presencia de productos de oxidación incipiente en la matriz polimérica. Estas modificaciones podrían estar asociadas a la acción enzimática extracelular fúngica, implicadas en la degradación de LDPE.

Figura 14

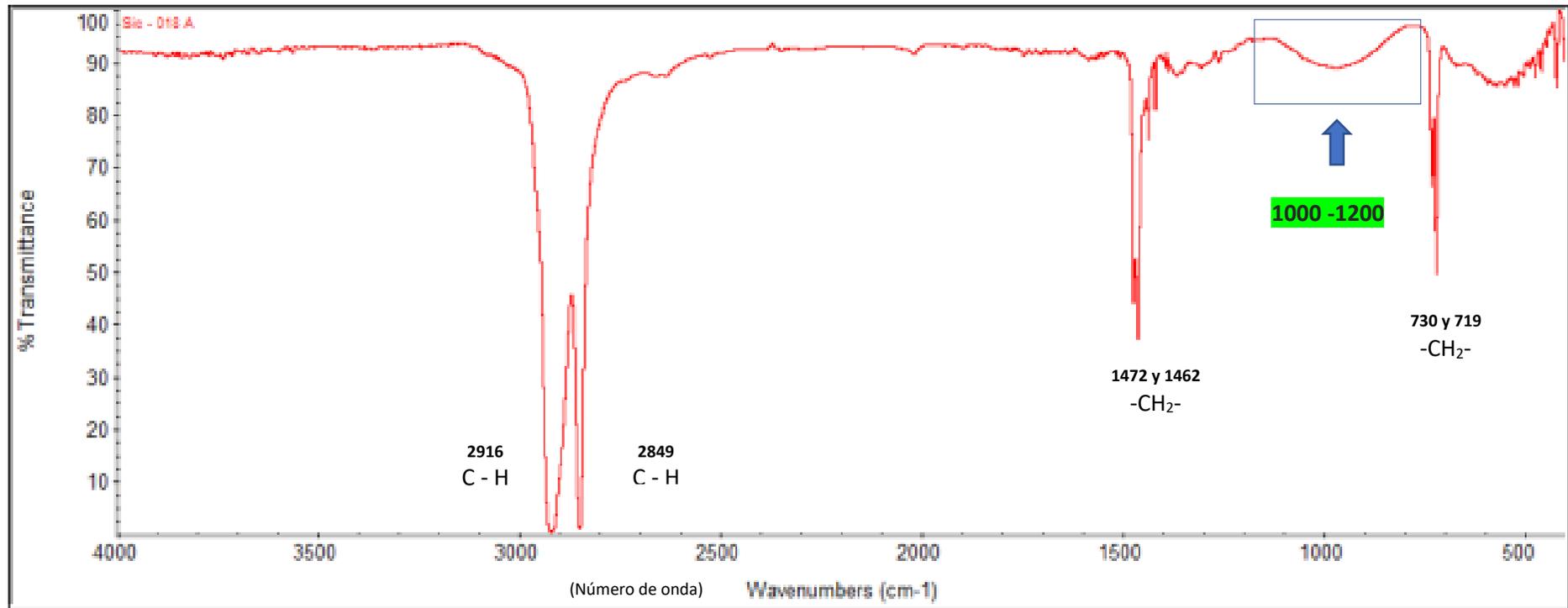
Caracterización del LDPE tipo A mediante FTIR posterior al tratamiento con la cepa Sic – 015 (*Penicillium chrysogenum*).



En la figura 14 se observa el espectro característico de LDPE que presentan modificaciones en la región comprendida entre 1000 - 1200 cm⁻¹, donde se aprecian señales tenues que podrían corresponder a vibraciones de enlaces C–O, posible presencia de productos de oxidación incipiente en la matriz polimérica. Estas modificaciones podrían estar asociadas a la acción enzimática extracelular fúngica, implicadas en la degradación de LDPE.

Figura 15

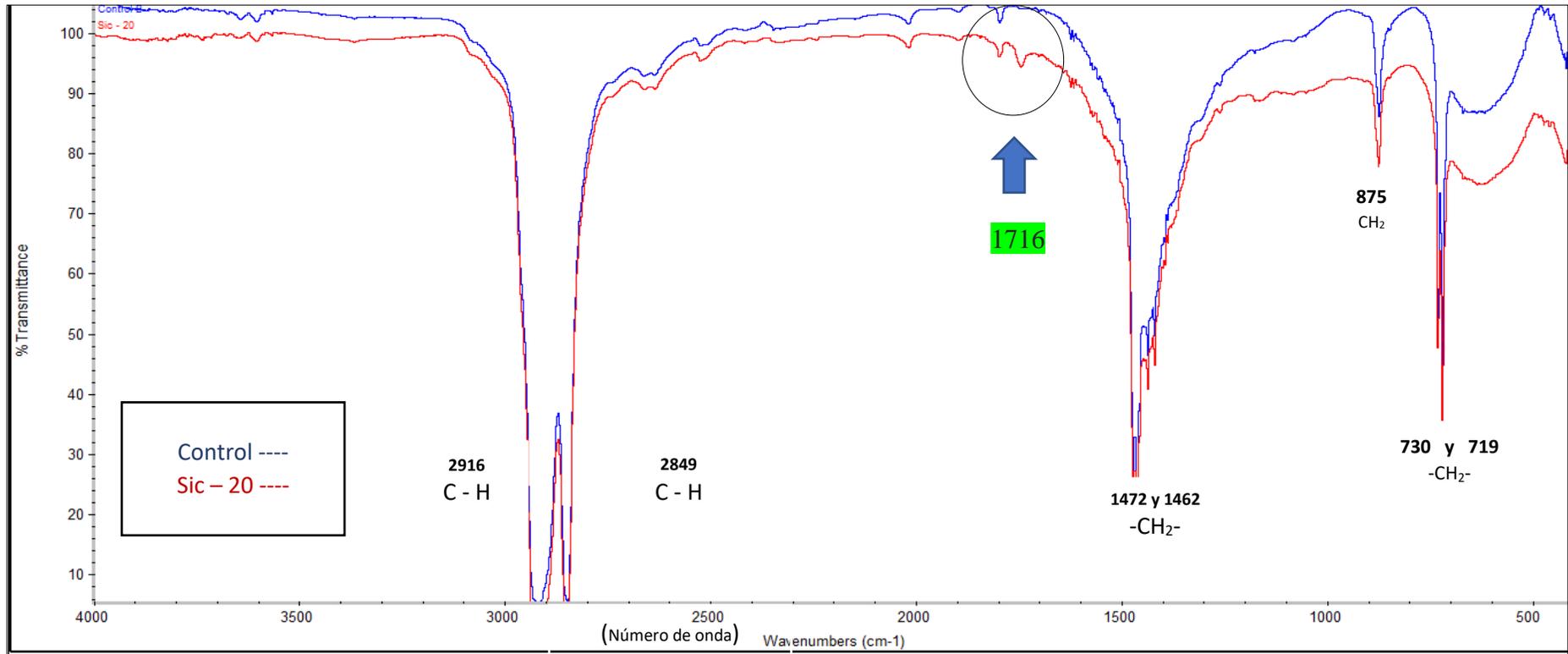
Caracterización de LDPE tipo A mediante FTIR posterior al tratamiento con la cepa Sic – 018 (Aspergillus flavus).



En la figura 15 se observa espectro característico de LDPE que presentan modificaciones en la región comprendida entre 1000 - 1200 cm⁻¹, donde se aprecian señales tenues que podrían corresponder a vibraciones de enlaces C–O, posible presencia de productos de oxidación incipiente en la matriz polimérica. Estas modificaciones podrían estar asociadas a la acción enzimática extracelular fúngica, implicadas en la degradación de LDPE.

Figura 16

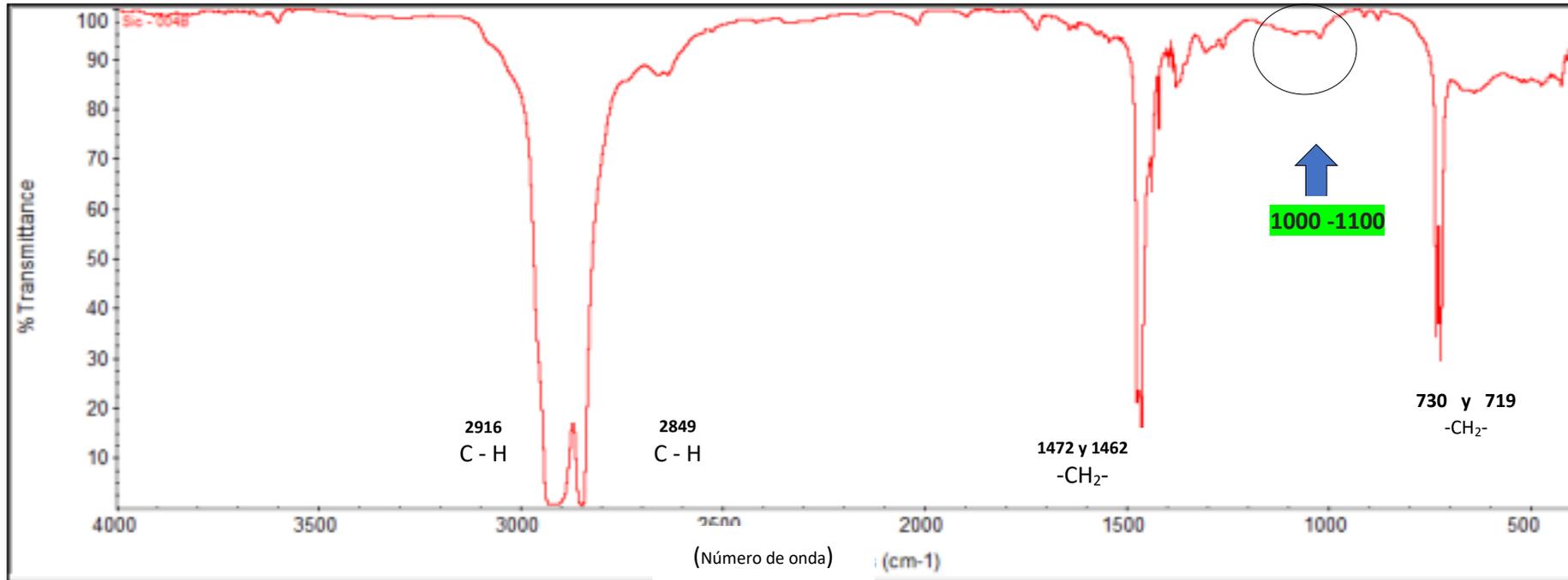
Caracterización de LDPE tipo B mediante FTIR: muestra control y tratada con hongos filamentosos.



La figura 16 muestra el análisis FTIR, comparativo entre la muestra control y la tratada con la cepa Sic-20 (*Penicillium chrysogenum*) muestra un pico adicional en 1716 cm^{-1} , atribuido a grupos carbonilo C=O de éteres o ésteres. Estas modificaciones podrían estar asociadas a la oxidación de la matriz polimérica, posiblemente como resultado de la acción enzimática del hongo, capaz de oxidar las cadenas carbonadas, implicadas en la degradación de LDPE. Además, se observa vibraciones de los enlaces CH_2 en 875 cm^{-1} .

Figura 17

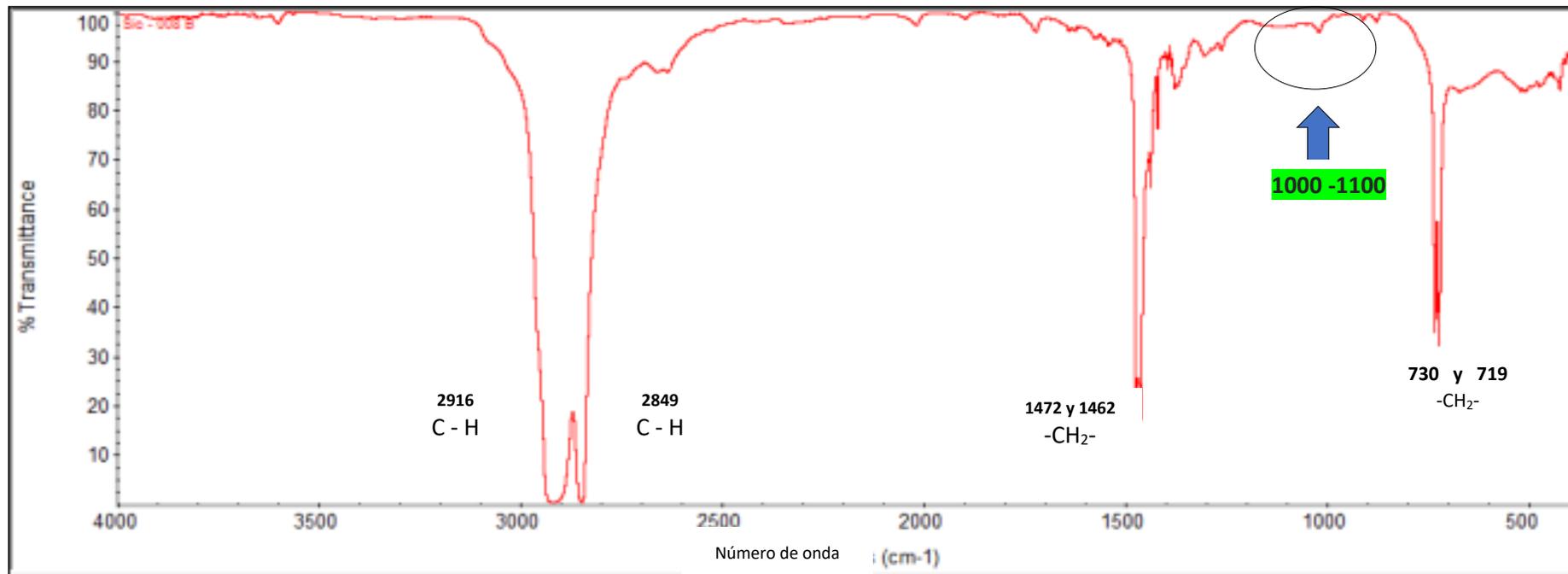
Caracterización de LDPE tipo B mediante FTIR posterior al tratamiento con la cepa Sic – 004 (*Aspergillus flavus*).



En la figura 17 se presenta el espectro FTIR obtenida para la muestra tratada con la cepa Sic– 04 (*Aspergillus flavus*), en la que se conservan las bandas características del LDPE, además se observan modificaciones en la región comprendida entre 1000 - 1100 cm⁻¹, donde se aprecian señales tenues que podrían corresponder a vibraciones de enlaces C–O, posible presencia de productos de oxidación incipiente en la matriz polimérica.

Figura 18

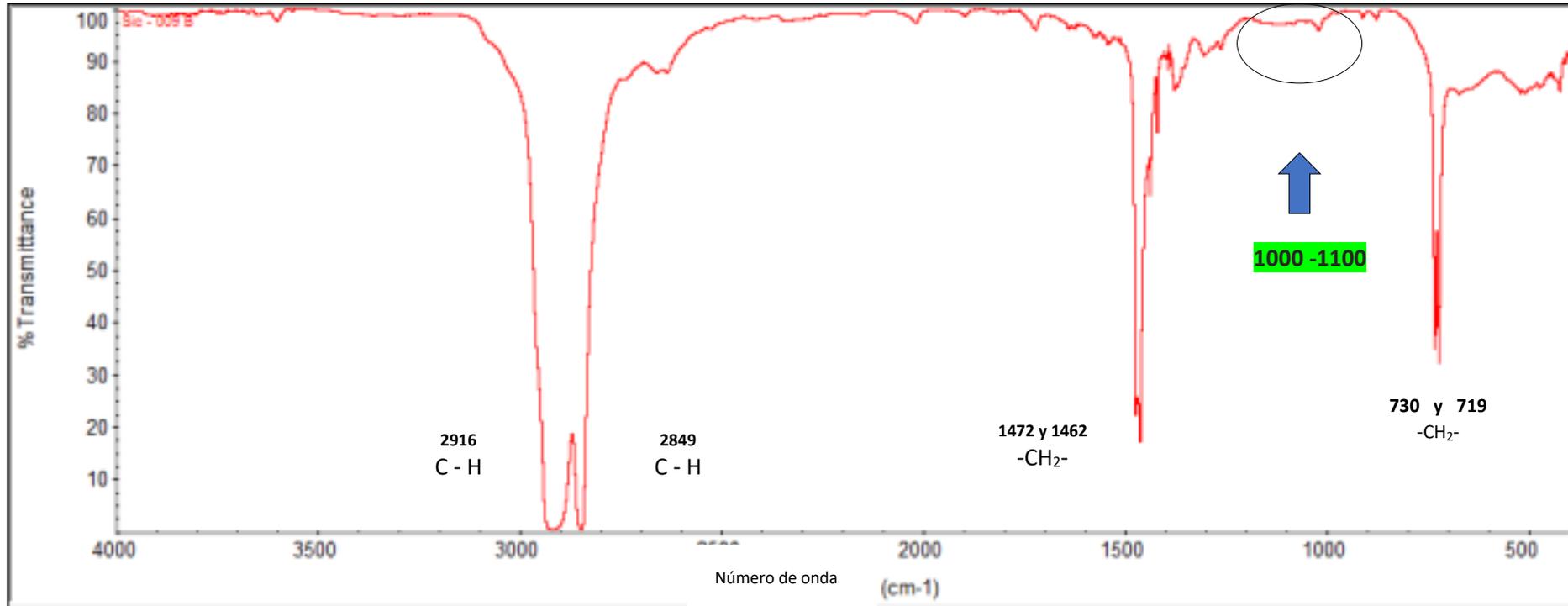
Caracterización de LDPE tipo B mediante FTIR posterior al tratamiento con la cepa Sic – 008 (*Aspergillus flavus*).



