



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

BIODEGRADACIÓN Y TOXICIDAD DE BOLSAS  
FABRICADAS CON ÁCIDO POLILÁCTICO

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
QUÍMICA FARMACÉUTICA BIÓLOGA

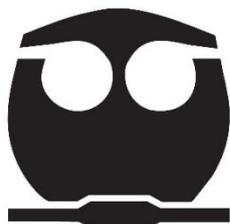
P R E S E N T A

KARLA BARRÓN HERNÁNDEZ

ASESOR DE TESIS

MARÍA NEFTALÍ ROJAS VALENCIA

CDMX, 2023





Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**JURADO ASIGNADO:**

PRESIDENTE: Prof. PEÑA ÁLVAREZ ARACELI PATRICIA

VOCAL: Prof. ROQUE VILLADA ESTELA

SECRETARIO: Prof. ROJAS VALENCIA MA NEFTALÍ

1er. SUPLENTE: Prof. HERNÁNDEZ GARCIADIEGO LUCÍA

2° SUPLENTE: Prof. DÁVILA MANZANILLA SILVIA GRACIELA

**SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:**

Laboratorio de Ingeniería Ambiental (LIA) del instituto de Ingeniería de la UNAM (edificio 5).  
También se hizo uso del Laboratorio de Biogeoquímica Ambiental (LABQA) del Instituto de Geografía, UNAM.

**ASESOR DEL TEMA:**

---

DRA. ROJAS VALENCIA MA NEFTALÍ

**SUSTENTANTE:**

---

BARRÓN HERNÁNDEZ KARLA

## AGRADECIMIENTOS

A mi mamá, Citlametzlli y a mi papá, Carlos, por haberme brindado todo su apoyo en esta etapa de mi vida, que, sin su ayuda, amor y dedicación, este proyecto no se hubiera concluido. Gracias por siempre confiar en mí.

A mi hermano, Axel, a mi Mito, por siempre estar a mi lado, por escucharme y por aconsejarme. Te quiero mucho. Gracias, hermano, por siempre estar a mi lado.

A mi mamá Guille, que desde que era una niña, siempre me has brindado todo su apoyo y cariño. Gracias por cuidarme.

A mi tía, Xochitl, por haberme motivado y apoyado incondicionalmente en esta etapa académica. Gracias por preocuparte por mí.

A mi primo, Andri; a mi prima, Ely; y a mi sobrina, Mely, quienes me han motivado en esta etapa. Gracias por siempre sacarme una sonrisa.

A mi novio, Ismael, por haberme escuchado, aconsejado y calmarme en todo momento. Gracias por siempre motivarme a ser mejor persona.

A mi tío Tiz<sup>(†)</sup> por siempre aconsejarme a ser mejor en la escuela, y a mi abuelo Chapis<sup>(†)</sup> por decirme que no dejara el estudio. Gracias a sus palabras he llegado a esta etapa académica.

Al resto de mi familia, por creer en mí.

A mi asesora, la Dra. Ma. Neftalí Rojas Valencia, por haberme aceptado en este tema y; que además me ayudó y motivó en este proyecto de investigación. Gracias por su dedicación.

A mis sinodales, la Dra. Araceli Patricia Peña Álvarez y la Q. Estela Roque Villada, que sin su ayuda este proyecto no pudiera culminarse. Gracias por sus sugerencias y por su dedicación.

## ÍNDICE

<b>LISTA DE FIGURAS</b>	<b>1</b>
<b>LISTA DE TABLAS</b>	<b>3</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN</b>	<b>5</b>
<b>II. ANTECEDENTES</b>	<b>8</b>
<b>2.1. Historia y contaminación de los plásticos</b>	<b>9</b>
<b>2.2. Contaminación y peligro de las bolsas plásticas</b>	<b>10</b>
<b>2.3. Tipos de bolsas</b>	<b>11</b>
2.3.1. Bolsa plástica (polietileno)	11
2.3.2. Bolsa compostable	12
2.3.3. Bolsa degradable	12
2.3.4. Bolsa biodegradable	13
<b>2.4. Biopolímeros</b>	<b>13</b>
2.4.1. Biopolímeros extraídos directamente de la biomasa	14
2.4.1.1. Biopolímeros basados en almidón	14
2.4.1.2. Biopolímeros basados en celulosa	14
2.4.2. Polímeros producidos por los organismos directamente	14
2.4.2.1. Poli(hidroxialcanoatos) (PHA):	14
2.4.3. Biopolímeros obtenidos a partir de monómeros bioderivados	15
2.4.3.1. Aceites vegetales	15
2.4.3.2. Ácido poliláctico	15
<b>2.5. Fabricantes de bolsas hechas a base de ácido poliláctico en México</b>	<b>16</b>
<b>2.6. Biodegradabilidad</b>	<b>21</b>
2.6.1. Mecanismos de biodegradación	21
2.6.2. Clases de polímeros biodegradables	22
2.6.3. Degradación del ácido poliláctico	22
2.6.3.1. Biodegradación por <i>Tenebrio molitor</i>	24
<b>2.7. Métodos para medir la biodegradación de los plásticos</b>	<b>25</b>
<b>2.8. Otros métodos para medir la degradación</b>	<b>27</b>
<b>2.9 <i>Lactuca sativa</i> y pasto (variedad terreno seco)</b>	<b>28</b>
<b>III. OBJETIVOS</b>	<b>30</b>
3.1. Objetivo general	30
3.2. Objetivos particulares	30
<b>IV. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL</b>	<b>31</b>
4.1. Muestra y población	31
4.2. Biodegradación de los grupos de bolsas mediante las larvas de <i>Tenebrio molitor</i>	34
4.3. Germinación, elongación y toxicidad en <i>Lactuca sativa</i> y pasto (variedad terreno seco)	36
4.4. Composición química de los grupos de bolsas	38
<b>V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>39</b>
5.1. Consumo de los grupos de bolsas y control, pérdida o ganancia de peso y sobrevivencia de las larvas <i>Tenebrio molitor</i>	39
5.2. Semillas de <i>Lactuca sativa</i> y pasto (variedad terreno seco) expuestas a diferentes grupos de bolsas	47
5.3. Composición química de los grupos de bolsa	53

<b>VI. CONCLUSIONES</b>	<b>63</b>
<b>VII. REFERENCIAS</b>	<b>65</b>
<b>VIII. ANEXO</b>	<b>73</b>
8.1 ANEXO I	73
8.2. ANEXO II	88
8.3. ANEXO III	101

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Clasificación de los biopolímeros.....	14
Figura 2. Etiqueta OK compost INDUSTRIAL (Europa) .....	18
Figura 3. Etiqueta OK compost HOME (Europa).....	18
Figura 4. Etiqueta OK biodegradable SOIL (Europa) .....	18
Figura 5. Logotipo Seedling .....	19
Figura 6. Certificado DIN-Geprüft (Europa) .....	19
Figura 7. Certificado de TÜV Rheinland - DIN CERTCO (Europa).....	19
Figura 8. Etiqueta compostable BPI (EE. UU.) .....	20
Figura 9. Logotipo de verificación de compostabilidad doméstica (Australia) .....	20
Figura 10. Certificado Compostable CIC (Europa). .....	20
Figura 11. Métodos de degradación del PLA .....	22
Figura 12. Bolsas hechas a base de ácido poliláctico. a) Ecohappi b) Wecare c) Bioelementos d) Anguiplast.....	31
Figura 13. Bolsas recortadas en cuadros de aproximadamente 1.5 de lado .....	32
Figura 14. Salvado de trigo.....	32
Figura 15. Larvas de <i>Tenebrio molitor</i> .....	33
Figura 16. Envases de HDPE con tapa e identificados de acuerdo con el nombre de muestra y réplica.....	33
Figura 17. Semillas de lechuga y pasto respectivamente .....	33
Figura 18. Soluciones obtenidas de cada grupo de bolsa. De izquierda a derecha, H <sub>2</sub> O, ZnSO <sub>4</sub> , GBC1, GBC2, GBC3 y GBNC4 .....	34
Figura 19. Envases con larvas y muestra, acomodados por grupo de bolsa (de arriba hacia abajo) y réplica (de izquierda a derecha).....	35
Figura 20. Clasificación de 18 cajas Petri para cada tipo de semilla. De izquierda a derecha; réplicas, de arriba hacia abajo; grupos de bolsa y controles.....	36
Figura 21. Estadios por los que atraviesan las semillas a) <i>Lactuca sativa</i> y b) pasto (variedad terreno seco) durante el ensayo de germinación y toxicidad .....	37
Figura 22. Porcentaje de consumo de los diferentes grupos de bolsa y control realizado por las larvas <i>Tenebrio molitor</i> .....	40
Figura 23. Bolsa del GBC3 consumida por las larvas <i>Tenebrio molitor</i> .....	41
Figura 24. Curva de peso promedio de una larva de cada grupo de bolsa llevado a cabo durante 7 semanas .....	42
Figura 25. Mudas de piel de las larvas control .....	43
Figura 26. Curva de sobrevivencia de las larvas <i>Tenebrio molitor</i> .....	44
Figura 27. Estadio de las larvas del GBC1 durante 49 días .....	44

Figura 28. Estadio de las larvas del GBC2 durante 49 días .....	45
Figura 29. Estadio de las larvas del GBC3 durante 49 días .....	45
Figura 30. Estadio de las larvas del GBNC4 durante 49 días .....	46
Figura 31. Estadio de las larvas del grupo control durante 49 días.....	46
Figura 32. Semillas germinadas. a) Semillas de lechuga expuestas a las soluciones de los grupos de bolsa, de arriba hacia abajo: GBC1, GBC2, GBC3, GBNC4, control negativo y control positivo; de izquierda a derecha: réplica 1, réplica 2 y réplica 3. b) Semillas de pasto expuestas a las soluciones de los grupos de bolsa, de arriba hacia abajo: GBC1, GBC2, GBC3, GBNC4, control negativo y control positivo; de izquierda a derecha: réplica 1, réplica 2 y réplica 3.....	47
Figura 33. Porcentaje de inhibición y estímulo en la elongación del hipocótilo y radícula de las semillas de lechuga expuestas a los diferentes grupos de bolsa.....	51
Figura 34. Porcentaje de inhibición y estímulo en la elongación del hipocótilo y radícula de las semillas de pasto expuestas a los diferentes grupos de bolsa.....	52
Figura 35. Espectro de absorción infrarroja de cada grupo de bolsa y del PLA. En color azul rey se encuentra la banda del GBC1, en color morado la banda del GBC2, en color verde la banda del GBC3, en color turquesa la banda del GBNC4 y en color rojo la banda del PLA. ....	53
Figura 36. Espectro infrarrojo de GBC1 y GBC2 representando con números las bandas de interés. ....	54
Figura 37. Espectro infrarrojo de una muestra hecha de ácido poliláctico al 100% .....	55
Figura 38. Espectro infrarrojo de almidón (Aguayo y Vargas, 2017).....	56
Figura 39. Espectro infrarrojo del PBAT (Siyamak et al., 2012) .....	56
Figura 40. Espectro infrarrojo del GBC3 representando con números las bandas de interés.....	57
Figura 41. Espectro infrarrojo del polietileno de alta densidad (Silverstein et al., 2014, p. 85).....	58
Figura 42. Espectro infrarrojo del GBC4, representando con números las bandas de interés.....	58
Figura 43. Espectroscopía infrarroja del carbonato de calcio (Aguayo y Vargas, 2017). ....	59
Figura 44. Concentraciones de metales en mg/kg presentes en los grupos de bolsa .....	60
Figura 45. Concentraciones de metales en mg/kg obtenidos en los grupos de bolsa y concentración máxima de metales en mg/kg que deben cumplir los tipos de composta .....	61

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Algunas marcas de bolsas hechas a base de ácido poliláctico .....	17
Tabla 2. Claves de identificación de muestra .....	32
Tabla 3. Número de pupas y larvas muertas obtenidas al término de las 7 semanas (n=20 por cada réplica) .....	39
Tabla 4. Porcentaje de consumo de los diferentes grupos de bolsa y control consumida por las larvas <i>Tenebrio molitor</i> .....	39
Tabla 5. Porcentaje de pérdida o ganancia de peso de una larva de <i>Tenebrio molitor</i> al consumir los diferentes grupos de bolsa .....	41
Tabla 6. Porcentaje de sobrevivencia de las larvas <i>T. molitor</i> al consumir los diferentes grupos de bolsa y control .....	43
Tabla 7. Promedio y porcentaje de germinación de las semillas de <i>Lactuca sativa</i> de cada grupo de bolsa.....	48
Tabla 8. Promedio y porcentaje de germinación de las semillas de pasto variedad terreno seco de cada grupo de bolsa.....	49
Tabla 9. Promedio y porcentaje de la elongación de las semillas de lechuga en los grupos de bolsas.....	50
Tabla 10. Promedio y porcentaje de inhibición de la elongación de las semillas de pasto en los grupos de bolsas .....	52
Tabla 11. Descripción de cada compuesto presente en el espectro de absorción del GBC1 y GBC2 .....	54
Tabla 12. Descripción de cada compuesto presente en el espectro de absorción del GBC3. ....	57
Tabla 13. Descripción de cada compuesto presente en el espectro de absorción del GBNC4. ....	59
Tabla 14. Concentraciones máximas de metales pesados en (mg/kg) obtenidas de cada grupo de bolsa mediante la Espectroscopía de Emisión Atómica con Plasma de Acoplamiento Inductivo (ICP-OES).....	60
Tabla 15. Concentraciones máximas de elementos traza en (mg/kg) en base seca, que deben cumplir los tipos de composta. ....	61
Tabla A1- 1. Registro de masa inicial y final de las muestras y control consumidas por las larvas <i>Tenebrio molitor</i> .....	73
Tabla A1- 2. Registro de peso de una larva promedio del GBC1 durante 7 semanas. ....	73
Tabla A1- 3. Registro de peso de una larva promedio del GBC2 durante 7 semanas. ....	74
Tabla A1- 4. Registro de peso de una larva promedio del GBC3 durante 7 semanas. ....	74
Tabla A1- 5. Registro de peso de una larva promedio del GBNC4 durante 7 semanas.....	75
Tabla A1- 6. Registro de peso de una larva promedio del grupo control durante 7 semanas.....	75

Tabla A1- 7. Porcentaje de peso promedio de una larva de los grupos GBC1, GBC2, GBC3, GBNC4 y CONTROL de cada semana. ....	76
Tabla A1- 8. Registro de temperatura ambiental de cada semana .....	77
Tabla A1- 9. Registro de sobrevivencia de las larvas de <i>Tenebrio molitor</i> del GBC1 .....	77
Tabla A1- 10. Registro de sobrevivencia de las larvas de <i>Tenebrio molitor</i> del GBC2 .....	79
Tabla A1- 11. Registro de sobrevivencia de las larvas de <i>Tenebrio molitor</i> del GBC3 .....	81
Tabla A1- 12. Registro de sobrevivencia de las larvas de <i>Tenebrio molitor</i> del GBNC4 .....	83
Tabla A1- 13. Registro de sobrevivencia de las larvas de <i>Tenebrio molitor</i> del grupo control .....	85
Tabla A1- 14. Registro de temperatura ambiental de cada dos días .....	87
Tabla A2- 1. Número de semillas de lechuga germinadas .....	88
Tabla A2- 2. Numero de semillas de pasto germinadas .....	88
Tabla A2- 3. Elongación de la radícula e hipocótilo de las semillas de lechuga en el GBC1 .....	89
Tabla A2- 4. Elongación de la radícula e hipocótilo de las semillas de lechuga en el GBC2 .....	90
Tabla A2- 5. Elongación de la radícula e hipocótilo de las semillas de lechuga en el GBC3 .....	91
Tabla A2- 6. Elongación de la radícula e hipocótilo de las semillas de lechuga en el GBNC4 .....	92
Tabla A2- 7. Elongación de la radícula e hipocótilo de las semillas de lechuga en el control positivo .....	93
Tabla A2- 8. Elongación de la radícula e hipocótilo de las semillas de lechuga en el control negativo .....	94
Tabla A2- 9. Elongación del tallo y raíz de las semillas de pasto en el GBC1 .....	95
Tabla A2- 10. Elongación del tallo y raíz de las semillas de pasto en el GBC2 .....	96
Tabla A2- 11. Elongación del tallo y raíz de las semillas de pasto en el GBC3 .....	97
Tabla A2- 12. Elongación del tallo y raíz de las semillas de pasto en el GBNC4 .....	98
Tabla A2- 13. Elongación del tallo y raíz de las semillas de pasto en el control positivo .....	99
Tabla A2- 14. Elongación del tallo y raíz de las semillas de pasto en el control negativo .....	100
Tabla A3- 1. Concentración de metales pesados presentes en los grupos de bolsas .....	101

## I. INTRODUCCIÓN

La contaminación por plásticos se ha convertido en uno de los retos medioambientales más acuciantes de nuestro tiempo. La producción e incineración de plásticos contribuye en gran medida al cambio climático. Los residuos plásticos también ahogan nuestras vías fluviales, contaminan nuestros océanos, matan la vida silvestre y se infiltran en nuestra cadena alimentaria. Si la tendencia actual continúa, en 2050 habrá unos 12 000 millones de toneladas de residuos plásticos en nuestros vertederos o contaminando el medio ambiente, el equivalente a casi 80 millones de ballenas azules (The Nature Conservancy, 2021).

Los plásticos realmente no se descomponen; simplemente se rompen. Con el tiempo, el sol y el calor convierten lentamente los plásticos en piezas cada vez más pequeñas hasta que finalmente se convierten en lo que se conoce como microplásticos. Estos fragmentos plásticos microscópicos, de no más de 5 milímetros de largo, son difíciles de detectar y están en todas partes. Algunos microplásticos son incluso pequeños por diseño, como las microperlas utilizadas en los exfoliantes faciales o las microfibras en la ropa de poliéster. Terminan en el agua, ingeridos por la vida silvestre y dentro de nuestros cuerpos (Lindwall, 2020).

Uno de los plásticos más contaminantes son los plásticos de un solo uso ya que representan el 50% de los que se producen cada año (Procuraduría Federal del Consumidor, 2021). Los plásticos de un solo uso son productos que están hechos principalmente de productos químicos a base de combustibles fósiles (petroquímicos) y están destinados a ser eliminados inmediatamente después del uso, a menudo, en solo unos minutos. Estos plásticos se usan con mayor frecuencia para el envío y el servicio de comida, como botellas, envoltorios, pajillas y bolsas. Además, son tradicionalmente difíciles de reciclar porque caen en las grietas de la maquinaria de reciclaje, por lo que a menudo no son aceptados por los centros de reciclaje (Lindwall, 2020).

Las bolsas han tenido una demanda incontrolada, esta acción provoca el aumento y desplazamiento de bolsas hacia los vertederos, calles, ríos, lagos, mares, océanos, paisajes naturales e impactando al medio ambiente que rodea y sobre todo a la biodiversidad acuática (Pineda, 2020).

Se quiere disminuir el uso de bolsas plásticas derivadas del petróleo, ya que estas tardan 700 años para degradarse. Cabe destacar que, a nivel mundial se desperdician 200,000 bolsas de plástico cada segundo las cuales son perjudiciales para los humanos, animales, plantas y medio ambiente (García, 2016).

Actualmente hay medidas, alternativas y opciones para reducir el uso de bolsas plásticas: consumo y uso racional consciente y responsable de las bolsas plásticas de un solo uso; el reciclado de bolsas; bolsas de materiales biodegradables; bolsas reutilizables: cumplir la normativa en materia ambiental; entre otros (Pineda, 2020).

Debido a esta problemática han aparecido los bioplásticos y materiales alternativos que ofrecen ventajas ambientales con respecto a las bolsas de plástico de polietileno que se han usado tradicionalmente (Comas, 2012). Las bolsas biodegradables han aparecido a causa de tanta contaminación ambiental, estas bolsas tienen como característica la rápida degradación a comparación de las bolsas convencionales, por ese motivo se contempla el remplazo de bolsas plásticas en supermercados y comercios por bolsas biodegradables. Es importante saber los beneficios que le brinda al medio natural las bolsas biodegradables y de qué manera pueden ayudar estas a la conservación del ecosistema, ya que están elaboradas a base de productos naturales de degradación rápida (Santiago y Quispe, 2014).

En los últimos años se ha despertado un creciente interés, tanto por parte de la comunidad científica como por el público en general, en aspectos relativos a los problemas que causa el uso generalizado de los plásticos, su impacto en el medio ambiente y la búsqueda de soluciones a los problemas que plantean. De forma particular, en el ámbito científico, son numerosos los trabajos que abordan el tratamiento biológico de los residuos de plásticos y su impacto en los ecosistemas (Campos, 2021).

Algunos países han prohibido el uso total de las bolsas de plástico, mientras que en otros solo existen ciertas medidas, que tiene como objetivo reducir el uso de bolsas plásticas. En algunas de estas naciones no solo está prohibido, además es penado: Bangladesh, China, India, Ruanda, Uganda, Senegal, Gabón, Kenia, Panamá, Chile y Francia. En estos países han tomado medidas como la aplicación de un impuesto por el uso de las bolsas de plástico, sin embargo, algunas medidas no son tan severas, por lo que los consumidores continúan haciendo uso de ellas, sobre todo, en los supermercados: Alemania, Austria, Viena, Holanda, Portugal, Finlandia, Italia, Costa Rica, Colombia, entre otros (Sibaja, 2019).

En 27 estados de México (Sonora, Veracruz, Quintana Roo, Chihuahua, Durango, Jalisco, entre otros) se ha autorizado restringir el uso de popotes, utensilios y bolsas de plástico (Milenio digital, 2022). En la Ciudad de México, se publicó la Ley de residuos sólidos del Distrito Federal la cual fue publicada en la Gaceta Oficial del Distrito Federal el 22 de abril de 2003, en el Artículo 25 se menciona, “queda prohibido por cualquier motivo la comercialización, distribución y entrega de bolsas de plástico al consumidor, en los puntos de venta de bienes o productos, excepto si son compostables. Se excluyen, las bolsas de plástico necesarias por razones de higiene o que prevengan

el desperdicio de alimentos siempre y cuando no existan alternativas compostables”. Este punto se implementó el 25 de junio de 2019 debido a que al día se producen 13,073 toneladas de residuos plásticos al día. Se propone como alternativa para la comercialización, distribución y entrega, bolsas hechas de tela, yute, rafia (tipo costal), plástico tejido o malla, y otras que la Secretaría determine; siempre y cuando sean durables y puedan reutilizarse en múltiples ocasiones, con un contenido mínimo de 50% de material reciclado post-consumo y 100% reciclables. Estas bolsas deberán estar integradas a un plan de manejo que garantice su retorno a los procesos productivos para su reciclaje (Secretaría del Medio Ambiente [SEDEMA], 2022).

En esta investigación se propone evaluar la biodegradación de tres tipos de bolsas que están hechas con diferentes concentraciones de ácido poliláctico y un tipo de bolsa hecha de polietileno, mediante la utilización de larvas de *Tenebrio molitor*. Como hipótesis se pretende que a mayor concentración de ácido poliláctico mayor será la biodegradación. También se propone evaluar la toxicidad de las bolsas al ser expuestas a dos diferentes tipos de semillas (*Lactuca sativa L* y pasto variedad terreno seco). La hipótesis de este método consiste en que la bolsa de polietileno presentará una mayor toxicidad al inhibir la elongación y germinación de las semillas comparado con las bolsas compostables.

## II. ANTECEDENTES

A continuación, se da pauta a algunas de las investigaciones que han sido realizadas en torno a la problemática sobre la biodegradación de los plásticos realizados por las larvas de *Tenebrio molitor*.

Darivan, (2017), mencionan en su tesis “Biodegradación de la espuma de poliestireno por la larva del *Tenebrio molitor* para la producción de abono, 2017” la utilización de bloques de poliestireno expandido de dos densidades, D10 (10 kg/m<sup>3</sup>) y D40 (40 kg/m<sup>3</sup>) para someterlos al proceso de degradación mediante las larvas de *Tenebrio molitor* para recabar datos acerca del consumo de poliestireno expandido, variación de biomasa y producción de excreta. Después realizaron los análisis del excremento producido a nivel nutricional (nitrógeno, fósforo extractable, potasio disponible, etc.). Las eficiencias fueron de 12.20% de consumo para el tratamiento de D10 por 8 días, 2.60% en producción de excreta con D40 por 8 días y una pérdida de biomasa de 2.84% con D10 por 4 días. De los parámetros finales de nutrientes de nitrógeno, fósforo extractable y potasio disponible son respectivamente para el D10 de: 3.92%; 0.27%; 0.78% y 1.18%; 0.3% y 0.69% para el D40. Finalmente, los resultados indicaron una influencia de biodegradación del poliestireno expandido, pero poco eficiente por parte de la especie durante el proceso, además se muestran nutrientes en el excremento que se aprecian por diversos factores en la crianza como el canibalismo, restos de muda (piel) y cambio de fase a pupa.

Portocarrero (2021), menciona que el objetivo principal de su investigación fue buscar un sustento científico que permita la aplicación de futuras propuestas de mejora, para la disposición sostenible de los residuos sólidos plásticos, a empresas del rubro de alimentos y bebidas, entre otros, que incluyan el análisis de un proceso de biodegradación de plástico utilizando al coleóptero *Tenebrio molitor*, el trabajo concluyó e hizo recomendaciones relacionadas a líneas de investigación y el direccionamiento de futuros esfuerzos científicos para contribuir al desarrollo tecnológico del uso de *Tenebrio molitor* para la biodegradación de plásticos.

Albarracín y Clavijo (2021) en su investigación “Condiciones ambientales y biológicas del *Tenebrio molitor* en la degradación del poliestireno” hablan acerca del comportamiento de la larva *Tenebrio molitor* en la biodegradación de poliestireno, evaluando las condiciones biológicas y ambientales. Se determinaron los estadios larvarios, la evaluación en diferentes porcentajes de sustrato y determinación en diferentes temperaturas, cada uno de estos tratamientos fueron almacenados en recipientes de plástico y/o vidrio. Se evaluó el consumo de poliestireno por diferentes estadios de la larva de *Tenebrio molitor* catalogándolos en pequeños, medianos y grandes; el tamaño pequeño y mediano consumieron en promedio 0.12 g y 0.11 g en un promedio de 56 días, a diferencia del estadio larvario grande que tuvo un consumo de 0.03 g. En el consumo de poliestireno en diferentes porcentajes de sustrato fue más eficiente en el tratamiento que tuvo una proporción de 15 %

a diferencia de los tratamientos con 8% y 3 %. La temperatura influye en el proceso de biodegradación, a temperaturas superiores a 28 °C, disminuye el consumo de poliestireno y a temperaturas bajas de 11 °C a 20 °C.

En otro titulado “Estudio de la degradación de plásticos por larvas de insectos de la familia Tenebrionidae” de los autores Olmos et al. (2021), se evaluó la capacidad de *Tenebrio molitor* y *Zophobas morio* en la degradación de tres tipos de polímeros plásticos: polietileno de baja densidad (PEBD), polietileno tereftalato (PET) y poliestireno expandido (EPS). Ambas especies fueron capaces de consumir EPS, mientras que solo *Zophobas morio* pudo alimentarse de PEBD. Ninguna de ellas fue capaz de degradar PET. También se cuantificó la eficacia de las larvas de las dos especies para degradar EPS observándose que, en presencia de luz, el consumo es ligeramente mayor que en oscuridad. Las larvas de *Tenebrio molitor* consumieron un 10% más de EPS que las de *Zophobas morio*. No se observó que el consumo de EPS influyera de forma significativa en la supervivencia de las larvas. Las observaciones confirmaron la capacidad de estas especies de Tenebrionidos para degradar EPS, siendo *Tenebrio molitor* más eficaz en la degradación.

## 2.1. Historia y contaminación de los plásticos

Desde los albores de la historia, la especie humana se ha esforzado por crear materiales que ofrezcan beneficios de los que carecen los materiales naturales. La evolución del plástico empezó con el uso de materiales naturales que tenían propiedades plásticas intrínsecas, como la laca o la goma de mascar. El paso siguiente en la evolución del plástico fue la modificación química de materiales naturales como el caucho, la nitrocelulosa, el colágeno o la galalita.

- En 1855 Alexander Parkes, inventó la parkesina (actualmente se conoce como celuloide).
- Entre 1838 y 1872 se polimerizó por primera vez el Policloruro de Vinilo (PVC).
- Y en 1907, el químico belga-americano Leo Baekeland creó la baquelita, el primer plástico sintético fabricado en serie.

Desde la creación de Baekeland, se han creado y desarrollado muchos nuevos plásticos que ofrecen una amplia gama de propiedades deseables, y que todos tenemos en casa, en la oficina, en la fábrica y en el coche (Bonilla, 2021).

El desarrollo de polímeros sintéticos es considerado uno de los grandes avances del siglo XX, debido a la multiplicación de sus posibilidades de uso en la industria y en la vida cotidiana. Los polímeros sintéticos se obtienen fundamentalmente del petróleo y tienen funciones específicas (Valero et al., 2013).

El consumo de plástico continúa creciendo, por lo que la producción mundial ha pasado de 23 millones de toneladas en 1950 a 407 millones en 2015. Un estudio estima que, de todo el plástico que el ser humano ha producido durante estos 150 años en todo el mundo, el 79%, está acumulado en vertederos o en entornos naturales. El mismo estudio refleja que actualmente el 57% del plástico producido mundialmente acaba abandonado. Este material ha sido el más empleado y, por ende, el más abandonado, especialmente en países donde no hay gestión de residuos o tienen una gestión deficiente.

De los 407 millones de toneladas de plástico que se produjeron en 2015, 146 corresponden a envases y embalajes (industriales, comerciales y domésticos), 65 a materiales de construcción, 59 al consumo textil, 47 los relacionados con la asistencia sanitaria y la agricultura, 42 vinculados a productos de consumo, 27 al transporte, 18 a material eléctrico y 3 a maquinaria industrial.

Los plásticos están presentes en todos los sectores de la economía mundial: medicina, agricultura, automoción, alimentación, etc. A medida que crece la economía mundial, aumenta la demanda de productos de consumo y de plástico. En Europa, el principal sector de aplicación de los materiales plásticos son los envases industriales, domésticos y comerciales (40%), seguido por la construcción y edificación (20%) y la automoción (10%) (SEO Birdlife, 2019).

