



TECNOLOGÍA DE PLÁSTICOS OXOBIODEGRADABLES

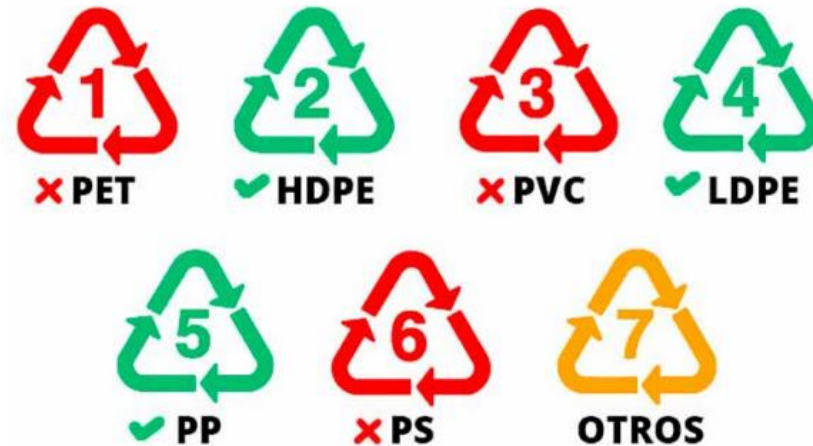
Dra. Marjorie Contreras

Lima, 25 de octubre de 2022

El plástico

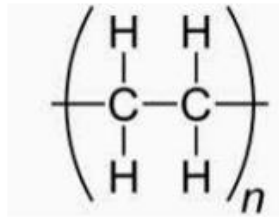
Definición (según norma ASTM D883 - Terminología relacionada con los plásticos)

Material que contiene como ingrediente esencial una o más sustancias poliméricas orgánicas de gran peso molecular, es sólido en su estado terminado y, en alguna etapa de su fabricación o procesamiento en artículos terminados, puede moldearse por flujo.

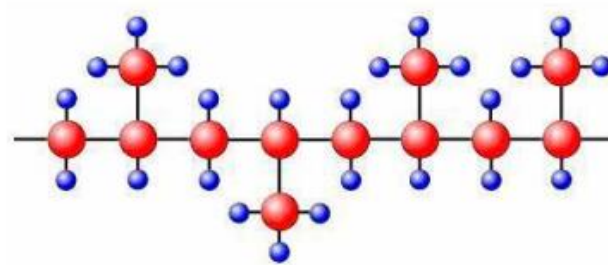
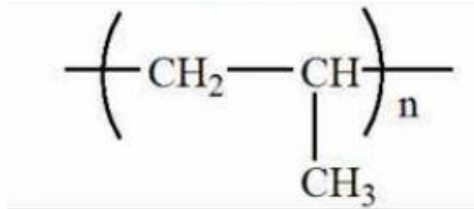


Estructura Química

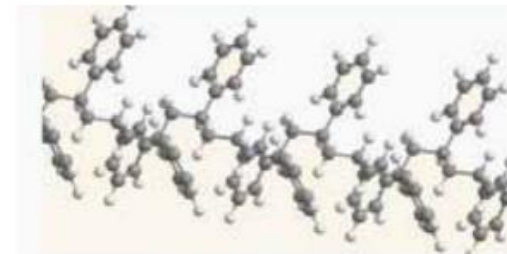
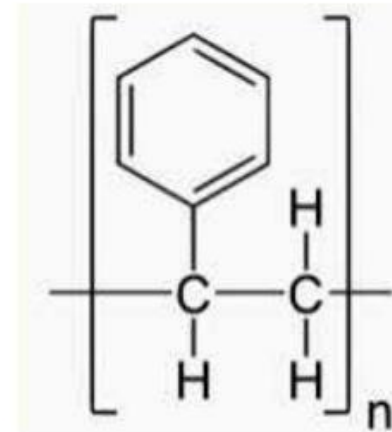
Polietileno



Polipropileno



Poliestireno



¡El plástico es fantástico!



- Ligero
- Flexible
- Resistente / Durable
- Sellable al calor
- Impermeable
- Imprimible
- Reciclable
- Reusable

...Pero tarda siglos en desaparecer del medio ambiente

¿Qué es la tecnología oxo-biodegradable?

Plástico al cual es añadido un catalizador que permite su oxidación. La degradación es identificada como resultado del fenómeno de oxidación y biodegradación en simultaneo o sucesivamente.

- Masterbatch agregado solo al 1% durante el proceso de fabricación.
- Convierte el plástico ordinario (al final de su vida útil, en presencia de oxígeno) en un material que es biodegradable en el ambiente abierto.
- Tiene las mismas características en cuanto a estética, resistencia y flexibilidad que los plásticos convencionales.
- Se volverá biodegradable dentro del tiempo aproximado especificado en la fabricación.



Definiciones comunidad europea



Comité Europeo de Normalización

Definiciones de informe técnico CEN / TR15351

1. **Oxo-degradable** se define como “la degradación resultante de la escisión oxidativa de macromoléculas”. (crea microplástico)
2. La **biodegradación** es la degradación de un elemento polimérico debido a fenómenos mediados por células.
3. La **oxo-biodegradación** es “degradación resultante de fenómenos oxidativos y mediados por células, ya sea simultánea o sucesivamente. **(no crea microplástico)**”

Nota: la película plástica de poliolefina oxo-biodegradable (polietileno, polipropileno y todas sus combinaciones), que incorpora un agente pro-degradante que garantiza una rápida escisión oxidativa de sus macromoléculas, se biodegradará por los fenómenos mediados por células (bacterias y hongos) en el medio ambiente mucho más rápidamente que el plástico ordinario. El calor y la radiación UV (luz solar) acelerarán el proceso abiótico, pero no son esenciales.