En la figura 18 se presenta el espectro FTIR obtenida para la muestra tratada con la cepa Sic– 08 (*Aspergillus flavus*), en la que se conservan las bandas características del LDPE, además se observan modificaciones en la región comprendida entre 1000 - 1100 cm⁻¹, donde se aprecian señales tenues que podrían corresponder a vibraciones de enlaces C–O, posible presencia de productos de oxidación incipiente en la matriz polimérica.

Figura 19

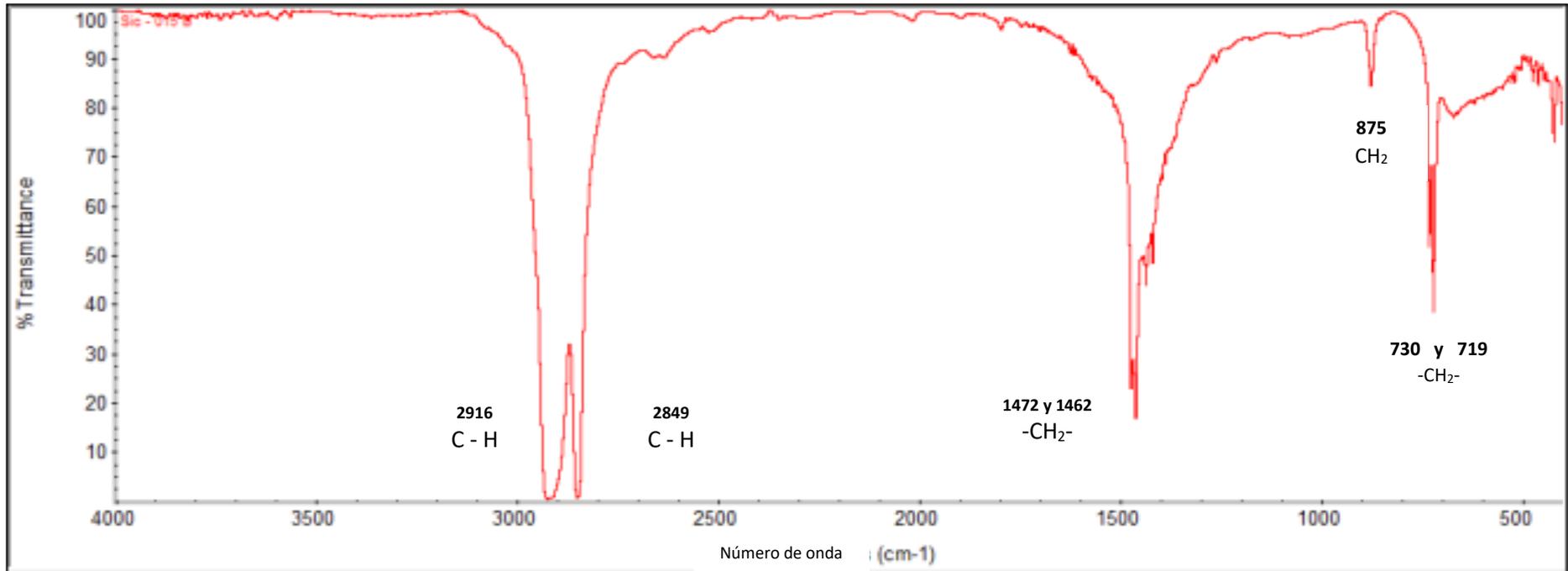
Caracterización de LDPE tipo B mediante FTIR posterior al tratamiento con la cepa Sic – 009 (*Aspergillus flavus*).



En la figura 19 se presenta el espectro FTIR obtenido para la muestra tratada con la cepa Sic– 09 (*Aspergillus flavus*), en la que se conservan las bandas características del LDPE, además se observan modificaciones en la región comprendida entre 1000 - 1100 cm⁻¹, donde se aprecian señales tenues que podrían corresponder a vibraciones de enlaces C–O, posible presencia de productos de oxidación incipiente en la matriz polimérica.

Figura 20

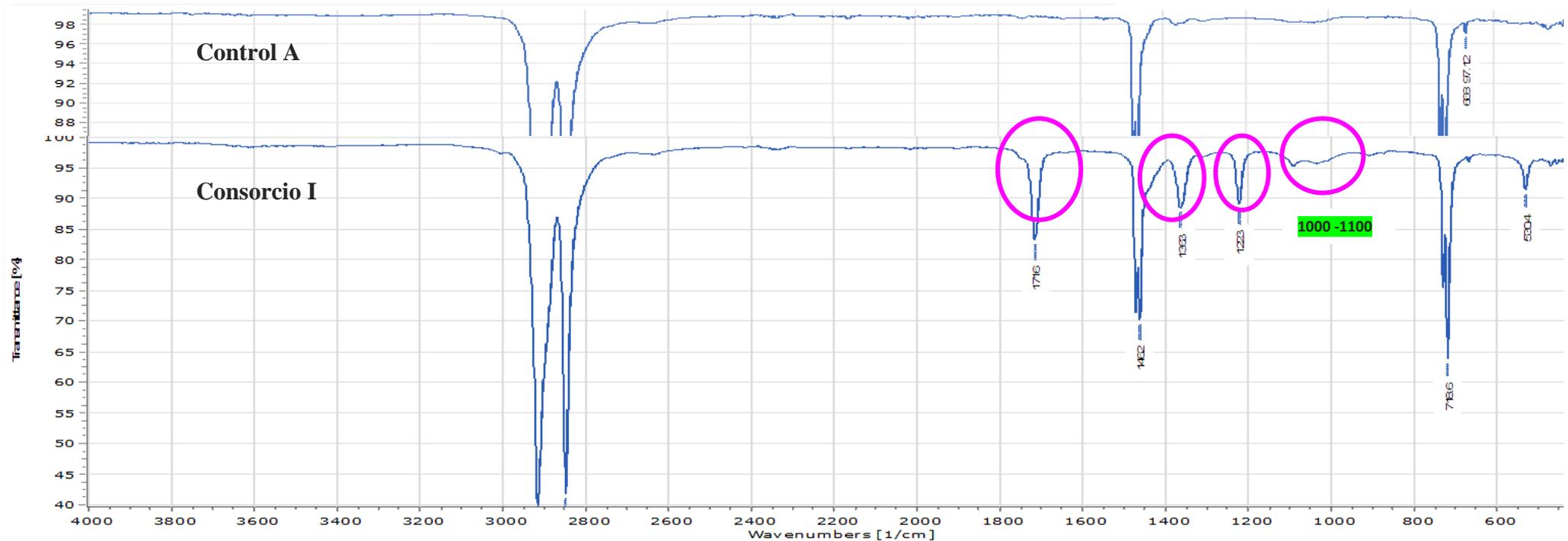
Caracterización de LDPE tipo B mediante FTIR posterior al tratamiento con la cepa Sic – 015 (*Penicillium crysogenum*).



En la figura 20 se presenta el espectro FTIR correspondiente a la muestra tratada con la cepa Sic – 015 (*Penicillium crysogenum*), en la que se conservan las bandas características del LDPE, además de vibraciones de los enlaces CH₂ en 875 cm⁻¹, en la que no se aprecian señales de cambios importantes en la matriz polimérica.

Figura 21

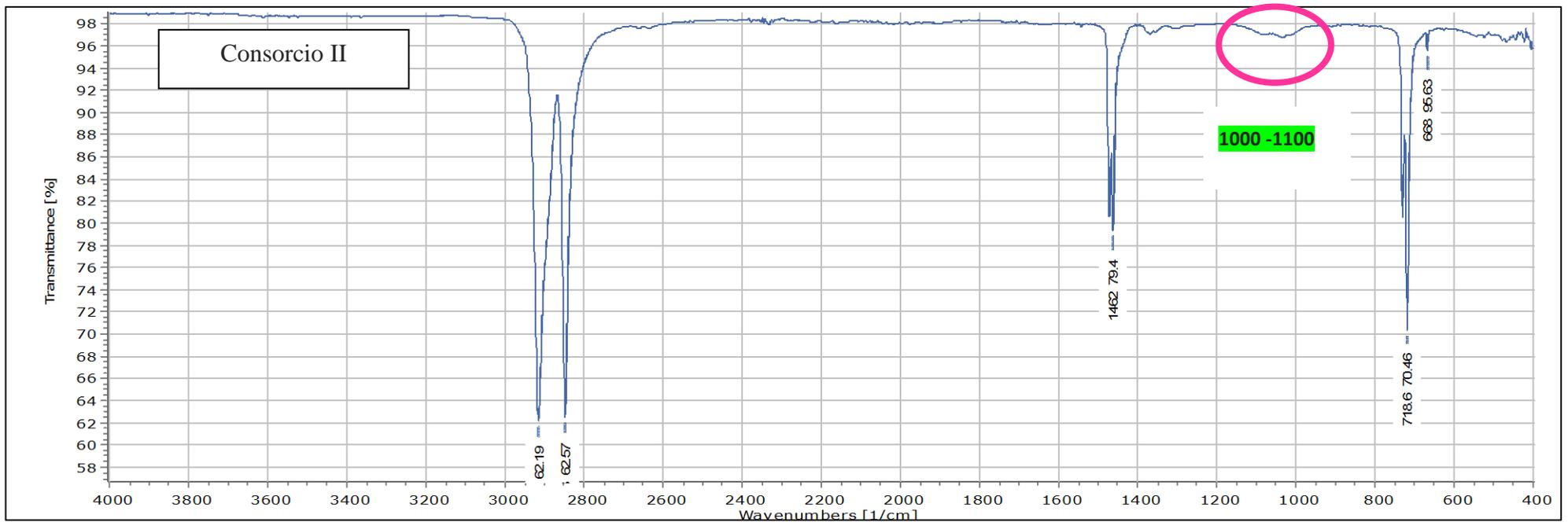
Caracterización de LDPE tipo A mediante FTIR: muestra control y tratadas con consorcios de hongos filamentosos.



La figura 21 muestra el análisis FTIR, comparativo entre la muestra control y las tratadas con el consorcio I, en la que se observa banda adicional en 1716 cm^{-1} , atribuido a bandas de carbonilo $\text{C}=\text{O}$, se observa también bandas en 1223 cm^{-1} vibración de estiramiento $\text{C}-\text{O}$ o $\text{C}-\text{O}-\text{C}$ y cambios alrededor de $(1000-1100)\text{ cm}^{-1}$, que corresponde a enlaces $\text{C}-\text{O}$ de éteres o esteres. Estas modificaciones podrían estar asociadas a la acción enzimática extracelular fúngica, implicadas en la degradación de LDPE. Se observa también banda adicional en 1363 cm^{-1} que podría indicar la deformación de grupos metilo $-\text{CH}_3$. Vibraciones de grupos $\text{C}-\text{C}$ en 530 cm^{-1} de la cadena principal del polímero.

Figura 22

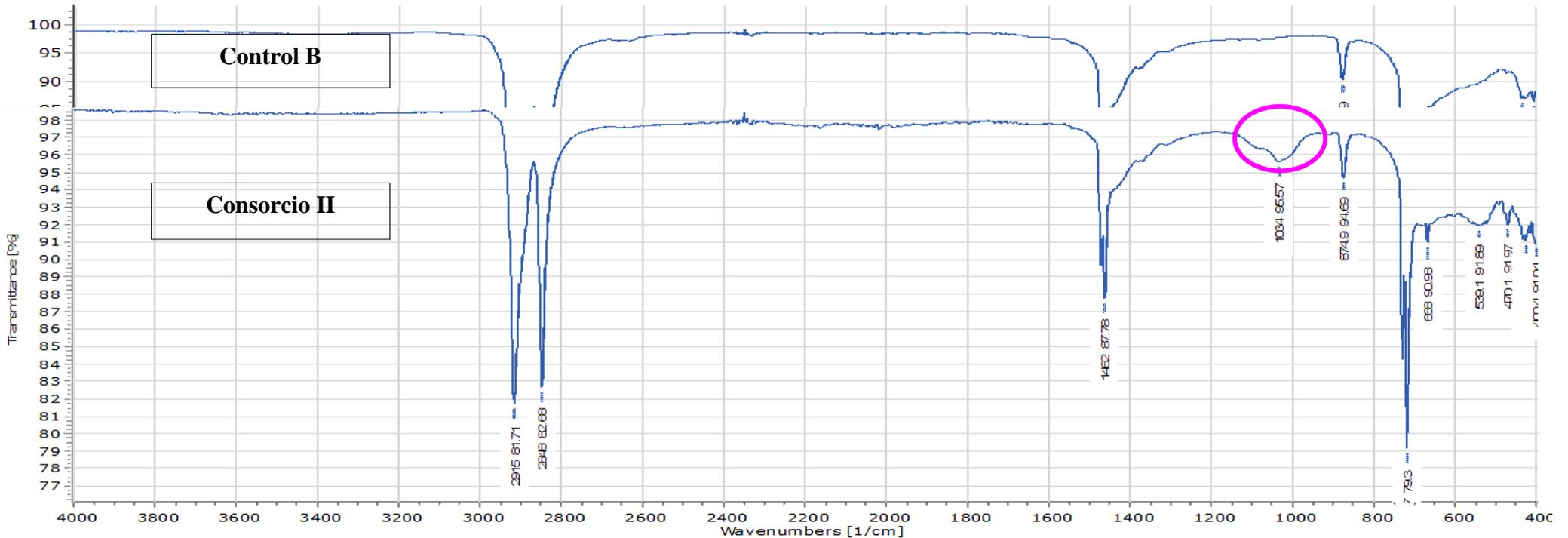
Caracterización de LDPE tipo A mediante FTIR posterior al tratamiento con consorcio II en suelo.



En la figura 22 se presenta el espectro FTIR correspondiente a la muestra tratada con el consorcio II, donde se identifican bandas características del LDPE. Además, se observan modificaciones en la región entre (1000 a 1100 cm^{-1}) atribuidas a la formación de grupos oxigenados C-O de, éteres o ésteres, producto de la acción enzimática fúngica sobre el polímero.

Figura 23

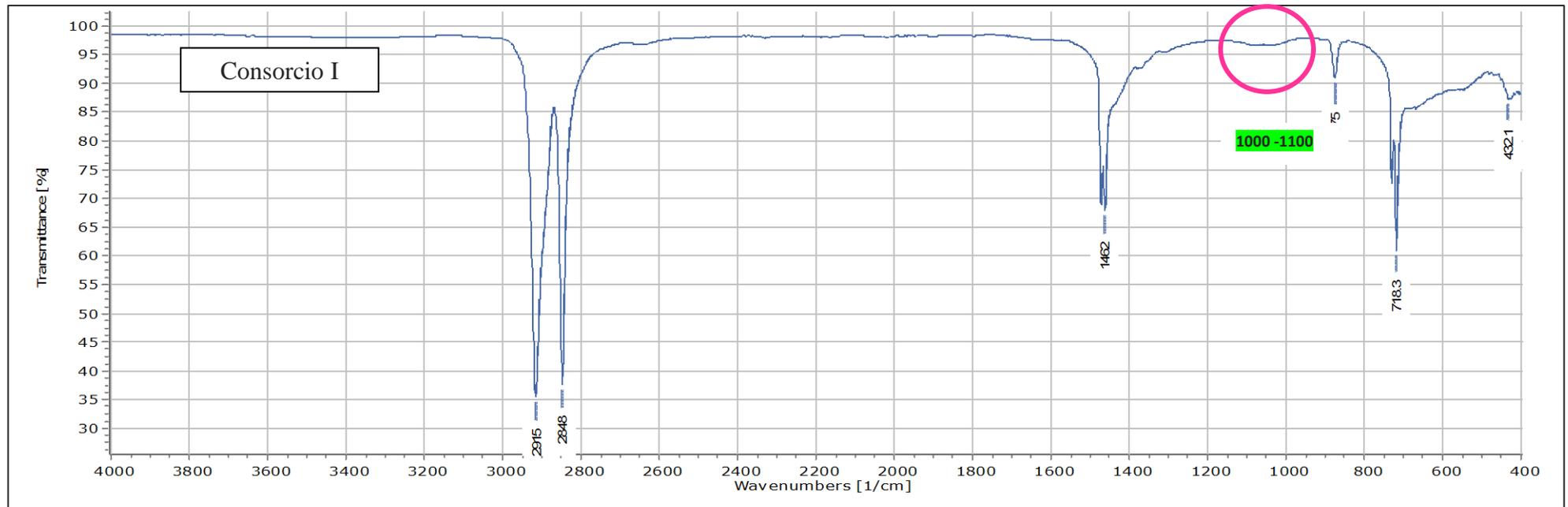
Caracterización de LDPE tipo B mediante FTIR: muestra control y tratada con consorcios de hongos filamentosos.



