

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACIA

The seal of the University of San Carlos of Guatemala is a circular emblem. It features a central shield with a blue background, depicting a figure holding a cross. Above the shield are two golden castles. The shield is flanked by two golden pillars. The entire emblem is set against a light blue background with a green base. The Latin motto "CETERA SVB BIS CONSPICUA CAROLINA ACADEMIA COACTEMALENSIS INTER" is inscribed around the perimeter of the seal.

**ESTUDIO ESPECTROSCÓPICO Y DE BIODEGRADABILIDAD POR SUELO  
SIMULADO Y AGRÍCOLA DE PLÁSTICOS DE UN SOLO USO  
COMERCIALIZADOS EN EL CAMPUS CENTRAL DE LA UNIVERSIDAD DE  
SAN CARLOS DE GUATEMALA.**

INFORME DE INVESTIGACIÓN

Presentado por

Br. Lucy Aracely Palacios Surqué  
Estudiante de la carrera de Química

Guatemala, agosto 2021.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACIA

The seal of the University of San Carlos of Guatemala is a circular emblem. It features a central figure of a man in a white robe, likely a saint or scholar, standing on a green hill. Above him are two golden crowns and a shield. The background is blue with white clouds. The Latin motto "CETERA SVB BIS CONSPICUA CAROLINA ACADEMIA COACTEMALENSIS INTER" is inscribed around the perimeter of the seal.

**ESTUDIO ESPECTROSCÓPICO Y DE BIODEGRADABILIDAD POR SUELO  
SIMULADO Y AGRÍCOLA DE PLÁSTICOS DE UN SOLO USO  
COMERCIALIZADOS EN EL CAMPUS CENTRAL DE LA UNIVERSIDAD DE  
SAN CARLOS DE GUATEMALA.**

INFORME DE INVESTIGACIÓN

Presentado por

Lucy Aracely Palacios Surqué

Para optar al título de

Química

Guatemala, agosto 2021.

## JUNTA DIRECTIVA

M.A Pablo Ernesto Oliva Soto	Decano
Licda. Miriam Roxana Marroquín Leiva	Secretaria
Dr. Juan Francisco Pérez Sabino	Vocal I
Dr. Roberto Enrique Flores Arzú	Vocal II
Lic. Carlos Manuel Maldonado Aguilera	Vocal III
Br. Carmen Amalia Rodríguez Ortíz	Vocal IV
Br. Paola Margarita Gaitán Valladares	Vocal V

## DEDICATORIA

A MIS PADRES, simplemente Gracias, soy gracias a ustedes.

A MIS HERMANOS, por ser mis mayores admiradores.

## AGRADECIMIENTOS

A Dios, por el Talento Brindado.

A MIS AMIGOS: Silvia, Diana, Rocío, Rene, Alvaro, Sergio, Pancho, Pablo, David, Jonathan, gracias por darme su amistad en este recorrido.

Al Lic. Rodrigo Wolford por el apoyo y la inclusión hacia este proyecto.

A la Escuela de Química y a la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, por la formación brindada, especialmente a los Licenciados que mostraron su apoyo durante mi carrera; Licda. Diana, Licda, Paty, Licda. Ingrid, Licda. Nora, Lic. Mario.

## INDICE

1. AMBITO DE INVESTIGACIÓN.....	8
2. RESUMEN.....	9
3. ANTECEDENTES.....	10
3.1. Definición de Plástico .....	10
3.2. Tipos de plásticos comunes.....	10
3.3. Uso de plástico como empaque de comida .....	11
3.4. Definición de plástico o polímero biodegradable .....	11
3.5. Biodegradabilidad de Plásticos .....	12
3.6. Compostabilidad de Plásticos.....	13
3.7. Prueba de compostabilidad para plásticos.....	14
3.8. Definición de suelo y suelo agrícola .....	15
3.9. Uso de suelo para biodegradación de plástico. ....	15
3.10. Legislación de plástico de un solo uso en Guatemala .....	16
3.11. Política de plástico de un solo uso en la Universidad de San Carlos de Guatemala.....	17
3.12. Estudios Previos en Guatemala .....	18
4. JUSTIFICACIÓN.....	20
5. OBJETIVOS.....	21
<b>5.1. Objetivo General</b> .....	21
<b>5.2. Objetivos Específicos</b> .....	21
6. HIPÓTESIS.....	21
7. MATERIALES Y MÉTODOS .....	22
7.1. Muestreo de Plástico dentro del campus central de la universidad.....	22
7.2. Preparación de suelo simulado.....	22
7.3. Caracterización por FTIR de utensilios plásticos.....	23
7.4. Pruebas de Biodegradabilidad.....	23
7.5. Prueba de compostabilidad por liberación de CO <sub>2</sub> .....	24
7.6. Análisis Estadístico .....	27
8. AVAL DEL GRUPO DE INVESTIGACIÓN .....	28

9. RESULTADOS.....	29
10. DISCUSION DE RESULTADOS .....	31
10.1.    Ensayo en Campo en suelo Agrícola y Suelo simulado .....	31
10.2.    Caracterización por FTIR de los plásticos de un solo uso:.....	32
10.3.    Biodegradación por Compostabilidad .....	33
11. CONCLUSIONES .....	34
12. RECOMENDACIONES .....	35
13. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	36
14. ANEXOS.....	40

#### INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Porcentajes Promedios de Perdida de masas de muestras en suelo simulado y agrícola, y resultados de Análisis FTIR.....	29-30
Tabla 2. Porcentaje de biodegradación de muestras positivas según pérdida de masa. ....	30

#### INDICE DE CUADROS

Cuadro No.1. Métodos de pruebas estándar para el estudio de propiedades químicas de inóculos y muestras plásticas .....	14-15
---	-------

#### INDICE DE FIGURAS

Figura No.1. Estructuras moleculares de polímeros plásticos.....	10
Figura No.2. Proceso de fragmentación y biodegradación.....	13
Figura No.3. Proceso de compostaje como intervención para biodegradación.....	14
Figura No.4. Sistema de incubación de solido.....	26

