

	<b>MACROPROCESO DE APOYO</b>	<b>CÓDIGO: AAAR113</b>
	<b>PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO</b>	<b>VERSIÓN: 3</b>
	<b>DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL</b>	<b>VIGENCIA: 2019-07-22</b>
		<b>PAGINA: 1 de 7</b>

**FECHA** | lunes, 22 de julio de 2019

Señores  
**UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA**  
 BIBLIOTECA  
 Ciudad

**UNIDAD REGIONAL** | Seccional Girardot

**TIPO DE DOCUMENTO** | Trabajo De Grado

**FACULTAD** | Ciencias Agropecuarias

**NIVEL ACADÉMICO DE FORMACIÓN O PROCESO** | Pregrado

**PROGRAMA ACADÉMICO** | Ingeniería Ambiental

El Autor(Es):

<b>APELLIDOS COMPLETOS</b>	<b>NOMBRES COMPLETOS</b>	<b>No. DOCUMENTO DE IDENTIFICACIÓN</b>
Florez Barragán	Juan Felipe	1110576522

Director(Es) y/o Asesor(Es) del documento:

<b>APELLIDOS COMPLETOS</b>	<b>NOMBRES COMPLETOS</b>
GARCÍA PÉREZ	JACK FRAN ARMENGOT

Diagonal 18 No. 20-29 Fusagasugá – Cundinamarca  
 Teléfono (091) 8281483 Línea Gratuita 018000976000  
 www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co  
 NIT: 890.680.062-2

*Documento controlado por el Sistema de Gestión de la Calidad  
 Asegúrese que corresponde a la última versión consultando el Portal Institucional*

	<b>MACROPROCESO DE APOYO</b>	<b>CÓDIGO: AAAR113</b>
	<b>PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO</b>	<b>VERSIÓN: 3</b>
	<b>DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL</b>	<b>VIGENCIA: 2019-07-22</b>
		<b>PAGINA: 2 de 7</b>

**TÍTULO DEL DOCUMENTO**

Estudio de la Biodegradación en un Periodo de 8 Horas de Bolsas de Polietileno Empleando la Polilla de Cera (*Galleria mellonella*) Lepidoptera:Pyralidae

**SUBTÍTULO**  
(Aplica solo para Tesis, Artículos Científicos, Disertaciones, Objetos Virtuales de Aprendizaje)

**TRABAJO PARA OPTAR AL TÍTULO DE:**  
Aplica para Tesis/Trabajo de Grado/Pasantía

Ingeniero Ambiental

<b>AÑO DE EDICION DEL DOCUMENTO</b>	<b>NÚMERO DE PÁGINAS</b>
30/04/2019	76

<b>DESCRIPTORES O PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS</b> (Usar 6 descriptores o palabras claves)	
<b>ESPAÑOL</b>	<b>INGLÉS</b>
1. Biotecnología	biotechnology
2. Biodegradación	biodegradation
3. plástico	plastic
4. polietileno	polyethylene
5. insectos	insects
6. lepidoptero	lepidoptera

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 3
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2019-07-22 PAGINA: 3 de 7

**RESUMEN DEL CONTENIDO EN ESPAÑOL E INGLÉS**  
(Máximo 250 palabras – 1530 caracteres, aplica para resumen en español):

En la actualidad el plástico y su tendencia como residuo ha generado una problemática mundial, ya que por su comportamiento de persistencia en el ambiente lo hace un contaminante que tiene un tiempo de retención en los ecosistemas bastante considerable, y por su producción en masa que se ha disparado exponencialmente en el siglo XXI lo hacen un contaminante crítico en el tiempo actual. Se han formulado y diseñado un sin número de estrategias para manejar la disposición final de este tipo de residuo como el reciclaje, pero estas técnicas no son suficientes para combatir esta problemática, por lo cual se ha buscado nuevas alternativas para tratar y solucionar la contaminación por residuos plásticos. La especie *Galleria Mellonella* es una larva lepidóptera con el potencial de biodegradar uno de los derivados del plástico con mayor demanda a nivel mundial denominado Polietileno; por medio de esta especie se busca reducir el grado del impacto negativo el cual genera su tardía descomposición. El diseño experimental está basado en 2 fases experimentales (una en las condiciones ambientales del municipio de Girardot y la otra fase a condiciones de laboratorio) con 2 réplicas para 3 tratamientos con 40 individuos de la especie *Galleria mellonella* en cada réplica. El experimento conto de 2 fases con el análisis correlacional (Spearman  $r_s$ ,  $p=0.05$ ) de 4 variables cuantitativas (cambios de peso, temperatura, humedad y peso de las larvas); el experimento estuvo relacionado con el tiempo de exposición a la cual fue sometida la especie con la muestra de plástico, en un tiempo determinado de 8 horas tomando registros de las variables cada 2 horas. La relación peso larvas (mg) con el tiempo de exposición mostro en los tratamientos tanto en condiciones ambientales y de laboratorio correlaciones positivas, siendo registrada la eficacia en el tratamiento 1 (condiciones ambientales) donde 40 larvas degradaron aproximadamente 4.84 mg/hr de plástico.

Nowadays, plastic and its tendency as waste has generated a global problem, since its persistence behavior in the environment makes it a pollutant that has a considerable retention time in the ecosystems, and due to its mass production that is It has exploded exponentially in the 21st century, making it a critical pollutant at the present time. A number of strategies have been formulated and designed to handle the final disposal of this type of waste, such as recycling, but these techniques are not enough to combat this problem, which is why new alternatives have been sought to treat and solve pollution. plastic waste The *Galleria Mellonella* species is a lepidoptera larva with the potential to biodegrade one of the most demanded plastic derivatives worldwide known as Polyethylene; by means of this species it is sought to reduce the degree of negative impact which generates its late decomposition. The experimental design is based on 2 experimental phases (one in the environmental conditions of the municipality of Girardot and the other phase to laboratory conditions) with 2 replicas for 3 treatments with 40 individuals of the *Galleria mellonella* species in each replica. The experiment counted 2 phases with the correlational analysis (Spearman  $r_s$ ,  $p = 0.05$ ) of 4 quantitative variables

	<b>MACROPROCESO DE APOYO</b>	<b>CÓDIGO: AAAR113</b>
	<b>PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO</b>	<b>VERSIÓN: 3</b>
	<b>DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL</b>	<b>VIGENCIA: 2019-07-22</b>
		<b>PAGINA: 4 de 7</b>

(changes in weight, temperature, humidity and weight of the larvae); the experiment was related to the exposure time to which the species was subjected to the plastic sample, in a determined time of 8 hours taking records of the variables every 2 hours. The relation larvae weight (mg) with the time of exposure showed in the treatments in both environmental and laboratory positive correlations, being recorded the effectiveness in treatment 1 (environmental conditions) where 40 larvae degraded approximately 4.84 mg / hr of plastic.

### AUTORIZACION DE PUBLICACIÓN

Por medio del presente escrito autorizo (Autorizamos) a la Universidad de Cundinamarca para que, en desarrollo de la presente licencia de uso parcial, pueda ejercer sobre mí (nuestra) obra las atribuciones que se indican a continuación, teniendo en cuenta que, en cualquier caso, la finalidad perseguida será facilitar, difundir y promover el aprendizaje, la enseñanza y la investigación.

En consecuencia, las atribuciones de usos temporales y parciales que por virtud de la presente licencia se autoriza a la Universidad de Cundinamarca, a los usuarios de la Biblioteca de la Universidad; así como a los usuarios de las redes, bases de datos y demás sitios web con los que la Universidad tenga perfeccionado una alianza, son:

Marque con una "X":

<b>AUTORIZO (AUTORIZAMOS)</b>	<b>SI</b>	<b>NO</b>
1. La reproducción por cualquier formato conocido o por conocer.	x	
2. La comunicación pública por cualquier procedimiento o medio físico o electrónico, así como su puesta a disposición en Internet.	X	
3. La inclusión en bases de datos y en sitios web sean éstos onerosos o gratuitos, existiendo con ellos previa alianza perfeccionada con la Universidad de Cundinamarca para efectos de satisfacer los fines previstos. En este evento, tales sitios y sus usuarios tendrán las mismas facultades que las aquí concedidas con las mismas limitaciones y condiciones.	X	
4. La inclusión en el Repositorio Institucional.	x	

De acuerdo con la naturaleza del uso concedido, la presente licencia parcial se otorga a título gratuito por el máximo tiempo legal colombiano, con el propósito de que en dicho lapso mi (nuestra) obra sea explotada en las condiciones aquí estipuladas y para los fines indicados, respetando siempre la titularidad de los derechos patrimoniales y morales correspondientes, de acuerdo con los usos

Diagonal 18 No. 20-29 Fusagasugá – Cundinamarca  
 Teléfono (091) 8281483 Línea Gratuita 018000976000  
 www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co  
 NIT: 890.680.062-2



<b>MACROPROCESO DE APOYO</b>	<b>CÓDIGO: AAAR113</b>
<b>PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO</b>	<b>VERSIÓN: 3</b>
<b>DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL</b>	<b>VIGENCIA: 2019-07-22</b>
	<b>PAGINA: 5 de 7</b>

honrados, de manera proporcional y justificada a la finalidad perseguida, sin ánimo de lucro ni de comercialización.

Para el caso de las Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía, de manera complementaria, garantizo(garantizamos) en mi(nuestra) calidad de estudiante(s) y por ende autor(es) exclusivo(s), que la Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía en cuestión, es producto de mi(nuestra) plena autoría, de mi(nuestro) esfuerzo personal intelectual, como consecuencia de mi(nuestra) creación original particular y, por tanto, soy(somos) el(los) único(s) titular(es) de la misma. Además, aseguro (aseguramos) que no contiene citas, ni transcripciones de otras obras protegidas, por fuera de los límites autorizados por la ley, según los usos honrados, y en proporción a los fines previstos; ni tampoco contempla declaraciones difamatorias contra terceros; respetando el derecho a la imagen, intimidad, buen nombre y demás derechos constitucionales. Adicionalmente, manifiesto (manifestamos) que no se incluyeron expresiones contrarias al orden público ni a las buenas costumbres. En consecuencia, la responsabilidad directa en la elaboración, presentación, investigación y, en general, contenidos de la Tesis o Trabajo de Grado es de mí (nuestra) competencia exclusiva, eximiendo de toda responsabilidad a la Universidad de Cundinamarca por tales aspectos.

Sin perjuicio de los usos y atribuciones otorgadas en virtud de este documento, continuaré (continuaremos) conservando los correspondientes derechos patrimoniales sin modificación o restricción alguna, puesto que, de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación de los derechos patrimoniales derivados del régimen del Derecho de Autor.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, "*Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores*", los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables. En consecuencia, la Universidad de Cundinamarca está en la obligación de RESPETARLOS Y HACERLOS RESPETAR, para lo cual tomará las medidas correspondientes para garantizar su observancia.

**NOTA:** (Para Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía):

**Información Confidencial:**

Esta Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía, contiene información privilegiada, estratégica, secreta, confidencial y demás similar, o hace parte de la investigación que se adelanta y cuyos resultados finales no se han publicado. **SI** \_\_\_ **NO** X.

En caso afirmativo expresamente indicaré (indicaremos), en carta adjunta tal situación con el fin de que se mantenga la restricción de acceso.

	<b>MACROPROCESO DE APOYO</b>	<b>CÓDIGO: AAAR113</b>
	<b>PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO</b>	<b>VERSIÓN: 3</b>
	<b>DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL</b>	<b>VIGENCIA: 2019-07-22</b> <b>PAGINA: 6 de 7</b>

### LICENCIA DE PUBLICACIÓN

Como titular(es) del derecho de autor, confiero(erimos) a la Universidad de Cundinamarca una licencia no exclusiva, limitada y gratuita sobre la obra que se integrará en el Repositorio Institucional, que se ajusta a las siguientes características:

- a) Estará vigente a partir de la fecha de inclusión en el repositorio, por un plazo de 5 años, que serán prorrogables indefinidamente por el tiempo que dure el derecho patrimonial del autor. El autor podrá dar por terminada la licencia solicitándolo a la Universidad por escrito. (Para el caso de los Recursos Educativos Digitales, la Licencia de Publicación será permanente).
- b) Autoriza a la Universidad de Cundinamarca a publicar la obra en formato y/o soporte digital, conociendo que, dado que se publica en Internet, por este hecho circula con un alcance mundial.
- c) Los titulares aceptan que la autorización se hace a título gratuito, por lo tanto, renuncian a recibir beneficio alguno por la publicación, distribución, comunicación pública y cualquier otro uso que se haga en los términos de la presente licencia y de la licencia de uso con que se publica.
- d) El(Los) Autor(es), garantizo(amos) que el documento en cuestión, es producto de mi(nuestra) plena autoría, de mi(nuestro) esfuerzo personal intelectual, como consecuencia de mi (nuestra) creación original particular y, por tanto, soy(somos) el(los) único(s) titular(es) de la misma. Además, aseguro(aseguramos) que no contiene citas, ni transcripciones de otras obras protegidas, por fuera de los límites autorizados por la ley, según los usos honrados, y en proporción a los fines previstos; ni tampoco contempla declaraciones difamatorias contra terceros; respetando el derecho a la imagen, intimidad, buen nombre y demás derechos constitucionales. Adicionalmente, manifiesto (manifestamos) que no se incluyeron expresiones contrarias al orden público ni a las buenas costumbres. En consecuencia, la responsabilidad directa en la elaboración, presentación, investigación y, en general, contenidos es de mí (nuestro) competencia exclusiva, eximiendo de toda responsabilidad a la Universidad de Cundinamarca por tales aspectos.
- e) En todo caso la Universidad de Cundinamarca se compromete a indicar siempre la autoría incluyendo el nombre del autor y la fecha de publicación.
- f) Los titulares autorizan a la Universidad para incluir la obra en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.
- g) Los titulares aceptan que la Universidad de Cundinamarca pueda convertir el documento a cualquier medio o formato para propósitos de preservación digital.

Diagonal 18 No. 20-29 Fusagasugá – Cundinamarca  
Teléfono (091) 8281483 Línea Gratuita 018000976000  
www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co  
NIT: 890.680.062-2

*Documento controlado por el Sistema de Gestión de la Calidad  
Asegúrese que corresponde a la última versión consultando el Portal Institucional*

	<b>MACROPROCESO DE APOYO</b>	<b>CÓDIGO: AAAR113</b>
	<b>PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO</b>	<b>VERSIÓN: 3</b>
	<b>DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL</b>	<b>VIGENCIA: 2019-07-22</b>
		<b>PAGINA: 7 de 7</b>

h) Los titulares autorizan que la obra sea puesta a disposición del público en los términos autorizados en los literales anteriores bajo los límites definidos por la universidad en el "Manual del Repositorio Institucional AAAM003"

i) Para el caso de los Recursos Educativos Digitales producidos por la Oficina de Educación Virtual, sus contenidos de publicación se rigen bajo la Licencia Creative Commons: Atribución- No comercial- Compartir Igual.



j) Para el caso de los Artículos Científicos y Revistas, sus contenidos se rigen bajo la Licencia Creative Commons Atribución- No comercial- Sin derivar.



**Nota:**

Si el documento se basa en un trabajo que ha sido patrocinado o apoyado por una entidad, con excepción de Universidad de Cundinamarca, los autores garantizan que se ha cumplido con los derechos y obligaciones requeridos por el respectivo contrato o acuerdo.

La obra que se integrará en el Repositorio Institucional, está en el(los) siguiente(s) archivo(s).

Nombre completo del Archivo Incluida su Extensión (Ej. PerezJuan2017.pdf)	Tipo de documento (ej. Texto, imagen, video, etc.)
1. Estudio de la Biodegradación en un Periodo de 8 Horas de Bolsas de Polietileno Empleando la Polilla de Cera (Galleria mellonella) Lepidoptera:Pyralidae	Texto, Imágenes
2.	

En constancia de lo anterior, Firmo (amos) el presente documento:

APELLIDOS Y NOMBRES COMPLETOS	FIRMA (autógrafo)
Florez Barragan Juan Felipe	

21.1-51.20.