La figura 23 muestra el análisis FTIR, comparativo entre la muestra control y la tratada con el consorcio II, en los espectros se identifican bandas características de LDPE. En contraste con el control, en el espectro del consorcio II se observa banda adicional en 1035 cm^{-1} , que se atribuye a enlaces C-O de éteres o ésteres o productos secundarios de la degradación, asociadas la acción enzimática extracelular fúngica, implicadas en la degradación de LDPE. Se observa también vibraciones de los enlaces CH₂ en 875 cm^{-1} , vibraciones en enlaces C-C o deformación en C-H en polímeros o enlaces C-Br, C-Cl en 539 cm^{-1} , vibraciones de los enlaces C-C en 470 cm^{-1} .

Figura 24

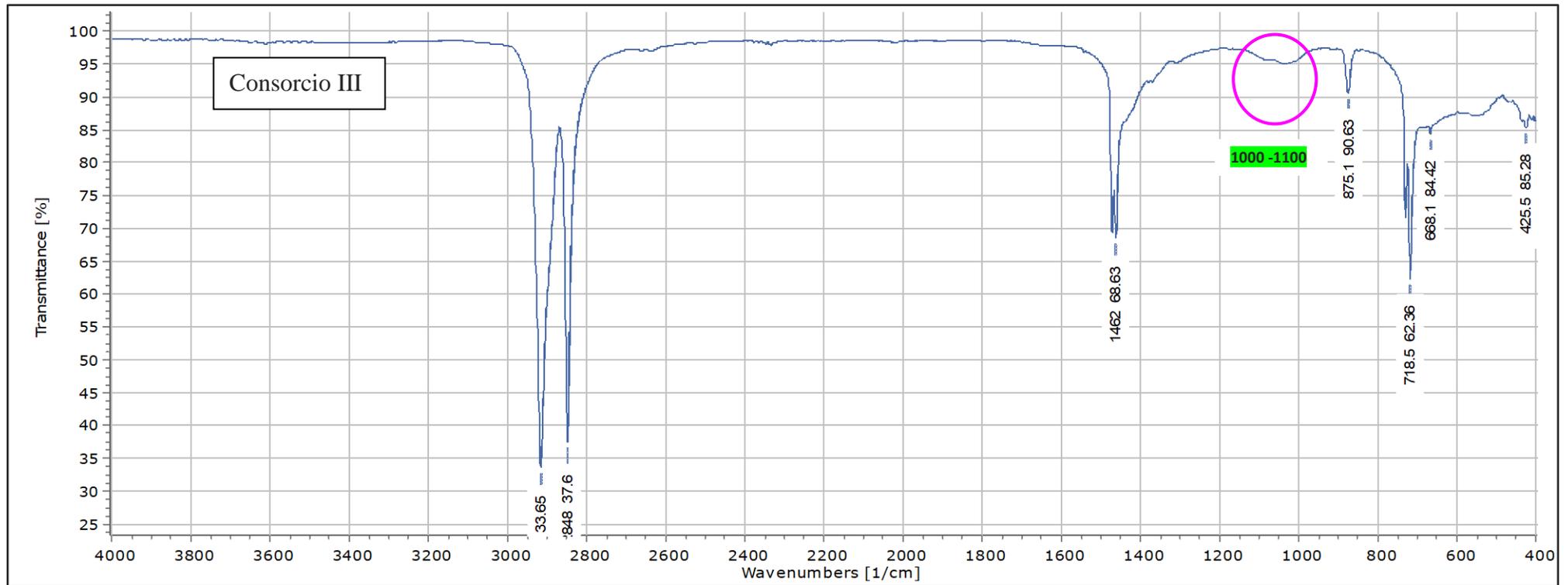
Caracterización de LDPE tipo B mediante FTIR posterior al tratamiento con consorcio I en suelo.



En la figura 24 se presenta el espectro FTIR correspondiente a la muestra tratada con el consorcio I, en la que se identifican las bandas características del LDPE. Además, se observan modificaciones en la región entre (1000 a 1100 cm^{-1}) indicando formación de grupos oxigenados C-O de éteres, ésteres, producto de la acción enzimática fúngica sobre el polímero. Se observa también vibraciones de los enlaces CH_2 en 875 cm^{-1} y vibraciones de enlaces C-C o 432 cm^{-1} de la estructura principal del polímero.

Figura 25

Caracterización de LDPE tipo B mediante FTIR posterior al tratamiento con consorcio III en suelo.

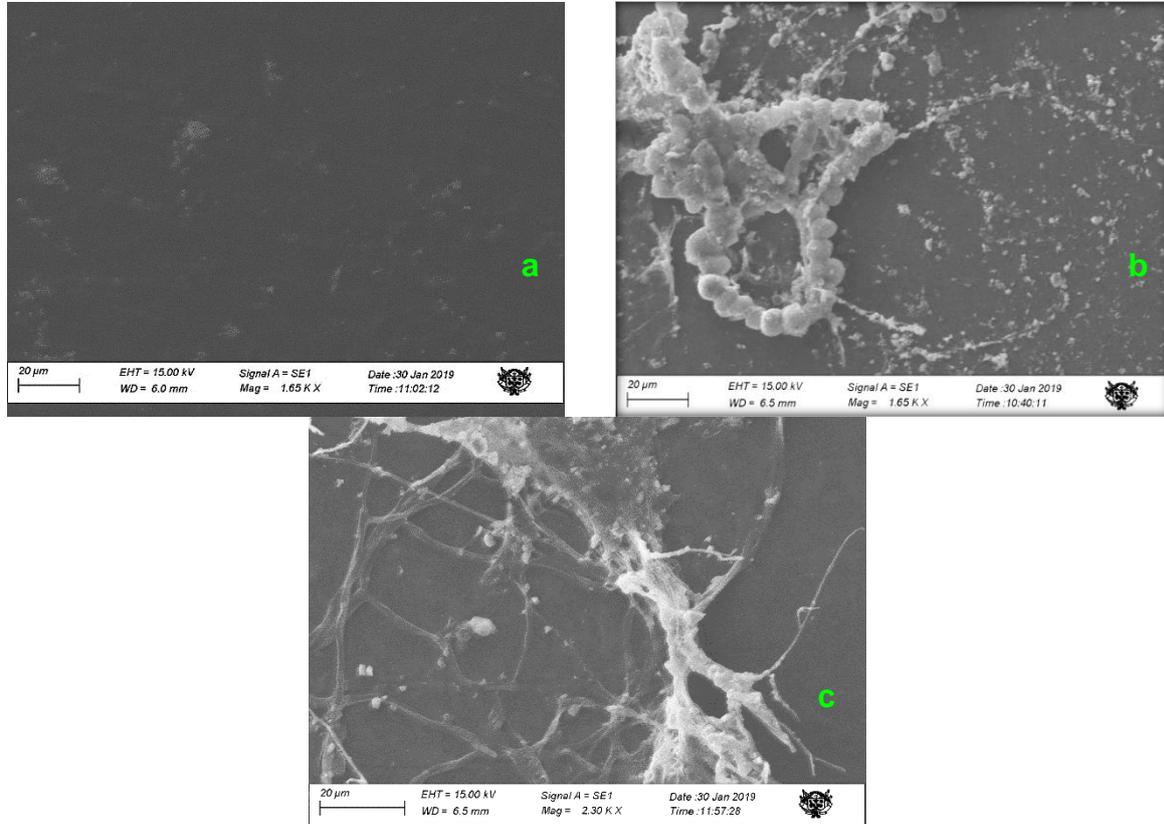


En la figura 25 se presenta el espectro FTIR correspondiente a la muestra tratada con el consorcio III, en la que se identifican bandas características del LDPE. Además, se observan modificaciones en la región entre (1000 a 1100 cm^{-1}) indicando formación de grupos oxigenados C-O de éteres y ésteres, producto de la acción enzimática fúngica sobre el polímero. Se observa también vibraciones de los enlaces CH_2 en 875 cm^{-1} y vibraciones en los enlaces C-C en 425 cm^{-1} , de la estructura principal del polímero.

3.1.5 Actividad fúngica sobre LDPE por Microscopía electrónica de barrido

Figura 26

Fotomicrografía de láminas de plástico LDPE tipo A, incubado en medio MSM.

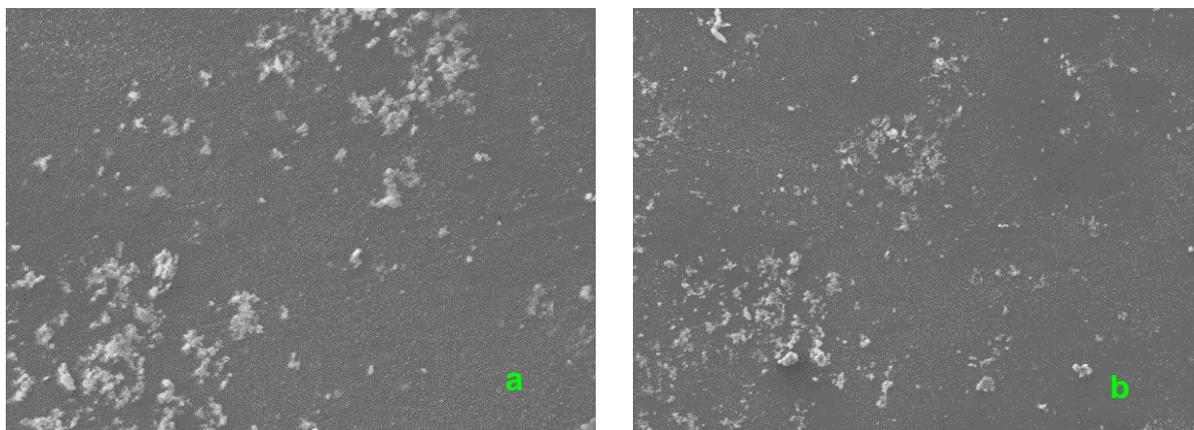


Nota: Imágenes de microscopía electrónica de barrido (SEM) de láminas de LDPE después de 90 días de incubación: (a) muestra control, sin presencia de hongos; (b) y (c) láminas con evidencia de crecimiento de hongos.

La imagen de microscopía electrónica de barrido muestra la superficie del plástico LDPE tipo A. En (a) se observa la muestra control, sin alteración atribuible a actividad biológica, ya que no estuvo en contacto con hongos; sin embargo, se aprecian pequeñas estructuras sobresalientes propias del proceso de producción, así como posibles depósitos de sales o restos del medio de cultivo. En contraste, en las imágenes (b) y (c) se observa la presencia de hifas de hongos adheridos a la superficie de LDPE, evidencia de la degradación por hongos, ya que estas muestras fueron lavadas previas a la observación.

Figura 27

Fotomicrografía de láminas de plástico LDPE tipo B, incubado en medio MSM.

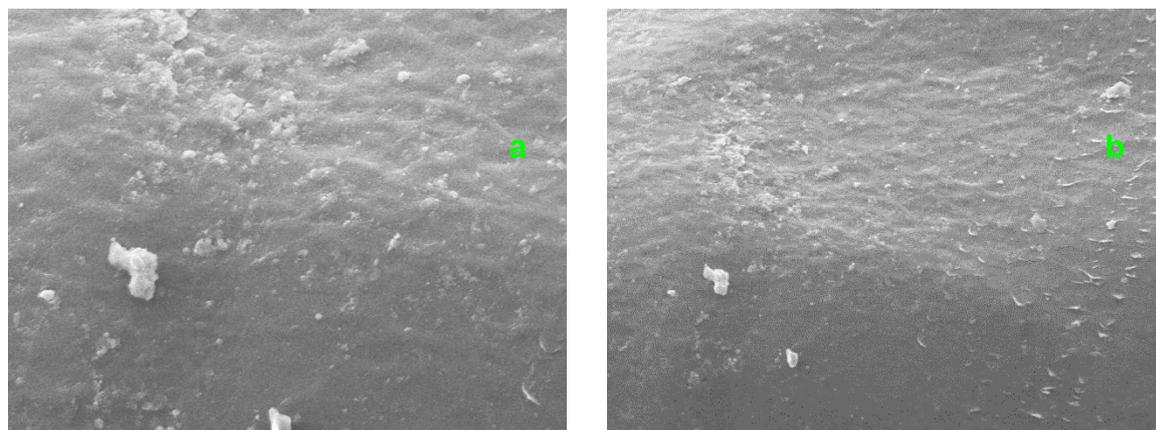


Nota. Posterior a la incubación por 90 días en medio MSM.

En (a) y (b) se observa las láminas de LDPE, sin alteración alguna; sin embargo, se aprecian pequeñas estructuras sobresalientes propias del proceso de producción, así como posibles depósitos de sales o restos del medio de cultivo.

Figura 28

Fotomicrografía de láminas de plástico LDPE tipo A, tratamiento en suelo.

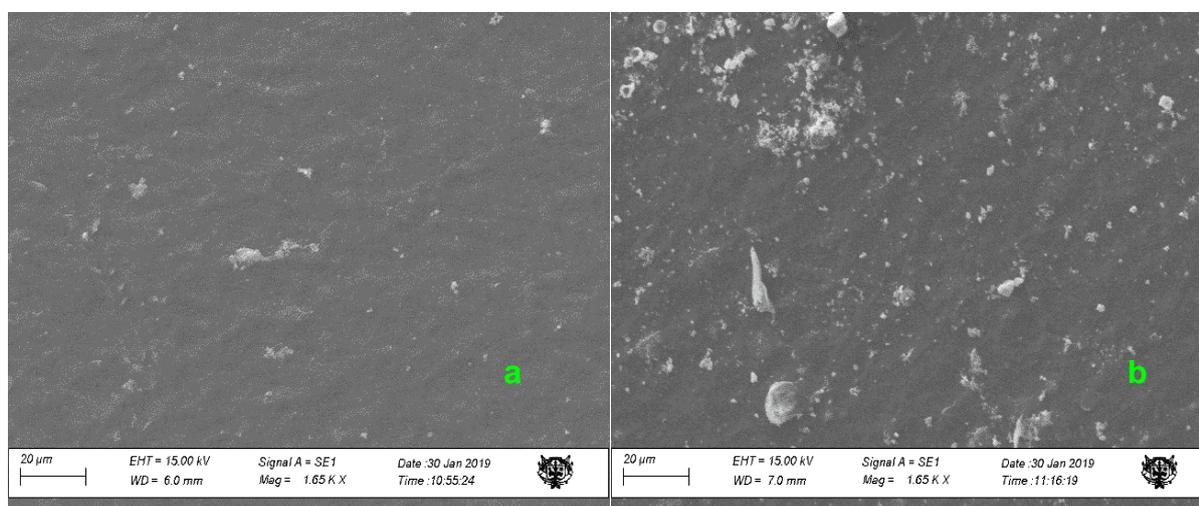


Nota. Posterior al tratamiento en suelo por 120 días.

En (a) y (b) se observa las muestras de LDPE, sin alteración atribuible a actividad biológica, sin embargo, se aprecian pequeñas estructuras sobresalientes propias del proceso de producción, así como posibles depósitos de sales o restos del medio de cultivo o restos de suelo.

Figura 29

Fotomicrografía de láminas de plástico LDPE tipo B, tratamiento en suelo.



Nota: Imágenes de microscopía electrónica de barrido (SEM) de láminas de LDPE después de 90 días de incubación: (a) muestra control, sin presencia de hongos; (b) lámina con aparente presencia de esporas de hongos.

La imagen de microscopía electrónica de barrido muestra la superficie del plástico LDPE tipo B. En (a) se observa la muestra control, sin alteración atribuible a actividad biológica, ya que no estuvo en contacto con hongos. En contraste, en la imagen (b) se observa algunas esporas adheridas en la superficie del LDPE en combinación con posibles depósitos de sales o restos del medio de cultivo o restos de suelo.

3.2 DISCUSIÓN

3.2.1 Identificación de cepas de hongos filamentosos aisladas de restos de bolsas plásticas a distintas profundidades en el botadero de residuos sólidos de Sicuani, con capacidad degradativa de polietileno de baja densidad (LDPE).

Las 8 cepas que mostraron efectividad degradativa sobre el polietileno de baja densidad (LDPE), fueron identificadas taxonomicamente, determinándose cuatro especies fúngicas pertenecientes a dos géneros: *Aspergillus flavus*, *Penicillium chrysogenum*, *Penicillium brevicompactum* y *Penicillium viridicatum*.

Los resultados obtenidos en el presente estudio coinciden parcialmente con lo reportado por (Gutierrez, 2013), quien aisló *Aspergillus fluvus*, además de *Penicillium sp.*, *Aspergillus fumigatus*, *Aspergillus niger*, *Cladosporium sp.*, *Gliocladium virens*. De igual forma (Iparraguirre & Vivanco , 2015), aislaron *Aspergillus flavus*, *P. chrysogenum*, además de otras especies como *Aspergillus. violeceofuscus*, *A. fumigatus*, *A. niger*, *A. alternata*, *P. purpurogenum*, *P. griseofulvum*, *P. brachiata*. *Mucor sp.*, *Rhizopus stolonifer*. Pero que difieren con lo reportado por (Uribe, et. al., 2010), en la que aislaron *Penicillium sp*, *Rhodotorula sp.*, *Hyalodendron sp.*

En cuanto a la determinación de géneros, los hallazgos del presente trabajo coinciden parcialmente con los de (Méndez, et. al., 2007), quienes identificaron *Aspergillus*, *Penicillium*, además de *Cladosporium*, *Geotrichum*, *Mucor*, *Helminthosporium*, *Chaetomium*, *Fusarium*, *Hormodendrum*, *Cephalosporium* y *Nigrospora*. Asimismo (Gessa & Peralta, 2013) reportaron *Penicillium*, además de *Fusarium*, *Rizophus*, y *Chaetomium*.