## 1. AMBITO DE INVESTIGACIÓN

El proyecto DIGI B24-202 que lleva por nombre; “Estudio espectroscópico y de biodegradabilidad por suelo simulado y agrícola de los plásticos comercializados en el campus central de la Universidad de San Carlos de Guatemala” tiene como objetivo general sentar la base de monitoreo del plástico de un solo uso comercializado en el campus central de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Tal proyecto abarca: muestreo en los comercios dentro de la USAC (tiendas, casetas, quioscos, carretillas y mesas); caracterización por espectroscopía infrarroja (FTIR) que permite identificar la composición del material mayoritario del producto plástico antes de poner a prueba y después de las pruebas de biodegradabilidad; la formulación de suelo simulado según norma ASTM D5988-03, que hace referencia a la proporcionalidad del contenido de carbono y nitrógeno en suelos, seguido por un ensayo de biodegradabilidad. También se hará un ensayo de compostabilidad, esta prueba consta de valorar el CO<sub>2</sub> emitido en un sistema cerrado de compostaje que libera CO<sub>2</sub> por transformación de materia orgánica, este ensayo a diferencia de un ensayo por pérdida de masa da una relación directa entre material y CO<sub>2</sub> (biodegradación) no hace alusiones a la simple fragmentación del material; ocasionando contaminación del suelo en forma de microplásticos.

Todo esto con el fin de identificar si los plásticos utilizados dentro del campus central de la universidad pueden considerarse biodegradables o no según la normativa universitaria de biodegradación, ya que muchos de los plásticos son comercializados bajo la etiqueta de biodegradables sin tener la prueba de haber sido regulados bajo la propiedad de biodegradación o compostabilidad.



## 2. RESUMEN

El presente proyecto de investigación tuvo como objetivo testar la biodegradabilidad del plástico de un solo uso comercializado en la Universidad de San Carlos de Guatemala, usando suelo simulado y agrícola. Anexo al estudio de biodegradación se estudió la composición de las muestras plásticas por método de espectroscopía FTIR, este estudio evidenció la presencia de materiales no biodegradables (poliestireno y polietileno) contenido dentro de los plásticos de un solo uso comercializados. También se evidenció en algunas muestras la presencia de material biodegradable como celulosa y almidón, esta propiedad se comprobó con el monitoreo de pérdida de masa en 120 días y ensayos de compostabilidad.

Como parte de los resultados, se observó que de 34 muestras recolectadas únicamente 9 muestras evidenciaron pérdida de masa notable (>50%) en un intervalo de 120 días, únicamente 6 muestras presentaron una pérdida de masa por arriba de 90%, las cuales tiene una biodegradación arriba del mínimo del 10% en 28 días.

### 3. ANTECEDENTES

#### 3.1. Definición de Plástico

El plástico es un compuesto macromolecular orgánico (compuesto que dentro de su estructura contiene enlaces carbono-carbono, carbono-hidrogeno en grandes proporciones) obtenido por polimerización, policondensación, Poliadicion o cualquier otro proceso similar a partir de moléculas con menor peso molecular (monómeros) o por alteración química de compuestos macromoleculares naturales (Coles, McDowell & Kirwan, 2003,174).

#### 3.2. Tipos de plásticos comunes

Los plásticos más utilizados están hechos a base de petroquímicos como: el polietilentereftalato (PET), el cloruro de polivinilo (PVC), el polietileno (PE), el polipropileno (PP), el poliestireno (PS) y la poliamida (PA) (ver estructuras en figura 1).

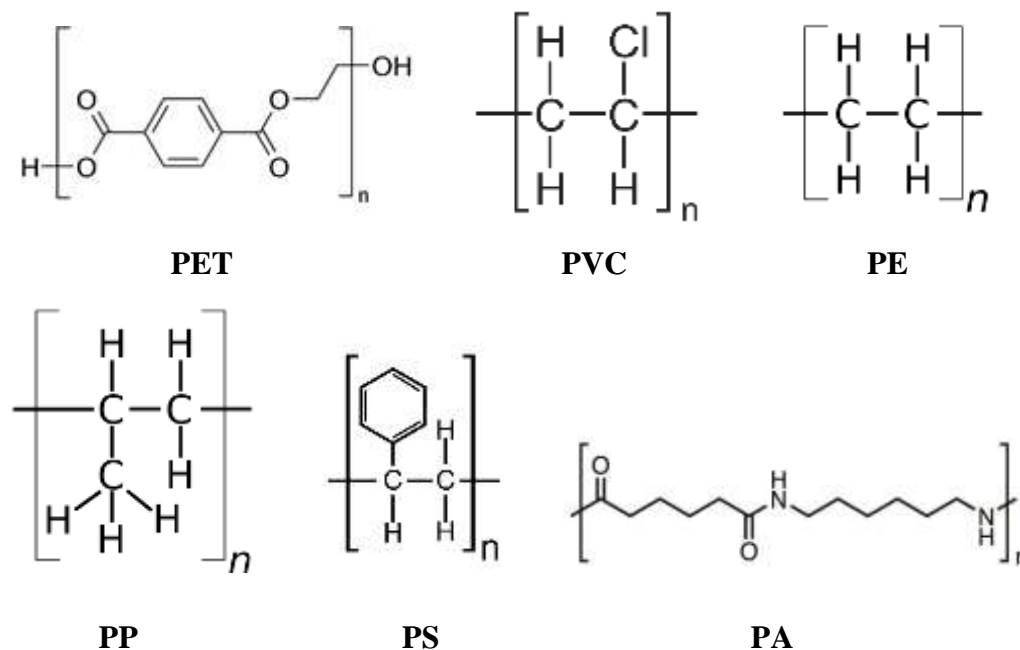


Figura No.1. Estructuras moleculares de polímeros plásticos (www.sigma-aldrich.com, 2020)

Estos polímeros son usados en utensilios de comida por su disponibilidad de costo bajo, su buen rendimiento mecánico, su resistencia a la tracción y desgarró, además tienen buena

barrera (permeabilidad) de oxígeno, dióxido de carbono y agua que hacen que alimentos se descompongan (Siracusa et al, 2008, 634).