## 2.2. Contaminación y peligro de las bolsas plásticas

A finales de los años 60, las bolsas de plástico comenzaron a circular en el mundo como una promesa revolucionaria para transportar las compras por lo que empezaron a acompañar al hombre a todos lados e incluso se adelantaron a su paso (González, 2020). Según algunos reportes, el mundo consume un millón de bolsas plásticas por minuto, es decir, más de 500 billones al año (Valero et al., 2013).

Cada bolsa emite cuatro gramos de CO<sub>2</sub> en su fabricación, tarda alrededor de cien años para descomponerse y sólo 10% acaban en el contenedor de envases para ser recicladas, el 65% son reutilizadas como bolsos de basura (Barbán, 2011). Las bolsas han llegado hasta los 10 mil metros en las profundidades más oscuras de los océanos, se calcula que este tipo de bolsas suman 10 mil toneladas de plástico a los mares cada año, y se han documentado más de 250 especies que han ingerido estos materiales (González, 2020).

Bangladesh se dio cuenta que el uso de las bolsas plásticas no es inocuo, ya que descubrió que las bolsas de plástico desempeñaban un papel clave en la obstrucción de los sistemas de drenaje durante las inundaciones. Hoy, las problemáticas que desencadena su impacto son preocupación internacional. El mayor generador de este tipo de productos en el mundo es China,

que prohibirá las bolsas de plástico en las principales ciudades para fines de año y en todas las ciudades y pueblos para el 2022 (González, 2020).

En la Ciudad de México, en enero de 2020 se inició la primera fase de prohibición de las bolsas plásticas y a principios del año 2021 se inició la segunda fase de su prohibición de plásticos de un solo uso, esto con la finalidad de proteger el planeta de la contaminación por plásticos, un problema que agrava el cambio climático y acelera la pérdida de especies (Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial de la CDMX [PAOT], 2019).

## 2.3. Tipos de bolsas

### 2.3.1. Bolsa plástica (polietileno)

#### ➤ Polietileno de baja densidad

El PEBD (por sus siglas en español, Polietileno de Baja Densidad,) o LDPE (Low Density Polyethylene, en inglés), es un polímero termoplástico de la familia de los olefínicos, formado por múltiples unidades de etileno. Se caracteriza por su gran rigidez, resistencia, y flexibilidad. A ella se unen otras cualidades como una buena resistencia tanto al impacto como a altas temperaturas y a sustancias químicas. Se trata de un material de color lechoso que, dependiendo de su espesor, puede llegar a ser casi transparente, esto hace que sea difícil imprimir, pintar o pegar sobre él (Interempresas. 2020).

#### ➤ Polietileno de baja densidad lineal

Se designa como LLDPE (por sus siglas en inglés, Linear Low Density Poly Ethylene) o PEBDL (Polietileno de Baja Densidad Lineal), es un compuesto consistente, sus columnas son lineales y son hechas de moléculas distribuidas de polietileno. Este polímero sufre menos con la tracción y tiene una menor dureza. Sin embargo, cuando el contenido de ramificación del material aumenta, tiene una mayor resistencia al impacto y, en el caso de las películas, al desgarro (Polyexcel, 2020).

#### ➤ Polietileno de alta densidad

Se designa como HDPE (por sus siglas en inglés, High Density Poly Ethylene) o PEAD (Polietileno de Alta Densidad), es un polímero termoplástico que se obtiene por medio de la polimerización del etileno. Conocido por su excelente resistencia a la tracción y su gran relación resistencia / densidad, el polietileno de alta densidad tiene una alta resistencia al impacto, a la radiación ultravioleta, a las condiciones climáticas y a la corrosión (Atarfil, 2021).

### ➤ Polipropileno

El PP, (por sus siglas en español, Polipropileno) o PP (por sus siglas en inglés, Polypropylene), este termoplástico se obtiene a partir de monómero de propileno mediante una reacción de polimerización de tipo Ziegler-Natta o con catálisis de metalloceno. Se caracteriza por ser semicristalino, rígido y resistente (Méndez, 2022).

#### 2.3.2. Bolsa compostable

Las bolsas compostables están fabricadas con almidón de maíz o de patata (Puyuelo et al., 2013), además se degradan biológicamente produciendo dióxido de carbono, agua, compuestos inorgánicos y biomasa a la misma velocidad que el resto de la materia orgánica que se está compostando junto con el plástico, sin dejar residuos tóxicos visibles o distinguibles (SEDEMA, 2021).

#### 2.3.3. Bolsa degradable

Son bolsas a las que se han añadido unos aditivos que aceleran su desintegración física, por lo tanto, el plástico se fragmenta en partículas diminutas, pero que en una primera fase no pueden ser asimiladas por las plantas. Esta degradación puede ser inducida por la luz ultravioleta (fotodegradable) o por la oxidación (oxodegradable) (Casquete et al., 2020).

### ➤ Fotodegradable

Las bolsas fotodegradables están especialmente diseñadas para controlar su degradabilidad cuando se exponen a la luz solar en el medio ambiente. Estas se rompen fotoquímicamente y, como consecuencia de sus procesos de degradación, pierden su resistencia física, se vuelven frágiles, y finalmente se descomponen en pequeñas partículas por la erosión natural, la lluvia, el viento, etc. Finalmente forman un polvo que pasa al suelo, es atacado por microorganismos y acaba reentrando en el biociclo (Rabek, 1995).

### ➤ Oxodegradable

Están hechos de polímeros derivados del petróleo (normalmente polietileno) y contienen aditivos especiales que hacen que se degraden. Estos aditivos son sales metálicas de ácidos carboxílicos y ditiocarbamatos. Los aditivos catalizan la ruptura de las largas cadenas moleculares del material plástico y, por tanto, hacen que el plástico se vuelva frágil y se fragmente en trozos más pequeños. La razón de su uso es que provocan una degradación prematura. En estos productos se hacen algunas afirmaciones muy específicas, indicando que hay un beneficio medioambiental en su uso (Thomas et al., 2012).

#### 2.3.4. Bolsa biodegradable

Algunas bolsas están fabricadas a partir de recursos naturales renovables, como el almidón de patata o de materiales renovables mezclados con derivados del petróleo en las que se encuentran metales pesados como cadmio, plomo y berilio (Rut, 2020).

La bolsa biodegradable, significa que en presencia de microorganismos (bacterias, moho, etc.) y en un ambiente específico podrá ser fragmentado y reducido a material orgánico de menor complejidad, el cual puede ser incorporado a los procesos de la naturaleza. Los productos de la degradación aeróbica son agua, dióxido de carbono, y en algunos casos metano. Recordemos que los últimos dos son los principales generadores del efecto invernadero (Rubio, 2010).

#### 2.4. Biopolímeros

Los biopolímeros, que en su mayor parte proceden de recursos renovables, se convierten en una interesante alternativa para la industria de los plásticos.

Los biopolímeros se dividen en aquellos basados en recursos renovables y degradables que cumplen todos los criterios de las normas científicamente reconocidas para biodegradabilidad y compostaje de plásticos y productos plásticos. Los primeros no son necesariamente biodegradables o compostables, aunque la mayoría lo son. Los del segundo grupo, no necesariamente tienen que estar basados en materias primas renovables para cumplir la norma, ya que la biodegradabilidad está más directamente relacionada con la estructura química que con el origen de las materias primas.

En la figura 1, se puede observar la clasificación de los biopolímeros, estos se pueden dividir en tres subgrupos: polímeros basados en recursos renovables (almidón y celulosa), polímeros biodegradables basados en monómeros bioderivados (aceites vegetales y ácido láctico) y biopolímeros sintetizados por microorganismos (polihidroxialcanoatos (PHA)) (Valero et al., 2013).

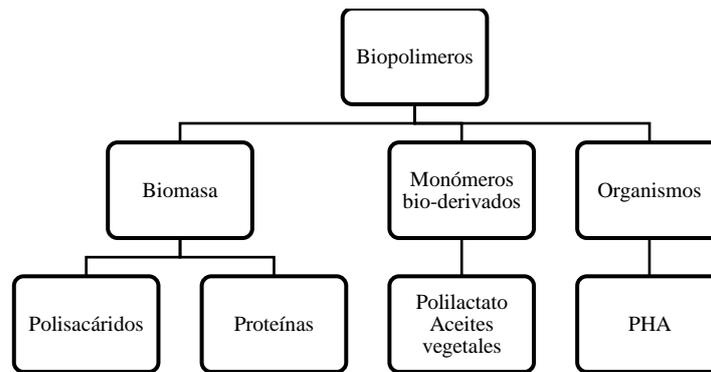


Figura 1. Clasificación de los biopolímeros

## 2.4.1. Biopolímeros extraídos directamente de la biomasa

### 2.4.1.1. Biopolímeros basados en almidón

Está formado por una mezcla de dos polímeros, amilosa (25%) y amilopectina (75%). La amilosa es una molécula lineal y la amilopectina es una molécula ramificada. El 75% de los polímeros de almidón se utilizan para la fabricación de envases y embalajes. Su uso tiene limitaciones debido a su baja resistencia a la humedad, baja procesabilidad e incompatibilidad con algunos polímeros hidrofóbicos (Valero et al., 2013).

### 2.4.1.2. Biopolímeros basados en celulosa

La unión de las moléculas de  $\beta$ -glucosa mediante enlaces  $\beta$ -1,4-O-glucosídicos forma la celulosa; tiene una estructura lineal en la que se establecen múltiples puentes de hidrógeno entre los grupos OH de las cadenas de glucosa y originan las fibras compactas que constituyen la pared celular. Los principales representantes son el celofán, el acetato de celulosa, el éster de celulosa, la celulosa regenerada para fibras y los biomateriales compuestos de celulosa (Valero et al., 2013).

## 2.4.2. Polímeros producidos por los organismos directamente

### 2.4.2.1. Poli(hidroxicanoatos) (PHA):

Son poliésteres sintetizados por ciertas bacterias que los acumulan como reservas de carbono y energía, en forma de gránulos intracitoplasmáticos, constituidos por unidades repetitivas de diversos hidroxiácidos o mezclas de ellos, producidos mediante fermentación de materias primas renovables.

Inicialmente, los PHAs fueron usados en películas de empaquetado en bolsas, contenedores y empaques de papel, estas películas también pueden ser usadas para hacer láminas con otros polímeros como el alcohol polivinílico. Se han reportado otras aplicaciones como utensilios, productos higiénicos femeninos, contenedores de cosméticos y envases de shampoo.

A pesar de las evidentes ventajas de los PHAs frente a los plásticos derivados del petróleo, su uso actual está muy limitado debido a su alto costo de producción (Valero et al., 2013).

### 2.4.3. Biopolímeros obtenidos a partir de monómeros bioderivados

#### 2.4.3.1. Aceites vegetales

Los aceites vegetales pueden ser obtenidos de plantas y, en su mayoría, están compuestos por triglicéridos. Un triglicérido es un producto éster obtenido de una molécula de glicerol y tres moléculas de ácidos grasos. A continuación, se mencionan los biopolímeros hechos de aceites de triglicéridos: linaza, girasol, higuera, soja y palma. Algunos tipos de polímeros preparados a partir de aceites de triglicéridos se enumeran a continuación: poliésteres, poliuretanos, poliamidas, resinas acrílicas, resinas epoxi y poliéster amidas (Valero et al., 2013).

#### 2.4.3.2. Ácido poliláctico

El ácido poliláctico (PLA), es un biopolímero termoplástico derivado a partir de fuentes renovables (como almidón y azúcar), cuya molécula precursora es el ácido láctico. Pertenece a la familia de los poliésteres alifáticos conocidos como  $\alpha$ -hidroxiácidos. Debido a su biodegradabilidad, propiedades de barrera y biocompatibilidad, este biopolímero ha encontrado numerosas aplicaciones ya que presenta un amplio rango inusual de propiedades, desde el estado amorfo hasta el estado cristalino; propiedades que pueden lograrse manipulando las mezclas entre los isómeros D (-) y L (+), los pesos moleculares, y la copolimerización (Amado, 2014).

Las moléculas de PLA pueden ser sintetizadas mediante un proceso de polimerización por condensación de ácido láctico a temperatura no inferior a 120°C, o por debajo de esta temperatura en presencia de catalizadores. Mediante este método, solamente es posible obtener polímeros de bajo peso molecular ( $PM < 10,000$ ). Para la obtención de copolímeros de elevado peso molecular, es necesario tener como materiales de partida los dímeros cíclicos del ácido, en presencia de catalizadores y condiciones controladas de temperatura y presión.

La ventaja es que es biodegradable, reciclable, compostable y biocompatible, es decir, no produce efectos tóxicos o cancerígenos en los tejidos locales. Es así como se puede degradar en dióxido de carbono, agua y otras moléculas pequeñas en condiciones de compostaje, contribuyendo así a la simplificación del proceso de compostaje. Puede ser procesado por moldeo, inyección, extrusión de película, moldeo por soplado, termoformado, hilado de fibras, y de formación de película.

El PLA también presenta buenas propiedades de barrera frente a olores, sabores, agua CO<sub>2</sub> y alta resistencia a grasas y aceites por lo que es apropiado para el envasado de aceites, productos secos

y perecederos. Para mejorar sus propiedades el PLA puede modificarse con agentes plastificantes o mezclándolo con otros polímeros (Valero et al., 2013). El PLA puede ser tan duro como el acrílico o tan blando como el polietileno, rígido como el poliestireno o flexible como un elastómero. Puede ser sometido a esterilización con rayos gamma y es estable cuando se expone a los rayos ultravioleta (Perales, 2012).

El PLA ha sido utilizado en aplicaciones biomédicas en sistemas de liberación controlada de fármacos, gracias a su biocompatibilidad y biodegradabilidad (Valero et al., 2013). También ha sido utilizado como empaque debido a que su temperatura de transición vítrea ( $T_g$ ) que está por encima de la temperatura de servicio y por lo tanto presenta buena barrera a los materiales disolventes, sabores, aromas y mediana barrera a los gases (Perales, 2012). Esta temperatura de transición vítrea es el rango de temperaturas donde ocurre la transición entre un estado cauchoso y un estado vítreo, produciéndose cambios que se ven reflejados en sus propiedades fisicoquímicas (García et al., 2020). Además, presenta buena capacidad de sellado en caliente y es fácil de procesar en equipos convencionales para plásticos (Perales, 2012).

## 2.5. Fabricantes de bolsas hechas a base de ácido poliláctico en México

Cómo ya se mencionó anteriormente, las bolsas de plástico están fabricadas con derivados del petróleo y con muchas otras sustancias químicas. La extracción, transporte y refinado del petróleo es altamente perjudicial para el medio ambiente. La producción de las bolsas también es contaminante, y en la degradación de estas bolsas las sustancias químicas que contienen son liberadas al medio ambiente.

Los materiales de desecho producidos por el uso de polímeros han derivado en un impacto medioambiental considerable. El reciclado mecánico de los polímeros y la valorización energética por incineración son las estrategias principales para reducir los residuos de plástico. A pesar de los esfuerzos para reciclar los plásticos utilizados, el reciclaje no es ni práctico ni económico para ciertas aplicaciones, tales como bolsas de residuos o envases de alimentos.

Una de las ventajas que presenta los polímeros biodegradables es la práctica del compostaje ya que con este tipo de material es posible realizar dicha práctica mientras que los productos hechos a base de petróleo no son aptos. Además, se han estudiado una gran variedad de biopolímeros para conseguir propiedades físicas y mecánicas similares a los existentes polímeros derivados del petróleo (Amado, 2014).

En México hay varios fabricantes de bolsas hechas a base de ácido poliláctico, en la tabla 1 se menciona algunas empresas, la composición de las bolsas y el certificado que presentan.

Tabla 1. Algunas marcas de bolsas hechas a base de ácido poliláctico

<b>Empresa</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Tipo de bolsa</b>	<b>Composición</b>	<b>Certificaciones</b>
<b>Baglife</b>	Jalisco	Bolsa compostable	- Almidón de plantas (PLA al 40%), - Aceites vegetales - Polímeros compostables.	- Ok Compost TÜV Austria INDUSTRIAL - Ok Compost TÜV Austria HOME - Seedling - DIN-Geprüft INDUSTRIAL COMPOSTABLE - BPI Compostable - Australian Bioplastics Association (ABA)
<b>Grupo Eme 13, S.A de C.V.</b>	Estado de México	Bolsa compostable	- PBAT - Almidón - PLA	- DIN - TUV - BPI
<b>Bioelementos de México, S.A de C.V.</b>	Estado de México	Bolsa compostable	- 52.5% PLA - 42% FM - PE	- SEGAM-CONT-002-2020 (Número de registro en México)
<b>Biosfer Choice</b>	Ciudad de México	Bolsa compostable	- FM - PLA	- BPI Compostable - Ok Compost TÜV Austria INDUSTRIAL - TÜV Rheinland – DIN CERTCO - Australian Bioplastics Association (ABA)
<b>Compospack</b>	Ciudad de México	Bolsa compostable	- FM - Almidón - PLA	- BPI Compostable
<b>Ecohappi</b>	San Luis Potosí, SLP	Bolsa compostable	- 25% a 30% FM - 5% a 15% PLA - 50% a 70% BPAT	- SEGAM-CONT-004-2020 (Número de registro en México) - OK compost TÜV Austria INDUSTRIAL - OK biodegradable TÜV Austria SOIL - OK compost TÜV Austria HOME - Seedling - BPI Compostable - Compostabile CIC, IIP UNI
<b>Wecare</b>	Jalisco	Bolsa compostable	- 50% PBAT - 35% FM - 15 % PLA	- BPI Compostable - OK compost TÜV Austria HOME - OK compost TÜV Austria INDUSTRIAL - Seedling - Compostable Ciudad de México - Certificado FSC

PLA: Ácido poliláctico.

FM: Fécula de maíz

PBAT: Tereftalato de Adipato de Polibutileno

PE: Polietileno

### 2.5.1. Certificados

#### ➤ Ok Compost TÜV Austria INDUSTRIAL

Los envases o productos que presentan la etiqueta OK compost INDUSTRIAL (figura 2) garantizan que son biodegradables en una planta de compostaje industrial. Esto se aplica a todos sus componentes, tintas y aditivos. El punto de referencia para el programa de certificación es la norma armonizada EN-13432:2000. Esto implica que, cualquier producto que lleve el logotipo OK compost INDUSTRIAL, cumple con los requisitos de la Directiva Europea de envases y embalajes (94/62/CEE) (TÜV Austria, 2021b).



Figura 2. Etiqueta OK compost INDUSTRIAL (Europa)

#### ➤ Ok Compost TÜV Austria HOME

Considerando comparativamente el pequeño volumen de residuos involucrados, la temperatura en compost de jardín es claramente más baja y menos constante que en un entorno de compostaje industrial. La innovadora respuesta de TÜV Austria a este desafío es el sistema de certificación OK compost HOME (figura 3) para garantizar la biodegradabilidad completa conforme a unos requerimientos específicos, incluso en compost doméstico (TÜV Austria, 2021b).



Figura 3. Etiqueta OK compost HOME (Europa)

#### ➤ Ok Biodegradable TÜV Austria SOIL

La biodegradabilidad en el suelo ofrece enormes beneficios para los productos agrícolas y hortícolas, ya que se puede dejar descomponer in situ después de su uso. La etiqueta OK biodegradable SOIL (figura 4) garantiza que un producto es completamente biodegradable en el suelo sin efectos adversos sobre el medio ambiente (TÜV Austria, 2021a).



Figura 4. Etiqueta OK biodegradable SOIL (Europa)

➤ Seedling

TÜV Austria (anteriormente Vinçotte) es un organismo de certificación autorizado por European Bioplastics y, por lo tanto, puede otorgar el logotipo de Seedling (figura 5) a los productos que cumplen con la norma EN 13432. Al otorgar ambos logotipos, el OK compost INDUSTRIAL y el Seedling, los titulares de certificados de TÜV Austria pueden contar con el reconocimiento de sus productos compostables en todo el mercado europeo (TÜV Austria, 2021b).



Figura 5.  
Logotipo  
Seedling

➤ DIN-Geprüft INDUSTRIAL COMPOSTABLE

El sistema de certificación "Productos fabricados con materiales compostables (DIN-Geprüft)" se creó en colaboración con el comité de certificación "Materiales biodegradables" de DIN CERTCO, el cual distingue entre la certificación de materiales y productos intermedios y; la certificación de productos (finales) (figura 6)." Esto documenta que sus productos cumplen todos los requisitos de la norma DIN EN 13432, así como, si procede, los requisitos adicionales/simultáneos de las normas DIN EN 14995, ISO 17088, ISO 18606 y/o AS 4736 (DIN CERTCO, 2021b).



Figura 6.  
Certificado DIN-  
Geprüft  
(Europa)

➤ TÜV Rheinland - DIN CERTCO

DIN CERTCO es el organismo de certificación de TÜV Rheinland Group (figura 7) y es el organismo de certificación para la emisión de las marcas DIN y otras marcas de certificación. Por lo tanto, obtuvieron la certificación del sistema de gestión de calidad existente en términos de los requisitos de la Norma Internacional para sistemas de gestión de calidad, DIN EN ISO 9001 "Sistemas de gestión de calidad - Requisitos" de Ernst & Young (DIN CERTCO, 2021a).



Figura 7. Certificado de TÜV  
Rheinland - DIN CERTCO  
(Europa)

➤ BPI COMPOSTABLE

Para la conocida etiqueta compostable BPI (figura 8), las normas aplicables son la ASTM D 6400: "Especificación estándar para plásticos compostables" o la ASTM D 6868 "Especificación estándar para el etiquetado de artículos finales que incorporan plásticos y polímeros como revestimientos o aditivos con papel y otros sustratos diseñados para ser compostados aeróbicamente en instalaciones municipales o industriales", según la naturaleza del producto o material presentado (DIN CERTCO, 2021b).



Figura 8. Etiqueta compostable BPI (EE. UU.)

➤ AUSTRALIAN BIOPLASTICS ASSOCIATION (ABA)

La ABA ha puesto en marcha el programa de verificación de compostables domésticos en toda Australia y Nueva Zelanda. El logotipo de verificación de compostabilidad doméstica (figura 9) identifica y diferencia claramente los materiales de envasado como biodegradables y compostables. Para ser certificados como compostables y llevar el logotipo de verificación de compostabilidad doméstica, los materiales biopolímeros adecuados deben someterse a un estricto régimen de pruebas descrito en la norma AS 5810-2010 y llevado a cabo por laboratorios independientes acreditados según la norma australiana AS 5810-2010 (Australasian Bioplastics Association, 2019).



Figura 9. Logotipo de verificación de compostabilidad doméstica (Australia)

➤ Compostabile CIC

Obtener la marca Compostable CIC (figura 10) en los productos significa obtener la certificación de compostabilidad efectiva de materiales que cumplen con los requisitos de la norma europea EN 13432: 2002 en procesos de compostaje industrial (Compostabile CIC, 2019).



Figura 10. Certificado Compostable CIC (Europa).

## 2.6. Biodegradabilidad

Se produce por acción de las enzimas de microorganismos a través de un proceso complejo que involucra reacciones químicas y biológicas. En el caso de los polímeros el sustrato de plástico actúa como fuente de carbono para el metabolismo de los microorganismos; cuando la biodegradación se efectúa bajo condiciones aerobias se produce  $\text{CO}_2$  y cuando se realiza en condiciones anaeróbicas se produce  $\text{CH}_4$ , como materiales húmicos. El humus es un importante material obtenido del proceso de biodegradación porque mejora la productividad de la tierra para la agricultura. Los ambientes donde se puede realizar son suelos, compostas, mares, ríos y lagos (Perales, 2012).

Los polímeros biodegradables son diseñados para resistir factores ambientales durante su uso, pero para biodegradarse bajo condiciones de disposición mediante compostaje. La degradación del polímero inicia por la ruptura de la cadena principal o de las cadenas secundarias que conforman la macromolécula. Otros factores que contribuyen son (Perales, 2012):

- ✓ En la naturaleza, la degradación polimérica es inducida por activación térmica, hidrólisis, actividad biológica (enzimas), oxidación, fotólisis o radiólisis.
- ✓ Condiciones ambientales como pH, temperatura, exposición, esfuerzo mecánico y actividad biológica.
- ✓ Características físicas y químicas del polímero como difusión, porosidad, morfología, entrecruzamiento, pureza, reactividad química, resistencia mecánica, tolerancia térmica y resistencia a la radiación electromagnética.

### 2.6.1. Mecanismos de biodegradación

La biodegradación de los polímeros ocurre en dos etapas:

1. Despolimerización o ruptura de la cadena, en esta etapa el polímero de cadena larga se transforma en pequeños fragmentos de oligómeros. Los procesos responsables pueden ser:

- Hidrólisis.
- Enzimas extracelulares pueden atacar el polímero de dos maneras: 1) provocando ruptura aleatoria en los enlaces del polímero, o 2) provocando una ruptura secuencial en las unidades de los monómeros terminales de la cadena.

La importancia de esta etapa se debe a que las macromoléculas, no pueden atravesar las membranas externas de las células vivas (Perales, 2012).

2. Mineralización, ocurre dentro de la célula de los microorganismos que convierten los pequeños fragmentos de oligómeros a biomasa, minerales, sales, agua y gases como dióxido de carbono y metano (Perales, 2012).

## 2.6.2. Clases de polímeros biodegradables

Perales, (2012), menciona que los polímeros biodegradables se clasifican en:

1. Polímeros que son naturalmente susceptibles al ataque microbiano. Ejemplos de polímeros naturales son proteínas, celulosa y almidón que contienen enlaces hidrolizables. Los poliésteres alifáticos como el PLA presentan cadenas flexibles, lo que favorece la biodegradación por enzimas debido a que la cadena del polímero debe ser lo suficientemente flexible como para encajar en el sitio activo de la enzima.
2. Polímeros sintéticos principalmente poliésteres, poliamidas, poliureas, polianhídridos, poliuretanos y polifosfacenos.
3. Polímeros biodegradables naturalmente que se han modificado con aditivos y relleno.

## 2.6.3. Degradación del ácido poliláctico

En la Figura 11, se mencionan los diferentes métodos de degradación del PLA.

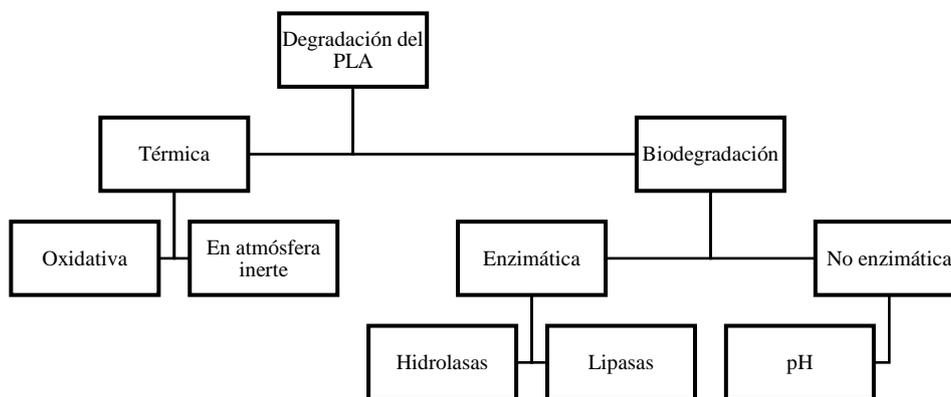


Figura 11. Métodos de degradación del PLA

### ➤ Degradación térmica

El tratamiento térmico provoca que el PLA sea inestable y tenga una pérdida rápida de peso molecular, esto es debido a que los enlaces éster se degradan durante este proceso. Para que se lleve a cabo la degradación térmica, el PLA debe encontrarse a temperaturas inferiores al del punto de fusión, aunque la velocidad de degradación aumenta rápidamente por encima de éste. La velocidad de degradación depende de la cristalinidad, del peso molecular y su distribución, la morfología, la tasa de difusión del agua en el polímero y de la tautomería. Se sugiere que en el proceso de degradación durante tratamientos térmicos participan reacciones de hidrólisis, despolimerización, degradación oxidativa, y reacciones de trans-esterificación inter e intramoleculares, dando lugar al monómero y ésteres oligoméricos (Amado, 2014).

## ➤ Biodegradación

La degradación del PLA en la naturaleza es debido a la activación térmica, la hidrólisis, la actividad biológica (es decir, enzimas), oxidación, fotólisis, o radiólisis. Además de las condiciones ambientales tales como el pH, la fase, la temperatura, la exposición, la tensión mecánica, y la actividad biológica, el proceso de degradación del polímero depende también de las características químicas y físicas del polímero. Estos incluyen la difusividad, la porosidad, la morfología, la reticulación, la pureza, la reactividad química, resistencia mecánica, la tolerancia térmica y resistencia a la radiación electromagnética. La biodegradación se ve influenciada por la morfología en estado sólido, el grado de cristalinidad y la estructura química principal.

La hidrólisis enzimática y no enzimática se da cuando se expone a ambientes acuosos lo que resulta en la pérdida de masa a través de la degradación heterogénea en masa sin generación de subproductos perjudiciales. Después de la degradación hidrolítica, el peso molecular de las partículas resultantes disminuye y aumenta la cristalinidad (Amado, 2014).

- Hidrólisis enzimática

La degradación enzimática se realiza en tres pasos:

1. Degradación por difusión de agua en el material (inicialmente en las zonas más amorfas) seguida por hidrólisis aleatoria.
2. La fragmentación del material a oligómero.
3. Hidrólisis más extensa acompañada por fagocitosis, difusión y metabolismo.

En la primera etapa de degradación, el peso molecular se disminuye rápidamente con poca pérdida de peso, mientras que en la segunda etapa la disminución del peso molecular es menor, así como una importante pérdida de peso y la iniciación de la formación del monómero, por último, en la tercera etapa se experimenta una pérdida de peso total, y aproximadamente el 50% se convierte en monómero. La hidrólisis de los oligómeros solubles continúa aún más, hasta que todo se convierte en ácido láctico (Amado, 2014).

Inicialmente los microorganismos (hongos y bacterias) colonizan la superficie del polímero y segregan enzimas, los grupos hidrófilos de las enzimas ( $-\text{COOH}$ ,  $-\text{OH}$ ,  $-\text{NH}_2$ ) atacan los grupos éster de las cadenas del polímero mediante reacciones de oxidación de esta manera reducen el poliéster de alto peso molecular a oligómeros de bajo peso molecular (inferiores a 500g/mol), los cuales pueden ser digeridos por los microorganismos (Perales, 2012).

Cuando el poliéster tiene un peso molecular promedio de 10,000 a 40,000 g/mol los microorganismos continúan la biodegradación al convertir los componentes de bajo peso molecular a dióxido de carbono, agua y humus (Perales, 2012).