Plástico convencional vs oxo-biodegradable

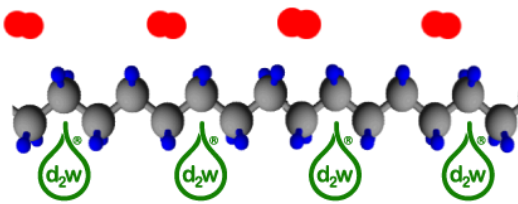
Embalaje convencional	Embalaje Oxo-Bio (OBP)
Plástico: es un material hecho de polímeros orgánicos de alto peso molecular.	Plástico oxo-biodegradable (OBP): está hecho de polímero(s) orgánico (s) de alto peso molecular más un catalizador inocuo a una concentración muy baja (menos del 0.1%)
Los plásticos convencionales son hidrófobos (repelen el agua) y no se pueden biodegradar.	El catalizador en OBP degradará el polímero, haciéndolo hidrofílico (absorbente de agua) y adecuado para la biodegradación.
El viento, la lluvia, el movimiento de las olas y la luz solar causan la erosión y la abrasión del plástico ordinario, fragmentándolo en pequeños pedazos, pero el peso molecular se mantiene prácticamente igual, por lo que se mantienen como plásticos.	El catalizador en OBP acelera el proceso natural de oxidación reduciendo el peso molecular del polímero, hasta que ya no es un plástico. No se requieren condiciones ambientales especiales, ya que el oxígeno está disponible en todas partes en ambientes abiertos.
La oxidación y la reducción del peso molecular ocurren muy, muy lentamente, por lo que pequeñas piezas de plástico persisten como "microplásticos" en el medio ambiente durante muchas décadas.	La reducción de peso molecular conduce a una pérdida continua de propiedades mecánicas y los materiales ahora son hidrófilos.
Los microorganismos no pueden consumir plástico hidrofóbico con un alto peso molecular, por lo que los plásticos convencionales persisten en la tierra y en el medio ambiente marino.	La reducción del peso molecular y la incorporación de oxígeno permiten que los microorganismos colonicen el material y empiecen a consumirlo en la tierra y en ambientes acuáticos. Una vez más, no son necesarias condiciones especiales, ya que las bacterias y los hongos son omnipresentes.
La basura plástica y los microplásticos se acumularán, lo que representa una amenaza para la vida silvestre en ambientes terrestres y marinos, y dejará un problema para las generaciones futuras.	Los productos OBP son asimilados por bacterias y hongos y los únicos residuos que quedan son el dióxido de carbono, el agua y la biomasa natural.
El plástico persiste y se acumula.	El plástico se recicla de nuevo en la naturaleza.

¿Cómo funciona la tecnología oxo-biodegradable?

Etapa 1

El efecto prodegradante del aditivo rápidamente rompe estas cadenas y genera radicales libres.

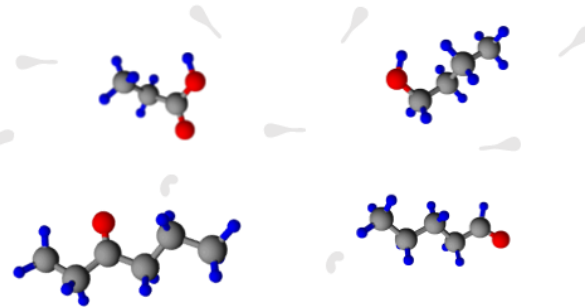
Prodegradante: estearato metálico, termo y foto oxidante



Etapa 2

Los radicales libres combinados con los átomos de oxígeno disponibles crearán peróxidos.

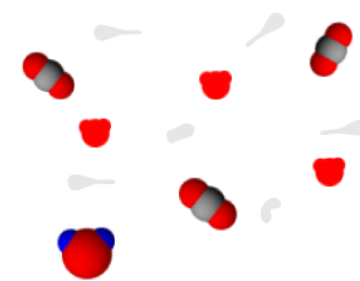
Oxidación: oxígeno / UV / calor
Cadena corta hidrofílica



Etapa 3

La cadena oxidada queda disponible para el consumo por microorganismos. Después del proceso de degradación los residuos inocuos son: CO₂, H₂O y Biomasa >95%, H₂O 1%, CO₂ 1%

CO₂ + H₂O + biomasa
Biodegradación



- Carbón
- Hidrógeno
- oxígeno

Microorganismo (Stenotrophomonas sp., Pseudomonas sp., Rhodococcus sp., Acinetobacter sp. etc)

¡No contiene metales pesados y no crea microplásticos!

¡Los fragmentos ya no son plástico!

