

Universidad Nacional de Ingeniería

Facultad de Ingeniería Química y Textil



INFORME DE TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL **Evaluación de plásticos oxobiodegradables y su cumplimiento con la normativa peruana**

Para obtener el título con mención en Ingeniería Química.

Elaborado por

Maria Marjorie Contreras Ramos

 [0000-0002-9917-8532](https://orcid.org/0000-0002-9917-8532)

Asesor

Magali Camila Vivas Cuellar

 [0000-0003-0880-2078](https://orcid.org/0000-0003-0880-2078)

LIMA – PERÚ

2025

Citar/How to cite	Contreras [1]
Referencia/Reference	[1] M. Contreras, “ <i>Evaluación de plásticos oxobiodegradables y su cumplimiento con la normativa peruana</i> ” [Informe de trabajo de suficiencia profesional]. Lima (Perú): Universidad Nacional de Ingeniería, 2025.
Estilo/Style: IEEE (2020)	

Citar/How to cite	(Contreras, 2025)
Referencia/Reference	Contreras, M. (2025). <i>Evaluación de plásticos oxobiodegradables y su cumplimiento con la normativa peruana</i> . [Informe de trabajo de suficiencia profesional, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Cybertesis UNI.
Estilo/Style: APA (7ma ed.)	

Dedicatoria

A mi familia por su apoyo durante toda mi etapa académica y profesional.

Resumen

El presente informe tiene como objetivo confirmar la efectividad de la biodegradación de láminas de polietileno de baja densidad fabricadas con 1 % de aditivo oxobiodegradable d2w y su cumplimiento de la normativa peruana. Estas láminas fueron evaluadas usando la norma guía ASTM D6954-18 – “Exposición y prueba de plásticos que se degradan en el medio ambiente por una combinación de oxidación y biodegradación” (ASTM Internacional, 2018), que incluye tres niveles de evaluación: ensayo de degradación por oxidación, ensayo de biodegradación y ecotoxicidad. El ensayo de biodegradación fue realizado siguiendo la metodología de la norma ASTM D5338-15, recomendada por la ASTM D6954-18 y la NTP 900.080:2015. Este ensayo dio como resultado un porcentaje de biodegradación de 90 % para un tiempo de ensayo de 180 días. Los resultados demostraron que estas muestras son biodegradables y sus residuos no generan toxicidad al ambiente, y que este material cumple con los requisitos exigidos por la ley N° 30884 – “ley que regula el plástico de un solo uso y los recipientes o envases descartables” (El Peruano, 2018) y la NTP 900.080:2015 – “Envases y embalajes. Requisitos de los envases y embalajes. Programa de ensayo y criterios de evaluación de biodegradabilidad” (INDECOPI, 2015).

Palabras clave — Plásticos, tecnología oxobiodegradable, polietileno, biodegradación.

Abstract

This report aims to confirm biodegradation effectiveness of low-density polyethylene sheets manufactured with 1 % oxobiodegradable additive d2w and their compliance with Peruvian regulations. These sheets were evaluated using ASTM D6954-18 guide standard – “Exposure and testing of plastics that degrade in the environment by a combination of oxidation and biodegradation” (ASTM Internacional, 2018), which includes three levels of evaluation: oxidation degradation test, biodegradation test and ecotoxicity. Biodegradation test was carried out following methodology of ASTM D5338-15 standard, recommended by ASTM D6954-18 and NTP 900.080:2015. This test resulted in a biodegradation percentage of 90 % for a test time of 180 days. The results showed that these samples are biodegradable and their residues do not generate toxicity to the environment, and that this material complies with the requirements of Law No. 30884 – “law regulating single-use plastic and disposable containers or packaging” (El Peruano, 2018) and NTP 900.080:2015 – “Packaging. Packaging requirements. Testing program and biodegradability evaluation criterio” (INDECOPI, 2015).

Keywords — Plastics, oxobiodegradable technology, polyethylene, biodegradation.

Tabla de contenido

	Pág.
Resumen	iv
Abstract	v
Introducción	xii
Capítulo I. Datos generales de la empresa donde laboró como bachiller realizando trabajos de su especialidad.....	1
1.1 Actividad principal.....	1
1.2 Sector industrial al que pertenece.....	1
1.3 Línea(s) de producto(s)	1
1.3.1 Masterbatch oxobiodegradable.....	1
1.3.2 Masterbatch antimicrobiano	2
1.3.3 Masterbatch antimicrobiano y antivirus.....	2
1.3.4 Masterbatch anti-insectos	2
1.4 Filosofía administrativa.....	2
1.5 Cultura organizacional.....	6
1.6 Estructura funcional (organigrama)	6
1.7 Normatividad empresarial.....	7
1.8 Principios de calidad.....	8
1.9 Sistema de seguridad industrial.....	9
1.10 Gestión de impactos ambientales.....	10
Capítulo II. Cargos y funciones desarrolladas como bachiller.....	11
2.1 Contexto laboral.....	11
2.2 Descripción de cargos y funciones.....	11
2.3 Responsabilidades señaladas en el manual de organización y funciones, ROF, TUPA, u otros documentos normativos de la empresa.....	11
2.4 Personal a su cargo y sus responsabilidades.....	12

2.5 Función ejecutiva y/o administración adicional.....	12
2.6 Cronograma de actividades relacionadas como bachiller.....	14
Capítulo III. Desarrollo de la actividad técnica y aplicación profesional.....	15
3.1 Contexto laboral en el área de trabajo.....	15
3.1.1 Labores y tareas relacionadas con el tema específico a desarrollar.....	15
3.1.2 Conocimientos técnicos de la carrera requeridos para el cumplimiento de las tareas, labores, funciones, etc.	16
3.1.3 Participación en actividades complementarias.....	16
3.2 Hechos relevantes de la actividad técnica.....	20
3.2.1 Descripción de la realidad problemática.....	20
3.2.2 Definición del problema general y secundarios.....	23
3.2.3 Justificación e importancia.....	23
3.2.4 Antecedentes nacionales e internacionales.....	24
3.2.5 Objetivo general y específico.....	30
3.3 Marco conceptual y teórico de los conocimientos técnicos requeridos.....	30
3.3.1 El plástico convencional.....	30
3.3.2 Tecnologías alternativas disponibles.....	32
3.3.3 Tecnología oxobiodegradable.....	33
3.3.4 Como funciona la tecnología oxobiodegradable	37
3.3.5 Normativa peruana	39
3.4 Propuestas y contribuciones de su formación profesional.....	43
3.4.1 Objetivos y justificación del uso de las técnicas propuestas.....	43
3.4.2 Cálculos y determinaciones de indicadores de gestión para evaluar y monitorear la propuesta.....	45
3.4.3 Análisis e interpretación de resultados y aportes técnicos de la propuesta de solución.....	49
3.4.4 Evaluaciones y decisiones tomadas.....	56

3.4.5 Informes, reportes, instructivos, fichas técnicas y formatos, presentados como resultados de la actividad realizada.....	57
Capítulo IV. Discusión de resultados e implicancias.....	62
4.1 Contribuciones al desarrollo de la empresa.....	62
4.2 Impacto de la propuesta (económico, tecnológico, ambiental)	62
Capítulo V. Conclusiones y recomendaciones.....	64
5.1 Conclusiones.....	64
5.2 Recomendaciones.....	64
Capítulo VI. Referencia bibliográfica	66
Anexos	68

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1: Cargos desempeñados en el ejercicio como bachiller.....	11
Tabla 2: Tiempo de realización de actividades como bachiller.....	14
Tabla 3: Requisitos para el cumplimiento de la norma técnica peruana NTP 900.080:2015.....	49
Tabla 4: Resultados de peso molecular de muestras envejecidas por exposición a rayos UV.....	50
Tabla 5: Resultados de peso molecular de muestras envejecidas por exposición a 70 °C durante 420 h.....	50
Tabla 6: Resultados de porcentaje de elongación y resistencia a la tracción de muestra de PEBD con 1 % de d2w envejecida por exposición a rayos UV.....	51
Tabla 7: Contenido de elementos restringidos para muestra de PEBD con 1 % de d2w.....	52

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1: Masterbatch d2w 93389.....	2
Figura 2: Organigrama de la empresa Distugraf S.A.C.....	7
Figura 3: Personal a cargo del bachiller y sus responsabilidades.....	12
Figura 4: Funciones ejecutivas y/o administrativas.....	13
Figura 5: Micrografía que muestra bacterias y hongos adheridos en la superficie de la película y parcialmente sumergidos en ella.....	18
Figura 6: Células bacterianas y esporas de hongos colonizando el área agrietada y toda la profundidad de la película a través de la grieta, señal de ataque microbiano.....	18
Figura 7: Proyección del crecimiento del volumen de plástico en el mundo para el año 2050.....	21
Figura 8: Producción global del plástico por sector industrial.....	22
Figura 9: Colonización microbiana en superficie de película de PEBD visualizado por SEM.....	26
Figura 10: Producción de CO ₂ a partir de <i>R. Rhodochrous</i>	26
Figura 11: Peso molecular de PEBD y oxo-PEBD medido por cromatografía de permeación de gel, en comparación con el tiempo de exposición a los rayos UV.....	27
Figura 12: Propiedades de los plásticos convencionales.....	31
Figura 13: Evolución en el tiempo de la tecnología oxobiodegradable.....	35
Figura 14: Como funciona la tecnología oxobiodegradable.....	37
Figura 15: Esquema simplificado de degradación abiótica del polietileno (PE) con contenido prooxidante por acción del oxígeno del aire, luz y/o calor.....	38
Figura 16: Degradación de polímeros.....	39
Figura 17: Muestra de prueba.....	45
Figura 18: Muestra de prueba después de 2500 h de exposición a rayos UV.....	51
Figura 19: Porcentaje de biodegradabilidad de las muestras de control y prueba.....	53

Figura 20: Efecto del compost de muestra de control y muestra de prueba sobre el crecimiento de la planta <i>Triticum aestivum</i> según la directriz 208 de la OECD.....	54
Figura 21: Efecto del compost de muestra de control y muestra de prueba sobre el crecimiento de la planta <i>Brassica Juncea</i> según la directriz 208 de la OECD.....	55
Figura 22: Prueba de toxicidad del gusano de tierra según el método OECD 207 de las muestras de control prueba.....	55
Figura 23: Protocolo de la ASTM D6954-18 - “prueba de plásticos que se degradan en el ambiente por combinación de oxidación y biodegradación”.....	59

Introducción

El presente estudio de plásticos oxobiodegradables busca evaluar la efectividad de estos materiales y verificar el cumplimiento de la normativa peruana respecto a los plásticos oxobiodegradables. Este tipo de estudios es crucial para comprender las ventajas y limitaciones de estos materiales, así como para determinar su real impacto ambiental.

El problema de contaminación causada por desechos de plástico ha obligado a los fabricantes a reevaluar la producción, la eliminación del plástico y el uso de nuevas tecnologías. Los productos fabricados con tecnología oxobiodegradable tienen todos los beneficios del plástico convencional. Estos también pueden reutilizarse y reciclarse como alternativa al plástico convencional, pero con la ventaja añadida que, si escapan a la recolección y acaban como basura en el entorno natural, se degradarán y biodegradarán en un proceso continuo e irreversible mucho más rápido que el plástico convencional. (Symphony Environmental, 2020)

Vázquez et al. (Vázquez et al., 2016) realizaron la evaluación de plásticos oxobiodegradables (láminas de polietileno de baja densidad fabricadas con aditivo oxobiodegradable d2w, de un espesor de 35,5 μm) según la norma ASTM D6954. Los resultados mostraron que la presencia del aditivo oxobiodegradable incrementó el porcentaje de biodegradación en comparación con el polietileno convencional.

El propósito de este estudio es determinar si realmente los plásticos oxobiodegradables ofrecen una solución viable a la contaminación por plásticos convencionales.

El estudio de plásticos oxobiodegradables se enfoca en investigar la efectividad de estos materiales, el proceso de degradación y biodegradación, y su impacto ambiental. Además, este estudio incluye la verificación del cumplimiento de estos materiales con la normativa peruana. Los puntos que este trabajo aborda incluyen:

Capítulo I. Datos generales de la empresa donde laboró como bachiller realizando trabajos de su especialidad.

Capítulo II. Cargos y funciones desarrolladas como bachiller.

Capítulo III. Desarrollo de la actividad técnica y aplicación profesional.

Capítulo IV. Discusión de resultados e implicancias.

Capítulo V. Conclusiones y recomendaciones.

Capítulo VI. Referencia bibliográfica.

Capítulo I. Datos generales de la empresa donde laboró como bachiller realizando trabajos de su especialidad

1.1. Actividad principal

En Distugraf S.A.C., empresa privada dedicada a la comercialización de masterbatch biodegradable y antimicrobiano para la industria del plástico.

Distugraf es representante exclusivo de la empresa británica Symphony Environmental Ltd, creadores de la tecnología d2w – masterbatch biodegradable para la producción de plásticos de vida útil controlada, y la tecnología d2p – masterbatch para la fabricación de plásticos inteligentes con propiedades antimicrobiales / antiviral / anti-insectos (Distugraf RESPERÚ, 2024).

1.2. Sector industrial al que pertenece

Distugraf S.A.C. pertenece al sector industrial de los materiales plásticos, exactamente dentro del sector de la industria de los aditivos para plásticos. Este sector engloba a empresas que fabrican y comercializan aditivos que se utilizan para modificar o mejorar las propiedades de los plásticos, como por ejemplo la biodegradabilidad (Distugraf RESPERÚ, 2024).

1.3. Línea(s) de producto(s)

Distugraf S.A.C. comercializa una amplia gama de productos:

1.3.1. Masterbatch oxobiodegradable

- Aditivo masterbatch d2w 93389 (ver Figura 1)
- Aditivo masterbatch d2w 93224
- Aditivo masterbatch d2w 93195
- Aditivo masterbatch d2w 93390

Figura 1

Masterbatch d2w 93389



Nota: Symphony Environmental (2020).

1.3.2. Masterbatch antimicrobiano

- Aditivo masterbatch d2p 97002
- Aditivo masterbatch d2p 97941-i
- Aditivo masterbatch d2p 97042
- Aditivo masterbatch d2p 97051 /D

1.3.3. Aditivo antimicrobiano y antivirus

- Aditivo en polvo d2p 97010

1.3.4. Masterbatch anti-insectos

- Aditivo masterbatch d2p 91111

1.4. Filosofía administrativa

- **Visión:** Según Distugraf RESPERÚ (2024), la empresa tiene la visión:
Brindar a la industria plástica; aditivos masterbatch que permiten la fabricación de artículos plásticos inteligentes con propiedades biodegradables, anti-microbiales, anti-bacteriales, anti-fungicidas, anti-insectos, entre otros, en beneficio del medio ambiente, las empresas privadas, entidades e instituciones públicas, brindándole a

todos los usuarios las herramientas de detección para evitar falsificaciones de este tipo de productos, garantizando la originalidad de los mismos.

- **Misión:** Según Distugraf RESPERÚ (2024), la empresa tiene la misión:
“Encabezar el liderazgo del mercado de aditivos biodegradables y con propiedades especiales para lograr plásticos inteligentes del futuro, atendiendo al sector de la industria plástica a través de nuestros productos”.
- **Valores:** Según Distugraf RESPERÚ (2024), la empresa tiene como valores:
“Distugraf S.A.C. posee un alto compromiso con el cuidado del medio ambiente y las empresas que atiende, actuando bajo sólidos valores”.

Transparencia

- Comunicar de manera clara las acciones y obligaciones en el desarrollo de mis actividades.

Integridad

- Ser honesto y proteger los intereses de la empresa.

Excelencia

- Asumir retos, optimizar procesos y actuar proactivamente.

Compromiso

- Estar comprometido con los objetivos de la organización.
- **Políticas:** Según Distugraf RESPERÚ (2024), la empresa tiene como políticas:
Distugraf S.A.C. comercializa la tecnología de plástico biodegradable d2w para las necesidades de productos, películas o empaques de plástico. Esta tecnología es una solución ambientalmente responsable que no genera microplásticos, que convierte al plástico en un material más inteligente, más seguro y más sostenible.
Distugraf S.A.C. importa y comercializa productos fabricados por la empresa británica Symphony Environmental Ltd, productor líder de tecnología oxo-biodegradable d2w, el cual fue el primer producto de este tipo en recibir una etiqueta ecológica reconocida internacionalmente, la ABNT (Asociación Brasileira de Normas Técnicas) Eco-Label. “Esta etiqueta ecológica confirma las credenciales

medioambientales del masterbatch d2w y lo distingue de otros masterbatches oxo-biodegradables en el mercado. Esto ayuda a mejorar el valor ecológico de la marca d2w”.

Política de medio ambiente

Según Symphony Environmental (2024), Distugraf S.A.C. y Symphony tienen como política de medio ambiente:

La empresa reconoce la responsabilidad de administrar su negocio, al mismo tiempo que reconoce la responsabilidad de la empresa con el medio ambiente, además de ayudar a sus clientes a tomar las decisiones de compra más beneficiosas para el medio ambiente.

Objetivos:

- Suministrar los productos más beneficiosos para el medio ambiente;
- Para comprar y vender productos que puedan ser reutilizados o reciclados y que se biodegraden;
- Buscar nuevos productos respetuosos con el medio ambiente y fomentar su introducción temprana en el mercado;
- Dar a conocer nuestra política medioambiental a los clientes;
- Perseguir la certificación de productos;
- Cumplir con todos los requisitos de la legislación ambiental pertinente;
- Buscar reducir el exceso de empaque;
- Reducir los residuos internos mediante el reciclaje y/o la eficiencia.

Acciones para reducir el impacto de las actividades de Distugraf S.A.C. y Symphony Environmental Ltd en el medio ambiente mediante:

- Compra de equipos de iluminación, ordenadores, equipos de oficina, equipos eléctricos y maquinaria de bajo consumo energético;
- Alentar a los funcionarios y al personal de la empresa a comprar los vehículos más eficientes energéticamente;

- Poner a disposición recargas o reutilizar productos tantas veces como sea posible;
- Promoción de sistemas de administración sin papel, ejemplo: internet.

Política Social

Según Distugraf RESPERÚ (2024), la empresa tiene como política social:

Aumentar el impacto de la contribución de la empresa a la sociedad.

Objetivos:

- Contribuir al desarrollo económico local;
- Mantener la buena voluntad con clientes o contactos clave apoyando sus iniciativas;
- Mejorar la calidad de vida de los colaboradores de Distugraf;
- Consolidar las relaciones con la comunidad local.

Comportamiento:

- Asociarse con ONGs (organizaciones no gubernamentales) a nivel mundial para crear conciencia sobre los problemas ambientales y la sostenibilidad;
- Apoyar a las empresas locales a través de oportunidades de publicidad e inversión;
- Proporcionar un entorno empresarial enriquecedor que ofrezca a nuestros empleados la capacidad de desarrollar continuamente sus competencias.