- Microorganismos que participan en la degradación del PLA

*Amycolatopsis sp.*, *Saccharothrix waywayandensis*, *Kibdelosporangium aridum*, *Bacillus brevis*, *Bacillus stearothermophilus* (Amado, 2014), *Penicillium roqueforti*, *Rhizopus delemer* (Hernández, 2013), *Trichoderma viride*, *Phanerochaete chrysosporium*, *Bacillus subtilis* (Serna, 2020). *Fusarium solani*, *Fusarium moniliforme* y *Bacillus delemer* (Bolio, 2011).

- Hidrólisis no enzimática

La degradación no enzimática se debe a un cambio de pH. Se pueden propagar pequeñas cantidades de reactivos y catalizadores no enzimáticos en polímero causando una degradación profunda. La cristalinidad, reticulación y otras propiedades morfológicas del polímero afectan a la difusión de catalizadores en el sistema. La degradación no enzimática se da lugar aparentemente en una primera etapa inerte de degradación sin pérdida de peso, pero resultada en la escisión aleatoria de la cadena principal del polímero con una disminución sustancial en el peso molecular, dando lugar a una disminución de las propiedades mecánicas tales como resistencia a la tracción, alargamiento a la rotura y resistencia al impacto (Amado, 2014).

#### 2.6.3.1. Biodegradación por *Tenebrio molitor*

*Tenebrio molitor* pertenece al orden Coleóptera, a la familia Tenebrionidae, en la naturaleza vive particularmente en la madera seca de los viejos arboles de hoja caduca y en los nidos de aves, siendo muy común cerca del hombre. Se instala en los almacenes de grano y harina, donde encuentra unas óptimas condiciones, en cuanto a alimentos y a temperatura. Al atardecer los imagos son atraídos por las luces, pero durante el día permanecen escondidos (Zahradník y Chvála, 1990). Presenta un desarrollo de tipo holometábolo, es decir, pasan por las fases de huevo, larva, pupa y adulto. La duración de las fases desde huevo hasta adulto puede estar entre 6 y 12 meses si se mantienen en su ambiente natural (Mondragón y Contreras, 2015). Las larvas se alimentan de la harina, mudan varias veces y alcanzan entre 20 y 25 mm de longitud. Son de color pardo amarillento, alargadas, con tegumentos rígidos y parecidas a las larvas de *Elateridae*. Se les denomina comúnmente “gusanos de la harina” y soportan un ambiente seco, la temperatura óptima para desarrollarse va de 25 a 30°C con una humedad relativa de 50% a 60% (Zahradník y Chvála, 1990). Así mismo, estos organismos en ambientes de poca humedad no excretan, evitando así la pérdida de agua, igualmente, pierden carbono para mantener un nivel apropiado de humedad. (Buxton citado por Edney, 1957, p.53 en Daviran 2017, p.25).

Debido a la alta contaminación de plásticos, se ha buscado diferentes alternativas para la biodegradación de estos. Varios estudios han demostrado que *Tenebrio molitor* es óptimo para la degradación de poliestireno expandido. Por ejemplo, Daviran (2017), mencionó que la larva de *Tenebrio molitor* puede degradar la espuma de poliestireno.

Se han encontrado diversas bacterias en el tracto digestivo de la larva, el grupo de Conservación de Suelos y Manejo de Residuos del CEBAS-CSIC aisló bacterias en medios de cultivo específicos e identificación de estas mediante secuenciación del gen del 16S rRNA y subsecuente comprobación y comparación con la base de datos del NCBI. Los primeros resultados obtenidos mostraron la potencialidad de tres bacterias identificadas como degradadores de LDPE dentro del tracto digestivo de tenebrios (*Pseudomonas aeruginosa*, *Rhodococcus rhodocrous* y *Mixta Tenebrionis*) (Ap waste, 2021).

En otra investigación se encontraron especies de suma importancia ya que hay estudios que reportan su capacidad para degradar compuestos del petróleo (*Bacillus subtilis*), degradación de PVC (*Bacillus flexus*), degradación de polietileno (género *Brevibacillus*) (Díaz de Sandy et al., 2019).

## 2.7. Métodos para medir la biodegradación de los plásticos

Existen normas internacionales que regulan y miden la velocidad de los procesos de biodegradación. A continuación, se mencionan algunas de ellas:

- UNE-EN 13432 (2000) Envases y embalajes. Requisitos de los envases y embalajes valorizables mediante compostaje y biodegradación. Programa de ensayo y criterios de evaluación para la aceptación final del envase o embalaje.

Esta norma europea especifica los requisitos y procedimientos para determinar la compostabilidad y tratabilidad anaerobia de los envases o embalajes y materiales de envase o embalaje señalando cuatro características como la biodegradabilidad, la desintegración durante el tratamiento biológico, el efecto sobre el proceso de tratamiento biológico y el efecto sobre la calidad del compost resultante (Normalización española [UNE], 2001). La norma contiene un umbral obligatorio de al menos el 90% de biodegradación que debe alcanzarse en menos de 6 meses (método de prueba de laboratorio EN 14046) (European bioplastics, 2015).

- UNE-EN 14995:2007 Plásticos. Evaluación de la compostabilidad. Programa de ensayo y especificaciones.

Esta norma europea especifica los requisitos y los procedimientos para determinar la compostabilidad o tratabilidad anaeróbica de los materiales plásticos abordando cuatro características la biodegradabilidad, la desintegración durante el tratamiento biológico, el efecto sobre el proceso de tratamiento biológico y el efecto sobre la calidad del compost resultante (UNE, 2007).

- AS 4736—2006 Plásticos biodegradables. Plásticos biodegradables aptos para el compostaje y otros tratamientos microbianos

Esta norma especifica los requisitos y procedimientos para determinar la compostabilidad, o biodegradación anaeróbica, de los plásticos, abordando la biodegradabilidad, la desintegración durante el tratamiento biológico, el efecto sobre el proceso de tratamiento biológico y el efecto sobre la calidad del compost resultante. Esta norma se aplica al procesamiento de plásticos en plantas de tratamiento de residuos controladas (Australian Standard [AS], 2006).

- AS 5810—2010 Plásticos biodegradables. Plásticos biodegradables aptos para el compostaje doméstico.

Esta norma especifica los requisitos y procedimientos para determinar si un material plástico es biodegradable en condiciones de compostaje doméstico y proporciona la base para permitir el etiquetado de materiales o productos hechos de plástico como "compostables en casa", para su uso en sistemas de compostaje doméstico. Esta norma estipula los criterios de aprobado/desaprobado que abordan la biodegradabilidad, la desintegración durante el tratamiento biológico, el efecto en el proceso de tratamiento biológico y el efecto en la calidad del compost doméstico resultante. En consecuencia, esta norma, en comparación con la AS 4736, utiliza temperaturas más bajas en los entornos de prueba y una duración de la prueba más larga, para tener en cuenta estas variaciones en el rendimiento del compostaje doméstico (AS, 2010).

- ASTM D6400 - 19 Especificación estándar para el etiquetado de plásticos diseñados para compostaje aeróbico en instalaciones municipales o industriales.

Esta especificación cubre plásticos y productos fabricados a partir de plásticos que están diseñados para ser compostados en instalaciones de compostaje aeróbico municipales e industriales. Las propiedades de esta especificación son las necesarias para determinar si los plásticos y los productos fabricados con plásticos se compostarán satisfactoriamente, incluida la biodegradación a una velocidad comparable a la de los materiales compostables conocidos. El propósito de esta especificación es establecer estándares para identificar productos y materiales que se compostarán satisfactoriamente en instalaciones de compostaje comerciales y municipales (American Society for Testing and Materials [ASTM], 2019).

- ASTM D6868 - 21 Especificación estándar para el etiquetado de artículos finales que incorporan plásticos y polímeros como revestimientos o aditivos con papel y otros sustratos diseñados para compostaje aeróbico en instalaciones municipales o industriales

Esta especificación establece los requisitos para el etiquetado de materiales y productos (incluido el embalaje), en los que se adhiere una película o revestimiento de plástico biodegradable (ya sea mediante laminación o extrusión directamente sobre el papel) a los sustratos compostables y

todo el producto o paquete está diseñado para ser compostado. en instalaciones de compostaje aeróbico municipales e industriales. Esta especificación, sin embargo, no describe el contenido del producto o su desempeño con respecto a la compostabilidad o biodegradabilidad. Para compostar satisfactoriamente, el producto debe demostrar cada una de las tres características siguientes: (1) desintegración adecuada durante el compostaje; (2) nivel adecuado de biodegradación inherente; y (3) ningún impacto adverso sobre la capacidad de los composts para apoyar el crecimiento de las plantas (ASTM, 2021).

➤ ISO 18606: 2013 Embalaje y medio ambiente - Reciclaje orgánico

Especifica los procedimientos y requisitos para los envases que son aptos para el reciclaje orgánico. El embalaje se considera recuperable mediante reciclaje orgánico solo si todos los componentes individuales cumplen los requisitos. Para cada uno de los componentes del embalaje se abordan los aspectos de biodegradación, desintegración durante el proceso de tratamiento de residuos biológicos (es decir, compostaje), efectos negativos sobre el proceso biológico y efectos negativos sobre la calidad del compost resultante, incluida la presencia de altos niveles de metales regulados y otras sustancias peligrosas para el medio ambiente (International Organization for Standardization [ISO], 2013).

## 2.8. Otros métodos para medir la degradación

Hay otros métodos para medir la degradación de los materiales plásticos en forma abiótica (sin la intervención de microorganismos que se basan en la propiedad de los plásticos de degradarse por acción de la radiación ultravioleta y del calor). A continuación, se mencionan algunas normas:

- Oxidación Térmica

Las normas ASTM D4102 y D4871 evalúan la degradación térmica. El material plástico se somete a temperatura constante con circulación de aire y se evalúa a intervalos constantes sus propiedades mecánicas (elongación, tensión de rotura, etc.), peso molecular y tiempo de fragilización. El material plástico sufre un proceso de degradación con pérdida de las propiedades y desintegración en un período variable de semanas a meses (Plastivida, 2007).

- Fotodegradación

Se utilizan las normas ASTM D5208, D53 y D3826. Una de las más usadas es la primera D 5208-01 denominada “Practica Estándar para la Exposición a la Luz Fluorescente Ultravioleta de Plásticos Fotodegradables”. Consiste en ensayos acelerado de degradación por rayos ultravioletas mediante lámparas especiales que emiten radiación ultravioleta reduciendo mucho el tiempo respecto

a la exposición a la radiación natural del sol. La degradación de los materiales plásticos bajo estas condiciones se produce en períodos desde los 15 a 60 días, o más, algunos ensayos demoran hasta 6 meses. El proceso de degradación se monitorea mediante la medida a intervalos constantes de las propiedades mecánicas, medición del índice de carbonilo, inspección visual, etc. (Plastivida, 2007).

## 2.9 *Lactuca sativa* y pasto (variedad terreno seco)

La lechuga es una planta anual y autógena, perteneciente a la familia Compositae y cuyo nombre botánico es *Lactuca sativa* L. La raíz de la lechuga, que no sobrepasa los 30 cm de profundidad es pivotante y con ramificaciones. Tiene un tallo corto y cilíndrico. Las hojas se disponen primero en roseta y después se aprietan unas junto a otras formando un cogollo. Los limbos pueden tener un borde liso, ondulado o aserrado. La inflorescencia son capítulos florales amarillos dispuestos en racimos (Agrolanzarote, 2012). La temperatura óptima de germinación oscila entre 18-20 °C. Durante la fase de crecimiento del cultivo se requieren temperaturas entre 14-18 °C por el día y 5-8 °C por la noche, pues la lechuga exige que haya diferencia de temperaturas entre el día y la noche (Infoagro, 2010). El sistema radicular de la lechuga es muy reducido en comparación con la parte aérea, por lo que es muy sensible a la falta de humedad y soporta mal un periodo de sequía, aunque éste sea muy breve. La humedad relativa conveniente para la lechuga es del 60 al 80%, aunque en determinados momentos agradece menos del 60% (Infoagro, 2010).

El pasto de variedad terreno seco es resistente al calor, para regiones con mucho sol y periodos de calor intenso. Su implantación vigorosa y su gran robustez hacen del mismo, un pasto ideal para jardines, como permanece verde todo el año, el pasto para terrenos secos asegura un jardín siempre fresco. Para la siembra se tiene que preparar bien el terreno, aflojar la tierra y emparejar la superficie. Sembrar al voleo en dos direcciones perpendiculares entre sí. Apretar para que la semilla haga contacto con la tierra. Como recomendaciones, las semillas necesitan de la exposición del sol, y la germinación de las semillas es de 5 a 8 días (Rancho los molinos, 2012).

En esta investigación se utilizarán larvas de *Tenebrio molitor* para biodegradar bolsas compostables hechas a base de ácido poliláctico. Esta metodología se propuso debido a que hay varios estudios que han demostrado que *Tenebrio molitor* es óptimo para biodegradar el poliestireno expandido (Darivan, 2017), esto con el fin de acabar con la contaminación de bolsas plásticas.

Además, se utilizarán semillas de *Lactuca sativa* y pasto (variedad terreno seco) para evaluar los efectos tóxicos de los grupos de bolsas en el proceso de germinación de las semillas y en el desarrollo de las plántulas durante los primeros días de crecimiento. Esto debido a que en los primeros días de desarrollo de la plántula ocurren numerosos procesos fisiológicos en los que la presencia de una sustancia tóxica puede interferir alterando la supervivencia y el desarrollo normal de la planta, siendo por lo tanto una etapa de gran sensibilidad frente a factores externos adversos (Castillo, 2004).

### III. OBJETIVOS

#### 3.1. Objetivo general

Evaluar el proceso de biodegradación de las bolsas de ácido poliláctico (PLA) mediante las larvas *Tenebrio molitor* y evaluar la toxicidad de dichas bolsas mediante la utilización de las semillas de *Lactuca sativa* y pasto (variedad terreno seco).

#### 3.2. Objetivos particulares

- Realizar una revisión documental de las bolsas certificadas como biodegradables, no biodegradable y compostables disponibles en México y las principales materias primas utilizadas en su fabricación.
- Determinar el porcentaje de consumo, porcentaje de ganancia o pérdida de peso y porcentaje de sobrevivencia de las larvas de *Tenebrio molitor* al consumir los diferentes grupos de bolsas y analizar como influyen estas diferentes bolsas (PLA) en el consumo, peso y sobrevivencia de las larvas.
- Determinar el porcentaje de germinación y el porcentaje de inhibición y/o estimulación de las semillas de *Lactuca sativa* y pasto (variedad terreno seco) que fueron expuestas a los grupos de bolsas y analizar cómo influye la exposición de las semillas en los diferentes grupos de bolsas sobre la germinación y elongación de las semillas.
- Analizar la composición química de los grupos de bolsas mediante la espectroscopia de infrarrojo/ATR.
- Determinar las concentraciones de metales pesados de los grupos de bolsa mediante la espectroscopía de emisión atómica con plasma de acoplamiento inductivo (ICP-OES), comparar dichas concentraciones con la norma NACDMX-010-AMBT-2019 y analizar si dichos metales afectan o benefician la germinación o elongación de las semillas de pasto y lechuga.
- Evaluar si hay diferencias significativas entre los grupos de bolsa con respecto al porcentaje de consumo, porcentaje de pérdida o ganancia de peso, porcentaje de sobrevivencia de las larvas; porcentaje de germinación y porcentaje de inhibición/estimulación de las semillas de lechuga y pasto mediante el método ANOVA.

## IV. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

### 4.1. Muestra y población

- Biodegradación de las bolsas por *Tenebrio molitor*

Como muestra principal, se seleccionaron diferentes bolsas hechas a diferentes concentraciones de PLA, las bolsas presentan las siguientes características (figura12):

a) Bolsa Ecohappi con 5 a 15% de ácido poliláctico (PLA), 25 a 30% de fécula de maíz (FM), y 50 a 70% de tereftalato de adipato de polibutileno (BPAT); 100% compostable; de 25.4 cm de largo x 17.9 cm de ancho que presenta el logotipo impreso de Seedling y se composta en menos de 180 días.

b) Bolsa Wecare con 15% de PLA, 35% de FM y 50% de PBAT; biodegradable de 45 cm de largo x 43 de ancho que presenta los logotipos impresos de Etiqueta OK compost INDUSTRIAL, Etiqueta OK compost HOME, Seedling, y BPI doméstica, y se composta en menos de 6 meses.

c) Bolsa Bioelementos con 52.5% de PLA, 42% de FM y polietileno (PE), biodegradable superior al 80% de biodegradación, de 20 cm de ancho x 30cm de largo, no presenta los logotipos impresos, pero cuenta con varias certificaciones como OK compost INDUSTRIAL, OK compost HOME, NMX-E-273 como compostable, biodegradable, no tóxico por metales pesados ni biotóxico.

d) Bolsa de plástico ecológica Anguiplast con 0% de ácido poliláctico, hecha de polietileno de alta densidad, plástico reciclable y carbonato de calcio, cuenta con dimensiones de 26.6 cm de ancho x 40 cm de largo.

Estas bolsas se cortaron en cuadrados de aproximadamente 1.5 cm de lado (figura 13).



Figura 12. Bolsas hechas a base de ácido poliláctico.  
a) Ecohappi b) Wecare c) Bioelementos d) Anguiplast

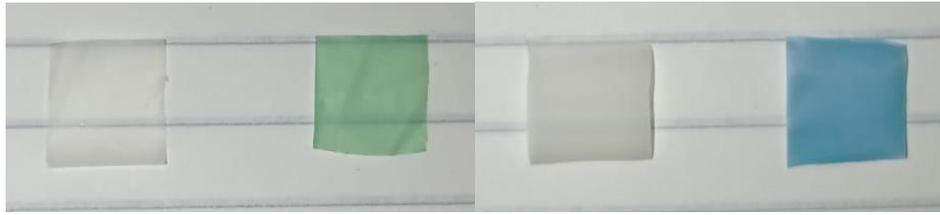


Figura 13. Bolsas recortadas en cuadros de aproximadamente 1.5 de lado

Como control se utilizó salvado de trigo el cual se compró en una forrajera (figura 14).



Figura 14. Salvado de trigo

Para una identificación rápida del tipo de muestra, se asignaron las siguientes claves (tabla 2):

Tabla 2. Claves de identificación de muestra

<b>Muestra</b>	<b>Clave</b>
<b>Ecohappy</b>	GBC1
<b>We care</b>	GBC2
<b>Bioelementos</b>	GBC3
<b>Anguiplast</b>	GBNC4
<b>Salvado de trigo</b>	Control

GBC: Grupo de bolsa compostable.

GBNC: Grupo de bolsa no compostable.

Como población se escogieron 300 larvas de *Tenebrio molitor* de tamaño similar, de las cuales se utilizaron 60 larvas para cada grupo de bolsa que a su vez se dividieron en tres para cada una de las réplicas, cada una con 20 larvas (figura 15).



Figura 15. Larvas de *Tenebrio molitor*

Se utilizaron 15 envases de HDPE con tapa, cada envase tiene una circunferencia de 10.5 cm y 7.5 cm de altura. A cada tapa se le realizó una serie de agujeros para permitir el flujo de aire y cada envase se etiquetó con su respectivo nombre de muestra y número de réplica (figura 16), por lo tanto, se utilizaron 3 envases para cada tipo de muestra (GBC1, GBC2, GBC3, GBNC4 y Control).



Figura 16. Envases de HDPE con tapa e identificados de acuerdo con el nombre de muestra y réplica

- Germinación y toxicidad de semillas de *Lactuca sativa* y pasto (variedad terreno seco)

Para esta prueba se utilizaron dos tipos de semilla, 600 semillas de lechuga (*Lactuca sativa*) y 600 semillas de pasto (variedad terreno seco), cabe destacar que se seleccionaron semillas que tuvieran aproximadamente el mismo tamaño y apariencia (figura 17).



Figura 17. Semillas de lechuga y pasto respectivamente

Como sustrato para las cajas réplica se utilizó la bolsa cortada en cuadrados, para preparar este sustrato; 10 g de cada grupo de bolsa se molió con 125 mL de agua purificada de la marca Bonafont, esta mezcla se colocó en un recipiente de plástico con tapa la cual se dejó reposar durante 5 días, posteriormente, la mezcla se filtró y el líquido resultante se utilizó para regar las semillas (figura 18). Como sustrato para las cajas control se utilizó una capa delgada de algodón.



Figura 18. Soluciones obtenidas de cada grupo de bolsa. De izquierda a derecha, H<sub>2</sub>O, ZnSO<sub>4</sub>, GBC1, GBC2, GBC3 y GBNC4

Se etiquetaron y se utilizaron 36 cajas Petri de 10 cm de diámetro, de las cuales se utilizaron 18 cajas para las semillas de lechuga y 18 cajas para las semillas de pasto. De las 18 cajas que pertenecen por cada tipo de semilla, 3 cajas se utilizaron por cada grupo de bolsa, 3 cajas para el control positivo y 3 cajas para el control negativo. Como controles se utilizó agua purificada y 500 mg/L de sulfato de zinc (ZnSO<sub>4</sub>) como control negativo de referencia y control positivo respectivamente.

#### 4.2. Biodegradación de los grupos de bolsas mediante las larvas de *Tenebrio molitor*

Para realizar esta metodología, se consideraron algunas investigaciones relacionadas con la biodegradación de polímeros utilizando *Tenebrio molitor*, (Molina et al., 2016 y Portocarrero, 2021).

Se pesó 5 g de muestra de cada grupo de bolsa (GBC1, GBC2, GBC3 y GBNC4) y 20 g de salvado de trigo para el control, a continuación, se depositó el alimento en su respectivo envase junto con las larvas de *Tenebrio molitor* y se les dejó durante 7 semanas a temperatura ambiente (figura 19), pasados los 49 días se pesó la cantidad de alimento que no fue consumida, para así calcular el porcentaje de consumo (ecuación 1).



Figura 19. Envases con larvas y muestra, acomodados por grupo de bolsa (de arriba hacia abajo) y réplica (de izquierda a derecha)

$$\% \text{ de consumo} = \frac{\text{Peso del alimento final} - \text{Peso del alimento inicial}}{\text{Peso del alimento inicial}} * 100 \quad (1)$$

Para determinar el porcentaje de ganancia o pérdida de peso de *Tenebrio molitor* se llevó a cabo un registro de los datos de los pesos de las larvas, este se realizó cada 7 días para todas las clasificaciones establecidas durante el periodo de la prueba que fue de 7 semanas. Es importante mencionar que el registro de la ganancia o pérdida de peso fue realizado con el peso de las 20 larvas juntas.

$$\% \text{ de ganancia o pérdida de peso} = \frac{\text{Peso de larva final} - \text{Peso de larva inicial}}{\text{Peso de larva inicial}} * 100 \quad (2)$$

Por otro lado, el porcentaje de sobrevivencia de las larvas fue registrada cada 2 días para todas las clasificaciones establecidas durante el mismo periodo mencionado anteriormente.

#### 4.3. Germinación, elongación y toxicidad en *Lactuca sativa* y pasto (variedad terreno seco)

Para determinar la germinación y toxicidad se consideró parte del ensayo de toxicidad aguda con semillas de lechuga *Lactuca sativa* L. de María Cecilia Sobrero y Alicia Ronco (Castillo, 2004) y parte de la NMX-E-273-NYCE-2019 Industria del plástico – Plásticos compostables – Especificaciones y métodos de prueba (Norma Mexicana [NMX], 2019). Esta misma metodología se utilizó para las semillas de pasto (variedad terreno seco).

Para cada tipo de semilla se llevó el siguiente procedimiento:

De las 18 cajas Petri, tres cajas se utilizaron como réplicas para cada grupo de bolsa, control positivo y control negativo (figura 20). A las cajas control se les colocó una capa delgada de algodón, mientras que a las cajas réplica se les colocó una capa delgada de su respectivo sustrato. Después a cada caja se le agregó 30 semillas distribuidas uniformemente sobre el sustrato, esto para permitir la elongación de las raíces, por último, a cada caja se le agregó 4 mL de solución de la siguiente manera; a las cajas de control negativo se les regó con agua purificada, a las cajas de control positivo con  $ZnSO_4$  y a las cajas réplicas con el propio líquido resultante de cada grupo de bolsa remojada.



Figura 20. Clasificación de 18 cajas Petri para cada tipo de semilla. De izquierda a derecha; réplicas, de arriba hacia abajo; grupos de bolsa y controles

Se taparon las cajas y se guardaron en una bolsa plástica para evitar la pérdida de humedad, las cajas de las semillas de lechuga se cubrieron de la luz (algunas variedades de semillas de lechuga requieren oscuridad para que se produzca la germinación) y las cajas de semillas de pasto se colocaron a una luz indirecta. Las semillas de lechuga se incubaron durante 120 horas (5 días), y las semillas de pasto durante 240 horas (10 días), ambas a temperatura ambiente.

Después de que se haya concluido la incubación, se contaron y se registraron las semillas que germinaron en cada una de las cajas, por último, con la ayuda de una regla se prosiguió a medir cuidadosamente la longitud de la radícula e hipocótilo producida por la germinación de cada semilla de lechuga; y la longitud de las raíces y tallo producida por la germinación de cada semilla de pasto.

En las semillas de lechuga, la medida de elongación de la radícula se consideró desde el nudo (región más engrosada de transición entre la radícula y el hipocótilo) hasta el ápice radicular; mientras que la medida de elongación del hipocótilo se consideró desde el nudo hasta el sitio de inserción de los dos cotiledones. En las semillas de pasto, la medida de elongación de la raíz se consideró desde la corona hasta el apéndice de la raíz; mientras que la medida del tallo se consideró desde la corona hasta el término de este (figura 21).

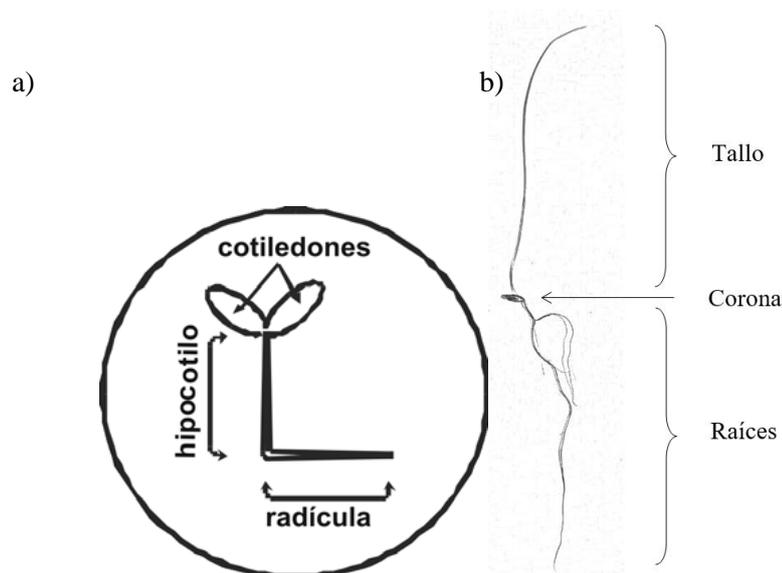


Figura 21. Estadios por los que atraviesan las semillas a) *Lactuca sativa* y b) pasto (variedad terreno seco) durante el ensayo de germinación y toxicidad

#### 4.4. Composición química de los grupos de bolsas

Para identificar los grupos de bolsas, se realizó un análisis de la composición química empleando los métodos de espectrofotometría de infrarrojo y espectroscopía de emisión atómica con plasma de acoplamiento inductivo (ICP-OES).

Para identificar grupos, enlaces, vibraciones y frecuencias de los compuestos presentes en los grupos de bolsas, se utilizó un espectrofotómetro de infrarrojo NICOLET 6700 FTIR-ATR de THERMO SCIENTIFIC del Laboratorio de Ingeniería Ambiental del Instituto de Ingeniería, UNAM. Cada grupo de muestra se determinó con una configuración de 16 scans, una resolución de 8 y un espaciado de datos de  $1.928\text{ cm}^{-1}$  utilizando el software OMNIC. Estas determinaciones se realizaron para cada grupo de bolsa por triplicado escogiendo al último el mejor espectro.

Para determinar la concentración de los metales pesados (Arsénico, Cadmio, Cromo, Cobre, Níquel, Plomo y Zinc) presentados en los grupos de bolsas, se utilizó el espectrofotómetro ICP-OES AgilentTechnologies 5100 y el horno de digestion EtHOS EASY de Milestone del laboratorio de Biogeoquímica Ambiental de la Facultad de Química, UNAM.

#### **Análisis estadístico**

Se realizó un análisis de varianzas (ANOVA) para establecer diferencias significativas; entre los grupos de bolsa con respecto al porcentaje de consumo, porcentaje de pérdida o ganancia de peso y porcentaje de sobrevivencia de las larvas; porcentaje de germinación y porcentaje de inhibición o elongación de la radícula e hipocótilo para el caso de las semillas de lechuga, y raíz y tallo para el caso de las semillas de pasto, utilizando un nivel de confianza de 95%.

## V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Consumo de los grupos de bolsas y control, pérdida o ganancia de peso y sobrevivencia de las larvas *Tenebrio molitor*

En la tabla 3 se encuentra el registro de pupas y larvas muertas obtenidas al término de la prueba experimental (7 semanas).

Tabla 3. Número de pupas y larvas muertas obtenidas al término de las 7 semanas (n=20 por cada réplica)

Grupo	No. de pupas				No. de larvas muertas				Total
	R1	R2	R3	Total	R1	R2	R3	Total	
<b>GBC1</b>	0	0	1	<b>1</b>	0	0	1	<b>1</b>	2
<b>GBC2</b>	1	1	1	<b>3</b>	0	0	0	<b>0</b>	3
<b>GBC3</b>	0	1	1	<b>2</b>	0	0	0	<b>0</b>	2
<b>GBNC4</b>	2	1	1	<b>4</b>	0	1	0	<b>1</b>	5
<b>Control</b>	5	3	8	<b>16</b>	0	2	0	<b>2</b>	18

- Para el consumo

En el anexo 1, en la tabla A1-1 se encuentra el registro de masa inicial y final de los grupos de bolsa y control.

Después de las 7 semanas de alimentar a las larvas *Tenebrio molitor*, en la tabla 4 se encuentran los porcentajes de consumo de los grupos de bolsa y control.