### **3.3. Uso de plástico como empaque de comida**

Los plásticos pueden satisfacer necesidades de temperatura, desde procesos de congelados, almacenamiento, esterilización, recalentamiento de productos alimenticios, radiación por microondas, entre otras propiedades; esto debido a que son materiales termoestables, lo que significa que pueden ablandar y fundir repetidamente su estructura si se calienta (Coles, McDowell & Kirwan, 2003,175), es debido a esto y las demás propiedades que el uso de plástico se ve de distintas formas para los alimentos, por ejemplo:

- Botellas y bandejas – (PE)
- Películas flexibles, para bolsas y tapas termosellables – (PE, PP)
- Espuma aislable (duroport) – (PS)
- Tapas de plástico – (PP)
- Cubiertos – (PE)
- Contenedores aislantes, etc. – (PVC)

### **3.4. Definición de plástico o polímero biodegradable**

La Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM, siglas en inglés) definen a un plástico biodegradable como un plástico que sufre cambios significativos en su estructura química por condiciones específicas del medio ambiente, el resultado es la pérdida de algunas propiedades, como la permeabilidad y resistencia térmica por rompimiento de cadenas poliméricas (Andrady, 2003, 359). La biodegradación de un plástico implica la completa mineralización o desaparición del material polimérico.

Los polímeros o plásticos son degradables en diferentes condiciones físicas como hidrodegradable, fotodegradable u oxodegradable. Estas diferentes clases de polímeros vienen todas bajo la categoría más amplia de polímeros ambientalmente degradables. De acuerdo con ASTM, ambientalmente los plásticos degradables se definen de la siguiente manera:

- Plástico degradable: material diseñado para someterse a un cambio significativo en su estructura química bajo condiciones ambientales específicas, que resultan en pérdida de algunas propiedades que pueden variar según lo medido por métodos de prueba estándar apropiados para el plástico y la aplicación en un período de tiempo determinado. Esto no requiere que el plástico tenga que degradarse por acción natural de microorganismo o cualquiera de los otros criterios requeridos.
- Plástico biodegradable: plástico degradable en el que la degradación resulta de la acción natural de microorganismos como bacterias, hongos y algas.
- Plástico fotodegradable: plástico degradable en el que la degradación resulta de la acción natural con luz.
- Plástico oxidativamente degradable: plástico degradable en que la degradación resulta de la oxidación.
- Plástico hidrológicamente degradable: plástico degradable en el que la degradación resulta de la hidrólisis.
- Plástico compostable: plástico que sufre degradación por procesos biológicos durante el compostaje para producir dióxido de carbono, agua, compuestos inorgánicos y biomasa a un ritmo consistente con otros materiales compostables y no deja visualmente residuo tóxico.

### **3.5. Biodegradabilidad de Plásticos**

Para evitar los problemas ecológicos debido a la gran cantidad de residuos sólidos la biodegradabilidad de los plásticos ha sido un requisito funcional. La compostabilidad es un atributo muy importante para biopolímeros, ya que la compostabilidad debe producir únicamente agua, dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y compuestos inorgánicos sin residuos tóxicos. Según la Comisión Europea de Bioplásticos, un biopolímero no solo debe ser biodegradable debe ser compostable, debido al uso de fertilizantes y condiciones de suelos (Siracusa et al, 2008, 634); esto quiere decir que la biodegradación en suelo debe tener un cambio de propiedades en el polímero que es conjunto a un cambio estructural. Tanto la degradación por medio del ecosistema (biodegradación) y la compostabilidad se muestran en la figura No.2.:

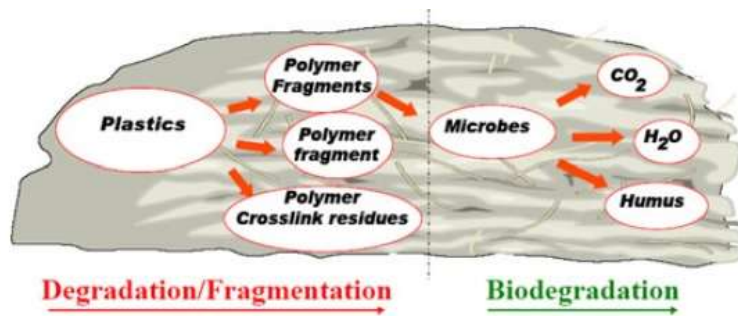


Figura No.2. Proceso de fragmentación y biodegradación. (Briassoulis and Dejean, 2010, 389)

El plástico en contacto con el suelo tiene una fragmentación en su estructura polimérica mediante intervención de calor, luz solar y enzimas, esto produce fragmentos de cadenas cortas de polímero (compostabilidad) luego de esta comienza la biodegradación, es decir microbios descomponen los fragmentos creados por la degradación y los destruyen para construir moléculas más pequeñas como agua, dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y compuestos inorgánicos que se convierten en biomasa del suelo.

### 3.6. Compostabilidad de Plásticos

Los plazos de tiempo necesarios para que un ecosistema logre desintegrar un desecho sólido plástico, incluyendo material polimérico, es muy largo e indefinido, ya que cuando se desecha un material polimérico al ambiente, específicamente al suelo, esto produce una degradación sin control (condiciones de degradación no medibles, ni controladas, tiempos no definidos o porcentaje de material degradable) a partir de esta observación se crean nuevos procesos que aceleren la degradación de estos desechos, uno de esos es el Compostaje, el compostaje se define como una degradación acelerada de materia orgánica heterogénea por una población microbiana mixta en un ambiente húmedo, cálido y aeróbico en condiciones controladas (ver figura No.3.), que utiliza un sistema de degradación al alcance del ciclo biológico del carbono (Narayan, 1993).