- **Principios para el logro de la calidad:** Los productos distribuidos por la empresa Distugraf S.A.C. son fabricados por la empresa británica Symphony Environmental Ltd, la cual tiene implementado el sistema de gestión ISO 9001:2015. Esta certificación tiene como alcance la formulación y suministro de aditivos plásticos degradables y antimicrobianos. El sistema de gestión de la calidad es constantemente actualizado mediante auditorías internas y externas, asegurando

así que nuestras operaciones se encuentren comprometidos en la obtención de la calidad. (Symphony Environmental, 2024)

1.5. Cultura organizacional

La cultura organizacional de Distugraf se basa en valores que promueven el cuidado del ambiente, la integridad, excelencia y compromiso con los objetivos de la organización. Según Distugraf RESPERÚ (2024), la empresa tiene como cultura organizacional:

Cuidado del medio ambiente: La empresa está comprometida con prácticas sostenibles que reduzcan el impacto ambiental.

Integridad: La empresa proporciona información clara y precisa respecto a sus productos, incluyendo los componentes, las propiedades y los beneficios para el cuidado del ambiente. La empresa cumple con las leyes y regulaciones aplicables a su sector.

Excelencia: La empresa se enfoca en ofrecer un excelente servicio al cliente, y en proporcionar soporte técnico y asesoría respecto al uso de la tecnología oxobiodegradable.

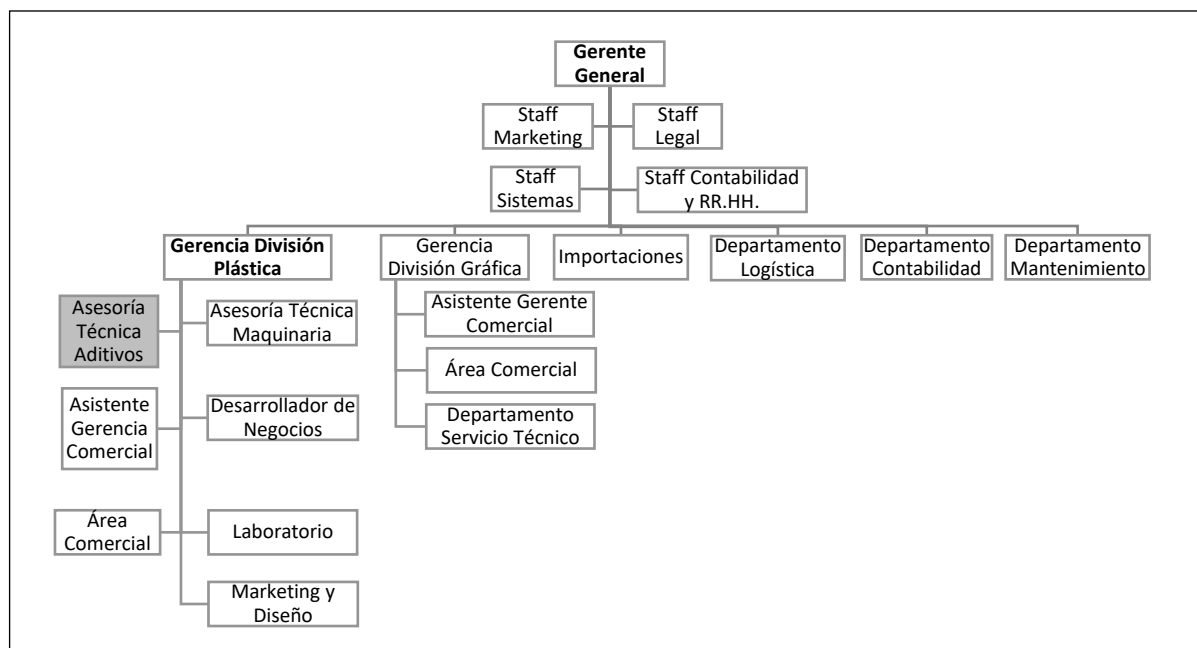
Compromiso: La empresa comercializa productos que cumplen con las normativas ambientales locales e internacionales relacionadas con la biodegradabilidad y el manejo de los plásticos.

1.6. Estructura funcional (organigrama)

El organigrama de la empresa Distugraf S.A.C. es presentado en la Figura 2.

Figura 2

Organigrama de la empresa Distugraf S.A.C.



1.7. Normatividad empresarial

La tecnología d2w que comercializa Distugraf S.A.C. cuenta con las certificaciones que acreditan que los productos fabricados con esta tecnología están dentro de la normativa vigente de la ley 30884 - “ley que regula el plástico de un solo uso y los recipientes o envases descartables” (El Peruano, 2018). La ley 30884 fue publicada el 19 de diciembre de 2018 y entró en vigencia el 20 de diciembre de 2018 (El Peruano, 2018).

Según El Peruano (2018), la ley 30884 tiene como objetivo:

“Establecer el marco regulatorio sobre el plástico de un solo uso, otros plásticos no reutilizables y los recipientes o envases descartables de poliestireno expandido (tecnopor) para alimentos y bebidas de consumo humano en el territorio nacional”. Esta ley exige que los productos de plástico que digan ser biodegradables deben contar con un certificado de biodegradabilidad acreditado por un laboratorio nacional o internacional en INACAL-Instituto Nacional de Calidad (El Peruano, 2018).

Según El Peruano (2018), la ley 30884 indica la definición del término biodegradable y es establecida en el glosario de términos como:

Biodegradable. Para ser designado como orgánicamente recuperable cada envase o embalaje, material de envase o embalaje o componente de envase o embalaje debe ser biodegradable de forma inherente y última como se demuestra en los ensayos de laboratorio indicados en el capítulo 7 y según los criterios y niveles de aceptación indicados en los apartados A1 y A2 del anexo A de la versión actualizada de la norma técnica peruana NTP 900.080:2015 – “Envase y embalajes. Requisitos de los envases y embalajes. Programa de ensayo y criterios de evaluación de biodegradabilidad” (INDECOPI, 2015).

Según INDECOPI (2015), La NTP 900.080:2015 fue oficializada en mayo de 2015 y tiene como objetivo:

Especificar los requisitos y procedimientos para determinar la biodegradabilidad de los envases o embalajes tomando como base ensayos de compostabilidad y la tratabilidad anaeróbica.

Esta norma usa como referencia la terminología definida en la norma técnica peruana NTP 900.079:2015 - “Envases y embalajes. Guía terminológica en el campo de biodegradabilidad” (INDECOPI, 2015).

Según INDECOPI (2015), la NTP 900.079:2015 tiene como objetivo:

Proporcionar el vocabulario de uso en el campo de los polímeros y materiales de embalaje.

1.8. Principios de calidad

Según Symphony Environmental (2024):

Los principios de calidad de la empresa Symphony y Distugraf están orientados a asegurar que sus productos cumplan con los estándares relacionados al desempeño técnico e impacto ambiental.

Pruebas y validación: La empresa realiza pruebas tanto internas como externas para validar la eficacia y la seguridad ambiental de sus masterbatches oxobiodegradables.

Cumplimiento normativo: La empresa se asegura de que todos los productos cumplan con las normativas locales e internacionales relacionadas con la biodegradabilidad de plásticos y otros aspectos ambientales.

Los principios de calidad de la empresa ayudan a garantizar la calidad de los productos y servicios de la empresa, y reflejan su compromiso con la sostenibilidad ambiental.

1.9. Sistema de Seguridad Industrial

Distugraf S.A.C. y Symphony Environmental Ltd reconocen su responsabilidad en la seguridad de sus empleados en el trabajo.

Según Symphony Environmental (2024):

La política de la empresa consiste en tomar precauciones para la prevención de accidentes y enfermedades, y para la creación de condiciones de trabajo para la seguridad de los empleados. Sistemas de seguridad en el trabajo son proporcionados y mantenidos en la empresa; para este fin la empresa asigna los recursos necesarios y consigue el soporte para todos los trabajadores.

Los empleados de la empresa son requeridos para seguir las reglas y procedimientos de seguridad. La política de seguridad y salud en el trabajo, además de otra información importante, debe ser brindada para la atención de nuevos empleados como parte de su entrenamiento de inducción.

Las faltas para seguir las reglas y procedimientos de seguridad deben ser consideradas como infracciones disciplinarias graves.

La política de seguridad y salud en el trabajo debe ser revisada regularmente y modificada si es necesario. Un conjunto de documentación respecto a la seguridad

y salud en el trabajo está disponible para inspección de cualquier empleado o cliente que los solicite.

1.10. Gestión de impactos ambientales

Distugraf S.A.C. es representante exclusivo en Perú de la empresa británica Symphony Environmental Ltd, la cual cuenta con el sistema de gestión ambiental ISO 14001:2015. Esta certificación tiene como alcance la formulación, almacenamiento y suministro de aditivos plásticos degradables.

Según Symphony Environmental (2024):

Distugraf y Symphony reconocen que el manejo del negocio debe incluir entender los impactos de sus actividades y productos con respecto a la calidad del rendimiento y la gestión ambiental.

Los objetivos primarios de la empresa, que son respaldados por su política de compromiso con la calidad y el ambiente, dependen de los objetivos secundarios:

- La continua operación de un negocio viable y rentable;
- Reunir y satisfacer los requerimientos de los clientes;
- Monitorear y revisar las actividades que tienen impactos potenciales en el ambiente, para mejorar y prevenir la contaminación;
- Asegurar el cumplimiento de las obligaciones legales, regulatorias y contractuales.

Capítulo II. Cargos y funciones desarrolladas como bachiller

2.1. Contexto laboral

Las labores como bachiller en Ing. Química fueron en el entorno de los materiales poliméricos. Los plásticos con propiedades inteligentes como los oxobiodegradables tienen mucho impacto en la economía mundial y en el cuidado del ambiente.

2.2. Descripción de cargos y funciones

Los cargos desempeñados en el ejercicio profesional son descritos en la Tabla 1.

Tabla 1

Cargos desempeñados en el ejercicio profesional como bachiller

Empresa	Cargo	Fecha de trabajo
Mastercol S.A.	Ingeniera química de laboratorio	Setiembre 2006 – Junio 2009
Indubras S.A.C.	Ingeniera de control de calidad	Mayo 2019 – Marzo 2020
Distugraf S.A.C. - Res Perú	Asesora técnica	Junio 2021 – Junio 2022
Mastercol S.A. - Tosaf	Coordinadora de investigación y desarrollo	Marzo 2023 – Mayo 2024

Las funciones realizadas como asesora técnica en la empresa Distugraf son:

- Asesorar a los clientes respecto a los aditivos, su función y las propiedades de estos.
- Asesorar a los clientes respecto a la tecnología oxobiodegradable.
- Gestionar proyectos para el uso de los aditivos oxobiodegradables y antimicrobianos.

2.3. Responsabilidades señaladas en el manual de organización y funciones, ROF, TUPA, u otros documentos normativos de la empresa

Las responsabilidades como asesora técnica en la empresa Distugraf S.A.C. son:

- Supervisión de la parte técnica de proyectos, desde su idea hasta su finalización.

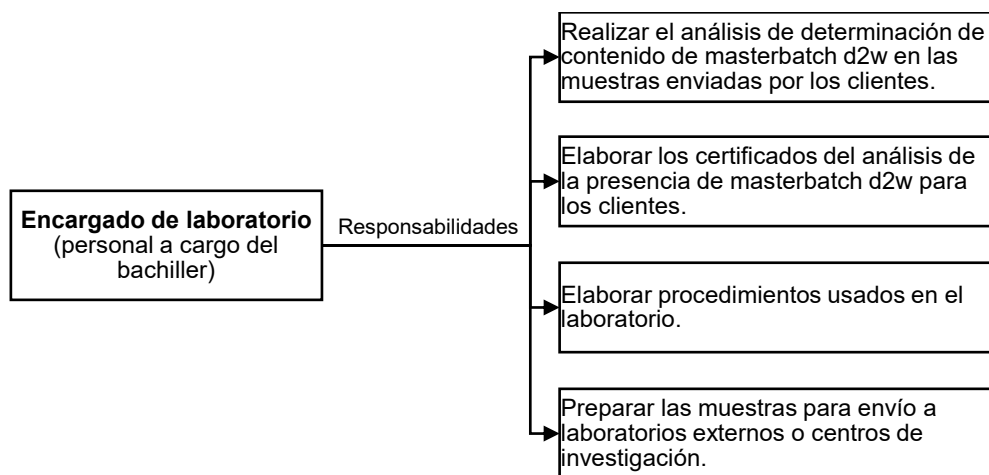
- Elaboración de estudio y preparación de documentos que sustenten las tecnologías que ofrece la empresa.

2.4. Personal a su cargo y sus responsabilidades

La información del personal a cargo, durante las labores como bachiller en la empresa Distugraf, y sus responsabilidades es presentada en la Figura 3.

Figura 3

Personal a cargo del bachiller y sus responsabilidades



2.5. Función ejecutiva y/o administrativa adicional

Las funciones ejecutivas y/o administrativas durante las labores en la empresa Distugraf respecto a la gerencia general, área comercial, laboratorio y área de diseño y marketing son presentadas en la Figura 4.

Figura 4

Funciones ejecutivas y/o administrativas

Respecto a la gerencia general:

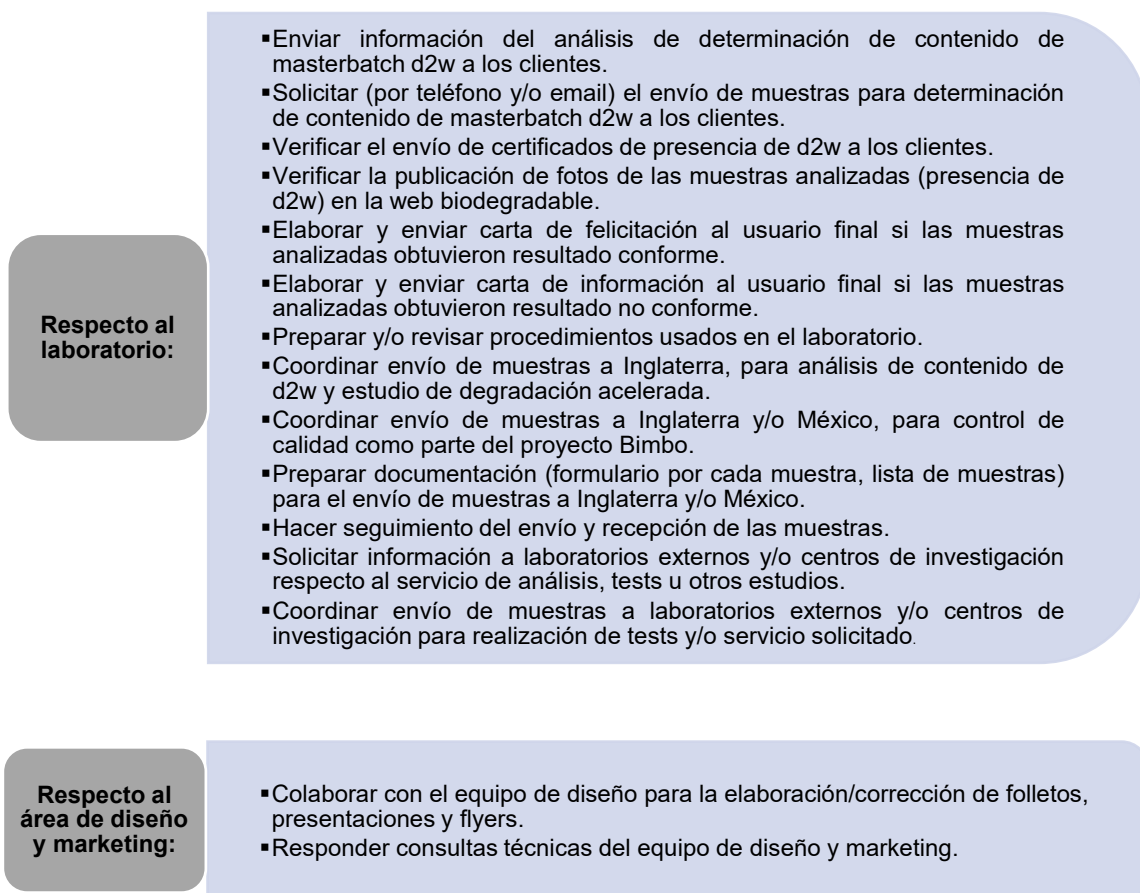
- Realizar resúmenes para el mejor entendimiento de normas, leyes, informes de laboratorio, artículos científicos y noticias.
- Elaborar listas de datos (descripción de productos, aplicación, precios, etc.) actualizados de los productos.
- Contactar a diferentes instituciones para consultas técnicas y administrativas.
- Preparar y enviar información de nuestros productos a clientes, instituciones públicas y personas de contacto.
- Enviar información de resultados de investigaciones, nuevos estudios, noticias resaltantes respecto a las tecnologías que ofrece la empresa.
- Revisar documentos (cartas, emails, folletos) que solicita la gerencia general para el envío a instituciones públicas, universidades y clientes.
- Firma de documentos que sustenten las tecnologías que ofrece la empresa.
- Investigar respecto a nuevos productos, nuevos procesos, nuevas tecnologías, productos de la competencia.
- Realizar estudios y preparar documentos que solicite la gerencia general respecto a las tecnologías que ofrece la empresa.
- Realizar charlas, webinar y conferencias respecto a las tecnologías que ofrece la empresa.
- Elaborar base de datos de clientes e instituciones públicas que solicite la gerencia general.

Respecto al Área Comercial:

- Asistir al equipo de ventas en presentaciones institucionales tanto en reuniones con empresas privadas como instituciones del estado.
- Proporcionar al equipo de ventas asesoramiento técnico y apoyo en consultas técnicas.
- Investigar los procesos y materiales concernientes a los diferentes proyectos en desarrollo.
- Contactar a los clientes para conocer los requisitos y necesidades del proyecto.
- Informar a la central de Inglaterra respecto al status de cada proyecto.
- Supervisar la parte técnica de cada proyecto, desde su idea hasta su finalización.
- Seguimiento de clientes con proyectos activos en coordinación con el área comercial.
- Solicitar y coordinar con la central de Inglaterra el envío de muestras para los diferentes proyectos.
- Coordinar con el área comercial, departamento de contabilidad y almacén el envío de muestras a los clientes.
- Coordinar con los clientes la recepción de las muestras.
- Enviar información a los clientes respecto a las muestras enviadas y servicios de análisis requeridos.
- Solicitar a la central de Inglaterra la actualización de documentos (información técnica, hoja de seguridad, instrucciones de manufactura), folletos, presentaciones y precios de los productos.
- Consultar y coordinar con el equipo técnico de la central de Inglaterra los diferentes requerimientos de los clientes o el área comercial respecto al desarrollo de los proyectos.
- Investigar e introducir nuevas oportunidades de desarrollo de proyectos.
- Apoyar al área comercial en el envío de información de los productos y/o contacto con clientes para desarrollo de nuevos proyectos.