Diagonal 18 No. 20-29 Fusagasugá – Cundinamarca  
Teléfono (091) 8281483 Línea Gratuita 018000976000  
www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co  
NIT: 890.680.062-2

*Documento controlado por el Sistema de Gestión de la Calidad  
Asegúrese que corresponde a la última versión consultando el Portal Institucional*

**Estudio de la Biodegradación en un Periodo de 8 Horas de Bolsas de  
Polietileno Empleando la Polilla de Cera (*Galleria mellonella*)  
Lepidoptera:Pyralidae**

**JUAN FELIPE FLOREZ BARRAGAN**

**Trabajo para optar por el título de ingeniero ambiental**

**UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA  
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS  
INGENIERIA AMBIENTAL**

**GIRARDOT**

**2018**

**Estudio de la Biodegradación en un Periodo de 8 Horas de Bolsas de  
Polietileno Empleando la Polilla de Cera (*Galleria mellonella*)  
Lepidoptera:Pyralidae**

ii

**JUAN FELIPE FLOREZ BARRAGAN**

**Dirigido por:**

**JACK FRAN ARMENGOT GARCÍA PÉREZ**

**BIÓLOGO M.Sc.**

**UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**

**INGENIERIA AMBIENTAL**

**GIRARDOT**

**2018**

## **Agradecimientos**

iii

Le agradezco principalmente a mi tutor Jack Fran García, ya que sin su tutoría esta investigación habría tenido muchos inconvenientes y percances, donde él fue una guía excelente con su ayuda constante en el momento de realizar las diferentes etapas de esta investigación. También agradezco a mi compañera de trabajo de grado Daniela Alejandra Beltrán, que por percances mayores tuvo que retirarse de la investigación, pero que si no fuera por ella esta investigación desde sus inicios no se habría generado ni desarrollado. Mi siguiente agradecimiento es para mi familia que fue el principal apoyo en muchos sentidos en el momento del desarrollo de todas las fases de este pequeño proyecto. Por último, agradezco a todos los profesores, administrativos y a la universidad de Cundinamarca por ayudarme en algún momento de la realización de este trabajo de grado permitiéndome sean tutorías o permisos para utilizar espacios académicos. AC

En la actualidad el plástico y su tendencia como residuo ha generado una problemática mundial, ya que por su comportamiento de persistencia en el ambiente lo hace un contaminante que tiene un tiempo de retención en los ecosistemas bastante considerable, y por su producción en masa que se ha disparado exponencialmente en el siglo XXI lo hacen un contaminante crítico en el tiempo actual. Se han formulado y diseñado un sin número de estrategias para manejar la disposición final de este tipo de residuo como el reciclaje, pero estas técnicas no son suficientes para combatir esta problemática, por lo cual se ha buscado nuevas alternativas para tratar y solucionar la contaminación por residuos plásticos. La especie *Galleria Mellonella* es una larva lepidóptera con el potencial de biodegradar uno de los derivados del plástico con mayor demanda a nivel mundial denominado Polietileno; por medio de esta especie se busca reducir el grado del impacto negativo el cual genera su tardía descomposición. El diseño experimental está basado en 2 fases experimentales (una en las condiciones ambientales del municipio de Girardot y la otra fase a condiciones de laboratorio) con 2 réplicas para 3 tratamientos con 40 individuos de la especie *Galleria mellonella* en cada réplica. El experimento contó de 2 fases con el análisis correlacional (Spearman  $r_s$ ,  $p=0.05$ ) de 4 variables cuantitativas (cambios de peso, temperatura, humedad y peso de las larvas); el experimento estuvo relacionado con el tiempo de exposición a la cual fue sometida la especie con la muestra de plástico, en un tiempo determinado de 8 horas tomando registros de las variables cada 2 horas. La relación peso larvas (mg) con el tiempo de exposición mostro en los tratamientos tanto en condiciones ambientales y de laboratorio correlaciones positivas, siendo registrada la eficacia en el tratamiento 1 (condiciones ambientales) donde 40 larvas degradaron aproximadamente 4.84 mg/hr de plástico.

## TABLA DE CONTENIDO

v

Introducción .....	1
Planteamiento Del Problema.....	2
Justificación .....	4
Objetivo.....	7
Objetivo general.....	7
Objetivos específicos .....	7
Marco referencial .....	8
Marco teórico .....	8
Polilla de Cera.....	13
Distribución y ecología de <i>Galleria mellonella</i> .....	17
Marco conceptual.....	18
Biodegradación: .....	18
Larva: .....	19
Muda: .....	20
Estadio: .....	20
Entomopatógeno: .....	21
Pyralidae: .....	21
Diseño experimental puro:.....	22
Especies eurioicas y estenoicas:.....	22
Marco legal .....	22
Marco metodológico .....	25

Descripción del procedimiento experimental .....	25vi
Descripción de variables cuantitativas:.....	28
Análisis de datos .....	30
Ubicación geográfica del proyecto .....	30
Resultados y discusión.....	31
Cambios de peso de las larvas .....	32
Registro de datos condiciones ambientales.....	32
Registro de datos en condiciones de laboratorio.....	34
Correlaciones (condiciones ambientales) .....	36
Correlaciones (condiciones de laboratorio) .....	42
Variaciones de peso de las bolsas de PE.....	48
Registro de datos en condiciones ambientales.....	48
Registro de datos en condiciones de laboratorio.....	51
Conclusiones.....	<a href="#">545453</a>
Recomendaciones .....	55
Bibliografía .....	57
Anexos .....	62

Tabla 1. Taxonomía <i>Galleria mellonella</i> .....	13
Tabla 2. Normograma .....	22
Tabla 3. Variables cuantitativas de experimento .....	29
Tabla 4. Valores de datos de cambios de peso de larvas (mg) en condiciones ambientales .....	32
Tabla 5. Valores de datos de cambios de peso de las larvas en condiciones de laboratorio.....	35
Tabla 6. Diferencia de peso en Microgramos de las bolsas al inicio y final del experimento (sin aire acondicionado).....	48
Tabla 7. Pesos totales y promedios de masa de bolsa consumida por larvas de <i>Galleria mellonella</i> .....	50
Tabla 8. Diferencia de peso en Microgramos de las bolsas al inicio y final del experimento (con aire acondicionado).....	51
Tabla 9. Pesos totales y promedios de masa de bolsa consumida por larvas de <i>Galleria mellonella</i> .....	52

Figura 1. Numero de larvas en la primer fase de condiciones ambientales (T1= bolsas no expuestas a radiación solar y condiciones ambientales, T2= bolsas expuestas 15 días a radiación solar y condiciones ambientales) .....	27
Figura 2. Numero de larvas en la segunda fase a condiciones de laboratorio (T1= bolsas no expuestas a radiación solar y condiciones ambientales, T2= bolsas expuestas 15 días a radiación solar y condiciones ambientales). .....	<del>27</del> 28
Figura 3. Localización del proyecto.....	<del>30</del> 31
Figura 4. Correlaciones del peso de las larvas respecto a la temperatura en los distintos tratamientos y sus replicas .....	<del>40</del> 41
Figura 5. Correlaciones del peso de las larvas respecto a la humedad en los distintos tratamientos y sus replicas .....	<del>41</del> 42
Figura 6. Correlaciones del peso de las larvas respecto al tiempo de los diferentes tratamientos y sus replicas .....	43
Figura 7. Correlaciones de peso de las larvas respecto a la temperatura en los diferentes tratamientos y sus réplicas. ....	45
Figura 8. Correlación del peso de las larvas respecto a la humedad en los diferentes tratamientos y sus réplicas. ....	47

Grafica 1. Correlación del peso de las larvas respecto al tiempo del tratamiento 1 en condiciones ambientales ..... 37

Grafica 2. Correlación del peso de las larvas respecto al tiempo de la réplica del tratamiento 1 en condiciones ambientales ..... [3738](#)

Grafica 3. Correlación del peso de las larvas respecto al tiempo del tratamiento 2 en condiciones ambientales ..... [3839](#)

Grafica 4. Correlación del peso de las larvas respecto al tiempo de la réplica del tratamiento 2 en condiciones ambientales ..... 39

## Introducción

Según el Grupo de Investigación del mercado del plástico en Europa (PEMRG, 2015) “a nivel mundial la producción de plástico se ha incrementado de 1.5 millones de toneladas en 1950 a 322 millones de toneladas en 2015” (p.1). En cuanto a la producción por tipo de plástico, de acuerdo con Plastics Europe (2012) citado por Góngora Pérez (2014, p.1), se pueden distinguir seis grandes categorías: 1. Polietileno de baja densidad (PEBD), el polietileno lineal de baja densidad (PELBD) y el Polietileno de alta densidad (PEAD), 2. Polipropileno (PEAD), 3. Policloruro de vinilo (PVC), 4. Poliestireno sólido (PS) y expandido (PS-E), 5. Polietileno tereftalato (PET) y 6. Poliuretano (PUR).

Arandes, Bilbao & López, (2004, p.1) mencionan que:

El espectacular aumento en el consumo de los plásticos en la sociedad moderna se estima que crece en un 4% anualmente y se ha producido en paralelo con el desarrollo tecnológico de estos materiales, cuyo uso se ha extendido además de los envases, en la fabricación de componentes en las industrias de automoción, vivienda, vestido y todo tipo de bienes de consumo.

Uno de los derivados más comunes del plástico es el polietileno; el polietileno es un polímero parcialmente cristalino, flexible, cuyas propiedades está principalmente influenciadas por las fases amorfa y cristalina. Las pequeñas unidades cristalinas, son planas y consisten en cadenas perpendiculares de la cadena principal y dobladas en zig-zag. Los polietilenos son inertes frente a la mayoría de los productos químicos comunes, debido a su naturaleza parafínica, su alto peso molecular y su estructura

parcialmente cristalina. En temperaturas inferiores a 60 ° C, son parcialmente solubles en todos los disolventes (Coutinho, Mello, & Santa Maria, 2003 p.1).

En el presente estudio se enmarca en procesos de biodegradación del PE encontrado en bolsas plásticas de calibre de 0,023 mm y un tamaño de 52\*60 cm empleando estadios inmaduros de insectos, tomando como modelo de estudio las larvas de la polilla de cera *Galleria mellonella* (Linnaeus 1758) (Lepidóptera: Pyralidae), en las cuales se evaluó la capacidad de consumo de bolsas plásticas durante un periodo de 8 horas, registrando cada 2 horas los cambios de peso de las larvas y de las bolsas sujetas a la ingesta. Este periodo de 8 horas se propone con el fin de reducir el tiempo de ingesta que tiene esta especie el cual según lo publicado por Howe & Bertocchini (2017, p.1) es de 12 horas

### **Planteamiento Del Problema**

En la actualidad debido al consumismo del siglo XXI se evidencia un crecimiento exponencial en la generación de plásticos, un gran porcentaje tienden a volverse residuos ordinarios, solo una parte de estos llegan a ser reutilizables como material reciclable mientras que los otros en cambio se transportan a los depósitos finales de residuos construidos por la sociedad, con la posibilidad de que puedan llegar a los ecosistemas generando impactos negativos en estos ; un ejemplo claro se puede observar en los ecosistemas marinos que a través de las corrientes acumulan residuos en lugares específicos, provocando islas de material de plástico. En el mundo del plástico se encuentran varios tipos como lo es el polietileno el cual es utilizado en la mayoría en

bolsas. Los plásticos al ser materiales artificiales no existen mecanismos en la naturaleza para su rápida degradación, lo cual constituye una importante desventaja a la hora de su disposición final (Castellón, 2010 p.1).

La producción global de plásticos se ha disparado en los últimos 50 años, y en especial en las últimas décadas. Entre 2002-2013 aumentó un 50% de 204 millones de toneladas en 2002, a 299 millones de toneladas en 2013. Se estima que en 2020 se superarán los 500 millones de toneladas anuales, lo que supondría un 900% más que los niveles de 1980 (Greenpeace España, 2014 p.4 prr1). En el caso colombiano, el consumo de plásticos en el período 1997 a 2000 está alrededor de las 530.000 toneladas anuales, en tanto que el volumen de residuos plásticos urbanos estimado por ACOPLASTICOS se encuentra entre 220.000 y 280.000 toneladas / año (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2004 p.19 prr 1).

Tokiwa et al (2009) menciona que:

Con los avances en la tecnología y el aumento de la población mundial, los materiales plásticos han encontrado amplias aplicaciones en todos los aspectos de la vida y las industrias. Sin embargo, la mayoría de los plásticos convencionales, tales como polietileno, polipropileno, poliestireno, policloruro de vinilo y politereftalato de etileno, no son biodegradables y su creciente acumulación en el medio ambiente ha sido una amenaza para el planeta. Tsuchii, Suzuki T & Fukuoka (1980 p.1) establecieron que el PE es un polímero estable, y consiste en largas cadenas de monómeros de etileno; establecieron que el PE no se puede degradar fácilmente con microorganismos. Sin embargo, se ha reportado que los oligómeros de PE de peso molecular más bajo (PM =

600 - 800°) se degradaron parcialmente por *Acinetobacter sp*, mientras que el PE de alto peso molecular no podía ser degradado (Tokiwa, Calabia, Ugwu, & Aiba, 2009 p.14)

En el ámbito de la ingeniería ambiental se busca encontrar alternativas para la disposición y degradación de las bolsas que contienen polietileno; una de las alternativas es la biodegradación por medio de insectos; los cuales presentan para la degradación de productos enzimas las cuales son capaces de biodegradar estos productos.

*Galleria mellonella* es una especie de polilla de cera que en sus estados larvales tiene la capacidad de biodegradar el polietileno. Para esta especie potencialmente empleada como huésped de entomopatógenos de interés en el control biológico se ha registrado como factor biótico en su ciclo de vida, la conducta de canibalismo en condiciones de alta agregación (Nielsen, 1979). Bajo lo anteriormente mencionado se formulan la siguiente pregunta:

- ¿Pueden las larvas de *Galleria mellonella* consumir plástico PE en un tiempo menor al reportado por otros autores (12 horas) y con las temperaturas ambientales del municipio de Girardot?

### **Justificación**

En lo que respecta a la producción de plástico de PE, según los datos publicados por la refinería de Ecopetrol en Barrancabermeja a finales de 2015, a nivel nacional fueron producidas 44.072 toneladas de este material, un 41% más que la producción del año 2014, se estima que para el año 2016 se pueden llegar a la producción de 55 mil toneladas (Ecopetrol, 2016)

Lo anteriormente expresado contrasta con las políticas del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, órgano rector de la normativa ambiental que mediante la resolución 0668 del 28 de abril de 2016 reglamenta el uso racional de la bolsa plástica en el país siendo puntual el Artículo 1. Objeto y ámbito de aplicación. Establecer a cargo de los distribuidores de bolsas plásticas a que se refiere esta norma, la obligación de formular, implementar y mantener actualizado un Programa de Uso Racional de Bolsas Plásticas, distribuidas en los puntos de pago en todo el territorio nacional.”

El polietileno (PE), en concreto, es uno de los materiales plásticos que se emplean para la fabricación de envases alimenticios o bolsas de la compra. En promedio, cada persona utiliza al año unas 230 bolsas de plástico, generando más de 100.000 toneladas anuales de este tipo de residuos. Y como consecuencia, cada año se producen en todo el mundo unos 80 millones de toneladas de este resistente material (Timon, 2017 prr 2).

Debido a la problemática que se presenta actualmente en cuanto a la disposición final de los diferentes tipos de plásticos que se desarrollan en la producción mundial, se ve la necesidad de buscar nuevas alternativas que se apropien y mitiguen los problemas ambientales en los ámbitos de disminución, eliminación o como estrategia el aprovechamiento del residuo generado. Actualmente se encuentran un gran número de técnicas que permiten ayudar a la reducción de residuos plásticos, entre ellas, se toma en cuenta la más común y que ha acogido el mayor de número de las comunidades, es el reciclaje, el cual reutiliza el plástico dándole un aprovechamiento eficiente a este tipo de residuo. También se ha promovido con el tiempo otras alternativas como la producción de plásticos sintéticos los cuales se pueden degradar de varias maneras mucho más

factibles comparada a los otros tipos de plásticos. Las alternativas encaminadas a la disposición final del plástico puede ser la solución a esta problemática dando una solución a todo el plástico que ya se ha generado y no se le ha dado un tratamiento de disposición final por ende se ha acumulado como residuos no aprovechables y a los futuros productos con este material que se generaran, es por esto que los nuevos estudios tienen cada vez más en cuenta procesos de biodegradación a partir de organismos que buscan tratar o eliminar este residuo en su disposición final.

A fines de 2015, todos los residuos plásticos generados a partir de plásticos primarios habían alcanzado 5800 toneladas de los cuales 700 Ton eran fibras de PP & A. se pueden tener tres destinos diferentes para estos residuos. En primer lugar, puede reciclarse o reprocesarse en un material secundario, En lugar de evitar la eliminación final. Solo se reduciría la generación futura de desechos plásticos si se desplaza la producción primaria de plástico; sin embargo, debido a su naturaleza contrafáctica, este desplazamiento es extremadamente difícil de lograr. En segundo lugar, los plásticos pueden destruirse térmicamente, Aunque existen tecnologías emergentes, como la pirólisis, que extrae el combustible de los desechos plásticos, hasta la fecha, prácticamente toda la destrucción térmica se ha producido por incineración, con o sin recuperación de energía. Los impactos ambientales y de salud de los incineradores de desechos dependen en gran medida de la tecnología de control de emisiones, así como del diseño y operación del incinerador. Finalmente, los plásticos pueden desecharse y estar contenidos en un sistema administrado, como los rellenos sanitarios, o dejarse sin contener en vertederos a cielo abierto o en el entorno natural (Roland Geyer, 2017 p.2).

Antes esta situación, la biodegradación de plástico empleando tanto microorganismos especialmente bacterias (géneros *Ideonella*, *Alicyclophilus*, *Acinetobacter* entre otros) y hongos (*Pestalotiopsis microspora*), así como invertebrados con capacidad de consumir plástico es la tendencia para aminorar la gran cantidad de estos polímeros presentes en el planeta, según como divulga la BBC, "Hay tantos residuos de plástico en el mundo que podrían cubrir un país como Argentina" (BBC, 2017)

El presente estudio analizó el proceso de biodegradación de PE, empleando larvas de la especie *Galleria mellonella*, esperando como resultados una biodegradación en un tiempo inferior al publicado y establecido (12 hr). Además, se evaluará la posible influencia de la temperatura ambiente y la humedad en el comportamiento de ingesta de las larvas.