Tabla 4. Porcentaje de consumo de los diferentes grupos de bolsa y control consumida por las larvas *Tenebrio molitor*

Grupo	% de consumo
<b>GBC1</b>	2.000
<b>GBC2</b>	1.333
<b>GBC3</b>	4.667
<b>GBNC4</b>	0.667
<b>Control</b>	10.167

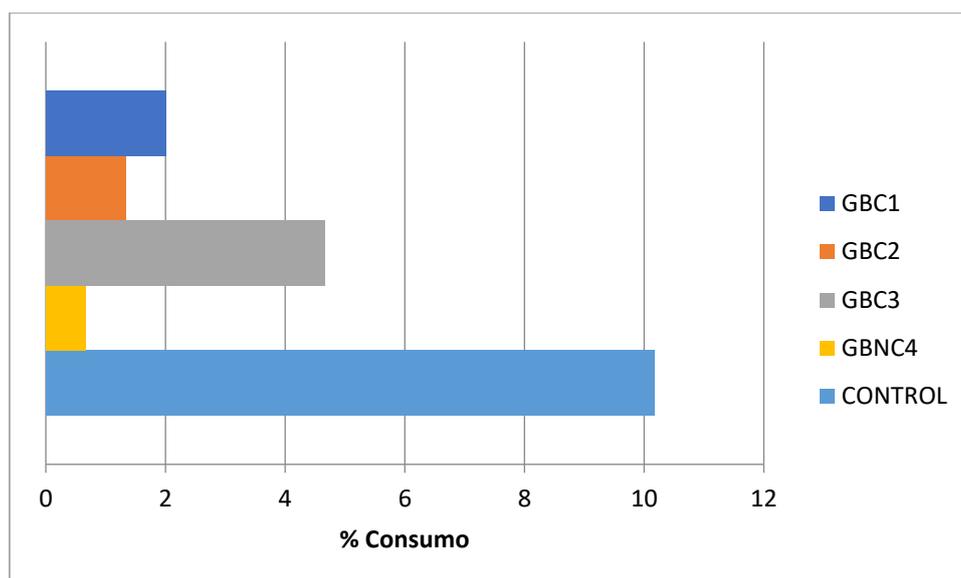


Figura 22. Porcentaje de consumo de los diferentes grupos de bolsa y control realizado por las larvas *Tenebrio molitor*

En la tabla 3, se observa que en algunos grupos de bolsa y control no permanecieron las 20 larvas iniciales debido a que algunas larvas pasaron a ser pupas y otras larvas murieron, por lo tanto, disminuyó la cantidad de larvas para el consumo de los grupos de bolsa y control. En algunos casos las larvas pasaron a ser pupas a la mitad de la prueba experimental y en otros casos las larvas pasaron a ser pupas en la última semana de la prueba experimental. Con base a esto, no hay una diferencia significativa entre la cantidad de larvas y pupas totales de los grupos de bolsa que se descartaron para la prueba de porcentaje de consumo ( $p=0.43$ ). Cabe destacar que se determinó el porcentaje de consumo únicamente con las larvas vivas que quedaron al término de la prueba.

Al comparar el consumo de los diferentes grupos de bolsa y el grupo control, en la figura 22 se observa que hubo un mayor porcentaje de consumo en el grupo control, esto se debe a que el salvado de trigo es la dieta principal de las larvas de *Tenebrio molitor* por lo que hay un mayor consumo de este (Garrucho, 2017; Houbraken et al., 2016; Makkar et al., 2014), Además del control, el GBC3 fue el que tuvo un mayor porcentaje de consumo con respecto a los otros grupos de bolsas, esto se debe a que este grupo de bolsa tiene un mayor porcentaje de ácido poliláctico en su composición comparado con los otros grupos de bolsas (figura 23). Con respecto al GBNC4, se observa que este tuvo un porcentaje de consumo menor comparado con las bolsas compostables, esto indica que efectivamente las larvas de *Tenebrio molitor* prefieren el consumo de bolsas hechas a base de ácido poliláctico. Los porcentajes de consumo de los diferentes grupos de bolsa son diferentes ( $p=1.31E-10$ ) cuando son consumidos por las larvas de *Tenebrio molitor*.



Figura 23. Bolsa del GBC3 consumida por las larvas *Tenebrio molitor*

- Para la pérdida o ganancia de peso

En el anexo 1, en las tabla A1-2, A1-3, A1-4, A1-5 y A1-6 se encuentran los registros de peso de una larva de *T. molitor* de cada grupo de bolsa (GBC1, GBC2, GBC3, GBNC4) y control que se llevó a cabo cada 7 días durante 7 semanas; en la tabla A1-7 se encuentra el porcentaje de peso promedio de una larva de los diferentes grupos de bolsa y control de cada semana, con estos datos se obtuvo el porcentaje de pérdida o ganancia de peso de una larva al término de las 7 semanas (tabla 5) y, en la tabla A1-8 se encuentra el registro de temperatura ambiental tomada de cada semana.

Tabla 5. Porcentaje de pérdida o ganancia de peso de una larva de *Tenebrio molitor* al consumir los diferentes grupos de bolsa

<b>Grupo</b>	<b>% de ganancia o pérdida de peso</b>
<b>GBC1</b>	-2.56
<b>GBC2</b>	-2.29
<b>GBC3</b>	-2.88
<b>GBNC4</b>	-2.09
<b>Control</b>	2.78

El signo (-) indica pérdida de peso

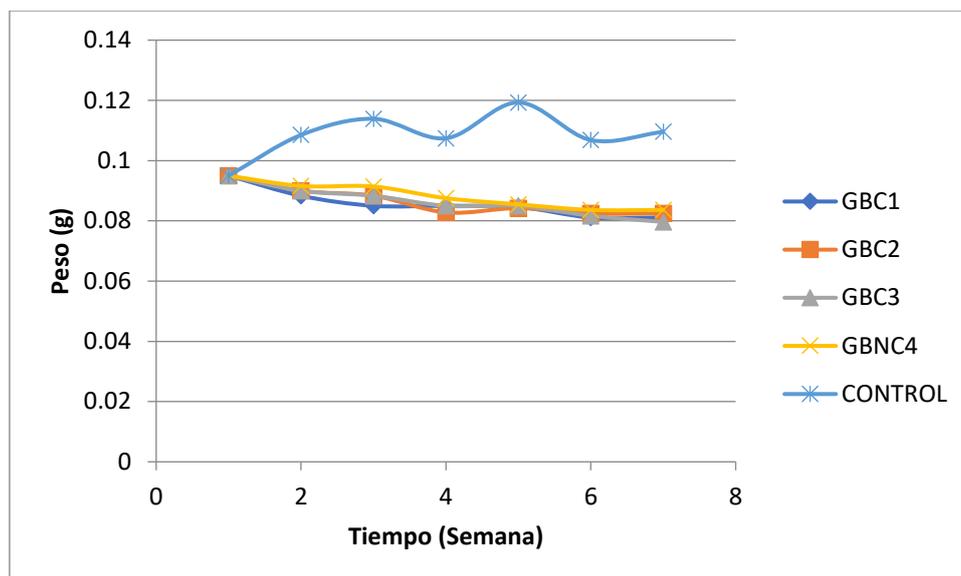


Figura 24. Curva de peso promedio de una larva de cada grupo de bolsa llevado a cabo durante 7 semanas

Cabe aclarar que el peso que se observa en la figura 24 es de acuerdo con el peso promedio de una larva de cada grupo de bolsa y control, ya que como se mencionó anteriormente, hubo larvas que se descartaron debido a la muerte o la metamorfosis de la larva. Esta determinación se realizó por cada réplica de grupo por cada semana; se dividió el peso de las larvas juntas de cada réplica de un grupo entre el número de larvas vivas de cada semana (para obtener el peso de una larva). Por último, se realizó el promedio de las tres réplicas de cada grupo de bolsa.

En la tabla 5 se observa un porcentaje de pérdida de peso en GBC1, GBC2, GBC3 y GBNC4, siendo la mayor pérdida de peso en GBC3 mientras que el GBNC4 tuvo una menor pérdida comparada entre los grupos de bolsa, esto indica que el PLA no influye en el aumento de peso de las larvas. Por otro lado, se observa un porcentaje de ganancia de peso en las larvas del grupo control, ya que este alimento es óptimo para su crecimiento y desarrollo. El porcentaje de pérdida o ganancia de peso promedio de una larva no fue estadísticamente igual entre los grupos de bolsa y control ( $p=0.00$ ). Además, no hubo diferencia significativa del porcentaje del peso de la larva de cada grupo de bolsa y control, conforme fueron pasando las semanas ( $p=0.07$ ).

Las larvas del grupo control mudaron de 2 a 3 veces la piel debido al aumento de peso, mientras que las larvas de los otros grupos de bolsas no mudaron de piel durante toda la prueba de experimentación (figura 25).



Figura 25. Mudas de piel de las larvas control

- Para la sobrevivencia

En el anexo 1, en las tablas A1-9, A1-10, A1-11, A1-12 y A1-13 se encuentran los registros de la sobrevivencia de las larvas *T. molitor* del GBC1, GBC2, GBC3, GBNC4 y control respectivamente, que se llevó a cabo cada 2 días durante 49 días, con estos datos se obtuvo el porcentaje de sobrevivencia (tabla 6) y en la tabla A1-14 se encuentra el registro de temperatura ambiental tomada de cada dos días.

Tabla 6. Porcentaje de sobrevivencia de las larvas *T. molitor* al consumir los diferentes grupos de bolsa y control

<b>Grupo</b>	<b>% de sobrevivencia</b>
<b>GBC1</b>	99.13
<b>GBC2</b>	100
<b>GBC3</b>	100
<b>GBNC4</b>	98.53
<b>CONTROL</b>	97

Para la determinación de sobrevivencia se tomaron en cuenta aquellas larvas que pasaron a ser pupas.

En la figura 26, se encuentra la curva de sobrevivencia de las larvas de cada grupo de bolsa y control luego de 49 días de alimentación.

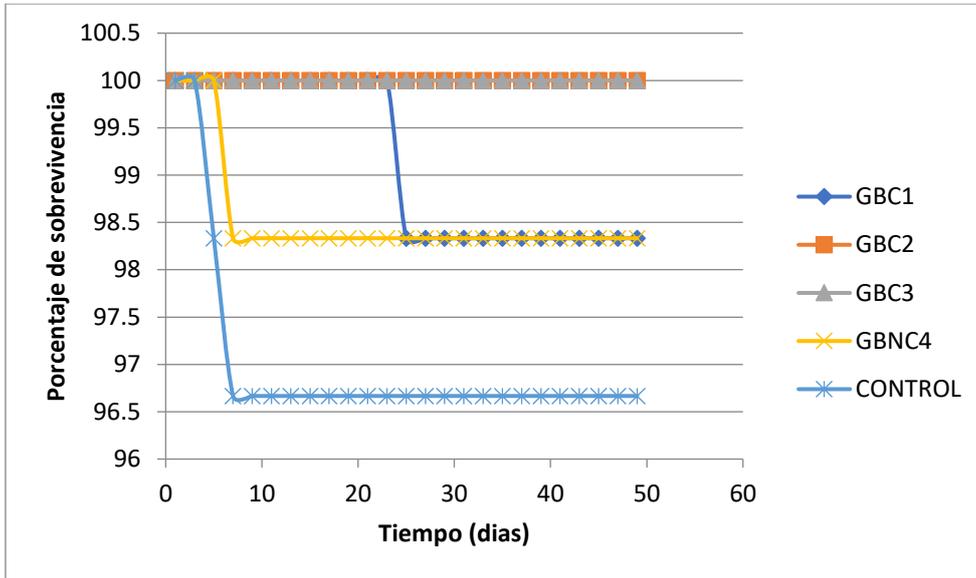


Figura 26. Curva de sobrevivencia de las larvas *Tenebrio molitor*

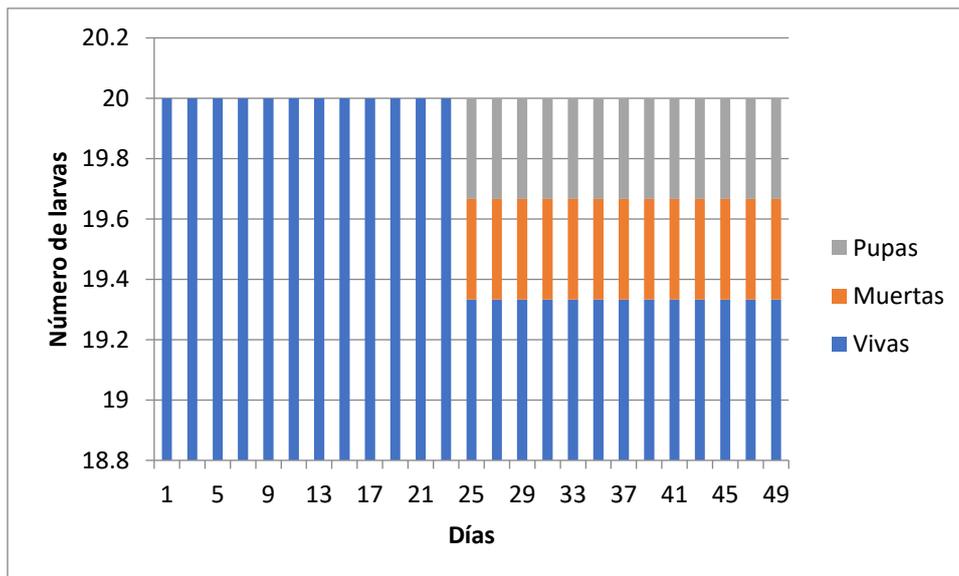


Figura 27. Estado de las larvas del GBC1 durante 49 días

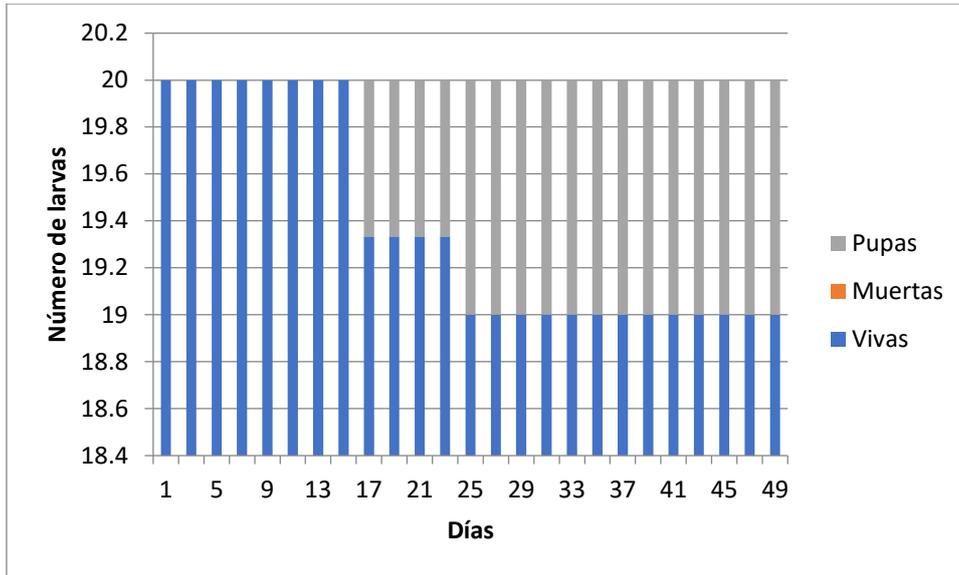


Figura 28. Estadio de las larvas del GBC2 durante 49 días

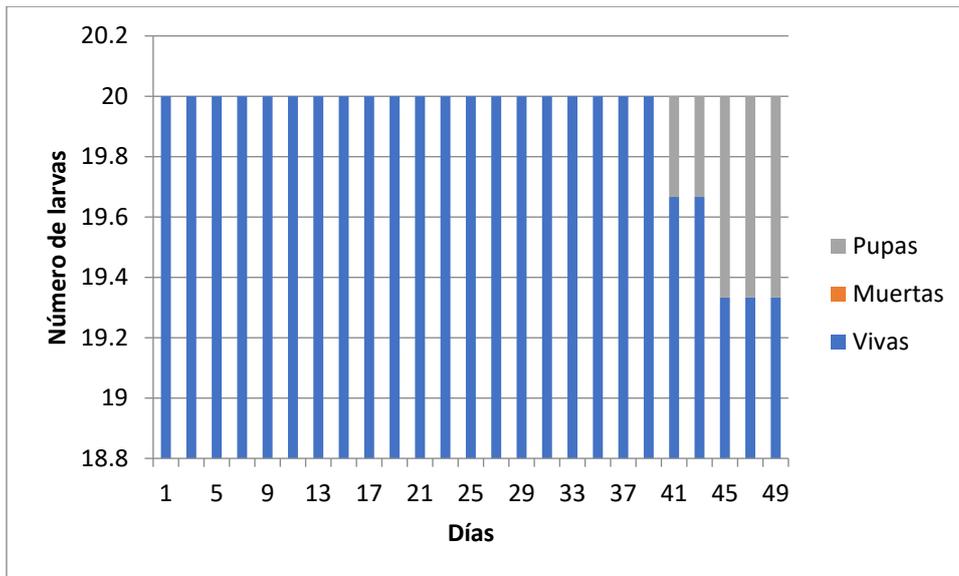


Figura 29. Estadio de las larvas del GBC3 durante 49 días

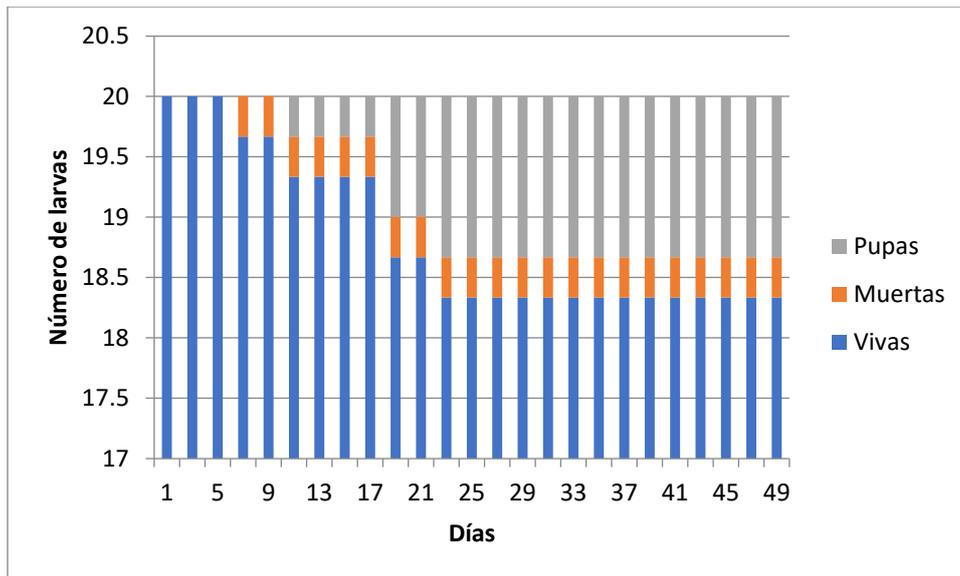


Figura 30. Estado de las larvas del GBNC4 durante 49 días

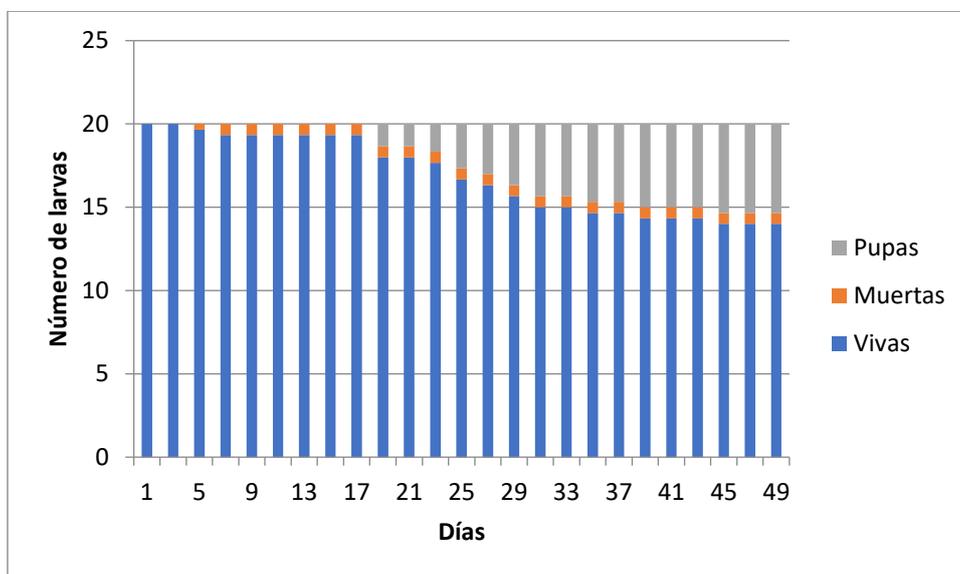


Figura 31. Estado de las larvas del grupo control durante 49 días

En la figura 26 se observa que los grupos que tuvieron una mayor sobrevivencia fueron los grupos GBC2 y GBC3 con un 100% de sobrevivencia, la presencia de pupas en estos grupos de bolsa se presenta a la mitad y al término de la prueba (figura 28 y 29). El GBC1 obtuvo un porcentaje sobrevivencia de 99.13% y el GBNC4 98.53%, en el primero se presentó la muerte de la larva a la mitad de la prueba (figura 27) mientras que en el segundo se presentó la muerte casi al principio de la prueba, respectivamente (figura 30); las pupas se presentaron con la misma tendencia en ambos grupos. El grupo control presentó una sobrevivencia del 97%, la muerte de la larva se presentó casi al principio de la prueba y la pupa se presentó casi a la mitad de la prueba (figura 31).

Al comparar estos resultados se puede concluir que la dieta si influye en la sobrevivencia de las larvas debido a que en los grupos de bolsa con más porcentaje de PLA (GBC3 y GBC2) no se presentó la muerte de las larvas, sin embargo, en el GBNC4 (menor porcentaje de PLA) se presentó la muerte de algunas larvas. Con respecto a la muerte de larvas en el grupo control, probablemente se debió a la baja calidad o contaminación del salvado de trigo.

Hubo diferencias significativas de los porcentajes de sobrevivencia de las larvas al consumir diferentes grupos de bolsa y control ( $p=2.328E-20$ ); y también hubo diferencia de los porcentajes de sobrevivencia de las larvas conforme fue pasando el tiempo ( $p=2.018E-06$ ).

## 5.2. Semillas de *Lactuca sativa* y pasto (variedad terreno seco) expuestas a diferentes grupos de bolsas

En la figura 32 se observa la germinación y elongación de las semillas de lechuga y pasto que fueron expuestas a diferentes grupos de bolsa y controles.



Figura 32. Semillas germinadas. a) Semillas de lechuga expuestas a las soluciones de los grupos de bolsa, de arriba hacia abajo: GBC1, GBC2, GBC3, GBNC4, control negativo y control positivo; de izquierda a derecha: réplica 1, réplica 2 y réplica 3. b) Semillas de pasto expuestas a las soluciones de los grupos de bolsa, de arriba hacia abajo: GBC1, GBC2, GBC3, GBNC4, control negativo y control positivo; de izquierda a derecha: réplica 1, réplica 2 y réplica 3.

- Germinación de las semillas

Después de que se concluyó la incubación, en las tablas A2-1 y A2-2 del anexo 2 se registró el número de semillas lechuga y pasto germinadas de cada grupo de bolsa, con estos datos se determinaron los promedios de germinación, los porcentajes de germinación de las semillas de lechuga (tabla 7) y pasto de cada grupo de bolsa (tabla 8).

Se calculó el porcentaje de germinación de las semillas para cada concentración con respecto al control negativo como lo mencionan Saetama et al. (2018).

$$\% \text{ Germinación} = \frac{\text{No. semillas germinadas en cada grupo de bolsa}}{\text{No. semillas germinadas en el control}} \times 100$$

Tabla 7. Promedio y porcentaje de germinación de las semillas de *Lactuca sativa* de cada grupo de bolsa

<b>Grupo</b>	<b>̄X de semillas germinadas</b>	<b>% de germinación</b>
<b>GBC1</b>	24.67	108.82
<b>GBC2</b>	23.67	104.41
<b>GBC3</b>	26.33	116.18
<b>GBNC4</b>	25.67	113.24
<b>Control -</b>	22.67	75.56

El porcentaje de la germinación del control negativo fue mayor al 70%.

En la tabla 7, el GBC3 obtuvo el mayor porcentaje de germinación que fue de 116.18% y los grupos con menor porcentaje de germinación fueron los GBC1 y GBC2 con 108.82% y 104.41% respectivamente. El PLA no influye en la germinación de las semillas de lechuga debido a que el GBC3 obtuvo el primer lugar y en segundo lugar el GBNC4, los cuales tienen 52.5 % PLA y 0% PLA respectivamente.

Cabe mencionar que el control positivo ( $ZnSO_4$ ) únicamente sirvió como tóxico de referencia. En la tabla A2-1 del anexo II se encuentra el número de semillas de lechuga germinadas del control positivo, dando un promedio mayor que el control negativo, esto se debe a que la concentración de sulfato de zinc utilizada (500mg/L) no fue lo suficientemente alta para promover una inhibición de la germinación en las semillas de lechuga. Esto probablemente sucedió por la baja pureza del compuesto, por lo que, no se obtuvo el efecto deseado.

Además, la concentración de 500 mg/L era ideal para inhibir la germinación ya que en un artículo se mencionó que a mayores concentraciones de  $ZnSO_4$  el porcentaje de germinación es menor, (germinaciones menores al 50% con concentraciones de 0.1, 1, 10 y 100 ppm (Sánchez y Sánchez, 2009)).

Poi de Neiff y Ramos (2001) indicaron que se pueden considerar sustancias no tóxicas a las muestras cuya germinación es mayor del 90%, tóxicas a las que presentan una germinación del 75% al 90% y muy tóxicas a las que tienen menos del 75% de germinación en relación con el control negativo, se puede concluir que no hubo un efecto de toxicidad en los cuatro grupos de bolsa, ya que estos fueron superiores al 90%. Con respecto a la baja germinación del control negativo probablemente se debió a que el agua utilizada no aportó los nutrientes necesarios para la germinación de la semilla.

Los altos porcentajes de germinación de los grupos de bolsa comparados con el control negativo, probablemente se deba a la presencia de elementos esenciales presentes en la composición de las bolsas. Los micronutrientes como el Fe, Mn, Zn, Cu, B, Mo y Cl son bioelementos esenciales para las plantas en concentraciones muy bajas (100mg/kg). (Porta, 2019; Rodríguez y Flórez, 2004).

El análisis estadístico indica que no hay diferencia significativa del porcentaje de germinación de las semillas de lechuga expuestas a los diferentes grupos de bolsa y control ( $p=0.37$ ).

Tabla 8. Promedio y porcentaje de germinación de las semillas de pasto variedad terreno seco de cada grupo de bolsa.

<b>Grupo</b>	<b><math>\bar{X}</math> de semillas germinadas</b>	<b>% de germinación</b>
<b>GBC1</b>	28.00	102.44
<b>GBC2</b>	26.33	96.34
<b>GBC3</b>	26.67	97.56
<b>GBNC4</b>	28.67	104.88
<b>Control -</b>	27.33	91.11

El porcentaje de la germinación del control negativo fue mayor al 70%.

En la tabla 8, se observa que el GBNC4 obtuvo el mayor porcentaje de germinación, el cual fue de 104.88% y los grupos con menor porcentaje de germinación fueron los GBC2 y GBC3 con un 96.34 y 97.56% respectivamente. Estos resultados muestran que en ningún grupo de bolsa hubo una reducción menor al 70% con respecto al control negativo. En este análisis, los resultados tampoco están relacionados con las diferentes concentraciones de PLA debido a que como primer lugar se encuentra el GBNC4 (0% PLA), como segundo lugar el GBC1 (5-15% PLA), como tercer lugar el GBC3 (52.5 % PLA) y como cuarto lugar el GBC2 (15% PLA), por lo que el PLA no influye en la germinación de las semillas de pasto.

En la tabla A2-2 del anexo II, el promedio de germinación de las semillas de pasto del control positivo fue menor que el control negativo, por lo tanto, el ZnSO<sub>4</sub> funcionó como tóxico de referencia para la germinación de estas semillas, lo que concluye que las semillas de pasto son más sensibles que las semillas de lechuga en la inhibición de la germinación.

De igual forma, todos los grupos de bolsa se encuentran en la categoría de no tóxicos ya que tienen un porcentaje de germinación mayor al 90%.

El análisis estadístico indica que no hay diferencia significativa del porcentaje de germinación de las semillas de pasto al ser expuestas a los diferentes grupos de bolsa y control ( $p=0.58$ ).

- Elongación de las semillas.

En las tablas A2-3, A2-4, A2-5, A2-6, A2-7 y A2-8 se encuentran los registros de la inhibición/estimulación de la elongación de la radícula e hipocótilo de las semillas de lechuga en los diferentes grupos de bolsa y controles; mientras que en las tablas A2-9, A2-10, A2-11 A2-12, A2-13 y A2-14 se encuentran los registros de inhibición/estimulación de la elongación del tallo y raíz de las semillas de pasto en los diferentes grupos de bolsa y controles. Con estos resultados se obtuvo el porcentaje de inhibición/estimulación de la elongación de la radícula e hipocótilo en las semillas de lechuga que estuvieron expuestas a los grupos de bolsas compostables (tabla 9).

*% inhibición/estimulación*

$$= \frac{\text{Promedio elongación muestra} - \text{Promedio elongación control}}{\text{Promedio elongación control}} \times 100$$

Tabla 9. Promedio y porcentaje de la elongación de las semillas de lechuga en los grupos de bolsas

	<b><math>\bar{X}</math> de inhibición/estimulación de elongación</b>		<b>% de inhibición/estimulación de elongación</b>	
	Hipocótilo	Radícula	Hipocótilo	Radícula
<b>GBC1</b>	2.06	2.50	19.54	25.59
<b>GBC2</b>	1.45	2.05	-15.80	2.62
<b>GBC3</b>	1.79	2.02	4.06	1.51
<b>GBNC4</b>	2.02	1.53	17.09	-23.30
<b>Ctrl -</b>	1.72	1.99	NA	NA

El signo (-) indica inhibición.