Figura 4 (continuación)

Funciones ejecutivas y/o administrativas.



2.6. Cronograma de actividades realizadas como bachiller

La Tabla 2 muestra el tiempo de actividades realizadas como bachiller.

Tabla 2

Tiempo de actividades realizadas como bachiller

Empresa	Cargo	Tiempo (año)
Mastercol S.A.	Ingeniera química de laboratorio	2,75
Indubras S.A.C.	Ingeniera de control de calidad	0,75
Distugraf S.A.C. - Res Perú	Asesora técnica	1
Mastercol S.A. - Tosaf	Coordinadora de investigación y desarrollo	1
Total		5,5

Capítulo III. Desarrollo de la actividad técnica y aplicación profesional

3.1 Contexto laboral en el área de trabajo

3.1.1 Labores y tareas relacionadas con el tema específico a desarrollar

En la empresa Distugraf S.A.C., como parte de las actividades, se participó en el proyecto: “Evaluación y monitoreo de empaques del grupo Bimbo con tecnología d2w”.

Este proyecto tuvo como objetivo principal realizar el plan de control de calidad para asegurar el correcto desempeño del producto: bolsas de polietileno de baja densidad fabricadas con 1 % de aditivo d2w.

Las principales labores desarrolladas como parte de este proyecto fueron:

- Evaluar la correcta incorporación y presencia del masterbatch biodegradable d2w siguiendo la norma ASTM D6954-18 - “Exposición y prueba de plásticos que se degradan en el medio ambiente por una combinación de oxidación y biodegradación” (ASTM Internacional, 2015) en empaques flexibles de la empresa Panificadora Bimbo del Perú S.A., por medio de visitas técnicas, monitoreo de empaques en el mercado o almacenes de Bimbo.
- Supervisar la recolección de películas y/o producto terminado (empaques flexibles) en distintos puntos de venta, almacenes o en plantas de conversión y/o transformación.
- Notificar el buen manejo de la tecnología d2w y las posibles inconsistencias o desviaciones en los procesos de producción o conversión de los proveedores de empaques de Bimbo.
- Implementar medidas correctivas correspondientes en caso de detectar inconsistencias o desviaciones en los empaques.

3.1.2 Conocimientos técnicos de la carrera requeridos para el cumplimiento de las tareas, labores, funciones, etc.

Los conocimientos técnicos para el cumplimiento de las labores como parte del proyecto Bimbo fueron:

- Ciencia e ingeniería de los materiales
- Caracterización de materiales
- Polímeros
- Caracterización de polímeros
- Polímeros biodegradables
- Gestión ambiental

3.1.3 Participación en actividades complementarias (investigación, diseño de negocios, proyectos de innovación, estandarización de normas de calidad, implementación de sistemas de seguridad u otros)

La investigación de estudios que sustenten la tecnología oxobiodegradable fue parte de las funciones en la empresa Distugraf SAC. En el año 2022, como parte de esta investigación se presentó un informe técnico especializado que incluyó un resumen de estudios que demuestran que el masterbatch oxobiodegradable d2w cumple con la función de biodegradabilidad. El informe presentado fue basado en la evidencia científica recogida en los resultados de los informes de laboratorios donde fue evaluada la capacidad del aditivo oxobiodegradable d2w para biodegradar el plástico. Este informe fue solicitado por la empresa Novoplastic del Perú SAC. El informe consistió en demostrar el cumplimiento del decreto supremo N° 011-2010-MINAM, en el que se establece la obligatoriedad de comprar y utilizar bolsas de plástico biodegradables por parte de las entidades del sector público (El Peruano, 2010).

Según El Peruano (2010), en el punto 4.1.5 del decreto supremo N° 011-2010-MINAM (2010) es establecido:

“4.1.5 Uso obligatorio de productos reciclados y biodegradables

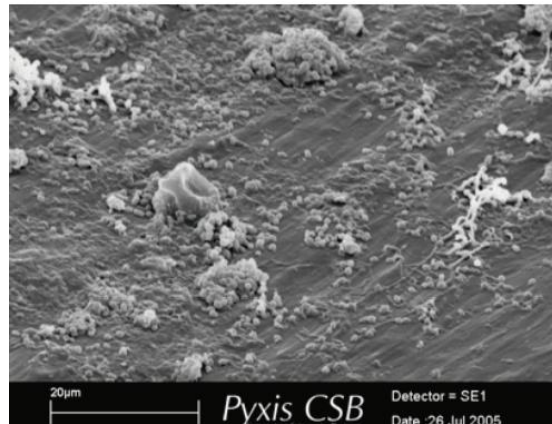
- a) Las entidades del sector público deberán utilizar obligatoriamente plásticos, papeles, cartones con un porcentaje de material reciclado. Dicho porcentaje será determinado por el Ministerio del Ambiente mediante resolución ministerial, en un plazo no mayor de treinta (30) días calendario contados a partir de la vigencia del presente decreto supremo.
- b) Las entidades del sector público, deberán comprar y utilizar obligatoriamente bolsas de plástico biodegradables.”

Para demostrar el cumplimiento del decreto supremo N° 011-2010-MINAM, diversos informes de laboratorios fueron presentados.

- Resultados presentados por el laboratorio Pyxis Csb del estudio: “Desarrollo de microorganismos en películas degradables bajo condiciones de eliminación seleccionadas con referencia específica del producto d2w de Symphony Environmental. Informe de investigación de la microestructura.”
 - Este estudio tuvo como objetivo demostrar que el producto d2w proporciona un sustrato para el crecimiento microbiano como un medio para confirmar que el material se biodegradará. Las micrografías obtenidas (Figura 5 y 6) permitieron concluir que los productos con esta formulación de aditivo son biodegradables. El tiempo que tomará el proceso de biodegradación dependerá de la temperatura, los niveles de humedad y la cantidad de radiación ultravioleta (UV) que haya recibido el material. Por lo tanto, un experimento a largo plazo conducirá a la descomposición completa del material en dióxido de carbono, agua, sales minerales y biomasa.

Figura 5

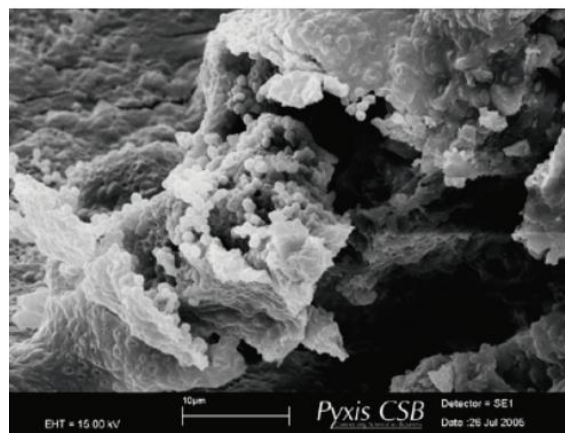
Micrografía que muestra bacterias y hongos adheridos en la superficie de la película y parcialmente sumergidos en ella



Nota: Symphony Environmental (2020).

Figura 6

Células bacterianas y esporas de hongos colonizando el área agrietada y toda la profundidad de la película a través de la grieta, señal de ataque microbiano



Nota: Symphony Environmental (2020).

- Resultados del proyecto ANR–OXOMAR – “Degradación, biodegradación y toxicidad de plásticos oxobiodegradables en los océanos”.
- Los resultados obtenidos en este proyecto demostraron que los plásticos oxobiodegradables se biodegradan en el agua de mar, más que los plásticos convencionales, y se convierte totalmente mediante la actividad microbiana en

biomasa, agua y dióxido de carbono, sin crear alguna toxicidad en el medio marino. Asimismo, se demostró que el nivel de oxidación obtenido debido al aditivo prodegradante d2w es de crucial importancia en el proceso de degradación. La biodegradabilidad se demostró mediante el cultivo de bacterias *Rhodococcus rhodochrous* y mediante una compleja comunidad marina natural de microorganismos.

- Por lo tanto, al comprobarse que el aditivo oxobiodegradable d2w convierte al plástico convencional en un plástico biodegradable, se cumple con el decreto supremo N° 011-2010-MINAM.
- Resultados presentados por el laboratorio Intertek Wilton Testing Services Ltd, en su estudio: “Determinación del peso molecular de películas de polietileno de baja densidad (PEBD) expuestas a rayos UV mediante cromatografía de permeación en gel a alta temperatura”.
 - Este estudio consistió en determinar el peso molecular de muestras de PEBD, fabricadas con 1 % de aditivo d2w, luego del proceso de degradación por oxidación. Los resultados obtenidos mostraron un peso molecular de 3 900 kg/mol para la muestra A y 4 100 kg/mol para la muestra B, al cabo de 672 h de exposición a los rayos UV. Estos valores de peso molecular son valores característicos de oligómeros, es decir que los productos de la oxidación son oligómeros de bajo peso molecular y estos dejan de ser considerados plástico. En ese sentido, los resultados de las pruebas efectuadas por el laboratorio Intertek Wilton demuestran que los componentes que poseen la tecnología oxobiodegradable d2w se degradan por oxidación sin dejar microplásticos.

3.2 Hechos relevantes de la actividad técnica

3.2.1 Descripción de la realidad problemática

El plástico es un material que posee propiedades extraordinarias como la relación peso/fuerza, baja conductividad de calor y electricidad, resistencia a la corrosión, y su versatilidad y costo razonable (Instituto del Futuro, 2020). El uso del plástico se masificó, en años posteriores a la segunda guerra mundial, cuando las embotelladoras de bebidas decidieron abandonar sus envases de vidrio y reemplazarlos con botellas de plástico; y con la producción de empaques de alimentos, juguetes, teléfonos, computadoras, automóviles, aviones y otros más (Instituto del Futuro, 2020). Cuatrocientos millones de toneladas de plástico son producidos cada año, esto representa más de un millón de toneladas al día. “El problema radica en la forma en la que se ha estado usando el plástico las últimas décadas, resultando en grandes niveles de contaminación” (Instituto del Futuro, 2020).

El plástico representa el 10 % del total de los desechos generados cada año en el mundo (Instituto del Futuro, 2020). Este material tarda cientos de años en desaparecer y considerando que existe una incapacidad para manejar los residuos de plástico de forma adecuada, las proyecciones indican que el año 2050 habrá doce mil millones de toneladas de plástico en los rellenos sanitarios del mundo y que la masa total de plástico en el océano podría ser mayor a la masa total de peces existentes (ver Figura 7) (Instituto del Futuro, 2020). Una alta proporción de productos de plástico como bolsas y botellas no es desechada correctamente y terminan en los mares y océanos afectando animales y bloqueando los sistemas de drenaje (Instituto del Futuro, 2020). Otro problema que generan los desechos de plástico es que los plásticos convencionales se fragmentan con el tiempo a un tamaño diminuto (en milímetros), a los que se conoce como microplásticos. El gran problema de los microplásticos es que estos ingresan a la cadena alimenticia con gran facilidad, por ejemplo cuando los peces en los mares y océanos los ingieren (Instituto del Futuro, 2020). La mayor proporción de desechos de plástico en el mundo corresponden

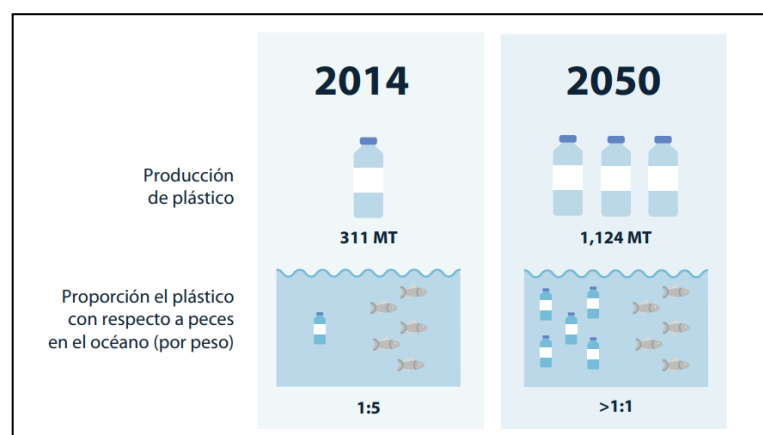
a empaques, estos representan un equivalente al 36 % de los 400 millones de toneladas de plástico al año (ver Figura 8). La mayoría de los empaques de plásticos son productos de un solo uso, esto quiere decir que son desechados después de haber sido usados una sola vez (Instituto del Futuro, 2020). Los plásticos de un solo uso más comunes son los empaques de alimentos, botellas de plástico y bolsas de acarreo para abarrotes. Estos productos son versátiles y útiles para el almacenamiento de alimentos, por lo que su demanda es gigantesca. “Actualmente pocos sistemas de manejo de desperdicios se encuentran debidamente preparados para procesar adecuadamente tal volumen de plásticos de un solo uso, lo cual agrava el problema” (Instituto del Futuro, 2020).

En el mundo existe una gran cantidad de medidas puestas en acción para solucionar los problemas del plástico; sin embargo, ninguna de ellas resulta fundamentalmente eficiente. Inclusive, apenas el 30 % de las prohibiciones de uso de plásticos registradas a nivel mundial por el programa ambiental de las Naciones Unidas han resultado en un menor uso de plástico (Instituto del Futuro, 2020).

“Las principales causas de tan limitado éxito son la falta de alternativas económicamente viables y, en general, falta de capacidad de fiscalización efectiva” (Instituto del Futuro, 2020).

Figura 7

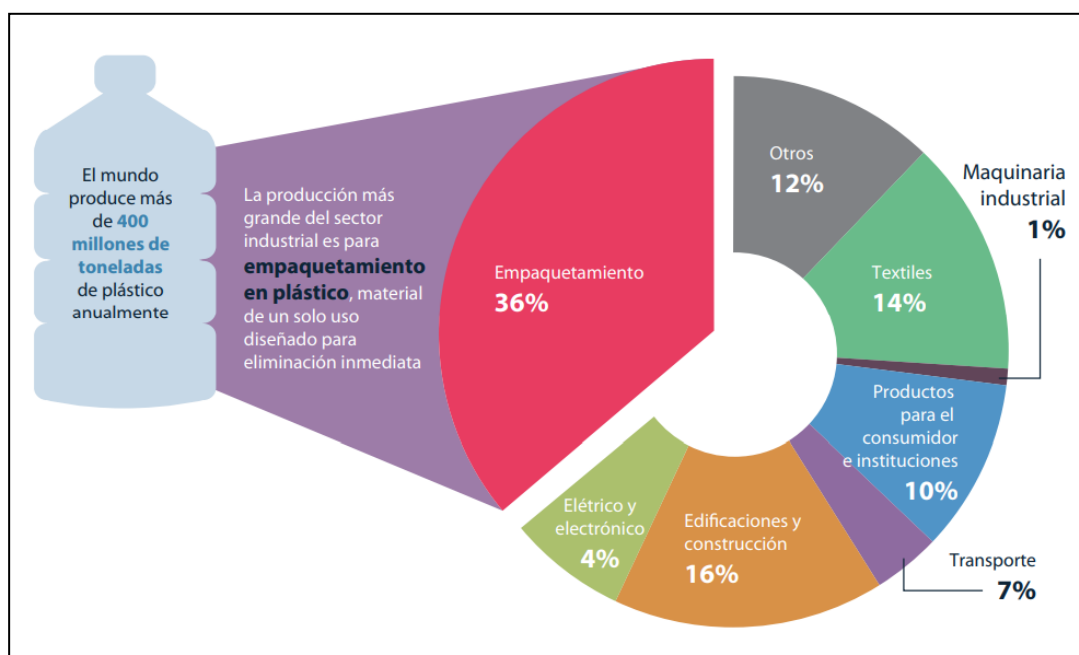
Proyección del crecimiento del volumen de plástico en el mundo para el año 2050



Nota: Instituto del Futuro (2020).

Figura 8

Producción global del plástico por sector industrial



Nota: Instituto del Futuro (2020).

En Perú, la ley 30884 (“ley que regula el plástico de un solo uso y los recipientes o envases descartables”) promueve como alternativas a las bolsas plásticas, al papel y el algodón; sin embargo, estos resultan ser potencialmente más contaminantes. Así, producir una bolsa de papel requiere cuatro veces más energía que una de plástico, mientras que una bolsa de algodón tiene una huella de carbono mayor a cualquiera de las alternativas (Instituto del Futuro, 2020). En la mayoría de ciudades del Perú, el manejo de los residuos no es eficaz, y solo algunos distritos de Lima facilitan reciclar. Sin embargo, incluso en estas pocas localidades, el reciclaje no suele funcionar de manera efectiva y eficiente (Instituto del Futuro, 2020). Los modelos productivos y económicos, en la industria de empaques plásticos, que tenemos han sido tradicionalmente lineales; es decir, se extrae la materia prima (petróleo), se utiliza para producir un bien y luego el producto es vendido y después de apenas un solo uso el plástico es desechado. La mayoría de los empaques desechados acaban en rellenos sanitarios, otra cantidad considerable se incinera, apenas

14 % se recicla del cuál apenas 2 % se recicla de manera efectiva, y el resto no es procesada por los sistemas de manejo de residuos y termina en los océanos u otros ecosistemas. El problema de este modelo no es solo la contaminación directa del plástico que termina en el ambiente, sino el uso ineficiente de recursos, la falta de inversión en la infraestructura necesaria y la falta de capacidad en el manejo de residuos (Instituto del Futuro, 2020).

3.2.2 Definición del problema general y secundarios

Problema general:

¿Cómo se evalúa los plásticos oxobiodegradables bajo la normativa peruana NTP 900.080:2015?

Problemas secundarios:

¿Qué material plástico y dosis de aditivo oxobiodegradable se utiliza obtener un plástico oxobiodegradable bajo la normativa peruana NTP 900.080:2015?

¿Qué metodología se utiliza para la evaluación de los plásticos oxobiodegradables bajo la normativa peruana NTP 900.080:2015?

¿Qué laboratorio acreditado puede realizar el ensayo de biodegradación de los plásticos oxobiodegradables?

3.2.3 Justificación e importancia

El problema causado por los desechos de plástico en el ambiente ha obligado a los fabricantes a reevaluar la producción y eliminación del plástico. Los fabricantes necesitan nuevas tecnologías que no sean costosas, que no interrumpan la fabricación y que los productos puedan reutilizarse y reciclarse al final de su vida útil, sin aumentar las emisiones de gases de invernadero que contribuyen al cambio climático (Symphony Environmental, 2020). La evaluación de plásticos oxobiodegradables es esencial para avanzar hacia un futuro más sostenible y reducir la contaminación por plásticos. Al comprender las ventajas y limitaciones de estos materiales, podemos tomar decisiones informadas y promover el

desarrollo de soluciones innovadoras para abordar el problema de los desechos de plástico (Symphony Environmental, 2020).