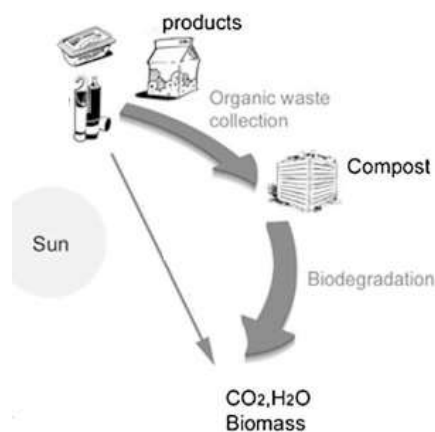


Figura No.3. proceso de compostaje como intervención para la biodegradación (Sicura et al, 2008, 636)

### 3.7. Prueba de compostabilidad para plásticos

La degradación de materiales biodegradables mediante el compostaje permite una transferencia de carbono del material orgánico a una mineralización del carbono, es decir una transformación de carbono orgánico del polímero a  $\text{CO}_2$  (Leejarkpai et al, 2011, 1153). La prueba de compostabilidad para plásticos se basa en el potencial de degradabilidad de los plásticos en condiciones de compostaje aeróbico simulado controlado mediante la medición de la cantidad de dióxido de carbono y su evolución (Leejarkpai et al, 2011, 1154). En esta prueba el plástico se inocula en un derivado de compost y se monitorea la temperatura, la ventilación y la humedad. El derivado de compost o suelo simulado se obtiene de desechos agrícolas orgánicos, esto es fuente microbiana en la prueba de biodegradabilidad. Los parámetros utilizados para controlar las propiedades químicas de los inóculos son pH, sólidos secos totales, sólidos volátiles, contenido de húmeda y relación carbono/nitrógeno (C/N) (ver parámetros numéricos en cuadro No.1.) estos parámetros se basan en normas ISO y ASTM.

Propiedad	Test de Método Estándar	Dato de método estándar
pH	Calidad de suelo: determinación de pH (agua: inóculo=5:1).	pH = 6-8
Sólidos secos	Secado a 103-105°C	Masa constante

Sólidos volátiles	La muestra se incinera aproximadamente a 550°C hasta masas constante.	Menos que 30%
Contenido de humedad	La muestra se seca aproximadamente a 105°C hasta una masa constante y el dato de contenido de agua se obtiene por diferencia de peso.	Contenido de humedad de 50-55%
Contenido de C/N	Prueba de instrumentación en laboratorio	Relación entre 10-40

Cuadro No.1. Métodos de pruebas estándar para el estudio de propiedades químicas de inóculos y muestras plásticas (Leejarkpai et al, 2011, 1155).

### 3.8. Definición de suelo y suelo agrícola

Muchos investigadores y analistas han estudiado el suelo por décadas para poder dar una definición concreta de que es el suelo, tomando la definición más reciente, diremos que el suelo es un cuerpo natural compuesto por material mineral y orgánica, líquidos y gases que se producen en la superficie terrestre, ocupa espacios y se caracteriza por uno o ambos de los siguientes: horizontes y capas, tiene la capacidad de transformar energía y materia para nutrir plantas y entornos naturales (Hartemink, 2016, 95). El suelo puede definirse como un sistema multicomponente y multifuncional, con límites operativos definibles y configuración espacial característica. Existen clasificaciones de suelos que se originan dependiendo de las variaciones en factores como el material, clima y topografía, que determinan las propiedades físicas y químicas dominantes y existen suelos que son definidos por su funcionalidad de producir biomásas como el suelo agrícola. El suelo agrícola es un tipo de suelo modificado, donde se cambia la estructura del suelo agregando componentes minerales y orgánicos para agregar actividad de microbios dentro del suelo, estos microbios entonces sirven como una modificación de distribución de agua, respiración, mezcla de nutrientes, liberación de gases de los organismos y eliminación de productos exteriores (Kibblewhite, Ritz & Swift, 2008, 686).

### 3.9. Uso de suelo para biodegradación de plástico.

Los seres humanos dependes de los ecosistemas tanto naturales como gestionados (suelos agrícolas) para bienes y servicios ambientales, y esto debido a que tanto los suelos naturales

como los agrícolas son el hábitat de muchos organismos diferentes que colectivamente contribuyen a una funcionalidad del suelo. Los productos biodegradables se descomponen debido a la acción conjunta de microorganismos como hongos, bacterias y algas, estos metabolizan los compuestos por vía aeróbica liberando CO<sub>2</sub> o anaeróbica liberando metano (Briassoulis & Dejean, 2010). La actividad microbiológica del suelo es un factor determinante en su capacidad para descomponer materiales, por ello es indispensable que el suelo consiga emular las mejores condiciones para el desarrollo de bacterias, algas y hongos.

Los ambientes sólidos bajo el cual polímeros se biodegradan tienen dos categorías principales: (a) los materiales que se biodegradan bajo condiciones de compostaje (materiales compostables bajo condiciones variables) y (b) los materiales que se biodegradan en el suelo (biodegradable en materiales del suelo). Algunos materiales compostables también son biodegradables en el suelo, pero en muchos casos los materiales compostables no se biodegradan en suelo. Los plásticos biodegradables que son compostables pueden ser tratado biológicamente junto con otros residuos biológicos (Briassoulis & Dejean, 2010).

### **3.10. Legislación de plástico de un solo uso en Guatemala**

Normas sobre el uso de plástico (material compuesto por PET, PVC, PP, etc.) surgen por observaciones individuales e intereses de conservación de fauna y flora de paisajes en Guatemala, además son estrategias para disminuir la contaminación en sitios turísticos como lagunas, ríos, cerros, bosques, etc. El primer municipio en implementar la prohibición de plásticos fue San Pedro La Laguna ubicada en el departamento de Sololá en Guatemala. La municipalidad de San Pedro La Laguna, tiene establecido el acuerdo municipal 111-2016. Este acuerdo prohíbe el uso, la venta y distribución de plástico, duroport, pajillas y derivados de material no reutilizable, este acuerdo tiene una sanción de multas para las personas que no cumplan con el acuerdo (Pérez, 2016). Este acuerdo tiene una demanda constitucional por parte de la Cámara de la Industria de Guatemala, se objeta la ambigüedad en el alcance y aplicación del acuerdo, debido a que este no especifica que son derivados de plástico (material polimérico alterado o con cambio de propiedad por adición de otro material



polimérico o no polimérico), el organismo Ejecutivo y el Congreso de la Republica de Guatemala, exhorta a la creación de normativos y políticas públicas sobre el consumo, distribución y producción de materiales no reutilizables que causen contaminaciones en el medio ambiente.