El género *Penicillium* es ampliamente reconocido y uno de los hongos más comunes, presente en diversos hábitats como el suelo, el aire y ambientes extremos. Su capacidad para desarrollarse en condiciones adversas de pH, temperatura y salinidad lo convierte en un organismo altamente versátil. Estas características han facilitado su aplicación en múltiples

campos, incluyendo la biorremediación de contaminantes, así como en las industrias alimentaria, cosmética y farmacéutica. Además, la notable producción de enzimas extracelulares por parte de especies de *Penicillium* cumple un rol fundamental en la descomposición microbiológica de materia orgánica (Ajar , et al., 2018). Por su parte, la predominancia en el aislamiento de *Aspergillus*, puede explicarse por su amplia distribución ambiental, su capacidad de colonizar múltiples sustratos y la eficiente dispersión aérea de sus conidios, los cuales pueden permanecer en suspensión por largos periodos (Abarca, 2000).

3.2.2 Grado de efectividad de hongos filamentosos en la degradación de LDPE según profundidad en medio mineral.

De las 21 cepas de hongos filamentosos aisladas de restos de bolsas plásticos recolectadas a distintas profundidades (superficie, 5 cm, 10 cm, 30 cm y 50 cm), ocho cepas (38 %) mostraron efectividad degradativa sobre polietileno de baja densidad (LDPE), mientras que el 62 % restante no presento actividad destacable.

El grado de efectividad degradativa por cepa y nivel de profundidad, en 45 días de incubación muestran que las cepas aisladas en superficie presentan alguno de los mayores porcentajes de degradación: Sic-08 (*Aspergillus flavus*) con 13.55 %, Sic-09 (*A. flavus*) con 10.73 % y Sic-04 (*P. brevicompactum*) con 5.58 %. A una profundidad de 30 cm destacaron Sic-16 (*P. viridicatum*) con 10.35 % y Sic-15 (*P. chrysogenum*) con 5.41 %, mientras que, a 50 cm, las cepas Sic-18 (*A. flavus*) con 13.16 %, Sic-20 (*P. chrysogenum*) con 10.87 % y Sic-21(*P. chrysogenum*) con 8.93 % también mostraron una notable actividad degradativa, con un intervalo de confianza del 95 %.

Resultados obtenidos en el presente trabajo difieren con los reportados por (Espinoza, 2018), quien evidenció a *Fusarium* como la más apta para degradar LDPE, mostrando pérdida de peso una media de 0.99% +/- 0.11%, cultivadas durante 90 días, a su vez evidencio a *Aspergillus* con actividad satisfactoria, pero en menor grado. Difieren también con

(Iparraguirre & Vivanco , 2015) quienes determinaron a *Mucor sp.* con mejor capacidad degradativa de 20 % a 25 °C a pH 5-7 por 2 meses.

Los resultados del presente trabajo se asemejan a lo reportado por (Méndez, et. al., 2007), quienes de forma cualitativa obtuvieron que *Aspergillus flavus* es buena degradadora (++++) a 30 °C y pH 8, y de regular actividad (++) a 20 °C y pH 8, por 10 semanas.

De acuerdo con los resultados obtenidos, en cuanto a la disminución de peso de LDPE, probablemente se deba a que el LDPE tiene una estructura desordenada con grandes ramificaciones y pueden romperse los enlaces C - C en la cadena principal, lo que produce la ruptura de la cadena polimérica, es así que se produce una disminución de peso (Volke, 1997).

En cuanto a la presencia de hongos filamentosos y su actividad sobre LDPE, quizá se deba a que son colonizadores activos de los polímeros debido a su capacidad para producir polímeros exocelulares, considerando que tal adhesión a la superficie de los sustratos es un paso decisivo en la corrosión microbiana (Whitekettle, 1991 y Milstein, et al., 1992). O puede ser consecuencia del proceso de oxidación lo que causa erosión superficial y pérdida de material (Albertsson, et. al., 1995).

Por otro lado, la efectividad degradativa de las cepas fúngicas sobre el polietileno de baja densidad (LDPE), en función de los dos tipos (tipo A y B) y la profundidad de aislamiento, incubadas por 90 días. Muestran que en superficie la cepa Sic-8 (*Aspergillus flavus*) mostró una degradación efectiva del 21.04 % sobre LDPE tipo A, lo cual concuerda con estudios de Méndez et al. (2007), quienes aislaron *Aspergillus flavus* con potencial degradador de plásticos.

En cambio, a 30 cm de profundidad, ninguna de las cepas mostró eficacia degradativa relevante sobre los tipos de LDPE (A y B).

No obstante, a 50 cm, se observó eficacia degradativa sobre LDPE tipo A por parte de Sic-018 (*Aspergillus flavus*, 22.23 %) y Sic-020 (*Penicillium chrysogenum*, 11.59 %). La disponibilidad de oxígeno y la carga microbiana activa en esa capa del suelo no son suficientes

para sostener procesos de biodegradación aerobia del LDPE. Sin embargo, en ciertas condiciones edáficas profundas, algunas cepas adaptadas pueden mantener su metabolismo secundario activo, incluso en condiciones de baja luminosidad y baja temperatura. Por ende, bajo tales condiciones, la actividad de los hongos aeróbicos se ve restringida debido a la ausencia del oxígeno molecular necesario para la acción de enzimas oxidativas claves, como lacasas y peroxidasas. En contraste, algunos hongos anaeróbicos han desarrollado mecanismos alternativos para mantener su metabolismo, empleando otros compuestos como aceptores finales de electrones, tales como sulfato, nitrato, hierro, manganeso o incluso dióxido de carbono (Alshehrei, 2017). Tal como lo demuestra, (Russell, et al., 2011), en la que reportaron actividad significativa de degradación en hongos creciendo en condiciones anaeróbicas utilizando poliuretano, lo que indica que, si bien es más limitada, la biodegradación fúngica en ausencia de oxígeno puede ser viable bajo ciertas condiciones.

En contraste, el LDPE tipo B no mostró evidencias de degradación significativa en ninguna de las condiciones evaluadas. Esta resistencia podría estar relacionado con la composición, mayor densidad, presencia de aditivos que ayudan a tener mayor durabilidad a la acción de la temperatura y a un alto grado de cristalinidad (Posada, 2012). Contribuyendo a que la degradación de los plásticos tenga un proceso lento y poco eficiente.

El análisis en FTIR permitió identificar bandas características de grupos funcionales y enlaces del LDPE en los tipos A y B. Se evidenciaron el estiramiento de los enlaces C - H ($2915 - 2916$ y $2848 - 2849 \text{ cm}^{-1}$), la flexión de los grupos metilo $-\text{CH}_2-$ (1472 y 1462 cm^{-1}), y las vibraciones fuera del plano de $-\text{CH}_2-$ ($719 - 720$ y 730 cm^{-1}), estiramiento de los enlaces $=\text{C}-\text{H}$ en ($874-875 \text{ cm}^{-1}$) y el estiramiento del enlace C-H (668 cm^{-1}). A diferencia del control, en el caso del LDPE tipo A, las cepas Sic-04 (*P. brevicompactum*), Sic-08, Sic-09 y Sic-018 (*A. flavus*), Sic-015 (*P. chrysogenum*) y Sic-16 (*P. viridicatum*) presentaron nuevas bandas en

1579 y 1541 cm^{-1} , atribuidas a grupos carbonilo C=O, así como un incremento en la intensidad de las señales entre 1000 y 1200 cm^{-1} , correspondiente a grupos C–O, indicativos de oxidación de la matriz polimérica. Con respecto al tipo B, las cepas Sic-04, Sic-08, Sic-09 (*A. flavus*) y Sic-015 (*P. chrysogenum*) mostraron cambios más sutiles entre 1000 y 1100 cm^{-1} , lo que sugiere la presencia incipiente de productos de oxidación. También se detectaron señales en 875 cm^{-1} , posiblemente relacionadas con impurezas vinílicas o procesos de oxidación superficial, aunque sin alteraciones estructurales significativas. Y la cepa que destaca es Sic-20 (*P. chrysogenum*), que presentó un pico adicional en 1716 cm^{-1} , característico de grupos carbonilo (C=O), reforzando así la oxidación inducida por actividad enzimática, contribuyendo a la degradación del LDPE.

Estos resultados difieren con los reportados por (Espinoza, 2018), quien no encontró cambios en el espectro de infrarrojo de las muestras experimentales en comparación con el espectro característico del LDPE.

En cuanto al análisis de microscopio electrónico se observan estructuras fúngicas como hifas adheridas en la superficie de LDPE, producto de la penetración de las estructuras fúngicas sobre el LDPE, pero no se aprecia alteraciones en el LDPE. Resultados que difieren con lo reportado por (Gutiérrez, 2013), quien observó la presencia de alteración física, atribuible al ataque microbiano, que se aprecia a manera de agrietamientos y defoliación. Difieren también con lo reportado por (Espinoza, 2018), quien encontró la presencia de rugosidad superficial, agujeros, grietas e incluso formaciones de hifas integradas a la matriz polimérica del material. Si bien es cierto en el presente trabajo de investigación no se encontró alteraciones superficiales.

3.2.3 Grado de acción degradativa de consorcio de hongos en la degradación de tipos de LDPE en suelo.

La evaluación de la efectividad degradativa de los consorcios fúngicos en suelo durante 120 días mostró que el consorcio I, conformado por las cepas Sic-08, Sic-09 y Sic-18 (*Aspergillus flavus*), Sic-16 (*Penicillium viridicatum*) y Sic-20 (*Penicillium chrysogenum*), alcanzó el mayor porcentaje de degradación del LDPE con 15.9 %. Seguido del consorcio III, integrado por ocho cepas pertenecientes a las especies *Aspergillus flavus*, *Penicillium chrysogenum* y *Penicillium viridicatum*, con un 13.6 % de degradación. Finalmente, el consorcio II, compuesto por las cepas Sic-04 (*Penicillium brevicompactum*), Sic-15 y Sic-21 (*Penicillium chrysogenum*), alcanzó un 11.7 %.

Al comparar estos resultados con otros estudios, se observa que la efectividad obtenida en este trabajo supera a lo reportado por Gutiérrez (2013), quien evaluó consorcios microbianos en condiciones estáticas y agitación, obteniendo pérdidas de peso del LDPE de 5.88 % (pH 7) y 8.33 % (pH 5) sin agitación, alcanzando un máximo de 19.32 % bajo agitación a pH 5. Asimismo, Uribe et al. (2010), utilizando un consorcio compuesto por *Pseudomonas sp.*, *Penicillium sp.*, *Rhodotorula sp.*, *Hyalodendron sp.* y una levadura no identificada, reportaron reducciones del 5.4 % en peso con bacterias (pH 7) y del 4.8 % con hongos y levaduras (pH 5.5). Por otro lado, Gutiérrez (2019) reportó una pérdida del 2.88 % de peso del LDPE luego de 70 días, siendo el consorcio más eficaz el número 3, con un 6.54 %. En ese estudio, la composición microbiana estuvo dominada por bacterias (69 %), con una menor proporción de hongos y levaduras (31 %), lo que puede explicar las diferencias observadas.

En cuanto a tratamientos realizados directamente en suelo, los resultados aquí obtenidos contrastan con los reportados por Nowak et al. (2011), quienes obtuvieron mayor porcentaje de degradación en suelo de cráter, en el tipo3, 17.03 % de degradación, para el tipo 1 (100 % LDPE), el porcentaje fue de apenas 0.28 %. Según los autores, esto se atribuye a una mayor

disponibilidad de materia orgánica en dicho suelo, lo que favorece el metabolismo microbiano. Esta diferencia puede explicar el comportamiento menos degradativo del LDPE en suelos más pobres, como el suelo jardín-arena utilizado en el presente trabajo.

En relación con los tipos de LDPE, se observó que el tipo A mostró una menor susceptibilidad a la degradación, donde los consorcios I y III alcanzaron 8.21 % y 9.01 %, respectivamente, mientras que el consorcio II apenas logró 0.99 %. En cambio, para el LDPE tipo B, todos los consorcios mostraron mayor efectividad (entre 11.28 % y 14.66 %), lo que sugiere que la composición química del polímero influye considerablemente en la eficiencia de su biodegradación.

Este comportamiento es respaldado por lo señalado por (Restrepo-Flórez, et. al., 2014), quienes enfatizan que el éxito de la biodegradación depende no solo de microorganismos involucrados, sino también de las propiedades físicoquímicas, la cristalinidad del polímero, la presencia de aditivos, y la disponibilidad de nutrientes en el medio.

El análisis por FTIR de las muestras de LDPE tratadas en suelo reveló bandas características del polímero y algunas modificaciones, de las cuales, para el LDPE tipo A, en el consorcio I, se identificaron nuevas bandas en 1716 cm^{-1} (carbonilos C=O), 1223 cm^{-1} (C–O) y entre $1000\text{--}1100\text{ cm}^{-1}$, correspondientes a enlaces oxigenados (éteres o ésteres). En el consorcio II, tanto en LDPE tipo A como B, se identificaron bandas adicionales en 1035 cm^{-1} (C–O–C), asociadas a la fragmentación del polímero. Para los consorcios I y III, para el LDPE tipo B, las bandas en la región de $1000\text{--}1100\text{ cm}^{-1}$, confirman la formación de grupos oxigenados por actividad enzimática fúngica, lo cual respalda el proceso de biodegradación del LDPE.

Estos resultados concuerdan con lo reportado por Uribe et al. (2010), quienes mediante FTIR evidenciaron una disminución del 83.89 % del grupo funcional C-O a pH 7 y un 19.77 % en C=C a pH 5.5, lo cual indicaba una modificación estructural del polímero. En su estudio,

también se observó que especies del género *Penicillium* mostraban actividad degradativa especialmente en asociación con *Bacillus sp.*, lo que respalda la idea de que la interacción microbiana en consorcios mejora la eficiencia del proceso. Nowak, (2011), evidencio en el tipo 3 (tipo 3: 70 % polietileno y 30 % bionolle). La degradación, mostrando como modificaciones en las cadenas poliméricas detectadas por FTIR. Uribe et al, (2010), aislaron y describieron la actividad biodegradativa de microorganismos sobre LDPE. La degradación de LDPE se evidencio mediante FTIR, observándose una reducción del 83.89 % en la fuente de carbono correspondiente al grupo funcional C-O a pH 7, y una disminución del 19.77 % en el grupo C = C a pH 5.5. Además, se estableció una relación de absorbancia en los picos de los grupos funcionales C-O (cercano a $1700 - 1735 \text{ cm}^{-1}$), C = C (cercano a $1340 - 1410 \text{ cm}^{-1}$) y CH_2 (cercano a 1465 cm^{-1}), indicando modificaciones estructurales en el polímero.

En cuanto al Análisis en microscopio electrónico de Barrido del LDPE, tras su entierro en suelo se observó presencia de algunas esporas adheridas en la superficie del polímero. Estos resultados difieren con los reportados por (Quinchía & Maya, 2015), quienes observaron cavidades y fracturas que sugieren penetración del hongo en el polímero, además se observan estructuras reproductivas del hongo como esporas. Por su parte, Nowak, (2011), evidencio cambios en las propiedades mecánicas del polímero y la adherencia de estructuras fúngicas. De manera similar, Gutierrez (2013), identificó cambios en la superficie del material, Gutiérrez, (2019), observo modificaciones estructurales en el polímero tratado. Lo observado en el presente estudio sugiere una interacción superficial entre los hongos y el material plástico en el suelo. No obstante, la ausencia de cambios estructurales evidentes en el polímero podría atribuirse a factores como el tiempo de exposición, las condiciones físico – químicas del suelo, la carga fúngica o la naturaleza del consorcio microbiano.

CONCLUSIONES

1. Se identificaron 04 especies de hongos filamentosos aislados de restos de bolsas de plásticos con capacidad degradativa de polietileno de baja densidad, como *Aspergillus flavus*, cepas (Sic-8, Sic-9 y Sic-18) *Penicillium chrysogenum* (Sic-15, Sic-20 y Sic-21), *Penicillium brevicompactum* (Sic-4) y *Penicillium viridicatum* (Sic-16).
2. En medio mineral, las cepas más efectivas durante el periodo de incubación de 45 días fueron las recuperadas en superficie y a 50 cm de profundidad, destacando Sic-08 (*Aspergillus flavus*) con un 13.55 % de degradación en superficie, y a 50 cm, Sic-18 (*A. flavus*) y Sic-20 (*Penicillium chrysogenum*) con 13.16 % y 10.87 %, respectivamente. Asimismo, considerando el tipo de polietileno, a los 90 días de incubación sobre LDPE tipo A (transparente e incoloro), la cepa Sic-08 presentó una degradación del 21.04 %, mientras que las cepas Sic-18 y Sic-20, aisladas a 50 cm, alcanzaron valores del 22.23 % y 11.59 %, respectivamente. Sin embargo, no mostraron efectividad sobre el LDPE tipo B (blanco). En FTIR se observaron cambios en LDPE por la actividad enzimática de hongos filamentosos que demuestran procesos de oxidación. Por SEM se observaron estructuras fúngicas adheridas a la superficie de LDPE.
3. En condiciones de suelo, los consorcios fúngicos I, III y II mostraron efectividad degradativa de LDPE con 15.9 %, 13.6 % y 11.7 %, respectivamente. En cuanto al LDPE tipo A, los consorcios I y III alcanzaron 8.21 % y 9.01 %, mientras que el consorcio II solo 0.99 %. Para el LDPE tipo B, los tres consorcios mostraron mayor efectividad degradativa, con valores de 11.28 %, 14.35 % y 14.66 %, respectivamente. El análisis FTIR evidenció cambios estructurales en el polímero, con aparición de bandas correspondientes a grupos carbonilo C=O y C-O, producto de la actividad enzimática oxidativa. En SEM, se observaron esporas fúngicas adheridas a la superficie del LDPE, indicando posible colonización microbiana activa.