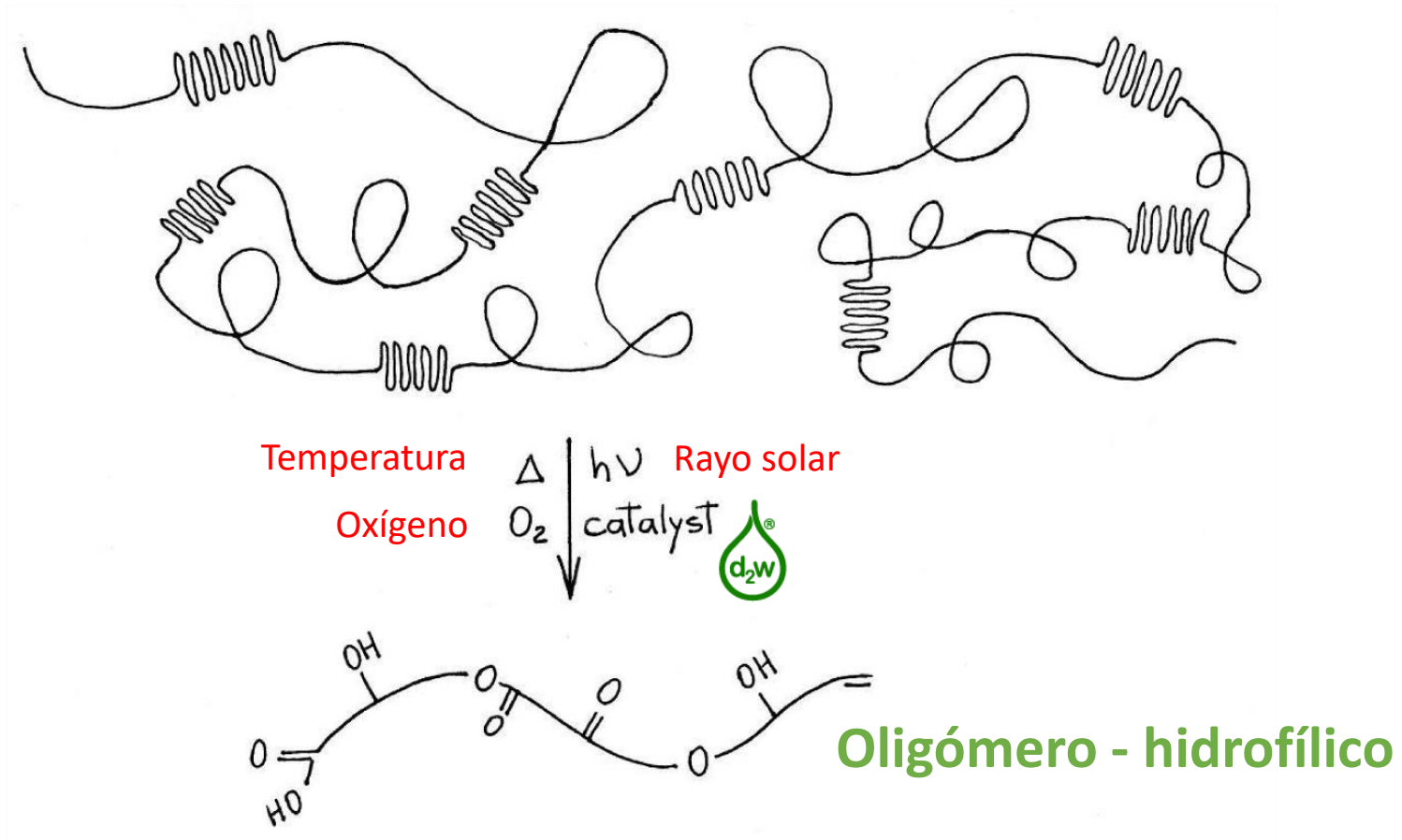
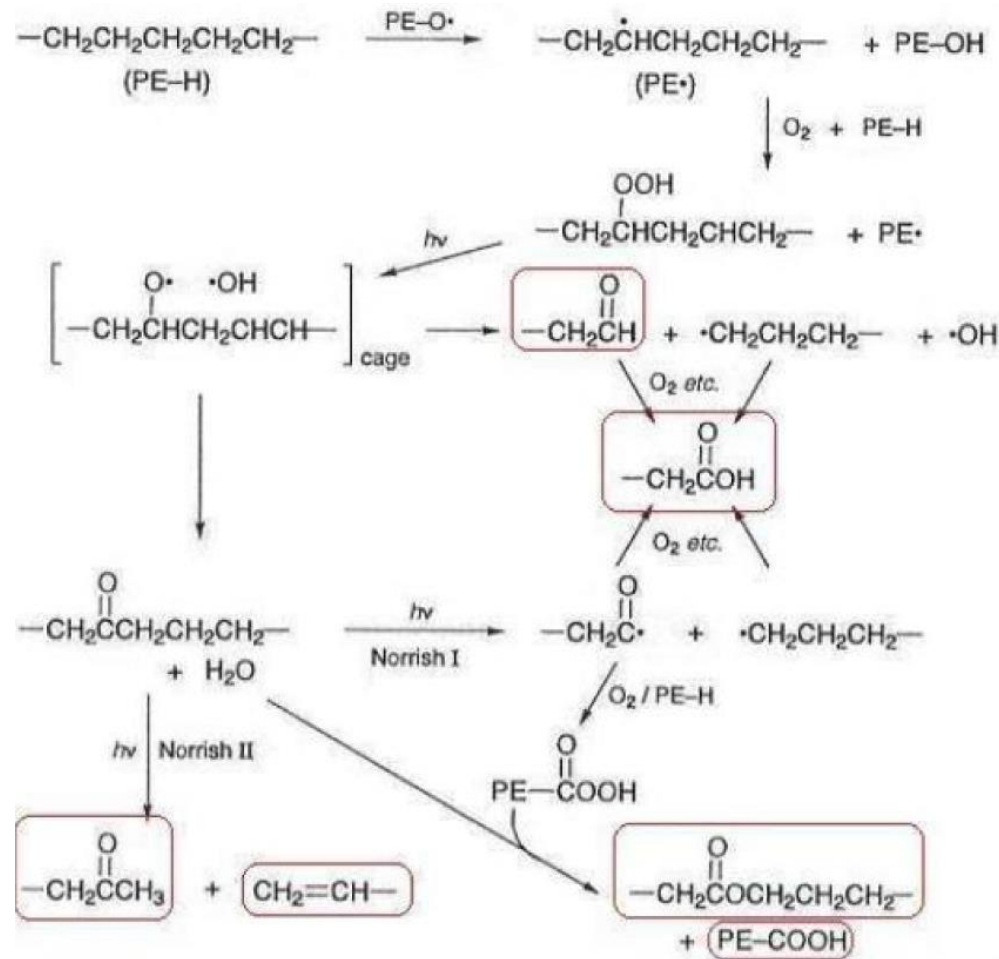