Con este antecedente hacia la conservación de la naturaleza y la reducción de contaminación, la Constitución Política de la República de Guatemala establece que el Estado, las Municipalidades y los habitantes del territorio nacional están obligados a propiciar el desarrollo económico y tecnológico que prevenga la contaminación del ambiente y mantenga el equilibrio ecológico, para ello se han dictado normas para garantizar la conservación de la fauna, flora, tierra y agua. Basados en este objetivo de la Constitución Política de la República de Guatemala, el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN) emite el acuerdo Gubernativo número 189-2019, que prohíbe en Guatemala el uso y distribución de bolsas plásticas, pajillas, vasos y platos desechables, así como de recipientes de duroport. Este acuerdo fija un plazo de 2 años para que las personas individuales o jurídicas que utilicen dichos recipientes los sustituyan en forma definitiva, por otros artículos o insumos elaborados con otros materiales (acuerdo 189-2019, 2019).

### **3.11. Política de plástico de un solo uso en la Universidad de San Carlos de Guatemala**

La Universidad de San Carlos de Guatemala enmarca la política que desarrolla y aplica procedimientos de buenas prácticas, manejo sostenible del ambiente y de los recursos naturales dentro de la comunidad universitaria, para el desarrollo dentro de ambiente saludable, seguro e higiénico. Por eso el Consejo Superior Universitario basados en el artículo 82 de la Constitución Política de la Republica de Guatemala, que faculta a la Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC), a cooperar al estudio y solución de los problemas nacionales, así como los problemas socioambientales que afronta el país, acuerda en el año 2018, mediante el inciso 7.1. del Acta No.23-2018 que todos los comercios que se ubican en el campus central, en el centro universitario Metropolitano, en los campus de los centros universitarios departamentales, fincas, áreas protegidas, áreas deportivas, áreas culturales y demás inmuebles propiedad de la Universidad de San Carlos, se les prohíbe el

ingreso, comercialización, distribución y uso de productos de duroport y plásticos no reciclable (PET, PVC, PP, etc.) en empaques, vasos, bandejas, platos, cubiertos, pajillas, entre otros productos no amigables con el ambiente, así mismo, se prohíbe el uso de bolsas plásticas para empaque de cualquier producto (acta 23-18, 2018). Ese mismo año se crea la Comisión Técnica; en cumplimiento de la política de cero usos de productos de poliestireno y plástico no reciclable en la USAC, esta comisión tiene por encargo la divulgación de los materiales permitidos y los no permitidos según la política de la Universidad, también informa sobre las características y limitaciones de utensilios de material alternativo a la prohibición de uso de plástico de un solo uso, algunas especificaciones son:

- Botellas para aguas, gaseosas, yogures, etc., deben ser retornables.
- Vasos de cartón, utensilios de madera, servilletas de papel o papel kraft deben ser biodegradables o compostables en 120 días.
- Cualquier utensilio etiquetado como biodegradable, deberá ser biodegradable o compostable en un periodo no mayor a 120 días.

### **3.12. Estudios Previos en Guatemala**

Estudios sobre la biodegradación de plásticos han sido orientados a elaboración de plásticos a partir de matrices orgánicas de desechos, ensayos de compostaje de plásticos no son investigado en la actualidad en Guatemala, las investigaciones de nuevos materiales son evaluadas por pruebas de biodegradabilidad de laboratorio. Gálvez (2016), elabora plástico biodegradable a partir de almidón extraído del maíz empleando dos plastificantes: glicerina y urea, este material fue sometido a pruebas de degradación por intemperie y por agua, método que consiste en dejar el material expuesto a un volumen definido de agua en un sistema abierto, el trabajo obtuvo como resultado la reducción de masa notable del material en un medio acuoso y a la intemperie que únicamente el material expuesto al aire.

Mollinedo (2017), elaboración de plásticos biodegradables a partir de almidón de maíz en este estudio evaluó la formulación de plástico variando las proporciones de almidón, ácido acético y glicerina, cada formulación fue evaluada por degradación de pérdida de masa, donde el material es sumergido en ácido sulfúrico por un tiempo establecido, luego de esto

se pesa el material y se ve la relación de pérdida de masa según datos iniciales y finales después del tratamiento con ácido, estas pruebas mostraron resultados positivos con variantes según la proporción predominante, es decir; la degradabilidad de cada formulación tenía una dependencia de concentración de ácido acético, glicerina y almidón de maíz.

Villalta y Reyna (2018), evaluaron la biodegradabilidad de diferentes formulaciones de bioplástico sintetizado a partir de almidón obtenido de las cascara de mango o almidón de papa (trabajos por separado) a escala de laboratorio, los ensayos de degradación fueron hechos en exposición de agua y aire, ambos trabajos concluyeron que la degradación de agua es más efectiva que la degradación por aire.

De igual manera Rojas (2019), realiza espuma solida a base de celulosa y almidón extraídos de desechos de banano verde a este material se le realizan ensayos de degradación por exposición al aire y degradación en agua por monitoreo de 30 días, este ensayo reporto resultados positivos para una degradación del material, esto reflejado en la pérdida de masa del material.

#### **4. JUSTIFICACIÓN**

Municipalidades de Guatemala y la Universidad de San Carlos de Guatemala prohíben el uso de plástico de un solo uso, proponiendo alternativas como el uso de papel, telas y plásticos biodegradables; sin embargo, no es descartable la contaminación y el costo de la contaminación causada por los plásticos biodegradables. Ambientalistas han recalcado el control sobre el uso de plásticos llamados biodegradables, propiedades como la biodegradabilidad y la compostabilidad de materiales plásticos deben estar en constante prueba para evitar la contaminación por desechos sólidos, sin embargo, las propiedades de biodegradación y compostabilidad no están legisladas en las soluciones presentadas para el uso de plástico en Guatemala o en la Universidad.

