Evaluación de la capacidad de la cucaracha *Periplaneta americana* para la biodegradación de poliestireno expandido (EPS)

Rada Vera Sharon Stefanny

Proyecto de grado para optar por el título de:
Ingeniero Ambiental y Sanitario

Universidad de La Salle
Facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria
Bogotá D.C.
2023

Evaluación de la capacidad de la cucaracha *Periplaneta americana* para la biodegradación de poliestireno expandido (EPS)

Rada Vera Sharon Stefanny

Director

Rosalina González Forero

Ingeniera Química – Universidad Nacional de Colombia

PhD in Civil Engineering – University of Delaware

Universidad de La Salle

Facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria

Bogotá D.C.

2023

NOTA DE ACEPTACION

_____

_____

_____

DIRECTOR

Rosalina González Forero

Ingeniera Química

PhD

_____

JURADO

_____

Resumen

El poliestireno expandido EPS es un polímero inerte de poco o nulo aprovechamiento, la cantidad de residuos sólidos producidos por este material plástico de un solo uso para alimentos y bebidas es alarmante debido a su corto ciclo de vida útil. Lo desechos de EPS no son aprovechados debido a su baja densidad y poca rentabilidad. El objetivo de la investigación es evaluar la capacidad de la especie Periplaneta americana para la biodegradación de EPS como una alternativa de disposición final del material. Se llevó a cabo la recolección de los individuos por colecta directa, se almacenaron en dos celdas, la primera se alimentó únicamente con residuos orgánicos y la segunda con residuos orgánicos y EPS embadurnado con aceite de cocina. Se pesaron los residuos antes y después de ponerlos en las respectivas celdas, se realizó conteo de individuos y ootecas puestas cada 7 días al momento de limpiar las celdas. Se evidenció consumo de EPS en la celda 2 sin embargo, se presentó una mortalidad del 60% de la población inicial, lo cual representa una mortalidad 3 veces mayor a la celda 1. La Periplaneta americana es capaz de consumir EPS y, posiblemente, biodegradarlo puesto que en sus heces no se presentó partículas blancas.

Abstract

Expanded polystyrene EPS is an inert polymer with little or no use, the amount of solid waste produced by this single-use plastic material for food and beverages is alarming due to its short life cycle. EPS waste is not used due to its low density and low profitability. The objective of the research is to evaluate the capacity of the species Periplaneta americana for the biodegradation of EPS as an alternative for final disposal of the material. The individuals were collected by direct collection, they were stored in two cells, the first was fed only with organic waste and the second with organic waste and EPS smeared with cooking oil. The residues were weighed before and after putting them in the respective cells, counting individuals and oothecas placed every 7 days at the time of cleaning the cells. EPS consumption was evidenced in cell 2, however, there was a mortality of 60% of the initial population, which represents a mortality 3 times higher than cell 1. The American Periplanet is able to consume EPS and, possibly, biodegrade it since there were no white particles in its feces.

Contenido

1. Introducción 8

2. Objetivos 10

2.1. Objetivo General 10

2.2. Objetivos Específicos 10

3. Marco de referencia 11

3.1. Marco Conceptual 11

3.1.1. Biodegradación 11

3.1.2. Biomasa 11

3.1.3. Ciclo de vida 11

3.1.4. Condiciones climáticas 11

3.1.5. Economía circular 11

3.1.6. Gestión integral de residuos 12

3.1.7. Objetivos de Desarrollo sostenible 12

3.1.8. Plástico 12

3.1.9. Poliestireno expandido 12

3.1.10. Residuo sólido aprovechable 13

3.1.11. Sustrato 13

3.2. Marco Teórico 13

3.2.1. Colecta directa 13

3.2.2. Colecta Indirecta 14

3.2.3. Plástico 15

3.2.4. Poliestireno 18

3.2.5. Poliestireno expandido EPS 19

3.2.6. Problemática ambiental asociada al EPS 21

3.2.7. Biodegradación de EPS 23

3.2.8. *Tenebrio molitor* 23

3.2.9. *Periplaneta americana* 24

3.2.10. Tasa de consumo 26

3.2.11. Tasa de mortalidad 26

3.3. Marco Legal 28

4. Antecedentes....31
5. Metodología....33
5.1. Materiales y equipos....33
5.2. FASE I: diagnóstico....33
5.3. FASE II: preparación de celdas....34
5.4. FASE III: implementación de la especie....34
5.5. FASE IV: observación y análisis....39
5.6. FASE V: elaboración de conclusiones y recomendaciones....41
6. Resultados....42
7. Conclusiones....48
8. Recomendaciones....49
9. Bibliografía....51

1. Introducción

El poliestireno expandido ha sido usado para muchas actividades como envases, empaques, aislante térmico y acústico, entre otras cosas, por tu versatilidad y estructura, se ha implementado en muchas industrias. Sin embargo, por su densidad y baja biodegradación se ha convertido en una problemática por su bajo aprovechamiento post consumo y por su inadecuada disposición final luego de su corto ciclo de vida perjudicando así el medio ambiente.

Es debido a esta problemática, que se ha presentado un proyecto de ley el cual pretende prohibir el uso de EPS para todas las actividades comerciales que involucren alimentos, además de la implementación de un Plan Nacional de Reciclaje del EPS de uso industrial (Aristizábal, 2017). Demostrando la importancia de regular una actividad que genera al año grandes cantidades de un polímero contaminante como es el poliestireno expandido.

Por esta razón, es necesario buscar nuevas alternativas de disposición para este material, ya sea reutilizando para fabricar nuevos productos o descomponiéndolo, de manera que, no sea nocivo para el medio ambiente y pueda continuar un proceso de biodegradación efectivo. Por lo que, se deben tener en cuenta disolventes y organismos con la capacidad de degradar compuestos complejos como el EPS.

Por los antecedentes, se evidencia que ya existen algunos métodos para biodegradar el EPS y otros productos plásticos, entre esos el uso de organismos tales como hongos, larvas y caracoles. Sin embargo, estos requieren de un ambiente específico, disolventes o son de lenta reproducción y adaptabilidad. La cucaracha es conocida por ser adaptable a muchos ambientes con diferentes condiciones climáticas como temperatura, humedad y presión. Además, se sabe que son omnívoros, que su reproducción es rápida y su ciclo de vida puede llegar hasta 1,5 años. En algunos países del oriente; son estudiadas para medicamentos y productos cosméticos; son

criadas como alimento humano; se usan para la descomposición de toneladas de materia orgánica y posterior alimentación de animales rumiantes y pollos.

Por ejemplo, se aisló una cepa de *Streptomyces* productora de antibióticos del intestino de la cucaracha americana *Periplaneta americana*. Otras bacterias asociadas a las cucarachas, incluidas, entre otras, especies de *Bacillus, Enterococcus y Pseudomonas*, también pueden producir metabolitos bioactivos que pueden ser adecuados para el desarrollo como productos farmacéuticos o fitosanitarios. Las enzimas que degradan sustratos industrialmente relevantes, o que convierten biomasas en precursores químicos útiles, también se expresan en bacterias derivadas de cucarachas y podrían implementarse para su uso en las industrias de alimentos/piensos, papel, aceite o cosméticos. (Guzman & Vilcinskas, 2020)

La *Periplaneta americana* brinda nuevas expectativas sobre la biodegradación de materia orgánica y productos plásticos, por su increíble capacidad de alimentarse de casi cualquier cosa y su capacidad de adaptarse a casi cualquier ambiente. Por los escasos reportes acerca de esta especie, hay una amplia variedad posible para investigación desde la parte biomédica y ambiental.

El presente proyecto pretende poner en práctica una experiencia personal del autor en donde se evidenció que 4 individuos de la especie *Periplaneta americana* estaban comiendo poliestireno expandido, un envase de alimentos fritos. Por lo que, se espera al tener individuos con una dieta de materia orgánica y EPS, estos puedan adaptar su dieta y metabolizar los polímeros. Se mantendrán en observación y análisis frecuente, donde se pesarán los residuos y se mantendrá un conteo de la cantidad de individuos, registro de las condiciones climáticas, limpieza cada 7 días y recolección de la muestra de heces fecales, con el fin de identificar si se puede notar presencia de partículas de EPS o si, por el contrario, se ven las heces igual a la muestra 0.

2. Objetivos

2.1. Objetivo General

Evaluar la capacidad de la cucaracha *Periplaneta americana* para la biodegradación de (Bastioli, 2014)poliestireno expandido (EPS), que pueda servir de base científica para la creación de una alternativa de implementación de manejo responsable de residuos de EPS.

2.2. Objetivos Específicos

- Realizar un diagnóstico del estado del arte sobre la especie *Tenebrio molitor* para la degradación de EPS para compararlos con los datos obtenidos en este proyecto.
- Evaluar la eficacia de emplear a la cucaracha *Periplaneta americana* para biodegradar EPS por medio de una tasa de consumo.
- Monitorear y comparar la tasa de mortalidad de la *Periplaneta americana*.

3. Marco de referencia

3.1. Marco Conceptual

3.1.1. Biodegradación

Según (Bastioli, 2014), “La biodegradación es una técnica que se basa en el consumo, digestión y metabolización de materiales orgánicos por parte de microorganismos ya sean bacterias, hongos o protozoos”.