Foto-oxidación del polietileno, Gerald Scott, Inglaterra 1999

No deja microplásticos



Proveedores Internacionales



Proyecto ANR-OXOMAR

Degradación, biodegradación y toxicidad de Plásticos Oxo-biodegradables en los océanos



Estudio detallado sobre plásticos en el medio marino con el apoyo del Gobierno Francés en el Observatorio Oceanológico de Banyuls sur mer (LOMIC). Los participantes fueron:

- Symphony Environmental Ltd (Experiencia en tecnología biodegradable)
- Instituto LOMIC, Banyuls, Francia (Experiencia en microbiología marina)
- CNEP, Clermont-Ferrand, Francia (Experiencia en envejecimiento y durabilidad de polímeros)
- IFREMER (Monitoreo, uso y mejora de aguas costeras).
- Inst. Di Chemie de Clermond Ferrand (Universidad Blaise Pascal - Experiencia en microbiología)

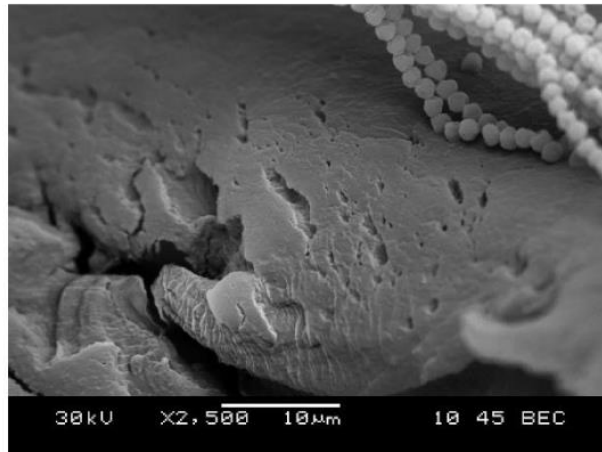
Este estudio de plástico oxo-biodegradable en el medio marino fue aprobado en 2016 y fue dirigido por el Dr. Jean-Francois Ghiglione en el LOMIC (que no tiene ninguna duda sobre la biodegradabilidad marina del plástico oxo). Este es un proyecto de 750.000 euros para crear nuevos conocimientos científicos y nuevos estándares de la industria.

Los resultados mostraron que los plásticos oxo-biodegradables se biodegradan en el agua de mar y lo hacen con una eficiencia significativamente mayor que los plásticos convencionales.

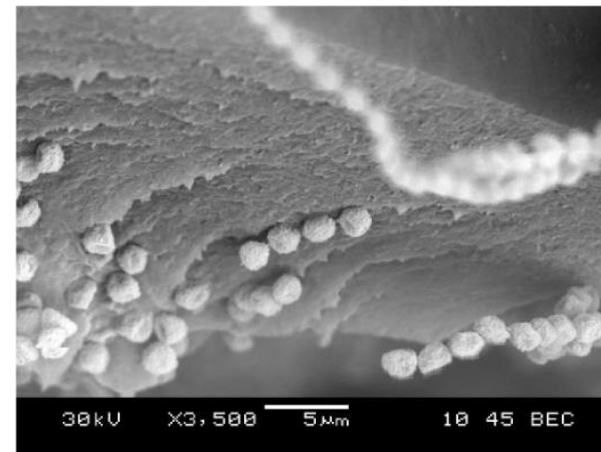


Una investigación sobre la biodegradación de varios plásticos por *Alcanivorax borkumensis* K. Richardson, R.S. Rose, I.A. Lijadoras 2016. Facultad de Ciencias Biológicas y Químicas, Universidad Queen Mary de Londres.

Bacterias ancladas al plástico y evidencia de picaduras por degradación biótica del plástico. Los orificios en el plástico tienen aproximadamente el mismo diámetro que una sola bacteria ($1\mu\text{m}$)