## **Objetivo**

### **Objetivo general**

- Evaluar la capacidad de biodegradación en un periodo de 8 horas de bolsas de polietileno empleando la polilla de cera *Galleria mellonella* (Lepidóptera: Pyralidae)

### **Objetivos específicos**

- Establecer un registro de las variaciones de peso que presenten las bolsas de polietileno sometidas a la ingesta directa por las larvas gusano de cera y a los cambios de peso total de las larvas.

- Determinar el efecto de la temperatura y la humedad en la variación de peso que presenten las bolsas de polietileno sometidas a la ingesta directa por las larvas de gusano de cera
- Identificar la diferencia en la biodegradación entre las bolsas de polietileno sometidas y no sometidas a exposición solar, viento, lluvia y otras condiciones ambientales.

## **Marco referencial**

### **Marco teórico**

“Los plásticos son polímeros, es decir, macromoléculas, que tienen excelentes propiedades: flexibles, duraderos, livianos, versátiles, no se oxidan y son de bajo costo. Pero al ser materiales artificiales, no existen mecanismos en la naturaleza para su rápida degradación, lo cual constituye una importante desventaja a la hora de su disposición final (Castellón, 2010 p.1).

El desarrollo de polímeros sintéticos es considerado uno de los grandes avances del siglo XX, debido a la multiplicación de sus posibilidades de uso, no solo en la industria sino en la vida cotidiana. Los plásticos son populares porque son a la vez, económicos, livianos, resistentes a la oxidación, inalterables a los agentes atmosféricos, versátiles, aislantes de la corriente eléctrica y pueden sustituir la madera, la piedra o el metal (Valero-Valdivieso, Ortegón, & Uscategui, 2013 p.171). Su uso extensivo genera desechos que se acumulan en el ambiente a una tasa de 25 millones de toneladas al año, 40 % de las cuales son dispuestas en rellenos sanitarios, mientras que cientos de miles de

toneladas son arrojadas a ambientes marinos. Este hecho ocasiona graves problemas, entre los que destacan el requerimiento de grandes espacios para su disposición, contaminación visual y muerte de animales que los ingieren accidentalmente, entre otros (García, Carlos, Contreras, Reynoso, & Córdova, 2013 p.78).

La alta resistencia a la corrosión, al agua y a la descomposición bacteriana los convierte en residuos difíciles de eliminar y, consecuentemente, en un grave problema ambiental. El polietileno y el polipropileno pueden tardar hasta 500 años en descomponerse. La cifra global de residuos plásticos aumenta año tras año, lo que genera un importante problema para su gestión. La versatilidad de este material ha ocasionado un incremento de su consumo y, por lo tanto, de la contaminación. Según algunos reportes, el mundo consume un millón de bolsas plásticas por minuto, es decir, más de 500 billones al año (Valero-Valdivieso et al., 2013 p.171).

El aumento desproporcionado en la generación de desechos sólidos está asociado a tres factores claves (Castellón, 2010 p.1).

- Crecimiento de las grandes ciudades (población)
- Práctica de un estilo de vida consumista y alejado de la conservación del medio ambiente (cultura) y
- Mejora en el poder adquisitivo de diversos estratos sociales en muchos países (economía).

Aunque apenas el 11% del peso de los desechos que se generan en el planeta corresponde a los materiales plásticos, tienen un efecto que se evidencia en: el volumen que ocupan, en su aspecto estético, en la velocidad como se dispersan. Estos factores,

asociados a los materiales plásticos, han causado un enorme impacto en todo el planeta. A pesar de que la mayoría de los plásticos son inertes, es decir, no reaccionan químicamente, ni con el suelo, ni con el agua, ni con el aire, se han convertido en protagonistas de una complicada historia asociada con la basura. Cada año millones de toneladas de desechos plásticos ensucian el planeta y no solo causan un gran impacto visual y, sino que indirectamente atentan contra la vida de muchas especies animales, que se los comen y mueren ahogadas o por obstrucción intestinal (Castellón, 2010 p.1).

Se ha intentado resolver la problemática de la acumulación de plásticos en el ambiente a través de procesos de incineración, reciclaje, fotodegradación o reusó. Sin embargo, estas medidas presentan desventajas por lo que no se consideran como soluciones 100% efectivas. Por ejemplo, durante el proceso de incineración se puede desprender ácido cianhídrico y ácido clorhídrico con potenciales daños para la salud. En el caso del reciclaje, este es complicado y consume mucho tiempo, además de que la presencia de muchos aditivos en los plásticos, como pigmentos y cubiertas, limita el proceso (García et al., 2013 p.78).

Dentro de la biodegradación de plástico empleando microorganismos las investigaciones están dirigidas a la búsqueda de diferentes alternativas de reuso o degradación. En la actualidad, adquieren especial importancia las investigaciones de bacterias, actinomicetos y hongos que biodegradan de manera óptima estos polímeros, o determinan las condiciones que favorecerían esta acción en el medio ambiente. Por otro lado, se investigan microorganismos capaces de sintetizar polímeros biodegradables para crear nuevos plásticos, y microorganismos que producen enzimas extracelulares que

alteran las propiedades físicas y químicas del polímero (Uribe, Giraldo, Gutierrez, & Merino, 2010, p.133).

En el caso particular del Polietileno (PE) dependiendo de las condiciones reactivas y del sistema catalítico empleado en la polimerización, se pueden producir cinco tipos diferentes de polietileno: Polietileno de baja densidad (PEBD o LDPE), de alta densidad (PEAD o HDPE), de baja densidad (PELBD o LLDPE), Polietileno de ultra alto peso molecular (PEUAPM o UHMWPE), Polietileno de baja densidad (PEUBD o ULDPE) (Coutinho et al., 2003, p.2)

El proceso de degradación de PE, suministrada como única fuente de carbono y energía en microorganismos del suelo específicamente, muestra que los pequeños fragmentos son consumidos más rápido que los más grandes. Sin embargo, esto no puede servir como una indicación para la biodegradación que requiere una reducción en el peso molecular. El efecto oxidante de la radiación U.V en la degradación de poliolefinas está muy bien evidenciado. Por ejemplo, La biodegradación en compost se investigó con copolímeros de etileno-propileno, PE de baja densidad (LDPE) y películas de polipropileno isotáctico (PP). Como era de esperar, las pruebas demostraron que la degradación aumentaba con el aumento tiempo de irradiación (Sivan, 2011, p.1)

La capacidad de degradar o modificar películas de PE fue también demostrado con *Actinomyces sp.*, mostrando que enzimas extracelulares detectadas fueron capaces de degradar el polímero. Se demostró que la inoculación del suelo con *P. chrysosporium* mejoró la degradación y aumento la biomasa mucho más que en el suelo no inoculado. Se tiene también la degradación del poliuretano con varias cepas de hongos: *Fusarium*

*solani*, *Curvularia senegalensis* y *Aureobasidium pullulans sp.* Y la de cloruro de polivinilo (PVC) por la bacteria *Pseudomonas putida*. El elevado número de informes que muestran la biodegradabilidad de una amplia gama de plásticos puede concluir equivocadamente que la mayoría de los polímeros plásticos son fácilmente biodegradable. De hecho, en términos de la producción de los polímeros PE y PS es, con mucho, mayor que el resto de los demás compuestos plásticos que se consideran biodegradables. Además, no todos los tipos de plásticos degradables se destruyen completamente en ambientes, planteando la cuestión de la definición de biodegradable (Sivan, 2011, p.2 )

Para Facilitar la biodegradación de estos polímeros se hace una etapa preliminar de fotooxidación o termo-oxidación que ha sido rutinariamente empleado. Esta oxidación del polímero da como resultado la formación de residuos de carbonilo que pueden ser consumidos por poblaciones microbianas no específicas. Hasta ahora, sólo unas pocas cepas microbianas son capaces de degradar el estándar no oxidado del PE. Estos incluyen el actinomiceto *Rhodococcus ruber*, la bacteria termofila *Brevibacillus borstelensis* y el hongo *Penicillium simplicissimum*. Debido a su alta durabilidad PE es a menudo foto-oxidado y / o termo oxidado como pretratamiento antes de la incubación con el degradante de la cultura (Sivan, 2011, p.2 ).

En el caso de insectos que por su capacidad enzimática digestiva pueden consumir diferentes tipos de plásticos encontramos el gusano de la harina coleóptero de la familia *Tenebrionidae*, que, en su forma larvaria, presenta la capacidad de su sistema digestivo para procesar plástico no biodegradable como el poliestireno expandido, para

transformarlo en dióxido de carbono y excrementos, a partes iguales. Según los expertos a cargo de la investigación, el consumo de plástico no afecta a la salud de estas larvas de apenas 2,5 mm de longitud. Lo que las convierte en una potente herramienta natural de descomposición del plástico desechado, mucho más efectiva y respetuosa para el medioambiente que los fallidos programas de recogida selectiva de basura plástica para su reciclaje (Perez, 2016 prr.2)

### **Polilla de Cera**

El término polilla de la cera es un nombre común que se refiere a diferentes especies de polillas que invaden, atacan y dañan colonias de abejas y productos de colmenas. También se les conoce como el gusano web (o cera), la polilla de la abeja o el molinero de cera. Las especies incluidas en la lista están: *G. mellonella* y la polilla de la cera menor (*Achroia grisella* Fabricius). *Galleria mellonella* es un miembro de la subfamilia Galleriinae dentro de la familia Pyralidae de Lepidópteros (Tabla 1). Previamente, la plaga fue clasificada como *Galleria cereana* por Fabricius y como *Galleria obliquella* por Walker; más tarde fue reclasificado y nombrado *G. mellonella* por Linnaeus. Una especie estrechamente relacionada es la polilla de la cera menor, *A. grisella* (Charles A. Kwadha, 2017).

*Tabla 1. Taxonomía Galleria mellonella*

<b>Reino</b>	<b>Animalia</b>
<b>Filo</b>	Arthropoda

<b>Clase</b>	Insecta
<b>Orden</b>	Lepidóptera
<b>Familia</b>	Pyralidae
<b>Subfamilia</b>	Galleriina
<b>Genero</b>	<i>Galleria</i>
<b>Especie</b>	<i>G.mellonella</i>

Fuente: Uniprot. <https://www.uniprot.org/taxonomy/7137>

*Galleria mellonella* es una polilla del orden de los Lepidópteros y pertenece a la familia Pyralide. Los lepidópteros (Lepidoptera) conforman el segundo orden con más especies entre los insectos (siendo superado solamente por el orden Coleoptera) e incluye todas las mariposas, diurnas y nocturnas. Cuenta con más de 180.000 especies clasificadas en 127 familias y 46 superfamilias. Tanto las especies de mariposas y polilla presentan variados atributos útiles en experimentos a nivel de laboratorio para la búsqueda de agentes de control biológico que constituyen su control al ser en algunos casos plagas importantes de cultivos. Su técnica de producción es prácticamente sencilla y está disponible. Puede realizarse a bajos costos, pero es necesario un acercamiento para establecer una población estandarizada a las condiciones del laboratorio de biotecnología. En el caso de *G. Mellonella* su ciclo completo de desarrollo puede ser utilizado para variados experimentos, por ejemplo, la producción de huevos y larvas ha sido utilizada universalmente como larva huésped para la reproducción in vivo del grupo de nemátodos entomopatógenos - Steinernematidae y Heterorhabditidae (Santos et al, 2006 p. 479).

**Ciclo biológico:** La polilla grande de la cera tiene un ciclo biológico bastante rápido, en condiciones óptimas tarda unas seis semanas en hacer el ciclo completo. Los adultos ponen los huevos en las celdillas de las colmenas. Las larvas salen entre tres y cinco días después. Las larvas son muy activas y tienen un aparato masticador muy potente, y gracias a él van haciendo túneles y galerías que envuelven con unas redes de seda. Las larvas recién nacidas pueden viajar a colonias vecinas, y algunos estudios han comprobado que pueden llegar a recorrer 50 metros. En diecinueve días, las larvas se pueden desarrollar y crecer suficientemente para formar la crisálida, entonces buscan un lugar adecuado y se envuelven en un capullo de seda en cuyo interior hacen la crisálida. Allí pasan la fase de crisálida que puede durar entre 8 y 15 días. Una vez los adultos salen del capullo lo único que han de hacer es reproducirse y volver a comenzar el ciclo con la puesta de huevos que lleva a cabo la hembra. El macho adulto capta las feromonas emitidas por las hembras, hecho común en bastantes lepidópteros (Villas, 2006 p.21).

**Factores bióticos:** la polilla de cera es un insecto holometabolous típico y se desarrolla a través de cuatro etapas de vida distintas, huevo, larva, pupa y adulto. La duración que necesita la polilla para completar su ciclo de vida varía de semanas a meses y se ve afectada por factores tanto bióticos (intra e interespecíficos) como abióticos. Los factores intraespecíficos que afectan la duración del desarrollo y la supervivencia incluyen la competencia por la comida y el canibalismo (de instares tempranos vulnerables y pupas por instares tardíos). Algunos ejemplos de impulsores interespecíficos incluyen parasitoides, abejas melíferas y el pequeño escarabajo de la

colmena. Se ha demostrado que la calidad de la dieta afecta el desarrollo de larvas y aumenta la inmunidad, ya que las larvas privadas de nutrientes se vuelven susceptibles a *Candida albicans* (Charles A. Kwadha, 2017 p.4).

En el estudio titulado “Greater Wax Moth: Behavior of Larvae”, pionero en el análisis del comportamiento de larvas de insectos plagas, se menciona que el canibalismo comienza cuando las larvas están lo suficientemente agregadas, las larvas al agrandar sus túneles o espacio de alimentación pueden afectar otros espacios generados por otra larva. De este modo el canibalismo no ocurre en condiciones de menor agregación. Las larvas caníbales presentaron un rápido crecimiento y su comportamiento es suficientemente agresivo para atacar larvas de cualquier tamaño (Nielsen Ross, 1979 p.812).

**Factores abióticos:** en cuando a los factores que afectan el ciclo biológico de la polilla de cera se encuentra la temperatura, la humedad y el alimento son los factores principales que condicionan el ciclo biológico de la polilla. Sus condiciones óptimas son una temperatura alta que puede estar entre 30 y 35 °C. Una humedad relativa del 75-85% con circulación de aire y alimento suficiente. Cada uno de los factores mencionados tiene un intervalo dentro del cual se puede desarrollar, pero el tiempo del ciclo varía cuando cambia el valor de alguno de los factores; por ejemplo, si la temperatura es de unos 18°C, las larvas pueden tardar hasta 30 días en salir de los huevos, el periodo larval se puede alargar hasta los 5 meses y el de crisálida hasta dos meses, es decir que el ciclo completo puede pasar de 6 semanas a 8 meses. Si la comida es escasa el único periodo afectado es el larval porque es el único en que la

polilla se alimenta. Si se sobrepasa el límite de los intervalos mencionados los individuos mueren (Villas, 2006 p.21 ).

Bombelli, Howe, & Bertocchini (2017, pag 292 ) en su estudio “Biodegradación de polietileno por larvas de la polilla de cera *Galleria mellonella*” reportaron que, durante un tiempo de exposición de 12 horas, 100 gusanos de cera en contacto con una bolsa con polietileno pueden generar una pérdida en la bolsa de 92 mg. En este estudio se reporta también que después de 40 minutos de contacto se empiezan a generar agujeros, productos de la ingesta directa de plástico por las larvas.

### **Distribución y ecología de *Galleria mellonella***

La presencia de la gran polilla de la cera se informó por primera vez en las colonias de abejas asiáticas *Apis cerana*, pero luego se extendió al norte de África, Gran Bretaña, algunas partes de Europa, América del Norte y Nueva Zelanda. Sin embargo, Williams en 1997 en su artículo titulado “Insects:Lepidoptera (moths). In Honey Bee Pests, Predators, and Diseases” y Shimanuki en 1980 en “Diseases and pests of honey bees. In Bee Keeping in the United States”, describieron posteriormente las plagas como omnipresentes, distribuidas en todas partes donde se practica la apicultura. En la actualidad, varios informes han surgido eso podría apoyando el argumento anterior. Hoy, la presencia de la gran polilla de la cera ha sido confirmado en 27 países africanos, nueve países asiáticos, cinco países norte -centroamericanos, tres países latinoamericanos, Australia, diez Países europeos y cinco países insulares. La *Galleria melonella* es considerada como una de las plagas más importantes de los productos derivados de la

apicultura, debido al hábito destructivo de alimentación de sus larvas. Las larvas se alimentan de polen, miel, cera, pieles de pupa y crías de abejas, además crea túneles en el panal y deja masas de tela en las cámaras. El daño ocurre cuando las larvas crean túneles forrados de seda a través de las paredes de las celdas hexagonales y sobre la superficie de la colmena. Los túneles y las perforaciones hechas por las larvas en las tapas de las celdas hacen agujeros a través de los cuales se filtra la miel. Los hilos de seda enredan abejas emergentes, que, como resultado, mueren de inanición, un fenómeno descrito como Galleriasis. Además, la infestación a gran escala de colonias por larvas de la polilla de cera conduce en la mayoría de los casos a la pérdida de colonias y a la fuga y reducción en el tamaño de los enjambres de abejas migratorias. Tanto los adultos como las larvas de *G. melonella* han sido asignados como vectores potenciales de patógenos. Por ejemplo, se encontró que los pellets fecales de las larvas contienen esporas de *Paenibacillus larvae*. Recientemente, el virus de la parálisis aguda israelí (IAPV) y el virus de la reina negra (BQCV) se ha detectado en las larvas (Charles A. Kwadha, 2017 p.5).