Las legislaciones deben estar ligadas a ensayos de biodegradación y de compostaje para sostener las alternativas al plástico, y debido a que la universidad carece de un laboratorio o grupo que controle la veracidad de las etiquetas de biodegradación con que se presentan los utensilios alternos comercializados, el proyecto tiene el objetivo de reconocer la biodegradabilidad de plásticos de un solo uso comercializados dentro del campus central de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Con esto se pretende obtener evidencia de la importancia que tiene la legislación y regulación de la comercialización de materiales biodegradables de un solo uso.

## **5. OBJETIVOS**

### **5.1. Objetivo General**

Reconocer la biodegradabilidad de plásticos de un solo uso, comercializados en el campus central, de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

### **5.2. Objetivos Específicos**

5.2.1. Establecer la pérdida de masa de los distintos cuerpos de prueba enterrados en suelo simulado y suelo agrícola.

5.2.2. Desarrollar pruebas de compostabilidad en los cuerpos que presentaron pérdida de masa.

5.2.3. Identificar contenido estructural por caracterización de FTIR de los cuerpos de prueba previo y posterior a realizar ensayo de Biodegradabilidad.

## **6. HIPÓTESIS**

Esta investigación no posee hipótesis por ser un estudio de tipo exploratorio.

## **7. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **7.1. Muestreo de Plástico dentro del campus central de la universidad**

A realizar junto con el laboratorio de Control de Alimentos, este laboratorio cuenta con un mapeo y clasificación de comercios formales e informales, se incluyen: casetas, carretas, tiendas, cafeterías, mesas y cabañas. De forma aleatoria, tomar 5 piezas (por disponibilidad de replicación de ensayos) de cada utensilio: bolsas, cubiertos, vasos, platos, tapas, tazas y pajillas. Tomar la misma cantidad de utensilios en cada puesto de muestreo. Cada uno se identifica y se almacena. Los utensilios de muestra deben ser utensilios limpios, es decir estos no deberán ser utensilios usados con anterioridad. El muestreo se realizará en 30 puestos de comida dentro del mapeo del Laboratorio de Control de Alimentos.

### **7.2. Preparación de suelo simulado**

La preparación de suelo simulado se realiza para tener un ambiente controlado en la prueba de biodegradabilidad, donde el ambiente de descomposición del plástico se enriquece con actividad microbiana proveniente de un compost maduro de estiércol, si bien el control de la de la degradación no es controlada en su totalidad este da un indicio sobre condiciones necesarias para la biodegradación de polímeros plásticos, y sobre todo emulara un medio ambiente ocasional donde son descargados desechos sólidos plásticos.

#### **7.2.1. Equipo y material**

- Arena
- Estiércol de vaca (compost maduro)
- Suelo agrícola
- Cubetas para mezclar
- Pala
- Potenciómetro
- Beacker
- Tamizadores

7.2.2. Procedimiento (ASTM D5988-03, 2012., y Park, Hettiarachchy & Were, 2000, 3028.)

7.2.2.1. Mezclar partes iguales de arena, estiércol de vaca y suelo de área muestreada.

Retirar material inerte, piedras, restos de hojas y raicillas vegetales, etc.

7.2.2.2. Medir pH de la mezcla con un potenciómetro, haciendo una mezcla de 5:1 (agua destilada: tierra), el dato de pH aceptable debe estar entre 6 y 8.

7.2.2.3. Si se necesita ajustar, agregar arena o suelo agrícola hasta lograr un pH dentro del aceptable.

7.2.2.4. Ya homogenizada la mezcla, tamizar utilizando mesh de partícula 2mm.

7.2.2.5. Almacenar el suelo en un recipiente hermético en condiciones de refrigeración (tiempo de vida útil máximo de 1 mes).

### **7.3. Caracterización por FTIR de utensilios plásticos**

Realizar un análisis cualitativo de superficie de cada muestra de plástico por espectroscopia infrarroja (FT-IR) utilizando la técnica de reflectancia total atenuada (ATR) con un instrumento Perkin Elmer Frontier de resolución  $1 \text{ cm}^{-1}$ , con un rango de  $600\text{-}4000 \text{ cm}^{-1}$ .

### **7.4. Pruebas de Biodegradabilidad**

7.4.1. Principio del método

Esta prueba tiene como fundamento el uso de microorganismo y enzimas que se encuentran en el suelo que son importantes para lograr la oxidación y degradación de biopolímeros o polímeros sintéticos, de esta forma se logra una fragmentación del material polimérico y obtener monómeros más fáciles de degradar y transformar en moléculas simples como agua y dióxido de carbono.

7.4.2. Material y equipo

- Bandejas con separación
- Cajas de plástico herméticas, con orificios a los lados para la respiración del sistema.
- Pala de jardinería
- Tijeras

- Regla
- Termómetro
- Algodón
- Masking tape y marcador permanente

#### 7.4.3. Procedimiento (Rodríguez et al, 2015, B)

- 7.4.3.1. Cortar con tijera los plásticos en cuadros de 1cm x 1cm, este es el cuerpo de prueba a testar.
- 7.4.3.2. Pesar cuerpo a testar, cuidar de que el material este seco.
- 7.4.3.3. Enterrar el cuerpo a testar en suelos previamente preparado a una temperatura de 297K.
- 7.4.3.4. Monitorear el sistema por un periodo total de 120 días.
- 7.4.3.5. Pasados los 120 días, remover los cuerpos de prueba del suelo.
- 7.4.3.6. Lavar con agua destilada, remover suelo pegado en el material.
- 7.4.3.7. Secar con horno por 6 horas y dejar en desecadora hasta que el peso de la muestra sea constante.
- 7.4.3.8. Pesar en seguida
- 7.4.3.9. Los experimentos serán puestos a prueba en 30 muestras por quintuplicado cada muestra, es decir, se realizarán 170 experimentos aproximadamente.
- 7.4.3.10. Cálculos: Evaluación de pérdida de masa.

$$\%perdida\ de\ masa = \frac{masa\ residual}{masa\ inicial} \times 100$$

Donde: masa inicial = peso en gramos del material antes de la incubación, masa residual = peso en gramos del material después de la incubación.