3.1.2. Biomasa

“En los estudios de poblaciones de insectos, la biomasa es un parámetro importante para la cuantificación de los recursos disponibles y los flujos de energía que se producen en las redes tróficas de los ecosistemas terrestres y acuáticos” (Gallardo, Franceschini, Poi, & De Wysiecki, 2015).

3.1.3. Ciclo de vida

Todas las etapas del desarrollo de un producto, incluidos su diseño, la extracción o adquisición de materia prima, producción, comercialización, uso, reutilización, reciclaje, y reincorporación al ciclo productivo o hasta su disposición final (CONPES 3874, 2016).

3.1.4. Condiciones climáticas

Es el conjunto fluctuante de las condiciones atmosféricas, caracterizado por los estados y evoluciones del estado del tiempo, durante un periodo de tiempo y un lugar o región dados (IDEAM, 2015).

3.1.5. Economía circular

Es un modelo de producción y consumo que implica compartir, alquilar, reutilizar, reparar, renovar y reciclar materiales y productos existentes todas las veces que sea

posible para crear un valor añadido. De esta forma, el ciclo de vida de los productos se extiende (Parlamento Europeo, 2015).

3.1.6. Gestión integral de residuos

Conjunto de acciones ejecutadas de manera organizada, eficiente y sistemática en un contexto determinado, para prevenir la generación de residuos u otorgarle a los generados la mejor alternativa disponible con base en los lineamientos y/o requisitos previamente establecidos que consideran criterios ecológicos, económicos y sociales para evitar riesgos a la salud e impactos negativos al medio ambiente (Ochoa, 2016).

3.1.7. Objetivos de Desarrollo sostenible

Están diseñados para acabar con la pobreza, el hambre, el sida y la discriminación contra mujeres y niñas. Estos objetivos reconocen que la acción en un área afectará los resultados en otras áreas y que el desarrollo debe equilibrar la sostenibilidad social, económica y ambiental. (PUND, 2015)

3.1.8. Plástico

El plástico es un material sintético o semisintético a base de petróleo compuesto de polímeros maleables que no se descomponen con el tiempo como los materiales orgánicos y pueden permanecer intactos durante décadas o siglos (Hutchinson, 2023).

3.1.9. Poliestireno expandido

Es también conocido como EPS por sus siglas en inglés. Es un derivado del poliestireno con una estructura de celdas cerradas y rellenas de aire. Es un material aislante con alta resistencia mecánica y térmica, características que lo convierten en el candidato ideal para el transporte de comidas calientes y frías, protección de elementos, entre muchos otros

más. Una de sus principales aplicaciones son la fabricación de envases y empaques de un solo uso (desechables), como también permanentes, como son el almacenamiento y transporte de alimentos. (Barrera, 2016)

3.1.10. Residuo sólido aprovechable

Es cualquier material, objeto sustancia o elemento sólido que no tiene valor de uso para quien lo genere, pero que es susceptible de aprovechamiento para su reincorporación a un proceso productivo (Decreto 1713, 2002).

3.1.11. Sustrato

Un sustrato, en biología, se considera un lugar que sirve de asiento a una planta o un animal fijo. Los sustratos pueden contar con diferentes nutrientes que sean adecuados para el organismo que se pretenda introducir. (RAE, 2023)

3.2. Marco Teórico

3.2.1. Colecta directa

La colecta directa es en la cual el colector busca de forma activa a los organismos en su ambiente. Es la técnica más usada entre colectores, se apoyan de herramientas e instrumentos que varían según el sustrato. Para este método, se requiere tener información biológica sobre la especie que se desee colectar, principalmente su distribución geográfica, ocurrencia estacional y hábitos alimenticios.

Los sustratos, a su vez, pueden estar habitados y ser consumidos, pueden presentar una sucesión en la fauna de insectos que las consumen.

Los principales sustratos son:

- Hojarasca y suelo

- Sobre plantas
- Trocos en descomposición
- Hongos
- Epifitas vasculares
- Materia orgánica en descomposición

El método más simple de colecta directa es tomar a los insectos con los dedos y el más común en muchos grupos de organismos que no son peligrosos para el ser humano. Ahí se recalca la importancia de hacer una revisión precia a la colecta de la especie requerida. (Márquez, 2005, págs. 388-389)

3.2.2. Colecta Indirecta

La colecta indirecta es en la cual se colectan organismos utilizando algún tipo de atractivo y que no implica búsqueda en los sustratos específicos en los que habitan. Comúnmente, se utiliza trapas con distintos atrayentes, pero también se realiza sin atrayentes. Esta colecta se llama indirecta porque no se buscan activamente los organismos en el sustrato propio de la especie. El tipo y número de trampas y el cebo dependen directamente de los objetivos de la investigación.

Los tipos de trampas son:

1. Trampas sin atrayentes: conocidas como trampas de pozo seco o de caída, son recipientes que se colocan enterradas a nivel del suelo, para que cualquier organismo que pase por el suelo, caiga dentro del recipiente sin tapa o con un embudo que evita la huida de los organismos y los protege de posibles depredadores.

2. Trampas con cebos: el nombre de estas trampas se da por el cebo que se usa, las más usadas son las coprotrampas (cebadas con excremento), carpotrampas (con frutas) y necrotrampas (con carroña). La intención es atraer y capturar insectos afines a los cebos. Se recomienda instalar las trampas fuera de causes de ríos, alejadas de caminos y en sitios planos.

El tipo de colecta elegido depende de la especie que se pretenda capturar, ya que cada especie es diferente y presenta características diferentes, lo que sirve para una especie, puede no servir para la otra, recalcando la importancia de hacer una revisión bibliográfica para seleccionar el método adecuado. (Márquez, 2005, pág. 392)

3.2.3. Plástico

El plástico tiene origen a principios del siglo XX por Leo Baekeland quien creo el material sintético baquelita, el primer plástico termoendurecible. A medida que las industrias crecieron, también aumentó la fabricación y aplicación de plástico para muchos usos, industriales o de consumo. Después de la segunda guerra mundial el plástico se empezó a fabricar de forma masiva y empezó a usarse como sustituto del vidrio, el metal y la madera. Se destacó por tu versatilidad, además de su durabilidad, seguridad y rentabilidad. Nunca se tuvo en cuenta como se iban a manejar los residuos de plástico ni del uso que se iba a dar, lo cual ahora mismo es un problema ya que simplemente se enviaba a los vertederos sin ningún aprovechamiento ni tratamiento. (Hutchinson, 2023)

El plástico se volvió común en artículos cotidianos, es muy fácil encontrarlo en cualquier producto, desde la ropa hasta en los envases de almacenamiento de alimentos. En 1970 se formó la EPA en los Estados Unidos, que reguló la eliminación de residuos y fomentó prácticas amigables con el medio ambiente. El mismo año se emitió la ley de

Recuperación de Recursos que también fomentó el reciclaje. El aumento en el consumo y la falta de regulación ante su disposición final creó una preocupación a nivel nacional, por lo que, a partir de esa problemática, en 1971 se creó la primera planta de reciclaje de plástico en Pensilvania, quien estableció el estándar para otros centros de reciclaje. (Hutchinson, 2023)

Al reconocer la necesidad de dar una solución a la disposición final del plástico, se empezaron a presentar impuestos, demás programas gubernamentales, activistas ambientales y consumidores informados, se creó la necesidad en la manufactura de fabricar plásticos que fuesen más fáciles de reciclar. Estas iniciativas promovieron el reciclaje y manejo adecuado del plástico, tano así que en 1984 se recogieron más de 45 mil toneladas de plástico para reciclar. Sin embargo, a los consumidores se les hizo difícil identificar los diferentes tipos de plástico, por lo que, se adoptó el símbolo triangular de círculo cerrado promovido por el Consejo de Residuos Sólidos que se presentan en 7 categorías según la Fundación AQUAE:

1. Tereftalato de Polietileno (PET o PETE)

   Fácil y barato de reciclar, alto nivel de transparencia e impide el ingreso de oxígeno. En su aprovechamiento se puede generar un plástico igual o mejor calidad.

2. Polietileno de Alta Densidad (HDPE)

   Muy usado en la cotidianidad. Es poco opaco y soporta altas temperaturas. Se usa para recipientes de productos de limpieza, cremas o leche. Es maleable y versátil. Se recicla para fabricar contenedores de reciclaje, otras botellas, envases de comida, entre otros.

3. Policloruro de Vinilo (PVC)

   Es ligero, resistente y duradero, con tolerancia a altas temperaturas y de permeabilidad alta. Se utiliza en la construcción, productos médicos y calzado. Se recicla por medio del reciclaje mecánico, químico, por disolventes y energético. (Chem, 2021)

4. Polietileno de Baja Densidad (LDPE)

   Elástico, duro y transparente. Su producción es barata, se usa para la fabricación de bolsas de plástico, aislante de cables, papel film. Su reciclaje permite fabricar los mismos productos.

5. Polipropileno (PP)

   Resistente a altas temperaturas. Se usa en envoltorios, envases, utensilios y recipientes de cocina. Se puede reciclar siempre que se encuentren limpios.