La tecnología de plásticos oxobiodegradables consiste en incorporar un aditivo biodegradable al flujo de procesamiento del plástico convencional (polietileno, polipropileno), para establecer el tiempo de vida útil del producto en la producción. Los productos fabricados con tecnología oxobiodegradable tienen todos los beneficios del plástico convencional que conocemos. Así, estos pueden reutilizarse y reciclarse junto con el plástico convencional, sin embargo, existe la ventaja añadida de que, si estos escapan a la recolección y terminan como desecho en el entorno natural, se degradarán y biodegradarán en un proceso continuo, mucho más rápido que el plástico convencional (Symphony Environmental, 2020). La determinación de biodegradación de bolsas de plástico fabricadas con aditivo oxobiodegradable se realizará mediante un estudio experimental siguiendo la metodología de la norma ASTM D5338. Muestras de bolsas de polietileno de baja densidad fabricadas con 1 % de aditivo d2w se expondrán a condiciones controladas de compostaje por 180 días (6 meses). La CO₂ liberado se medirá periódicamente para determinar el grado de biodegradación. Posteriormente, los residuos de la biodegradación serán sometidos a una prueba de ecotoxicidad para confirmar que los materiales biodegradados y compostados no introducen componentes tóxicos en el compost. Esta evaluación se realiza usando la metodología de la Directriz 208 de la OECD (“evaluación de la aparición y el crecimiento de las plantas después de la exposición a la sustancia de prueba en el suelo”) y la Directriz 207 de la OECD (prueba de toxicidad de lombrices de tierra).

3.2.4 Antecedentes nacionales e internacionales

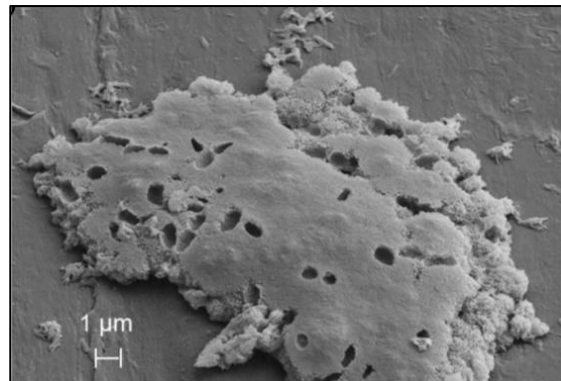
Existen diferentes estudios en los que se evalúa a los plásticos oxobiodegradables, algunos de estos estudios son descritos a continuación.

Rose et al. (Rose et al., 2020), investigadores de la Universidad Queen Mary de Londres evaluaron la biodegradabilidad de polímeros en medio acuoso mediante

cuantificación de respiración bacteriana. Las bacterias *Rhodococcus rhodochrous* y *Alcanivorax borkumensis* presentes en el suelo y medios marinos, respectivamente, fueron utilizadas como organismos modelo para realizar simulaciones de la biodegradación del plástico en estos ambientes. Una amplia variedad de plásticos, incluidas muestras envejecidas en el medio ambiente y en laboratorio, fueron evaluados para permitir comparaciones directas de la biodegradabilidad. La bacteria *R. rhodochrous* creciendo en medios sólidos con polietileno de baja densidad (PEBD) como única fuente de carbono fue observada mediante microscopía electrónica de barrido (SEM). El efecto del envejecimiento por rayos ultravioleta (UV) en la biodegradación fue estudiado utilizando muestras de películas irradiadas durante 450, 758 y 900 h, de acuerdo con la norma ASTM D5208. Las muestras, no envejecidas y envejecidas, fueron incubadas con *R. Rhodochrous* durante 35 días y el CO₂ fue medido a lo largo del tiempo. La influencia del envejecimiento con rayos UV en la biodegradación fue estudiada realizando mediciones de los cambios del peso molecular del polímero en función de la irradiación. Las micrografías obtenidas por SEM mostraron bacterias ancladas al plástico, que presentaron picaduras por degradación biótica. Los orificios del plástico tienen aproximadamente el mismo diámetro que una sola bacteria (1 µm) (Figura 9). Como fue esperado, una relación entre el envejecimiento por UV y la biodegradación fue observada, que mejoró aún más con la presencia del aditivo oxobiodegradable. Así, la biodegradación del LDPE con aditivo oxobiodegradable, oxo-PEBD, (irradiado por +450 h con rayos UV) fue 90 veces mayor que la del PEBD (irradiado por +450 h con rayos UV) y 45 veces mayor que el oxo-PEBD no envejecido después de 35 días (Figura 10). Una marcada diferencia en el tiempo requerido para que las muestras de polímero alcancen una masa molecular menor de 3 000 Da (Dalton) fue observada (Figura 11). El oxo-PEBD logró esta reducción dentro de las 450 h de irradiación, mientras que el PEBD requiere el doble de tiempo de exposición (900 h) para alcanzar la misma masa molecular.

Figura 9

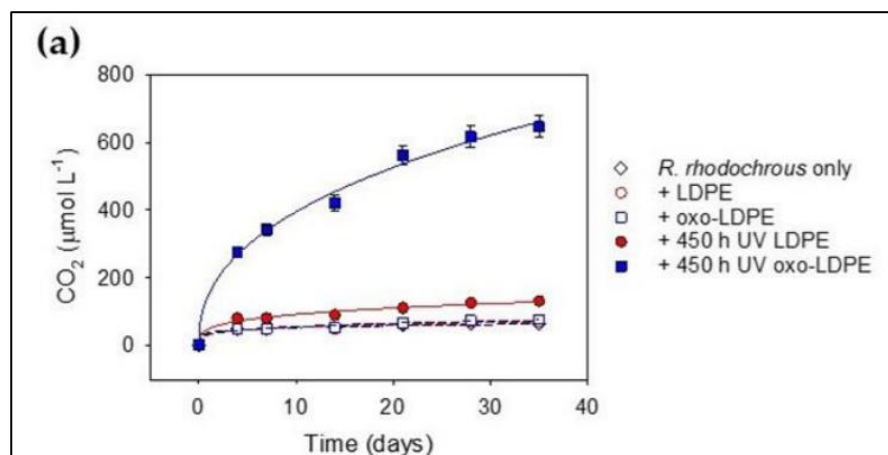
Colonización microbiana en superficie de película de PEBD visualizado por SEM



Nota: Rose et al. (2020).

Figura 10

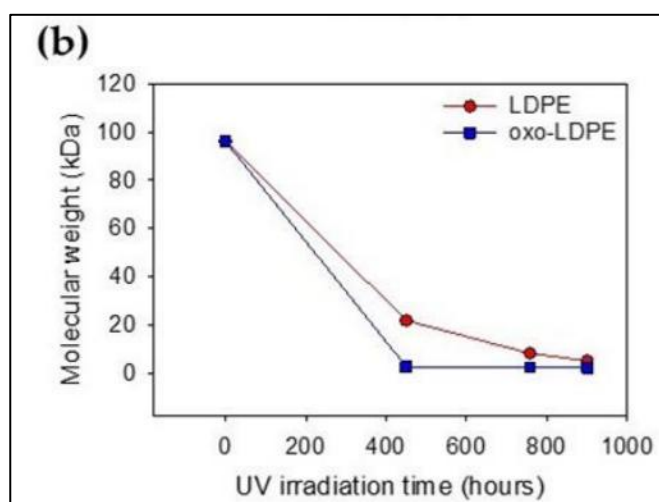
Producción de CO₂ a partir de R. Rhodochrous



Nota: Rose et al. (2020). *R. Rhodochrous* cultivada sin carbono suministrado (rombo negro abierto) en PEBD no envejecido (círculo rojo abierto), oxo-PEBD no envejecido (cuadrado azul abierto) en comparación con PEBD irradiado 450 h por rayos UV (círculos rojos sólidos) y oxo-PEBD irradiado 450 h por rayos UV (cuadrados azules sólidos).

Figura 11

Peso molecular de PEBD y Oxo-PEBD medido por cromatografía de permeación de gel, en comparación con el tiempo de exposición a los rayos UV



Nota: Rose et al. (2020). Peso molecular en kDa (kilodalton).

Este estudio tuvo como conclusiones, que el bioensayo de *Rhodococcus rhodochrous*, del suelo, y *Alkanivorax borkumensis*, del agua de mar, permitieron demostrar que la elección de la cepa bacteriana influye en la degradación del polímero. Además, que la degradación abiótica desempeñó un papel clave en la descomposición biológica de las muestras de PEBD y oxo-PEBD envejecidas naturalmente o artificialmente; y que los resultados demostraron una dependencia entre la biodegradabilidad y la masa molecular de las muestras de plástico (Rose et al., 2020).

En el año 2019, la Agencia Nacional de Investigación (ANR) de Francia presentó el informe final del proyecto ANR-OXOMAR – Degradación, biodegradación y toxicidad de plásticos oxobiodegradables en los océanos. El objetivo de este proyecto fue investigar si los plásticos oxobiodegradables se biodegradarán completamente en un tiempo razonable en el ambiente marino, e investigar si el plástico oxobiodegradable o sus subproductos crean alguna toxicidad en el mar.

Seis diferentes muestras de material polimérico fueron utilizadas con el objetivo de abarcar el estudio de un amplio rango de formulaciones de plásticos oxobiodegradables, variando principalmente la composición del aditivo prodegradante.

- Muestra 1: control: película de polietileno de baja densidad (PEBD),
- Muestra 2: película de PEBD + 1 % de aditivo A (prodegradante de cobalto, carbonato de calcio, estabilizador fenólico),
- Muestra 3: película de PEBD + 1 % de aditivo B (prodegradante de manganeso, carbonato de calcio, estabilizador fenólico),
- Muestra 4: película de PEBD + 1 % de aditivo C (prodegradante de cobalto y manganeso, carbonato de calcio, estabilizador fenólico),
- Muestra 5: película de PEBD + 1 % de aditivo D (prodegradante de manganeso y fotosensibilizador de hierro, carbonato de calcio, estabilizador fenólico),
- Muestra 6: película de PEBD + PEBD/mezcla de base biológica (estabilizada) + prodegradante de cobalto (50 % del contenido total de base biológica).

La investigación comprendió tres etapas de evaluación: (1) Degradación abiótica, (2) Biodegradación y (3) Evaluación de posible toxicidad de los plásticos oxobiodegradables cuando se liberan accidentalmente al mar.

La etapa 1 consistió en el envejecimiento artificial de las muestras, proceso para acelerar la degradación abiótica mediante el uso de rayos UV y temperatura durante 0-400 h. La naturaleza química de los compuestos de oxidación formados después del fotoenvejecimiento y la fotooxidación acelerados se identificó mediante FTIR (“espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier”). En la etapa 2, la biodegradación de los plásticos oxobiodegradables en aguas marinas fue evaluada en dos partes: (a) después de varios meses de colonización de los plásticos oxobiodegradables por microorganismos marinos en condiciones naturales y (b) biodegradabilidad de los plásticos oxobiodegradables en condiciones naturales en comparación con un microorganismo cultivado con capacidades conocidas de

biodegradación de polietileno (*Rhodococcus rhodochrous*). La colonización de los plásticos oxobiodegradables fue estudiada durante períodos de dos meses y en diferentes estaciones para alcanzar un nivel de colonización similar a la colonización encontrada en plásticos muestreados en agua de mar natural. Los resultados demostraron que el nivel de oxidación obtenido debido al aditivo prodegradante a base de sales de manganeso y hierro (aditivo d2w) fue de crucial importancia en el proceso de degradación. Asimismo, los resultados obtenidos demostraron que los plásticos oxobiodegradables se biodegradan en el agua de mar más que los plásticos convencionales, y se convierte totalmente mediante la actividad microbiana en biomasa, agua y dióxido de carbono, sin crear alguna toxicidad en el medio marino. Las conclusiones de este proyecto fueron, que el envejecimiento artificial acelerado (usando rayos UV y temperatura) fue una herramienta de elección adecuada para el estudio del destino de los plásticos oxobiodegradables en el medio marino (etapa 1). Además, que la biodegradación de los plásticos oxobiodegradables envejecidos artificialmente (después de un mínimo de 300 h de termooxidación seguida de fotooxidación durante 100 h), equivalente a la luz solar natural exposición de 1 año, fue demostrada (etapa 2). Mientras que algunos resultados mostraron toxicidad potencial de las formulaciones de plásticos oxobiodegradables a base de cobalto para los diversos organismos marinos probados, otras formulaciones con propiedades similares no mostraron toxicidad (etapa 3). Esto permitirá a los proveedores de plásticos oxobiodegradables orientar su producción hacia formulaciones que hayan demostrado ser seguras para el medio marino.

3.2.5 Objetivo general y específico

Objetivo general:

Evaluar los plásticos oxobiodegradables bajo la normativa peruana NTP 900.080:2015.

Objetivos específicos:

Seleccionar el material plástico y dosis de aditivo oxobiodegradable para obtener un plástico oxobiodegradable bajo la normativa peruana NTP 900.080:2015.

Seleccionar la metodología para la evaluación de los plásticos oxobiodegradables bajo la normativa peruana NTP 900.080:2015.

Encontrar el laboratorio acreditado para realizar el ensayo de biodegradación de los plásticos oxobiodegradables.

3.3 Marco conceptual y teórico de los conocimientos técnicos requeridos

3.3.1 El plástico convencional

Según ASTM Internacional (2000), en la norma ASTM D883 - “terminología relacionada con los plásticos”, el plástico es definido como:

Plástico.- Un material que contiene como ingrediente esencial una o más sustancias poliméricas orgánicas de gran peso molecular, es sólido en su estado final y, en alguna etapa de su manufactura o procesamiento, puede ser formado por el flujo.

El plástico convencional en general no puede ser sustituido, hoy no existen alternativas viables en el mercado, tanto por el precio como por las propiedades técnicas y mecánicas que estos ofrecen. Las propiedades que presenta el plástico convencional son detalladas en la Figura 12 (Symphony Environmental, 2020).

Figura 12

Propiedades de los plásticos convencionales

Seguros	Los envases plásticos permiten que productos tales como los alimentos, amplíen su margen de caducidad sin necesidad de conservantes ni otros aditivos.
Ligeros	• El poco peso de los plásticos contribuye al ahorro de energía, porque requieren menos combustible que otros materiales para su fabricación y transporte.
Versátiles	En la construcción, las formas y perfiles complejos se consiguen más fácilmente con plásticos que por ejemplo con metales.
Buenos en la relación costo/efectividad	• Las piezas de plásticos requieren poco o ningún recubrimiento protector, por lo que se ahorra tiempo y materiales.
Máxima eficacia y mínima utilización de recursos naturales	• La producción de plásticos solo utiliza el 4 % de todo el petróleo elaborado comercialmente en Europa Occidental. En contraste, el 86% de dicho petróleo se consume en transporte, calefacción y producción de energía.
Para la protección del medio ambiente	• A lo largo de toda su vida útil, los plásticos contribuyen a la protección medioambiental al maximizar los recursos y minimizar los residuos.
Reutilizables	• Alargan la vida de un producto usándolo más de una vez.
Reciclables	• El reciclado mecánico permite la recuperación y el reprocesado de plásticos para uso en nuevas aplicaciones, conserva fácilmente la mayor parte de sus propiedades. El reciclado químico permite el reprocesamiento químico de residuos plásticos mezclados para luego convertirlos en monómeros, base de nuevos plásticos o en hidrocarburos.
Productores de energía	• Su valor energético es alto y esencial en el cuadro de las necesidades energéticas actuales, permite la combustión de residuos para producir energía en forma de electricidad y calor.
Impermeables	• A los ácidos, la humedad, pueden ser usados para la distribución, proteger cualquier género perecedero o material peligroso.

Nota: Symphony Environmental (2020).

A pesar de no ser un contaminante químico, el plástico contamina visualmente y puede ser un riesgo para la fauna marina, lo que agrava la situación, es que los plásticos pueden tardar varias centenas de años en degradarse. En ningún país del mundo es posible recoger todos los residuos de plástico, siempre algún residuo escapará de forma accidental o deliberada en el ambiente. La imagen del plástico se ve afectada por este tipo de residuo. En los últimos años han aparecido varias tecnologías que permiten minimizar el impacto negativo que pueden tener los plásticos convencionales.

3.3.2 Tecnologías alternativas disponibles

Los productos alternativos al plástico convencional tienen propiedades sustancialmente diferentes unas de otras. Así, las propiedades específicas pueden volver una tecnología apropiada para un determinado uso o inapropiada para otro uso en particular (Symphony Environmental, 2020). Con el desarrollo de estas tecnologías, surgen las dudas sobre su real eficacia; cómo se comportan: son las propiedades técnicas mantenidas que garantiza que funcionan, como lo puede comprobar las afirmaciones que publicitan, entre otras (Symphony Environmental, 2020).

Según Symphony Environmental (2020), las tecnologías alternativas al plástico convencional son:

- 1) Plásticos foto-degradable:** plásticos que envejecen bajo la luz ultravioleta. Estos plásticos no se degradan cuando son enterrados, alcantarillados, o ubicados en otro ambiente oscuro o sobre expuesto, a no ser que sean oxo-biodegradables.
- 2) Plásticos hidro-biodegradable:** polímero de origen renovable, que se biodegrada por hidrólisis. Estos forman parte de la familia de los bio-plásticos. Estos plásticos requieren un ambiente húmedo y biológicamente activo para que acontezca la degradación. En cuanto muchos de estos plásticos son derivados del maíz y de otros productos de la agricultura, muchos otros contienen una elevada porción de poliéster (un plástico sintético derivado del petróleo).

3) Plásticos oxobiodegradable: plástico convencional al cual en su procesamiento se incorpora un catalizador que permite su oxidación. La degradación es el resultado de la oxidación y biodegradación en simultáneo o sucesivamente.

Según Symphony Environmental (2020), las características de los plásticos oxobiodegradables son:

- “Pueden ser programados en la fabricación para que se degraden en un determinado tiempo, según las exigencias del cliente;
 - Son más fuertes y versátiles que las tecnologías alternativas;
 - Pueden ser reciclados y fabricados a partir de productos reciclados”.
 - Se degradan en cualquier ambiente, interior o exterior, incluso en ausencia de agua.
- Esto es un factor muy importante en relación a los residuos, porque una elevada cantidad de residuos de plástico en tierra y mar no se pueden recoger o enterrar (Symphony Environmental, 2020).