RECOMENDACIONES

1. Profundizar investigaciones sobre aislamiento de hongos filamentosos provenientes de botaderos y buscar su eficiencia de degradación de bolsas de plástico hechos a base de polietileno de baja densidad.
2. Continuar con más investigaciones sobre biodegradación de bolsas plásticas con distintas composiciones químicas, como polietileno de alta densidad (HDPE), polipropileno (PP) y tereftalato de polietileno (PET), ya que el presente estudio se centró particularmente en polietileno de baja densidad.
3. Impulsar investigaciones que aislen y determinen enzimas de hongos filamentosos que participen en la degradación biológica de polietileno de baja densidad.
4. Continuar con investigaciones que evalúen la efectividad degradativa, de cepas de hongos filamentosos mediante experimentos en botaderos de residuos sólidos, bajo condiciones ambientales naturales.
5. Se sugiere el aprovechamiento de los hongos filamentosos aislados en este estudio como una alternativa biotecnológica para mejorar la gestión de residuos plásticos.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Abarca, M. L. (2000). Taxonomy and identification of the species involved in nosocomial aspergillosis. *Revista iberoamericana de micología*, 3(17), S79 - 84. Obtenido de <http://www.reviberoammicol.com/2000-17/S79S84.pdf>
- Agencia de protección al Medio Ambiente Estados Unidos. (2005). *Differences in Recyclability and Recycling of Common Consumer Plastic Resins*. Obtenido de Differences in Recyclability and Recycling of Common Consumer Plastic Resins: <https://files.nc.gov/ncdeq/Environmental%20Assistance%20and%20Customer%20Service/Plastic%20Bottles/Other%20Resources/RecyclingCommonConsumerPlasticResins.pdf>
- Agrios, G. N. (1997). *Plant Pathology* (4th ed. ed.). Academic Press. Obtenido de <https://www.ugr.es/~jramos/fitoweb.htm>
- Aimone, G. (2018). El plástico en el Mar. *Revista de Marina*(964), 27-34. Obtenido de <https://revistamarina.cl/revistas/2018/3/gaimonea.pdf>
- Ajar, N., Verma, P., Kumar, V., Sangwan, P., Mishra, S., Panjiar, N., . . . Saxena, A. K. (2018). Biodiversity of the Genus *Penicillium* in Different Habitats. *New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering*(1), 3-18. doi:<https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63501-3.00001-6>.
- Albarrán, D. (28 de Junio de 2019). *Greenpeace*. Obtenido de 4 animales que sufren por la contaminación plástica: <https://www.greenpeace.org/mexico/blog/2588/4-animales-que-sufren-por-la-contaminacion-plastica/>
- Albertsson, A. C., Barenstedt, C., Karlsson, S., & Lindberg, T. (1995). Degradation product pattern and morphology changes as means to differentiate abiotically and biotically aged degradable pol. *Polymer*, 36(16), 3075-3083. doi:[https://doi.org/10.1016/0032-3861\(95\)97868-G](https://doi.org/10.1016/0032-3861(95)97868-G).
- Alshehrei, F. (2017). Biodegradation of Synthetic and Natural Plastic by Microorganisms. *Journal of Applied & Environmental Microbiology*, 5(1), 8-19. doi:doi: 10.12691/jaem-5-1-2
- Aquihuatl, M., Volke, T., Prado, L. A., Shirai, K., Ramírez, F., & Salazar, M. (2012). *Manual de Prácticas de Laboratorio Microbiología General*. Mexico: Adrián Felipe Valencia Llamas.

- Arenas, R. (2014). *Micología Medica Ilustrada* (Quinta Edición ed.). Mcgraw-Hill Interamericana De España S.L.
- Arias, E. L., & Piñeros, P. A. (2008). *Aislamiento e identificación de hongos filamentosos de muestra de suelo de los páramos de Guasca y Cruz Verde. Tesis Titulo Profesional. Pontificia Universidad Javeriana*. Repositorio Institucional Javeriano. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10554/8233>
- Beltrán, R. M., & Marcilla, G. A. (2012). *Tecnología de polímeros; Procesado y Propiedades*. Union de editoriales Españolas. Universidad de Alicante.
- Bonifaz, J. A. (2015). *Micología médica básica*. McGraw-Hill Education. Obtenido de <https://accessmedicina.mhmedical.com/content.aspx?bookid=1529§ionid=98860063>
- Carrillo, A. (30 de Junio de 2022). *Cinco mil billones de bolsas plásticas son usadas anualmente en el mundo*. Obtenido de Diario sustentable, hay historias que merecen crecer: <https://www.diariosustentable.com/2022/06/cinco-mil-billones-de-bolsas-plasticas-son-utilizadas-anualmente-alrededor-del-mundo/>
- Cepero de G. M., R. R. (2012). *Biología de Hongos* (Primera Edición ed.). Uniandes. Obtenido de https://www.academia.edu/44230266/Biologia_De_Hongos_Cepero_de_Garc%C3%ADa_et_al_
- Congreso de la Republica del Perú. (2016, 23 de Diciembre.). *Decreto Legislativo N° 1278*. Empresa Peruana de Servicios Editoriales S. A. - Editora Perú. Obtenido de https://leyes.congreso.gob.pe/Documentos/2021_2026/ADLP/Texto_Consolidado/31896-TXM.pdf
- Congreso de la Republica del Peru. (2017). *Reglamento del Decreto Legislativo N.º 1278*. Empresa Peruana de Servicios Editoriales S.A. - Editora Peru. Obtenido de <https://sinia.minam.gob.pe/normas/reglamento-decreto-legislativo-ndeg-1278-decreto-legislativo-que-aprueba?>
- Congreso de la Republica del Perú. (2019). *D.S. N° 006-2019-MINAM*. Editora Perú. Obtenido de <https://www.dreim.gob.pe/dreim/wp-content/uploads/2020/11/REGLAMENTO-DE-LA-LEY-30884.pdf>

- Congreso de la Republica del Perú. (2018). *Ley N° 30884*. Editora Peru. Obtenido de https://www.leyes.congreso.gob.pe/Documentos/2016_2021/ADLP/Normas_Legales/30884-LEY.pdf
- Consejo Nacional del Ambiente (CONAM), Dirección General de salud (DIGESA), Organización Panamericana de la Salud (OPS) y Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS). (2004). *Guía técnica para la clausura y conversión de botaderos de residuos sólidos*. Obtenido de <https://bvs.minsa.gob.pe/local/MINSA/1650.pdf>
- Dagnino, J. (2014). Analisis de Vrianza. *Revista Chilena de Anestecia*, 306 - 310. Obtenido de <https://revistachilenadeanestesia.cl/PII/revchilanestv43n04.07.pdf>
- Domínguez, O. L., Ramos, M., Sánchez, A., Manzano, A. M., Argüelles, J., Sánchez, M. I., & Guerra, G. (2011). Degradación biológica de contaminantes orgánicos persistentes por hongos de la podredumbre blanca. *Sistema de Información Científica Redalyc*, 42(2). Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id= DB Redalyc>
- Dussud, C., & Ghiglione, J. F. (2014). Bacterial degradation of synthetic plastics. 46, 49 - 54. Obtenido de <https://667-per-cm.net/wp-content/uploads/2019/05/bacterialdegradationofsyntheticplastics-dussud-ghiglione.pdf>
- Egas, D. (1998). *Microscopía Electrónica: Fundamentos, Teoría y Aplicaciones, Tesis para optar el título profesional, Universidad*. Repositorio digita - Escuela Politecnica Nacional. Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/10421>
- Espinoza, L. M. (2018). *Evaluacion de la degradacion de polietileno de baja densidad mediada por diferentes especies de hongos. Tesis titulo Profesional. Universidad San Francisco de Quito. Ecuador*. Repositorio Digital USFQ. Obtenido de <http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/7410>
- Fallas, J. (2012). Analisis de Varianza. Comparando dos o tres medias. *UCI. Campus Virtual*. Obtenido de https://www.ucipfg.com/Repositorio/MGAP/MGAP-05/BLOQUE-ACADEMICO/Unidad-2/complementarias/analisis_de_varianza_2012.pdf

- Gajendiran, A., Krishnamoorthy, S., & Abraham, J. (2016). Microbial degradation of low-density polyethylene (LDPE) by *Aspergillus clavatus* strain JASK1 isolated from landfill soil. 3 *Biotech*, 6(1), 52. doi:doi: 10.1007/s13205-016-0394-x.
- Georgina. (30 de Septiembre de 2014). *Efectos de la quema de plásticos sobre la salud*. Obtenido de VidaNatural y Saludable: <https://vidanatur.com/efectos-de-la-quema-de-plasticos-sobre-la-salud>
- Gerencia de Gestion Ambiental, Sub Gerencia de Residuos Solidos y Areas Verdes - Municipalidad Provincial de Canchis. (2023). *Plan Provincial Integral de Residuos Solidos Municipales 2022 - 2027*. Municipalidad Provincial de Canchis. Obtenido de <https://www.gob.pe/institucion/municanchis/normas-legales/3941470-3-2023-cm-mpc>
- Gessa, G. A., & Peralta, C. L. (2013). *Micromicetos de Biopelículas en Polietileno del Botadero de Haqira y su Acción Degradadora. Seminario de Investigación. Universidad Nacional San Antonio del Cusco*. Repositorio Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco.
- Greenpeace. (2019). *Greenpeace*. Obtenido de ¿Cómo llega el plástico a los océanos y qué sucede entonces?: <https://es.greenpeace.org/es/trabajamos-en/consumismo/plasticos/como-llega-el-plastico-a-los-oceanos-y-que-sucede-entonces/#:~:text=Actualmente%20se%20han%20identificado%20cinco,una%20elevada%20concentraci%C3%B3n%20de%20micropl%C3%A1sticos>.
- Gulmine, J. V., Janissek, P. R., Heise, H. M., & Akcelrud, L. (2002). Polyethylene characterization by FTIR. *Polymer Testing*, 21(5), 557-563. doi:[https://doi.org/10.1016/S0142-9418\(01\)00124-6](https://doi.org/10.1016/S0142-9418(01)00124-6).
- Gutiérrez, A. I. (2019). *Biodegradación de Polietileno de Baja densidad utilizando Hongos, Consorcios Microbianos Aislados del Botadero Municipal de Tacna. Tesis para optar el Título Profesional. Perú*. Repositorio de la Universidad Privada de Tacna. Obtenido de <https://repositorio.upt.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12969/1269/Gutierrez-Alvarez-Ana.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Gutiérrez, J. G. (2013). *Biodegradación de Polietileno de Baja Densidad por Consorcios Microbianos, 2013. Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México*.

- Repositorio de la Dirección General de Bibliotecas y Servicios Digitales de Información.
Obtenido de <https://repositorio.unam.mx/contenidos/404040>
- Guzmán, G. (2007). Reseña de "Enfermedades Forestales en México. Forest Diseases in Mexico." de Cibrian-Tovar, D., D. Alvarado y S.E. García. *Revista Mexicana de Micología*, 25, 105-106.
Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=88302516>
- Hashemi, a., & Smith, W. F. (2006). *Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de Materiales* (Cuarta edición ed.). McGraw-Hill.
- Hibbett, D. S., Binder, M., Bischoff, J. F., Blackwell, M., Cannon, P. F., Eriksson, O. E., . . . Zhang, N. (2007). A higher-level phylogenetic classification of the Fungi. *Mycological Research*, 111(5), 509-547. doi:<https://doi.org/10.1016/j.mycres.2007.03.004>.
- Iparraguirre, K., & Vivanco, M. (2015). *Aislamiento y Caracterización de hongos filamentosos Biodegradadores de Plietileno de Tereftalato y Polietileno de Baja Densidad. Tesis para optar el Título profesional. Universidad Nacional San Luis Gonzaga de Ica*. Repositorio de La Universidad Nacional San Luis Gonzaga, Ica. Obtenido de <http://repositorio.unica.edu.pe/handle/20.500.13028/2196>
- Kauth, P. J., Dutra, D., Johnson, T. R., Stewart, S. L., Kane, M. E., & Vendrame, W. A. (2008). Techniques and applications of in vitro orchid seed germination. *Floriculture and Ornamental Biotechnology*, 2(1), 1-14. Obtenido de https://experiments.springernature.com/articles/10.1007/978-1-4939-7771-0_5
- Kavanagh, K. (2005). *Fungi Biology and Applications* (Segunda Edición ed.). John Wiley & Sons Ltd. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Khaled-Abu-Elteen/publication/319613152_Antifungal_Agents_for_Use_in_Human_Therapy_Biology_and_Applications/links/59c2459a0f7e9b21a82a5295/Antifungal-Agents-for-Use-in-Human-Therapy-Biology-and-Applications.pdf
- Liebana, J. (2002). *Microbiología Oral* (Segunda Edición ed.). McGRAW-HILL - INTERAMERICANA DE ESPAÑA, S. A. U.
- Martin, P. A. (2017). Estudio preliminar de la biodegradación de plásticos. Trabajo de fin de grado. Universidad de la Laguna. *Estudio preliminar de la biodegradación de plásticos*. Repositorio

- de la universidad de la Laguna. Obtenido de
<https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/5762/Estudio+preliminar+de+la+biodegradacion+de+plasticos+por+bacterias+marinas.pdf?sequence=1>
- Méndez , C. R., Vergaray, G., Béjar, V. R., & Cárdenas , K. J. (2007). Aislamiento y caracterización de micromicetos biodegradadores de polietileno. *Revista Peruana de Biología.*, 13(3), 203-205. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=195018597008>
- Milstein, O., Gersonde, R., Huttermann, A., Chen, M., & Meister, J. (1992). Fungal Biodegradation of Lignopolystyrene Graft Copolymers. *Applied and environmental microbiology*, 58(10), 3225-3232. doi:<https://doi.org/10.1128/aem.58.10.3225-3232.1992>
- Ministerio del Ambiente. (2022). *Sistema de Informacion para la Gestión de Residuos Sólidos*. Obtenido de SIGERSOL:
<https://sistemas.minam.gob.pe/SigersolMunicipal/#/accesoLibre/generacion>
- Moreno, Z. A. (2000). *Correlación de la tasa de crecimiento radial y la tasa de crecimiento específico de hongos filamentosos aislados de la planta Espeletia barclayana*. Tesis título Profesional. Universidad Javeriana. Colombia. Repositorio Institucional Jveriano. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10554/56850>
- Municipalidad Provincial de Canchis. (2023). *Distritos.pe*. Obtenido de <https://www.distrito.pe/distrito-sicuani.html#>
- Nowak, B. P.-B.-K. (2011). Microorganisms participating in the biodegradation of modified polyethylene films in different soils under laboratory conditions. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 65(6), 757-767. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2011.04.007>
- Nurul, A. (17 de Octubre de 2019). *El vertedero más grande del mundo es una bomba de tiempo*. Obtenido de The ‘World’s Largest Dump’ Is in Indonesia and It’s a Ticking Time Bomb: <https://www.vice.com/es/article/vertedero-mas-grande-mundo-indonesia/>
- Ojeda, T. F., Dalmolin, E., Forte, M. M., Jacques, R. J., Bento, F. M., & Camargo, F. A. (2009). Abiotic and biotic degradation of oxo-biodegradable polyethylenes. *Polymer Degradation and Stability*, 94(6), 965-970. doi:<https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2009.03.011>

- Ojha, N., Pradhan, N., Singh, S., Barla, A., Shrivastava, A., Khatua, P., . . . Bose, S. (2017). Evaluation of HDPE and LDPE degradation by fungus, implemented by statistical optimization. *Scientific Reports*, 7(1), 2045-2322. doi:<https://doi.org/10.1038/srep39515>
- Organismo de Evaluacion y Fiscalizacion Ambiental. (19 de Noviembre de 2018). *Identifican a 1,585 botaderos informales en todo el país*. Obtenido de Identifican a 1,585 botaderos informales en todo el país.: <https://www.gob.pe/institucion/oefa/noticias/22910-oefa-identifica-1585-botaderos-informales-a-nivel-nacional>
- Parker, L. (10 de Junio de 2019). *National Geographic*. Obtenido de Te explicamos la crisis mundial de contaminación por plástico: <https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/2019/06/contaminacion-plastico-explicacion-crisis-mundial>
- Pitt, J. (2001). *A Laboratory Guide to Common Aspergillus and Penicillium*.
- Posada, B. (2012). La degradación de los plásticos. *Revista Universidad EAFIT*, 30(94), 67-. *Revista Universidad EAFIT*, 30(94), 67 - 86. Obtenido de <https://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/revista-universidad-eafit/article/view/1408>
- Quinchía, A. M., & Maya, S. (2015). DEGRADABILIDAD DE POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD –LDPE- UTILIZANDO *Pycnoporus sanguineus* UTCH 03. *Encuentro Internacional de Educacion en Ingenieria*. Obtenido de <https://acofipapers.org/index.php/eiei/article/view/1153>
- Quispe, A. B. (2020). *Canchis hermoso*. Obtenido de Canchis hermoso: <https://alexbenjaz.github.io/turismocanchis/sicuani.html>
- Republica sostenible. (5 de Junio de 2023). *Grupo la republica*. Obtenido de Grupo la republica: <https://especial.larepublica.pe/la-republica-sostenible/2023/07/05/peru-genera-12-millones-de-toneladas-de-residuos-plasticos-al-ano-269930>
- Restrepo-Flórez, J.-M., Bassi, A., & Thompson, M. R. (2014). Microbial degradation and deterioration of polyethylene – A review. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 88(0964-8305), 83-90. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2013.12.014>.
- Roca, I. E. (2005). *Estudio de las Propiedades y Aplicaciones Industriales del Polietileno de Alta Densidad (PEAD)*. Tesis para optar el Título Profesional. Universidad de San Carlos de