## **Marco conceptual**

### **Biodegradación:**

Proceso que se define como la capacidad de uno o más cultivos de microorganismos para utilizar el polímero sintético como única fuente de carbono. En contraste con polímeros naturales que presentan un nivel relativamente alto biodegradabilidad, polímeros sintéticos tales como PE y PS se consideran no biodegradables (Sivan, 2011, p.5). La biodegradación puede complementarse con otras

tecnologías que pueden en determinadas situaciones aumentar su eficiencia. La utilización de bacterias es factible, hay autores que han trabajado con mezclas de microorganismo a fin de optimizar la degradación (Pucci, Acuña, & Pucci, 2015, p. 98).

### **Larva:**

Puede decirse que la embriogénesis termina cuando el individuo emerge como una larva, una ninfa o una forma juvenil. En cada caso, el organismo es capaz de alimentarse por sí mismo y de llevar una existencia independiente, exceptuando aquellos que son cuidados por los progenitores. La fase larvaria puede aparecer muy pronto durante el transcurso del desarrollo, ya sea como una estructura incipiente a la que le faltan aún muchos órganos larvarios y características de esta fase antes de que las del adulto ni siquiera estén esbozadas, o bien como un producto de la embriogénesis completamente acabado.

Las larvas de los insectos, aunque muy diferentes de los individuos adultos en los que finalmente van a transformarse, poseen ya en el momento de la eclosión conjuntos completos de órganos larvarios, que son sistemas orgánicos altamente organizados y diferenciados. Las larvas se diferencian de los individuos adultos de su misma especie además de por su morfología por sus formas de vida. Las ninfas, aun cuando difieren menos del adulto con respecto a la morfología, pueden vivir de manera similar o muy distinta a como lo hacen los individuos adultos de la especie. Las formas juveniles son, en la mayoría de los casos, adultos en miniatura y, por tanto, presentan formas de vida características de los adultos (J.F Beltrán Gala, 2013)

Las fases larvarias poseen un valor adaptativo para la especie, ya que permiten la realización de una rápida embriogénesis y, por tanto, la producción de un gran número de huevos con poco vitelo, lo que supone un gasto mínimo de reservas y del metabolismo materno. También supone una ventaja para la distribución de la especie (J.F Beltrán Gala, 2013 prr.7)

Por otra parte, durante el desarrollo indirecto pueden tener lugar muchos accidentes aleatorios, ya que las larvas libres están expuestas a las vicisitudes ambientales, así como a los depredadores y a las condiciones fisiológicas críticas y potencialmente peligrosas de su propia metamorfosis. Estos peligros se evitan mediante el desarrollo directo (J.F Beltrán Gala, 2013 prr.9).

### **Muda:**

El crecimiento de tamaño de los insectos se produce en su fase inmadura y es imprescindible para llegar al estado adulto, pero una vez que lo alcanzan ya no aumentan su tamaño, y por tanto no necesitan hacer ninguna muda. En este crecimiento de tamaño los insectos no pueden extender de forma indefinida la cutícula que forma su exoesqueleto, de forma que deben cambiarla por otra ligeramente más grande que les permita crecer. Este fenómeno del cambio del exoesqueleto o cutícula es lo que se llama *muda* (Sevilla, s.f.prr.1)

### **Estadio:**

Se denomina estado al momento del desarrollo en el que el insecto presenta la misma forma, definiendo las principales divisiones del ciclo biológico: huevo, estado inmaduro (larva o ninfa), pupa, y adulto (Universidad de Sevilla, 2007 prr.2).

### **Entomopatígeno:**

Tal como lo indica su nombre (entomon: insecto, pathos: enfermedad, gennân: engendrar), se trata de enfermedades de los insectos causadas por bacterias, hongos, virus, protozoos y nematodos. En comparación con el número de insectos entomófagos descritos, se conocen relativamente pocas especies de agentes patógenos. Sin embargo, muchos de ellos, tales como *Bacillus thuringiensis* y los hongos *Entomophthora sphaerosperma*, *Beauveria bassiana* (muscardina blanca) y *Metarrhizum anisopliae* (muscardina verde), atacan a una gran variedad de especies. Los patógenos tienen el inconveniente de que no buscan activamente al hospedador o presa como lo hacen los insectos entomófagos; de aquí que generalmente no limiten la densidad de población del hospedador en niveles bajos (Rossi, s.f. prr.1).

### **Pyralidae:**

Los adultos son por lo general de cuerpo pequeño, de colores no muy brillantes, antenas bien desarrolladas, ocelos presentes, palpos labiales rectos o curvados sin cerdas laterales. Las alas anteriores por lo general son aproximadamente dos veces más largas que anchas, con manchas de diversas formas y básicamente con venación similar en toda la familia. En las alas posteriores la venación superior corre a casi todo lo largo. La base del abdomen con órgano timpanal (OFICINA REGIONAL DE LA FAO PARA AMERICA LATINA Y EL CARIBE, 1985 prr.2)

### **Diseño experimental puro:**

Un diseño experimental puro es aquel en el cual se manipula una o varias variables independientes para observar sus efectos sobre una o varias variables dependientes en una situación de control. En este tipo de diseño un grupo se expone a la variable independiente o tratamiento experimental (grupo experimental) mientras que el otro no (grupo control) (Ramon, 2000).

### **Especies eurioicas y estenoicas:**

Este tipo de clasificación se da por la valencia ecológica que es un intervalo de una especie respecto a un factor del medio, las especies eurioicas tienen una valencia ecológica de gran amplitud de tolerancia, mientras que las especies estenoicas con las especies que tienen una valencia ecológica de pequeña amplitud de tolerancia (I.E.S., 2013).

### **Marco legal**

El marco citado a continuación hace referencia al manejo y disposición de plásticos en general para Colombia:

*Tabla 2. Normograma*

<b>TIPO</b>	<b>N°</b>	<b>AÑO</b>	<b>PROPOSITO</b>	<b>LINEAMIENTO</b>
<b>Ley</b>	84	1989	Por la cual se adopta el Estatuto Nacional de Protección de los Animales y se crean unas contravenciones y se regula lo referente a su	<b>Artículo 2.</b> Las disposiciones de la presente Ley tienen por objeto: a) Prevenir y tratar el dolor y el sufrimiento de los animales; b) Promover la salud y el

<p>procedimiento competencia.</p>	<p>y bienestar de los animales, asegurándoles higiene, sanidad y condiciones apropiadas de existencia.</p> <p><b>Artículo 5.</b> Además de lo dispuesto en el Artículo anterior, son también deberes del propietario, tenedor o poseedor de un animal, entre otros:</p> <p>a) Mantener el animal en condiciones locativas apropiadas en cuanto a movilidad, luminosidad, aireación, aseo e higiene.</p> <p><b>Artículo 15.</b> Queda prohibido a profesores y estudiantes, cualquiera sea el establecimiento educativo o de enseñanza en el que se desempeñen o asistan, causar daño, lesión o muerte a un animal en ejercicio de sus actividades didácticas o de aprendizaje, u ordenar o promover que se causen.</p> <p><b>Artículo 26.</b> Para todo experimento con animales vivos deberá conformarse un comité de ética.</p>
<p>Por la cual se establecen las normas científicas, técnicas y administrativas para la investigación en salud.</p> <p><b>Resolución</b> 8439 1993</p>	<p><b>Artículo 87.</b> En toda investigación en la que los animales sean sujeto de estudio deberán tenerse en cuenta, además de las disposiciones determinadas en la Ley 84 de 1989, las siguientes:</p> <p>c) Los animales seleccionados para la experimentación deben ser de una especie y calidad apropiada, y utilizar el mínimo número requerido para obtener resultados científicamente válidos.</p>

				e) Los investigadores y demás personal nunca deben dejar de tratar a los animales como seres sensibles y deben considerar como un imperativo ético el cuidado y uso apropiado y evitar o minimizar el discomfort, la angustia y el dolor.
<b>Ley</b>	1774	2016	Por medio de la cual se modifican el código civil, la ley 84 de 1989, el código penal, el código de procedimiento penal y se dictan otras disposiciones.	<b>Artículo 1.</b> Objeto. Los animales como seres sintientes no son cosas, recibirán especial protección contra el sufrimiento y el dolor, en especial, el causado directa o indirectamente por los humanos, por lo cual en la presente ley se tipifican como punibles algunas conductas relacionadas con el maltrato a los animales, y se establece un procedimiento sancionatorio de carácter policivo y judicial.
<b>Resolución</b>	668	2016	Por la cual se reglamenta el uso racional de bolsas plásticas y se adoptan otras disposiciones (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2016).	<b>Artículo 1.</b> Objeto y ámbito de aplicación. Establecer a cargo de los distribuidores de bolsas plásticas a que se refiere esta norma, la obligación de formular, implementar y mantener actualizado un Programa de Uso Racional de Bolsas Plásticas, distribuidas en los puntos de pago en todo el territorio nacional.
<b>decreto</b>	1505	2003	Por el cual se modifica parcialmente el Decreto 1713 de 2002, en relación con los planes de gestión Integral de residuos sólidos y se dictan otras disposiciones	Artículo 14. Obligación de almacenar y presentar. El almacenamiento y presentación de los residuos sólidos son obligaciones del usuario. Se sujetarán a lo dispuesto en este decreto, en el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos de los Municipios o Distritos, en los respectivos programas para la

---

prestación del servicio de aseo y a las demás obligaciones establecidas por las autoridades ambientales y de servicios públicos. El incumplimiento generará las sanciones establecidas en la normatividad vigente.

Artículo 70. Formas de aprovechamiento. Como formas de aprovechamiento se consideran, entre otras, la reutilización, el reciclaje, el compostaje, la lombricultura, la generación de biogás y la recuperación de energía.

---

### **Marco metodológico**

En el siguiente estudio se describe un diseño experimental puro o verdadero con una posprueba uniforme y grupo control (Pallela y Martins 2006), La selección de los sujetos se produce de forma aleatoria para cada grupo y la comparación de la posprueba de ambos grupos indicará si produce el efecto de la manipulación en el grupo experimental para aceptar la hipótesis planteada (Boscan, 2013 p.11)

### **Descripción del procedimiento experimental**

En el presente estudio se delimito como tamaño poblacional N= 480 larvas de polillas, el cual estará compuesto por 2 fases experimentales, en la primera fase (Figura 1) se sometieron las larvas a condiciones ambientales propias del municipio de Girardot,

en esta fase se utilizó una población de 240 larvas, con una unidad experimental de 40 individuos en los siguientes tratamientos:

- Tratamiento Blanco con una réplica: 80 larvas consumiendo no plástico sino un alimento alterno.

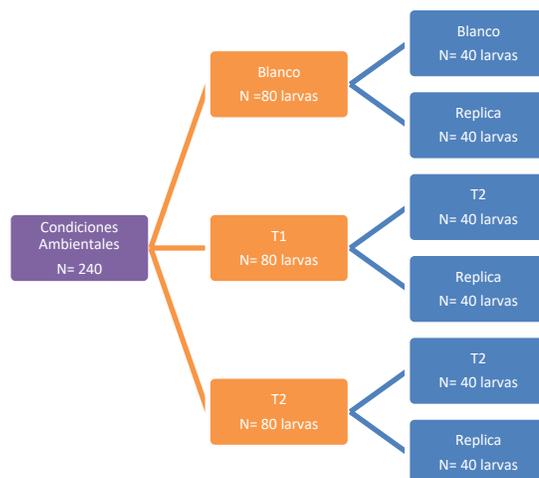
- Tratamiento experimental I con una réplica: 80 larvas con plástico

- Tratamiento experimental II con una réplica: 80 larvas con plástico expuesto previamente a radiación solar (bolsa expuesta 15 días a condiciones de luz natural)

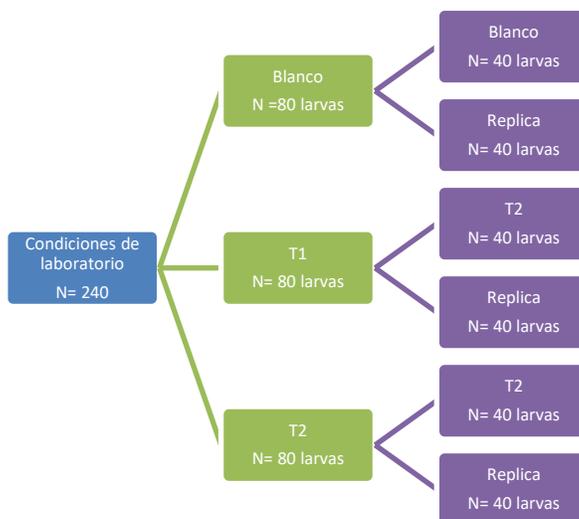
La segunda fase (Figura 2) se desarrolló en condiciones de laboratorio, donde la presencia del aire acondicionado modificó las variables de temperatura y humedad. Esta fase comprendió el mismo tamaño población (240) y las mismas unidades experimentales por tratamiento.

Cada fase se realizó en un día (8 am a 4 pm) y durante las 8 horas del experimento se tomaron datos cada 2 horas hasta completar las 8 horas del tratamiento; se registró el peso de la bolsa y el peso total de las larvas (en los tratamientos experimentales) y solo el peso total de las larvas en el tratamiento blanco (Figura 1).

Para la medición de las variables de temperatura y humedad se utilizó como instrumento un termohigrómetro de campo, portátil el cual indicará de manera puntual y precisa las variables propuestas anteriormente.



*Figura 1. Numero de larvas en la primer fase de condiciones ambientales (T1= bolsas no expuestas a radiación solar y condiciones ambientales, T2= bolsas expuestas 15 días a radiación solar y condiciones ambientales)*



*Figura 2. Numero de larvas en la segunda fase a condiciones de laboratorio (T1= bolsas no expuestas a radiación solar y condiciones ambientales, T2= bolsas expuestas 15 días a radiación solar y condiciones ambientales).*

Las larvas fueron colocadas en bandejas (material de metal y con unas dimensiones de 32 cm de ancho y 60 cm de largo) y al interior de cada bandeja se colocará en el centro una bolsa respectiva con las siguientes dimensiones 20\*30 cms.

En el tratamiento con la bolsa expuesta a radiación solar y otras condiciones ambientales (lluvia, viento, humedad) propia del entorno de la ciudad, se colocaron previamente 5 bolsas durante un tiempo de 12 horas (6 am a 6 de la tarde). En este caso las bolsas fueron expuestas a irradiación o radiación incidente por unidad de superficie, que según el Atlas de Radiación Solar de Colombia (IDEAM) se presenta con un promedio diario multianual cercano a 4,5 kWh/m<sup>2</sup>. El tiempo total de exposición de cada bolsa fue de 15 días, cada día el material plástico fue fijado en bandejas evitando alguna corrugación de la bolsa y expuesto a las condiciones ambientales durante un periodo 12 horas luz aproximadamente.

**Descripción de variables cuantitativas:**

- ✓ Peso de bolsas: debido a la capacidad de la *Galleria mellonella* de consumir bolsas plásticas este consumo resulta en una variación no muy grande en el cambio del peso de las dichas bolsas de polietileno el cual es medido con respecto al tiempo de exposición; las cuales tendrán un calibre de 0,023 mm y un tamaño de 52\*60 cms
- ✓ Peso de las larvas: con la presencia de alimento constante las larvas tienen un crecimiento razonable en la biomasa de ellas, para la toma de esta variable se tendrán en cuenta el peso de diferentes individuos y así

observar una desigualdad en el consumo de estas en los diferentes tratamientos en los que estarán expuestos.

- ✓ Temperatura: la temperatura es uno de los factores abióticos más importantes que influencia a los insectos. Esta es la que determina los límites de las actividades biológicas de los insectos de tal manera que las temperaturas óptimas y los umbrales máximos y mínimos pueden ser estimados para todos los procesos principales de la vida de estas criaturas. Sin embargo, los requerimientos térmicos pueden ser diferentes según las especies y las etapas de desarrollo (Bazan, 2016).
- ✓ Humedad: la humedad puede ser una condición ambiental que pueda afectar a los insectos, ayudando a su metabolismo, con relación a lo anterior esta variable se tendrá en cuenta para identificar si la ingesta directa de los gusanos tendría relación con esta condición del ambiente.
- ✓ Medición de peso: Comparación de los pesos iniciales con los pesos finales donde se podrá dar la relación de los pesos que se perdió y calcular la biodegradación por horas de la especie *Galleria mellonella*.