La degradación de los plásticos oxobiodegradables inicia por oxidación y de los hidro-biodegradables por hidrólisis; es decir, por un proceso abiótico. Estas tecnologías liberan CO₂ durante la biodegradación, el cual es absorbido por las plantas. Los plásticos hidro-biodegradables pueden liberar metano si la biodegradación acontece en un ambiente anaeróbico (Symphony Environmental, 2020).

3.3.3 Tecnología oxobiodegradable

La tecnología oxobiodegradable consiste en añadir un catalizador al plástico convencional durante su procesamiento, esto permite su oxidación. La degradación de los plásticos oxobiodegradables es resultado de la oxidación y biodegradación en simultáneo o sucesivamente (Symphony Environmental, 2020).

La luz, el calor y el estrés mecánico son factores abióticos que aceleran el proceso de degradación. Así, después de la vida útil del producto, este pierde sus propiedades y se fragmenta hasta que no puede manipularse, momento en el cual el material puede biodegradarse. Este proceso puede demorar varios meses o años, mientras que para el caso de los plásticos convencionales este proceso puede tardar varios cientos de años (Symphony Environmental, 2020).

Los plásticos oxobiodegradables con vida útil controlada presentan tres etapas de evolución en el tiempo (ver Figura 13):

- Etapa 1: vida útil del material.

En esta etapa, el material no presenta variación de las propiedades funcionales durante el almacenamiento y su uso. El período de tiempo de esta fase depende de las condiciones de exposición del material a factores ambientales. Los antioxidantes, componentes del masterbatch oxobiodegradable, garantizan la vida útil del material. Durante toda la vida útil del material, se garantizan las propiedades mecánicas y físicas del plástico (Symphony Environmental, 2020).

- Etapa 2: pérdida de las propiedades físicas hasta la fragmentación espontánea del material.

En esta etapa, el material llega al final de su vida útil o fue expuesto a factores ambientales (como la luz, el calor y el estrés mecánico) que van a acelerar el proceso de degradación. Así, el material empieza a perder sus propiedades (pierde el 50 % de sus propiedades mecánicas), se torna frágil y se rompe/fragmenta hasta el punto que ya no se puede manipular. A partir de este momento el material puede biodegradarse (Symphony Environmental, 2020).

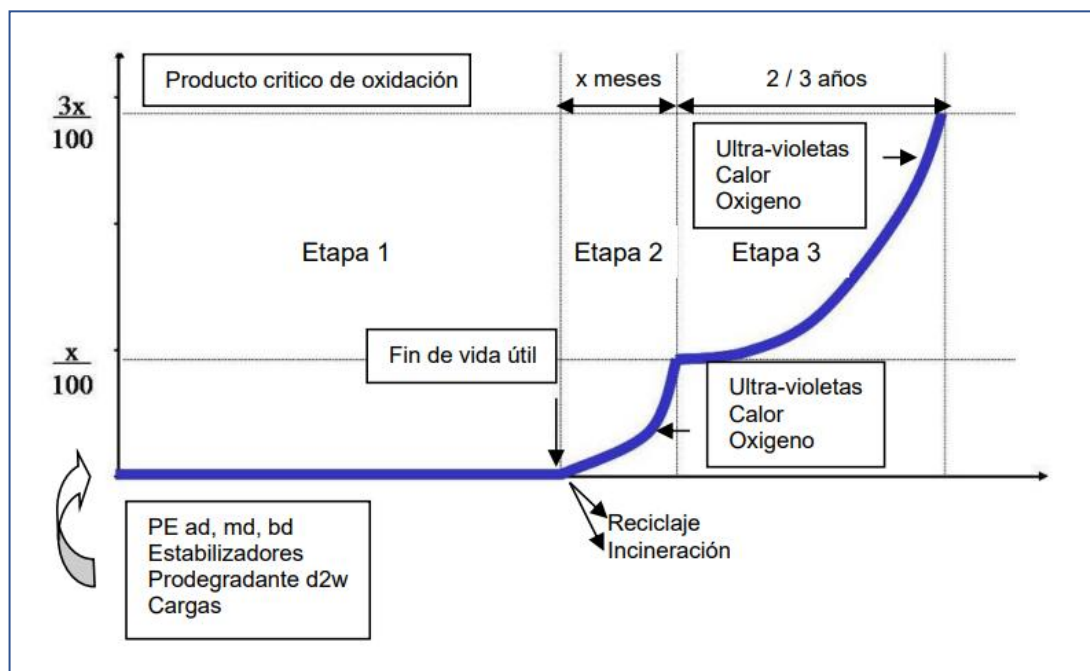
- Etapa 3: degradación hasta la biodegradación del material.

En esta etapa, después de la oxidación y fragmentación de las cadenas moleculares, el material puede ser colonizado por microorganismos, es decir, puede ser biodegradado. La reducción del peso molecular y la incorporación de oxígeno permiten que los microorganismos colonicen el material y comiencen a consumirlo

tanto en la tierra como en ambientes acuáticos, convirtiéndolo en H₂O, CO₂ y biomasa (Symphony Environmental, 2020).

Figura 13

Evolución en el tiempo de la tecnología oxobiodegradable



Nota: Symphony Environmental (2020). PE ad= polietileno de alta densidad, PE md= polietileno de media densidad, PE bd= polietileno de baja densidad, d2w= agente prodegradante del aditivo oxobiodegradable.

Según Symphony Environmental (2020), la degradación y biodegradación consiste de dos fases:

“Primera fase: La oxidación y fragmentación de las cadenas moleculares.

- Disminución del peso molecular
- Incremento índice carboxílico
- Incremento de la hidrofiliidad
- Pérdida de propiedades mecánicas

Segunda fase: la biodegradación, cuyo resultado es CO₂, agua y biomasa”.

Según Symphony Environmental (2020), el aditivo oxobiodegradable es suministrado en la presentación de masterbatch (granza) y es una mezcla de cuatro sustancias:

- a. Una poliolefina de base, polietileno o polipropileno en función del material a aditivar.
- b. Una sal de metal de transición (generalmente manganeso), que tiene la función de pro-oxidante (también llamado agente pro degradante).
- c. Un antioxidante secundario, que permite evitar una pre-oxidación del material durante su procesamiento (extrusión o moldeo por inyección), siendo el calor uno de los factores aceleradores del proceso de degradación.
- d. Un antioxidante primario, que estabiliza y neutraliza el proceso de creación de radicales libres durante un tiempo determinado. El tiempo de vida útil del material se puede programar por el equilibrio de la formulación.

El proceso de degradación es un proceso controlado. Garantizar una vida útil al producto es importante y necesario, puesto que, durante esta fase el plástico mantiene sus propiedades físicas y mecánicas para el cual fue desarrollado y fabricado (Symphony Environmental, 2020).

La degradación del plástico inicia cuando termina su vida útil. Esta es acelerada por factores ambientales como la luz, el calor y las sollicitaciones mecánicas cuando el material es abandonado en la naturaleza antes de llegar al final de su vida útil. Debido a la combinación de los dos métodos de degradación; es decir, la oxidación y biodegradación, los plásticos oxobiodegradables se descomponen en varios ambientes, inclusive en el de los productos únicamente biodegradables (Symphony Environmental, 2020).

Según el Comité Europeo de Normalización (2008), informe técnico CEN/TR15351, la definición de oxobiodegradación es:

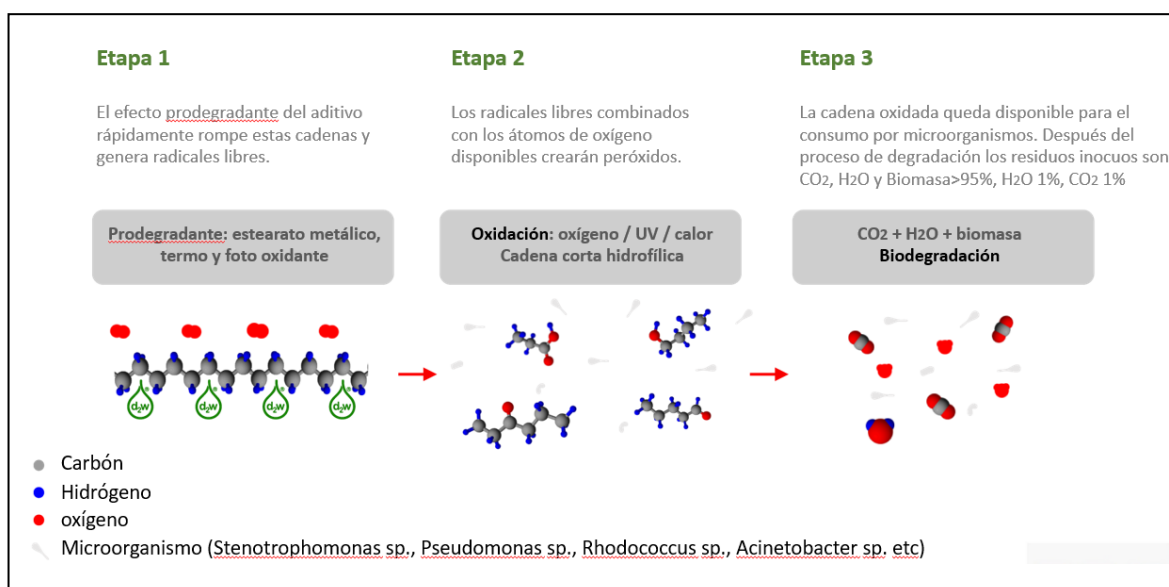
“Oxobiodegradación.- Degradación resultante de fenómenos oxidativos y mediados por células, ya sea simultánea o sucesivamente”.

3.3.4 Cómo funciona la tecnología oxobiodegradable

La tecnología de plásticos oxobiodegradables consiste en incorporar un agente prodegradante en el procesamiento del plástico convencional. Este agente rompe los enlaces carbono-carbono de las cadenas moleculares del plástico, creando radicales libres (Symphony Environmental, 2020). La oxidación de las cadenas moleculares provoca reducción del peso molecular hasta que el material se vuelve hidrófilo y puede ser colonizado por microorganismos. El proceso continua hasta que el material se biodegrada en CO₂, agua y biomasa (ver Figura 14) (Symphony Environmental, 2020).

Figura 14

Como funciona la tecnología oxobiodegradable



Nota: Symphony Environmental (2020). d2w = agente prodegradante del aditivo oxobiodegradable.

Mecanismo de degradación y biodegradación de polímeros con tecnología

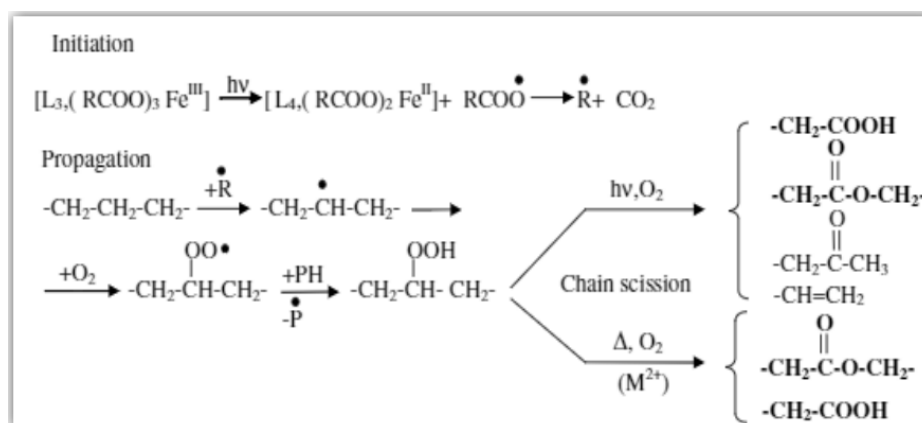
d2w:

Degradación por oxidación: Los plásticos oxobiodegradables sufren dos etapas de degradación, una abiótica acelerada por el catalizador y una biótica (degradación biológica) en la presencia de microorganismos. La duración de la fase abiótica puede ser controlada usando una adecuada relación de catalizador y aditivos antioxidantes. En la

degradación abiótica (degradación por oxidación en la presencia de luz o calor), los aditivos prodegradantes catalizan la descomposición de hidroperóxidos en radicales libres, ver Figura 15. Entonces ocurre la degradación habiendo ruptura de la cadena del polímero y como resultado una cadena de longitud reducida y peso molecular menor (Symphony Environmental, 2020).

Figura 15

Esquema simplificado de degradación abiótica del polietileno (PE) con contenido prooxidante por acción del oxígeno del aire, luz y/o calor

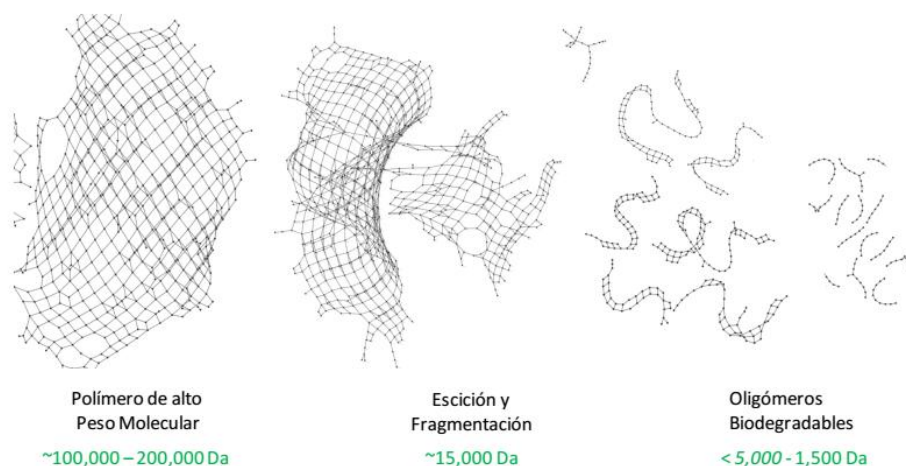


Nota: Symphony Environmental (2020).

La degradación por oxidación avanza más allá de la fragmentación para dar como resultado moléculas orgánicas oxidadas, solubles en agua y de bajo peso molecular (oligómeros), ver Figura 16.

Figura 16

Degradación de polímeros



Nota: Symphony Environmental (2020).

Biodegradación:

- Durante la biodegradación, los microorganismos utilizan los productos de oxidación abiótica (compuestos oligoméricos de bajo peso molecular). Los microorganismos utilizan los materiales de hidrocarburos como fuente de carbono para la respiración. También utilizan el material para el crecimiento, reparación y reproducción (biomasa).
- Para lograr una biodegradación significativa, el peso molecular promedio de la poliolefina oxidada debe reducirse a < 5 000 g/mol.
- Una disminución en el contenido de carbonilo se observa durante la etapa de biodegradación, consistente con el consumo preferencial de oligómeros oxidados.
- Finalmente, los microorganismos degradan los segmentos más pequeños de poliolefina para formar dióxido de carbono, agua y biomasa.

3.3.5. Normativa peruana

Según El Peruano (2018), la ley N° 30884 (“ley que regula el plástico de un solo uso y los recipientes o envases descartables”) es una normativa que busca proteger el medio ambiente y la salud.

La ley N° 30884 tiene como objetivo establecer el marco regulatorio sobre el plástico de un solo uso, otros plásticos no reutilizables y los recipientes o envases descartables de poliestireno expandido (tecnopor) para alimentos y bebidas de consumo humano en el territorio nacional (El Peruano, 2018). Esta ley prohíbe la producción, comercialización y uso de una gran variedad de productos de plástico de un solo uso, entre ellos: bolsas de plástico no reutilizables, sorbetes, platos y cubiertos desechables, envases de tecnopor (El Peruano, 2018). Aunque el enfoque principal de esta ley es prohibir ciertos productos de plástico, también aborda el tema de la biodegradación. La ley reconoce la biodegradabilidad como una característica deseable en los plásticos, especialmente en aquellos que no están completamente prohibidos (El Peruano, 2018).

Los plásticos que afirman ser biodegradables deben contar con una certificación emitida por un laboratorio acreditado. Esta certificación garantiza que el plástico se degrada en condiciones específicas y no genera microplásticos o sustancias dañinas. Además, los plásticos biodegradables importados que cuenten con certificaciones de biodegradabilidad expedidas en países extranjeros, tienen el mismo efecto legal que las extendidas en el Perú (El Peruano, 2018).

Esta ley incluye como anexo un glosario de términos, en el cual define el término biodegradable y recomienda la NTP 900.080:2015 para la evaluación de estos materiales:

Biodegradable. Para ser designado como orgánicamente recuperable cada envase o embalaje, material de envase o embalaje o componente de envase o embalaje debe ser biodegradable de forma inherente y última como se demuestra en los ensayos de laboratorio indicados en el capítulo 7 y según los criterios y niveles de aceptación indicados en los apartados A1 y A2 del anexo A de la versión actualizada de la norma técnica peruana 900.080 “Envase y embalajes. Requisitos de los envases y embalajes. Programa de ensayo y criterios de evaluación de biodegradabilidad”.

Según INDECOPI (2015), la norma técnica peruana NTP 900.080:2015 (“Envases y embalajes. Requisitos de los envases y embalajes. Programa de ensayo y criterios de evaluación de biodegradabilidad”) es un documento técnico que establece los requisitos y procedimientos para determinar la biodegradabilidad de los envases y embalajes.

Esta norma, al igual que la ley 30884, no incluye una metodología para la determinación de la biodegradabilidad; sin embargo, esta presenta referencias normativas internacionales (ISO 14841, ISO 14842, ISO 14855-1, ISO 14855-2, ISO 10634, ISO 15985, ISO 14853, ISO 11734, ISO/TR 15462) para realizar dicho estudio (INDECOPI, 2015). Además, esta norma recomienda el ensayo de compostaje aerobio controlado, siguiendo la norma ISO 14855, el cual debe ser empleado para el tipo y propiedades del material evaluado (INDECOPI, 2015).

La NTP 900.080:2015 se centra en dos procedimientos de evaluación:

a) Caracterización: Se analizan las propiedades físicas y químicas del material para determinar su composición y posibles efectos en el proceso de biodegradación. Este procedimiento incluye:

- Identificación y evaluación de sólidos volátiles

Requisito: contenido de sólidos volátiles > 50 %

- Determinación de metales pesados

Requisito: Contenido de metales pesados (en partes por millón, ppm): Zn (zinc) ≤ 150; Cu (cobre) ≤ 50; Ni (níquel) ≤ 25; Cd (cadmio) ≤ 0,5; Pb (plomo) ≤ 50; Hg (mercurio) ≤ 0,5; Cr (cromo) ≤ 50; Mo (molibdeno) ≤ 1; Se (selenio) ≤ 0,75; As (arsénico) ≤ 5; F (fluor) ≤ 100

b) Biodegradabilidad: Se realiza ensayo de biodegradación para evaluar la capacidad del material de descomponerse en condiciones controladas de compostaje o digestión anaeróbica.