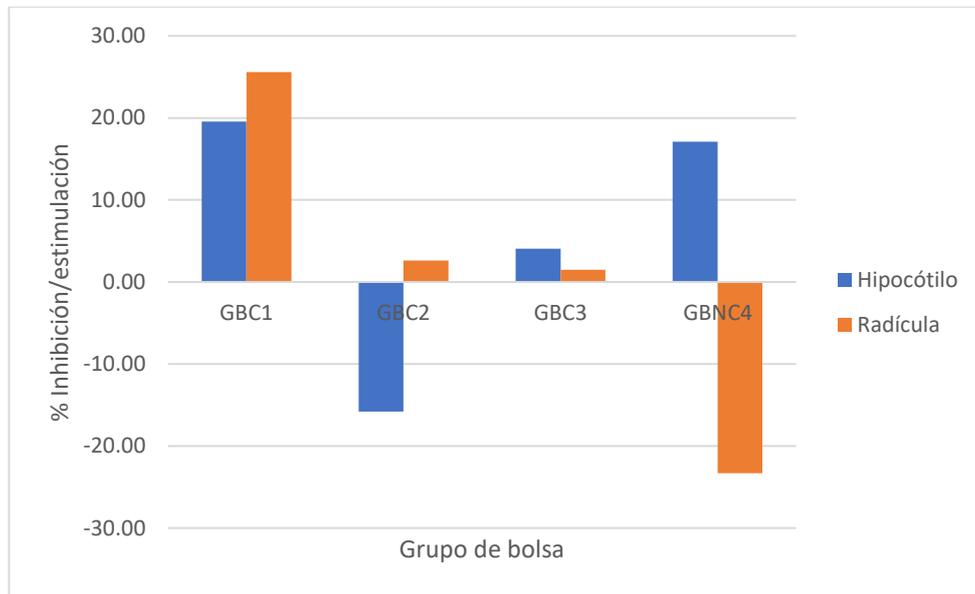


Figura 33. Porcentaje de inhibición y estímulo en la elongación del hipocótilo y radícula de las semillas de lechuga expuestas a los diferentes grupos de bolsa

En la figura 33 se observa una inhibición de la elongación del hipocótilo en el GBC2 y una inhibición de la elongación de la radícula en el GBNC4. Por otro lado, se observa una mayor estimulación de la elongación de hipocótilo en el GBC1 y GBNC4; y una mayor estimulación de la elongación de la radícula en el GBC1. Únicamente se observa una estimulación de hipocótilo y de radícula en el GBC1 y GBC3 los cuales son los que mayor concentración de PLA presentan en la composición de la bolsa. Por lo tanto, se concluye que probablemente el PLA influye en la estimulación de la elongación de la radícula e hipocótilo de las semillas de lechuga.

De igual manera, en la tabla A2-7 se observó una menor elongación de la radícula e hipocótilo de las semillas de lechuga del control positivo comparado con el control negativo (A2-8), por lo tanto, el zinc funcionó como toxico de referencia para dichas semillas.

Se realizó un análisis estadístico para determinar si hay diferencias entre los porcentajes de inhibición/estimulación de la elongación del hipocótilo al ser expuesto a los diferentes grupos de bolsa, este análisis indicó que sí hay diferencia ( $p=0.00$ ). También se realizó un análisis estadístico para determinar si hay diferencias entre los porcentajes de inhibición/estimulación de la elongación de la radícula al ser expuestos a los diferentes grupos de bolsa, por lo que los resultados indicaron que hay diferencia significativa ( $p=00$ ).

En la tabla 10 se encuentra el porcentaje de inhibición/estimulación de la elongación del tallo y de las raíces de las semillas de pasto que estuvieron expuestas a los diferentes grupos de bolsa.

Tabla 10. Promedio y porcentaje de inhibición de la elongación de las semillas de pasto en los grupos de bolsas

	$\bar{X}$ de inhibición/estimulación de elongación				% de inhibición/estimulación de elongación			
	Tallo	Raíz 1	Raíz 2	Raíz 3	Tallo	Raíz 1	Raíz 2	Raíz 3
<b>GBC1</b>	4.64	4.39	0.62	0.20	-14.34	-9.51	-40.45	-53.08
<b>GBC2</b>	5.04	4.29	0.83	0.25	-7.05	-11.45	-19.85	-43.33
<b>GBC3</b>	4.09	4.21	0.87	0.19	-24.45	-13.22	-16.65	-55.64
<b>GBNC4</b>	5.55	5.17	1.01	0.21	2.52	6.67	-3.31	-51.79
<b>Ctrl -</b>	5.42	4.85	1.04	0.43	NA	NA	NA	NA

El signo (-) indica inhibición.

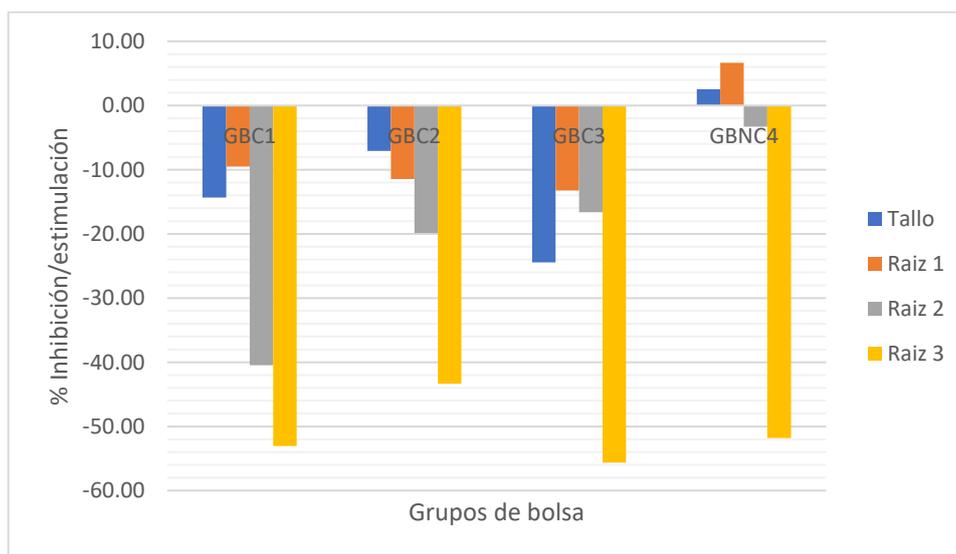


Figura 34. Porcentaje de inhibición y estímulo en la elongación del hipocótilo y radícula de las semillas de pasto expuestas a los diferentes grupos de bolsa

En la figura 34 se observa que hay una mayor inhibición de la elongación tanto del tallo como de las raíces en el GBC1, GBC2 y GBC3, mientras que el GBNC4 obtuvo una estimulación de la elongación en el tallo y raíz 1, y una inhibición de la elongación en las raíces 2 y 3, por lo tanto, estos resultados indican que las muestras del GBC1, GBC2, GBC3 y GBNC4 son tóxicas para las semillas de pasto. En este análisis, el PLA no influye en la estimulación de la elongación del tallo y de las raíces.

El control positivo (tabla A2-13) tuvo un promedio mayor en la inhibición de la elongación del tallo y raíces comparado con el control negativo (A2-14), lo cual indicó que el sulfato de función como toxico de referencia para las semillas de pasto.

En este caso, también se realizó un análisis estadístico, el cual indica que si hay diferencia entre los porcentajes de inhibición/estimulación de la elongación del tallo en los diferentes grupos de bolsa ( $p=0.03$ ). De igual forma se realizó un análisis para la raíz, por lo que se concluye que no existe diferencia entre el porcentaje de inhibición/estimulación de la elongación de las raíces al estar expuestas a los diferentes grupos de bolsa ( $p=0.24$ ).

El efecto sobre el crecimiento del hipocótilo=tallo y radícula=raíz de la lechuga y del pasto, fue diferente para cada tipo de semilla. En las semillas de lechuga se presentó una mayor estimulación de la elongación del hipocótilo mientras que en las semillas de pasto se presentó una mayor inhibición de la elongación de las raíces.

### 5.3. Composición química de los grupos de bolsa

- Espectroscopia de infrarrojo/ATR

A continuación, en la figura 35 se muestra el espectro de absorción infrarroja de los cuatro grupos de bolsa y del PLA como referencia.

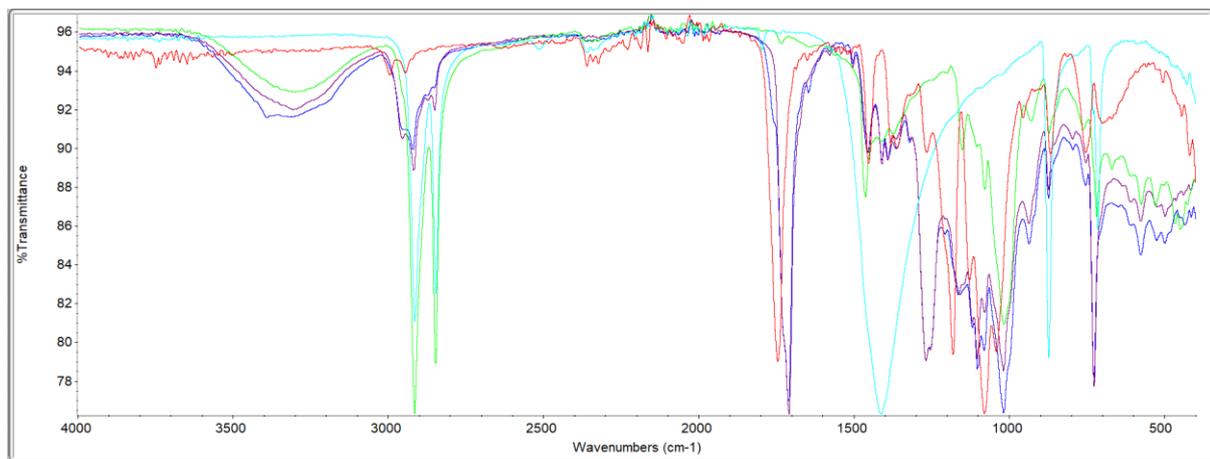


Figura 35. Espectro de absorción infrarroja de cada grupo de bolsa y del PLA. En color azul rey se encuentra la banda del GBC1, en color morado la banda del GBC2, en color verde la banda del GBC3, en color turquesa la banda del GBNC4 y en color rojo la banda del PLA.

Algunos grupos de bolsas presentan coincidencias en las longitudes de onda, por ello, se analizaron aquellos espectros que coincidían de manera conjunta, como es en el caso de GBC1 y GBC2 (figura 36).

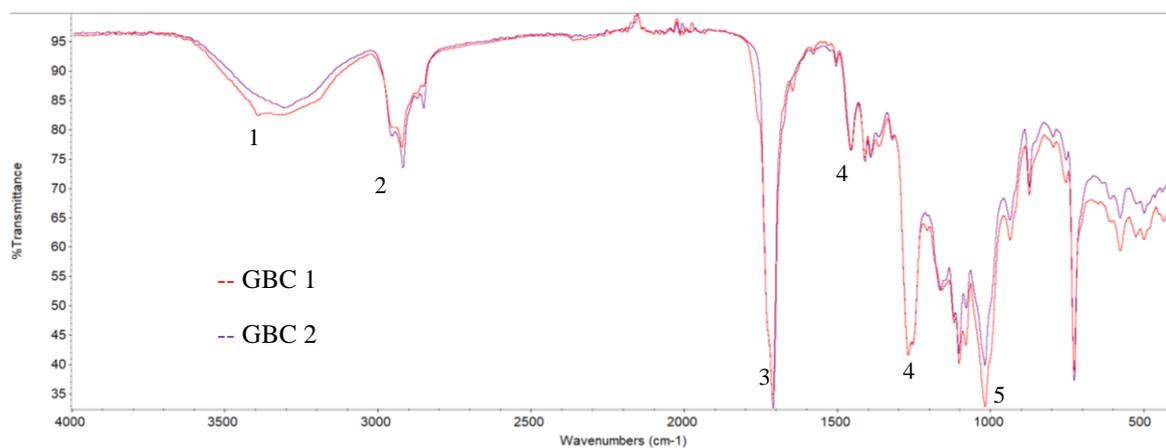


Figura 36. Espectro infrarrojo de GBC1 y GBC2 representando con números las bandas de interés.

Como se observa en la figura anterior, el espectro del GBC1 es muy similar con respecto al espectro del GBC2, esto se debe a que ambas bolsas contienen los mismos compuestos en su formulación. Para un mayor detalle de los compuestos presentes en las bolsas, en la tabla 11 se agregó la descripción de grupo funcional; vibración y enlace de los átomos; frecuencia teórica y experimental.

Tabla 11. Descripción de cada compuesto presente en el espectro de absorción del GBC1 y GBC2

Compuesto	Grupo funcional	Número	Vibración y enlace	Teórica	Experimental
				Frecuencia (cm <sup>-1</sup> )	Frecuencia GBC1/GBC2 (cm <sup>-1</sup> )
PLA	Alcohol	1	Tensión O-H	3500 - 3200	3199.61/3307.07
	Éster	3	Tensión C=O	1750 - 1715	1711.22/1709.94
		NA	Tensión C-O	Dos bandas 1300 y 1050	No se observan las bandas
	Ácido carboxílico	1	Tensión O-H	3000 - 2200	3319.61/3307.07
		3	Tensión C=O	1725 - 1700	1711.22/1709.94
		4	Tensión C-O	1320 - 1200 y 1440 - 1390	1268.17/1268.09 y 1410.17/1409.91
Almidón	Alcohol	1	Tensión O-H	3500 - 3200	33199.61/3307.07
	Éter	5	Tensión C-O	1300 - 1100	1017.76/1018.21
PBAT	Alcano	2	Tensión C-H	3000 - 2850	2955 18 - 2851.15 para ambos casos
		2	Tensión C-H	3000 - 2850	2955 18 - 2851.15 para ambos casos
	Aromático para-sustituido	NA	Tensión -C=C-	1600 - 1475	No aparece ninguna banda en esta longitud de onda.

		NA	Tensión =C-H	3100 - 3000	No aparece ninguna banda en esta longitud de onda.
	Éster	3	Tensión C=O	1750 - 1715	1711.22/1709.94
		NA	Tensión C-O	Dos bandas 1300 y 1050	No se observan las bandas

NA: Grupos funcionales que no fueron observadas en el espectro infrarrojo

En la tabla anterior se observan los grupos funcionales presentes en cada compuesto químico de ambos grupos de bolsa. Algunos compuestos comparten grupos funcionales entre sí, por ejemplo, los compuestos PLA y almidón contienen el grupo alcohol y el PLA junto con el PBAT contienen el grupo éster. También se puede observar en la tabla el tipo de vibración que se produce en los enlaces de la molécula debido a la absorción de la radiación IR a una determinada longitud de onda (frecuencia). Además, se observa que la mayoría de las frecuencias experimentales están dentro de los rangos de las frecuencias teóricas.

Se compararon las frecuencias obtenidas del PLA de los grupos de bolsa con una muestra de 100% de PLA (Figura 37). Este espectro infrarrojo fue obtenido en el Instituto de Ingeniería, en el laboratorio de Ingeniería Ambiental. Por lo tanto, las frecuencias del PLA que se asemejan a las frecuencias de GBC1 y GBC2 son 2995.65, 2945.84, 1745.78, y 753.03  $\text{cm}^{-1}$ .

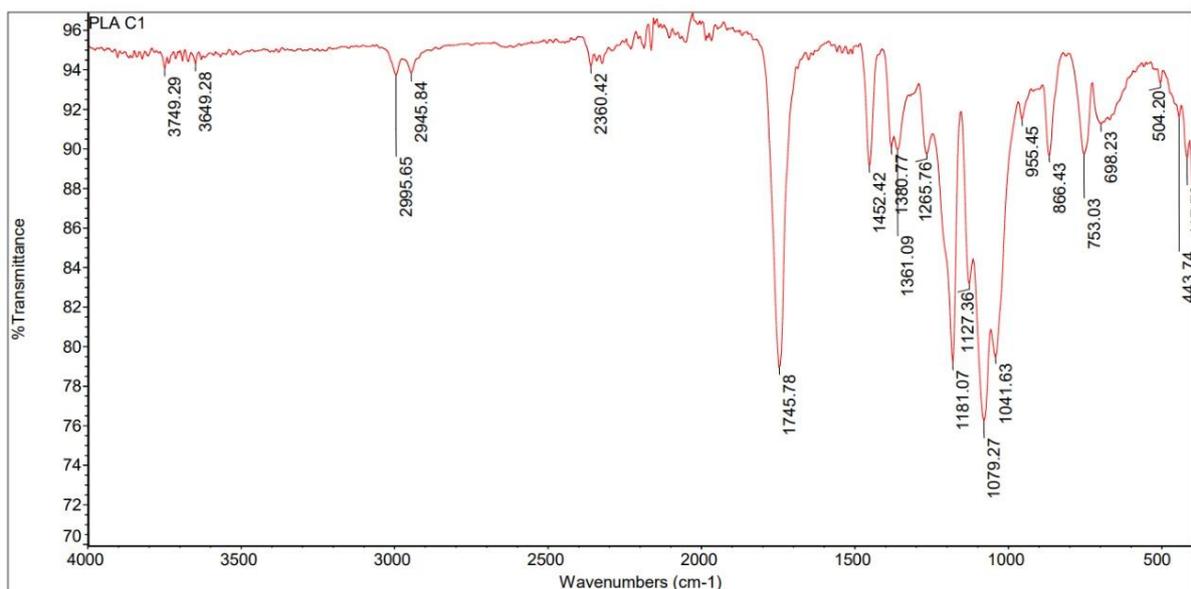


Figura 37. Espectro infrarrojo de una muestra hecha de ácido poliláctico al 100%

También se compararon las frecuencias obtenidas del almidón con las del GBC1 y GBC2 (figura 38). Se observa que hay una similitud en las frecuencias de 3346 y 1017  $\text{cm}^{-1}$  representando el enlace O-H del alcohol y el C-O del éter presentes en la molécula.

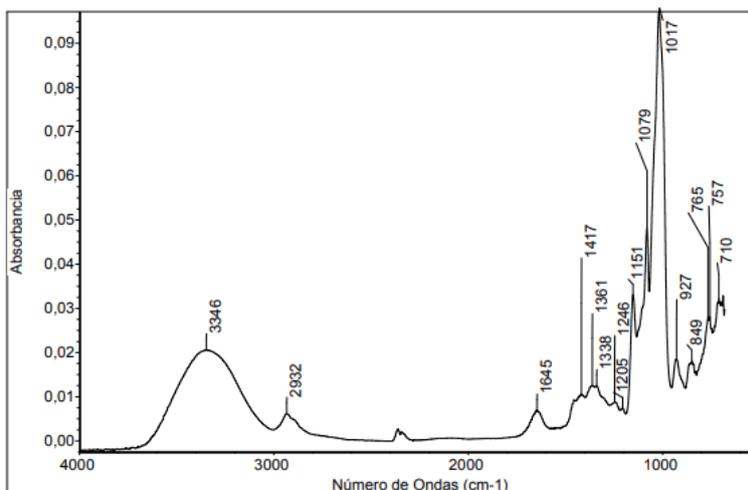


Figura 38. Espectro infrarrojo de almidón (Aguayo y Vargas, 2017)

Al comparar las bandas del espectro infrarrojo del PBAT (figura 39) con las del GBC1 y GBC2, se observa que hay una similitud con las bandas 2953 y 1714 el cual representa los enlaces C-H del alcano y el enlace C=O del éster.

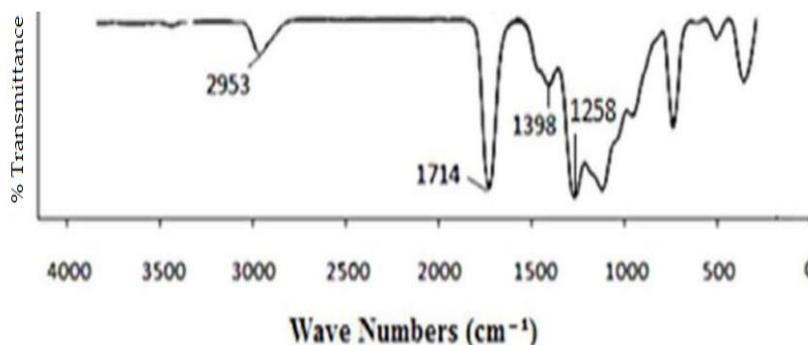
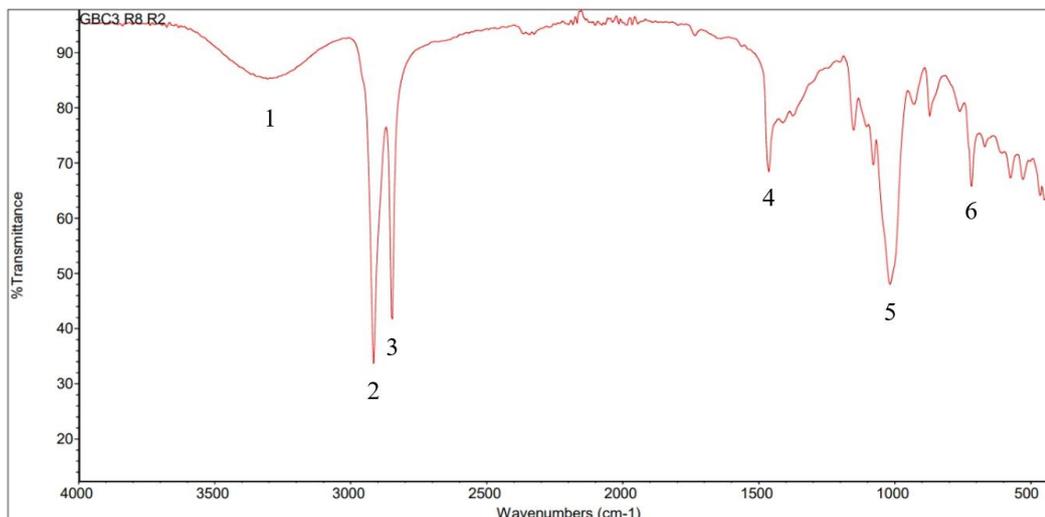


Figura 39. Espectro infrarrojo del PBAT (Siyamak et al., 2012)

Por otro lado, el GBC3 y el GBNC4 no presentaron semejanzas entre sí, por ello se analizaron de manera independiente.

Figura 40. Espectro infrarrojo del GBC3 representando con números las bandas de interés



En la figura 40 se observa el espectro infrarrojo del GBC3 cabe destacar que este espectro es muy diferente comparado con los espectros del GBC1 y GBC2 ya que no se encuentra la banda del grupo carbonilo C=O en el entorno de los 1540 a 1850  $\text{cm}^{-1}$ .

Tabla 12. Descripción de cada compuesto presente en el espectro de absorción del GBC3.

Compuesto	Grupo funcional	Número	Vibración y enlace	Teórica	Experimental
				Frecuencia ( $\text{cm}^{-1}$ )	Frecuencia ( $\text{cm}^{-1}$ )
PLA	Alcohol	1	Tensión O-H	3500 - 3200	3305.83
	Éster	NA	Tensión C=O	1750 - 1715	No se observan las bandas
		NA	Tensión C-O	Dos bandas 1300 y 1050	No se observan las bandas
	Ácido carboxílico	NA	Tensión O-H	3000 - 2200	No se observan las bandas
		NA	Tensión C=O	1725 - 1700	No se observan las bandas
		NA	Tensión C-O	1320 - 1200 y 1440 - 1390	No se observan las bandas
Almidón	Alcohol	1	Tensión O-H	3500 - 3200	3305.83
	Éter	5	Tensión C-O	1300 - 1100	1016.94
Polietileno	Alcano (no es grupo funcional)	2	Tensión C-H	2935-2915	2915.69
		3	Tensión C-H	2865-2845	2848.22
		4	Flexión $-\text{CH}_2-$ (tijera)	1470-1445	1462.84
		6	Flexión $-(\text{CH}_2)_n-$ (rocking)	730-710	717.67

En la tabla 12 se encuentran los compuestos presentes en el GBC3, en esta ocasión la bolsa solo contiene tres compuestos que son el PLA, almidón y polietileno. Además, al analizar las frecuencias teóricas del polietileno se observa que estas están dentro de los parámetros de las frecuencias experimentales, por lo tanto, estos hallazgos se pueden comparar en la figura 41 en donde se observa una similitud en las frecuencias 2915, 2848, 1471 y 720  $\text{cm}^{-1}$  De los enlaces C-H. No se encontraron las frecuencias del PLA(figura 37) pero si del almidón (figura 38), frecuencias 3346 y 1017  $\text{cm}^{-1}$ .

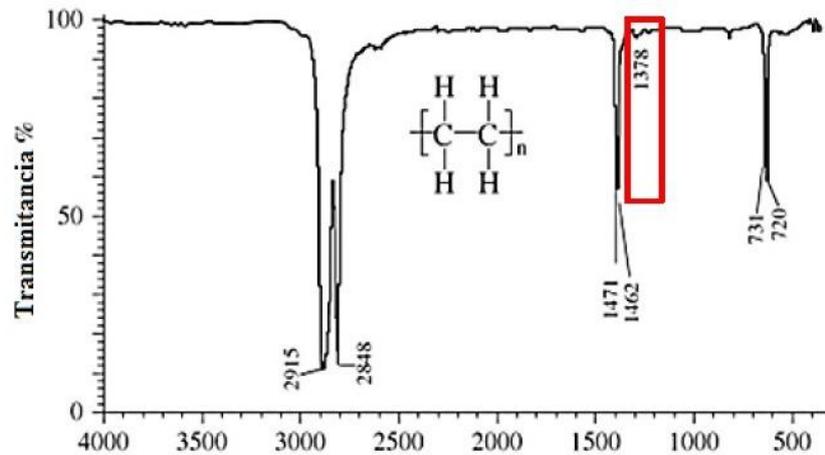


Figura 41. Espectro infrarrojo del polietileno de alta densidad (Silverstein et al., 2014, p. 85)

Por último, el espectro infrarrojo del GBNC4 se encuentra en la figura 42.

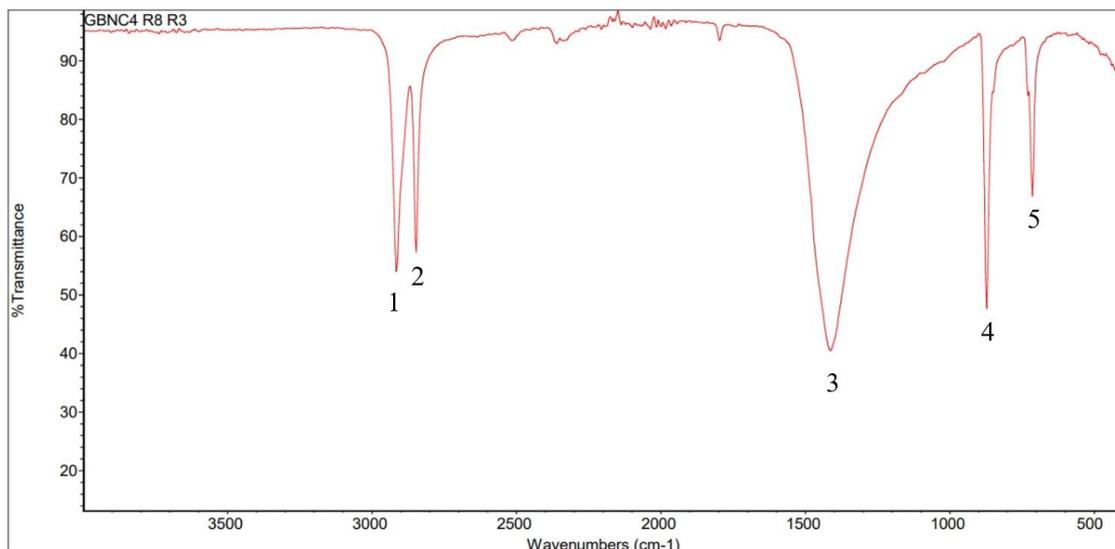


Figura 42. Espectro infrarrojo del GBNC4, representando con números las bandas de interés

El espectro de la figura 42 tiene menos bandas de absorción debido a que este grupo de bolsa solo contiene polietileno y carbonato de calcio como aditivo.

Tabla 13. Descripción de cada compuesto presente en el espectro de absorción del GBNC4.

Compuesto	Grupo	Número	Vibración y enlace	Teórica	Experimental
				Frecuencia (cm <sup>-1</sup> )	Frecuencia (cm <sup>-1</sup> )
Polietileno	Alcano (no es grupo funcional)	1	Tensión C-H	2935-2915	2914.98
		2	Tensión C-H	2865-2845	2847.43
Carbonato de calcio	NA	3	Tensión C=O	1500-1400	1412.68
		4	Flexión C-O	870-860	872.08
		5	Flexión Ca-O	720-710	713.69

En la tabla 13 se aprecia que las frecuencias experimentales de los compuestos coinciden con las frecuencias teóricas. Para comprobar que estas frecuencias experimentales corresponden a los compuestos que mencionan los fabricantes de las bolsas, en la figura 43 se observa que las frecuencias 2516, 1793, 1417, 873 y 713 cm<sup>-1</sup> coinciden con las frecuencias experimentales que se obtuvieron del carbonato de calcio. Sin embargo, cabe mencionar que no se identificó el tipo de enlace y vibración que presentaron las frecuencias 2516 y 1793 cm<sup>-1</sup> por lo que no lo mencioné en la tabla anterior.

El espectro de carbonato de calcio fue obtenido de la literatura en la base de datos de espectros FT-IR ATR de Aguayo y Vargas, (2017).

PI0001IA - Carbonato de calcio

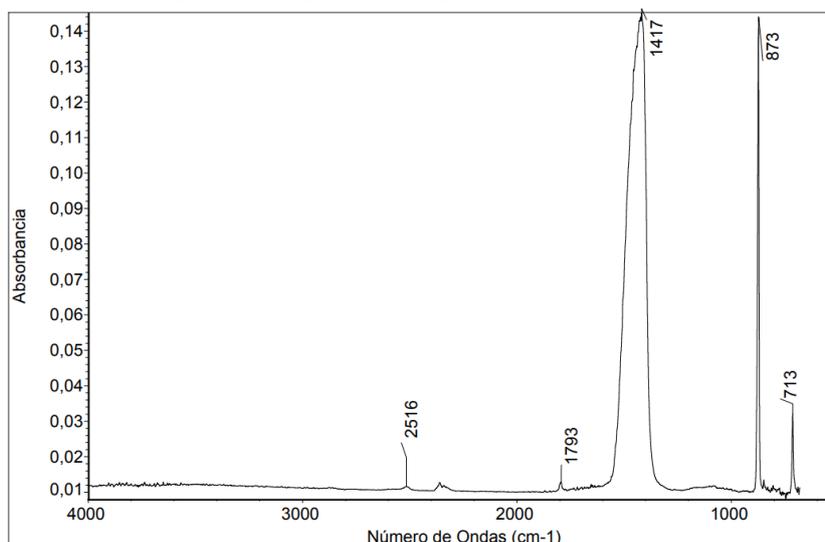


Figura 43. Espectroscopía infrarroja del carbonato de calcio (Aguayo y Vargas, 2017).