El siguiente diseño experimental contara con el análisis de las siguientes variables (Tabla 3):

*Tabla 3. Variables cuantitativas de experimento*

<b>VARIABLES CUANTITATIVAS *</b>	<b>UNIDAD DE MEDIDA</b>
Peso bolsas	Miligramos
Peso total larvas	Miligramos

Temperatura	Celsius
Humedad	%

---

\*La lectura de estas variables se realizaran cada 2 horas Fuente: Autor

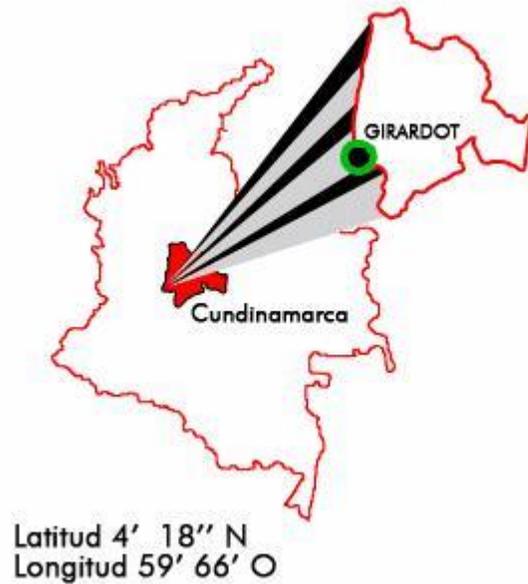
### **Análisis de datos**

Se realizó un análisis estadístico descriptivo (media, mediana, varianza, desviación estándar) de las variables peso total larvas y peso plástico por replicas en cada tratamiento durante las 8 horas de cada fase experimental. Acorde a los % de coeficiente de variación (> 60% significa que probablemente no siguen una distribución normal) y el análisis de la normalidad (Test de Shapiro) y de las varianzas (Test Welch F) se desarrollaron las correlaciones respectivas con las variables de estudio (Correlación de Spearman  $r_s$ ,  $p= 0.05$ )

Como esta especie es reportada como plaga de *Apis* sp. Una vez terminado el experimento todas las larvas fueron sacrificadas mediante congelación y posteriormente se fijaron en alcohol al 70 %, siendo conservadas en la colección de docencia del programa de Ing. Ambiental.

### **Ubicación geográfica del proyecto**

*Figura 3. Localización del proyecto*



Fuente: <https://goo.gl/images/EtF5RH>

Este proyecto fue desarrollado en el municipio de Girardot- Cundinamarca; específicamente en la Universidad de Cundinamarca (Carrera 19 N° 24-209) en el laboratorio, de biología y química y se contó con el apoyo del auxiliar de laboratorio y del préstamo de la balanza de laboratorio electrónica con la capacidad de medir hasta mediciones de miligramos, en este laboratorio no se empleó el aire acondicionado ya que una de las preguntas de investigación propuesta es la de corroborar el efecto de la temperatura en el desarrollo de las larvas y si esta variable puede afectar el desempeño en el consumo de plástico.

## **Resultados y discusión**

## Cambios de peso de las larvas

### Registro de datos condiciones ambientales

En la Tabla 4 se relaciona la biomasa (peso mg de las larvas) en los tratamientos 1 y 2 más sus réplicas junto con la temperatura y % humedad (condiciones naturales). Las variables de temperatura y humedad comenzaron con valores de 29.8°C y 52,5% respectivamente, en el paso del tiempo de desarrollo del experimento podemos ver una tendencia de en la temperatura a aumentar con el paso del tiempo donde aumento en el transcurso de las 8 horas un poco más de 4°C, al contrario la humedad relativa fue disminuyendo con el paso del tiempo teniendo una disminución de un poco más del 19% de humedad relativa en el ambiente.

Tabla 4. Valores de datos de cambios de peso de larvas (mg) en condiciones ambientales

Tiempo	Blanco	T1	T1Rep	T2	T2Rep	Temp	%Humedad
8:20 a. m.	510,932	510,932	510,932	510,932	510,932	29.85	52,5
10:00 a. m.	10457,2	9282,4	9282,5	4743,6	5558,1	31.3	45
12:00 a. m.	11292,7	11044	7876,5	4789,6	4036	33	39
2:05 p. m.	10866,1	7375,6	9446,4	7911,2	7372,8	33,9	36
4:00 p. m.	9713,9	6041,6	5902,8	8364,8	8,7652	34,2	33

Se detallan cambios en la biomasa de los organismos en los diferentes tratamientos, con respecto al blanco podemos evidenciar ganancias en la biomasa en las primeras 4 horas, consecuentemente a esto después de mediodía los especímenes de *Galleria mellonella* comienzan a tener una tendencia en la disminución de la biomasa en la segunda mitad del montaje experimental. Se puede detallar mayores pesos en la

biomasa debido al ambiente ideal en el que se encuentran las larvas de *Galleria mellonella*, con una fuente de alimento en abundancia como lo es el sustrato y a condiciones ambientales ideales de temperatura entre 30-35°C como lo menciona Rodríguez (2015) en su estudio “CICLO BIOLÓGICO DE *Galleria mellonella* Linnaeus (LEPIDOPTERA: PYRALIDAE) “. El sustrato del blanco hace parte de la dieta estándar para el cultivo de esta especie la cual está constituida principalmente por miel, hojuelas de distintos cereales y otros materiales.

Debido a las fluctuaciones en las medidas de biomasa en cada tratamiento en lo que respecta al T1 podemos observar que hay una ganancia de peso entre 8:20 a.m.- 12:00 a.m., en este tiempo hubo el mayor consumo de alimento por parte de los especímenes, en lo que quedo de tiempo se ve un descenso en el peso de una manera significativa esto puede ser debido a que las larvas empiezan un estado de pupa y comienzan con la excreción del material consumido anteriormente como se evidencia en el registro fotográfico del anexo 2. En la réplica del tratamiento 1 hubo 2 horas de consumo que fue a las 10:00 a.m. y a las 2:05 p.m. y en el resto de tiempo hubo un descenso en la biomasa de los especímenes. En lo que respecta al tratamiento 2 se ve un consumo constante y un crecimiento de la biomasa en todo el tiempo del experimento, teniendo como excepción un corto lapso a las 12:00 a.m. en la réplica del tratamiento 2, comparando con el tratamiento 1 hubo 2 comportamientos distintos en la tendencia de peso de los especímenes, observando en el tratamiento 1 ascensos y descensos en los pesos mientras que en el tratamiento 2 hubo una tendencia positiva en la ganancia de peso de los especímenes, esto puede deberse por diferentes factores como la diferencia en

los pretratamientos que se tuvo en las bolsas plásticas, el metabolismo actual de los especímenes, el estrés causado a las larvas de polilla de cera, entre otros. Lo reportado en ambos tratamientos en condiciones ambientales concuerda con los reportado por Villas (2006) en lo referente a las condiciones óptimas para para su ciclo larvario con temperaturas entre 30 y 35 °C, no obstante el autor propone que la humedad relativa óptima esta entre 75-85%; en este estudio las condiciones ambientales mostraron % Humedad relativa entre 52 y 33%, lo cual indica que probablemente esta especie presente un gradiente ambiental más amplio para la humedad (tendencia eurioica).

En el anexo 4 muestra la tabla donde se describen los parámetros estadísticos en conjunto con los test de normalidad ( $W$ = Shapiro wilks) y Homogeneidad de varianza ( $F$ = Welch). Los datos presentan una tendencia a la normalidad ( $W > 0,83$ ;  $p > 0,05$ ) no obstante el análisis de varianzas evidencia que existe diferencias estadísticas significativas ( $F=8,71$   $df=9,52$   $p=0,0024$ )

### **Registro de datos en condiciones de laboratorio**

En la Tabla 5 se relaciona la biomasa (peso mg de las larvas) en los tratamientos 1 y 2 más sus réplicas además del blanco, junto con la temperatura y % humedad (condiciones de laboratorio). En este caso como se controló las condiciones de temperatura y humedad podemos evidenciar que no hubo cambios drásticos como en las condiciones ambientales, donde la temperatura inicial fue de 29,4°C, la cual logro a estar en un control entre 23-25°C en la duración del experimento, en lo que respecta a la

humedad relativa en toda la duración del montaje experimental tuvo un control entre 54-56% de humedad relativa dentro del laboratorio.

Tabla 5. Valores de datos de cambios de peso de las larvas en condiciones de laboratorio

Tiempo	Blanco	T1	T1Rep	T2	T2Rep	Temp	%Humedad
8:20 a. m.	492,321	492,321	492,321	492,321	492,321	29,4°C	53%
10:00 a. m.	4782,3	4344	5456,8	5844,4	4891,2	25,4°C	56%
12:00 a. m.	5283,4	5007,2	4822,8	5616,4	4496	24,6°C	54%
2:05 p. m.	5992,8	6308,4	6737,2	4504,8	5586	23,9°C	57%
4:00 p. m.	6164,5	5539,6	6029,6	5157,2	6731.2	23,5°C	56%

\*la humedad se mantiene teniendo el laboratorio en condiciones constantes de temperatura y sin intervenciones por factores ambientales del exterior

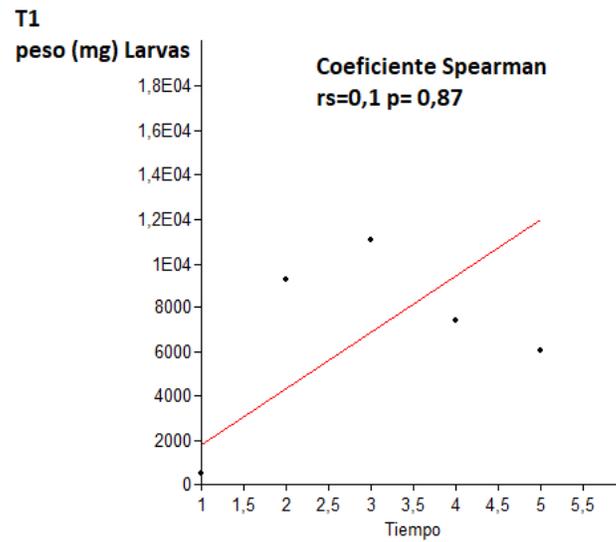
Interpretando los datos obtenidos en esta segunda fase experimental podemos inferir, primeramente en lo que respecta al T1 se evidencia una ganancia positiva y constante en toda la duración del experimento, abordando la réplica tuvo una tendencia similar exceptuando un declive en la ganancia de peso en el lapso de tiempo de 2:00 Pm-4:00 Pm. En el T2 y su réplica podemos ver ganancias y pérdidas de peso intercaladas en los registros cada 2 horas. Comparando con la primera fase experimental en condiciones ambientales, podemos ver diferencias notables, comenzando con la cantidad de biomasa ganada por los especímenes, donde en condiciones ambientales se observó que los especímenes tienen un consumo mayor de alimento y un metabolismo acelerado, esto podemos evidenciarlo con las diferentes variaciones de ganancia de peso con respecto al tiempo en los diferentes tratamientos. Este comportamiento podemos relacionarlo con la temperatura, de la temperatura podemos decir que influye directamente en la actividad que tienen los especímenes de larvas de *Galleria mellonella*, como menciona Villas (2006) las temperaturas menores a los rangos óptimos de 30-35°C causan que estas larvas

de polilla entren en un estado de actividad metabólica menor y si bajamos un poco más la temperatura entraran en un estado de hibernación, entonces podríamos inferir según lo anterior que el poco consumo de alimento y diferencias entre las ganancias y pérdidas de peso es debido al factor limitante que es la temperatura ambiental a la que estaban sometidas las larvas de gusano de cera.

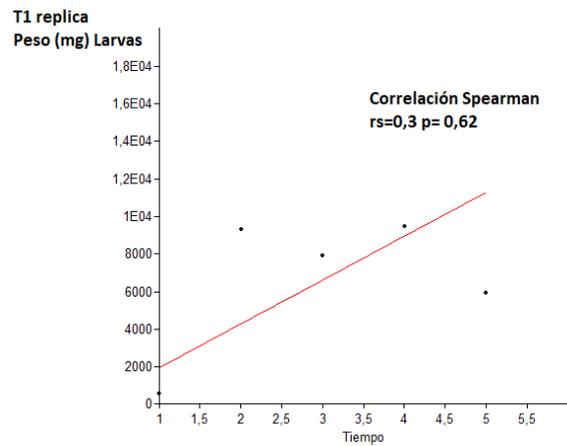
En el anexo 5 se muestra la tabla donde se describen los parámetros estadísticos en conjunto con los test de normalidad ( $W = \text{Shapiro wilks}$ ) y Homogeneidad de varianza ( $F = \text{Welch}$ ). Los datos presentan una tendencia a la normalidad ( $W > 0,81$ ;  $p > 0,05$ ) excepto para el tratamiento 2 donde los datos no siguen una distribución normal ( $p < 0,05$ ). El análisis de varianzas evidencia que existe diferencias estadísticas significativas ( $F = 8,71$   $df = 9,52$   $p = 0,0024$ ).

### **Correlaciones (condiciones ambientales)**

En este apartado se presentan las Correlaciones tratamiento 1 vs tiempo (Tiempo 1: 8:20 a. m; tiempo 2: 10:00 a. m; tiempo 3: 12:00 a. m; tiempo 4: 2:05 p. m; tiempo 5: 4:00 p.m.). Para el tratamiento 1 las correlaciones no fueron estadísticamente significativas ( $p > 0,05$ ), como se puede observar en las gráficas 1 y 2. De este modo aunque se presente un cambio en el peso de las larvas esta variable no fue influenciada por el tiempo de exposición.

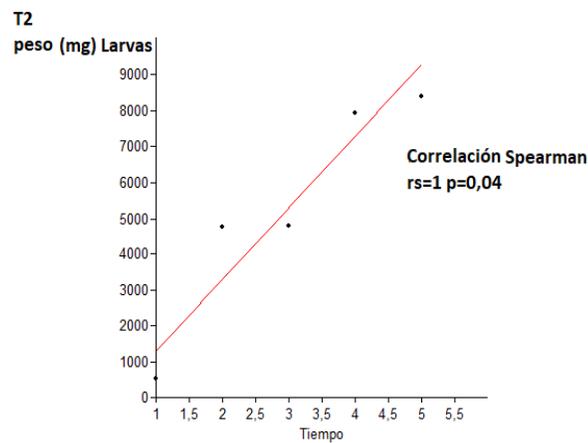


*Grafica 1. Correlación del peso de las larvas respecto al tiempo del tratamiento 1 en condiciones ambientales*

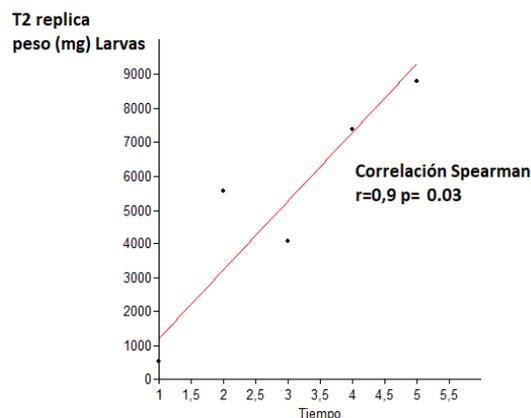


*Grafica 2. Correlación del peso de las larvas respecto al tiempo de la réplica del tratamiento 1 en condiciones ambientales*

En este apartado se presentan las Correlaciones tratamiento 2 vs tiempo (Tiempo 1: 8:20 a. m; tiempo 2: 10:00 a. m; tiempo 3: 12:00 a. m; tiempo 4: 2:05 p. m; tiempo 5: 4:00 p.m.). Para el tratamiento 2, se evidencian correlaciones positivas estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ), como se observa en las gráficas 3 y 4.



*Grafica 3. Correlación del peso de las larvas respecto al tiempo del tratamiento 2 en condiciones ambientales*



*Grafica 4. Correlación del peso de las larvas respecto al tiempo de la réplica del tratamiento 2 en condiciones ambientales*

Contrario al T1 y su réplica, tanto el T2 y la réplica evidencian una correlación positiva estadísticamente significativa ( $p < 0,05$ ). Esto significa que es en este tratamiento donde la ganancia en el peso de las larvas se ve favorecida con el tiempo. Las larvas pueden ingerir más rápidamente el plástico que previamente fue expuesto a radiación solar, esto puede deberse a la acción de la radiación solar sobre las bolsas, como menciona (Posada Bustamante, 1994), que en la degradación de los plásticos esta puede obedecer a factores físicos, químicos y/o mecánicos, en el caso de la radiación en todas sus formas también afecta los materiales y esto puede ir desde la acción de la luz ultravioleta sobre los polímeros, hasta el daño provocado por la radiación electromagnética (microondas, infrarrojo, rayos X y rayos gamma) y la radiación fotónica (protones, rayos beta, rayos alfa y neutrones).

Las correlaciones que relacionan el peso de las larvas (mg) con las variables temperatura y humedad se describen desde la Figura 4 hasta la Figura 5.