Este procedimiento incluye:

- Ensayo de biodegradación (para un tiempo de ensayo máximo de 180 días)

Requisito: porcentaje de biodegradación $\geq 90 \%$

Según INDECOPI (2015), la NTP 900.079:2015 (Envases y embalajes. Guía terminológica en el campo de biodegradabilidad) define los términos y conceptos relacionados con la biodegradabilidad en el contexto de envases y embalajes. Esta norma incluye la definición de los tipos de mecanismos de degradación:

a) Degradación polimérica celular: El artículo polimérico es atacado por células seguido por el tratamiento bioquímico de los productos de degradación como resultado de reacciones enzimáticas.

b) Degradación polimérica química: El artículo polimérico se fragmenta por procesos químicos. Aquí se requieren condiciones (luz, agua, oxígeno, calor) para desencadenar la degradación química; así, sin fenómeno desencadenante, no hay degradación. Solo las pequeñas moléculas generadas tienen que eliminarse a través de caminos bioquímicos. Por lo que, tienen que estar presentes células vivas que aseguren el tratamiento bioquímico de las moléculas de bajo peso molecular formadas a partir de las macromoléculas del artículo polimérico original.

c) Combinación: La combinación de ambos mecanismos de degradación.

Según INDECOPI (2015), la NTP 900.079:2015 también incluye la definición de biodegradación y oxobiodegradación:

Biodegradación: Degradación de un artículo polimérico debido a un fenómeno producido por células.

Oxobiodegradación: Degradación identificada como resultado del fenómeno oxidativo y producido por células, simultáneamente o sucesivamente. Esta última es considerada un tipo de biodegradación.

Según ASTM Internacional (2018), la norma ASTM D6954-2018 ("Exposición y prueba de plásticos que se degradan en el medio ambiente por una combinación de

oxidación y biodegradación”) es una norma guía para la evaluación de plásticos oxobiodegradables. Según ASTM Internacional (2018), la ASTM D6954-2018 recomienda tres evaluaciones:

1) Degradación por oxidación: La capacidad del plástico de descomponerse por la acción del oxígeno y otros agentes oxidantes (luz, calor) presentes en el medio ambiente.

2) Biodegradación: La capacidad de los residuos de degradación a descomponerse por la acción de microorganismos como bacterias y hongos.

3) Ecotoxicidad: Evaluación de los efectos tóxicos que podrían tener los residuos de la biodegradación sobre organismos vivos o ecosistemas.

Para cada una de estas evaluaciones, la norma recomienda seguir las metodologías de normas internacionales presentadas como referencias.

3.4 Propuestas y Contribuciones de su formación profesional

3.4.1 Objetivos y justificación del uso de las técnicas propuestas

El presente informe tiene como objetivo evaluar los plásticos oxobiodegradables. Para evaluar los plásticos fabricados con aditivos oxobiodegradables se debe seguir la norma ASTM D6954-18 (“guía para la evaluación de plásticos que se degradan en el medio ambiente por oxidación y biodegradación”). Respecto a la normativa peruana, los plásticos oxobiodegradables deben cumplir los requisitos especificados en la ley 30884 - “Ley que regula el plástico de un solo uso y los recipientes o envases descartables” (El Peruano, 2018) y la norma técnica peruana NTP 900.080:2015 - “Envases y embalajes. Requisitos de los envases y embalajes. Programa de ensayo y criterios de evaluación de biodegradabilidad” (INDECOPI, 2015).

La oxobiodegradación es un tipo de biodegradación aceptada y definida por la NTP 900.079:2015. Para realizar la evaluación del producto de plástico fabricado con tecnología oxobiodegradable, objeto de estudio, es necesario el cumplimiento de los requisitos

especificados en la NTP 900.079:2015. Esta norma sugiere el uso de la metodología propuesta en la norma ISO 14855-1:2018 (“Determinación de la biodegradabilidad aeróbica final de materiales plásticos en condiciones controladas de compostaje - Método mediante análisis del dióxido de carbono liberado - Parte 1: Método general”) para la determinación de la biodegradación. Por otro lado, la norma internacional ASTM D6954-2018, específica para la evaluación de plásticos fabricados con tecnología oxobiodegradable, fue tomada como guía para este estudio, dado que Perú mediante el INACAL (Instituto Nacional de Calidad) acepta las normas internacionales ISO (Organización Internacional de Normalización) y ASTM (Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales), además que las incluye como referencias normativas. La norma ASTM D6954-2018 sugiere la metodología de la norma ASTM D5338-15 - “Determinación de la biodegradación aeróbica de materiales plásticos en condiciones controladas de compostaje, incorporando temperaturas termófilas” (ASTM Internacional, 2021) para la determinación de la biodegradación, siendo esta equivalente a la norma ISO 14855.

La norma ASTM D6954-2018 sugiere 3 etapas de evaluación; la primera consiste en someter a la muestra (producto fabricado con tecnología oxobiodegradable) a una degradación por oxidación, esto se realiza mediante un ensayo de envejecimiento acelerado siguiendo la metodología de la norma ASTM D-5510 (Práctica estándar para el envejecimiento por calor de plásticos degradables por oxidación). Luego, como segunda etapa de evaluación, un ensayo de biodegradación es realizado a los residuos de la degradación por oxidación. Finalmente, como tercera etapa, un ensayo de ecotoxicidad es realizado a los residuos de la biodegradación.

En la primera etapa, la determinación de sólidos volátiles y metales pesados es realizada, para comprobar el cumplimiento de la NTP 900.080:2015. En la segunda etapa, el porcentaje de biodegradación es determinado según la metodología de la norma ASTM D5338-15 y este resultado debe cumplir con el requisito especificado en la NTP 900.080:2015 (porcentaje de biodegradación $\geq 90\%$). El tiempo de ensayo para la

determinación de la biodegradación será de 180 días, según lo especificado en la NTP 900.080:2015.

3.4.2 Cálculos y determinaciones de indicadores de gestión para evaluar y monitorear la propuesta

Descripción de la muestra: Películas de PEBD 1022 FN24, de 50 µm de espesor, fabricadas con 1 % de aditivo d2w (Figura 17).

Figura 17

Muestra de prueba



Nota: Intertek India Private Limited (2021).

Para la evaluación de la efectividad de plásticos oxobiodegradables es usada la norma ASTM D6954-18 - “Exposición y prueba de plásticos que se degradan en el medio ambiente por combinación de oxidación y biodegradación” (ASTM Internacional, 2018).

Según ASTM Internacional (2018), la norma ASTM D6954-18 consta de 3 niveles:

1) Nivel 1: degradación abiótica

En el nivel 1, la muestra es sometida a un ensayo de envejecimiento acelerado en presencia de rayos UV y a temperatura en el rango de 20 a 70 °C, siguiendo la metodología de la norma ASTM D5510 (Práctica estándar para el envejecimiento por calor de plásticos degradables por oxidación). El periodo de exposición de la

muestra es el tiempo necesario para que la película alcance un porcentaje de elongación, en un ensayo de tracción, del 5 % o menos (según norma ASTM D3826 Práctica estándar para determinar el punto final de degradación en polietileno y polipropileno degradables mediante una prueba de tracción) y la lámina fragmentada debe alcanzar un M_w ("peso molecular promedio") menor igual a 5 000 g/mol.

Todos los residuos de fragmentos del nivel 1 deben recolectarse y someterse a pruebas del nivel 2 para determinar el grado de biodegradación.

2) Nivel 2: biodegradación

En el nivel 2, después que las muestras se expongan a degradación abiótica (descrito en el nivel 1), todo el material degradado debe someterse a biodegradación. Algunas normas recomendadas son ASTM D5988, D5338 y D5526 (ASTM Internacional, 2018).

Para productos compuestos por un solo polímero y copolímeros aleatorios, el porcentaje de biodegradabilidad debe ser 60 % (ASTM Internacional, 2018). Para copolímeros en bloque, copolímeros segmentados, mezclas o adición de aditivos de bajo peso molecular, el porcentaje de biodegradabilidad debe ser 90 % (ASTM Internacional, 2018).

Según ASTM Internacional (2021), la norma ASTM D5338-15 indica:

"Para el test de biodegradación, las muestras son expuestas a un inóculo derivado del compost de residuos sólidos municipales. El compostaje aeróbico se lleva a cabo en un ambiente donde la temperatura, aireación y humedad se monitorean y controlan constantemente".

El porcentaje de biodegradabilidad se obtiene determinando el porcentaje de carbono en la muestra de prueba que se convierte en CO_2 durante la duración de la prueba (ASTM Internacional, 2021).

Una serie de 9 recipientes de compostaje de 5 litros de volumen (1 blanco, es decir, compost, 1 positivo, es decir, celulosa mezclada con compost, y 1 muestra de prueba mezclada con compost, todo en 3 repeticiones). Todo el recipiente de compostaje permanece en una incubadora capaz de mantener la temperatura a 58 ± 2 °C. Un sistema de aire presurizado que proporciona aire saturado con agua y libre de CO₂ es utilizado para cada uno de los recipientes de compostaje con una tasa de aireación precisa. El CO₂ desprendido es absorbido por Ba(OH)₂ 0,024 N y la cantidad de CO₂ se determinará titulando con HCl 0,05 N (ASTM Internacional, 2021).

3) Nivel 3: ecotoxicidad

- Prueba de crecimiento de plantas según el método de la directriz 208 de la OCDE (Organización para la Cooperación Económica y el Desarrollo). Este procedimiento determina la fitotoxicidad mezclando el compost que contiene el material biodegradado con tierra. La supervivencia y el crecimiento de las plantas es evaluado. Generalmente se prueban tres especies de plantas, y la duración de la prueba es de aproximadamente un mes. Los resultados de prueba con suelo biodegradado se comparan con un suelo de control (un suelo sin material biodegradado).

- Prueba del gusano de tierra de acuerdo con la directriz 207 de la OCDE. Este procedimiento determina la posible toxicidad del suelo mezclando el material biodegradado con un suelo específico. El cambio de peso y la supervivencia de las lombrices es medido. Los resultados de prueba del suelo que contiene material biodegradado se comparan con un suelo de control.

Respecto a la normativa peruana:

Según El Peruano (2018), la ley N° 30884 (ley que regula el plástico de un solo uso y los recipientes o envases descartables) exige los siguientes requisitos para

comprobar la efectividad de los plásticos fabricados con aditivos oxobiodegradables:

- “Los productores e importadores de productos de plástico, con tecnología biodegradable, deben contar con un certificado de biodegradabilidad o equivalentes”.
- La biodegradabilidad de los materiales plásticos debe ser demostrada mediante ensayos de laboratorio indicados en la NTP 900.080:2015 (capítulo 7 y apartados A1 y A2 del anexo A).

Según INDECOPI (2015), la NTP 900.080:2015 (“Envases y embalajes. Requisitos de los envases y embalajes. Programa de ensayo y criterios de evaluación de biodegradabilidad”) incluye los requisitos de la evaluación de la biodegradabilidad y solicita dos procedimientos:

1) Caracterización

- Determinación de sólidos volátiles (especificaciones según UNE-EN 13432)
- Determinación de metales pesados (especificaciones según UNE-EN 13432)

Para la determinación de sólidos volátiles y metales pesados, esta norma presenta los requisitos de evaluación aplicados a los envases y embalajes conforme a la norma UNE-EN 13432 (apartado 4.2).

2) Biodegradabilidad

- Determinación del porcentaje de biodegradación.

Los métodos de ensayo recomendados son: norma ISO 14855, ISO 14851, ISO 14582, entre otros métodos alternativos de alcance internacional adecuados al tipo y propiedades del material de ensayo; y especificaciones según UNE-EN 13432.

Los rangos del contenido de sólidos volátiles y metales pesados y porcentaje de biodegradabilidad, para el cumplimiento de la NTP 900.080:2015, son mostrados en la Tabla 3 (INDECOPI, 2015).

Tabla 3

Requisitos para el cumplimiento de la norma técnica peruana NTP 900.080:2015

Procedimiento	Requisito
Caracterización:	
1) Información e identificación de sólidos volátiles	1) Contenido de sólidos volátiles > 50 %
2) Determinación de metales pesados	2) Contenido de metales pesados (en partes por millón, ppm): Zn≤150; Cu≤50; Ni≤25; Cd≤0,5; Pb≤50; Hg≤0,5; Cr≤50; Mo≤1; Se≤0,75; As≤5; F≤100
Biodegradación:	
3) Ensayos de biodegradación aerobia	3) Porcentaje de biodegradación ≥ 90 %

Nota: INDECOPI (2015).

3.4.3 Análisis e interpretación de resultados y aportes técnicos de la propuesta de solución

Los resultados del estudio “Exposición y prueba de plásticos que se degradan en el medio ambiente por una combinación de oxidación y biodegradación ASTM D6954-18” realizado por el laboratorio Intertek India Private Limited, presentados en el informe N°: MUM/000732A1/2020, son detallados a continuación.

(1) Resultados del nivel 1: Degradación abiótica

- **Determinación del peso molecular de películas de PEBD, envejecidas y no envejecidas, mediante cromatografía de permeación en gel a alta temperatura**

Las muestras de películas de PEBD fabricadas con 1 % de d2w envejecidas y sin envejecer fueron enviadas al laboratorio Intertek Wilton por Symphony Environmental Ltd para el análisis de peso molecular. El peso molecular promedio

de la muestra no envejecida fue de 86 467 g/mol, después del envejecimiento por exposición a rayos UV durante 2 500 h el peso molecular disminuyó a 4 867 g/mol, es decir, una reducción del 94 % (Tabla 4).

Tabla 4

Resultados de peso molecular de muestras envejecidas por exposición a rayos UV

Descripción de la muestra	Tiempo de exposición (h)	Mw (g/mol)	Reducción (%)
PEBD con 1 % d2w sin envejecer	0	86 467	-
PEBD con 1 % d2w envejecido	2 500	4 867	94

Nota: Intertek India Private Limited (2021).

El envejecimiento térmico se realizó según la norma ASTM D5510. Este consistió en exponer a las muestras a 70 °C durante 420 h (2,5 semanas) para el análisis de peso molecular. El peso molecular promedio de la muestra no expuesta fue de 86 467 g/mol, mientras que, para las muestras expuestas por 420 h a 70 °C, el peso molecular fue 4 250 g/mol, es decir, una reducción del 95,1 % en el peso molecular (Tabla 5).

Tabla 5

Resultados de peso molecular de muestras envejecidas por exposición a 70 °C durante 420 h

Descripción de la muestra	Tiempo de exposición (h)	Mw (g/mol)	Reducción (%)
PEBD con 1 % d2w sin envejecer	0	86 467	-
PEBD con 1 % d2w envejecido	420	4 250	95,1

Nota: Intertek India Private Limited (2021). Mw = peso molecular promedio.

- **Determinación del grado de desintegración/fragmentación mediante el estudio de las propiedades físicas**

El grado de desintegración fue estudiado mediante la prueba de resistencia a la tracción y porcentaje de elongación, utilizando un equipo Tinius olsen H10KS con una celda de carga de 500 N. La muestra se sometió a una prueba de resistencia

a la tracción y porcentaje de elongación después de cada exposición a radiación UV.

La muestra de PEBD fabricada con 1 % de d2w no expuesta a rayos UV presentó un porcentaje de elongación de 120,6 % y resistencia a la tracción de 24,3 N (ver Tabla 6). Para la muestra expuesta a rayos UV por 1 000 y 2 000 h, los valores de porcentaje de elongación y resistencia a la tracción son mostrados en la Tabla 6.

Para la muestra expuesta a rayos UV durante 2 500 h, el porcentaje de elongación fue 4,1 % (inferior al 5 %) y la resistencia a la tracción fue 8,2 N. Esta muestra se rompió en pequeños pedazos (Figura 18).

Figura 18

Muestra de prueba después de 2 500 h de exposición a rayos UV



Nota: Intertek India Private Limited (2021).

Tabla 6

Resultados de porcentaje de elongación y resistencia a la tracción de muestra de PEBD con 1 % de d2w envejecida por exposición a rayos UV

Propiedad	Tiempo de exposición UV (h)			
	0	1 000	2 000	2 500
Porcentaje de elongación (%)	120,6	76,3	7,1	4,1
Resistencia a la tracción (N)	24,3	21,3	19,6	8,2

Nota: Intertek India Private Limited (2021).

- **Determinación del contenido de cenizas**

La muestra envejecida se incineró a 500 °C, por duplicado, hasta peso constante siguiendo procedimientos internos. El valor promedio del contenido de cenizas de la muestra fue 0,82 %. Para el cálculo del contenido de sólidos volátiles se usa la siguiente fórmula:

$$\text{Contenido de sólidos volátiles} = 100 - \text{Contenido de cenizas (\%)}$$

Por lo que, el valor del contenido de sólidos volátiles fue 99,18 %.

- **Determinación de contenido de elementos restringidos**

La determinación de la cantidad de elementos restringidos, metales pesados y sustancias tóxicas, fue realizada usando el método analítico ICP-MS (espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente). La verificación del cumplimiento del rango permitido de los elementos restringidos fue realizada considerando los requisitos de acuerdo con la norma EN 13432: 2000. El resultado de la determinación del contenido de elementos restringidos es mostrado en la Tabla 7.

Tabla 7

Contenido de elementos restringidos para muestra de PEBD con 1 % de d2w

Contenido de elemento restringido (mg.kg ⁻¹ o ppm)												
Elemento	Cd	Pb	Hg	Cr	Mo	Se	As	Co	Zn	Cu	Ni	F
Requisito	0,5	50	0,5	50	1	0,75	5	-	150	50	25	100
Resultado	<0,1	0,28	<0,2	3	<0,1	<0,4	<0,2	0,24	3,91	0,43	0,55	1

Nota: Intertek India Private Limited (2021).

(2) Resultados del nivel 2: biodegradación

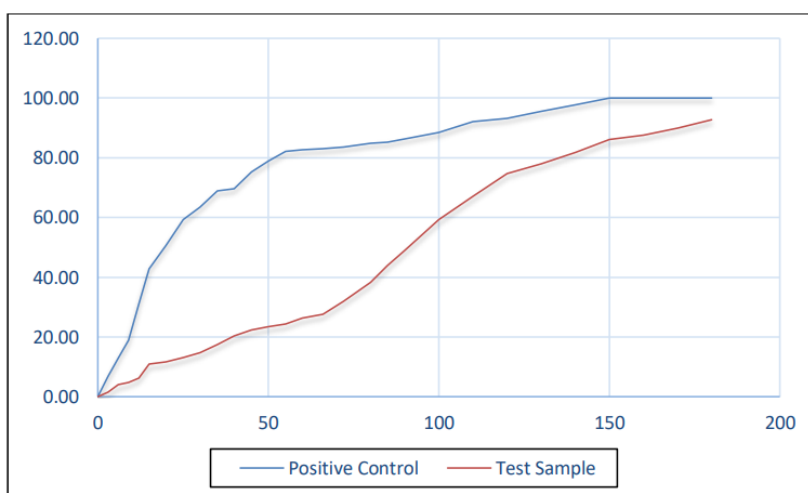
El estudio de la biodegradación de todo el producto fragmentado (nivel 1) a escala de laboratorio fue realizado utilizando la metodología de prueba de la norma ASTM D5338-15 (ASTM Internacional, 2021). Este método determina el grado de biodegradación aeróbica de materiales plásticos al exponerlos a un ambiente de

compostaje controlado en condiciones de laboratorio a una temperatura de $58\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ (ASTM Internacional, 2021).