A. Borkumensis cultivada durante 200 días en oxo-LDPE envejecida durante 2 años bajo luz solar directa.

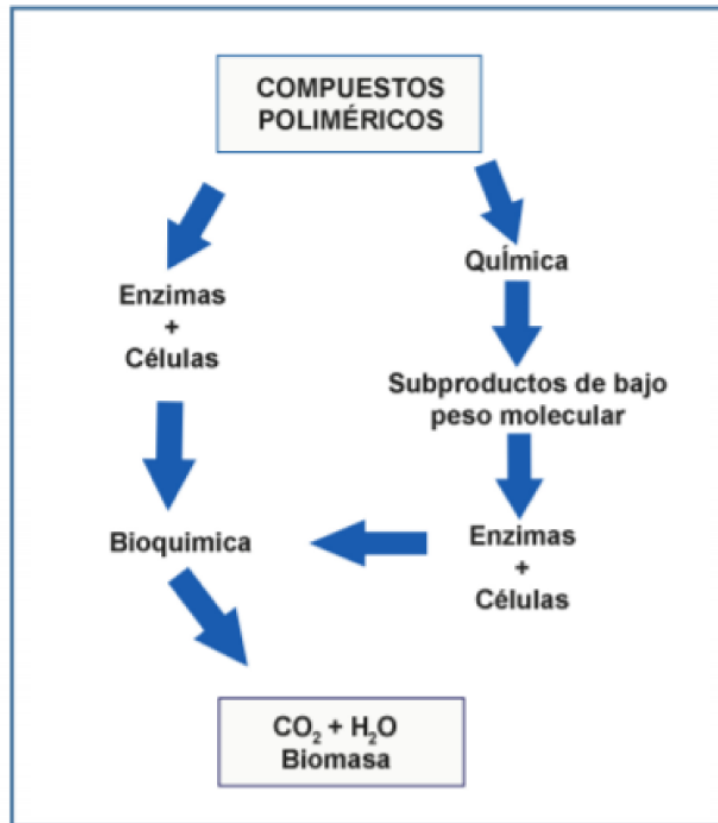


Bacterias en la superficie del plástico.

La colonización se ve claramente en el borde de la grieta, causada por estrés mecánico, en el plástico.

Mecanismo de degradación

Existen dos rutas principales que se muestran a continuación. las dos rutas generales conducen a la bio-asimilación



a) Degradación polimérica Celular
(Izquierda)

b) Degradación polimérica química
(Derecha)

c) Combinación de ambas rutas
(Izquierda y Derecha)

ESTAS SON LAS RUTAS GENERALES QUE CONDUCEN
A LA BIO ASIMILACIÓN DE LOS PRODUCTOS
DE BASE POLIMÉRICA

Términos y definiciones

C) Degradación mediante células:

1.- BIODEGRADACIÓN:

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

5.- BIODEGRADABLE:

Estado de un artículo polimérico que puede ser biodegradado según lo establecido en la NTP 900.080

E) Mecanismos de alteración particular

9.- OXO-DEGRADACIÓN (o degradación oxidativa):

Degradación identificada como resultado de una disociación oxidativa de macromoléculas

10.- OXO-BIODEGRADACIÓN:

Degradación identificada como resultado de un fenómeno oxidativo y producido por células, simultáneamente o sucesivamente.

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.

5. REQUISITOS

5.2 EVALUACIÓN

5.2.3 Biodegradabilidad: 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 (capítulo 7) y según los criterios y niveles de aceptación indicados en el apartado A.2 del Anexo A.

7. ENSAYOS DE LABORATORIO DE BIODEGRADABILIDAD

Solo deben utilizarse aquellos ensayos de biodegradabilidad que proporcionan información inequívoca sobre la biodegradabilidad última e inherente de un material de envase o embalaje o de sus componentes orgánicos significativos.

El ensayo de compostaje aerobio controlado, que es técnicamente idéntico a la Norma ISO 14855 debe ser empleado si no es inapropiado para el tipo y propiedades del material objeto del ensayo.

En el caso que sean necesario métodos alternativos debe utilizarse un método normalizado de ámbito internacional (véase el informe ISO/TR 15462), en particular las Normas ISO 14851 e ISO 14852 que están diseñadas para materiales poliméricos.

NORMAS DE REFERENCIA

ISO 14851:1999 Determinación de la biodegradabilidad aeróbica de materiales plásticos en medio acuoso. Método mediante la determinación de la demanda de oxígeno en un respirómetro cerrado

ISO 14852:1999 Determinación de la biodegradabilidad aeróbica de materiales plásticos en medio acuoso. Método por análisis de dióxido de carbono originado

ISO 14855-1:2012 Determinación de la biodegradabilidad aeróbica final de materiales plásticos en condiciones de compostaje controladas. Método por análisis del dióxido de carbono generado. Parte 1: Método general

ISO 14855-2:2007 Determinación de la biodegradabilidad aeróbica final de materiales plásticos en condiciones de compostaje controladas. Método por análisis del dióxido de carbono generado. Parte 2: Medición gravimétrica del dióxido de carbono liberado en un ensayo de laboratorio

ISO 14855-2:2007 Cor1:2009 Determinación de la biodegradabilidad aeróbica final de materiales plásticos en condiciones de compostaje controladas. Método por análisis del dióxido de carbono generado. Parte 2: Medición gravimétrica del dióxido de carbono liberado en un ensayo de laboratorio

ISO 10634:1995 Calidad del agua. Líneas directrices para la preparación y tratamiento de los compuestos orgánicos poco solubles en agua para la subsecuente evaluación de su biodegradabilidad en medio acuoso.

ISO 15985:2014 Plásticos. Determinación de la biodegradabilidad anaeróbica final y desintegración bajo condiciones de digestión anaeróbica de altos sólidos. Método de análisis de biogás liberados

ISO 14853:2005 Plásticos. Determinación de la biodegradabilidad anaeróbica final en sistemas acuosos. Método por medición de la producción de biogas

ISO 14853:2005 Cor1:2009 Plásticos. Determinación de la biodegradabilidad anaeróbica final en sistemas acuosos. Método por medición de la producción de biogas

ISO 11734:1995 Calidad del agua. Evaluación de la biodegradabilidad anaerobia “final” de los compuestos orgánicos con lodos en digestión. Método por medida de la producción de biogas.