6. Poliestireno (PD)

   Aislante y resistente, usado en la construcción, aislantes térmicos y sonoros, tubos de ensayo. Su reciclaje es costoso dado que debe transformarse a través del calor.

7. Otros Plásticos (policarbonato, estireno, nylon, etc.)

   Contienen diferentes componentes por lo que no pueden reciclarse fácilmente siendo así un tipo de plástico muy contaminante.

Los centros de reciclaje de plástico solo reciclarán un determinado tipo de plástico debido al proceso o la maquinaria requerida, por lo que esto requiere que los materiales de desecho de plástico se clasifiquen en categorías. Algunos programas comunitarios de reciclaje han adoptado la recolección de reciclaje combinado para fomentar el cumplimiento y evitar dificultades de clasificación. Sin embargo, esto aumenta el costo de

reciclaje ya que los centros de aprovechamiento deben invertir en personal capacitado para realizar la separación manual de los diferentes plásticos en países en desarrollo.

3.2.4. Poliestireno

El poliestireno es un material plástico sintético que se utiliza en una gran variedad de productos cotidianos. Su creación se retoma al año 1839 por un boticario llamado Eduard Simón, quien trabaja en la resina de un árbol, al destilar esta resina resultó un producto al cual llamó estirol, la sustancia pasó de ser de textura aceitosa a un gel, tomando el nuevo nombre de estiroloxido. Años más tarde, en 1845, dos químicos hicieron el mismo procedimiento y confirmaron que el cambio de textura se debía a la oxidación. En el año 1866 el químico Marcelin Berthelot, determinó que esa sustancia era el resultado de la polimerización, o un proceso químico que combina moléculas en una cadena larga, lo que llevó a que la sustancia recibiera el nuevo nombre de “poliestireno”. El producto resultante utilizado en las industrias suele convertirse en gránulos para su envío a empresas para su fabricación en muchos productos diferentes.

Este material presenta tres formas principales que se procesan para fabricar productos del día a día. Estas formas son las siguientes: poliestireno de alto impacto (HIPS), usado generalmente en fabricación de electrodomésticos y productos electrónicos, juguetes, vasos y otros artículos similares que requiere rigidez y ligereza; poliestireno de uso general (GPPS), también conocido como poliestireno cristalino, se utiliza cuando se necesita un producto trasparente y liviano por lo que, suele hacer parte de cajas de CD, materiales de embalaje para cosméticos y artículos similares, bandejas de refrigeradores y otros componentes, y difusores de luz; y el poliestireno expandido (EPS) es un producto similar a una espuma que se crea al introducir aire a las perlas de poliestireno hasta que se

expanden hasta 50 veces su tamaño inicial, se utiliza para materiales de embalaje, aislamiento y otros materiales de construcción, como molduras, recipientes desechables para alimentos y bebidas y otros materiales que pueden beneficiarse de su característica de peso ligero y facilidad de modelado, como accesorios y escenografías.

El poliestireno es un material muy versátil, pero tiene algunos inconvenientes. Es inflamable, por lo que, no es adecuado para usos en los que pueda estar expuesto a altas temperaturas o llamas abiertas, ya que podría derretirse o quemarse.

Muchos de los productos que se fabrican con poliestireno tienen una vida útil extensa y con la posibilidad de reciclarse. Sin embargo, el EPS ha despertado una preocupación ambiental debido a que se fabrican muchos productos para un solo uso, como vasos y recipientes para bebidas y alimentos. La principal preocupación es porque el material no se degrada en los vertederos, y termina muchas veces en cursos de agua siendo consumido por animales que lo confunden con alimento. Además, a medida que el EPS se descompone, libera sustancias químicas que son peligrosas para la vida silvestre y humana. (Ungvarsky, 2023)

3.2.5. Poliestireno expandido EPS

El poliestireno expandido, comúnmente conocido como icopor, representa un material de baja densidad derivado de un polímero de estireno, que a su vez proviene de recursos petrolíferos y exhibe la característica de no ser biodegradable. La evolución de la historia del unicel se inicia en la década de 1930 con el descubrimiento del polietileno, lo que conduce al desarrollo de varias variantes, incluyendo el poliestireno expandido o EPS (por sus siglas en inglés expandable polystyrene) que se originó en 1949. En la actualidad, este material cuenta con múltiples aplicaciones en diversas industrias, tales como el embalaje

de materiales y equipos, el transporte y protección de alimentos, y la función de aislante térmico, entre otros usos. Se prevé que la producción anual total de EPS alcance las 10,066.1 kilo-toneladas para el año 2023. (Rodriguez, 2021)

El proceso de obtención del poliestireno expandido se inicia mediante la polimerización en suspensión de estireno, generando perlas como resultado. Estas perlas son posteriormente impregnadas con un agente expansor, que comúnmente es pentano, bajo condiciones de alta presión y temperatura. No obstante, es importante destacar que la impregnación también puede llevarse a cabo durante la etapa de polimerización. Durante la fase de pre-expansión, las perlas son sometidas a calentamiento mediante la introducción de vapor de agua, lo que produce un efecto dual. Este proceso conlleva al ablandamiento de las perlas debido a la expansión del pentano contenido en el interior de las perlas obtenidas. “Es un volumen realmente grande para tan poco material y necesita mucho más espacio debido a que está compuesto por 98% de aire y 2% de la materia prima” (Quintero, 2013)

El poliestireno expandido (EPS) es materia prima en la industria de la transformación de los artículos para el sector de la construcción, embalaje y envase, entre otras aplicaciones diversas, por sus características de aislante acústico, térmico, de inocuidad y por su baja absorción de agua. Su principal aplicación es la fabricación de envases y empaques tanto de uso permanente como de un solo uso. (Quintero, 2013)

El poliestireno expandido (EPS) es uno de los materiales que más ha contribuido al desarrollo industrial y económico, por su bajo costo y fácil producción, es ampliamente utilizado en el empaque y transporte de alimentos, pero es derivado del petróleo y muchos tipos de plástico, lo que hace que estos recursos sean cada vez más limitados, ya que no

son renovables, lo que a su vez provoca la contaminación del aire durante su fabricación y después del contacto con los residuos, porque provocan 2000 toneladas de dióxido de carbono, lo que equivale emisiones de gases efecto invernadero a la atmósfera (Ariel & Riesco, 2015).

El EPS es un material químicamente inerte y no biodegradable que se considera un material eterno y puede ser un problema ambiental si no se recicla. El EPS, por otro lado, tiene una vida muy corta porque se produce, se desecha y se retira rápidamente, luego los desechos se vertederos, donde el mayor problema es el volumen de desechos (98% aire). El EPS desechado en Colombia es parte del plástico número 13 que se desecha en rellenos sanitarios (300 toneladas de residuos diarios o 102.000 toneladas mensuales aprox.)

Por el contrario, aquellos residuos de EPS que no llegan a sus sitios de disposición final tienen efectos negativos en los ecosistemas, uno de los más afectados es el ecosistema marino, perturbando la vida de las especies acuáticas. El consumo de este material inerte por parte de estas especies afecta su sistema digestivo debido al bloqueo que provoca la ingestión de este material, además de los efectos biológicos que pueden tener por su capacidad de absorción de contaminantes que puede llevar EPS. (Ungvarsky, 2023)

3.2.6. Problemática ambiental asociada al EPS

La principal problemática de este producto de poliestireno y que se destaca en este proyecto es la fabricación de envases y contenedores de comida y bebidas de un solo uso. Esto debido a que el tiempo de vida útil se reduce a unos 40 minutos y es desechado. Por lo que es un material tan liviano pero muy voluminoso es difícil para los recicladores de oficio recoger este material y llevarlo a centros de aprovechamiento porque no es rentable y prefieren otros materiales como el PET y el papel. (Rodríguez & Montilla, 2021)

Conforme la espuma de poliestireno se descompone, libera compuestos químicos potencialmente perjudiciales para la vida silvestre y la salud humana. Existe un riesgo adicional de problemas de salud para las personas que consumen pescado que ha ingerido partículas de espuma. Pueden provocar problemas de reproducción y desarrollo, afectar el sistema inmunitario, interferir en los ciclos hormonales y causar cáncer. (Rodríguez & Montilla, 2021)

Las partículas de EPS pueden llegar a ríos y océanos, confundiendo como alimento a las especies de los ecosistemas, siendo ingerido y obstaculizando el tracto digestivo y/o respiratorio, causando en algunos casos asfixia y taponamiento del sistema digestivo, por lo que luego de unas semanas mueren de inanición. (Rodríguez & Montilla, 2021)

A pesar de que el reciclaje del EPS es una tarea desafiante, puesto que el material no es biodegradable, considerado como un material eterno, la acumulación de este residuo es un problema. Se estima que únicamente en Estados Unidos se utilizan anualmente veinticinco mil millones de tazas de café de poliestireno. En busca de una solución rentable y respetuosa con el medio ambiente, investigadores han explorado métodos para reciclar el poliestireno. (Ungvarsky, 2023)

Un químico de Virginia Tech ha descubierto que cuando el material se expone a la luz ultravioleta y se le agrega un catalizador químico, se origina un producto conocido como difenilmetano (DPM). El DPM tiene aplicaciones extremadamente valiosas en la industria farmacéutica y la fabricación de polímeros, y su valor en el mercado supera en diez veces el de otros productos fabricados a partir de poliestireno reciclado. (Ungvarsky, 2023)

3.2.7. Biodegradación de EPS

Los productos no biodegradables son productos que tardan mucho tiempo en descomponerse, incluido el plástico, que puede tardar cientos de años e incluso miles, causando daños durante el proceso de descomposición. “A pesar de que algunos de ellos son reciclables no basta, ya que para que se de ese proceso se necesita que el ser humano intervenga”. (Umaña Gallego, 2007)

Algunos estudios muestran que, durante la biodegradación, cuando el EPS se incubó con cepas de *Bacillus y Pseudomonas*, el material perdió alrededor del 2,5 % de su peso después de un año, mientras que no hubo diferencias significativas con el material no tratado. Otros estudios afirman "bacterias biodegradables del material EPS, pero trataron polímeros con ácido". Se observó otro patrón en la "degradación de EPS, que resultó en una pérdida de peso de 10-19 después de 1 año de uso de hongos". (Jeyakumar et al.,2013)

Por lo que, las posibilidades de biodegradar este material usando otros organismos se reduce a la presencia de enzimas y bacterias presentes en el tracto digestivo de los mismos.