Después de 180 días, la muestra de control (o de referencia) presentó un porcentaje de biodegradabilidad de más del 100 %, mientras que la muestra de PEBD con 1 % de d2w mostró un 92,74 % de porcentaje de biodegradabilidad (Figura 19).

Figura 19

Porcentaje de biodegradabilidad de las muestras de control y prueba



Nota: Intertek India Private Limited (2021).

(3) Resultados del nivel 3: ecotoxicidad

El nivel 3 consistió en un estudio de fitotoxicidad según el método de prueba Directriz 208 de la OECD (“evaluación de la aparición y el crecimiento de las plantas después de la exposición a la sustancia de prueba en el suelo”), y la Directriz 207 de la OECD que implica la prueba de toxicidad de lombrices de tierra. Estos métodos fueron utilizados para confirmar que los materiales biodegradados y compostados no introducen componentes tóxicos en el compost.

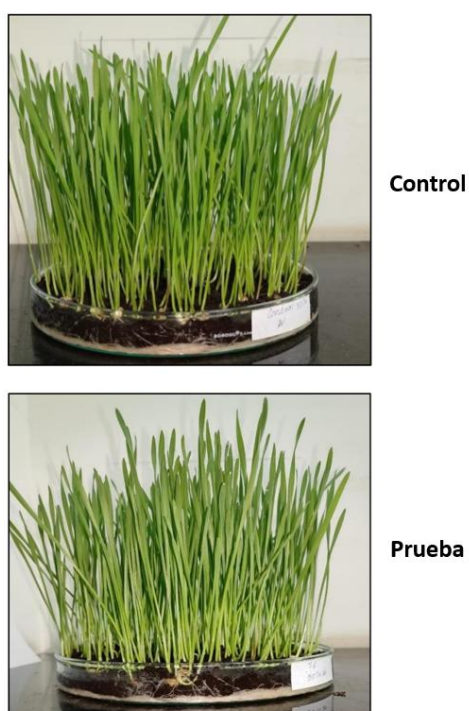
Los resultados de la evaluación del crecimiento de las plantas *Triticum aestivum* y *Brassica juncea* según la directriz 208 de la OECD son mostrados en la Figura 20 y 21, respectivamente. Esta prueba consistió en colocar semillas de *Brassica juncea* y *Triticum aestivum* en contacto con tierra tratada con la sustancia de ensayo

y se evalúan sus efectos entre 14 y 21 días después de que hayan emergido el 50% de las plántulas. Los criterios de valoración medidos son la evaluación visual del crecimiento de las plántulas, altura de los brotes y los efectos visuales perjudiciales (mortalidad, anomalías en el desarrollo de las plantas, etc.). Las mediciones se realizan semanalmente o con mayor frecuencia cuando se registra la aparición de las semillas y se comparan con las de las plantas de la muestra de control. La muestra de prueba (con material biodegradable) no mostró efecto o daño sobre el crecimiento de las plantas.

La Figura 22 muestra los resultados de la prueba de toxicidad de lombrices de tierra según el método de la directriz 207 de la OECD de la muestra de control y la muestra de prueba (con material biodegradable). La tasa de mortalidad de las lombrices fue de 0 % y el peso promedio de las lombrices aumentó en comparación con el suelo de muestra de control.

Figura 20

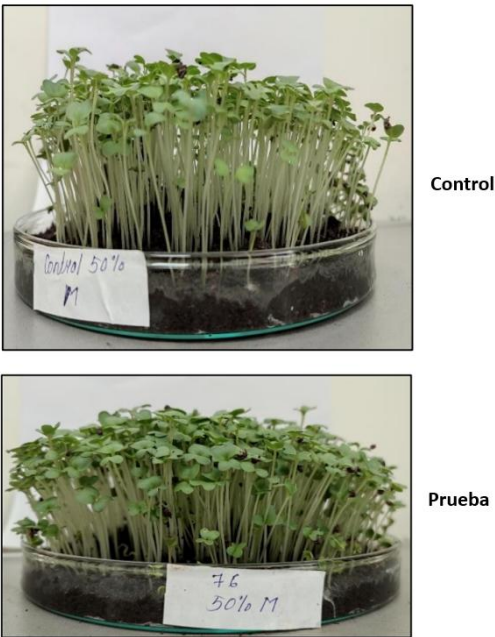
*Efecto del compost de muestra de control y muestra de prueba sobre el crecimiento de la planta *Triticum aestivum* según la Directriz 208 de la OECD*



Nota: Intertek India Private Limited (2021).

Figura 21

Efecto del compost de muestra de control y muestra de prueba sobre el crecimiento de la planta Brassica juncea según la directriz 208 de la OECD



Nota: Intertek India Private Limited (2021).

Figura 22

Prueba de toxicidad del gusano de tierra según el método OECD 207 de las muestras de control y prueba



Nota: Intertek India Private Limited (2021).

3.4.4 Evaluaciones y decisiones tomadas

Evaluaciones:

El estudio de plásticos oxobiodegradables fue realizado mediante la norma ASTM D6954-18.

Las muestras de plásticos oxobiodegradables fueron láminas de PEBD 1022 FN24 fabricada con 1 % de aditivo d2w, con espesor de 50 µm.

La evaluación de las muestras fue realizada según la norma ASTM D6954-18, la cual consta de tres niveles de estudio. El nivel 1 de la norma es el ensayo de la degradación por oxidación de acuerdo a la metodología de la norma ASTM D5208, en el cual la muestra debe alcanzar un peso molecular menor de 5 000 g/mol después de la degradación. El nivel 2 de la norma consiste en la determinación de la biodegradación. Para realizar el test de biodegradación se sigue la metodología de la norma ASTM D5988, durante un tiempo de ensayo de 180 días después del cual la muestra debe alcanzar un porcentaje de biodegradación mayor de 60 %. Finalmente, el nivel 3 de la norma consiste en la evaluación del efecto ecotoxicológico de los residuos de biodegradación de la muestra evaluada. Esta evaluación consiste en un estudio de fitotoxicidad según el método de prueba Directriz 208 de la OECD, que implica la evaluación de la aparición y el crecimiento de las plantas después de la exposición a la sustancia de prueba en el suelo y la prueba de toxicidad de lombrices de tierra según la Directriz 207 de la OECD.

El estudio de plásticos oxobiodegradables fue realizado en el laboratorio Intertek India Private Limited de la India.

Decisiones tomadas:

El presente estudio es crucial para asegurar que los productos de la empresa cumplen con las normativas ambientales vigentes (NTP 900.080:2015 y ley N° 30884) y para acceder a mercados internacionales con regulaciones ambientales exigentes y consumidores comprometidos con la sostenibilidad.

Los resultados obtenidos permitirán desarrollar nuevos productos y envases innovadores y sostenibles. Estos productos tienen un valor agregado ambiental, que permitirán diferenciarse de la competencia y captar nuevos nichos de mercado.

La evaluación de plásticos oxobiodegradables permite a la empresa posicionarse como líder en sostenibilidad, innovación y competitividad, contribuyendo a un futuro más limpio y responsable.

La comunicación transparente con los consumidores, sobre los resultados de este estudio, es clave para generar confianza y credibilidad empresarial.

3.4.5 Informes, reportes, instructivos, fichas técnicas y formatos, presentados como resultado de la actividad realizada

Para la evaluación de la efectividad de plásticos oxobiodegradables es usada la norma ASTM D6954-18 - “Exposición y prueba de plásticos que se degradan en el medio ambiente por una combinación de oxidación y biodegradación” (ASTM Internacional, 2018). Esta norma se trata de una guía, un compendio de información o una serie de opciones que no recomienda un curso de acción específico (ASTM Internacional, 2018). Así, una guía puede proponer una serie de opciones o instrucciones que ofrecen orientación sin recomendar un curso de acción definido. El propósito de este tipo de norma es ofrecer orientación basada en un consenso de puntos de vista, pero no establecer una práctica estándar a seguir en todos los casos.

La norma ASTM D6954-18 utiliza tres niveles: para acelerar y medir la pérdida de propiedades y peso molecular por procesos térmicos y de fotooxidación y otros procesos abióticos (nivel 1), medir la biodegradación (nivel 2) y evaluar el impacto ecológico de los productos de estos procesos (nivel 3). Estos 3 niveles son presentados como diagrama de flujo en la Figura 23.

1) Nivel 1: degradación abiótica

Utilizando condiciones aceleradas o en tiempo real, las muestras se someten a una combinación de oxígeno, calor y/o luz para reducir el peso molecular y/o las propiedades mecánicas. El nivel 1 mide la disminución del peso molecular resultante de la oxidación, que es indicativo de pérdida de las propiedades físicas debido a la oxidación (ASTM Internacional, 2018). La norma ASTM D5208 cubre los procedimientos específicos aplicables a la exposición ultravioleta (UV) de plásticos fotodegradables. (ASTM Internacional, 2018)

2) Nivel 2: biodegradación

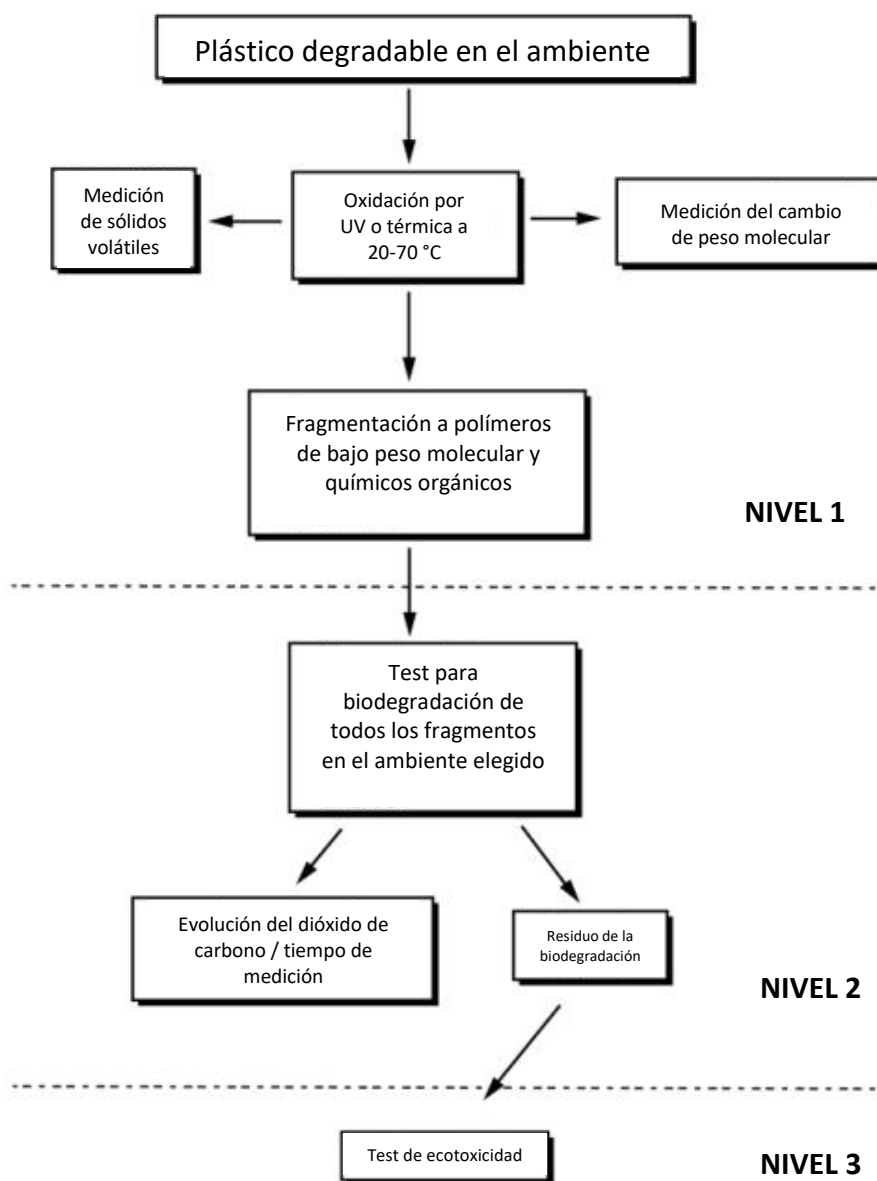
Los residuos del nivel 1 se utilizan en las pruebas de biodegradación en el entorno en el que se supone terminará el material después de su eliminación (compost, suelo, agua y vertedero). En el nivel 2, después de la degradación abiótica descrito en el nivel 1, todo el material degradado se somete a biodegradación según la metodología de la norma ASTM D5338-15 (ASTM Internacional, 2018). El perfil de la evolución del dióxido de carbono y el tiempo necesario para alcanzar los umbrales apropiados son registrados (ASTM Internacional, 2018).

3) Nivel 3: ecotoxicidad

Determinar el efecto de los residuos del nivel 2 sobre el crecimiento y la supervivencia de diferentes especies de plantas. El nivel 3 evalúa los impactos ecológicos de los residuos de biodegradación. Es básicamente una comparación del medio de prueba antes y después de la oxidación y la biodegradación. (ASTM Internacional, 2018)

Figura 23

Protocolo de la ASTM D6954-18 – “prueba de plásticos que se degradan en el medio ambiente por oxidación y biodegradación”



Fuente: Adaptado de ASTM Internacional (2018).

Según la norma ASTM D6954-18:

- En el nivel 1, las pruebas de oxidación acelerada no son indicadores de biodegradabilidad. Así, todos los residuos de fragmentos de los ensayos de envejecimiento acelerado deben ser recopilados y sometidos al test de

biodegradación para determinar el grado de biodegradabilidad. (ASTM Internacional, 2018)

Los metales pesados u otras sustancias preocupantes deben determinarse directamente en el material de prueba antes de la degradación para verificar que su concentración esté dentro de los límites aceptables según la lista de materiales tóxicos de la Agencia de Protección Ambiental (EPA). (ASTM Internacional, 2018)

- En el nivel 2, después que las muestras de prueba se expongan al proceso de degradación abiótica descrito en el nivel 1, todo el material de prueba debe someterse a pruebas de biodegradación según los métodos de prueba de ASTM International para entornos apropiados, siendo los métodos de prueba recomendados: ASTM D5988, D5338-15 y D5526. (ASTM Internacional, 2018)

ASTM D5988: Método de prueba estándar para determinar la biodegradación aeróbica en suelos de materiales plásticos o materiales plásticos residuales después del compostaje.

ASTM D5338-15: Método de prueba estándar para determinar la biodegradación aeróbica de materiales plásticos en condiciones de compostaje controladas. Equivalente a ISO 14855-1:2012 (Determinación de la biodegradabilidad aeróbica final de materiales plásticos en condiciones controladas de compostaje - Método mediante análisis del dióxido de carbono liberado - Parte 1: Método general).

ASTM D5526: Método de prueba estándar para determinar la biodegradación anaeróbica de materiales plásticos en condiciones aceleradas de vertederos. Equivalente a ISO 17556 (Determinación de la biodegradabilidad aeróbica final de materiales plásticos en el suelo midiendo la demanda de oxígeno en un respirómetro o la cantidad de dióxido de carbono desprendido).

Respecto a la normativa peruana:

Según El Peruano (2018), la ley N° 30884 – “ley que regula el plástico de un solo uso y los recipientes o envases descartables” indica:

La biodegradabilidad de los materiales plásticos debe ser demostrada mediante ensayos de laboratorio indicados en la norma técnica peruana NTP 900.080:2015 (capítulo 7 y apartados A1 y A2 del Anexo A). Esta norma recomienda el uso de metodologías según normativa internacional ISO o ASTM para la determinación del porcentaje de biodegradabilidad y las especificaciones indicadas en la norma UNE-EN 13432.

Según INDECOPI (2015), los requisitos y ensayos para determinar el porcentaje de biodegradabilidad de los envases o embalajes de plásticos son:

1) Caracterización

.- Determinación de sólidos volátiles (especificaciones según UNE-EN 13432).

Contenido de sólidos volátiles > 50 %

.- Determinación de metales pesados (especificaciones según UNE-EN 13432).

“Contenido de metales pesados: $Zn \leq 150$; $Cu \leq 50$; $Ni \leq 25$; $Cd \leq 0,5$; $Pb \leq 50$; $Hg \leq 0,5$; $Cr \leq 50$; $Mo \leq 1$; $Se \leq 0,75$; $As \leq 5$; $F \leq 100$ (cantidades en mg/kg sobre la sustancia seca)” (INDECOPI, 2015).

2) Biodegradabilidad

- Determinación del porcentaje de biodegradación (métodos de ensayo recomendados: ISO 14855, ISO 14851, ISO 14582, entre otros métodos alternativos de alcance internacional adecuados al tipo y propiedades del material de ensayo; y especificaciones según UNE-EN 13432).

- Porcentaje de biodegradación $\geq 90\%$ (especificado en la NTP 900.080:2015).

Capítulo IV. Discusión de resultados e implicancias

4.1. Contribuciones al desarrollo de la empresa

Los plásticos oxobiodegradables fueron evaluados mediante diferentes ensayos de laboratorio, siguiendo la norma ASTM D6954-18, los cuales demostraron técnica y científicamente que los productos plásticos fabricados con aditivo d2w son biodegradables y cumplen la normativa exigida en la ley N° 30884 - “ley que regula el plástico de un solo uso y los recipientes o envases descartables” (El Peruano, 2018) y la norma técnica peruana NTP 900.080:2015 - “Envases y embalajes. Requisitos de los envases y embalajes. Programa de ensayo y criterios de evaluación de biodegradabilidad” (INDECOPI, 2015).

4.2. Impacto de la propuesta (económico, tecnológico, ambiental)

La tecnología de plásticos oxobiodegradables ofrece una alternativa para abordar el problema de la contaminación por plásticos convencionales. Estos plásticos inteligentes están diseñados para descomponerse en fragmentos más pequeños al exponerse al oxígeno y la luz ultravioleta, y así poder ser biodegradados por los microorganismos, para formar agua, CO₂ y biomasa. La producción y comercialización de los plásticos oxobiodegradables ha creado nuevas oportunidades en el mercado de materiales sustentables, esto genera la investigación y desarrollo de nuevas tecnologías y procesos industriales.