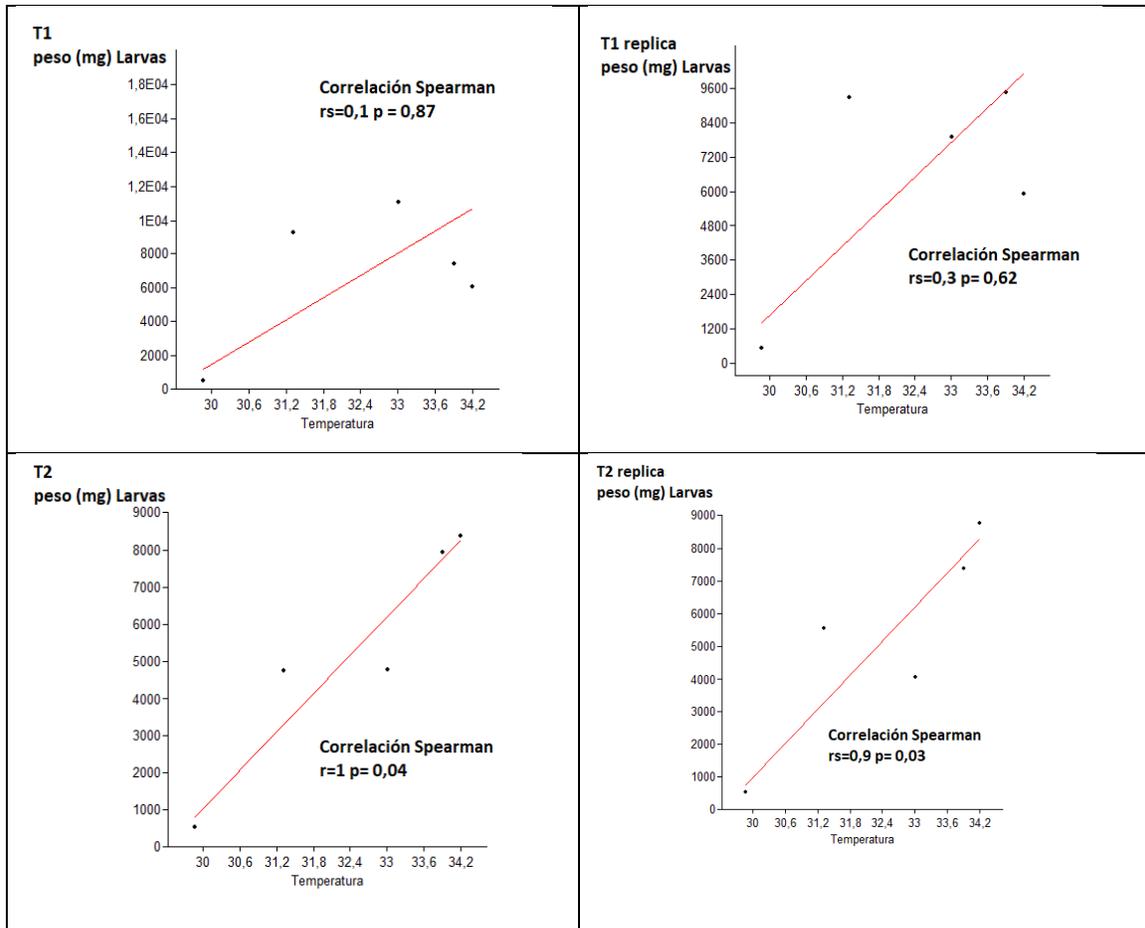
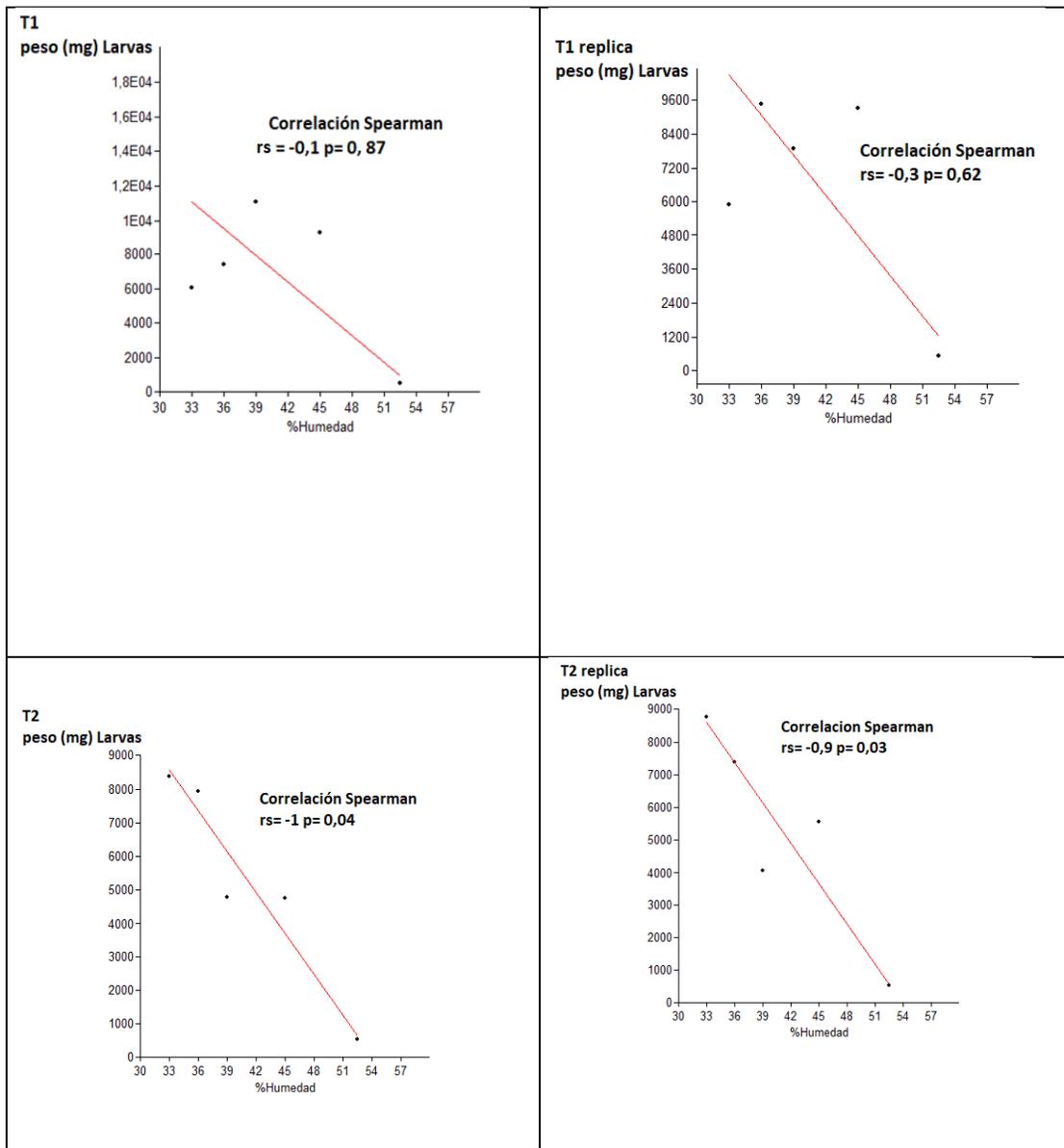


Figura 4. Correlaciones del peso de las larvas respecto a la temperatura en los distintos tratamientos y sus réplicas en condiciones ambientales



*Figura 5. Correlaciones del peso de las larvas respecto a la humedad en los distintos tratamientos y sus réplicas en condiciones ambientales*

Como podemos observar en las correlaciones de las variables la temperatura y la humedad en condiciones ambientales, podemos mencionar que se presenta una correlación positiva con rangos de temperatura entre 30 y ,34 °C, siendo significativa en

el T 2 y su réplica ( $p < 0,05$ ). Este resultado se convalida con lo reportado por Villas (2006) donde menciona que la temperatura óptima para el ciclo larval de esta especie esta entre entre 30 y 35 °C.

En el caso de la humedad se presenta una correlacion negativa estadisticamente significativa, como se observa en la figura 5 para el T2 y su respectiva replica, A medida que aumenta esta variable ambiental disminuye el peso de las larvas. De este modo las larvas fueron afectadas por el valor de humedad registrado ( entre 30 y 57%), ya que los valores optimos oscilan en un rango de 75-85% HR (Villas (2006).

#### **Correlaciones (condiciones de laboratorio)**

La relación entre el peso de las larvas (mg) y el tiempo son descritas en la Figura 6.

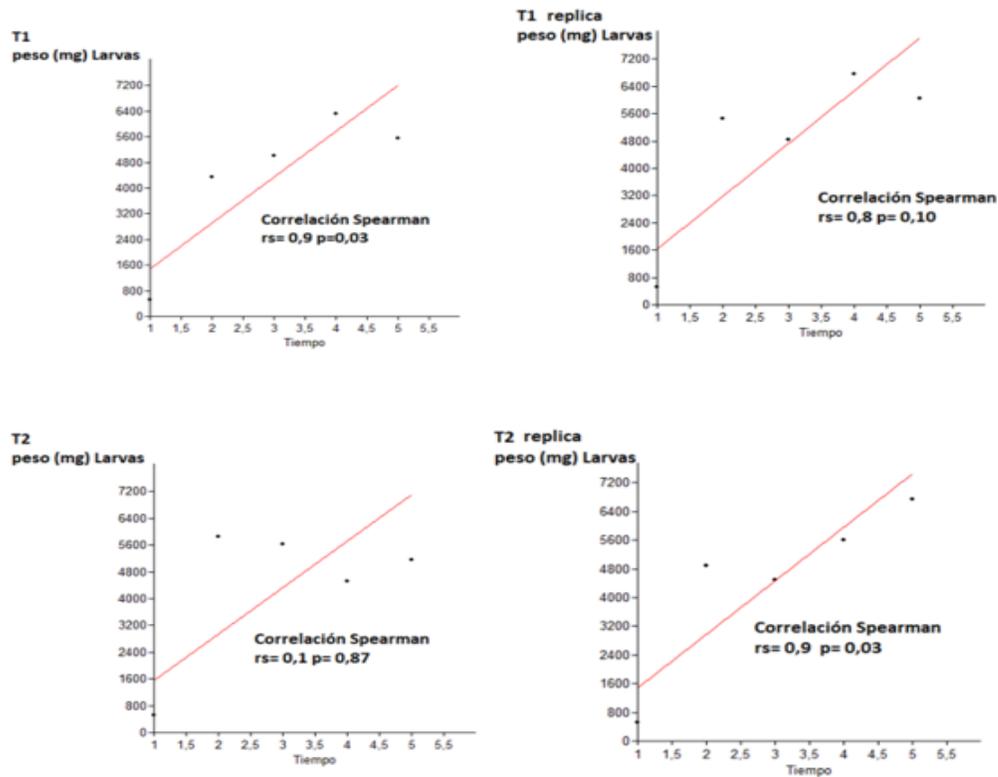
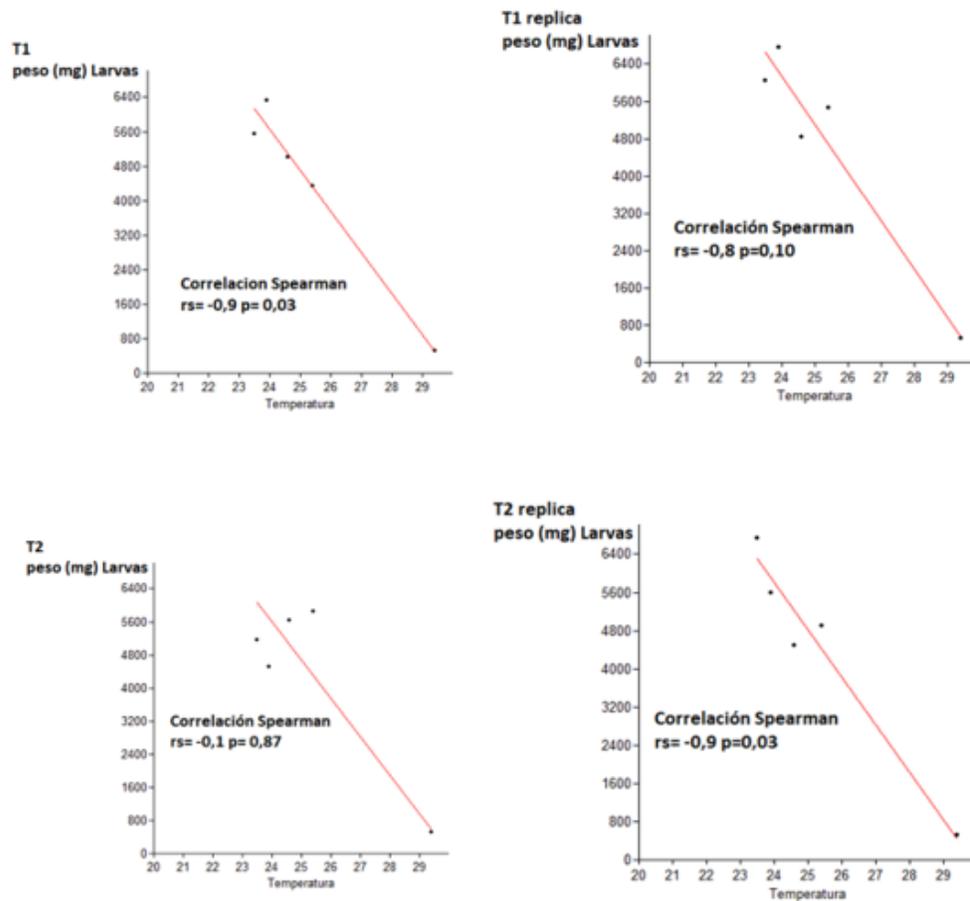


Figura 6. Correlaciones del peso de las larvas respecto al tiempo de los diferentes tratamientos y sus réplicas en condiciones de laboratorio

En condiciones de laboratorio el tiempo probablemente favorece el incremento en la ganancia de peso por parte de las larvas registrándose correlaciones positivas estadísticamente significativas en los tratamientos T1 y T2 replica con  $rs=0,9$   $p=0,03$ . Esta correlación positiva entre la biomasa y el tiempo también se evidenció en las condiciones ambientales. En estadios larvales la especie *Galleria mellonella* presenta una serie de 5 mudas durante el proceso de crecimiento en este estadio que dura aproximadamente entre 23 a 27 días (dependiendo de las condiciones de temperatura y humedad), las larvas de *Galleria mellonella* tienden a ganar biomasa constantemente por

el consumo acelerado de alimento hasta llegar a la última muda donde se da la transformación a pupa (Rodríguez vega, 2015). Las larvas de *Galleria mellonella* tienen un metabolismo especializado ya que su fuente principal de alimento es la cera acumulada en los panales de abejas, esto hace que tiendan a tener grandes enzimas gástricas y mandíbulas, además de esto un consumo exagerado de alimento para llevar a cabo sus diferentes transformaciones entre los distintos estadios, más en estado larval donde necesitan una gran cantidad de alimento para lograr su siguiente etapa en su ciclo de vida que es el estado de pupa (Salazar A. & Merino T., 1987).

La relación entre el peso de las larvas (mg) en condiciones de laboratorio con la temperatura son mostradas en las Figura 7 y con la humedad en la Figura 8.



*Figura 7. Correlaciones de peso de las larvas respecto a la temperatura en los diferentes tratamientos y sus réplicas en condiciones de laboratorio*

Contrario a los tratamientos en condiciones ambientales, la biomasa se correlaciona negativamente con la temperatura, evidenciándose correlaciones estadísticamente significativas en los tratamientos 1 y tratamiento 2 replica con un  $rs = -0,9$   $p = 0,03$ . En condiciones de laboratorio la temperatura no supera los  $29^{\circ}\text{C}$  y para estos tratamientos la temperatura fue un factor limitante para la ingesta y en consecuencia el cambio de peso en las larvas. Este comportamiento anterior lo podemos afirmar ya que

uno de los factores ambientales más importantes en la tasa de desarrollo de los insectos es la temperatura debido a que tiene una incidencia importante sobre los procesos bioquímicos, al ser organismos poiquiloterms, es decir de “sangre fría”, los insectos tiene una tasa de desarrollo dentro de un rango de temperaturas, donde mientras más se acerque a la temperatura optima tienden a tener una tasa de desarrollo más rápida, por el contrario si se tienen temperaturas bajas los insectos sobreviven a este tipo de ambiente pero con una tasa de desarrollo mucho más lenta (marco, 2001). (Bazan, 2016) en su trabajo relacionado con el efecto de la temperatura en el desarrollo del insecto *Galleria mellonella* menciona que las larvas de esta especie tienden a tener una tasa de desarrollo más rápida en temperaturas de 33°C ( 27 días en estadio larval) y a medida que la temperatura va bajando las tasas de desarrollo se vuelven mucho más lentas ( 41,92 días en temperaturas de 25°C), por lo cual la temperatura tiene un efecto directo en la actividad y metabolismo de las larvas de *Galleria mellonella*.