- Espectroscopía de emisión atómica con plasma de acoplamiento inductivo (ICP-OES).

En la tabla 14, se encuentran únicamente las concentraciones de los metales pesados presentes en los grupos de bolsas. Y en la tabla A3-1 del anexo III se encuentran las tres repeticiones de la determinación de la concentración de metales pesados presentes en las bolsas.

Tabla 14. Concentraciones máximas de metales pesados en (mg/kg) obtenidas de cada grupo de bolsa mediante la Espectroscopía de Emisión Atómica con Plasma de Acoplamiento Inductivo (ICP-OES)

Elemento	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
$\lambda$ (nm)	188.98	226.502	267.716	327.395	231.604	220.353	213.857
<b>LCP (mg/kg)</b>							
<b>LCP min</b>	5.0	1.0	1.0	1.0	5.0	10.0	1.0
<b>GBC1</b>	<LCP	<LCP	<LCP	5.0	<LCP	<LCP	6.7
<b>GBC2</b>	<LCP	<LCP	3	75.7	<LCP	<LCP	18.0
<b>GBC3</b>	<LCP	<LCP	2	2	<LCP	<LCP	112.0
<b>GBNC4</b>	<LCP	<LCP	5	69.0	<LCP	<LCP	91.7

LCP: Limite práctico de cuantificación

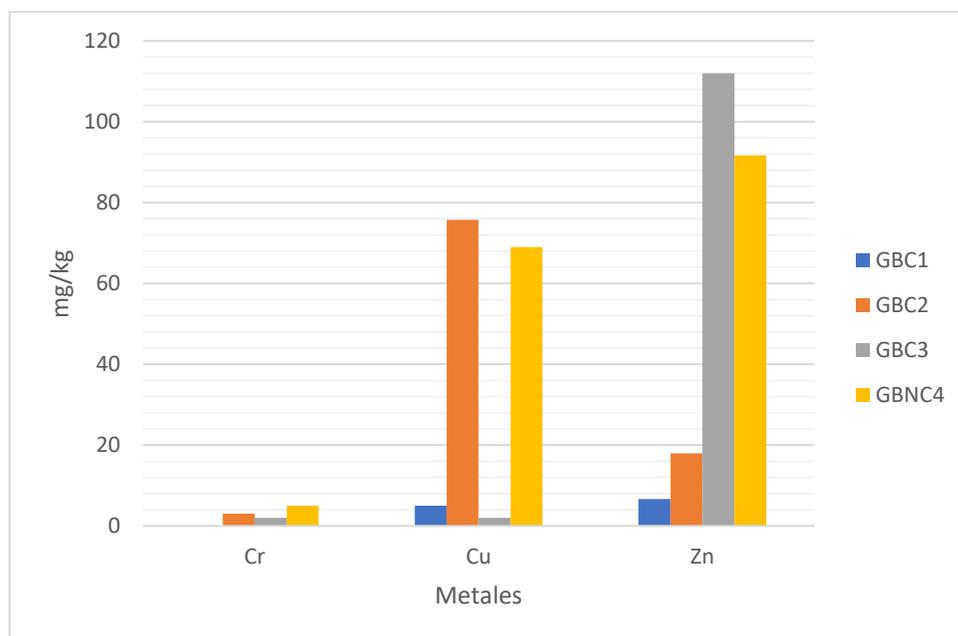


Figura 44. Concentraciones de metales en mg/kg presentes en los grupos de bolsa

En la figura 44 se observan las concentraciones de metales pesados de los grupos de bolsas, tres de cuatro bolsas (GBC2, GBC3 y GBNC4) contienen 3 metales pesados diferentes en su composición (cromo, cobre y zinc) mientras que la bolsa restante (GBC1) solo contiene dos metales pesados (cobre y zinc) en su composición. El grupo de bolsa con mayor concentración de cromo fue el GBNC4 y el de menor concentración fue el GBC3. Para el cobre, se obtuvo una concentración mayor en el GBC2 y una menor concentración en el GBC3 obteniendo una diferencia de 37.85 veces.

Y, por último, el GBC3 presentó una mayor concentración de zinc mientras que el GBC1 presentó una concentración mucho menor, obteniendo una diferencia de 16.71 veces.

Estos datos se pueden comparar con los resultados obtenidos con los de las concentraciones de metales pesados obtenidos de la evaluación de biodegradación de la composta, de la NACDMX-010-AMBT-2019, “Especificaciones técnicas que deben cumplir las bolsas y los productos plásticos de un solo uso” (Norma Ambiental para la Ciudad de México [NACDMX], 2019) (tabla 15). Esta comparación se realizó debido a que en México no hay una norma donde se especifiquen los límites de concentraciones de metales pesados en bolsas plásticas y/o compostables.

Tabla 15. Concentraciones máximas de elementos traza en (mg/kg) en base seca, que deben cumplir los tipos de composta.

Nivel – tipo	Cr total	Cu	Zn
Nivel 1 – tipo A	70	70	200

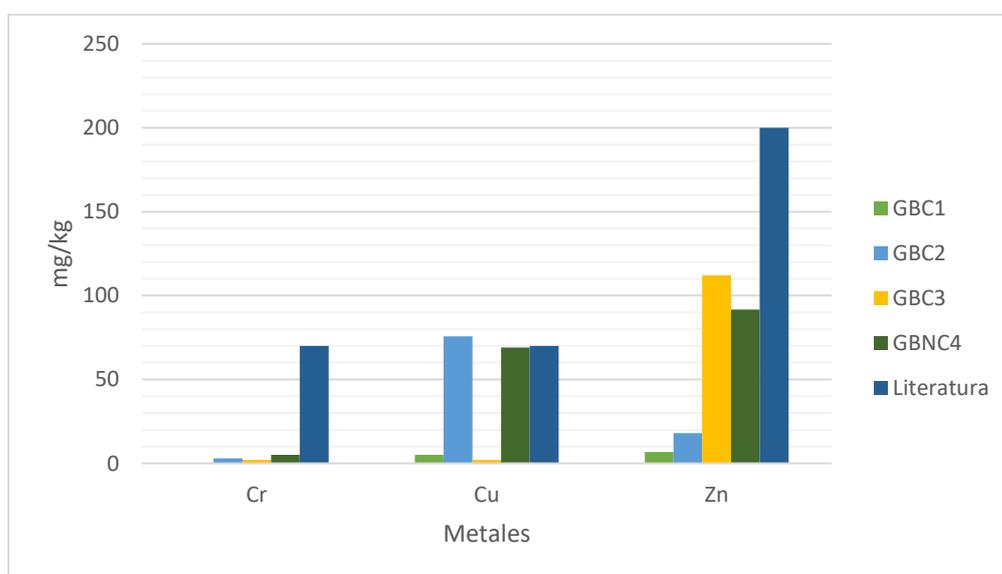


Figura 45. Concentraciones de metales en mg/kg obtenidos en los grupos de bolsa y concentración máxima de metales en mg/kg que deben cumplir los tipos de composta

Al comparar las concentraciones de los metales que se obtuvieron de los grupos de bolsa con las concentraciones de los metales de la norma NACDMX-010-AMBT-2019 (NACDMX, 2019) (figura 45), se observa que todas las concentraciones están por debajo de las concentraciones máximas con excepción del cobre en el GBC2, ya que se obtuvo una concentración de 75.7 mg/kg mientras que la norma menciona una concentración máxima de 70.0 mg/kg. En estos resultados se esperaba que las concentraciones de los metales del GBNC4 fueran superiores a las concentraciones máximas que reporta la norma debido a su composición, ya que la principal fuente primaria de metales en los

plásticos en general son los aditivos funcionales. Los aditivos a base de metales pueden ser compuestos inorgánicos insolubles, compuestos orgánicos parcialmente solubles o líquidos o sales organometálicos. Los aditivos a base de metales tienen una amplia gama de funciones en los plásticos y pueden actuar como, por ejemplo, biocidas, agentes antimicrobianos, lubricantes y retardantes de llama. Sin embargo, sus principales usos son como rellenos inertes, pigmentos para el color y estabilizadores (Turner, 2021). Probablemente el GBC2 tuvo una mayor concentración de cobre debido al pigmento verde de la bolsa, ya que los pigmentos orgánicos sintéticos incluyen ftalocianinas y complejos de coordinación de cobre que imitan las estructuras de las porfirinas (Turner, 2021).

Dentro de los metales pesados, los denominados oligoelementos pueden servir como micronutrientes para los cultivos, ya que son requeridos en pequeñas cantidades y son necesarios para que los organismos completen su ciclo vital. Pasado cierto umbral se vuelven tóxicos. Como el B, Co, Cr, Cu, Mo, Mn, Ni, Fe, Se y Zn y el metaloide As (Prieto, 2009).

Hubo una germinación positiva en ambas semillas comparado con el control negativo. Con respecto a la elongación o inhibición de la radícula e hipocótilo, las semillas de lechuga tuvieron una elongación medianamente positiva debido a que hubo dos grupos de bolsa con una inhibición en el hipocótilo (GBC2) y en la radícula (GBNC4). Por otro lado, hubo una inhibición de la elongación del tallo y raíces en las semillas de pasto, lo que se puede deducir que probablemente las semillas de pasto fueron más sensibles que las semillas de lechuga al ser expuestas a estos metales, sin embargo, al haber una germinación positiva en estas semillas, se puede deducir que estos metales pesados no afectan la germinación de las semillas de pasto.

## VI. CONCLUSIONES

De acuerdo con la búsqueda de información sobre la composición de las bolsas utilizadas en esta investigación, el porcentaje de ácido poliláctico en los grupos de bolsas sigue el siguiente orden decreciente GBC3 (52.5%) > GBC2 (15%) > GBC1 (5-15%) > GBNC4 (0%). Además, del ácido poliláctico, las bolsas contienen fécula de maíz (GBC1, GBC2 y GBC3), tereftalato de adipato de polibutileno (GBC1 y GBC2) y polietileno (GBC3 y GBNC4).

Evidentemente las larvas *Tenebrio molitor* tienen mayor capacidad de biodegradar las bolsas hechas a base de ácido poliláctico que la bolsa hecha de polietileno. Se presentó un mayor porcentaje de consumo en las bolsas con mayor porcentaje de ácido poliláctico (GBC3), por lo que el PLA sí influye en el consumo de bolsa. Además, no hubo un aumento de peso en las larvas al consumir las bolsas hechas a base de PLA, por lo que el PLA no influye en el aumento de peso. Las larvas fueron capaces de sobrevivir durante 7 semanas al consumir los diferentes grupos de bolsa, observándose que a mayor concentración de PLA mayor es la sobrevivencia, por lo tanto, el PLA influye en la sobrevivencia de la larva.

Con respecto al porcentaje de germinación, las semillas de lechuga y pasto que fueron expuestas a la bolsa de polietileno tuvieron un mayor porcentaje de germinación comparado con las bolsas hechas a base de PLA. Por lo tanto, el PLA no influye en la germinación de ambas semillas. Y con respecto a la inhibición o estimulación de la elongación de las semillas, el PLA probablemente influye en la estimulación de la elongación de la radícula e hipocótilo en las semillas de lechuga debido a que el GBC3 (52.5% PLA) presentó una menor elongación de la radícula e hipocótilo (1.51 y 4.06%) comparado con el GBC1 (5 a 15% PLA) (25.59 y 19.54%). Sin embargo, en las semillas de pasto el PLA no influye en la estimulación de la elongación del tallo y las raíces debido a que el GBNC4 (0% PLA) fue el único en obtener una elongación positiva con excepción de la tercera raíz.

Por otro lado, al analizar la composición química de las bolsas mediante la espectroscopia de infrarrojo/ATR, se confirma que las bolsas están hechas de los compuestos que mencionan los fabricantes (PLA, FM, PBAT, PE y carbonato de calcio). Esto se confirma al comparar las frecuencias experimentales con los de la literatura.

Por último, mediante la espectroscopía de emisión atómica con plasma de acoplamiento inductivo se identificaron los metales y las concentraciones presentes en los grupos de bolsas. Los metales que se obtuvieron fueron Cr, Cu y Zn. Cabe destacar que estas concentraciones están dentro de los parámetros establecidos por la norma NACDMX-010-AMBT-2019 (Cr y Cu <70mg/kg; Zn <200mg/kg), con excepción del Cu el cual se encuentra en el GBC2 (75.7mg/kg). Estas concentraciones de metales pesados presentes en las bolsas influyeron en la germinación de las

semillas de lechuga y pasto; y en la elongación de la radícula e hipocótilo de las semillas de lechuga, pero probablemente afectaron la elongación del tallo y de la raíz en las semillas de pasto.

El análisis estadístico mostró diferencia en el % de consumo y en el % de sobrevivencia, pero no hubo diferencia en el % de peso de las larvas de *T. molitor*. Además, no hubo diferencia en el % de germinación de las semillas de lechuga y pasto. Si hubo diferencia en el % de elongación de radícula e hipocótilo en las semillas de lechuga; y en el tallo de las semillas de lechuga, sin embargo, no hubo diferencia en las raíces de las semillas de pasto.

## VII. REFERENCIAS

- Agrolanzarote. (2012). *Ficha técnica de Lactuca sativa L.* [http://www.agrolanzarote.com/sites/default/files/Agrolanzarote/02Productos/documentos/ficha\\_tecnica\\_del\\_cultivo\\_de\\_lechuga.pdf](http://www.agrolanzarote.com/sites/default/files/Agrolanzarote/02Productos/documentos/ficha_tecnica_del_cultivo_de_lechuga.pdf)
- Aguayo, T. y Vargas, S. (2017). *Base de datos de espectros FT-IR ATR.* Centro Nacional de Conservación y Restauración. [https://www.cncr.gob.cl/sites/www.cncr.gob.cl/files/2021-09/BASE\\_DATOS\\_ESPECTROS\\_2020.pdf](https://www.cncr.gob.cl/sites/www.cncr.gob.cl/files/2021-09/BASE_DATOS_ESPECTROS_2020.pdf)
- Albarracín, R. L. y Clavijo, C. V. (2021). Condiciones ambientales y biológicas del *Tenebrio molitor* en la degradación del poliestireno. *Ingeniería Investiga*, 3(2). <https://doi.org/10.47796/ing.v3i2.531>
- Amado, A. (2014). *Síntesis, propiedades y aplicación del ácido poliláctico a partir del almidón de la papa.* [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional de San Agustín]. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/2885>
- American Society for Testing and Materials (ASTM). (2019). *Standard Specification for Labeling of Plastics Designed to be Aerobically Composted in Municipal or Industrial Facilities* (ASTM D6400-19). <https://www.astm.org/Standards/D6400.htm>
- American Society for Testing and Materials (ASTM). (2021). *Standard Specification for Labeling of End Items that Incorporate Plastics and Polymers as Coatings or Additives with Paper and Other Substrates Designed to be Aerobically Composted in Municipal or Industrial Facilities* (ASTM D6868 – 21). <https://www.astm.org/Standards/D6868.htm>
- Ap waste. (22 de junio de 2021). *Las larvas del gusano de la harina “Tenebrio molitor” se vislumbran como el futuro de la biodegradación de agro plásticos.* <https://ap-waste.es/las-larvas-del-gusano-de-la-harina-tenebrio-molitor-se-vislumbran-como-el-futuro-de-la-biodegradacion-de-agro-plasticos/#:~:text=Los%20primeros%20resultados%20obtenidos%20mostraron,Rhodococcus%20rhodocrous%20y%20Mixta%20Tenebrionis>
- Atarfil. (21 de abril de 2021). *Polietileno de alta densidad.* <https://www.atarfil.com/noticia/polietileno-alta-densidad-hdpe/>
- Australasian Bioplastics Association. (2019). *Home Compostable Verification Programme.* <https://bioplastics.org.au/certification/home-compostable-verification-programme/>

- Australian Standard (AS). (2006). *Biodegradable plastics—Biodegradable plastics suitable for composting and other microbial treatment* (AS 4736—2006). <https://www.saiglobal.com/pdftemp/previews/osh/as/as4000/4700/4736-2006.pdf>
- Australian Standard (AS). (2010). *Biodegradable plastics—Biodegradable plastics suitable for home composting* (AS 5810—2010). [https://d3n8a8pro7vhm.cloudfront.net/boomerangalliance/pages/501/attachments/original/1481154565/Biodegradable\\_plastics%E2%80%94Biodegradable\\_plastics\\_suitable\\_for\\_home\\_composting\\_.pdf?1481154565](https://d3n8a8pro7vhm.cloudfront.net/boomerangalliance/pages/501/attachments/original/1481154565/Biodegradable_plastics%E2%80%94Biodegradable_plastics_suitable_for_home_composting_.pdf?1481154565)
- Barbán, R. (2011). *Bolsas plásticas: re-cycling, re-think, re-change*. [Trabajo fin de Máster, Universidad Complutense de Madrid]. <https://eprints.ucm.es/id/eprint/13469/>
- Bolio, G. (2011). *Efecto del intemperismo acelerado sobre la biodegradación de ácido poli (láctico) reforzado con whiskers de celulosa de Musa acuminata subgrupo Cavendish*. [Tesis de Doctorado, Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C]. <https://cicy.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1003/690>
- Bonilla, K. (2021). *Creando un futuro verde. ¿El reciclaje puede salvar el mundo?* Recuperado el 19 de julio 2022 de <https://es.calameo.com/read/006819572ee16d60e93e8>
- Campos, M. (2021). *Biodegradación de plásticos convencionales: Estrategias y perspectivas*. [Tesis de Licenciatura, Universidad de Almería]. <http://repositorio.ual.es/handle/10835/13496>
- Casquete, N., Panchi, N. y Lazo, M. (2020). Medidas higiénico sanitarias, biodegradables para los procesos de empaquetado de alimentos. *Polo del conocimiento*, 5(3), 1003-1032. DOI: 10.23857/pc.v5i3.1538
- Castillo, G. (2004). Ensayo de toxicidad aguda con semillas de lechuga *Lactuca sativa L.* en Sobrero, M. C. y Ronco, A (ed.), *Ensayos toxicológicos y métodos de evaluación de calidad de aguas. Estandarización, intercalibración, resultados y aplicaciones*. (pp. 71-79). IMTA.
- Comas, V. (18 de octubre de 2012). *Bolsas de plástico: los usuarios no lo tienen claro*. Interempresas. Recuperado el 05 jun 2022 de <https://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/101380-Bolsas-de-plastico-los-usuarios-no-lo-tienen-claro.html>
- Compostabile CIC. (2019). *L'uso del marchio*. <http://www.compostabile.com/service/web-development/>

- Darivan, P. A. (2017). *Biodegradación de la Espuma de Poliestireno por la larva del Tenebrio molitor para la producción de Abono, 2017*. [Tesis licenciatura, Escuela Profesional De Ingeniería Ambiental]. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/22578>
- Díaz de Sandy, D., Heinze, N., Estudillo, M. y Castillo, P. (2019). *Aislamiento y caracterización genética de bacterias del Tenebrio molitor con posibles aplicaciones biotecnológicas para la biodegradación de poliestireno*. [https://www.biodiversidad.gob.mx/media/1/ciencia-ciudadana/biocodigos/pdf/05\\_Bacterias\\_Tenebrio\\_molitor\\_DNA.pdf](https://www.biodiversidad.gob.mx/media/1/ciencia-ciudadana/biocodigos/pdf/05_Bacterias_Tenebrio_molitor_DNA.pdf)
- DIN CERTCO. (2021a). *About us*. TÜV Rheinland. <https://www.dincertco.de/din-certco/en/main-navigation/about-us/overview-about-us/>
- DIN CERTCO. (2021b). *Industrial compostable products*. TÜV Rheinland. <https://www.dincertco.de/din-certco/en/main-navigation/products-and-services/certification-of-products/environmental-field/industrial-compostable-products/>
- European bioplastics. (2015). *Certified bioplastics performance in industrial composting (EN 13432)*. [https://docs.european-bioplastics.org/publications/bp/EUBP\\_BP\\_En\\_13432.pdf](https://docs.european-bioplastics.org/publications/bp/EUBP_BP_En_13432.pdf)
- García, L., Ponce de León, N., Moreira, S. y Billiris, A. (2020). Efecto de la variedad y de la humedad de cosecha en la temperatura de transición vítrea de variedades uruguayas de arroz. *INNOTEC*, (20), 106-116. <https://doi.org/10.26461/20.01>
- García, S. (19 de julio de 2016). *Contaminación por bolsas de plástico*. El Financiero. Recuperado el 05 Julio de 2022. <https://www.elfinanciero.com.mx/opinion/salvador-garcia-linan/contaminacion-por-bolsas-de-plastico/>
- Garrucho, N. T. (2017). *Tenebrio molitor for food or feed: Rearing conditions and the effect of pesticides on its performance*. Politécnico de Coimbra. [https://comum.rcaap.pt/bitstream/10400.26/18083/1/Relat%C3%B3rio%20MEstrado%20Gest%C3%A3o%20Ambiental\\_Nuno%20Ribeiro%20N%202021527010.pdf](https://comum.rcaap.pt/bitstream/10400.26/18083/1/Relat%C3%B3rio%20MEstrado%20Gest%C3%A3o%20Ambiental_Nuno%20Ribeiro%20N%202021527010.pdf)
- González, B. (23 de enero de 2020). *Los problemas por su prohibición*. El universal. <https://www.eluniversal.com.mx/ciencia-y-salud/salud/bolsas-de-plastico-estos-son-los-problemas-que-genera-su-prohibicion>
- Hernández, K. (2013). *Biodegradación de envases elaborados a base de fécula de maíz, papa, caña de azúcar, papel y oxo-biodegradables*. [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México]. [https://repositorio.unam.mx/contenidos?c=rwRK67&d=false&q=\\*&i=1&v=0&t=search\\_0&as=0](https://repositorio.unam.mx/contenidos?c=rwRK67&d=false&q=*&i=1&v=0&t=search_0&as=0)

- Houbraken, M., Spranghers, T., De Clercq, P., Cooreman-Algoed, M., Couchement, T., De Clercq, G., Verbeke, S. and Spanoghe, P. (2016). Pesticide contamination of *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) for human consumption. *Food Chemistry*, 201(Supplement C), 264-269. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.01.097>
- Infoagro. (2010). *El cultivo de la lechuga*. <https://www.infoagro.com/hortalizas/lechuga.htm>
- Interempresas. (24 de enero de 2020). *¿Qué es el polietileno de baja densidad PEBD / LDPE?* Canales Sectoriales interempresas. <https://www.interempresas.net/Envase/Articulos/302406-Que-es-el-polietileno-de-baja-densidad-PEBD-LDPE.html>
- Lindwall, C. (9 enero 2020). *Plásticos de un solo uso 101*. Natural Resources Defense Council. <https://www.nrdc.org/es/stories/plasticos-solo-uso-101>
- Makkar, H. P. S., Tran, G., Heuzé, V., y Ankers, P. (2014). State-of-the-art on use of insects as animal feed. *Animal Feed Science and Technology*, 197, 1–33. doi:10.1016/j.anifeedsci.2014.07
- Méndez, A. (20 de enero de 2022). *Procesabilidad y sustentabilidad del polipropileno: consideraciones de proceso*. Plastics Technology Mexico. <https://www.pt-mexico.com/articulos/procesabilidad-y-sustentabilidad-del-polipropileno-consideraciones-de-proceso>
- Milenio Digital. (11 de junio de 2022). *¡Más verdes! Estos estados prohíben los plásticos de un solo uso*. Milenio. Recuperado el 19 julio 2022 de <https://www.milenio.com/estados/que-estados-ya-aprobaron-prohibir-los-popotes-y-bolsas-de-plastico>
- Molina, F., Flores, K. P. y Hermosillo, M. (2016). *Degradación de polímeros con Tenebrio molitor*. <https://dspace.umad.edu.mx/bitstream/handle/11670/268/finalisimo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Mondragón, I. y Contreras, Y. (2015). Uso de los insectos *Tenebrio molitor*, *Tribolium castaneum* y *Palembus dermestoides* (Coleoptera, Tenebrionidae) como recursodidáctico en la enseñanza de las Ciencias Naturales. *Revista de Investigación*, 39(86), 255-270.
- Norma Ambiental para la Ciudad de México. (2019). *Especificaciones técnicas que deben cumplir las bolsas y los productos plásticos de un solo uso* (NACDMX-010-AMBT-2019). [http://data.sedema.cdmx.gob.mx/sitios/conadf/documentos/NACDMX\\_010\\_AMBT\\_2019.pdf](http://data.sedema.cdmx.gob.mx/sitios/conadf/documentos/NACDMX_010_AMBT_2019.pdf)

- Norma Mexicana. (2019). *Industria del plástico – Plásticos compostables – Especificaciones y métodos de prueba* (NMX-E-273-NYCE-2019). <https://nyce.org.mx/catalogodeestandaresnyce/producto/nmx-e-273-nyce-2019-industria-del-plastico-plasticos-compostables-especificaciones-y-metodos-de-prueba/>
- Normalización Española. (2001). *Envases y embalajes. Requisitos de los envases y embalajes valorizables mediante compostaje y biodegradación. Programa de ensayo y criterios de evaluación para la aceptación final del envase o embalaje (UNE-EN 13432:2001)*. <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0024465>
- Normalización Española. (2007). *Plásticos. Evaluación de la compostabilidad. Programa de ensayo y especificaciones UNE-EN (14995:2007)*. <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma/norma?c=N0039863>
- Olmos, S., García, F. J., García, A., García, L., Ortiz, A. y Vázquez, A. (2021). Estudio de la degradación de plásticos por larvas de insectos de la familia Tenebrionidae. En Gallardo, A. y López, L. (Ed.), *Actas de los Premios de Investigación e Innovación de Educación Secundaria Obligatoria, Bachillerato y Formación Profesional de Castilla y León 2021 (PIIECYL 2021)* (pp. 64-70). Dirección General de Innovación y Equidad Educativa de la Consejería de Educación de la Junta de Castilla y León, Instituto Universitario de Ciencias de la Educación (IUCE) y Grupo de Investigación en InterAcción y eLearning (GRIAL).
- Organization for Standardization. (2013). *Packaging and the environment — Organic recycling (ISO 18606: 2013)*. <https://www.iso.org/standard/55874.html>
- Perales, M. (2012). *Modificación Estructural del Polietiléntereftalato con Ácido Poliláctico. Síntesis de Polímeros Biodegradables*. [Tesis de Maestría, Instituto Politécnico Nacional]. <https://repositoriodigital.ipn.mx/handle/123456789/9219>
- Pineda, J. (2020). *Impacto Ambiental de las Bolsas de Plástico*. En Colombia. Recuperado el 16 de Julio de 2022 de <https://encolombia.com/medio-ambiente/interes-a-bolsas-de-plastico/>
- Plastivida. (2007). *Degradación de los Materiales Plásticos*. <http://ecoplas.org.ar/pdf/21.pdf>
- Poi de Neiff, A., & Ramos, A. O. (2001). Utilización de *Lactuca sativa* y *Panagrellus redivivus* para el estudio ecotoxicológico de los ríos salado y negro (Chaco, Argentina). *Facena*, 8.
- Polyexcel. (12 de marzo de 2020). *Obtenga más información sobre PEBDL y sus beneficios*. <https://polyexcel.com.br/es/productos/obtenga-mas-informacion-sobre-pebdl-y-sus-beneficios/>

- Porta, J., López, M. y Poch, R. M. (2019). *Edafología. Uso y protección de suelos*. Ediciones Mundi-Prensa.
- Portocarrero, F. R. (2021). *Biodegradación de poliestireno con Tenebrio molitor para la sostenibilidad de empresas*. [Tesis de licenciatura, Universidad Peruana Cayetano Heredia]. <https://repositorio.upch.edu.pe/handle/20.500.12866/9025>
- Prieto, J., Gonzalez, C. A., Roman, A. D. y Prieto, F. (2009). Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 10: 29 – 44.
- Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial de la CDMX. (25 de junio de 2019). *Ley de residuos sólidos del Distrito Federal*. [http://www.paot.org.mx/leyes/scripts/vista\\_leyes.php?opt=4](http://www.paot.org.mx/leyes/scripts/vista_leyes.php?opt=4)
- Procuraduría Federal del Consumidor. (02 de junio de 2021). *Contaminación por plástico*. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/profeco/es/articulos/contaminacion-por-plastico?idiom=es#:~:text=Los%20pl%C3%A1sticos%20de%20un%20solo,desechan%20tras%20un%20solo%20uso.>
- Puyuelo, B., Colón, J., Martín, P. y Sánchez, A. (2013). Comparison of compostable bags and aerated bins with conventional storage systems to collect the organic fraction of municipal solid waste from homes. A Catalonia case study. *Waste Management*, 33(6), 1381-1389. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2013.02.015>
- Rabek, J. (1995). *Polymer photodegradation. Mechanisms and experimental methods*. Chapman & Hall. [https://books.google.ki/books?id=dXwbS128lXoC&printsec=copyright&source=gbs\\_pub\\_info\\_r#v=onepage&q&f=false](https://books.google.ki/books?id=dXwbS128lXoC&printsec=copyright&source=gbs_pub_info_r#v=onepage&q&f=false)
- Rancho los molinos. (2012). *Pasto para terreno seco*. <https://www.ranchoismolinos.com/product-page/pasto-para-terreno-seco#:~:text=Generales%3A%20Es%20un%20pasto%20resistente,segura%20un%20jard%C3%ADn%20siempre%20fresco.>
- Rodríguez, M. y Flórez, V. J. (2004). *Elementos esenciales y beneficiosos*. Repositorio Institucional de la Universidad de Almería (España). <https://core.ac.uk/download/pdf/143458034.pdf>

- Rubio, M. (2010). *Conveniencia de las bolsas de polietileno entre sus alternativas*. [Tesis de grado, Instituto Tecnológico de Buenos Aires]. <https://ri.itba.edu.ar/items/ba704ad2-42fa-48c5-976f-36ea2c4f366e>
- Rut. (26 de febrero de 2020). *Bolsas: diferencias entre biodegradables, compostables, reciclables*. *Esturirafi*. <https://www.esturirafi.com/2020/02/bolsas-diferencias-entre-biodegradables-compostables-reciclables.html>
- Saetama, V., Vera, L., Vanegas, M. E., Cruzat, C. y Brazales, D. (2018). Evaluación toxicológica de soluciones acuosas de ibuprofeno mediante bioensayos con *Artemia salina*, *Allium schoenoprasum L* y *Lactuca sativa*. *Rev. Toxicol*, 35, 112 – 118.
- Santiago, S. Y. y Quispe, K.R. (2014). *Diseño de un plan de negocio para la introducción de bolsas plásticas biodegradables que contribuya a la conservación del medio ambiente en el mercado de San Juan de Lurigancho*. [Tesis de Licenciatura, Universidad Peruana Unión]. <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/315>
- Secretaría del Medio Ambiente. (2021). *Sobre lo compostable*. Cultura Ambiental. <http://www.data.sedema.cdmx.gob.mx:8081/culturaambiental/index.php/sobre-lo-compostable>
- Secretaría del Medio Ambiente. (2022). *Preguntas frecuentes. Algunas alternativas*. Cultura Ambiental. <http://www.data.sedema.cdmx.gob.mx:8081/culturaambiental/index.php/algunas-alternativas>
- SEO Birdlife. (2019). *Impacto del abandono del plástico en la naturaleza*. [https://proyectolibera.org/dondeacabalabasuraleza/img/Impacto-de-los-pl%C3%A1sticos-abandonados\\_LIBERA-def-1.pdf](https://proyectolibera.org/dondeacabalabasuraleza/img/Impacto-de-los-pl%C3%A1sticos-abandonados_LIBERA-def-1.pdf)
- Serna, E. (2020). *Investigación formativa en ingeniería*. Editorial Instituto Antioqueño de Investigación. [https://www.researchgate.net/profile/Edgar-Serna-M/publication/344418700\\_Investigacion\\_formativa\\_en\\_ingenieria\\_4/links/5f739a03a6fdcc008648239a/Investigacion-formativa-en-ingenieria-4.pdf#page=625](https://www.researchgate.net/profile/Edgar-Serna-M/publication/344418700_Investigacion_formativa_en_ingenieria_4/links/5f739a03a6fdcc008648239a/Investigacion-formativa-en-ingenieria-4.pdf#page=625)
- Sibaja, E. (2019). *¿Qué países prohíben el uso de bolsas de plástico?* GQ. <https://www.gq.com.mx/entretenimiento/articulo/que-paises-prohiben-el-uso-de-bolsas-de-plastico>
- Silverstein, R., Webster, F., Kiemle, D. y Bryce, D. (2014). *Spectrometric Identification of Organic Compounds*. Wiley. pp. 85–87.