- Guatemala. BibliotecaCentral, USAC. Obtenido de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0639_Q.pdf
- Russell , J. R., Huang , J., Anand , P., Kucera , K., Sandoval , A. G., Dantzler , K. W., . . . Strobel , S. A. (2011). Biodegradation of Polyester Polyurethane by Endophytic Fungi. *Applied and Environmental Microbiology*, 77(17), 6076–6084. doi:<https://doi.org/10.1128/AEM.00521-11>
- Sanchez, N. (15 de Marzo de 2010). *Estadísticas sobre las bolsas plásticas*. Obtenido de Estadísticas sobre las bolsas plásticas: <https://www.nuevamujer.com/lifestyle/2010/03/15/estadisticas-sobre-las-bolsas-plasticas.html>
- Seymour, R. B., & Carraher, C. E. (2013). *Introducción a la química de los polímeros*. Editorial Reverté.
- Singh, B., & Sharma, N. (2008). Mechanistic implications of plastic degradation. *Polymer Degradation and Stability*, 93(3), 561-584. doi:<https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2007.11.008>.
- Smith, B. C. (2011). Fundamentals of Fourier transform Infrared Spectroscopy. En B. C. Smith, *Fundamentals of Fourier transform Infrared Spectroscopy* (Segunda edición ed., págs. 129 - 140). CRC Press is an imprint of Taylor & Francis Group. doi:<https://doi.org/10.1201/b10777>
- Socas, M. (2018). Contaminación por residuos: Islas de Plásticos. Tesis Título Profesional. Universidad de Laguna. España. *Islas de Plástico*. Repositorio de La Universidad de Laguna. Obtenido de <https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/13438/CONTAMINACION%20POR%20RESIDUOSISLAS%20DE%20PLASTICO.pdf>
- Temporiti, M. E., Nicola, L., Nielsen, E., & Tosi, S. (2019). Fungal enzymes involved in plastics biodegradation. *Microorganisms*, 10(6), 1180. doi:<https://doi.org/10.3390/microorganisms10061180>
- United Nations Environment Programme. (2021). *Drowning in Plastics – Marine Litter and Plastic Waste Vital Graphics*. . Obtenido de <https://wedocs.unep.org/xmlui/bitstream/handle/20.500.11822/36964/VITGRAPH.pdf>

- Uribe, D., Giraldo, D., Gutierrez, 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. Obtenido de http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1727-99332010000100017&lng=es&tlng=es.
- Vaysse, L., Bonfils, F., Sainte-Beuve, J., & Cartault, M. (2012). Natural Rubber. *Polymer Science: A Comprehensive Reference*, 10(17), 281-293. doi:<https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53349-4.00267-3>.
- Volke, T. L. (1997). *Efecto de tratamientos fisicoquímicos y cometabolismo en la degradación de polietileno de baja densidad por hongos filamentosos. Tesis de doctorado. Universidad Metropolitana de Mexico*. Universidad Metropolitana de Mexico. Obtenido de <http://tesiuami.izt.uam.mx/uam/aspuam/presentatesis.php?recno=7867&docs=UAM7867.PDF>
- F
- Wade, L. G. (2004). *Química Organica* (5ª Edición ed.). Madrid, España: Pearson Educación SA.
- Watanabe, T. (2012). *Pictorial Atlas of Soil and Seed Fungi: Morphologies of Cultured Fungi and Key to Species* (Second edition ed.). Printed in the United States of America: CRC Press.
- Whitekettle, W. K. (1991). Efectos de los productos químicos tensioactivos en la adhesión microbiana. *Journal of Industrial Microbiology*, 7(2), 105-116. doi:<https://doi.org/10.1007/BF01576072>
- Zahra, S., Abbas, S. S., Mahsa, M. T., & Mohsen, N. (2010). Biodegradation of low-density polyethylene (LDPE) by isolated fungi in solid waste medium. *Waste Management*, 30(3), 396-401. doi:doi: 10.1016/j.wasman.2009.09.027. Epub 2009 Nov 17.

ANEXOS

Anexo 1: Panel fotográfico



Foto 1. Botadero de Chacuchayoc pata – Pampaphalla Sicuani. en la que se aprecia el proceso de tratamiento de residuos sólidos.



Foto 2. Zona de muestreo de bolsas de plástico con signos de deterioro.



Foto 3. Proceso de muestreo a 5 cm de bolsas de plástico con signos de deterioro



Foto 4. Proceso de muestreo en superficie de bolsas de plástico con signos de deterioro.

Foto 5. Frasco que contiene muestras de bolsas de plástico con signos de deterioro.



Foto 6. Frascos con muestras de plástico obtenidas del botadero.

Foto 7. Lavado de los restos de bolsas de plástico .



Foto 8. Bolsas de plásticos con signos de deterioro lavados.



Fotos 9. Placas Petri con medio de cultivo PDA.



Foto 10. Trozos de plásticos incorporados en medio de cultivo PDA



Foto 11. Colonia de hongos filamentosos en medio de cultivo PDA.



Foto 12. Preparación de medio de cultivo



Foto 13. Suspensión de hongos filamentosos.



Foto14. Calibración de la Ultramicrobalanza.



Foto 15. Pesado de las muestras de LDPE en Ultramicrobalanza

Medios de cultivo para la identificación de cepas degradadoras de LDPE.

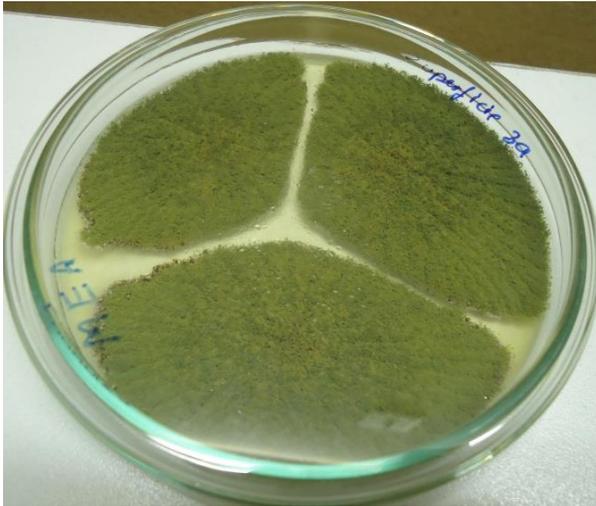


Foto 16. Medio de cultivo Malt Extract Agar (MEA) para en Genero *Aspergillus*.



Foto 17. Medio de cultivo Czapek Yeast Extract Agar (CYA), para el Genero *Aspergillus*.

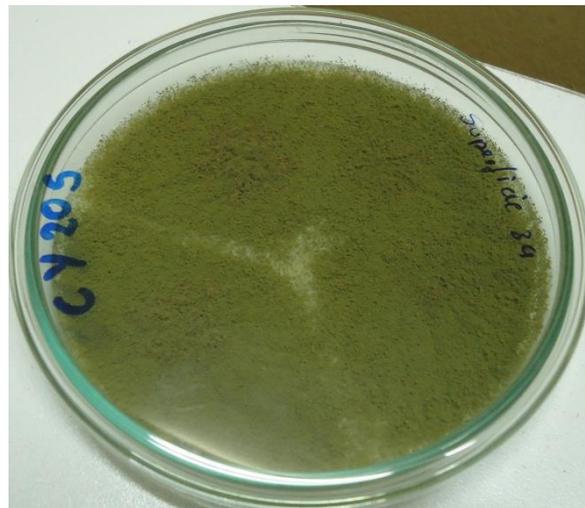


Foto 18. Medio de cultivo Czapek Yeast Agar with 20% Sacarosa (CY20S), para el Género *Aspergillus*.



Foto 19. Medio de cultivo Malt Extract Agar (MEA), para el género *Penicillium*.



Foto 20. Medio de cultivo Czapeck Yeast Extract Agar (CYA), para el género *Penicillium*.



Foto 21. Medio de cultivo Czapek Yeast Agar with 20% Sacarosa (CY20S), para el género *Penicillium*.



Foto 22. Medio de cultivo 25 % Glycerol Nitrate Agar (G25N), para el genero *Penicillium*.

Anexo 2: Preparación de soluciones y medios de cultivo.

Medio de sales minerales (MSM)

- $\text{MgSO}_4 (7\text{H}_2\text{O})$ 0.5 g
- KH_2PO_4 0.5 g
- $\text{NaHPO}_4 (12\text{H}_2\text{O})$ 2.52 g
- NH_4Cl 1 g
- CaCl_2 0.002 g
- $\text{MnSO}_4 (7\text{H}_2\text{O})$ 0.007 g
- $\text{FeSO}_4 (7\text{H}_2\text{O})$ 0.001 g
- $\text{ZnSO}_4 (7\text{H}_2\text{O})$ 0.007 g
- Agua destilada1000 mL

Solución de Cloranfenicol (0.5mg/ml)

- Cloranfenicol.....0.5 mg
- Agua destilada estéril.....1 mL

Preparación de Tween 80 al 0.1%

- Agua destilada.....90 mL
- Tween 80.....10 mL

Papa dextrosa agar (PDA)

- Papa peladas.....200 g
- Glucosa.....20 g
- Agar.....15 g
- Agua destilada.....1 L

Czapeck concentrado

- Agua destilada.....100 mL
- Na NO₃.....30 g
- KCl.....5 g
- MgSO₄.7H₂O.....5 g
- FeSO₄.7H₂O.....0.1 g
- ZnSO₄.7H₂O.....0.1 g
- CuSO₄.5H₂O.....0.05 g

Czapeck Yeast Extract Agar (CYA)

- Agua destilada.....1000 mL
- Czapeck concentrado.....10 mL
- K₂HPO₄.....1 g
- Extracto de levadura.....5 g
- Sacarosa.....30 g
- Agar.....1 g

Malt Extract Agar (MEA)

- Agua destilada.....1000 mL
- Extracto de malta.....20 g
- Peptona.....1 g
- Glucosa.....20 g
- Agar.....20 g

25% Glycerol Nitrate Agar (G25N)

- K_2HPO_40.75 g
- Czapeck concentrado.....7.5 mL
- Extracto de levadura.....3.7 g
- Glicerol en grado analítico.....250 g
- Agar.....12 g
- Agua destilada.....750 mL

Czapek Yeast Agar with 20% Sacarosa (CY20S)

- Agua destilada.....1000 mL
- Czapeck concentrado.....10 mL
- K_2HPO_41 g
- Extracto de levadura.....5 g
- Sacarosa.....30 g
- Agar.....1 g

Composición de medio de cultivo suelo.

- Suelo de cultivo70 g
- Arena.....30 g

Anexo 3: Base de datos de la evaluación para la selección de cepas de hongos

filamentosos degradadores de polietileno de baja densidad (LDPE).

Codigo de cepas	LDPE incoloro	Peso inicial de LDPE	Peso final de LDPE	LDPE blanco	Peso inicial de LDPE	Peso final de LDPE	Profundidad de muestreo
Sic - 01	A	0.6000	0.6013	B	1.600	1.591	superficie
Sic - 01	A	0.6000	0.6032	B	1.600	1.579	superficie
Sic - 01	A	0.6000	0.6071	B	1.600	1.602	superficie
Sic - 02	A	0.6000	0.6035	B	1.400	1.419	superficie
Sic - 02	A	0.6000	0.6014	B	1.400	1.409	superficie
Sic - 02	A	0.6000	0.6036	B	1.400	1.4011	superficie
Sic - 03	A	0.5000	0.5026	B	1.400	1.383	superficie
Sic - 03	A	0.5000	0.5016	B	1.400	1.393	superficie
Sic - 03	A	0.5000	0.499	B	1.400	1.400	superficie
Sic - 04	A	0.5000	0.4541	B	1.300	1.294	superficie
Sic - 04	A	0.5000	0.4525	B	1.300	1.308	superficie
Sic - 04	A	0.5000	0.4364	B	1.300	1.313	superficie
Sic - 05	A	0.5000	0.4997	B	1.400	1.396	superficie
Sic - 05	A	0.5000	0.5015	B	1.400	1.292	superficie
Sic - 05	A	0.5000	0.4930	B	1.400	1.374	superficie
Sic - 06	A	0.8000	0.7926	B	1.400	1.407	superficie
Sic - 06	A	0.8000	0.7991	B	1.400	1.334	superficie
Sic - 06	A	0.8000	0.8110	B	1.400	1.353	superficie
Sic - 07	A	0.6000	0.5935	B	1.400	1.375	superficie
Sic - 07	A	0.6000	0.5987	B	1.400	1.268	superficie
Sic - 07	A	0.6000	0.6004	B	1.400	1.383	superficie
Sic - 08	A	0.6000	0.4443	B	1.400	1.370	superficie
Sic - 08	A	0.6000	0.5030	B	1.400	1.325	superficie
Sic - 08	A	0.6000	0.4388	B	1.400	1.333	superficie
Sic - 09	A	0.7000	0.5853	B	1.300	1.288	superficie
Sic - 09	A	0.7000	0.5655	B	1.300	1.248	superficie
Sic - 09	A	0.7000	0.5465	B	1.300	1.325	superficie
Sic - 10	A	0.7000	0.7019	B	1.400	1.397	5 cm
Sic - 10	A	0.7000	0.6989	B	1.400	1.378	5 cm
Sic - 10	A	0.7000	0.7211	B	1.400	1.396	5 cm
Sic - 11	A	0.6000	0.6260	B	1.300	1.293	10 cm
Sic - 11	A	0.6000	0.6303	B	1.300	1.307	10 cm
Sic - 11	A	0.6000	0.6163	B	1.300	1.311	10 cm
Sic - 12	A	0.8000	0.7960	B	1.600	1.600	10 cm
Sic - 12	A	0.8000	0.7896	B	1.600	1.599	10 cm
Sic - 12	A	0.8000	0.7656	B	1.600	1.608	10 cm
Sic - 13	A	0.7000	0.7109	B	1.400	1.407	30 cm
Sic - 13	A	0.7000	0.7310	B	1.400	1.405	30 cm
Sic - 13	A	0.7000	0.7384	B	1.400	1.400	30 cm
Sic - 14	A	0.6000	0.5056	B	1.500	1.494	30 cm
Sic - 14	A	0.6000	0.6199	B	1.500	1.489	30 cm
Sic - 14	A	0.6000	0.6245	B	1.500	1.512	30 cm
Sic - 15	A	0.7000	0.6671	B	1.500	1.505	30 cm
Sic - 15	A	0.7000	0.6555	B	1.500	1.499	30 cm
Sic - 15	A	0.7000	0.5574	B	1.500	1.509	30 cm
Sic - 16	A	0.8000	0.6822	B	1.300	1.265	30 cm
Sic - 16	A	0.8000	0.6356	B	1.300	1.299	30 cm
Sic - 16	A	0.8000	0.6207	B	1.300	1.279	30 cm
Sic - 17	A	0.4000	0.4021	B	1.400	1.403	50 cm
Sic - 17	A	0.4000	0.3942	B	1.400	1.409	50 cm

Sic - 17	A	0.4000	0.4102	B	1.400	1.402	50 cm
Sic - 18	A	0.7000	0.5625	B	1.400	1.203	50 cm
Sic - 18	A	0.7000	0.6381	B	1.400	1.214	50 cm
Sic - 18	A	0.7000	0.6230	B	1.400	1.230	50 cm
Sic - 19	A	0.6000	0.6041	B	1.300	1.300	50 cm
Sic - 19	A	0.6000	0.5964	B	1.300	1.308	50 cm
Sic - 19	A	0.6000	0.6072	B	1.300	1.314	50 cm
Sic - 20	A	0.7000	0.6472	B	1.600	1.478	50 cm
Sic - 20	A	0.7000	0.5872	B	1.600	1.448	50 cm
Sic - 20	A	0.7000	0.5914	B	1.600	1.457	50 cm
Sic - 21	A	0.7000	0.6601	B	1.300	1.280	50 cm
Sic - 21	A	0.7000	0.6795	B	1.300	1.299	50 cm
Sic - 21	A	0.7000	0.6275	B	1.300	1.261	50 cm
Sic - 22	A	0.7000	0.7004	B	1.400	1.428	Control
Sic - 22	A	0.7000	0.7104	B	1.400	1.418	Control
Sic - 22	A	0.7000	0.7324	B	1.400	1.423	Control

Anexo 4: Base de datos de la evaluación de eficiencia de hongos filamentosos degradadoras de polietileno de baja densidad (LDPE).