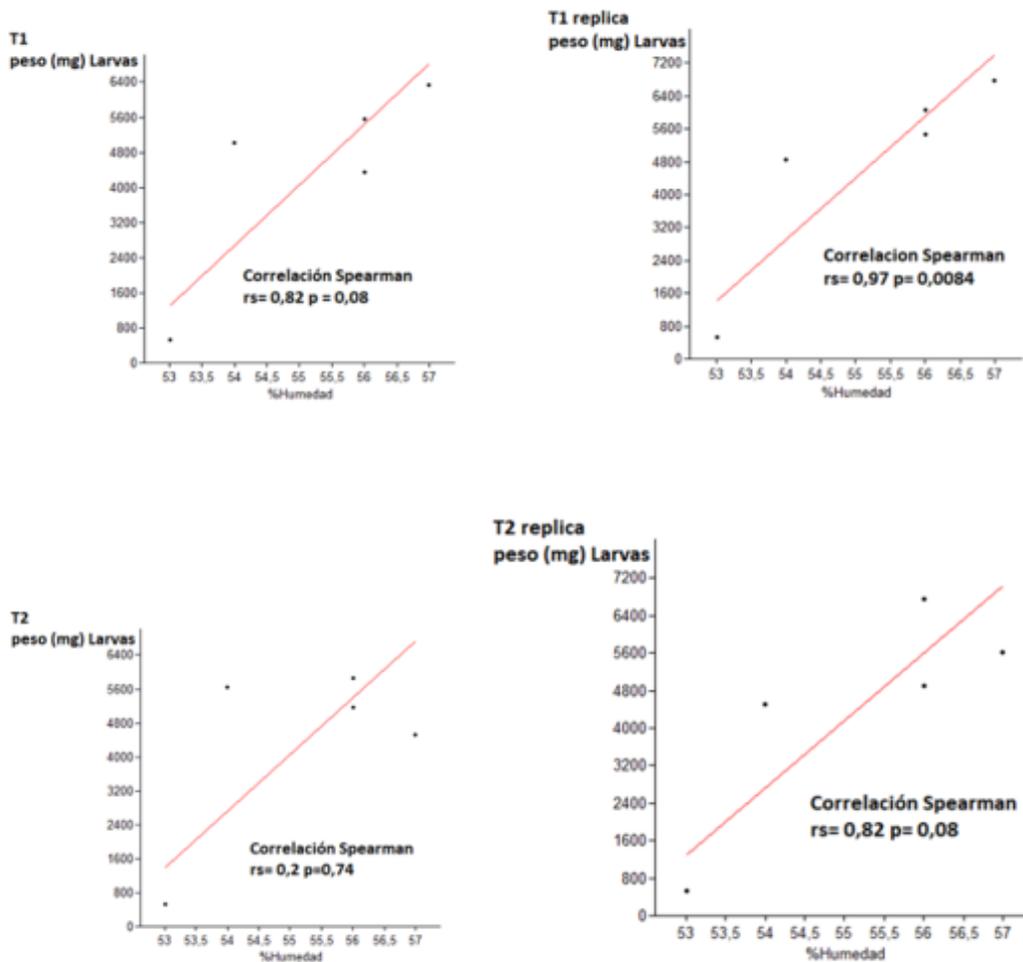


Figura 8. Correlación del peso de las larvas respecto a la humedad en los diferentes tratamientos y sus réplicas en condiciones de laboratorio.

Con relación a la humedad, a diferencia de los tratamientos en condiciones ambientales con correlación negativas, en condiciones de laboratorio se evidencia una correlación positiva entre la biomasa y el % humedad específicamente en el T1 replica (con un  $rs=0,97$   $p=0,0084$ ). La humedad es un factor importante en relación al crecimiento o desarrollo de insectos, Casuso et al (2012) mencionan que la humedad

relativa en niveles por debajo del 60% perjudica la supervivencia de los insectos, caso contrario que en humedades relativas del 60-80% favorecen la supervivencia de estos, generando un ambiente ideal para el desarrollo de estos. Lo anterior lo podemos evidenciar en la diferencia de humedades relativas que se encuentran en las 2 fases experimentales (naturales y de laboratorio) donde podemos diferir que la humedad relativa en condiciones de laboratorio favorece la ganancia de biomasa por parte de las larvas del gusano de cera.

### Variaciones de peso de las bolsas de PE

#### Registro de datos en condiciones ambientales

En la tabla 6 podemos ver las diferencias de peso de las bolsas sometidas a la ingesta directa de los especímenes de la especie *Galleria mellonella* y el % de pérdida de masa de estas bolsas de la fase experimental a condiciones ambientales.

Tabla 6. Diferencia de peso en Microgramos de las bolsas al inicio y final del experimento (sin aire acondicionado)

	Peso Inicial Bolsa (mg)	Peso Final Bolsa (mg)	diferencia de peso (mg)	% degradación de bolsa
<b>T1</b>	2275,381	2236,2	39,181	1,722
<b>T1 replica</b>	2275,381	2253,2	22,181	0,975
<b>T2</b>	2275,381	2247,3	28,081	1,234
<b>T2 replica</b>	2275,381	2252,2	23,181	1,019

Podemos observar que el mayor consumo de bolsa de polietileno se da en el tratamiento 1 con un total de 39,181 mg teniendo un total de 1,722% de la bolsa de

plástico biodegradada, distinguida con su réplica que solo tuvo 22,181 mg de bolsa consumida es decir solo un 0,975% de bolsa biodegrada por los especímenes de *Galleria mellonella*, en lo que respecta al tratamiento 2 las bolsas de plástico pretratadas tuvieron un menor consumo por parte de las larvas teniendo 1,234% de bolsa biodegrada en el tratamiento y 1,019% en su réplica, aunque la réplica del tratamiento 2 tuvo un mayor consumo comparándola con la réplica del tratamiento 1, con esto podemos inferir que el consumo de la bolsa plástica puede venir de otros factores como el tamaño de los diferentes especímenes de larvas, lo cual entre más desarrollada este la larva más alimento puede consumir.

Teniendo como referencia el T1, aunque no se registró una correlación significativa entre el peso y el tiempo, es en este tratamiento donde se obtuvo el mayor consumo con un total de 39,181 mg de bolsa plástica de polietileno por una población de 40 gusanos de *Galleria mellonella* en un tiempo de 8 horas, si lo comparamos con el estudio “Biodegradación de polietileno por larvas de la polilla de cera *Galleria mellonella*” de Bombelli, Howe, & Bertocchini (2017) registraron que durante un tiempo de exposición de 12 horas, 100 gusanos de cera en contacto con una bolsa con polietileno pueden degradar 92 mg de esta; de este modo podemos decir que en este estudio en el T1, 40 larvas degradaron 4.84 mg/hr mientras que en el estudio mencionado se emplearon 100 larvas que degradaron 7.66 mg/hr, es decir que con esta abundancia de larvas se puede alcanzar al alrededor de 63 % de degradación de la bolsa por hora.

El consumo de la bolsa de polietileno por parte de los gusanos se puede denotar de forma apreciable, primero con la gran cantidad de agujeros que se evidenciaron desde la primera toma de datos a las 10:00 a.m., es decir, a las 2 horas después de haber empezado el experimento y que fueron aumentando con el paso del tiempo, además al momento de cada registro algunos ejemplares en estadio de pre pupa mostraron residuos de plástico en las excretas de los gusanos y las galerías que formaban las larvas, esto se puede observar claramente en los anexos 1 y 2.

En la tabla del anexo 6 se describen parámetros estadísticos. Como los datos presentan una curtosis leptocúrtica, se descarta la distribución normal (mesocúrtica) y se desarrolla como prueba de contraste el test de Wilcoxon:  $W=10$   $p=0,06788$ , de este modo se concluye que no existen diferencias significativas en la pérdida de peso de las bolsas en los tratamientos y sus réplicas. No obstante, el peso total consumido por las larvas es 112,624 mg.

Tabla 7. Pesos totales y promedios de masa de bolsa consumida por larvas de *Galleria mellonella*.

Peso total consumido por las larvas	112,624 mg
Peso promedio total consumido	28,156 mg
Peso promedio del T1	30,681 mg
Peso promedio T2	25,681 mg

Teniendo en cuenta los resultados en solitario como se mencionó anteriormente, la réplica del T2 tuvo mayor efectividad que la réplica del T1, pero se evidencia que el peso promedio del T1 y su réplica, es mayor al T2 y su réplica, esto es debido por la

notable eficacia de peso de bolsa biodegrada en el T1, pero si tenemos en cuenta las correlaciones podemos ver que las larvas tienen una mayor facilidad de consumo en las expuestas a radiación solar en el T2.

### Registro de datos en condiciones de laboratorio

En la tabla 8 podemos ver las diferencias de peso de las bolsas sometidas a la ingesta directa de los especímenes de la especie *Galleria mellonella* y el % de pérdida de masa de estas bolsas de la fase experimental en condiciones de laboratorio.

Tabla 8. Diferencia de peso en Microgramos de las bolsas al inicio y final del experimento (con aire acondicionado)

	Peso Inicial Bolsa (mg)	Peso Final Bolsa (mg)	diferencia de peso (mg)	% degradación de bolsa
<b>t1</b>	2275,381	2245,5	29,881	1,313
<b>t1 replica</b>	2275,381	2251,2	24,181	1,063
<b>t2</b>	2275,381	2255,6	19,781	0,869
<b>t2 replica</b>	2275,381	2256,2	19,181	0,843

En este punto se puede diferenciar la eficacia en los pesos de bolsa consumida y % de bolsa biodegradada en las 2 fases experimentales. Se puede detallar la misma tendencia en la cual el T1 es el tratamiento donde se encuentra el mayor consumo de la bolsa por parte de los organismos teniendo en este caso un peso de 29,881 consumidos por ingesta de los gusanos, que sería el 1,313% de la bolsa que fue biodegrada, pero aun así es un 0,49% menor de degradación en comparación al T1 en condiciones ambientales, en la réplica de la T1 podemos ver un resultado de 24,181 mg consumidos y un 1,063% de degradación en este caso entre la réplica y el original no hubo una brecha muy grande

de diferencia entre los % de degradación. En el caso del T2 miramos una caída considerable teniendo unas diferencias de peso de 19,781 mg y 19,181 mg para la T2 y su réplica respectivamente donde miramos que baja considerablemente la ingesta por parte de los gusanos de cera considerando los rendimientos que tuvieron en los registros de datos de las condiciones ambientales, de este modo podemos ver entonces que el tratamiento en condiciones ambientales tiene una mayor eficacia comparada con el tratamiento en condiciones de laboratorio. Reuniendo y analizando toda la información anterior podemos concluir totalmente que la temperatura y la humedad, pero más que toda la temperatura tiene un efecto directo en la eficiencia del consumo de plástico PE por parte de especie *Galleria mellonella* mirando que el % de degradación de bolsa es mayor en temperaturas mayores a los 32°C y dando una decaída en el rendimiento en temperaturas por debajo de los 25°C.

En la Tabla del anexo 7 se presentan los parámetros estadísticos. Como los datos presentan una curtosis platicúrtica, se descarta la distribución normal (mesocúrtica) y se desarrolla como prueba de contraste el test de Wilcoxon: igual que el tratamiento sin aire acondicionado, el resultado del test fue el mismo,  $W = 10$   $p = 0,06788$  de este modo se concluye que no existen diferencias significativas en la pérdida de peso de las bolsas en los tratamientos y sus réplicas. No obstante, el peso total de bolsa consumido por las larvas es de 93,024 mg es decir mucho menor que en el T1.

Tabla 9. Pesos totales y promedios de masa de bolsa consumida por larvas de *Galleria mellonella*.

Peso total consumido por las larvas	93,024 mg
Peso promedio total consumido	23,256 mg
Peso promedio del T1	27,031 mg
Peso promedio T2	19,481 mg

Las tablas muestran que se da una reducción considerable en el peso total de la bolsa consumido por las larvas, en condiciones de laboratorio se degrado un total de 93,024 mg de bolsas de PE en los 4 tratamientos, comparado con las condiciones ambientales hubo una disminución de 19,6 mg lo cual es una cantidad considerable. El promedio total consumido en condiciones de laboratorio es de 23,256 lo cual es 4,9 mg menor al peso promedio total que se da en condiciones ambientales, es decir también hubo una reducción considerable del plástico consumido. En este caso el peso promedio de la T1 sigue teniendo una tendencia de ser mayor al peso promedio del T2, entonces podemos inferir como en las condiciones ambientales que la ingesta del plástico se ve influido también por los tamaños de los estadios larvales de cada individuo presente en los tratamientos. Como se mencionó anteriormente la actividad o metabolismo de las larvas de *Galleria mellonella* se ve afectada directamente por las condiciones de temperatura y humedad en las que se encuentra, donde como se vio en temperaturas menores a 25°C la actividad de estas se ve disminuida considerablemente.

## Conclusiones

- Según los resultados tomados del T1 en la primera fase experimental la capacidad de biodegradación de las larvas de la especie *Galleria mellionella* en un periodo de 8 horas es de 30,681 mg de bolsas plásticas de polietileno, Tomando como referencia el estudio base de Bombelli, P., Howe, C. J., & Bertocchini, F. (2017) donde se reporta que en 12 hr se degradan 92 mg de polietileno con una población de 100 individuos, donde si igualamos las condiciones a 40 individuos y 8 horas daría un resultado de 24,412 mg, por lo cual podemos concluir un aumento de la eficiencia en este estudio con respecto al estudio de referencia de 25,16%.
- La relación peso larvas (mg) con el tiempo de exposición mostro en los tratamientos tanto en condiciones ambientales y de laboratorio correlaciones positivas, siendo registrada la eficacia en el tratamiento 1 (condiciones ambientales) donde 40 larvas degradaron aproximadamente 4.84 mg/hr.
- En los tratamientos de condiciones ambientales fue relevante la temperatura la cual se encuentra entre los óptimos delimitados para esta especie. No obstante, la humedad fue un factor limitante mostrando la disminución del peso larvario entre los rangos de 30 y 57%
- Como con la mayoría de insectos, la temperatura y humedad, tienen un efecto directo en la tasa de desarrollo y metabolismo de estos, en general en la larva de *Gallería mellonella* se evidencio que entre mayor temperatura y humedad relativa las larvas de *Galleria mellonella* tienen una mejor eficiencia en el consumo de bolsas

plásticas de PE, mostrando mayores resultados de ingesta directa del plástico en las condiciones ambientales a temperaturas superiores a 30°C y dando una decreciente del rendimiento de las larvas en temperaturas menores a 25°C.

- La temperatura como factor limitante en el rendimiento del consumo de plástico por las larvas de *Galleria mellonella* se ve reflejada por la gran diferencia entre las eficiencias del % de peso de bolsa degradada en cada tratamiento en sus diferentes condiciones, en condiciones ambientales podemos ver un promedio de bolsa consumida de 28,156 mg, mientras que en condiciones de laboratorio un peso promedio de 23,256 mg, esto es decir que hubo una decaída del 17,4% de eficiencia en el consumo de plástico.

- En este estudio el tratamiento donde se sometieron previamente las bolsas plásticas de polietileno a radiación solar no generó grandes cambios con respecto al consumo por parte de las larvas de *Galleria mellonella*, de este modo se corrobora que experimentalmente son las variables temperatura y humedad las que determinaron la ingesta por parte de estos lepidópteros.

### **Recomendaciones**

- Los gusanos de esta especie consumen una gran cantidad de alimento en su estadio larval, entonces durante el almacenamiento antes de iniciar el manejo en fases experimentales se recomienda darles suficiente sustrato de alimento a los especímenes para evitar la mortalidad de estos, ya que con la falta de alimento el gusano toma tonos de color oscuros y muere.

- Las larvas de *Galleria mellonella* necesitan constante ventilación y regulación térmica para no pasar los umbrales de tolerancia de temperaturas, a temperaturas muy altas mayores a 35°C puede verse ya una mortandad de algunos especímenes y en temperaturas menores a los 8°C entran en hibernación durante una semana para después morir.
- Es de gran importancia el control de las poblaciones de los gusanos y evitar la fuga de algún espécimen al ambiente, ya que esta especie representa un peligro latente para las poblaciones de abejas ya que su principal alimento es la cera de los panales de estas, y si es necesario dar una disposición final adecuada de los especímenes en laboratorio.
- Debido a que los especímenes son muy activos en estado larval se recomienda tener varios recipientes sellados donde se puedan albergar las larvas en la fase experimental sin que se presente una fuga de estos debido a su constante movimiento.
- Si se piensa desarrollar un diseño experimental similar como el planteado, es de importancia separar las poblaciones de especímenes con antelación en varios recipientes debido a la dificultad en el manejo de los gusanos ya que se albergan dentro del sustrato en galerías lo cual vuelve complicado su obtención.
- Debido a los pocos estudios respecto al tema de biodegradación de materiales plásticos utilizando la especie propuesta en el presente estudio, la ampliación y profundización con diferentes aspectos sería un aporte significativo a la comunidad científica interesada en el tema, pudiéndose cambiar o agregar más factores

determinantes como un pretratamiento distinto al propuesto en el diseño metodológico, un reactivo que pueda influir en aumentar la eficiencia de las larvas al momento de la ingesta de las bolsas de polietileno, un calibre de bolsa diferente o de una densidad diferente o el cambio a otro tipo plástico

### Bibliografía

- Alcaldía de Bogotá. (24 de 1 de 1979). *Consulta la norma*. Obtenido de <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=1177>
- Alcaldía de Bogotá. (27 de 12 de 1989). *Consulta la norma*. Obtenido de <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=8242>
- Arandes, J., Bilbao, J., & López, D. (2004). Reciclado de residuos plásticos. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 5(1), 28–45. Retrieved from <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1048871&orden=30219&info=link>.
- Bazan, R. A. (2016). *Efecto de la temperatura en el ciclo de desarrollo de galleria mellonella (lepidoptera; pyralidae)*. Trujillo-peru: universidad nacional de trujillo.
- BBC. (20 de 07 de 2017). BBC MUNDO. Obtenido de <http://www.bbc.com/mundo/noticias-40664725>
- Bombelli, P., Howe, C. J., & Bertocchini, F. (2017). Polyethylene bio-degradation by caterpillars of the wax moth *Galleria mellonella*. *Current Biology*, 27(8), R292–R293. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2017.02.060>
- Boscan, A. (26 de 1 de 2013). *Epistemología e Investigación: De la Creatividad a la Innovación*. Obtenido de <http://epistemologia20.blogspot.com.co/2013/01/disenio-de-la-investigacion.html>
- Castellón, H. (2010). Plásticos oxo-biodegradables vs. Plásticos biodegradables: ¿ cuál es el camino? . Obtenido de [http://files.udespcesos.webnode.es/200000042-df18fe0252/1\\_HELLO\\_CASTELLON.pdf](http://files.udespcesos.webnode.es/200000042-df18fe0252/1_HELLO_CASTELLON.pdf)