3.2.8. *Tenebrio molitor*

La especie Tenebrio molitor es un insecto con características físicas: castaño oscuro; tamaño de aproximadamente 18mm de largo y 4mm de ancho; cuerpo compacto de bordes paralelos. Las larvas son cilíndricas, duras y con pequeñas patas torácicas. Normalmente, viven en harinas y subproductos de granos, también consumen restos de carne seca y cuero. A pesar de tener alas, estos insectos son poco voladores y muy

resistentes, lo que facilita su manipulación y a su vez la crianza para fines económicos. (Calderon & Ramos, 2017)

Clasificación taxonómica

Reino: Animalia

Filo: Arthropoda

Clase: Insecta

Orden: Coleoptera

Familia: Tenebrionidae

Género: Tenebrio

Especie: Molitor

Esta especie se conoce como el gusano de harina, se ha comprobado que es capaz de consumir y despolimerizar diferentes polímeros como el PET y el EPS y el PE. (Portocarrero, 2021)

3.2.9. *Periplaneta americana*

La *Periplaneta americana* es una especie de cucaracha que viene de América del Sur, Central y del Norte. Es grande, de color marrón rojizo y tiene un borde amarillo en la parte superior de su espalda. También tiene alas bien desarrolladas y puede volar cortas distancias. (PennState Extension, 2016)

Les gusta vivir en lugares cálidos y húmedos como la cocina, el baño, el sótano y las alcantarillas. Son muy resistentes y pueden sobrevivir sin comida durante un mes y sin

agua durante una semana. También pueden soportar temperaturas extremas y ciertos tipos de pesticidas.

La *Periplaneta americana* es omnívora, lo que significa que comen casi cualquier cosa, incluyendo restos de comida, papel, cartón, tejidos y cosas que se están descomponiendo. Además, son portadoras de bacterias y patógenos que pueden enfermar a las personas, como salmonelosis, gastroenteritis y asma (EUSEM, 2020).

Son consideradas una plaga en muchos lugares porque se reproducen rápidamente y transmiten enfermedades. Las hembras pueden poner hasta 50 huevos a la vez. Por eso es importante mantener limpios los espacios donde viven las personas y mantener la comida guardada adecuadamente (EUSEM, 2020).

Ootecas

Una ooteca es, básicamente, una especie de "nido" que contiene huevos y es creada por varios animales, especialmente moluscos e insectos. Esta masa de huevos suele ser bastante pequeña y tiene forma cuadrada, la recubre una proteína espumosa que se solidifica al entrar en contacto con el metano, formando una especie de capa protectora. Es como un paquete natural de huevos, construido con una mezcla de proteínas. (P. C.J. BRUNET, 1951, pág. 115)

Para la especie *Periplaneta americana,* las ootecas se definen de la siguiente manera como:

> Una estructura ovalada y semicilíndrica, que protege cada lote de huevos que se pone para asegurar la etapa final de la organogénesis de estos insectos. Se puede caracterizar geométricamente como una caja ovalada compuesta por dos válvulas

> con superficies externas convexas y superficies internas cóncavas, una línea de sutura que rodea las válvulas, una estructura de rieles dentados en forma de cremallera, segmentaciones adyacentes que son perpendiculares a la cremallera, dientes que constan de elementos pre y posdentales, hendiduras transversales, estructuras internas en forma de canales, y una cavidad interna. Observaciones detalladas llevan a concluir que la cremallera es una estructura dinámica similar a una cremallera que permite el intercambio con el entorno exterior a través de aberturas longitudinales internas. (Maya, Valiente, & O'Callaghan, 2002, pág. 244)

Las ootecas de la cucaracha americana contienen entre 14 y 16 huevos que eclosionan en 45-50 días. Una hembra puede producir unas 10 ootecas a lo largo de su vida. Esta especie se caracteriza porque las ninfas permanecen en el interior de la ooteca hasta su primera muda. El ciclo biológico de *Periplaneta americana* se desarrolla por completo en entre 200 a 400 días. (Anticimex, 2023)

3.2.10. Tasa de consumo

La Tasa de consumo TC se define como la cantidad de alimento consumido C en un periodo determinado t por individuo i.

$$TC = \frac{C}{t \cdot i}$$

3.2.11. Tasa de mortalidad

La Tasa de mortalidad se define como la proporción de fallecimientos que ocurren en una región específica, como un país, comunidad, provincia o municipio, en relación con su población total durante un tiempo determinado.

Estimar la tasa de mortalidad de una especie durante un período específico, generalmente implica: recopilar datos sobre el número total de individuos al principio y al final del período, esto se puede hacer mediante observación directa, estudios de campo, cámaras trampa u otros métodos de monitoreo; conocer cuántos individuos de la población murieron durante el período, el cual se puede obtener mediante observación directa, informes de campo, o cualquier otra fuente confiable de información.

Con la información recogida se puede calcular la tasa de mortalidad TM. Se resta el número total de individuos al final del periodo N_f del número total de individuos al inicio del periodo N_i para calcular el número de muertes D y el resultado se divide por el número total de individuos al inicio del periodo N_i y se multiplica por 100.

$$TM = \frac{D}{N_i} \cdot 100$$

Esto dará la tasa de mortalidad como un porcentaje del total de la población al inicio del período. Este método es bastante básico y asume que la población no experimenta crecimiento o disminución significativa debido a otros factores durante el período. Se puede aplicar para periodos cortos. (Morláns, 2004)

En términos generales, se considera que una región tiene una alta tasa de mortalidad si supera el 30 ‰, una tasa moderada si se encuentra entre el 15 y el 30 ‰, y una tasa baja si es inferior al 15 ‰.

Existe una relación inversa entre la esperanza de vida al nacer y la tasa de mortalidad, ya que a medida que la esperanza de vida al nacer aumenta en una población específica, la

tasa de mortalidad tiende a disminuir. (Fernandez, Hidalgo, Lecaros, Lecaros, & Morales, 2022)

3.3. Marco Legal

Norma	Descripción	Enfoque
Norma Técnica Colombiana 23, 2009	"Guía para la implementación de la gestión integral de residuos sólidos"	La presente guía técnica brinda las pautas para realizar la separación de los materiales que constituyen los residuos no peligrosos en las diferentes fuentes de generación: domestica, industrial, comercial, institucional y de servicios. Igualmente da orientación para facilitar la recolección selectiva en la fuente.
Decreto 1076, 2015	"Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario para el sector ambiente y Desarrollo Sostenible"	El enfoque de esta norma es formular una política nacional ambiental y de recursos naturales renovables donde se opten medidas por la recuperación, conservación, protección, ordenamiento y uso del territorio encaminado a garantizar desarrollo sostenible
CONPES 3874, 2016	"Política Nacional para la Gestión Integral de Residuos Sólidos"	Esta política busca adoptar medidas encaminadas hacia la prevención en la generación de residuos, la minimización de aquellos que van a sitios de disposición final y que promuevan la reutilización, aprovechamiento y tratamiento de residuos sólidos.