Codificación de las cepas	LDPE incoloro	Peso inicial de LDPE	Peso final de LDPE	LDPE blanco	Peso inicial de LDPE	Peso final de LDPE	Profundidad de muestreo
Sic-04	A	0.9000	0.8610	B	1.500	1.494	Superficie
Sic-04	A	0.9000	0.8662	B	1.500	1.483	Superficie
Sic-04	A	0.9000	0.8262	B	1.500	1.440	Superficie
Sic-08	A	0.8000	0.6395	B	1.400	1.342	Superficie
Sic-08	A	0.8000	0.6143	B	1.400	1.393	Superficie
Sic-08	A	0.8000	0.6412	B	1.400	1.325	Superficie
Sic-09	A	0.7000	0.6963	B	1.400	1.398	Superficie
Sic-09	A	0.7000	0.6941	B	1.400	1.241	Superficie
Sic-09	A	0.7000	0.6721	B	1.400	1.296	Superficie
Sic-15	A	0.9000	0.8331	B	1.600	1.580	30 cm
Sic-15	A	0.9000	0.8945	B	1.600	1.565	30 cm
Sic-15	A	0.9000	0.8256	B	1.600	1.601	30 cm
Sic-16	A	0.8000	0.6914	B	1.500	1.419	30 cm
Sic-16	A	0.8000	0.7594	B	1.500	1.469	30 cm
Sic-16	A	0.8000	0.7955	B	1.500	1.517	30 cm
Sic-18	A	0.8000	0.6304	B	1.300	1.272	50 cm
Sic-18	A	0.8000	0.6128	B	1.300	1.288	50 cm
Sic-18	A	0.8000	0.6232	B	1.300	1.195	50 cm
Sic-20	A	0.9000	0.7862	B	1.500	1.477	50 cm
Sic-20	A	0.9000	0.8063	B	1.500	1.505	50 cm
Sic-20	A	0.9000	0.7945	B	1.500	1.485	50 cm
Sic-21	A	0.8000	0.7880	B	1.400	1.4003	50 cm
Sic-21	A	0.8000	0.7502	B	1.400	1.380	50 cm
Sic-21	A	0.8000	0.7783	B	1.400	1.362	50 cm
Control	A	0.8000	0.8084	B	1.600	1.656	Control
Control	A	0.8000	0.8071	B	1.600	1.674	Control
Control	A	0.8000	0.8148	B	1.600	1.612	Control

Nota: Elaboración propia.

Anexo 5: Base de datos de la evaluación de eficiencia de consorcio de hongos filamentosos degradadoras de polietileno de baja densidad (LDPE).

Tipos de consorcios de hongos	LDPE incoloro	Peso inicial de LDPE	Peso final de LDPE	LDPE blanco	Peso inicial de LDPE	Peso final de LDPE
Consortio I	A	0.8000	0.6766	B	1.600	1.462
Consortio I	A	0.8000	0.7259	B	1.600	1.229
Consortio I	A	0.8000	0.7525	B	1.600	1.335
Consortio I	A	0.8000	0.7709	B	1.600	1.403
Consortio I	A	0.8000	0.7136	B	1.600	1.398
Consortio II	A	0.6000	0.5881	B	1.600	1.437
Consortio II	A	0.6000	0.5974	B	1.600	1.212
Consortio II	A	0.6000	0.6172	B	1.600	1.381
Consortio II	A	0.6000	0.6078	B	1.600	1.476
Consortio II	A	0.6000	0.5598	B	1.600	1.346
Consortio III	A	1.0000	0.8651	B	1.500	1.238
Consortio III	A	1.0000	0.9072	B	1.500	1.483
Consortio III	A	1.0000	0.9498	B	1.500	1.327
Consortio III	A	1.0000	0.9199	B	1.500	1.275
Consortio III	A	1.0000	0.9474	B	1.500	1.327
Control	A	0.8000	0.8524	B	1.600	1.621
Control	A	0.8000	0.8656	B	1.600	1.656
Control	A	0.8000	0.8295	B	1.600	1.624
Control	A	0.8000	0.8501	B	1.600	1.659
Control	A	0.8000	0.8400	B	1.600	1.616



ESPECTROSCOPIA INFRA ROJA - IR

110971 - 042022

SOLICITANTE : Ruth Lucy Anbur Sotelo (Cel: 941144010)

02-MUESTRAS : Muestra A - Películas de plástico semi-transparente (4u; 7x7cm)
Muestra B - Películas de plástico opaco-blanco (4u; 7cm x 7cm)

TIPO DE ENSAYO : OBTENCION DE ESPECTROS FTIR-ATR (Identificación).

LUGAR Y FECHAS DE RECEPCIÓN DE MUESTRAS : FQ, 09-04-2022.
FECHA DE ANÁLISIS : 05/18-04-2022.
FECHA DE INFORME : 21-04-2022 (06-páginas)

RESULTADOS

MUESTRA A **POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD - PE-BD**
Semitransparente (0,0072mm espesor) (Matriz principal)

MUESTRA B **POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD - PE-BD**
Opaco blanco (0,0013mm espesor) (Matriz principal)

Muestra A: - 01-ESPECTRO FTIR-ATR (Transmitancia) 4000 - 400 cm^{-1} .
Figura 1, con indicaciones de las frecuencias vibracionales en cada pico ($\pm \text{cm}^{-1}$).
- Espectros de identificación con base de datos BRUKER. Figura 2.

Muestra B: - 01-ESPECTRO FTIR-ATR (Transmitancia) 4000 - 400 cm^{-1} .
Figura 3, con indicaciones de las frecuencias vibracionales en cada pico ($\pm \text{cm}^{-1}$).
- Espectros de identificación con base de datos BRUKER. Figura 4.

ANEXOS: - Espectros FTIR-ATR superpuestos de las muestras A y B. Figura 5.
- Espectros referenciales de interpretación de PE-HD y PE-LD.

Equipo: **BRUKER ALPHA FTIR-ATR Platinum**.
Software, OPUS 7.5.
Base de datos: BRUKER Optics ATR-polymer library

Lima, 21 de abril 2022.

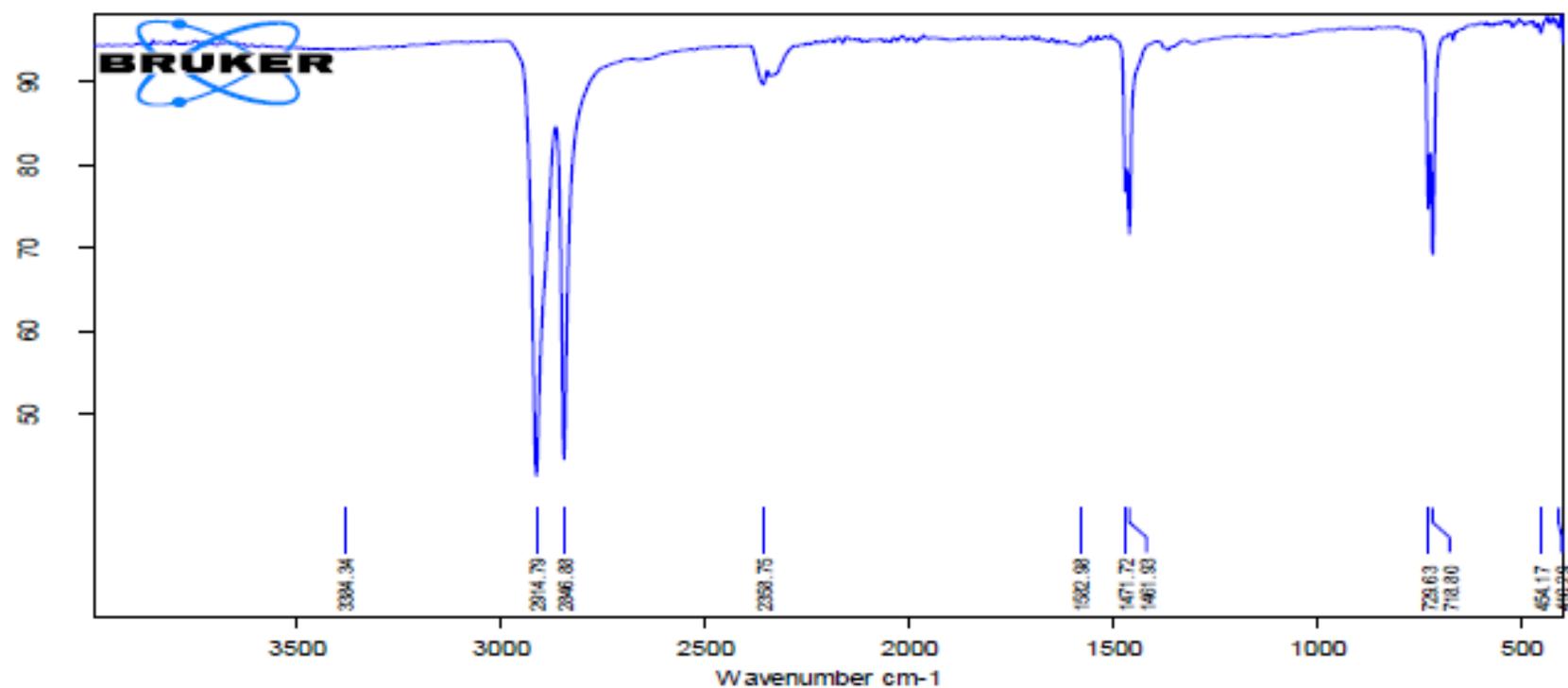


FRACTAL QUÍMICOS E.I.R.L.

RUC:20602077811 - Miraflores Luzaraga 341
Jesús María (Lima 11) - PERU - Tlf. 4231469
Email: fractal@fractalquimicos.com

www.fractalquimicos.pe

LABORATORIO DE INVESTIGACIONES QUÍMICAS Y FÍSICO-QUÍMICAS - ASOCIACIÓN QUÍMICA DEL PERÚ - ASOCIACIÓN QUÍMICA DEL PERÚ



C:\Users\USUARIO\Documents\Bruker\OPUS_7.5.18\Data\MEAS\Cusco_RuthAmbur_MuestraA_FTIR_ATR_18abr2022.0 Cusco_RuthAmbur_Mue 20/04/2022

Figura 1. Espectro FTIR-ATR correspondiente a las muestra A entre 4000 a 400 cm^{-1} .



FRACTAL QUÍMICOS E.I.R.L.

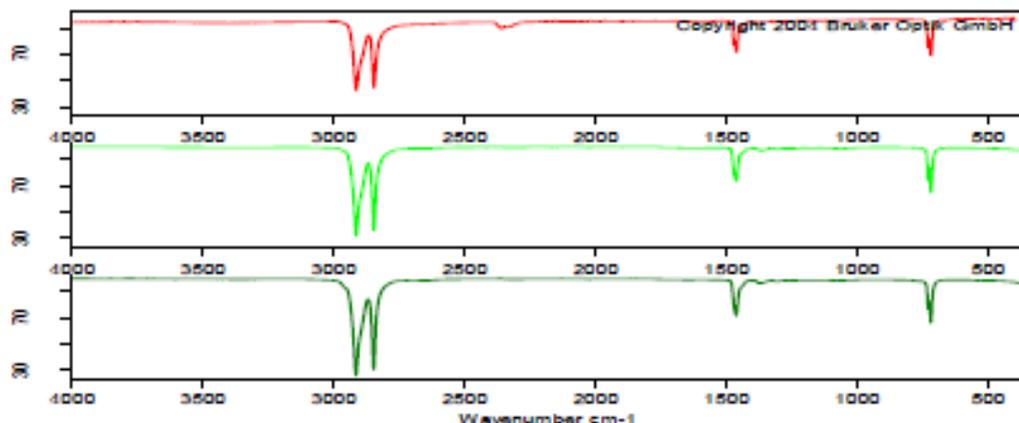
BUC:20602077811 - Mivical Luzariga 341
Jesús María (Lima 11) - PERU - Tlf. 4231669
Email: fractal@fractalquimicos.com

www.fractalquimicos.pe

INSTRUMENTOS Y EQUIPOS DE LABORATORIO Y EQUIPOS DE ANÁLISIS QUÍMICO Y FÍSICO

Library Search

20/04/2022 20:08:18



Polymer Classification	Low-Density Polyethylene (PE-LD)
Trade Name	Escorene EX 276
Manufacturer	ESSO
Colour	nature
Source of Spectrum	BRUKER OPTIK GMBH, Ettlingen, Germany
Type of Spectrometer	TENSOR 27
Measurement Technique	Attenuated Total Reflectance (ATR), Diamond
Entrada N°	71
Nombre de Biblioteca	BPAD.S01
Descripción de la Biblioteca	Bruker Optics ATR-Polymer Library

Color	Hit Quality	Compound name	CAS Number	Molecular formula	Molecular weight
Green	796	High Density Polyethylene (PE-HD)			
Green	776	Low-Density Polyethylene (PE-LD)			

Color	File	Path	Spectrum Type
Red	Cusco_RuthAm bur_MuestraA_FTIR_ATR_18abr2022.0	C:\Users\USUARIO\Documents\Bruker\OPUS_7.5.18\Data\MEAS	Espectro consultado

Figura 2. Espectros FTIR-ATR de polietileno de alta densidad y baja densidad comparados con la muestra A (rojo). Base de datos.

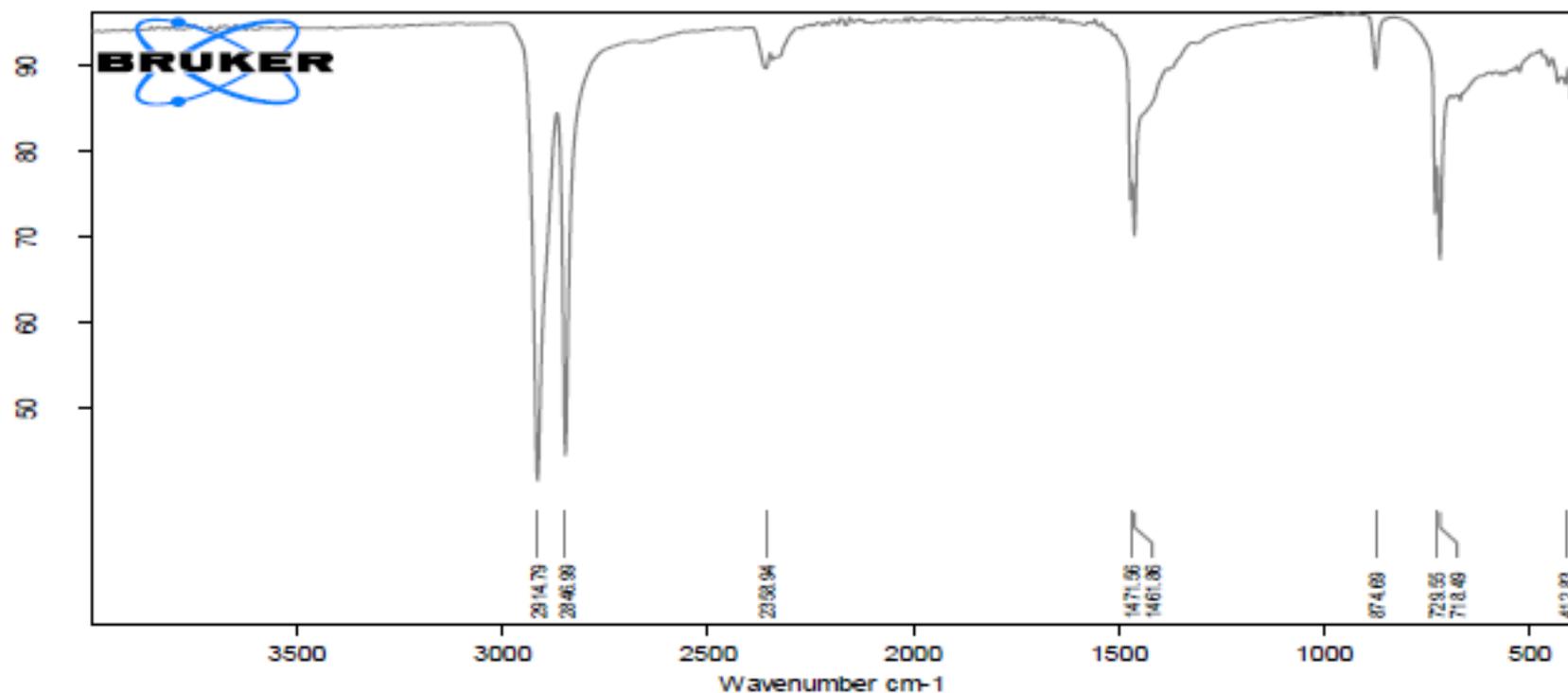


FRACTAL QUÍMICOS E.I.R.L.

RUC:20602077811 - Mivical Lázaroaga 341
Jesús María (Lima 11) - PERÚ - Tlf. 4231609
Email: fractal@fractalquimicos.com

www.fractalquimicos.pe

AVANCE TECNOLÓGICO EN QUÍMICA ANALÍTICA - DE INGENIERÍA - ANÁLISIS Y CONTROL DE CALIDAD - SERVICIO AL CLIENTE



C:\Users\USUARIO\Documents\Bruker\OPUS_7.5.18\Data\MEAS\Cusco_RuthAmbur_MuestraB_FTIR_ATR_18abr2022.0	Cusco_RuthAmbur_Mue	20/04/2022
---	---------------------	------------

Figura 3. Espectro FTIR-ATR correspondiente a las muestra **B** entre 4000 a 400 cm^{-1} .



FRACTAL QUÍMICOS E.I.R.L.