- Siyamak, S., Ibrahim, N. A., Abdolmohammadi, S., Yunus, W. M. Z. W., & Rahman, M. Z. A. (2012). Effect of Fiber Esterification on Fundamental Properties of Oil Palm Empty Fruit Bunch Fiber/Poly(butylene adipate-co-terephthalate) Biocomposites. *International Journal of Molecular Sciences*, 13(2), 1327–1346.
- The Nature Conservancy. (19 julio 2021). *Es ahora o para siempre. Detengamos el flujo de residuos plásticos*. <https://www.nature.org/es-us/que-hacemos/nuestras-prioridades/ciudades-saludables/detener-residuos-plasticos/>
- Thomas, N., Clarke, J., McLauchlin, A. y Patrick, S. (2012). Oxo-degradable plastics: degradation, environmental impact and recycling. *Actas de la Institución de Ingenieros Civiles - Gestión de Residuos y Recursos*, 165(3), 133–140. <https://doi.org/10.1680/warm.11.00014>
- Turner, A. and Filella, M. (2021). Hazardous metal additives in plastics and their environmental impacts. *Environment International* 156, 106622. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106622>
- TÜV Austria. 2021a. *OK Biodegradable*. <https://www.tuv-at.be/es/green-marks/certificaciones/ok-biodegradable/#:~:text=La%20biodegradabilidad%20en%20el%20suelo,adversos%20sobre%20el%20medio%20ambiente>
- TÜV Austria. 2021b. *OK compost & Seedling*. <https://www.tuv-at.be/es/green-marks/certificaciones/ok-compost-seedling/>
- Valero, M., Ortegón, Y. y Uscategui, Y. (2013). Biopolímeros: Avances y Perspectivas. *Dyna*, 88(181), 171-180. <http://www.scielo.org.co/pdf/dyna/v80n181/v80n181a19.pdf>
- Vinit-Dunand, F., Epron, D., Alaoui-Sosse, B., Badot, P.M. 2002. Effects of copper on growth and on photosynthesis of mature and expanding leaves in cucumber plants. *Plant Science*, 163(1), 53-58. [https://doi.org/10.1016/S0168-9452\(02\)00060-2](https://doi.org/10.1016/S0168-9452(02)00060-2)
- Zahradník, J. y Chvála, M. (1990). *La gran enciclopedia de los insectos*. Susaeta. <https://deliciasprehispanicas.com/2019/10/21/descarga-el-libro-digital-la-gran-enciclopedia-de-los-insectos/>

## VIII. ANEXO

### 8.1 ANEXO I

Tabla A1- 1. Registro de masa inicial y final de las muestras y control consumidas por las larvas *Tenebrio molitor*

Muestra	Réplicas	Cantidad inicial de tenebrios	Cantidad final de tenebrios	Masa inicial de alimento (g)	Masa final de alimento (g)	% de biodegradación
<b>GBC1</b>	1	20	20	5.0	4.9	2.00
	2	20	20	5.0	4.9	
	3	20	18	5.0	4.9	
<b>GBC2</b>	1	20	19	5.0	4.9	1.33
	2	20	19	5.0	4.9	
	3	20	19	5.0	5.0	
<b>GBC3</b>	1	20	20	5.0	4.8	4.67
	2	20	19	5.0	4.8	
	3	20	19	5.0	4.7	
<b>GBNC4</b>	1	20	18	5.0	5.0	0.67
	2	20	18	5.0	5.0	
	3	20	19	5.0	4.9	
<b>CONTROL</b>	1	20	15	20.0	18.1	10.17
	2	20	15	20.0	17.8	
	3	20	12	20.0	18.0	

Tabla A1- 2. Registro de peso de una larva promedio del GBC1 durante 7 semanas.

	Réplica	Peso (g)						
		Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7
<b>Peso de 20 larvas</b>	1	1.9	1.7	1.7	1.7	1.6	1.6	1.6
	2	1.9	1.8	1.8	1.7	1.7	1.6	1.6
	3	1.9	1.8	1.6	1.7	1.6	1.5	1.5
<b>No. de larvas disponibles</b>	1	20	20	20	20	20	20	20
	2	20	20	20	20	20	20	20
	3	20	20	20	20	18	18	18
<b>Peso aproximado de una sola larva</b>	1	0.095	0.085	0.085	0.085	0.08	0.08	0.08
	2	0.095	0.09	0.09	0.085	0.085	0.08	0.08
	3	0.095	0.09	0.08	0.085	0.088	0.083	0.083
<b>Promedio del peso de una sola larva</b>		0.095	0.088	0.085	0.085	0.085	0.081	0.0811

Tabla A1- 3. Registro de peso de una larva promedio del GBC2 durante 7 semanas.

		<b>Peso (g)</b>						
	Réplica	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7
<b>Peso de 20 larvas</b>	1	1.9	1.8	1.8	1.6	1.6	1.6	1.6
	2	1.9	1.8	1.8	1.6	1.6	1.6	1.6
	3	1.9	1.8	1.7	1.6	1.6	1.5	1.5
<b>No. de larvas disponibles</b>	1	20	20	20	19	19	19	19
	2	20	20	20	19	19	19	19
	3	20	20	20	20	19	19	19
<b>Peso de una sola larva</b>	1	0.095	0.090	0.090	0.084	0.084	0.084	0.084
	2	0.095	0.090	0.090	0.084	0.084	0.084	0.084
	3	0.095	0.090	0.085	0.080	0.084	0.079	0.079
<b>Promedio del peso de una sola larva</b>		0.095	0.090	0.088	0.083	0.084	0.082	0.082

Tabla A1- 4. Registro de peso de una larva promedio del GBC3 durante 7 semanas.

		<b>Peso (g)</b>						
	Réplica	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7
<b>Peso de 20 larvas</b>	1	1.9	1.8	1.7	1.7	1.7	1.6	1.6
	2	1.9	1.8	1.8	1.7	1.7	1.7	1.6
	3	1.9	1.8	1.8	1.7	1.7	1.6	1.5
<b>No. de larvas disponibles</b>	1	20	20	20	20	20	20	20
	2	20	20	20	20	20	20	20
	3	20	20	20	20	20	20	19
<b>Peso de una sola larva</b>	1	0.095	0.09	0.085	0.085	0.085	0.08	0.08
	2	0.095	0.09	0.09	0.085	0.085	0.085	0.08
	3	0.095	0.09	0.09	0.085	0.085	0.08	0.079
<b>Promedio del peso de una sola larva</b>		0.095	0.090	0.088	0.085	0.085	0.082	0.080

Tabla A1- 5. Registro de peso de una larva promedio del GBNC4 durante 7 semanas.

		<b>Peso (g)</b>							
		Réplica	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7
<b>Peso de 20 larvas</b>	1	1.9	1.8	1.8	1.6	1.5	1.5	1.5	
	2	1.9	1.8	1.8	1.6	1.6	1.5	1.5	
	3	1.9	1.8	1.7	1.7	1.6	1.6	1.6	
<b>No. de larvas disponibles</b>	1	20	20	20	18	18	18	18	
	2	20	19	19	19	18	18	18	
	3	20	20	19	19	19	19	19	
<b>Peso de una sola larva</b>	1	0.095	0.090	0.090	0.089	0.083	0.083	0.083	
	2	0.095	0.095	0.095	0.084	0.089	0.083	0.083	
	3	0.095	0.090	0.089	0.089	0.084	0.084	0.084	
<b>Promedio del peso de una sola larva</b>		0.095	0.092	0.091	0.088	0.085	0.084	0.084	

Tabla A1- 6. Registro de peso de una larva promedio del grupo control durante 7 semanas

		<b>Peso (g)</b>							
		Réplica	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7
<b>Peso de 20 larvas</b>	1	1.9	2.2	2.2	1.8	1.7	1.5	1.5	
	2	1.9	1.9	2.1	1.9	1.7	1.7	1.7	
	3	1.9	2.2	2.3	2.1	2.1	1.5	1.5	
<b>No. de larvas disponibles</b>	1	20	20	20	18	15	15	15	
	2	20	18	18	17	15	15	15	
	3	20	20	20	19	16	14	13	
<b>Peso de una sola larva</b>	1	0.095	0.110	0.110	0.100	0.113	0.100	0.100	
	2	0.095	0.106	0.117	0.112	0.113	0.113	0.113	
	3	0.095	0.110	0.115	0.111	0.131	0.107	0.115	
<b>Promedio del peso de una sola larva</b>		0.095	0.109	0.114	0.107	0.119	0.107	0.110	

Tabla A1- 7. Porcentaje de peso promedio de una larva de los grupos GBC1, GBC2, GBC3, GBNC4 y CONTROL de cada semana.

	<b>Semana</b>	<b>Promedio del peso de una sola larva</b>	<b>Peso promedio anterior registrado</b>	<b>% de peso promedio</b>
<b>Grupo Bolsa Compostable 1 (GBC1)</b>	1	0.09500	0.00000	0.00000
	2	0.08833	0.09500	-7.01754
	3	0.08500	0.08833	-3.77358
	4	0.08500	0.08500	0.00000
	5	0.08463	0.08500	-0.43573
	6	0.08111	0.08463	-4.15755
	7	0.08111	0.08111	0.00000
<b>Grupo Bolsa Compostable 2 (GBC2)</b>	1	0.09500	0.00000	0.00000
	2	0.09000	0.09500	-5.26316
	3	0.08833	0.09000	-1.85185
	4	0.08281	0.08833	-6.25621
	5	0.08421	0.08281	1.69492
	6	0.08246	0.08421	-2.08333
	7	0.08246	0.08246	0.00000
<b>Grupo Bolsa Compostable 3 (GBC3)</b>	1	0.09500	0.00000	0.00000
	2	0.09000	0.09500	-5.26316
	3	0.08833	0.09000	-1.85185
	4	0.08500	0.08833	-3.77358
	5	0.08500	0.08500	0.00000
	6	0.08167	0.08500	-3.92157
	7	0.07965	0.08167	-2.47046
<b>Grupo Bolsa No Compostable 4 (GBNC4)</b>	1	0.09500	0.00000	0.00000
	2	0.09158	0.09500	-3.60111
	3	0.09140	0.09158	-0.19157
	4	0.08752	0.09140	-4.24398
	5	0.08548	0.08752	-2.33853
	6	0.08363	0.08548	-2.16648
	7	0.08363	0.08363	0.00000
<b>CONTROL</b>	1	0.09500	0.00000	0.00000
	2	0.10852	0.09500	14.23002
	3	0.11389	0.10852	4.94881
	4	0.10743	0.11389	-5.67092
	5	0.11931	0.10743	11.05387
	6	0.10683	0.11931	-10.46067
	7	0.10957	0.10683	2.57172

Tabla A1- 8. Registro de temperatura ambiental de cada semana

Semana	Temperatura (°C)
1	22
2	22
3	21
4	22
5	23
6	21
7	23

Tabla A1- 9. Registro de sobrevivencia de las larvas de *Tenebrio molitor* del GBC1

Grupo Bolsa Compostable 1 (GBC1)									
Día	Réplica 1			Réplica 2			Réplica 3		
	Larvas vivas	Larvas muertas	% de larvas vivas	Larvas vivas	Larvas muertas	% de larvas vivas	Larvas vivas	Larvas muertas	% de larvas vivas
1	20	0	100%	20	0	100%	20	0	100%
3	20	0	100%	20	0	100%	20	0	100%
5	20	0	100%	20	0	100%	20	0	100%
7	20	0	100%	20	0	100%	20	0	100%
9	20	0	100%	20	0	100%	20	0	100%
11	20	0	100%	20	0	100%	20	0	100%
13	20	0	100%	20	0	100%	20	0	100%
15	20	0	100%	20	0	100%	20	0	100%
17	20	0	100%	20	0	100%	20	0	100%
19	20	0	100%	20	0	100%	20	0	100%
21	20	0	100%	20	0	100%	20	0	100%
23	20	0	100%	20	0	100%	20	0	100%
25	20	0	100%	20	0	100%	18 larvas 1 pupa	1	90%
27	20	0	100%	20	0	100%	18 larvas 1 pupa	1	90%
29	20	0	100%	20	0	100%	18 larvas 1 pupa	1	90%

<b>31</b>	20	0	100%	20	0	100%	18 larvas 1 pupa	1	90%
<b>33</b>	20	0	100%	20	0	100%	18 larvas 1 pupa	1	90%
<b>35</b>	20	0	100%	20	0	100%	18 larvas 1 pupa	1	90%
<b>37</b>	20	0	100%	20	0	100%	18 larvas 1 pupa	1	90%
<b>39</b>	20	0	100%	20	0	100%	18 larvas 1 pupa	1	90%
<b>41</b>	20	0	100%	20	0	100%	18 larvas 1 pupa	1	90%
<b>43</b>	20	0	100%	20	0	100%	18 larvas 1 pupa	1	90%
<b>45</b>	20	0	100%	20	0	100%	18 larvas 1 pupa	1	90%
<b>47</b>	20	0	100%	20	0	100%	18 larvas 1 pupa	1	90%
<b>49</b>	20	0	100%	20	0	100%	18 larvas 1 pupa	1	90%

Tabla A1- 10. Registro de sobrevivencia de las larvas de *Tenebrio molitor* del GBC2

<b>Grupo Bolsa Compostable 2 (GBC2)</b>									
<b>Día</b>	<b>Réplica 1</b>			<b>Réplica 2</b>			<b>Réplica 3</b>		
	Larvas vivas	Larvas muertas	% de larvas vivas	Larvas vivas	Larvas muertas	% de larvas vivas	Larvas vivas	Larvas muertas	% de larvas vivas
<b>1</b>	20	0	100%	20	0	100%	20	0	100%
<b>3</b>	20	0	100%	20	0	100%	20	0	100%
<b>5</b>	20	0	100%	20	0	100%	20	0	100%
<b>7</b>	20	0	100%	20	0	100%	20	0	100%
<b>9</b>	20	0	100%	20	0	100%	20	0	100%
<b>11</b>	20	0	100%	20	0	100%	20	0	100%
<b>13</b>	20	0	100%	20	0	100%	20	0	100%
<b>15</b>	20	0	100%	20	0	100%	20	0	100%
<b>17</b>	19 larvas 1 pupa	0	95%	19 larvas 1 pupa	0	95%	20	0	100%
<b>19</b>	19 larvas 1 pupa	0	95%	19 larvas 1 pupa	0	95%	20	0	100%
<b>21</b>	19 larvas 1 pupa	0	95%	19 larvas 1 pupa	0	95%	20	0	100%
<b>23</b>	19 larvas 1 pupa	0	95%	19 larvas 1 pupa	0	95%	20	0	100%
<b>25</b>	19 larvas 1 pupa	0	95%	19 larvas 1 pupa	0	95%	19 larvas 1 pupa	0	95%
<b>27</b>	19 larvas 1 pupa	0	95%	19 larvas 1 pupa	0	95%	19 larvas 1 pupa	0	95%
<b>29</b>	19 larvas 1 pupa	0	95%	19 larvas 1 pupa	0	95%	19 larvas 1 pupa	0	95%
<b>31</b>	19 larvas 1 pupa	0	95%	19 larvas 1 pupa	0	95%	19 larvas 1 pupa	0	95%
<b>33</b>	19 larvas 1 pupa	0	95%	19 larvas 1 pupa	0	95%	19 larvas 1 pupa	0	95%
<b>35</b>	19 larvas 1 pupa	0	95%	19 larvas 1 pupa	0	95%	19 larvas 1 pupa	0	95%

<b>37</b>	19 larvas 1 pupa	0	95%	19 larvas 1 pupa	0	95%	19 larvas 1 pupa	0	95%
<b>39</b>	19 larvas 1 pupa	0	95%	19 larvas 1 pupa	0	95%	19 larvas 1 pupa	0	95%
<b>41</b>	19 larvas 1 pupa	0	95%	19 larvas 1 pupa	0	95%	19 larvas 1 pupa	0	95%
<b>43</b>	19 larvas 1 pupa	0	95%	19 larvas 1 pupa	0	95%	19 larvas 1 pupa	0	95%
<b>45</b>	19 larvas 1 pupa	0	95%	19 larvas 1 pupa	0	95%	19 larvas 1 pupa	0	95%
<b>47</b>	19 larvas 1 pupa	0	95%	19 larvas 1 pupa	0	95%	19 larvas 1 pupa	0	95%
<b>49</b>	19 larvas 1 pupa	0	95%	19 larvas 1 pupa	0	95%	19 larvas 1 pupa	0	95%

Tabla A1- 11. Registro de sobrevivencia de las larvas de *Tenebrio molitor* del GBC3

<b>Grupo Bolsa Compostable 3 (GBC3)</b>									
<b>Día</b>	<b>Réplica 1</b>			<b>Réplica 2</b>			<b>Réplica 3</b>		
	Larvas vivas	Larvas muertas	% de larvas vivas	Larvas vivas	Larvas muertas	% de larvas vivas	Larvas vivas	Larvas muertas	% de larvas vivas
<b>1</b>	20	0	100%	20	0	100%	20	0	100%
<b>3</b>	20	0	100%	20	0	100%	20	0	100%
<b>5</b>	20	0	100%	20	0	100%	20	0	100%
<b>7</b>	20	0	100%	20	0	100%	20	0	100%
<b>9</b>	20	0	100%	20	0	100%	20	0	100%
<b>11</b>	20	0	100%	20	0	100%	20	0	100%
<b>13</b>	20	0	100%	20	0	100%	20	0	100%
<b>15</b>	20	0	100%	20	0	100%	20	0	100%
<b>17</b>	20	0	100%	20	0	100%	20	0	100%
<b>19</b>	20	0	100%	20	0	100%	20	0	100%
<b>21</b>	20	0	100%	20	0	100%	20	0	100%
<b>23</b>	20	0	100%	20	0	100%	20	0	100%
<b>25</b>	20	0	100%	20	0	100%	20	0	100%
<b>27</b>	20	0	100%	20	0	100%	20	0	100%
<b>29</b>	20	0	100%	20	0	100%	20	0	100%
<b>31</b>	20	0	100%	20	0	100%	20	0	100%
<b>33</b>	20	0	100%	20	0	100%	20	0	100%
<b>35</b>	20	0	100%	20	0	100%	20	0	100%
<b>37</b>	20	0	100%	20	0	100%	20	0	100%
<b>39</b>	20	0	100%	20	0	100%	20	0	100%
<b>41</b>	20	0	100%	20	0	100%	19 larvas 1 pupa	0	95%
<b>43</b>	20	0	100%	20	0	100%	19 larvas 1 pupa	0	95%

<b>45</b>	20	0	100%	19	0	95%	19 larvas 1 pupa	0	95%
<b>47</b>	20	0	100%	19	0	95%	19 larvas 1 pupa	0	95%
<b>49</b>	20	0	100%	19	0	95%	19 larvas 1 pupa	0	95%

Tabla A1- 12. Registro de sobrevivencia de las larvas de *Tenebrio molitor* del GBNC4

<b>Grupo Bolsa Compostable 4 (GBC4)</b>									
<b>Día</b>	<b>Réplica 1</b>			<b>Réplica 2</b>			<b>Réplica 3</b>		
	Larvas vivas	Larvas muertas	% de larvas vivas	Larvas vivas	Larvas muertas	% de larvas vivas	Larvas vivas	Larvas muertas	% de larvas vivas
<b>1</b>	20	0	100%	20	0	100%	20	0	100%
<b>3</b>	20	0	100%	20	0	100%	20	0	100%
<b>5</b>	20	0	100%	20	0	100%	20	0	100%
<b>7</b>	20	0	100%	19	1	95%	20	0	100%
<b>9</b>	20	0	100%	19	1	95%	20	0	100%
<b>11</b>	20	0	100%	19	1	95%	19 larvas 1 pupa	0	95%
<b>13</b>	20	0	100%	19	1	95%	19 larvas 1 pupa	0	95%
<b>15</b>	20	0	100%	19	1	95%	19 larvas 1 pupa	0	95%
<b>17</b>	20	0	100%	19	1	95%	19 larvas 1 pupa	0	95%
<b>19</b>	18 larvas 2 pupas	0	90%	19	1	95%	19 larvas 1 pupa	0	95%
<b>21</b>	18 larvas 2 pupas	0	90%	19	1	95%	19 larvas 1 pupa	0	95%
<b>23</b>	18 larvas 2 pupas	0	90%	18 larvas 1 pupa	1	90%	19 larvas 1 pupa	0	95%
<b>25</b>	18 larvas 2 pupas	0	90%	18 larvas 1 pupa	1	90%	19 larvas 1 pupa	0	95%
<b>27</b>	18 larvas 2 pupas	0	90%	18 larvas 1 pupa	1	90%	19 larvas 1 pupa	0	95%
<b>29</b>	18 larvas 2 pupas	0	90%	18 larvas 1 pupa	1	90%	19 larvas 1 pupa	0	95%

<b>31</b>	18 larvas 2 pupas	0	90%	18 larvas 1 pupa	1	90%	19 larvas 1 pupa	0	95%
<b>33</b>	18 larvas 2 pupas	0	90%	18 larvas 1 pupa	1	90%	19 larvas 1 pupa	0	95%
<b>35</b>	18 larvas 2 pupas	0	90%	18 larvas 1 pupa	1	90%	19 larvas 1 pupa	0	95%
<b>37</b>	18 larvas 2 pupas	0	90%	18 larvas 1 pupa	1	90%	19 larvas 1 pupa	0	95%
<b>39</b>	18 larvas 2 pupas	0	90%	18 larvas 1 pupa	1	90%	19 larvas 1 pupa	0	95%
<b>41</b>	18 larvas 2 pupas	0	90%	18 larvas 1 pupa	1	90%	19 larvas 1 pupa	0	95%
<b>43</b>	18 larvas 2 pupas	0	90%	18 larvas 1 pupa	1	90%	19 larvas 1 pupa	0	95%
<b>45</b>	18 larvas 2 pupas	0	90%	18 larvas 1 pupa	1	90%	19 larvas 1 pupa	0	95%
<b>47</b>	18 larvas 2 pupas	0	90%	18 larvas 1 pupa	1	90%	19 larvas 1 pupa	0	95%
<b>49</b>	18 larvas 2 pupas	0	90%	18 larvas 1 pupa	1	90%	19 larvas 1 pupa	0	95%

Tabla A1- 13. Registro de sobrevivencia de las larvas de *Tenebrio molitor* del grupo control

<b>CONTROL</b>									
<b>Día</b>	<b>Réplica 1</b>			<b>Réplica 2</b>			<b>Réplica 3</b>		
	Larvas vivas	Larvas muertas	% de larvas vivas	Larvas vivas	Larvas muertas	% de larvas vivas	Larvas vivas	Larvas muertas	% de larvas vivas
<b>1</b>	20	0	100%	20	0	100%	20	0	100%
<b>3</b>	20	0	100%	20	0	100%	20	0	100%
<b>5</b>	20	0	100%	19	1	95%	20	0	100%
<b>7</b>	20	0	100%	18	2	90%	20	0	100%
<b>9</b>	20	0	100%	18	2	90%	20	0	100%
<b>11</b>	20	0	100%	18	2	90%	20	0	100%
<b>13</b>	20	0	100%	18	2	90%	20	0	100%
<b>15</b>	20	0	100%	18	2	90%	20	0	100%
<b>17</b>	20	0	100%	18	2	90%	20	0	100%
<b>19</b>	18 larvas 2 pupas	0	90%	17 larvas 1 pupa	2	85%	19 larvas 1 pupa	0	95%
<b>21</b>	18 larvas 2 pupas	0	90%	17 larvas 1 pupa	2	85%	19 larvas 1 pupa	0	95%
<b>23</b>	18 larvas 2 pupas	0	90%	16 larvas 2 pupas	2	80%	19 larvas 1 pupa	0	95%
<b>25</b>	17 larvas 3 pupas	0	85%	15 larvas 3 pupas	2	75%	18 larvas 2 pupas	0	90%
<b>27</b>	17 larvas 3 pupas	0	85%	15 larvas 3 pupas	2	75%	17 larvas 3 pupas	0	85%
<b>29</b>	16 larvas 4 pupas	0	80%	15 larvas 3 pupas	2	75%	16 larvas 4 pupas	0	80%
<b>31</b>	15 larvas 5 pupas	0	75%	15 larvas 3 pupas	2	75%	15 larvas 5 pupas	0	75%

<b>33</b>	15 larvas 5 pupas	0	75%	15 larvas 3 pupas	2	75%	15 larvas 5 pupas	0	75%
<b>35</b>	15 larvas 5 pupas	0	75%	15 larvas 3 pupas	2	75%	14 larvas 6 pupas	0	70%
<b>37</b>	15 larvas 5 pupas	0	75%	15 larvas 3 pupas	2	75%	14 larvas 6 pupas	0	70%
<b>39</b>	15 larvas 5 pupas	0	75%	15 larvas 3 pupas	2	75%	13 larvas 7 pupas	0	65%
<b>41</b>	15 larvas 5 pupas	0	75%	15 larvas 3 pupas	2	75%	13 larvas 7 pupas	0	65%
<b>43</b>	15 larvas 5 pupas	0	75%	15 larvas 3 pupas	2	75%	13 larvas 7 pupas	0	65%
<b>45</b>	15 larvas 5 pupas	0	75%	15 larvas 3 pupas	2	75%	12 larva 8 pupas	0	60%
<b>47</b>	15 larvas 5 pupas	0	75%	15 larvas 3 pupas	2	75%	12 larvas 8 pupas	0	60%
<b>49</b>	15 larvas 5 pupas	0	75%	15 larvas 3 pupas	2	75%	12 larvas 8 pupas	0	60%

Tabla A1- 14. Registro de temperatura ambiental de cada dos días

<b>Día</b>	<b>Fecha</b>	<b>Temperatura (°C)</b>
<b>1</b>	11/10/2021	22
<b>3</b>	13/10/2021	21
<b>5</b>	15/10/2021	21
<b>7</b>	17/10/2021	22
<b>9</b>	19/10/2021	22
<b>11</b>	21/10/2021	22
<b>13</b>	23/10/2021	21
<b>15</b>	25/10/2021	22
<b>17</b>	27/10/2021	22
<b>19</b>	29/10/2021	22
<b>21</b>	31/10/2021	22
<b>23</b>	02/11/2021	22
<b>25</b>	04/11/2021	21
<b>27</b>	06/11/2021	21
<b>29</b>	08/11/2021	21
<b>31</b>	10/11/2021	21
<b>33</b>	12/11/2021	21
<b>35</b>	14/11/2021	20
<b>37</b>	16/11/2021	21
<b>39</b>	18/11/2021	21
<b>41</b>	20/11/2021	20
<b>43</b>	22/11/2021	23
<b>45</b>	24/11/2021	22
<b>47</b>	26/11/2021	22
<b>49</b>	28/11/2021	22

## 8.2. ANEXO II

Tabla A2- 1. Número de semillas de lechuga germinadas

<b>GBC</b>	<b>Réplica 1</b>	<b>Réplica 2</b>	<b>Réplica 3</b>
<b>GBC1</b>	26	26	22
<b>GBC2</b>	25	23	23
<b>GBC3</b>	28	27	24
<b>GBNC4</b>	23	26	28
<b>Ctrl -</b>	24	25	19
<b>Ctrl +</b>	25	25	20

Tabla A2- 2. Numero de semillas de pasto germinadas

<b>GBC</b>	<b>Réplica 1</b>	<b>Réplica 2</b>	<b>Réplica 3</b>
<b>GBC1</b>	27	29	28
<b>GBC2</b>	27	26	26
<b>GBC3</b>	24	26	30
<b>GBNC4</b>	30	29	27
<b>Ctrl -</b>	30	26	26
<b>Ctrl +</b>	26	25	24

Tabla A2- 3. Elongación de la radícula e hipocótilo de las semillas de lechuga en el GBC1