#### **7.5. Prueba de compostabilidad por liberación de CO<sub>2</sub>**

##### 7.5.1. Principio del método

Esta prueba consiste en la selección de material plástico o compost que contiene residuos de material plástico después del compostaje para la determinación de la biodegradación aeróbica, determinación realizada por la valoración de dióxido de carbono liberado y



sostenido por la trampa de hidróxido de potasio; el dióxido de carbono se relaciona con la de degradación de microorganismos en función del tiempo, y así obtener el grado de biodegradabilidad. Esta prueba se realizará para aquellas muestras que mostraron pérdida de masa significativa por prueba de biodegradabilidad.

#### 7.5.2. Material y equipo

- Beakers de 100 ml
- Varillas de agitación
- Probeta
- Balón aforado de 1 L
- Bureta
- Pipetas volumétricas con bulbo
- Soporte universal
- Erlenmeyer
- Gotero
- Desecadora
- Balanza semianalítica
- Pala de jardinería

#### 7.5.3. Procedimiento (ASTM D5988-03, 2012).

##### 7.5.3.1. Preparar solución de $\text{Ba}(\text{OH})_2$ 0.025 N

7.5.3.1.1. Pesar 2.14 g de  $\text{Ba}(\text{OH})_2$  anhidro

7.5.3.1.2. Disolver en una fracción de agua desmineralizada

7.5.3.1.3. Agregar solución a balón de 1 L y aforar.

7.5.3.2. En una desecadora de cierre hermético, agregar al fondo de la desecadora de 0.20 a 1 g de muestra positiva y 500 g de tierra.

7.5.3.3. Sobre la placa de separación de la desecadora, colocar 100 ml de solución de  $\text{Ba}(\text{OH})_2$  0.025 N en un vaso de precipitados de 150 ml y 50 ml de agua destilada en un vaso de precipitados de 100 ml. Ver figura No.3.

7.5.3.4. Guardar la cámara un gabinete oscuro a temperatura ambiente, entre  $21^\circ\text{C}\pm$ .

- 7.5.3.5. Dejar de 3 a 4 días la trampa de CO<sub>2</sub>. Luego de este tiempo remplazar la trampa por solución nueva. Este cambio debe ser realizado por 3 semanas.
- 7.5.3.6. Cumplidas las primeras tres semanas, cambiar la trampa de CO<sub>2</sub> cada 1 semana, por 3 semanas más.
- 7.5.3.7. Terminado el tiempo cuantificar por titulación del Ba(OH)<sub>2</sub> usando HCL 0.05 N, la titulación se lleva hasta punto final de fenolftaleína.

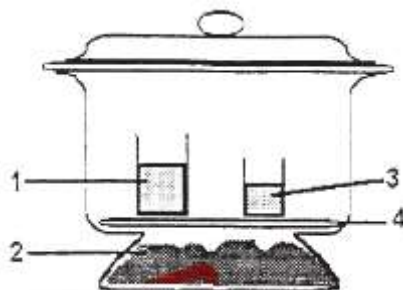


Figura No.3. Sistema de incubación de sólido. 1. solución de hidróxido de potasio. 2. Mezcla de solido 3. Agua 4. Placa de separación.

#### 7.5.3.8. Cálculos

- Corrección de blanco para la titulación:

$$Z_n = Z_b - Z_t$$

Donde:  $Z_n$  = ml calculados de HCL para titular el CO<sub>2</sub>,  $Z_b$  = ml HCL usados para el blanco,  $Z_t$  = ml HCL usados para la muestra.

- Mg de CO<sub>2</sub> liberados

$$mg\ CO_2 = \frac{(0.05N) \times mL\ HCL \times 44}{2}$$

- Mg de CO<sub>2</sub> teóricos

$$mg\ de\ material = \frac{12\ g\ de\ carbono}{100} = Ci = carbono\ inicial$$

$$Ci \left( \frac{44\ g\ CO_2}{12\ g\ C} \right) = g\ de\ CO_2 \rightarrow mg\ CO_2$$

- % de dióxido de carbono convertido (% de biodegradación)

$$\% = \frac{mg\ CO_2\ producido}{mg\ CO_2\ teorico} \times 100$$

- Error estándar de porcentaje de biodegradabilidad

$$S_e = \left( \sqrt{\left( \left( \frac{S_{test}^2}{n1} \right) + \left( \frac{S_{blanco}^2}{n2} \right) \right)} \right) \times 100/C_i$$

Donde: n1 y n2 = número de replicaciones de la prueba y del blanco respectivamente, s = desviación estándar de los datos de dióxido de carbono obtenido, Ci = cantidad de carbono inicial.

## 7.6. Análisis Estadístico

Por ser un estudio exploratorio, se hará un análisis descriptivo de la pérdida de masa de los cuerpos de prueba en cada tipo de suelo, indicando el promedio y la desviación estándar de dicha pérdida.

El ensayo de biodegradabilidad con los cuerpos que hayan mostrado pérdida de masa será reportado por medio del porcentaje de biodegradación y el error estándar correspondiente.

## 8. AVAL DEL GRUPO DE INVESTIGACIÓN

En cumplimiento al INSTRUCTIVO PARA EVALUACIÓN TERMINAL DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACIA EN SU MODALIDAD DE “PROYECTO DE INVESTIGACIÓN”.