Investigaciones científicas han estudiado diversas formas de modificar las estructuras moleculares de los polímeros para hacerlos más susceptibles a la degradación. Así, el desarrollo de aditivos químicos que aceleran la degradación de los polímeros ha sido un avance significativo en la ingeniería de materiales. Estos aditivos interactúan con el oxígeno y la luz ultravioleta, facilitando la ruptura de las cadenas moleculares del

plástico. Los plásticos con tecnología oxobiodegradable representan una alternativa a los plásticos convencionales. Estos ofrecen una posible solución para disminuir los plásticos en el ambiente, al biodegradarse en un tiempo relativamente corto.

Los plásticos convencionales generan microplásticos (fragmentos con diámetro de 5 mm o menos), que pueden persistir en el medio ambiente en altas concentraciones. Los microplásticos generados son persistentes porque su estado de oxidación es bajo y, por lo tanto, el peso molecular es alto (entre 100 000 y 300 000 g/mol) y los microorganismos no pueden acceder a ellos para obtener alimento o energía.

Por otro lado, los plásticos oxobiodegradables tiene como objetivo descomponer los polímeros en moléculas de oligómero más pequeñas, productos finales no tóxicos, que luego pueden biodegradarse en el medio ambiente. Los oligómeros son moléculas pequeñas con un peso molecular bajo (1 500 - 5 000 g/mol), ya no pueden ser considerados plásticos, estos pueden ser consumidos totalmente por los microorganismos y no persistirán en el ambiente. Existen diferentes artículos científicos y proyectos internacionales que demostraron que los plásticos oxobiodegradables son completamente biodegradables, e investigaron si el plástico oxobiodegradable o sus subproductos generan microplásticos o alguna toxicidad en el medio ambiente. Estos estudios demostraron la biodegradabilidad de los plásticos oxobiodegradables en sustancias más simples que pueden convertirse totalmente en biomasa, agua y CO₂ mediante la actividad microbiana.

Capítulo V. Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

- El producto evaluado, lámina de PEBD 1022 FN24 fabricada con 1 % de aditivo d2w (con espesor de 50 μm), es biodegradable y los residuos de la biodegradación no demuestran algún efecto ecotoxicológico, es decir que no resultan en residuos peligrosos para la vida y el ambiente. Estos resultados validan la tecnología oxobiodegradable d2w, de acuerdo a la ley N° 30884 y la norma técnica peruana NTP 900.080:2015.
- La normativa peruana, ley N° 30884 y NTP 900.080:2015, al igual que la norma internacional ASTM D6954-18, no incluyen una metodología para determinar la biodegradación; sin embargo, estas sugieren normas internacionales para realizar dicho estudio. La norma ASTM D5338-15, sugerida por la normativa peruana e internacional, es la norma utilizada por el laboratorio Intertek India Private Limited.
- El Perú no cuenta con un laboratorio acreditado que realice los ensayos de biodegradación. El prestigioso laboratorio Intertek India Private Limited de la India, miembro del grupo Intertek con más de 1 000 laboratorios en 100 países del mundo, fue el laboratorio internacional elegido para realizar el estudio de biodegradación.

5.2 Recomendaciones

- La industria que procesa y comercializa plásticos podrá encontrar en las láminas de PEBD 1022 FN24 fabricadas con 1 % de aditivo d2w (espesor de 50 μm), un material oxobiodegradable, una alternativa de sustitución de los plásticos convencionales y una opción más sostenible.

- Los investigadores, proveedores o fabricantes de plásticos oxobiodegradables podrán usar la metodología de la norma ASTM D5338-15, o su equivalente la norma ISO 14855-1:2012, para realizar el ensayo de biodegradación.
- Los proveedores o fabricantes de plásticos oxobiodegradables podrán contar con el laboratorio Intertek India Private Limited para realizar el ensayo de biodegradación.

Capítulo VI. Referencia bibliográfica

- Agencia Nacional de Investigación de la República de Francia (2019). *OXOMAR “Degradación, biodegradación y toxicidad de plásticos oxobiodegradables en los océanos”*
- ASTM International (2000). *ASTM D883 Standard Terminology Relating to Plastics*
- ASTM International (2018). *ASTM D6954-18 Standard Guide for Exposing and Testing Plastics that Degrade in the Environment by a Combination of Oxidation and Biodegradation*
- ASTM International (2021). *ASTM D5208-15 Standard Practice for Fluorescent Ultraviolet (UV) Exposure of Photodegradable Plastics*
- Comisión de Normalización y de Fiscalización de Barreras Comerciales no Arancelarias [INDECOPI]. (2015, 14 de mayo). *Norma Técnica Peruana NTP 900.079:2015 - “ENVASES Y EMBALAJES. Guía terminológica en el campo de biodegradabilidad”*
- Comisión de Normalización y de Fiscalización de Barreras Comerciales no Arancelarias [INDECOPI]. (2015, 14 de mayo). *Norma Técnica Peruana NTP 900.080:2015 ENVASES Y EMBALAJES. Requisitos de los envases y embalajes. Programa de ensayo y criterios de evaluación de biodegradabilidad*
- Decreto supremo N° 011-2010-MINAM (2010, 26 de agosto). Consejo de ministros. *El Peruano*
- <https://www.gob.pe/institucion/minam/normas-legales/317462-011-2010-minam>
- Distugraf RESPERÚ (2024). *Degradable*
- <https://degradable.com.pe/>
- Instituto del Futuro (2019). *Revalorizando el Plástico – Contaminación, tecnología, economía circular y la lucha contra el coronavirus* [White paper]
- Ley 30884 de 2018 (2018, 19 de diciembre). Congreso de la República. *El Peruano*

<https://www.gob.pe/institucion/congreso-de-la-republica/normas-legales/1122664-30884>

Rose, R. S., Richardson, K. H., Latvanen, E. J., Hanson, C. A., Resmini, M., Sanders, I. A. (2020). Microbial Degradation of Plastic in Aqueous Solutions Demonstrated by CO₂ Evolution and Quantification. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(4), 1176. <https://doi.org/10.3390/ijms21041176>

Symphony Environmental (2024). *Symphony Environmental Ltd*

<https://www.symphonyenvironmental.com/>

Symphony Environmental (2020). *d2w - Tecnología para degradación de embalajes con vida útil controlada* [Documento Interno]

Symphony Environmental (2021). *Protocolo analítico para Masterbatch d2w* [Documento Interno]

Vázquez-Morillas, A., Beltrán-Villavicencio, M., Alvarez-Zeferino, J. C., Osada-Velázquez, M. H., Moreno, A., Martínez, L., & Yañez, J. M. (2016). Biodegradation and Ecotoxicity of Polyethylene Films Containing Pro-Oxidant Additive. *Journal of Polymers and the Environment*, 24(3), 221-229. <https://doi.org/10.1007/s10924-016-0765-8>

Anexos

Anexo 1: Norma ASTM D6954-18 - “Exposición y prueba de plásticos que se degradan en el medio ambiente por una combinación de oxidación y biodegradación”

This international standard was developed in accordance with internationally recognized principles on standardization established in the Decision on Principles for the Development of International Standards, Guides and Recommendations issued by the World Trade Organization Technical Barriers to Trade (TBT) Committee.



Designation: D6954 – 18

Standard Guide for Exposing and Testing Plastics that Degrade in the Environment by a Combination of Oxidation and Biodegradation¹

This standard is issued under the fixed designation D6954; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

1. Scope*

1.1 This guide provides a framework or road map to compare and rank the controlled laboratory rates of degradation and degree of physical property losses of polymers by thermal and photooxidation processes as well as the biodegradation and ecological impacts in defined applications and disposal environments after degradation. Disposal environments range from exposure in soil, landfill, and compost in which thermal oxidation may occur and land cover and agricultural use in which photooxidation may also occur.

1.2 In this guide, established ASTM International standards are used in three tiers for accelerating and measuring the loss in properties and molecular weight by both thermal and photooxidation processes and other abiotic processes (Tier 1), measuring biodegradation (Tier 2), and assessing ecological impact of the products from these processes (Tier 3).

1.3 The Tier 1 conditions selected for thermal oxidation and photooxidation accelerate the degradation likely to occur in a chosen application and disposal environment. The conditions should include a range of humidity or water concentrations based on the application and disposal environment in mind. The measured rate of degradation at typical oxidation temperatures is required to compare and rank the polymers being evaluated in that chosen application to reach a molecular weight that constitutes a demonstrable biodegradable residue (using ASTM International biometer tests for CO₂ evolution appropriate to the chosen environment). By way of example, accelerated oxidation data must be obtained at temperatures and humidity ranges typical in that chosen application and disposal environment, for example, in soil (20 to 30°C), landfill (20 to 35°C), and composting facilities (30 to 65°C). For applications in soils, local temperatures and humidity ranges must be considered as they vary widely with geography. At least one temperature must be reasonably close to the end use

or disposal temperature, but under no circumstances should this be more than 20°C away from the removed that temperature. It must also be established that the polymer does not undergo a phase change, such as glass transition temperature (T_g) within the temperature range of testing.

1.4 The residues resulting from the oxidations are then exposed to appropriate disposal or use environments in standard biometric test methods to measure the rate and degree of biodegradation (Tier 2).

1.5 The data generated under Tier 1 evaluation and the determined time for the biodegradation in the chosen environment (Tier 2) allow ranking relative to other polymers evaluated under similar environmental conditions with this guide. The degree and time for biodegradation should be consistent with ASTM International methods, and any residues from the intermediate oxidation stage and from biodegradation must be shown to be environmentally benign and not persistent (Tier 3).

NOTE 1—The intended use of this guide is for comparison and ranking of data to aid in the design and development and the reduction of environmental impacts of polymers that require no more than 24 months to oxidize and biodegrade in the intended use and disposal options and create no harmful or persistent residues under the appropriate disposal conditions (for example, two seasons of crop-growing conditions in soil).

1.6 It is cautioned that the results of any laboratory exposure in this guide cannot be directly extrapolated to actual disposal environments; confirmation to real world exposure is ultimately required as with all ASTM International standards.

1.7 The values stated in SI units are to be regarded as standard.

NOTE 2—There is no ISO standard that is the equivalent of this standard guide.

1.8 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety, health, and environmental practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

1.9 *This international standard was developed in accordance with internationally recognized principles on standardization established in the Decision on Principles for the*

¹ This guide is under the jurisdiction of ASTM Committee D20 on Plastics and is the direct responsibility of Subcommittee D20.96 on Environmentally Degradable Plastics and Biobased Products.

Current edition approved March 1, 2018. Published March 2018. Originally approved in 2004. Last previous edition approved in 2013 as D6954 - 04 (2013). DOI: 10.1520/D6954-18.

*A Summary of Changes section appears at the end of this standard

Copyright © ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2950, United States

Anexo 2: Ley N° 30884 - “ley que regula el plástico de un solo uso y los recipientes o envases descartables”

El Peruano

Empleado Digitalmente por:
EDITORIA PERU
Fecha: 19/12/2018 04:31:37

El Peruano / Miércoles 19 de diciembre de 2018

NORMAS LEGALES

5

PROVINCIAS

MUNICIPALIDAD
PROVINCIAL
DEL CALLAO

D.A. N° 22-2018-MPC-AL.- Aprueban modificación del Texto Único de Procedimientos Administrativos aprobado por Ordenanza Municipal N° 027-2014 y dictan diversas disposiciones **207**

D.A. N° 24-2018-MPC-AL.- Prorrogan vigencia de beneficios de reducción de deudas otorgados mediante la Ordenanza N° 025-2018 **207**

SEPARATA ESPECIAL

MUNICIPALIDAD
DE CARABAYLLO

Ordenanza N° 400-2018-MDC y Acuerdo N° 407.- Ordenanza que aprueba los costos de los Arbitrios Municipales de Recolección de Residuos Sólidos, Barrido de Calles, Parques y Jardines y Serenazgo para el Ejercicio 2019

MUNICIPALIDAD

DE LURIGANCHO CHOSICA

Ordenanza N° 271-MDL y Acuerdo N° 400.- Ordenanza que establece la vigencia de los Importes de los Arbitrios Municipales de Limpieza Pública, Parques y Jardines Públicos y Serenazgo del año 2018, reajustados con el Índice de Precios al Consumidor - IPC para el Ejercicio Fiscal 2019

MUNICIPALIDAD

DE SAN BARTOLO

Ordenanza N° 261-2018/MDSB y Acuerdo N° 391.- Ordenanza que aprueba el régimen tributario de los arbitrios: recolección de residuos sólidos, barridos de calles y vías públicas, parques y jardines y serenazgo para el año 2019

MUNICIPALIDAD

DE SANTA MARÍA DEL MAR

Ordenanza N° 260-2018-MDSMM y Acuerdo N° 442.- Ordenanza que establecen el Régimen Tributario de los Arbitrios Municipales de Limpieza Pública, Parques y Jardines y Serenazgo para el Ejercicio 2019

PODER LEGISLATIVO

CONGRESO DE LA REPUBLICA

LEY N° 30884

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA

POR CUANTO:

EL CONGRESO DE LA REPÚBLICA;

Ha dado la Ley siguiente:

LEY QUE REGULA EL PLÁSTICO DE UN SOLO USO Y LOS RECIPIENTES O ENVASES DESCARTABLES

Artículo 1. Objeto y finalidad de la ley

- 1.1 El objeto de la ley es establecer el marco regulatorio sobre el plástico de un solo uso, otros plásticos no reutilizables y los recipientes o envases descartables de poliestireno expandido (tecnopor) para alimentos y bebidas de consumo humano en el territorio nacional.
- 1.2 La finalidad de la ley es contribuir en la concreción del derecho que tiene toda persona a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida, reduciendo para ello el impacto adverso del plástico de un solo uso, de la basura marina plástica, fluvial y lacustre y de otros contaminantes similares, en la salud humana y del ambiente.

Artículo 2. Reducción progresiva de bolsas de base polimérica

- 2.1 Los supermercados, autoservicios, almacenes, comercios en general u otros establecimientos similares, así como sus contratistas o prestadores de servicios, dentro del plazo de treinta y seis (36) meses contados desde la vigencia de la presente ley, deben reemplazar

en forma progresiva la entrega de bolsas de base polimérica no reutilizable, por bolsas reutilizables u otras cuya degradación no generen contaminación por microplástico o sustancias peligrosas y que aseguren su valorización.

- 2.2 Los establecimientos deben cobrar, por cada bolsa que entregan, como mínimo una suma equivalente al precio del mercado, debiendo informarse en forma explícita al consumidor.
- 2.3 El Ministerio del Ambiente efectuará acciones de educación, sensibilización, promoción de investigación, tecnología u otras relacionadas al consumo y/o producción sostenible del plástico y proyectos orientados a mitigar el impacto negativo en el ambiente y la contaminación producida por el plástico. El reglamento define la periodicidad, medios de información y demás mecanismos para la aplicación de esta norma.

Artículo 3. Prohibición del plástico de un solo uso y de recipientes o envases descartables

- 3.1 A los 120 días a partir de la entrada en vigencia de la presente ley se prohíbe:
 - a) La adquisición, uso, o comercialización, según corresponda, de bolsas de base polimérica; sorbetes de base polimérica tales como pajitas, pitillos, popotes, cañitas; y recipientes o envases de poliestireno expandido para bebidas y alimentos de consumo humano, en las áreas naturales protegidas, áreas declaradas patrimonio cultural o patrimonio natural de la humanidad, museos, en las playas del litoral y las playas de la Amazonia peruana; así como las entidades de la administración estatal previstas en el artículo 1 de la Ley 27444, Ley del Procedimiento Administrativo General.
 - b) La entrega de bolsas o envoltorios de base polimérica en publicidad impresa; diarios, revistas u otros formatos de prensa escrita; recibos de cobro de servicios sean públicos o privados; y toda información dirigida a los consumidores, usuarios o ciudadanos en general.

Anexo 3: Norma técnica peruana NTP 900.080:2015 - “Envases y embalajes. Requisitos de los envases y embalajes. Programa de ensayo y criterios de evaluación de biodegradabilidad”

NORMA TÉCNICA	NTP 900.080
PERUANA	2015

Comisión de Normalización y de Fiscalización de Barreras Comerciales no Arancelarias – INDECOPI Calle de La Prosa 104, San Borja (Lima 41) Apartado 145	Lima, Perú
--	------------

ENVASES Y EMBALAJES. Requisitos de los envases y embalajes. Programa de ensayo y criterios de evaluación de biodegradabilidad

PACKING. Requirements for packing. Testing scheme and evaluation criteria for biodegradability.

2015-05-14
1ª Edición

R.0058-2015/CNB-INDECOPI. Publicada el 2015-05-24	Precio basado en 14 páginas
I.C.S.: 13.030.99; 55.020	ESTA NORMA ES RECOMENDABLE
Descriptor: envase, compostable, biodegradación, ensayo, biodegradable	

© INDECOPI 2015

Anexo 4: Norma técnica peruana NTP 900.079:2015 - “Envases y embalajes. Guía terminológica en el campo de biodegradabilidad”

NORMA TÉCNICA PERUANA	NTP 900.079 2015
--------------------------	---------------------

Comisión de Normalización y de Fiscalización de Barreras Comerciales no Arancelarias - INDECOPI Calle de La Prosa 104, San Borja (Lima 41) Apartado 145	Lima, Perú
--	------------

ENVASES Y EMBALAJES. Guía terminológica en el campo de biodegradabilidad

Packing. Guide for vocabulary in the field of biodegradability

2015-05-14
1ª Edición

R.0058-2015/CNB-INDECOPI. Publicada el 2015-05-24	Precio basado en 23 páginas
I.C.S: 83.080.01	ESTA NORMA ES RECOMENDABLE
Descriptores: envase, embalaje, biodegradabilidad, terminología, vocabulario	

© INDECOPI 2015

Anexo 5: Reporte final: “Exposición y prueba de plásticos que se degradan en el medio ambiente mediante una combinación de oxidación y biodegradación ASTM D6954-18”, elaborado por el laboratorio Intertek India Private Limited para la empresa Symphony Environmental



Report No: MUM/000732A1/2020
Sample No.: 12097076
Report Date: 02/12/2021

FINAL REPORT

SYMPHONY ENVIRONMENTAL LTD

**Exposing and Testing Plastics that Degrade in the Environment
by a Combination of Oxidation and Biodegradation
ASTM – D6954**

ENVIRONMENTAL DIVISION LABORATORY, MUMBAI

INTERTEK INDIA PRIVATE LIMITED

IPL/17025/ENV/QE/7.8/01-03	Issue No.: 01	Amend No.: 00
	Issue Date.: 16.12.2019	Amend Date.: 00.00.0000