Resolución 1407, 2018	"Por lo cual se reglamenta la gestión ambiental de los residuos envases y empaques de papel, cartón, plástico, vidrio, metal y se toman otras determinaciones."	Reglamenta le gestión ambiental de residuos de envases y empaques, los productores tienen la obligación de formular, implementar y mantener actualizado un Plan de Gestión Ambiental.
Estrategia Nacional de Economía Circular, 2019	"El Plan Nacional de Desarrollo 2018 – 2022" Pacto por Colombia, Pacto por la Equidad", del Gobierno del presidente Iván Duque Márquez introduce con la Estrategia nacional de economía circular nuevos elementos para fortalecer el modelo de desarrollo económico, ambiental y social del país, a partir de la lógica de "producir conservando y conservar produciendo".	En línea con los fundamentos del desarrollo sostenible y tendencias internacionales, con la estrategia se promueve la eficiencia en el uso de materiales, agua y energía, teniendo en cuenta la capacidad de recuperación de los ecosistemas y el uso circular de los flujos de materiales. Esta estrategia es uno de los vehículos para cumplir con las metas del Crecimiento Verde de aumentar la tasa de reciclaje y nueva utilización de residuos sólidos a nivel nacional hasta el 17,9%, y de reducir los gases efecto invernadero en un 20% en el año 2030, en el marco del Acuerdo de París. (DNP, 2018)
Plan nacional para la gestión Sostenible de los plásticos de Un solo uso, 2021	"Para el año 2030, Colombia previene los impactos negativos causados por los residuos de plásticos y micro plásticos sobre todos los ecosistemas, incluyendo los marinos, porque realiza una gestión sostenible del plástico, con la participación de todas las partes interesadas,	Implementar la gestión sostenible del plástico, a partir de instrumentos y acciones en prevención, reducción, reutilización, aprovechamiento, consumo responsable, generación de nuevas oportunidades de negocio, encadenamientos, empleos y desarrollos tecnológicos, con el fin de proteger los recursos

	implementando el cierre de ciclos y la economía circular”	naturales y fomentar la competitividad.

Conclusiones	Resultados	Metodología	
El tratamiento EPS + sin sustrato + 100g de zanahoria fue el tratamiento más efectivo para biodegradar el material, con un 62% del peso inicial. El tratamiento más similar a un estudio de la universidad de Stanford solo obtuvo un porcentaje de 32% del peso inicial. En los resultados se observó que en los tratamientos donde se aportó una fuente de agua hubo mayor efectividad de biodegradación con respecto a los otros tratamientos, y en los que se les adicionó harina presentaron mayor biomasa. Por lo que, se concluye que el consumo de EPS no genera un impacto negativo en la supervivencia de los individuos, pero si afecta el aumento de biomasa, ya que la cantidad de energía que brinda el material es suficiente para mantener la larva con vida, al suministrar otro sustrato, la larva prefiere este en lugar del EPS, lo que resulta una disminución en la biodegradación. Dado que, el EPS retrasa el aumento de biomasa, aumenta la cantidad de material	El porcentaje de supervivencia fue del 100% durante los 30 días del experimento, sin embargo, algunas larvas de diferentes tratamientos cambiaron de estados larval a pupa e incluso a estado adulto lo cual implica disminución de la biomasa y la actividad metabólica. Algunas de las larvas solo consumían EPS como su fuente de energía, la cual influyó en la ganancia de biomasa, pero no hubo muerte por hambre. La alimentación de los individuos fue importante dado que influyó en el ciclo de vida de los individuos, haciéndolos ralentizar o acelerar su ciclo, este último usando el sustrato de salvado de trigo y zanahoria.	Se cultivó la especie en estado adulto (escarabajo) para obtener las larvas. Se distribuyeron las larvas en 18 cajas al azar. Se numeraron las cajas para llevar control de los individuos y sus condiciones. En los primeros 30 días al separar las larvas se realizó monitoreo registrando número de individuos muertos, individuos que pupen y cambios de humedad y temperatura. en algunas de las cajas se garantizó el suministro de agua por medio de zanahoria, y en las otras solo salvado y harina de trigo. Se realizaron cálculos estadísticos de la biomasa, número total de larvas y masa de los bloques de EPS.	**Artículo 1**
	Se presentó canibalismo en la especie debido a los parámetros de temperatura y humedad que se mantuvieron en las incubadoras, que fue diferente al antecedente. Por lo que, la especie tuvo que buscar una fuente de agua por este medio para mantener sus niveles de agua en el organismo. El porcentaje de eficiencia en el consumo de EPS fue mayor en el ensayo con la temperatura y humedad controlada en 25° y 80% respectivamente. Por lo cual, se destaca la importancia de mantener un ambiente adecuado para la incubación y ensayo de la especie.	Se usaron dos diferentes densidades de espumas de poliestireno (baja y alta densidad). Se usaron 40 larvas de la especie T. molitor para cada densidad de EPS, con 5 repeticiones y se realizó recopilación del consumo de EPS, producción de excreta y variación de biomasa. Para la crianza de las cepas se roció con un atomizador de agua para la hidratación de la especie, diariamente. Se pesaban cada 4 y 8 días los bloques de EPS para calcular el consumo. Se obtuvo la excreta por medio de un tamizado de los recipientes, durante 3 meses hasta obtener una muestra compuesta de cada tratamiento. Se pesaron grupos de gusanos de los dos tratamientos para obtener la variación de biomasa. En el laboratorio se hicieron pruebas de humedad, conductividad eléctrica y propiedades químicas (pH, MO, Nitrógeno total, Fósforo, Potasio). Este estudio realizó la recolección de datos por observación experimental.	**Artículo 2**

Conclusiones	Resultados	Metodología	
Se demostró en esta investigación que las larvas de Tenebrio molitor tienen la capacidad de consumir EPS y PEBD. El crecimiento de las larvas no se ve afectado por agregar plástico a su dieta, sin embargo, se evidenció un cambio de tamaño en algunos tratamientos y en otros, canibalismo. El EPS es el plástico más atractivo a las larvas, lo consumieron con más eficacia.	Se obtuvieron resultados a los 22 días, se utilizó el método estadístico llamado ANOVA MULTIFATORIAL el cual permite evaluar diferencias estadísticas. La mayor eficiencia se evidenció en la dieta combinada EPS más PEBD y en avenas más EPS. Se evidenció una baja eficiencia en tratamientos de dieta sola y combinada de PEBD. Se puede decir que el EPS es el plástico preferido por las larvas. En el estado larval no se observó muerte de larvas, se desarrollaron con normalidad en su estado larval hasta llegar a su estado de escarabajo negro.	Para la obtención de muestras se adquirieron 450 pies de crías de larvas en la ciudad de Quito. Las muestras de EPS, PEBD y avena se adquirieron en tiendas distribuidoras. El proyecto realizó cinco tratamientos diferentes con 16 larvas cada una: EPS, PEBD, Avena y EPS, Avena y PEBD, EPS y PEBD. Se pesaron las larvas al inicio y al final del proyecto. Se hicieron cálculos de supervivencia y consumo, con conteo inicial y final de individuos, y peso inicial y final del sustrato. Para el análisis se usó la prueba de LSD de Fisher para determinar la eficiencia de consumo en los diferentes tipos de sustrato. Todo el proceso se mantuvo a una temperatura promedio de 28° a 32°.	Artículo 3
La producción de abono como producto final es favorable con el consumo de EPS. Se obtuvo un abono con N, P y K, en combinación con factores como el canibalismo, residuos de piel, cambio de fase y condiciones ambientales. La eficiencia en degradación de EPS de densidad D10 es de 12,20% y para EPS D40 es de 2,60%. Son porcentajes muy bajos a los esperados, por lo que no son aceptables para llevarse a gran escala.	Se observaron comportamientos normales en la especie a pesar de incluir el EPS. Sin embargo, el consumo fue mucho menor que el que se obtuvo en la investigación de Yang, en la cual se basó este estudio. Estas diferencias se presentan debido a que no se tuvieron condiciones ambientales controladas. Las larvas consumieron el sustrato y se evidencia que hubo degradación del plástico, pero la mayor eficiencia fue para el sustrato que contenía el EPS de densidad D10, siendo preferido por las larvas. La humedad no se mantuvo constante por lo que hubo canibalismo entre los individuos.	Se tomó espuma de poliestireno de dos distintas densidades. Se usaron 40 larvas de Tenebrio molitor en recipientes de plástico para las diferentes densidades de poliestireno. A diario se usó un atomizador de agua para la hidratación de la especie. Se pesaron los bloques de EPS antes, después de 4 días y luego a los 8 días. Se repitió para las dos densidades de EPS. Se recolectaron las excretas y se pesaron en una balanza analítica. Se pesaron por gropos los gusanos para conocer su biomasa antes y después del proceso. Este proceso se repitió durante 3 meses.	Artículo 4

5. Metodología

5.1. Materiales y equipos

- Cajas plásticas con tapa: 2 contenedores plásticos de 35x25x12, se utilizaron como celdas de contención para la especie, donde se llevó a cabo el experimento con la *Periplaneta americana.*
- Hueveras recicladas: 84 cajas de huevos se utilizaron como área de contacto directo con la especie ya que son atractivos los lugares donde puedan trepar, mantener fuera de la luz y poner las ootecas.
- Termohigrómetro: con este equipo se midió la temperatura y la humedad del ambiente durante los dos meses que se llevó a cabo la contención de la especie.
- Tubos de PVC: se utilizaron como conducto entre celdas, por medio de ellos, la especie cruzó a la celda limpia sin ningún tipo de contacto.
- Bascula digital: se utilizó para estimar la masa de la materia orgánica y el EPS antes y después de introducirla en la celda.

5.2. FASE I: diagnóstico

Se realizo una búsqueda del estado del arte de otro organismo el cual tuviera la capacidad de realizar biodegradación de EPS a través de la ingesta de este material. Se seleccionó la especie *Tenebrio molitor*, debido a que presenta resultados favorables en múltiples investigaciones científicas de los cuales se destacan:

a) Biodegradación del EPS en un +60%
b) Resistencia al material, lo que representa bajas tasas de mortalidad acompañado de una alimentación adecuada
c) Reproducción estable

5.3. FASE II: preparación de celdas

Para la preparación de las celdas, se compraron los materiales necesarios para la contención de la especie y la recolección de información necesaria para el proyecto presentados en la sección 5.1. materiales y equipos.