ISO/TR 15462:2006 Calidad de agua. Selección de métodos para biodegradabilidad

Norma Técnica Peruana NTP 900.080:2015

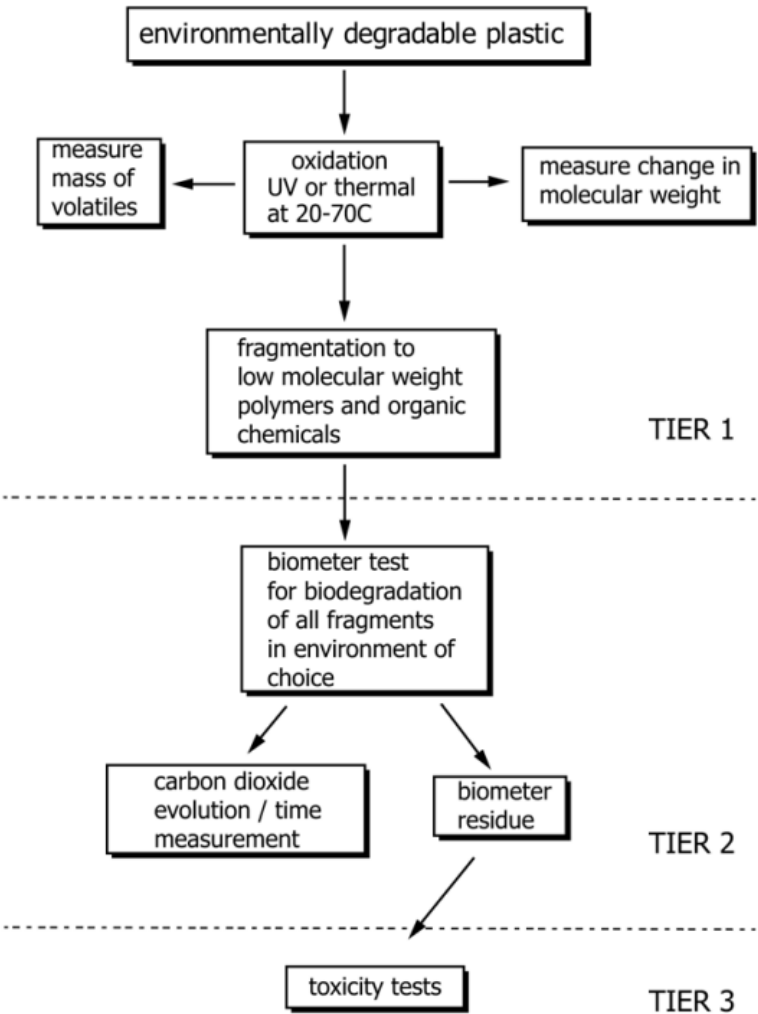
Requisitos y procedimientos para determinar la biodegradabilidad de los envases o embalajes

Procedimiento	Requisito
<u>Caracterización</u> 1. Información e identificación de SÓLIDOS VOLÁTILES 2. Determinación de METALES PESADOS	1. Contenido de sólidos volátiles $\geq 50\%$ 2. Contenido de metales pesados (mg/kg sobre la sustancia seca): $Zn \leq 150$; $Cu \leq 50$; $Ni \leq 25$; $Cd \leq 0,5$; $Pb \leq 50$; $Hg \leq 0,5$; $Cr \leq 50$; $Mo \leq 1$; $Se \leq 0,75$; $As \leq 5$; $F \leq 100$
<u>Biodegradación</u> 1. Ensayos de BIODERADACIÓN AEROBIA (en presencia de oxígeno)	1. Porcentaje de biodegradación $\geq 90\%$ (tiempo de ensayo máximo: 180 días)



Norma ASTM D6954 – 18

Guía para la Exposición y Prueba de Plásticos que se Degradan en el Medio Ambiente por una Combinación de Oxidación y Biodegradación



Peso molecular promedio (Mw)
de 5000 g/mol o menos

Porcentaje de biodegradación
mayor de 60%



LABORATORIO EUROFINS – España 2016

INFORME N°: 9882/16/6646-M1:
para Symphony Environmental Ltd.

- Peso molecular promedio de la muestra después de la oxidación: 3066 g/mol
- Porcentaje de sólidos volátiles: 99,62%
- Determinación de la cantidad de metales en la muestra de prueba y verificación del cumplimiento de los requisitos de acuerdo con la norma EN 13432: 2000.
Método analítico ICP-MS

parámetros	Referencia	16/1471/1
Humedad (% SMH)	4.40	0.45
Ntotal (% sms)	0.16	0.10
TOC (% sms)	42.16	68.30
Volátiles-sólidos (% SMS)	91.40	99.62
Forma y física APARIENCIA	polvo	/