No. semilla	Réplica 1		Réplica 2		Réplica 3	
	Radícula	Hipocótilo	Radícula	Hipocótilo	Radícula	Hipocótilo
1	3.1	4.3	3.2	3.3	3.1	3.4
2	1.4	2.8	2.5	3.7	2.6	2.6
3	2.6	4.1	3.3	3.3	3.4	2.6
4	3	2.3	2.6	3.3	3.2	3.6
5	2.5	4	2.3	2.4	3.8	3.7
6	3.1	2.9	2.3	3.4	2.5	2.9
7	0.9	0.9	3.4	3.3	3.1	3.1
8	1.9	2.1	2.1	1.9	3	3.8
9	2.1	3.8	1.4	2.4	2.6	3.7
10	2.2	3.5	1.8	2.5	2.1	4.4
11	1.1	1.7	2.2	2.9	3.5	3.5
12	2.5	3.5	1.6	0.6	3.2	3.4
13	2.4	3	3.2	3.9	3.1	4.3
14	1.8	3.6	2.4	2.7	3.2	3.9
15	2.9	4	3	2.8	2.2	2.6
16	1.6	1.5	2	2.8	2.4	3
17	3	4.1	2.6	2.8	2.2	3.7
18	2.5	3.7	3.6	3.9	3	3.1
19	2.1	2.6	2.6	3.3	3.3	3.6
20	1.8	1.3	2.6	2.5	3.1	3
21	1	2.1	2.1	4.4	2.3	3.4
22	2	2.7	3.6	3.3	2.1	1.5
23	3	3.1	2.2	2.1	0	0
24	2.1	3.4	2.9	2.8	0	0
25	3.2	3.5	2.6	3.1	0	0
26	0.5	1	2	3.6	0	0
27	0	0	0	0	0	0
28	0	0	0	0	0	0
29	0	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0	0

Tabla A2- 4. Elongación de la radícula e hipocótilo de las semillas de lechuga en el GBC2

No. semilla	Réplica 1		Réplica 2		Réplica 3	
	Radícula	Hipocótilo	Radícula	Hipocótilo	Radícula	Hipocótilo
1	1.9	2.1	1.8	3	1.6	3.8
2	2.1	3.4	2.6	4.1	2.8	4.7
3	2.1	3.3	1.5	1.6	1.8	1.7
4	2	2.1	3	3.5	1.5	1.8
5	2.1	3.1	0.8	2	2.6	3.8
6	2.5	3.5	1.5	3.3	0.8	1.1
7	2.5	3.3	2	2.6	2.6	4.3
8	1.4	1.5	2.4	3	1.2	3
9	0.8	0.7	2.4	4	2.5	3.5
10	2.7	3.9	1.4	2.9	2.6	2.7
11	2	0.9	0.7	1.3	1.9	3.2
12	2	3	2.5	3.8	3	3.3
13	2.6	3.1	2.4	3.3	1.4	2.9
14	2.6	2.7	1.1	1.8	2.9	4.6
15	2.4	3.4	2.4	2.3	1.8	2.4
16	2.5	3.1	2.1	2.9	2.6	4.6
17	1.4	1.8	1.2	1.8	2	3.4
18	2.2	3	2.1	2.4	2.1	2.6
19	1.1	0.6	1.1	1.1	1.8	2.5
20	2.5	1.1	0.6	1.5	1.7	2.7
21	2.3	1.9	1.1	2.2	1.9	3.5
22	1.4	2.9	1.3	2.5	1.5	2.5
23	0.3	1.3	1.8	2	0.5	0.9
24	0.2	0	0	0	0	0
25	0.1	0	0	0	0	0
26	0	0	0	0	0	0
27	0	0	0	0	0	0
28	0	0	0	0	0	0
29	0	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0	0

Tabla A2- 5. Elongación de la radícula e hipocótilo de las semillas de lechuga en el GBC3

No. semilla	Réplica 1		Réplica 2		Réplica 3	
	Radícula	Hipocótilo	Radícula	Hipocótilo	Radícula	Hipocótilo
1	3.7	2.5	1.6	3.7	3	2.4
2	2.1	2.4	1.4	2.4	1.8	2.8
3	3	3	2	2.5	2.5	2.6
4	0.3	1.3	2	2.4	2.3	2.7
5	2.1	2.8	2.4	2.5	2	3.8
6	2.6	2	2	2	1.1	3.1
7	2.4	1.8	2	2.8	1.2	3.3
8	2.7	2.9	2	3.3	1.8	3
9	2.3	1.9	1.1	3.2	2.5	3
10	2.2	2.3	2.2	2.8	2.7	2.8
11	1.8	1.5	1.5	2.1	2.1	2.6
12	2	2.3	1.6	1.2	1.8	2.8
13	2.1	2.7	1.8	2.2	2.4	2.7
14	1.4	1.1	2.2	2.7	1.7	1.6
15	2.4	1.8	2	3	2.6	2.7
16	1.9	0.5	1.9	2.3	2.8	2.1
17	1.4	1.8	2.6	2.6	2.6	2.4
18	2.2	2.6	2.5	2.5	2.7	3
19	1	0.9	2.6	3.1	2.4	2.5
20	2.4	1.4	1.9	1.9	2.5	2.5
21	1.7	3.1	2.1	2.6	1.9	2.2
22	2.4	2	1.8	2.8	2.8	2.2
23	2.9	2.3	1.9	3.1	1.7	2.1
24	1.4	1.1	2.8	3.5	2.2	2.1
25	2	2	2.5	2.2	0	0
26	1.5	1.6	1	0.7	0	0
27	2.2	0.8	0.3	0.3	0	0
28	0.5	0.3	0	0	0	0
29	0	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0	0

Tabla A2- 6. Elongación de la radícula e hipocótilo de las semillas de lechuga en el GBNC4

No. semilla	Réplica 1		Réplica 2		Réplica 3	
	Radícula	Hipocótilo	Radícula	Hipocótilo	Radícula	Hipocótilo
1	2.9	0.7	1.2	2	2.6	0.5
2	2.4	1.8	3.5	2.5	3.3	2.7
3	1.7	2.6	1.1	1.9	3.1	2
4	3.1	1.9	2.2	2.5	2.1	2.6
5	2	1.5	2.6	2	2.1	2.4
6	2.8	2.7	2	2.2	2.5	2.1
7	3	1.5	0.4	2.9	3.1	2
8	3.3	1.8	2.8	2.2	2.1	2.8
9	3.2	2.1	3	1.8	3.4	2.1
10	2.9	1.4	2.9	2.3	3	2
11	2.1	2	2.4	2.3	3.3	1.7
12	2.7	1.9	3.1	2.2	3	1.5
13	3.8	1.9	2.5	1.7	2.6	1.1
14	2.5	2.1	3.3	2.2	2.8	1.4
15	2.9	2.1	2.5	1.8	2	1.5
16	3.4	1.7	2.3	1.7	1.9	1.4
17	3.3	1.5	3	1.1	3	2
18	2.5	1.8	2.9	1.5	2	3
19	1.4	3.2	3	2.9	2.7	0.8
20	1.7	1.5	3.1	2.9	3.3	1.8
21	2.4	2.1	2.5	2.1	2	1.6
22	2.9	1.2	1.5	1.8	2	1.2
23	0.5	0	1.4	1.7	1	1.5
24	0	0	0.4	0.7	2.1	1.6
25	0	0	0.7	1.4	1	1
26	0	0	0.4	0	2.5	1
27	0	0	0	0	0.8	1
28	0	0	0	0	0.2	0
29	0	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0	0

Tabla A2- 7. Elongación de la radícula e hipocótilo de las semillas de lechuga en el control positivo

No. semilla	Réplica 1		Réplica 2		Réplica 3	
	Radícula	Hipocótilo	Radícula	Hipocótilo	Radícula	Hipocótilo
1	0.3	1.2	1.5	2	0	1.5
2	0.4	0.5	0.2	1.3	0	1.4
3	0.2	1.7	0.3	0.9	0.5	1
4	0.2	1.2	0.4	1	0.2	1
5	0.2	1	0	1.8	0.2	0.7
6	0.1	1.9	0.3	0.8	0.3	1
7	0.2	1.5	0	1	0.4	0.7
8	0.4	1	0	0.5	0	0.7
9	0.4	0.6	0.4	0.6	0	1.2
10	0.3	0.7	0	1.3	0.2	1
11	0	0.9	0.2	0.8	0.3	1
12	0.3	1	0	0.6	0.3	0.7
13	0.3	0.9	0.1	0.6	0.9	0.6
14	0.3	1.2	0	0.6	0.3	0.5
15	0	1	0.3	0.8	0	0.5
16	0	0.8	0	0.5	0	0.4
17	0	0.4	0	0.4	0.1	0.4
18	0	0.5	0	0.6	0	0.5
19	0	0.4	0	0.5	0	0.7
20	0	0.6	0	0.3	0	0.4
21	0	0.5	0	0.6	0	0
22	0	0.5	0	0.5	0	0
23	0	0.4	0	0.1	0	0
24	0.3	0.6	0	0.5	0	0
25	0	0.4	0	0.3	0	0
26	0	0	0	0	0	0
27	0	0	0	0	0	0
28	0	0	0	0	0	0
29	0	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0	0

Tabla A2- 8. Elongación de la radícula e hipocótilo de las semillas de lechuga en el control negativo

No. semilla	Réplica 1		Réplica 2		Réplica 3	
	Radícula	Hipocótilo	Radícula	Hipocótilo	Radícula	Hipocótilo
1	3.4	2.7	2.2	3	1.8	2
2	4	3	3.2	2	3.7	3.2
3	1.8	2.6	1.9	3.1	3	1.9
4	4	2.1	2.7	2.5	3	3
5	3.1	2.7	1.6	2.9	3.3	2.9
6	2.9	2.8	1.7	2.7	2.9	2.4
7	3.2	2	3.4	2.7	2.4	2.3
8	3.7	2.7	2.8	2.8	2.7	3.5
9	2.7	3.1	3.4	2.3	2.7	1.2
10	2.4	2.7	2.6	1.8	2.4	2.9
11	2.9	2.9	2	2.2	3.3	2.9
12	3.7	2	3	2.7	2.3	2.1
13	2.9	2.4	3.7	2.7	3.2	2
14	2.6	2.9	2.5	1.7	3.1	1.8
15	3.5	2.5	3.6	3.1	2.2	1
16	3.7	2	2.2	2.3	2.3	1.1
17	1.4	2.4	3.2	2.5	1.2	2.4
18	2.3	2.8	3	2.7	2.5	1.7
19	2.9	2	1.2	1.8	1.8	1.8
20	0.6	1	2.8	2.6	0	0
21	1.8	0.9	1.2	0.9	0	0
22	0	0.5	3.5	2.5	0	0
23	1.6	0.8	4.8	2.1	0	0
24	3	3	0.7	0.4	0	0
25	0	0	2.6	2.5	0	0
26	0	0	0	0	0	0
27	0	0	0	0	0	0
28	0	0	0	0	0	0
29	0	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0	0

Tabla A2- 9. Elongación del tallo y raíz de las semillas de pasto en el GBC1

No. de semilla	Réplica 1				Réplica 2				Réplica 3			
	Tallo	Raíz 1	Raíz 2	Raíz 3	Tallo	Raíz 1	Raíz 2	Raíz 3	Tallo	Raíz 1	Raíz 2	Raíz 3
1	8.7	5	0	0	3.9	4.2	0	0	7.7	4.7	0	0
2	4.5	2	0	0	7.1	8.2	1.9	0	8.8	10.8	1.6	0
3	10	11.5	0	0	2.3	3.5	0	0	6.3	8.9	0	0
4	3.3	1	0	0	2	3.2	0	0	4.3	3.5	0	0
5	0.4	1.7	0	0	4.3	4.7	0	0	8.7	10.9	0	0
6	4.4	4	0	0	10.2	9	1.5	0	5.5	4	2.5	2
7	5.7	4.6	0	0	2	3	0	0	5.3	5.5	1.5	0
8	1.3	3	0	0	8.4	7	0.6	0.8	4.5	3.2	0	0
9	4.9	4	0	0	3.7	3	2.9	0	8.7	7.4	0	0
10	7.6	6.5	3.2	1.2	8.5	8.7	0	0	8	5.5	2.1	0
11	1.5	0.3	0	0	2.5	2.5	0	0	4.3	3.5	0	0
12	1	1.1	0	0	1.5	3	0	0	2.2	2.2	0	0
13	9	7.6	2.1	1.1	5.6	3	0	0	2	3.8	0	0
14	8.8	9	2	1.3	2.5	3.2	0	0	3.5	2.6	0	0
15	6.6	4.5	1.4	0	1.8	3.6	0	0	4	3.3	0	0
16	3.6	2.1	0	0	3	2.3	0	0	6	5	0	0
17	8.3	9	3.1	1.4	4.2	4.7	0	0	7.4	9.5	2	0
18	9.4	11.7	0	0	6.2	5.1	2	0	3.7	4	0	0
19	8.8	7.4	2.7	2.5	8.5	6.4	2.5	0	5.8	8.7	0.4	0
20	10.5	8.7	2	2.3	7.4	5.6	0	0	4.3	3.1	0	0
21	5.1	8.4	2.6	0	7.5	6.7	0	0	2.5	3.8	0	0
22	7.2	2.1	7.6	0	11	7.8	1.9	1	2	2.3	0	0
23	5	3.8	0	0	0	0.4	0	0	1.3	2.1	0	0
24	3.5	3.7	0	0	7	5.5	2	0	2	3	0	0
25	6	5.9	0.7	1.4	4.3	4.9	0	0	4	4.4	0	0
26	4.2	3.9	0	0	8	2.8	3	3.3	0.4	0.7	0	0
27	1.6	2	0	0	2.5	2	0	0	1.1	2	0	0
28	0	0	0	0	2	2.3	0	0	1.5	1.9	0	0
29	0	0	0	0	3.1	3.9	0	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla A2- 10. Elongación del tallo y raíz de las semillas de pasto en el GBC2

No. de semilla	Réplica 1				Réplica 2				Réplica 3			
	Tallo	Raíz 1	Raíz 2	Raíz 3	Tallo	Raíz 1	Raíz 2	Raíz 3	Tallo	Raíz 1	Raíz 2	Raíz 3
1	3.6	2.2	0	0	9.2	10	0	0	3.3	5.1	0	0
2	3.2	1.5	1.7	2	4.6	2.6	0	0	4	2.7	0	0
3	7.6	6.7	3.1	1.6	12.1	8.4	2.1	2.1	0.8	0	0	0
4	4.9	2.3	0	0	5.5	4.2	0	0	3.2	4.6	0	0
5	8.8	9.2	1	0	10.8	9.8	3.4	3.5	2.4	3.5	0	0
6	7.6	7.5	2.8	0	7.9	2.3	0	0	5.5	4.3	0	0
7	2.9	2.3	0	0	6.5	3.1	0.9	0	8.8	9.7	1.2	0
8	3.7	4.6	0	0	0.9	1.3	0	0	1.3	2.1	0	0
9	7.9	4.1	1.1	0	7.1	7.6	2.7	2.2	9.5	2	9.5	0
10	7.9	8.5	1.2	0.6	9.1	6	2.8	0	3.3	4.5	0	0
11	2.1	2.6	0	0	2.3	3.4	0	0	5	3.3	0	0
12	7.5	6.9	0	0	3.9	4.4	0	0	10	8.6	0	0
13	5	3.3	0	0	4.5	3.2	0	0	10.7	7	2.7	0
14	7.3	7.2	1.3	0	9.2	7.4	0	0	8.4	4.3	2	0
15	2.3	0	0	0	1.3	1.6	0	0	2.8	4.5	0	0
16	9.4	8.5	2.1	0	6.4	4.3	0	0	12.2	10.5	2	0
17	8.3	8.2	0	0	2.6	3	0	0	0.7	0.5	0	0
18	5.5	6.5	1.9	0	9.9	6	0	0	6	8	0	0
19	4.1	3	0	0	8.2	7.2	0	0	7.4	7	3.8	3.8
20	4.5	3.2	0	0	7.6	5.5	2	0	8.8	10	0.7	0
21	4.9	6	3	3.3	10.6	11.3	3.5	3	2.2	3.2	0	0
22	4.8	6.2	0	0	5.9	5	0	0	9.9	7.6	0	0
23	1.7	2.3	0	0	9.6	8.1	0	0	11.6	10	0	0
24	0.9	0	0	0	6	1.5	9	0	9.6	5.6	3.2	0
25	1.8	3.1	0	0	2.5	2.4	0	0	4.9	6.5	0	0
26	0.7	2.7	0	0	1.2	1.2	0	0	5.5	2	4.4	0
27	1.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla A2- 11. Elongación del tallo y raíz de las semillas de pasto en el GBC3

No. de semilla	Réplica 1				Réplica 2				Réplica 3			
	Tallo	Raíz 1	Raíz 2	Raíz 3	Tallo	Raíz 1	Raíz 2	Raíz 3	Tallo	Raíz 1	Raíz 2	Raíz 3
1	7.8	8.1	0	0	2.3	2.8	3	0	5.3	5.6	1.4	0
2	6.1	9.6	2	0	4.8	3.6	5.9	0	2.6	3.1	0	0
3	5.2	6.2	0.5	0	6	8.4	3.4	0	4.9	5.6	0	0
4	6.6	3.6	1.8	0	3.3	2.9	0	0	4.7	5.1	0	0
5	2.8	4.1	6.8	0	6.2	6.1	1.7	0	7.8	6.1	0.2	0
6	9.1	6.8	0	0	7.5	9	1.6	0	8.5	4.7	2.5	1
7	7.6	9.8	0	0	6.5	9.5	2.9	0	1.8	2.2	0	0
8	7.1	6	0	0	7	9.1	3	0.9	3.6	2.9	0	0
9	2.2	3.8	0	0	7.4	5.7	2.2	0	4.5	4.7	0	0
10	3.6	3.8	0	0	8.5	5.6	1.9	0.5	7.6	8.1	0	0
11	2.2	3.4	0	0	5.6	3.7	3.3	2	5.5	6.2	2.3	1.5
12	5.9	7.8	0	0	2.3	4.7	0	0	1.8	0.4	0	0
13	2.8	2.2	0	0	5.7	8.2	0.4	0	2.8	4.1	0	0
14	7.9	4.9	0	0	2	2.5	0	0	6.3	4.5	2.7	1.9
15	6.1	4.9	1.3	0	8	8.2	1.9	3.4	2.9	3.3	0	0
16	10.6	8.3	0	0	6.7	7.8	2.8	0	3	4.4	0	0
17	8.4	7.9	2.1	4.5	2	1.3	0	0	8	0.8	6.6	0
18	3.8	2.6	0	0	2.2	1.6	0	0	2.5	2.5	0	0
19	0.6	0.5	0	0	1	3.2	0	0	2	2.6	0	0
20	2.7	2.5	0	0	4.8	3	5.8	0	5	8.1	0	0
21	3.7	4.5	0.7	0	3	4.2	0	0	7.7	6	0	0
22	2.1	0	0	0	3.1	5	0	0	2.9	2.5	0	0
23	1.4	4	0	0	3.8	3.7	1.7	0	6.1	5	3.6	0
24	0.2	2	0	0	2.6	2.8	0	0	7.6	9	2.1	1.6
25	0	0	0	0	3.2	3.9	0	0	3.6	3.5	0	0
26	0	0	0	0	2.3	4.7	0	0	5.1	4.5	0	0
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0.8	0.5	0	0
28	0	0	0	0	0	0	0	0	6.6	9.8	0	0
29	0	0	0	0	0	0	0	0	0.4	0.9	0	0
30	0	0	0	0	0	0	0	0	2.2	3.6	0	0

Tabla A2- 12. Elongación del tallo y raíz de las semillas de pasto en el GBNC4

No. de semilla	Réplica 1				Réplica 2				Réplica 3			
	Tallo	Raíz 1	Raíz 2	Raíz 3	Tallo	Raíz 1	Raíz 2	Raíz 3	Tallo	Raíz 1	Raíz 2	Raíz 3
1	8.4	6	0	0	11.2	9.2	0	0	9	8.5	0	0
2	5.2	6.2	0	0	5.7	5.2	0	0	6.2	5.5	0	0
3	10.5	0.8	3.3	9.3	6.9	2.1	5.1	0	13.5	8.5	0	0
4	4.5	6.2	0.7	0	10.2	7	2.4	0	4.9	4.3	0	0
5	4.7	3.5	0	0	3.2	5.5	0	0	2	2.4	0	0
6	5.1	9.3	0	0	1	0.8	0	0	4.9	4.2	0	0
7	11.4	11.6	0	0	6.1	6.3	1.8	0	5.3	4.2	0	0
8	8.7	3.5	4.4	2.6	4	4.2	0	0	8.4	8.7	2.3	0.7
9	2.8	4.5	0	0	6.9	8.6	2.5	3.5	8.2	8.9	4	0
10	7.8	4.5	3	0	10.1	7.9	0	0	8.8	6.4	2.6	1.7
11	8.4	11.6	2.6	0	6.2	4.5	0	0	7.8	7	3	0
12	2	2.6	0	0	4.2	2.5	0	0	4.2	4.2	0	0
13	6.6	9.8	2.3	0	9.3	8.6	3.4	0	6	4.1	0	0
14	5.4	2.3	0	0	1.9	3.1	0	0	8.8	7.1	1.5	0
15	7.5	8.6	0	0	9.3	3.9	8.8	0	5.7	4.6	0	0
16	8	11.6	1.1	0	6.9	9.7	0	0	9.6	7.5	3.2	0
17	6.8	7.4	1.4	0	3.8	4.3	0	0	3.1	4.7	0	0
18	6	4	2	0	8	7.5	2.7	0	9.3	5.1	4.4	0
19	9	9.3	2.6	0	4.4	4.6	0	0	7.1	6.9	3.3	1
20	9.4	8.2	0	0	2.7	3.7	0	0	2.2	1.4	0	0
21	8.3	10.3	4.5	0	3.3	3.5	0	0	7.7	9	3.9	0
22	2	2.1	0	0	2.2	4.4	0	0	4.4	3	0	0
23	1.3	1.7	0	0	7.7	7.6	0	0	5.1	4.3	1.8	0
24	3.5	5	0	0	11.5	7.7	3	0	4.6	2.9	0	0
25	2	2.8	0	0	4.1	4.5	0	0	0.8	1.2	0	0
26	1.6	2.4	0	0	1.6	2	0	0	6	8.2	3	0
27	3.9	4	0	0	2.5	3.5	0	0	0.6	0	0	0
28	1.5	1.2	0	0	2.4	1.4	0	0	0	0	0	0
29	3.6	4.2	0	0	9.1	10	0	0	0	0	0	0
30	3.4	3.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla A2- 13. Elongación del tallo y raíz de las semillas de pasto en el control positivo

No. de semilla	Réplica 1				Réplica 2				Réplica 3			
	Tallo	Raíz 1	Raíz 2	Raíz 3	Tallo	Raíz 1	Raíz 2	Raíz 3	Tallo	Raíz 1	Raíz 2	Raíz 3
1	6.6	1.2	0	0	9.2	3.2	2.2	1.8	9.9	3.4	0	0
2	10.4	3.2	2.2	0	1.3	0.3	0	0	6.8	2.6	0	0
3	6.5	2.4	0.5	0	1.7	0.5	0	0	10.2	3	0	0
4	8.2	2.5	3.6	0	8	2.5	0.7	0	7.4	2.6	0	0
5	6.7	2.5	0.3	0	5	0.5	0	0	9.1	2.8	0	0
6	11.7	2.5	2.4	0.4	6.5	1	0	0	7.9	1.5	0	0
7	4.3	1.5	0	0	3	0.5	0	0	8.4	5	0	0
8	5.8	0.6	0	0	6	1.8	2.4	1.7	3	1.6	0	0
9	10.1	3.6	0.7	0	2.4	0.3		0	3.6	0.6	0	0
10	2.1	0	0	0	8.8	1.2	1.2	0	8	0.6	0.8	0
11	7.1	0.7	0	0	5	1.7	0	0	7	1.6	3	0.8
12	5.3	1.4	0	0	4.5	0.7	0	0	9.8	1.7	1.9	0
13	5.9	2.2	0.5	0.2	2.1	0.6	0	0	6.9	0.6	1.9	0
14	1.8	0.2	0	0	4.1	0.9	0	0	2.6	0.9	0	0
15	2.8	1	0	0	4	0.5	0	0	7.6	2.3	0.4	0
16	2.2	2.3	0	0	9.6	1.3	0	0	5.4	0.5	0	0
17	3.9	1.6	0	0	0.5	0.4	0	0	9.8	2.1	0	0
18	2	0.4	0	0	2.4	0.6	0	0	5.2	0.7	0	0
19	8.3	2.7	0	0	3.1	0.7	0	0	8	3.3	3.2	0
20	6.5	1.1	0	0	5.4	1.1	0	0	3.7	0.8	0	0
21	8.6	1.9	0	0	7.8	2.3	0	0	6.3	1.5	0	0
22	4.9	0.8	0	0	3.1	0.6	0	0	3	0.5	0	0
23	1.9	0.1	0	0	6.6	1.4	0	0	1.5	0.3	0	0
24	1.7	0.6	0	0	1.3	0	0	0	2	0.4	0	0
25	0.6	0.2	0	0	0	0	0	0	2.6	2.3	0	0
26	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1.4	0	0
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla A2- 14. Elongación del tallo y raíz de las semillas de pasto en el control negativo

No. de semilla	Réplica 1				Réplica 2				Réplica 3			
	Tallo	Raíz 1	Raíz 2	Raíz 3	Tallo	Raíz 1	Raíz 2	Raíz 3	Tallo	Raíz 1	Raíz 2	Raíz 3
1	4.5	7.8	2.5	1.9	10	8.5	1.9	0	8.9	10.2	0	0
2	2.3	3.6	0	0	9.9	5.6	3.5	3.7	7.6	6.5	0	0
3	8.6	8.8	1.4	0	10.3	8.1	0	0	8.5	2.3	9.4	0
4	7	3	6.9	0	9.2	7.8	5	2.5	3.6	4.9	0	0
5	10.6	3.5	2.4	11.4	2	3.1	0	0	6.7	4.5	0	0
6	7.7	1.1	7.5	0	1.9	1	0	0	11.7	10.8	4.3	4.2
7	7.2	2.4	8	0	3.8	3.3	0	0	9.7	11.7	0	0
8	10	10.2	0	0	10	5	2.6	0	7.2	11	1.2	0
9	8.9	6.3	0	0	4.6	6	0	0	6.5	6.4	2.9	1
10	3.5	3.3	1.6	0	10	9.7	2	1.6	4.9	4.3	0	0
11	7.7	4	9.8	0	10.4	11.6	2.5	1.7	3.2	4.8	0	0
12	6.6	6.7	0	0	7.1	9	0	0	9.9	6.9	2.3	0
13	6.2	6.8	0	0	2.9	3.9	0	0	6.3	5.1	0	0
14	3	2.5	0	0	7.5	4.1	1.5	0	6.3	5	0	0
15	8	4.5	2.5	3	9.3	12.5	3.7	1.6	1.5	1	0	0
16	11.8	6.9	0	0	7.1	8.9	2.3	0	11.9	9.5	1.7	2.5
17	4.3	2.6	0	0	4.9	5.7	0	0	4	5.3	0	0
18	1.8	2.5	0	0	5.2	4.2	0	0	6.8	7.4	0	0
19	2.2	3.4	0	0	4.4	5.8	0	0	9.2	7.3	0	0
20	5.4	4.7	0	0	3.5	4.5	0	0	4.7	3.1	0	0
21	9	9.2	0	0	8.4	6.8	0	0	9	5.7	0	0
22	2.8	3.8	0	0	6	6.6	2.4	1.9	4.7	3.2	0	0
23	4.4	3.7	0	0	9.1	6.5	1.9	2	3.2	1.4	0	0
24	1.1	1	0	0	2.7	4.7	0	0	4.7	4.9	0	0
25	3.1	4.2	0	0	2	5.2	0	0	0.8	1.5	0	0
26	2.1	3.2	0	0	3.2	5.3	0	0	2.5	3.5	0	0
27	0	0	0	0	0	0	0	0	2.1	2.1	0	0
28	0	0	0	0	0	0	0	0	2.2	1.9	0	0
29	0	0	0	0	0	0	0	0	2.6	0.7	0	0
30	0	0	0	0	0	0	0	0	1.5	0.5	0	0

### 8.3. ANEXO III

Tabla A3- 1. Concentración de metales pesados presentes en los grupos de bolsas

Elemento		As	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Se	Zn
$\lambda$ (nm)		188.9 8	226.50 2	228.61 5	267.71 6	327.39 5	231.60 4	220.35 3	196.02 6	213.85 7
LCP, mg/kg		5.0	1.0	1.0	1.0	1.0	5.0	10.0	10.0	1.0
Muestra/ Unidades		mg/kg								
No	Clave									
1	GBC1- 1	<LCP	<LCP	<LCP	<LCP	5.0	<LCP	<LCP	<LCP	2.0
2	GBC1- 2	<LCP	<LCP	<LCP	<LCP	4.0	<LCP	<LCP	<LCP	5.0
3	GBC1- 3	<LCP	<LCP	<LCP	<LCP	6.0	<LCP	<LCP	<LCP	13.0
4	GBC2- 1	<LCP	<LCP	<LCP	3.0	76.0	<LCP	<LCP	<LCP	19.0
5	GBC2- 2	<LCP	<LCP	<LCP	3.0	78.0	<LCP	<LCP	<LCP	17.0
6	GBC2- 3	<LCP	<LCP	<LCP	3.0	73.0	<LCP	<LCP	<LCP	18.0
7	GBC3- 1	<LCP	<LCP	<LCP	2.0	2.0	<LCP	<LCP	<LCP	108.0
8	GBC3- 2	<LCP	<LCP	<LCP	2.0	<LCP	<LCP	<LCP	<LCP	115.0
9	GBC3- 3	<LCP	<LCP	<LCP	2.0	2.0	<LCP	<LCP	<LCP	113.0
10	GBNC4 -1	<LCP	<LCP	<LCP	5.0	69.0	9.0	<LCP	<LCP	93.0
11	GBNC4 -2	<LCP	<LCP	<LCP	5.0	71.0	<LCP	<LCP	<LCP	93.0
12	GBNC4 -3	<LCP	<LCP	<LCP	5.0	67.0	<LCP	<LCP	<LCP	89.0