Con estos materiales, se dispuso a preparar las celdas de la siguiente manera:

i. Se abrió un orificio para el tubo de PVC de 1” en cada una de las cajas, para un total de 3 cajas.
ii. Se cortaron los tubos con una medida de 20cm, esto con el fin de que funcionara como camino para trasladar los individuos de una celda a otra.
iii. Se introdujeron los tubos en los orificios y se puso un tapón en la salida del tubo.
iv. Se aplicó vaselina en los bordes superiores de las cajas plásticas para evitar el escape de los individuos al momento de observar y/o alimentar.
v. Se cortaron las hueveras con las medidas de la caja para que no entraran a presión. Fueron 3 para cada celda limpia, y se prepararon las demás para las limpiezas futuras.
vi. Las celdas se cubrieron con una bolsa plástica negra para hacer el ambiente más adecuado para los individuos limitando el ingreso de luz y haciendo el ambiente más húmedo.

5.4. FASE III: implementación de la especie

Para esta fase, se realizó la captura de los individuos, ya que esta especie no se cultiva en ningún insectario. Por lo que, se tuvo que buscar los individuos en alcantarillas y puntos críticos.

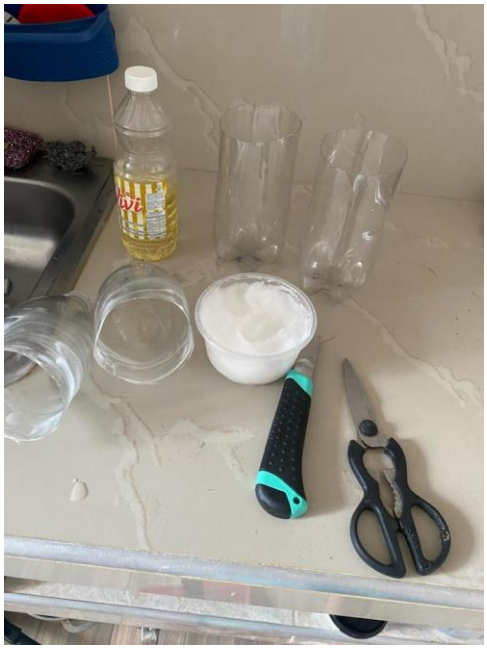
La captura de la especie se intentó de dos maneras:

A. Colecta indirecta: trampas

i. Se fabricaron trampas artesanales esperando que los individuos ingresaran por la comida. Se cortaron botellas PET de gaseosa 1.5 L, para disminuir el largo de la botella.

Ilustración 1

Trampas artesanales



Nota. Trampas artesanales para colecta indirecta de la especie.

ii. Se introdujeron alimentos atractivos para los individuos, tales como: fruta, productos procesados azucarados y carne.

Ilustración 2

Alimentos en la trampa

Nota. Se introdujeron al fondo de la botella alimentos atractivos para la especie.

iii. Se puso vaselina en la entrada de la botella para evitar la fuga de los individuos capturados y se unieron las dos partes de las botellas.

Ilustración 3

Colecta indirecta

Nota. Intento de la colecta indirecta de la especie en alcantarilla abierta en la ciudad de Ibagué, Tolima, Colombia.

iv. Se ubicaron en un lugar estratégico para la posible captura de los individuos, una alcantarilla abierta en la ciudad de Ibagué, Tolima, Colombia.

No se obtuvo ningún individuo usando este método.

B. <u>Colecta directa: manual</u>

Para este método se usaron 2 botellas de vidrio con tapa de rosca, alcohol, linterna y se realizó la captura por dos personas.

Se hizo búsqueda de los individuos en la alcantarilla abierta mencionada en la descripción del método de la colecta indirecta, en horas de la noche, ya que son insectos nocturnos. Al ver el individuo se señaló con la linterna y la otra persona la tomaba con la mano, presionando con los dedos y la mano hacia el piso para evitar que escapara. Al tenerlo, se cerraba la mano

suavemente y luego se introdujo uno por uno cada individuo en las botellas de vidrio con tapa para evitar que escaparan.

Se realizaron dos jornadas de colecta, consiguiendo exitosamente 29 individuos. Se distribuyeron al momento de ser capturados, 15 individuos y 14 individuos, respectivamente en cada botella.

Al tenerlos capturados, se llevaron a las celdas, se introdujo la materia orgánica y se taparon las celdas. Se inició la adaptación de los individuos para esperar la primera muda, limpiar la celda e iniciar con la investigación al introducir el EPS.

Ilustración 4

Introducción de la especie a las celdas

Nota. Introducción de la especie *Periplaneta americana* en las celdas para acondicionamiento durante 2 semanas, se alimentaron con residuos orgánicos.

Cabe resaltar lo difícil de este método, ya que son insectos rechazados socialmente por ser vectores y consumir residuos en descomposición. Además, son insectos muy escurridizos y

rápidos, no salen durante la luz del día y huyen al mínimo contacto. Sin embargo, se tuvo éxito al capturar los individuos, se pueden encontrar fácilmente en lugares como alcantarillas o puntos críticos en la noche, y son más frecuentes en climas cálidos y húmedos.

5.5. FASE IV: observación y análisis

La adaptación de los individuos fue de 2 semanas a partir de la introducción a las celdas.

Pasadas las dos semanas, se asignaron las celdas “materia orgánica”, en adelante **CELDA 1**, y “materia orgánica + EPS”, en adelante **CELDA 2**. Se limpiaron las celdas, alternando con una tercera celda para trasladar los individuos a una celda limpia, limpiar la sucia y posteriormente, limpiar la otra celda.

Ilustración 5

Celdas acondicionadas y con la especie

Nota. Celdas separadas con la especie en proceso de adaptación durante 2 semanas alimentadas únicamente con residuos orgánicos.

Seguidamente, se introdujo el alimento a cada una y el EPS sólo a una de ellas. El EPS se embadurnó con aceite de cocina para hacerlo más atractivo para los individuos. Los alimentos y el EPS se pesaron previamente para tener registro de cuanto alimento y EPS consumieron durante los 7 días. Este proceso se realizó usando la báscula digital en medidas de miligramos. Estos valores se registraron en una tabla junto a una casilla para poner el registro del peso posterior a la limpieza.

Ilustración 6

Control de masa de alimentos a introducir

Nota. Con la balanza digital se tomó registro de los alimentos y el EPS a ingresar y retirar para cada una de las celdas.

Se modifico la fecha de limpieza y análisis del proceso de degradación debido a que se observó baja suciedad. Por lo que, se continuaron haciendo limpiezas y monitoreo cada 7 días calendario.

La limpieza y registro de las celdas se realizó de la siguiente manera:

i. Se preparaba la celda limpia. Se aplicaba vaselina a los bordes superiores y se ubicaban dentro las 3 hueveras cortadas al tamaño de la caja. Luego se ubicaba la comida contigua al ingreso del orificio para introducir el tubo de PVC.

ii. Se quitaba el tapón del tubo de PVC de la celda a limpiar. Se introducía el tubo a la otra celda. Se retiraba el alimento descompuesto de la celda sucia y se introducía alimento fresco a la celda limpia, se pesaba cada uno y se tomó registro del alimento de entrada y el alimento de salida.

iii. Se esperaba aproximadamente 3 horas para que todos los individuos abandonaran la celda sucia e ingresaran a la celda limpia. Para acelerar el proceso, se retiraba la bolsa que cubría la celda habitada, para que ingresara luz y se ponía la bolsa a la celda limpia, atrayendo así a los individuos. Durante esta etapa se realizó un conteo de individuos vivos, muertos y ootecas.

iv. Se observaron las heces y las ootecas. Se trasladaron las ootecas a la celda limpia con la mano, teniendo mucho cuidado de no dañarlas. Se botaron las hueveras sucias y se lavó la caja con agua y jabón desinfectante. Se dejaba escurrir y quedaba lista para el siguiente uso.

De esta forma, se observó la adaptación de la especie, como se alimentaron y reprodujeron durante el tiempo que se tuvieron inclaustradas.

5.6. FASE V: elaboración de conclusiones y recomendaciones

Al concluir los dos meses de tener los individuos en las celdas, observar su comportamiento y registrar la degradación de materia orgánica y EPS, se realizaron las conclusiones del proyecto, dando así respuesta a los objetivos planteados y dando recomendaciones para una

posterior investigación de la biodegradación de EPS por parte de la especie *Periplaneta americana*.

6. Resultados

La investigación se llevó a cabo en la ciudad de Ibagué, Tolima, Colombia.

A partir de la implementación de la especie se dieron 2 semanas para la adaptación de esta, tiempo en el cual, solo se alimentaron de residuos orgánicos como fruta y arroz.