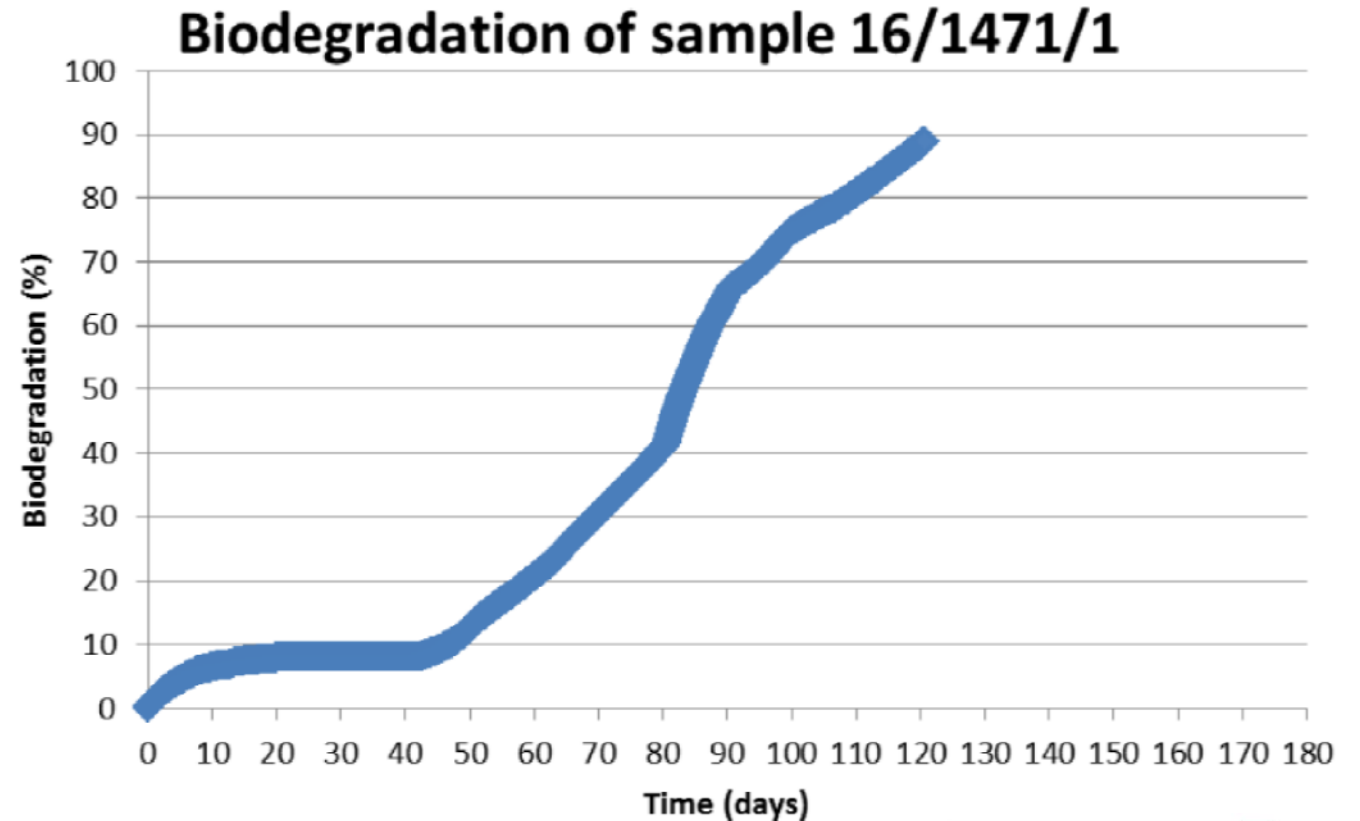
PARÁMETRO	UNIDADES	Cuantitativo Detección Límite	Valor medio	Requisito UNE EN 13432	CONFORMIDAD UNE EN 13432
Cr	mg / kg	0,05	1,77	50	SI
Ni	mg / kg	0,05	2,65	25	SI
Cu	mg / kg	0,05	0,75	50	SI
Zn	mg / kg	0,05	28,74	150	SI
As	mg / kg	0,05	0,09	5	SI
Se	mg / kg	0,05	0,27	0,75	SI
Mo	mg / kg	0,05	0,55	1	SI
Cd	mg / kg	0,05	0,07	0,5	SI
Hg	mg / kg	0,001	0,006	0,5	SI
Pb	mg / kg	0,05	1,40	50	SI
F	mg / kg	0,1	13,00	100	SI

LABORATORIO EUROFINS – Test de Biodegradación

INFORME N°: 9882/16/6646-M1:
para Symphony Environmental Ltd.

- Porcentaje de biodegradación del 88,90% en 121 días.
Método de prueba ISO 14855-1: 2012

Time	% Biodegradation, C ₂ O Evolution
10 days	6.40 %
30 days	7.90 %
50 days	12.46 %
70 days	30.48%
90 days	65.04%
121 days	88.90%



LABORATORIO EUROFINS – Test de Ecotoxicidad

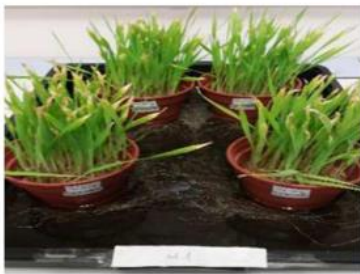
INFORME N°: 9882/16/6646-M1:
para Symphony Environmental Ltd.

- Los efectos ecotoxicológicos en plantas terrestres

Los resultados están de acuerdo con OECD Guideline 208

- Efectos sobre las lombrices
Ecotoxicological

El ensayo de toxicidad aguda con lombrices de tierra se considera exitosa de acuerdo con OECD 207

Prueba compost	planta de ray grass	Cebada
sustrato EE0, Einheits ERDE Clásico		
Blanco compost 17-0443-2		
M1 17-0443-1		

LABORATORIO INTERTEK INDIA – India 2021

INFORME N°: MUM/000732A1/2020
para Symphony Environmental Ltd.