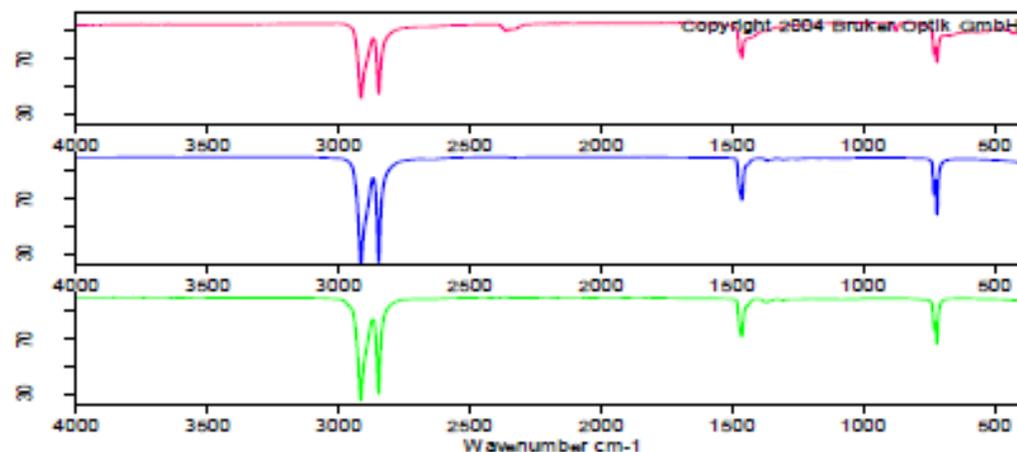
RUC:20602077811 - Mivilca Lozano 341
Jesús María (Lima 11) - PERU - Tlf. 4231609
Email: fractal@fractalquimicos.com

www.fractalquimicos.pe

ESTRATEGIA DE CALIDAD: SEGUIMIENTO Y CONTROL DE CALIDAD EN LOS PROCESOS PRODUCTIVOS Y SERVICIOS

Library Search

20/04/2022 20:01:24



Polymer Classification	Low-Density Polyethylene (PE-LD)
Trade Name	Escorene EX 376
Manufacturer	ESSO
Colour	nature
Source of Spectrum	BRUKER OPTIK GMBH, Ettlingen, Germany
Type of Spectrometer	TENSOR 27
Measurement Technique	Attenuated Total Reflectance (ATR), Diamond
Entrada N°	71
Nombre de Biblioteca	BPAD.S01
Descripción de la Biblioteca	Bruker Optics ATR-Polymer Library

Color	Hit Quality	Compound name	CAS Number	Molecular formula	Molecular weight
Blue	780	High Density Polyethylene (PE-HD)			
Green	778	Low-Density Polyethylene (PE-LD)			

Color	File	Path	Spectrum Type
Red	Cusco_RuthAm bur_MuestraB_FTIR_ATR_18abr2022.0	C:\Users\USUARIO\Documents\Bruker\OPUS_7.5.18\Data\MEAS	Espectro consultado

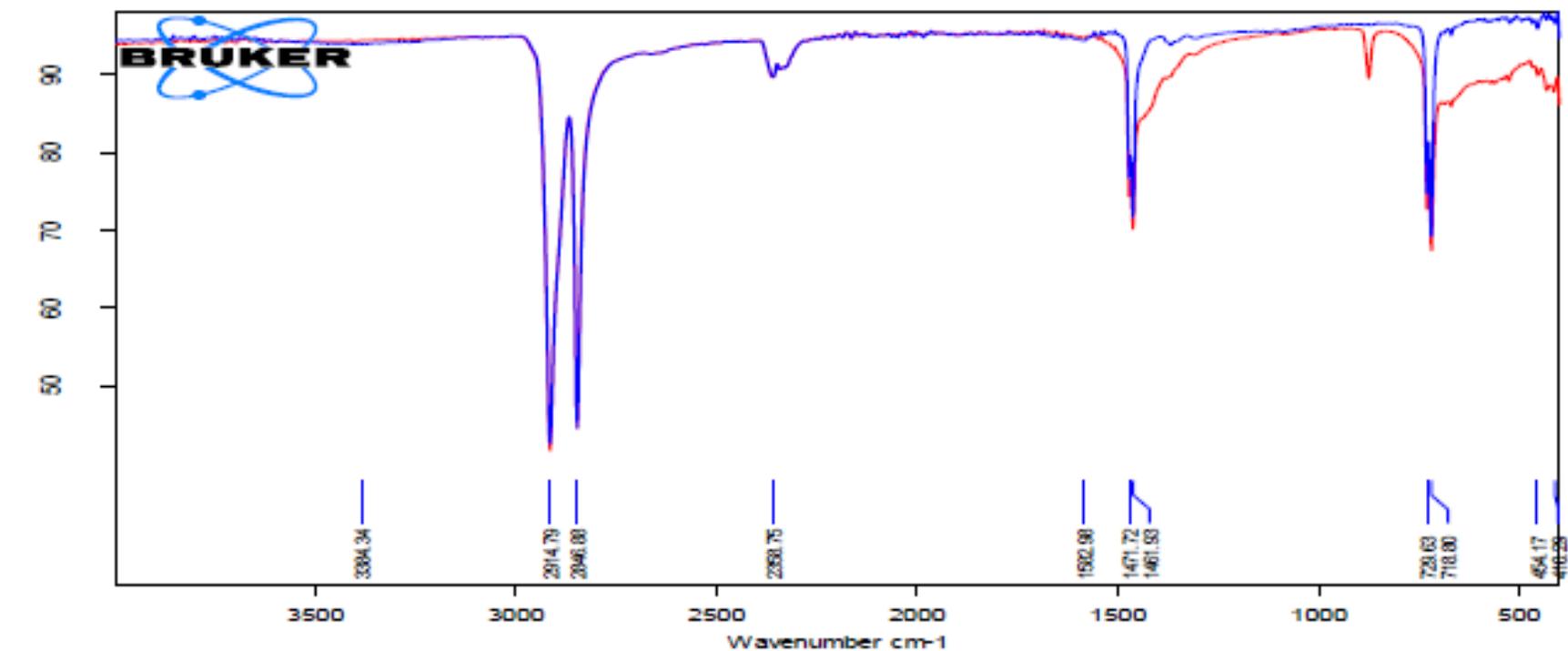
Figura 4. Espectros FTIR-ATR de polietileno de alta densidad y baja densidad comparados con la muestra B (rojo). Base de datos.



FRACTAL QUÍMICOS E.I.R.L.

RUC:20602077811 - Micaela Luzariaga 341
Jesús María (Lima 11) - PERU - Tlf. 4231669
Email: fractal@fractalquimicos.com

www.fractalquimicos.pe



C:\Users\USUA\RI\Documents\bruker\OPUS_7.5.16\Data\MEIA\SiCusco_RuthAmbur_MuestrasA_FTIR_ATR_18abr2022.0	Cusco_RuthAmbur_Mue	20/04/2022
C:\Users\USUA\RI\Documents\bruker\OPUS_7.5.16\Data\MEIA\SiCusco_RuthAmbur_MuestrasB_FTIR_ATR_18abr2022.0	Cusco_RuthAmbur_Mue	20/04/2022

Figura 5. Espectros FTIR-ATR superpuestos de las muestras A y B.



INFORME DE ENSAYO

N° DE INFORME: ANA30A19.000022A

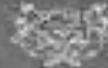
Nombre del Cliente	: UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAJO DEL CUSCO
Dirección del Cliente	: Av. de la Cultura Nro. 733 (Local Diga - Antiguo Comedor)
RUC	: 20172474501
Condición del Muestreado	: POR EL CLIENTE
Descripción	: Patrón A 50cm 2
Tamaño de muestra	: 1 unidad
Fecha de Recepción	: 30/01/2019
Fecha de Inicio del Ensayo	: 30/01/2019
Fecha de Emisión de Informe	: 30/01/2019
Página	: 1 de 1

I. PARÁMETROS DE ANÁLISIS:

PARÁMETROS	
Software	SEMZEISS
Voltaje	15 Kv
WD	5.5
Detector	Electrones secundarios
Modo	Alto vacío

OBSERVACIONES:

- Los resultados emitidos en el presente informe se relacionan únicamente a las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Este documento no debe ser reproducido, sin autorización escrita del Laboratorio de Microscopía Electrónica.



INFORME DE ENSAYO

N° DE INFORME: ANA30A19.000922B

Nombre del Cliente	: UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
Dirección del Cliente	: Av. de la Cultura Nro. 733 (Local Digno - Antigua Comedor)
RUC	: 20172474501
Condición del Muestreo	: POR EL CLIENTE
Descripción	: Patrón B 50cm 2
Tamaño de muestra	: 1 unidad
Fecha de Recepción	: 30/01/2019
Fecha de Inicio del Ensayo	: 30/01/2019
Fecha de Emisión de Informe	: 30/01/2019
Página	: 1 de 1

I. PARÁMETROS DE ANÁLISIS:

PARÁMETROS	
Software	SEMZEISS
Voltaje	15 Kv
WD	6.5
Detector	Electrones secundarios
Modo	Año vacío

OBSERVACIONES:

- Los resultados emitidos en el presente informe se relacionan únicamente a las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Este documento no debe ser reproducido, sin autorización escrita del Laboratorio de Microscopía Electrónica.



INFORME DE ENSAYO

Nº DE INFORME: ANA30A19.000022D

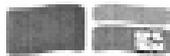
Nombre del Cliente	: UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
Dirección del Cliente	: Av. de la Cultura Nro. 733 (Local Digo - Antiguo Comedor)
RUC	: 20172474501
Condición del Muestreado	: POR EL CLIENTE
Descripción	: BLANCO A
Tamaño de muestra	: 1 unidad
Fecha de Recepción	: 30/01/2019
Fecha de Inicio del Ensayo	: 30/01/2019
Fecha de Emisión de Informe	: 30/01/2019
Página	: 1 de 1

L PARÁMETROS DE ANÁLISIS:

PARÁMETROS	
Software	SEMZEISS
Voltaje	15 Kv
WD	6.5
Detector	Electrones secundarios
Modo	Alto vacío

OBSERVACIONES:

- Los resultados emitidos en el presente informe se relacionan únicamente a las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Este documento no debe ser reproducido, sin autorización escrita del Laboratorio de Microscopía Electrónica.



INFORME DE ENSAYO

Nº DE INFORME: ANA30A19.000022C

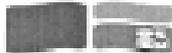
Nombre del Cliente	: UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
Dirección del Cliente	: Av. de la Cultura Nro. 733 (Local Diga - Antigua Comedat)
RUC	: 20172474501
Condición del Muestreo	: POR EL CLIENTE
Descripción	: BLANCO B
Tamaño de muestra	: 1 unidad
Fecha de Recepción	: 30/01/2019
Fecha de Inicio del Ensayo	: 30/01/2019
Fecha de Emisión de Informe	: 30/01/2019
Página	: 1 de 1

I. PARÁMETROS DE ANÁLISIS:

PARÁMETROS	
Software	SEMZEISS
Voltaje	15 Kv
WD	6.5
Detector	Electrones secundarios
Modo	Alto vacío

OBSERVACIONES:

- Los resultados emitidos en el presente informe se relacionan únicamente a las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Este documento no debe ser reproducido, sin autorización escrita del Laboratorio de Microscopía Electrónica.



INFORME DE ENSAYO

Nº DE INFORME: ANA30A19.000022E

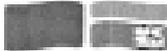
Nombre del Cliente	: UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
Dirección del Cliente	: Av. de la Cultura Nro. 733 (Local Diga - Antiguo Comedor)
RUC	: 20172474601
Condición del Muestreado	: POR EL CLIENTE
Descripción	: SUPERFICIE 3A F
Tamaño de muestra	: 1 unidad
Fecha de Recepción	: 30/01/2019
Fecha de Inicio del Ensayo	: 30/01/2019
Fecha de Emisión de Informe	: 30/01/2019
Página	: 1 de 1

I. PARÁMETROS DE ANÁLISIS:

PARÁMETROS	
Software	SEMZEISS
Voltaje	15 Kv
WD	5.5
Detector	Electrones secundarios
Modo	Alto vacío

OBSERVACIONES:

- Los resultados emitidos en el presente informe se relacionan únicamente a las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Este documento no debe ser reproducido, sin autorización escrita del Laboratorio de Microscopía Electrónica.



INFORME DE ENSAYO

N° DE INFORME: ANA30A19.000022F

Nombre del Cliente	: UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
Dirección del Cliente	: Av. de la Cultura No. 733 (Local Oga - Antiguo Comedor)
RUC	: 20172474601
Condición del Muestreo	: POR EL CLIENTE
Descripción	: SUPERFICIE 3B B
Tamaño de muestra	: 1 unidad
Fecha de Recepción	: 30/01/2019
Fecha de Inicio del Ensayo	: 30/01/2019
Fecha de Emisión de Informe	: 30/01/2019
Página	: 1 de 1

I. PARÁMETROS DE ANÁLISIS:

PARÁMETROS	
Software	SEMZEISS
Voltaje	15 Kv
WD	6.5
Detector	Electrones secundarios
Modo	Alto vacío

OBSERVACIONES:

- Los resultados emitidos en el presente informe se relacionan únicamente a las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Este documento no debe ser reproducido, sin autorización escrita del Laboratorio de Microscopía Electrónica.



INFORME DE ENSAYO

Nº DE INFORME: ANA30A19.000022G

Nombre del Cliente	: UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
Dirección del Cliente	: Av. de la Cultura Nro. 733 (Local Diga - Antigua Comedor)
RUC	: 20172474501
Condición del Muestreo	: POR EL CLIENTE
Descripción	: TRATAMIENTO IB
Tamaño de muestra	: 1 unidad
Fecha de Recepción	: 30/01/2019
Fecha de Inicio del Ensayo	: 30/01/2019
Fecha de Emisión de Informe	: 30/01/2019
Página	: 1 de 1

I. PARÁMETROS DE ANÁLISIS:

PARÁMETROS	
Software	SEMZEISS
Voltaje	15 Kv
WD	6.5
Detector	Electrones secundarios
Modo	Alto vacío

OBSERVACIONES:

- Los resultados emitidos en el presente informe se relacionan únicamente a las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Este documento no debe ser reproducido, sin autorización escrita del Laboratorio de Microscopía Electrónica.

**INFORME DE ENSAYO****N° DE INFORME: ANA30A19.000022H**

Nombre del Cliente	: UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
Dirección del Cliente	: Av. de la Cultura Nro. 733 (Local Diga - Antiguo Camadori)
RUC	: 20172474501
Condición del Muestreo	: POR EL CLIENTE
Descripción	: TRATAMIENTO III A
Tamaño de muestra	: 1 unidad
Fecha de Recepción	: 30/01/2019
Fecha de Inicio del Ensayo	: 30/01/2019
Fecha de Emisión de Informe	: 30/01/2019
Página	: 1 de 1

I. PARÁMETROS DE ANÁLISIS:

PARÁMETROS	
Software	SEMZEISS
Voltaje	15 Kv
WD	8.5
Detector	Electrones secundarios
Modo	Alto vacío

OBSERVACIONES:

- Los resultados emitidos en el presente informe se relacionan únicamente a las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Este documento no debe ser reproducido, sin autorización escrita del Laboratorio de Microscopía Electrónica.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

Centro Agronómico Kayra – San Jerónimo s/n – Cusco
"AÑO DE LA UNIVERSALIZACIÓN DE LA SALUD"

Cusco, 15 de octubre del 2020.

Of. N° D-686-2020-FCA-UNSAAC

Señor:

M. Sc. Martha Natividad Mostajo Zavaleta
Docente de la Escuela Profesional de Biología

PRESENTE.-

Asunto: Solicitud de ingreso al Centro Agronómico Kayra(Laboratorio de Nutrición)

Ref°: Expediente N°274994.

Mediante el presente me dirijo a usted para comunicar que el ingreso a los locales universitarios, está prohibido por disposición de la Autoridad Universitaria, en cumplimiento de las disposiciones del Estado de Emergencia en que se encuentra el país, por la Pandemia del covid 19; en relación a su solicitud presentada con documento de la referencia, para el ingreso en forma excepcional de la Bachiller en Ciencias Biológicas: Ruth Lucy Ambur Soncco; al laboratorio de Nutrición dirigido por el Ing. Juan Moscoso Muñoz en las instalaciones de la Granja Kayra, con la finalidad de hacer uso de la ultrabalanza; el Personal de Seguridad, verificará lo siguiente:

- Presentación de la Prueba covid 19, con diagnóstico negativo.
- Cumplimiento estricto de los protocolos de bioseguridad, preservación del distanciamiento social y por tanto la prohibición total de agruparse.
- Presencia de preferencia en el horario de 8.00am a 12hrs. del mediodía (en el periodo solicitado).
- En caso de incumplimiento, no se permitirá el ingreso.

En relación a la responsabilidad, por la salud y cualquier otra circunstancia adversa, es exclusiva de la Bach. Ruth Lucy Ambur Soncco y de su Asesora (**M. Sc. Martha Natividad Mostajo Zavaleta**)

Agradeciendo por su atención al presente, es propicia la ocasión para saludarlo.

Atentamente,

Dr. Cesar Leon de Guzman Rodriguez
DECAÑO

CLDG/Sup
Archivo

Se adjunta V°B° de MSc Juan Elmer Moscoso Muñoz, Responsable del Laboratorio de Nutrición