Pasadas las 2 primeras semanas de adaptación, se procedió a limpiar las celdas y a disponer los individuos en una celda completamente limpia. Se agregó en la celda 1 materia orgánica y en la celda 2 materia orgánica + EPS. Se hizo un registro semanal de 4 parámetros: cantidad de individuos, ootecas, materia orgánica consumida y EPS consumido. Estos dos últimos parámetros se calcularon con un balance de masa, por lo que se pesaron antes de ingresar los alimentos y después cuando se hacía limpieza de la celda, la diferencia (=antes – después) es la cantidad documentada en las tablas de registro.

Tabla 1

Registro de supervivencia y alimentación semana 1-4

Semana	Parámetro	Celda 1	Celda 2
1	Cantidad de individuos	14	15
	Cantidad de ootecas	1	1
	Materia orgánica consumida (mg)	5,85	5,1
	Poliestireno expandido consumido(mg)	-	0,83
2	Cantidad de individuos	13	10
	Cantidad de ootecas	2	1
	Materia orgánica (mg)	5,08	4,7
	Poliestireno Expandido (mg)	-	0,67

3	Cantidad de individuos	13	8
	Cantidad de ootecas	2	1
	Materia orgánica (mg)	5,2	4,3
	Poliestireno Expandido (mg)	-	0,55
4	Cantidad de individuos	12	7
	Cantidad de ootecas	2	2
	Materia orgánica (mg)	4,92	4,1
	Poliestireno Expandido (mg)	-	0,50

Nota. Registro de la cantidad de alimento consumido durante las semanas 1-4 y conteo de individuos para estimar la mortalidad.

Durante las primeras cuatro semanas de iniciado el experimento, se observaron pérdidas de individuos en ambas celdas, sin embargo, se evidencia que fue mayor el número de pérdidas en la celda 2, la cual se añadió como alimento el EPS. A pesar de las pérdidas, al llevar el control de la masa de los alimentos, se puede ver que la especie también consume el EPS. En las heces que quedaban en las celdas, se ven muy similares entre la celda 1 y la celda 2, lo que da un indicio de que la especie es capaz de biodegradar el EPS ya que no se ven partículas blancas en las mismas.

Tabla 2

Registro de supervivencia y alimentación semana 5-8

Semana	Parámetro	Celda 1	Celda 2
5	Cantidad de individuos	11	6
	Cantidad de ootecas	3	3
	Materia orgánica consumida (mg)	4,78	4,33
	Poliestireno expandido consumido(mg)	-	0,48
6	Cantidad de individuos	11	6
	Cantidad de ootecas	3	3
	Materia orgánica (mg)	4,65	4,12

	Poliestireno Expandido (mg)	-	0,51
7	Cantidad de individuos	11	6
	Cantidad de ootecas	3	3
	Materia orgánica (mg)	4,58	4,16
	Poliestireno Expandido (mg)	-	0,68
8	Cantidad de individuos	16	6
	Cantidad de ootecas	2	3
	Materia orgánica (mg)	4,87	4,08
	Poliestireno Expandido (mg)	-	0,47

Nota. Registro de la cantidad de alimento consumido durante las semanas 5-8 y conteo de individuos para estimar la mortalidad.

Durante la semana 5-8 se puede observar que la pérdida de individuos se ha reducido, lo que sugiere una adaptación por parte de la especie al nuevo ambiente y a su alimentación, en la celda 1 y la celda 2. Las ootecas puestas por los individuos son similares en ambos casos, su reproducción puede seguir estable aún con el EPS como alimento, aunque para la celda 1, la primer ooteca fue eclosionada antes de la celda 2. Sin embargo, se deben tener en cuenta otros factores como las condiciones a la que estaba la especie antes de ser capturada y su ciclo de vida, puesto que puede haber individuos adultos o jóvenes sin tenerlo en cuenta. Por lo que, es importante obtener estos individuos y cultivarlos durante un tiempo para que se tenga un control de su ciclo de vida y que estén en óptimas condiciones al momento de implementar el EPS, esto con el fin de mejorar el experimento y que se puedan observar mejores resultados.

Durante los 2 meses se tuvo un monitoreo de humedad y temperatura del ambiente. Para el monitoreo se utilizó el termohigrómetro, el cual brindó en tiempo real la temperatura y la humedad que presentaban las celdas. La sonda se ubicó dentro de las celdas para conocer las

condiciones allí dentro. Se realizó un promedio de la temperatura y la humedad durante los dos meses de la implementación de la especie, dando como resultado una temperatura y humedad promedio de 27°C y 60% respectivamente.

La tasa de consumo durante los dos meses que se tuvo la especie en las celdas se calculó usando los datos registrados en la Tabla 1 y la Tabla 2. Se calculó para cada celda y para el tipo de alimento semanalmente. Luego, se realizó un promedio para establecer una tasa de consumo representativa en el periodo de 2 meses.

TC para la celda 1:

Semana 1

C =5,85 mg

$t = 1\ semana$

$i = 14\ individuos$

$$TC = \frac{5{,}85\ [mg]}{1\ [sem] \cdot 14\ [ind]} = 0{,}418\left[\frac{mg}{sem \cdot ind}\right]$$

De la misma forma, se calcularon las TC para cada celda semanalmente.

Tasa de consumo semana 1-8

Semana	Tasa de consumo	Celda 1	Celda 2
1	Materia orgánica (mg/sem·ind)	0,42	0,34
	Poliestireno expandido (mg/sem·ind)	-	0,06
2	Materia orgánica (mg/sem·ind)	0,39	0,47
	Poliestireno expandido (mg/sem·ind)	-	0,07
3	Materia orgánica (mg/sem·ind)	0,40	0,54
	Poliestireno expandido (mg/sem·ind)	-	0,07

4	Materia orgánica (mg/sem·ind)	0,41	0,59
	Poliestireno expandido (mg/sem·ind)	-	0,07
5	Materia orgánica (mg/sem·ind)	0,43	0,72
	Poliestireno expandido (mg/sem·ind)	-	0,08
6	Materia orgánica (mg/sem·ind)	0,42	0,69
	Poliestireno expandido (mg/sem·ind)	-	0,09
7	Materia orgánica (mg/sem·ind)	0,42	0,69
	Poliestireno expandido (mg/sem·ind)	-	0,11
8	Materia orgánica (mg/sem·ind)	0,30	0,68
	Poliestireno expandido (mg/sem·ind)	-	0,08

Nota. Tasa de consumo para la celda 1 y 2 para cada semana.

Luego, se calculó el promedio para cada celda diferenciando materia orgánica y EPS.

Para la celda 1, la tasa de consumo promedio de materia orgánica $\overline{TC}_1$:

$$\overline{TC}_1 = 0{,}40 \left[\frac{mg}{sem \cdot ind}\right]$$

Para la celda 2, la tasa de consumo promedio de materia orgánica $\overline{TC}_2$:

$$\overline{TC}_2 = 0{,}59 \left[\frac{mg}{sem \cdot ind}\right]$$

Para EPS $\overline{TC}_{EPS\,2}$:

$$\overline{TC}_{EPS\,2} = 0{,}08 \left[\frac{mg}{sem \cdot ind}\right]$$

La tasa de mortalidad durante los dos meses que se tuvo a la especie en las celdas se calculó usando los datos registrados en la Tabla 1 y la Tabla 2. Se realizó un cálculo de la tasa de mortalidad para cada celda, que permitió ser más objetivo en la formulación de las conclusiones, para ver el impacto que tuvo el EPS en la especie.

La ecuación para el cálculo de la tasa de mortalidad se tomó del marco de referencia. Se hizo un cálculo de TM para cada celda con el fin de comparar la tasa y observar si hay diferencia al implementar el EPS como alimento.

TM para la celda 1:

$D\ defunciones = 3$

$N_i = 14$

$$TM_1 = \frac{3}{14} \cdot 100$$

$$TM_1 = 21{,}43\%$$

TM para la celda 2:

$D\ defunciones = 9$

$N_i = 15$

$$TM_2 = \frac{9}{15} \cdot 100$$

$$TM_2 = 60\%$$

Con los resultados, se evidencia que la celda 1, que se mantuvo únicamente con materia orgánica, consume una cantidad promedio de 0,40 [mg/sem·ind], pero por su baja tasa de mortalidad da una viabilidad más alta, además que las ootecas eclosionaron primero y se ve un crecimiento mayor de la población en el mismo periodo.

En el caso de la celda 2, el consumo de materia orgánica fue 0,59 [mg/sem·ind], lo que se cree que es mayor debido al consumo de EPS y la posible deshidratación que puede causar la despolimerización del material. El consumo de EPS fue de 0,08 [mg/sem·ind], lo cual, no es

poco, considerando que la especie se reproduce rápidamente y las ootecas depositadas contienen una cantidad de hasta 16 huevos.