- Peso molecular promedio de la muestra después de la oxidación: 4250 g/mol
- Contenido de Elementos Restringidos (mg kg⁻¹ o ppm) de una muestra de LDPE con 1 % d2w

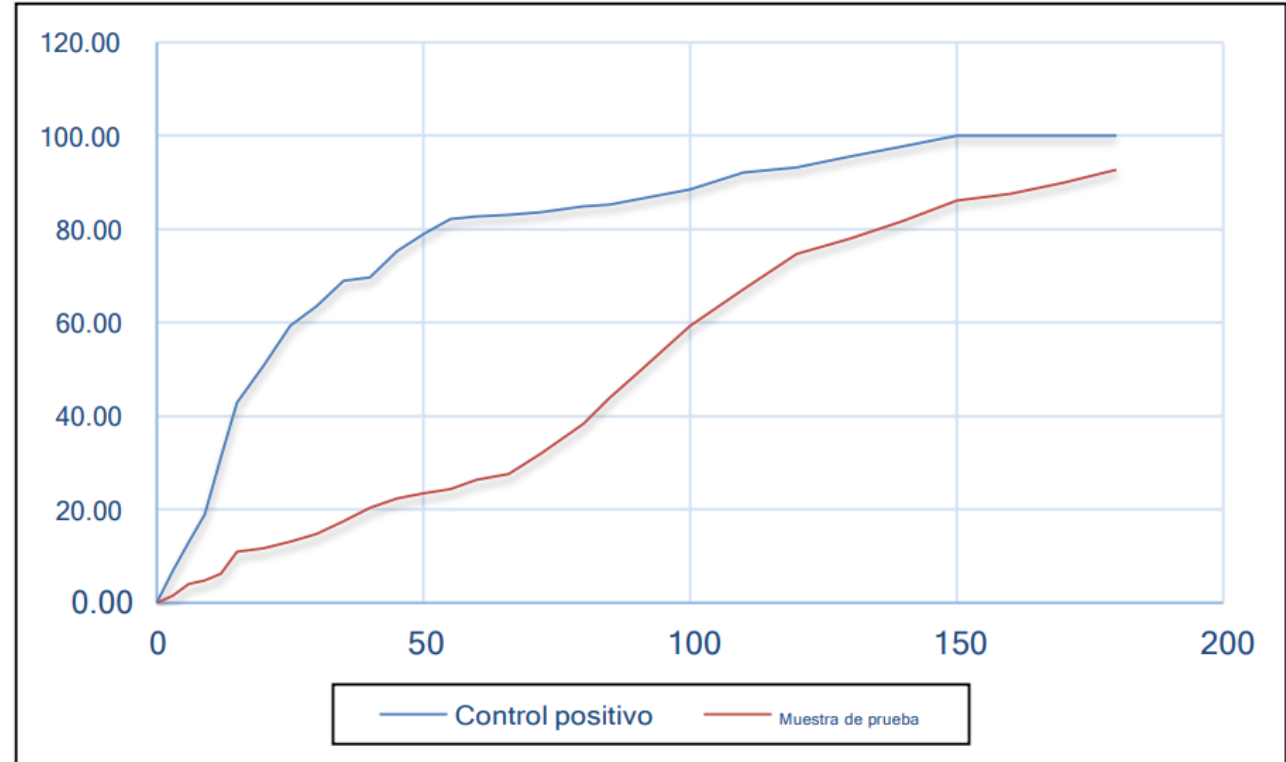
Descripción de la muestra	Tiempo de Exposición (Horas)	M _w (x ⁻) (g/mol)	Reducción (%)
LDPE 1022 FN24 con 1% d2w Sin envejecer	0	86 467	95,1%
LDPE 1022 FN24 con 1% d2w Envejecido	420	4250	

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

LABORATORIO INTERTEK INDIA – Test de Biodegradación

INFORME N°: MUM/000732A1/2020
para Symphony Environmental Ltd.

- Porcentaje de biodegradación del **92,74 % después de 180 días.**
Método de prueba ASTM D5338-15

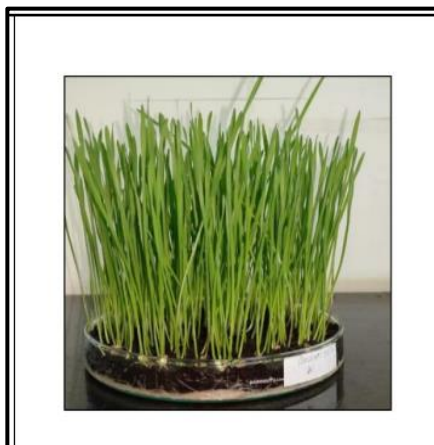


LABORATORIO INTERTEK INDIA – Test de Ecotoxicidad

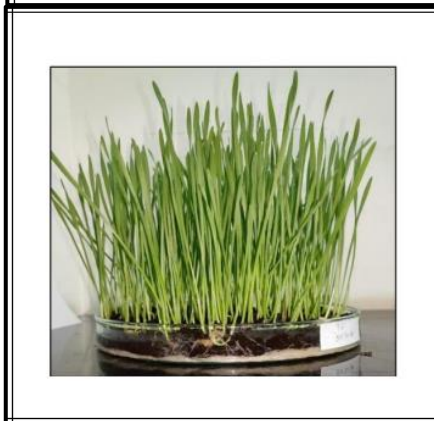
INFORME N°: MUM/000732A1/2020
para Symphony Environmental Ltd.

Prueba de Ecotoxicidad según:

- Método de prueba OECD 208 - implica la evaluación de la aparición y el crecimiento de plantas después de la exposición a la sustancia de prueba en el suelo
- Método de prueba OCDE 207 - implica la prueba de toxicidad por lombrices de tierra.



Control



Muestra

no mostró ningún efecto sobre el crecimiento de las plantas y no mostró daño visible a las plantas.



Control



Muestra

El peso promedio de las lombrices aumentó en comparación con el control.



¡Gracias por su atención!