- Casuso, V., Tarrago, J., Herrera, G., & Nadal, N. (2012). influencia de los factores ambientales sobre las poblaciones de picudo del algodouero *anthomus grandis* bohemian del sudoeste del chaco argentina. *climapest*.
- Charles A. Kwadha, G. O. (2017). The Biology and Control of the Greater Wax Moth, *Galleria mellonella*. *insects*, 1-17.
- Coutinho, F. M. B., Mello, I. L., & Santa Maria, L. C. De. (2003). Polietileno: principais tipos, propriedades e aplicações. *Polímeros*, 13(1), 1–13.  
<https://doi.org/10.1590/S0104-14282003000100005>
- Ecopetrol. (27 de 9 de 2016). *Ecopetrol*. Obtenido de  
[http://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/es/ecopetrol-web/productos-y-servicios/Noticias/Noticias%202015/Noticias%202015/Aumento-produccion-Polietileno/!ut/p/z0/04\\_Sj9CPykssy0xPLMnMz0vMAfIjo8ziLf0N3d09gg28\\_Z3cjAwcA80tnPycHA2D3Qz1vfSj8CsAmmBU5Ovsm64fVZBYkqGb](http://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/es/ecopetrol-web/productos-y-servicios/Noticias/Noticias%202015/Noticias%202015/Aumento-produccion-Polietileno/!ut/p/z0/04_Sj9CPykssy0xPLMnMz0vMAfIjo8ziLf0N3d09gg28_Z3cjAwcA80tnPycHA2D3Qz1vfSj8CsAmmBU5Ovsm64fVZBYkqGb)
- Escuela de Medicina de Stanford. (2017). *Universidad de Stanford*. Obtenido de  
<http://web.stanford.edu/~jeromeg/cgi-bin/About%20Ethograms.php>
- García, Y. G., Carlos, J., Contreras, M., Reynoso, O. G., & Córdova, A. (2013). Síntesis y Biodegradación de Polihidroxiálcanoatos:Plásticos de Origen Microbiano. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 29(1), 77–115.
- I.E.S. (2013). biología y geología I.E.S santa clara belen ruiz. Obtenido de  
<https://biologiageologiaiaessantaclarabelenruiz.files.wordpress.com/2014/09/2-1-especies-y-poblaciones1.pdf>
- J.F Beltrán Gala, M. C. (2013). *Zoowiki*. Obtenido de  
<https://www.bioscripts.net/zoowiki/temas/30A.html>
- López-Núñez, F. J. R.-A. A. E. B.-P. J. C. (2007). OPTIMIZACIÓN DE LA CRÍA DE *Galleria mellonella* (L.) PARA LA PRODUCCIÓN DE NEMATODOS ENTOMOPATÓGENOS PARÁSITOS DE LA BROCA DEL CAFÉ, 58(2), 142–157.
- marco, V. (2001). modelización de la tasa de desarrollo de insectos en función de la temperatura. aplicación al manejo integrado de plagas mediante el método de grados-día. *entomología aplicada III*, 147-150.

- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible . (28 de 4 de 2016). *Red de Desarrollo Sostenible*. Obtenido de <https://www.rds.org.co/es/recursos/resolucion-0668-de-2016-por-la-cual-se-reglamenta-el-uso-racional-de-bolsas-plasticas-y-se-adoptan-otras-disposiciones>
- Ministerio de Salud y Proteccion . (4 de 10 de 1993). *Minsalud*. Obtenido de <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/RESOLUCION-8430-DE-1993.PDF>
- Myriam Elías-Santos, Mónica Gpe Lozano-Contreras, María Guadalupe MaldonadoBlanco, María de Lourdes Castro-Saucedo, José Lorenzo Meza-García, M. G. (2006). INTRODUCCIÓN DE LA CRÍA MASIVA DE *Galleria mellonella* PARA EL AISLAMIENTO DE HONGOS ENTOMOPATÓGENOS Y REPRODUCCIÓN DE NEMÁTODOS EN LA CIUDAD DE MONTERREY NUEVO LEÓN.
- NIELSEN ROSS, B. C. (1979). Greater Wax Moth: Behavior of larvae. *Ann, entomol, soc, am*, 811-815.
- OFICINA REGIONAL DE LA FAO PARA AMERICA LATINA Y EL CARIBE. (1985). *Insectos que dañan granos productos almacenados*. santiago de chile.
- Perez, M. (2016). Un gusano podría ser la solución al problema de la basura plástica. . Obtenido de <https://blogthinkbig.com/un-gusano-podria-ser-la-solucion-al-problema-de-la-basura-plastica>
- Presidencia de la Republica de Colombia . (6 de 1 de 2016). *normativa* . Obtenido de <http://es.presidencia.gov.co/normativa/normativa/LEY%201774%20DEL%206%20DE%20ENERO%20DE%202016.pdf>
- Posada Bustamante, B. (1994). La Degradación de los Plásticos. *revista universidad eafit*, 67-94.
- Pucci, G., Acuña, A., & Pucci, O. (2015). Biodegradación de hidrocarburos en fondos de tanques de la industria petrolera. *Revista Peruana de Biología*, 22(1), 97–101. <https://doi.org/10.15381/rpb.v22i1.11126>
- Ramon, G. (2000). Diseños experimentales. Antioquia: universidad de Antioquia
- riba, C. (1988). EL ETOGRAMA COMO CODIGO CONDUCTUAL: REVISION Y PROPUESTA. Barcelona: universidad de Barcelona.

- Rodriguez vega, L. C. (2015). *CICLO BIOLOGICO DE galleria mellonella linnaeus (LEPIDOPTERA: PYRALIDAE)*. lima-peru: universidad nacional agraria la molina.
- Roland Geyer, J. R. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. *science advances*, 1-5.
- Rossi, S (s.f.). *Conicet*. Obtenido de <https://www.mendoza-conicet.gob.ar/portal/enciclopedia/terminos/Entomopat.htm>
- Salud Capital . (21 de 6 de 1986). *Biblioteca salud capital* . Obtenido de [http://biblioteca.saludcapital.gov.co/img\\_upload/03d591f205ab80e521292987c313699c/decreto-2257-de1986.pdf](http://biblioteca.saludcapital.gov.co/img_upload/03d591f205ab80e521292987c313699c/decreto-2257-de1986.pdf)
- Salazar A., A., & Merino T., F. (1987). *aspectos generales del metabolismo de Galleria Mellonella L.(LEP:PYRALIDAE)*. medellin-colombia: actualidades biologicas vo.16.
- Sivan, A. (2011). New perspectives in plastic biodegradation. *Current Opinion in Biotechnology*, 22(3), 422–426. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2011.01.013>
- Tellez, J. M. (2015). Refinería de Barrancabermeja logra récord en producción de polietileno. *Ecopetrol*. Obtenido de <http://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/es/ecopetrol-web/nuestra-empresa/sala-de-prensa/noticias/Noticias-2015/Noticias-2015/Refineria-de-Barrancabermeja-logra-record-en-produccion-de-polietileno>
- Timon, M. (24 de 05 de 2017). *El Mundo*. Obtenido de <http://www.elmundo.es/ciencia-y-salud/ciencia/2017/04/24/58fe33df22601d26338b4622.html>
- Tokiwa, Y., Calabia, B. P., Ugwu, C. U., & Aiba, S. (2009). Biodegradability of plastics. *International Journal of Molecular Sciences*, 10(9), 3722–3742. <https://doi.org/10.3390/ijms10093722>
- Universidad de Sevilla. (2007). Estados de desarrollo de los insectos .Open Course Ware. Obtenido de [http://ocwus.us.es/produccion-vegetal/sanidad-vegetal/tema\\_4/page\\_03.htm](http://ocwus.us.es/produccion-vegetal/sanidad-vegetal/tema_4/page_03.htm).
- Uribe, D., Giraldo, D., Gutierrez, S., & Merino, F. (2010). Biodegradación de polietileno de baja densidad por acción de un consorcio microbiano aislado de un relleno sanitario, Lima, Perú. *Revista Peruana de Biología*, 17(1), 133–136.

- Valero-Valdivieso, M., Ortegón, Y., & Uscategui, Y. (2013). Biopolímeros: Avances Y Perspectivas Biopolymers: Progress and Prospects. *SciELO Colombia*, 171–180. Retrieved from <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/viewFile/20642/42269>
- Villas, M. I. (2006). El ciclo biológico de la polilla grande de cera. *galanthus*. Obtenido de <http://www.galanthus.cat/Web%20galleria/portada/tdrvcast.pdf>
- YUJAINA ALVARINO GAITAN, V. C. (2016). ANÁLISIS DE LAS VARIABLES CLIMATOLÓGICAS TEMPERATURA, HUMEDAD RELATIVA, PRECIPITACIÓN, EVAPORACION, BRILLO SOLAR, RADIACIÓN, VELOCIDAD Y DIRECCION DEL VIENTO, MEDIDAS POR LA ESTACIÓN METEOROLÓGICA “ARGELIA” ENTRE LOS AÑOS 1993 – 2013 PARA VERIFICAR LA VARIABILIDAD CLIMATICA DEL MUNICIPIO DE GIRARDOT. *universidad de cundinamarca*, 14.

## Anexos

Anexo 1. Registro fotográfico de las muestras finales de las bolsas plásticas sometidas a ingesta directa de las larvas.



Anexo 2. Registro fotográfico del estado de pupa de las larvas durante los diferentes tratamientos.



## Anexo 3. Solicitud de préstamo externo de elementos educativos.

	MACROPROCESO APOYO		CÓDIGO: AAA010
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO		VERSION: 11
	SOLICITUD PRÉSTAMO EXTERNO DE ELEMENTOS EDUCATIVOS		VIGENCIA: 2018-08-08 PAGINA: 1 de 3

Unidad Regional	FUDAGASUGA	Espacio Académico	LABORATORIO QUIMICA
Nombre Encargado del Espacio Académico	JEISON DAVID MONTUÑA		Fecha de solicitud
Nombre Usuario Responsable	Nº Identificación	Correo electrónico	No. Telefónico
Felipe Flores	110576522	felpe.96@hotmail.com	3115438758
	363214136		
Tipo de Usuario	<input type="checkbox"/> Docente	<input checked="" type="checkbox"/> Estudiante	Programa Académico: ING. AMBIENTAL

Tipo de Actividad	<input checked="" type="checkbox"/> Práctica Académica	<input type="checkbox"/> Salida Académica	<input type="checkbox"/> Práctica Libre
Nombre de la Actividad Académica	TOMA DE DATOS		
Fecha Inicial	2018	09	21
Fecha Final	2018	10	02
Núcleo Temático	TRABAJO DE GRADO	Lugar de La Actividad	GIPARDOT

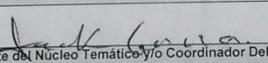
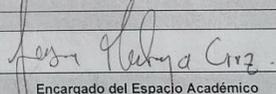
  

Tipo Elemento	Nº Placa de Inventario	Descripción Elemento Educativo	Cantidad	Observaciones
<input checked="" type="checkbox"/> Activo	N.D.	HIGROTERMOMETRO DIGITAL	2	
<input type="checkbox"/> Activo				
<input type="checkbox"/> Activo				
<input type="checkbox"/> Activo				

Nota 1. La firma del Docente y/o Coordinador de Programa Aplica únicamente si el tipo de elemento educativo es "Activo" (Con placa de inventario)  
Nota 2. Si el tipo de usuario es Docente, la autorización deberá ser firmada por el coordinador del programa.

**FIRMAS PARA AUTORIZACIÓN DE SALIDA**

	
Docente del Núcleo Temático y/o Coordinador Del Programa Académico	Encargado del Espacio Académico
Nombre: Jack Fra García	Nombre: JEISON DAVID MONTUÑA

DEVOLUCION ELEMENTO EDUCATIVO	Fecha de Recibido	Año	Mes	Día
		2018	10	2
Firma Quien Recibe	Existe alguna novedad en el momento de recibir el elemento educativo	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input checked="" type="checkbox"/> NO	
Nombre Quien Recibe		Don Sebastian Quintan		

OBSERVACIONES	
---------------	--

Anexo 4. Tabla de Parámetros estadísticos de los datos en condiciones ambientales

	T1	T1Rep	T2	T2Rep	Temp	%Humedad
N	5	5	5	5	5	5
Min	510,932	510,932	510,932	8,7652	29,85	33
Max	11044	9446,4	8364,8	7372,8	34,2	52,5
Sum	34254,5	33019,1	26320,1	17486,6	162,25	205,5
Mean	6850,91	6603,83	5264,03	3497,32	32,45	41,1
Std. Error	1797,49	1650,61	1409,08	1425,57	0,823104	3,47275
Variance	1,62E+07	1,36E+07	9,93E+06	1,02E+07	3,3875	60,3
Stand. Dev	4019,32	3690,87	3150,8	3187,67	1,84052	7,76531
Median	7375,6	7876,5	4789,6	4036	33	39
25 prntil	3276,27	3206,87	2627,27	259,849	30,575	34,5
75 prntil	10163,2	9364,45	8138	6465,45	34,05	48,75
Skewness	-1,07243	-1,5106	-0,78946	-0,0254009	-0,703216	0,771947
Kurtosis	1,3888	2,08893	0,270271	-2,29361	-1,31844	-0,395133
Geom. Mean	4716,5	4610,38	3776,54	941,731	32,4075	40,5369
%CV= Desviación/media	58,66841 047	55,88983 968	59,85528 198	91,14607 757	5,671864 407	18,89369 83
Test Shapiro (W) Normalidad	W=0,93 p= 0,64	W=0,83 p=0,15	W=0,90 p=0,42	W=0,91 p=0,52	W=0,91 p=0,49	W=0,94 p=0,73
Test Welch (F) Varianzas	F=8,71 df=9,52 p=0,0024					

Anexo 5. Tabla de Parámetros estadísticos de los datos en condiciones de laboratorio

	T1	T1 rep	T2	T2 rep	Temperatura	%Humedad
N	5	5	5	5	5	5
Min	510,932	510,932	510,932	510,932	23,5	53
Max	6308,4	6737,2	5844,4	6731,2	29,4	57
Sum	21710,1	23557,3	21633,7	22215,3	126,8	276
Mean	4342,03	4711,47	4326,75	4443,07	25,36	55,2
Std. Error	1010,46	1096,66	981,027	1053,74	1,06047	0,734847
Variance	5,11E+06	6,01E+06	4,81E+06	5,55E+06	5,623	2,7
Stand. Dev	2259,46	2452,22	2193,64	2356,22	2,37129	1,64317
Median	5007,2	5456,8	5157,2	4891,2	24,6	56
25 prcnil	2427,47	2666,87	2507,87	2503,47	23,7	53,5
75 prcnil	5924	6383,4	5730,4	6158,6	27,4	56,5
Skewness	-1,68385	-1,7829	-1,9476	-1,50453	1,74849	-0,518421
Kurtosis	3,15716	3,45912	3,90589	2,87771	3,19772	-1,68724
Geom. Mean	3294,95	3527,55	3297,08	3350,89	25,2765	55,1803
%CV= Desviacion/media	52,036950 46	52,04787 465	50,6994 8576	53,03134 994	9,350512 618	2,976757 246
Test Shapiro (W) Normalidad	W= 0,84 p=0,16	W=0,81 p=0,10	W=0,75 p= 0,03	W=0,87 p= 0,26	W=0,81 p= 0,10	W= 0,91 p = 0,48
Test Welch (F) Varianzas	F=96 df=10,23 p=0,00000 0029					

*Anexo 6. Tabla de Parámetros estadísticos de datos de peso de bolsas en condiciones ambientales*

	Peso Inicial Bolsa (mg)	Peso Final Bolsa (mg)
<b>N</b>	4	4
<b>Min</b>	2275,38	2236,2
<b>Max</b>	2275,38	2253,2
<b>Sum</b>	9101,52	8988,9
<b>Mean</b>	2275,38	2247,22
<b>Error</b>	0	3,89452
<b>DS</b>	0	60,6692
<b>Varianza</b>	0	7,78904
<b>Median</b>	2275,38	2249,75
<b>Kurtosis</b>	0	1,58904
<b>Geom. mean</b>	2275,38	2247,21

*Anexo 7. Tabla de Parámetros estadísticos de datos de peso de bolsas en condiciones de laboratorio.*

	Peso Inicial Bolsa (mg)	Peso Final Bolsa (mg)
<b>N</b>	4	4
<b>Min</b>	2275,38	2245,5
<b>Max</b>	2275,38	2256,2
<b>Sum</b>	9101,52	9008,5
<b>Mean</b>	2275,38	2252,13
<b>Std. error</b>	0	2,47365
<b>Variance</b>	0	24,4758
<b>Stand. dev</b>	0	4,94731
<b>Median</b>	2275,38	2253,4
<b>Kurtosis</b>	0	-0,431407
<b>Geom. Mean</b>	2275,38	2252,12