7. Conclusiones

- La especie *Tenebrio molitor*, efectivamente, tiene la capacidad de biodegradar el EPS. La investigación de los artículos en que se evidencia el proceso da una idea más estructurada de como debe realizarse el tratamiento y que condiciones climáticas se deben garantizar para mantener el ambiente optimo para el crecimiento de la especie.
- Para la biodegradación del EPS con *Tenebrio molitor*, se debe tener en cuenta que sólo se puede usar la especie en su fase larvaria, por lo que, cuando sigue su proceso de crecimiento y llega a su fase adulta como escarabajo se debe apartar. Solo se puede implementar la especie en su fase larvaria ya que en esta fase es donde presentan de forma optima su papel como descomponedores.
- El consumo de la Periplaneta americana de EPS fue de 0,08 [mg/sem·ind], un resultado favorable por la razón de que la especie si consume el material, que era un misterio. Se cree que, implementándose a una escala más grande, la especie logre adaptarse al EPS, para que lo consuman normalmente y su reproducción se asemeje a la celda 1.
- La *Periplaneta americana* es capaz de consumir el EPS y sobrevivir, sin embargo, se ven afectados por el polímero durante su adaptación, ya que se perdió el 60% de la población inicial y, a diferencia de la celda 1 que sólo perdió el 23% de la población inicial, las ootecas depositadas no eclosionaron, por lo que la población no aumentó para el final del experimento.

8. Recomendaciones

- Se sugiere tener control de humedad del ambiente de las celdas en el que se mantenga una humedad estable del 70-80% para que los insectos tengan la hidratación suficiente. No se ha comprobado si esto funciona con la *Periplaneta americana,* pero se sugiere ya que en los estudios de la especie *Tenebrio molitor* la humedad es un parámetro importante para la vida de las larvas y es positivo para su alimentación.
- Se recomienda adaptar un espacio más adecuado para la especie con una mejor oxigenación, pero al mismo tiempo manteniendo poco ingreso de luz, esto pretende mejorar la calidad de vida de la especie *Periplaneta americana*, se sugiere cubrir las celdas con un lienzo que permita el ingreso de oxígeno pero que al mismo tiempo funcione como una barrera para la salida de los insectos por los orificios de ventilación. Para mejorar la oxigenación se sugiere tener más orificios de ventilación o de un mayor tamaño con el fin de asegurar un ingreso y salida adecuado de aire.
- Se recomienda que el alimento orgánico se cambie cada 3 días para evitar la descomposición y pérdida de humedad de este y esto altere los resultados obtenidos en el experimento para el consumo total de materia orgánica durante la semana. Esto implica cambiar en la metodología los días de cambio de alimento y el pesaje de este antes y después de estar en la celda.
- Se aconseja realizar una modificación a la metodología y extender el tiempo del proyecto a 8 meses en los cuales se pueda observar por completo la reproducción de la especie. En la metodología se aconseja llevar una transición en la celda 2 (materia orgánica y EPS) de la implementación del EPS como alimento, se considera que la especie se puede adaptar a su consumo cotidiano, pero sería más seguro hacer con polímeros más simples y que no

sean tóxicos como el Tereftalato de polietileno PET y el Polietileno e ir implementando paulatinamente el EPS embadurnado con aceite de cocina o crema dulce para hacerlo más atractivo para la especie.

- Para una investigación más técnica, se sugiere realizar una prueba de identificación de polímeros en las heces de la especie, con el fin de determinar si hay presencia del polímero después de cruzar el tracto digestivo.

9. Bibliografía

Anticimex. (2023). *LOS HUEVOS DE LAS CUCARACHAS*. Obtenido de https://www.anticimex.es/cucarachas/huevos/

Barrera, G. (2016). *Caracterización de las propiedades mécanicas y térnicas de muestras de EPS pos consumo, utilizadas en la industria de alimentos y sometidas a un proceso de recuperación.* . Obtenido de Universidad nacional de Colombia: https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/55471/ginapaolabarreracastro.2016

Bastioli, C. (2014). *Handbook of Biodegradable Polymers (Vol. Second edition).* Shropshire, Inglaterra: Smithers Rapra.

Calderon, L., & Ramos, B. (26 de Julio de 2017). *Diseño experimental a pequeña escala de un sistema de biodegradación de poliestireno generado en el Área de Educación y Recreación del Parque Recreativo y Zoologico Piscilago mediante la utilización de larvas de Tenebrio molitor.* Obtenido de Universidad de Cundinamarca: https://repositorio.ucundinamarca.edu.co/bitstream/handle/20.500.12558/4067/Dise%c3%b1o%20experimental%20a%20peque%c3%b1a%20escala%20de%20un%20sistema%20de%20biodegradaci%c3%b3n%20de%20poliestireno%20generado%20en%20el%20%c3%a1rea%20de%20educaci%c3%b3n%20

Castañeta, G., Gutierrez, A., Nacaratte, F., & Manzano, C. (30 de Agosto de 2020). *MICROPLÁSTICOS: UN CONTAMINANTE QUE CRECE EN TODAS LAS ESFERAS AMBIENTALES, SUS CARACTERÍSTICAS Y POSIBLES RIESGOS PARA LA SALUD PÚBLICA POR EXPOSICIÓN.* Obtenido de Revista Boliviana de Química, vol. 37, núm. 3, pp. 160-175: https://www.redalyc.org/journal/4263/426365043004/html/

Chem, J. (12 de Noviembre de 2021). *Managing Plastic Waste─Sorting, Recycling, Disposal, and Product Redesign*. Obtenido de https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.1c05013

CONPES 3874. (21 de Noviembre de 2016). *Departamento nacionl de planeación.* Obtenido de Documento CONPES: https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3874.pdf

Decreto 1713. (6 de Agosto de 2002). *Por el cual se reglamenta la Ley 142 de 1994, la Ley 632de 2000 y la Ley 689 de 2001, en relación con la prestación del servicio público de aseo, y el Decreto Ley 2811 de 1974 y la Ley 99 de 1994 en relación con la Gestión Integral de Residuos Sólidos.* Colombia: Presidencia de la República de Colombia.

Fernandez, S., Hidalgo, M., Lecaros, F., Lecaros, S. E., & Morales, P. (2022). Descripcón de la tasa de mortalidad por osteomielitis según variables demográficas durante el periodo del 2016-2020 en Chile. *Revista Anacem vol. 16 N°1,* 49-53.

Fundación AQUAE. (5 de Octubre de 2023). *Clasificación de los tipos de plásticos y su reciclaje*. Obtenido de https://www.fundacionaquae.org/wiki/tipos-de-plasticos/

Gallardo, L., Franceschini, M., Poi, A., & De Wysiecki, M. (Enero de 2015). *Biomasa de Cornops aquaticum (Orthoptera: Acrididae) en humedales del nordeste de Argentina.* Obtenido de Revista de Biología Tropical Vol 63: https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442015000100010

Hutchinson, J. (2023). *Plastic recycling.* Obtenido de Salem Press Encyclopedia of Science.

IDEAM. (2015). *CLIMA.* Obtenido de Condiciones climáticas: http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/clima

Márquez, J. (2005). Técnicas de colecta y preservación de insectos. *Boletín Sociedad Entomológica Aragonesa N° 37*, 385-408.

Maya, J., Valiente, E., & O'Callaghan, J. (2002). Study of ultrastructural details of the ootheca of Periplaneta americana (Dictyoptera: Blattidae) using scanning electron microscopy. *Interciencia Vol 27* , 243-246.

Morláns, M. (2004). *Introducción a la ecología de poblaciones.* Obtenido de Universidad Veracruzana: https://www.uv.mx/personal/tcarmona/files/2010/08/Morlans-2004.pdf

Ochoa, M. (2016). *Gestión integral de residuos: análisis normativo y herramientas para su implementación.* Bogotá: Universidad del Rosario.

P. C.J. BRUNET. (1951). The Formation of the Ootheca by Periplaneta americana: I. The Micro-anatomy and Histology of the posterior part of the Abdomen. *Journal of Cell Science*, 113-127.

Parlamento Europeo. (2 de Diciembre de 2015). *Economía circular: definición, importancia y beneficios.* Obtenido de https://www.europarl.europa.eu/news/es/headlines/economy/20151201STO05603/economia-circular-definicion-importancia-y-beneficios

Portocarrero, F. (2021). *BIODEGRADACIÓN DE POLIESTIRENO CON TENEBRIO MOLITOR PARA LA SOSTENIBILIDAD DE EMPRESAS.* Obtenido de Repositorio Universidad Peruana Cayetano Heredia: https://repositorio.upch.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12866/9025/Biodegradacion_PortocarreroEstrada_Franco.pdf?sequence=1&isAllowed=y

PUND. (2015). *Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo*. Obtenido de Los ODS en acción: https://www.undp.org/es/sustainable-development-goals

Quintero, C. (2013). *Reciclaje termo-mecánico del poliestireno expandido (ICOPOR), como una estrategia de mitigación de su impacto ambiental en rellenos sanitarios.* Obtenido de https://www.academia.edu/35634303/Reciclaje_termo_mec%C3%A1nico_del_poliestire

RAE. (2023). *Sustrato*. Obtenido de Real academia española: https://dle.rae.es/sustrato

Rodriguez, A. (2021). Poliestireno expandido: un estudio bibliométrico para comparar sus avances e investigaciones en los idiomas español e inglés. *Revista de La Alta Tecnología y Sociedad vol 13*, 62–68.

Rodríguez, H., & Montilla, E. (2021). *Universidad libre seccional Cali.* Obtenido de Icopor, asesino silencioso de la vida : https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/19206/Icopor%20asesino%20silencioso%20de%20la%20vida.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Ungvarsky, J. (2023). Polyestirene. *Salem Press Encyclopedia of Science*, 3-5. Obtenido de Salem Press En.