Se extiende el siguiente aval a LUCY ARACELY PALACIOS SURQUÉ, para la publicación de los resultados obtenidos en la investigación denominada “ESTUDIO ESPECTROSCÓPICO Y DE BIODEGRADABILIDAD POR SUELO SIMULADO Y AGRÍCOLA DE PLÁSTICOS DE UN SOLO USO COMERCIALIZADOS EN EL CAMPUS CENTRAL DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA”, los cuales constituyen resultados parciales del proyecto de Investigación Macro denominado “Estudio espectroscópico y de biodegradabilidad por suelo simulado y agrícola de los plásticos comercializados dentro del campus central de la USAC”, coordinado por el Lic. Mario Manuel Rodas Morán y avalado por el Instituto de Investigaciones Químicas y Biológicas (IIQB) de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala.



**Lic. Mario Manuel Rodas Morán**  
Coordinador de Proyecto

## 9. RESULTADOS

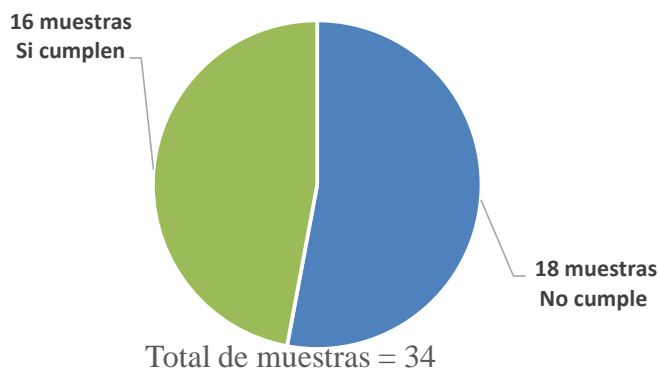
Tabla 1. Porcentajes Promedios de Perdida de masas de muestras en suelo simulado y agrícola, y resultados de Análisis FTIR

<b>Muestra</b>	<b>% pérdida de masa en suelo agrícola</b>	<b>% pérdida de masa en Suelo simulado.</b>	<b>Resultado por FTIR</b>
60 (bolsa)	-113.87	-0.27	Polietileno
85-A (plato-duroport)	-14.42	-0.69	Poliestireno
33 (bolsa)	-6.25	-0.99	Polietileno
9 (Bolsa Negra)	-5.4	1.49	Polietileno
17-B (bolsa)	-2.45	-0.11	Polietileno
42 (bolsa)	-1.11	-0.11	Polietileno
45 (Bolsa)	-1.09	-0.72	Polietileno
27 (tapa)	-0.18	0.17	Poliestireno
38 (vaso)	-0.07	-0.14	Poliestireno
20 (Bowl)	0.05	-0.19	Poliestireno
78-A (Tapadera)	0.1	-0.06	Poliestireno
104-C (pajilla)	0.26	4.34	Polipropileno
229 (bolsa)	0.36	0.14	Polietileno
78-B (pajilla)	0.36	-0.1	Polipropileno
8 (bolsa)	0.38	0.1	Polietileno
11-B (pajilla)	0.39	0.05	Polietileno
85-B (Bolsa)	0.77	-0.34	Polietileno
40-B (pajilla)	5.82	14.29	Derivado de celulosa y Polipropileno.
32 (Bolsa)	9.92	-0.03	Polietileno
13-B (bolsa)	11.05	5.38	Derivado de Celulosa y Polietileno
78-C (bolsa)	17.3	100	Polietileno
125 (plato)	20.25	21.14	Celulosa
108 (bolsa)	30.08	100	Polietileno
89 (bolsa)	35.98	87.51	Derivado de celulosa
40-C (Tapa)	37.11	8.73	Polilactato
13-A (Vaso)	63.84	58.12	Celulosa
47 (vaso)	87.55	71.9	Celulosa
40-A (plato)	90.5	87.51	Celulosa
11-A (Vaso)	92.74	93.52	Celulosa
54-B (Taza)	93.06	67.39	Celulosa
104-A (Vaso pequeño)	93.53	94.67	Ácido Poliláctico
104-B (Vaso Grande)	95.04	92.51	Ácido Poliláctico

54-A (Plato)	97.47	95.83	Celulosa
17-A (plato)	99.37	100	Celulosa

Fuente: Datos experimentales obtenidos en el laboratorio de Investigación de Química y Ambiental-LIQA-, primer nivel edificio T-12, USAC.

**Gráfico No.1.** Plásticos de un solo uso comercializados en la Universidad de San Carlos de Guatemala que cumplen con Acta No.23-2018, de pérdida de masa en 120 días.



Fuente: Datos experimentales obtenidos en el laboratorio de Investigación de Química y Ambiental-LIQA-, primer nivel edificio T-12, USAC.

Tabla 2. Porcentaje de biodegradación de muestras seleccionadas según pérdida de masa.

Muestra	% Biodegradación	Desviación Estándar
Control	57.25	30.97
108 (bolsa)	57.25	
78-C (bolsa)	58.25	
17-A (plato)	49.75	<b>Error estándar</b>
54-A (plato)	42	
104-A (vaso pequeño)	44.25	7.03
40-A (plato)	44.25	

Fuente: Datos experimentales obtenidos en el laboratorio de Investigación de Química y Ambiental-LIQA-, primer nivel edificio T-12, USAC.

## 10. DISCUSION DE RESULTADOS

### 10.1. Ensayo de Campo en suelo Agrícola y Suelo simulado

Existen diferencias entre el ensayo en suelo agrícola y simulado (Tabla No.1 de sección de resultados), estas diferencias se puede atribuir, principalmente a las condiciones ambientales de temperatura del suelo (radiación solar), temperaturas más cálidas promueven de mejor forma la actividad microbiana (Hayes et al., 2017); las muestras de suelo agrícola fueron colocadas en temporada de invierno (de agosto a noviembre) donde la humedad es mayor en el suelo. Algunas muestras de suelo agrícola presentaron porcentajes de magnitud mayor negativos para la pérdida de masa en comparación con las muestras de suelo simulado, estos valores reflejan el aumento de absorción de humedad de las muestras plásticas en tierra agrícola durante la temporada. Otro factor que marca la diferencia entre la pérdida de masa entre ensayos es la erosión de la tierra; factor que solo está implicado en el ensayo por suelo agrícola (Anexo No.2.4.), la erosión disminuye el contacto del material plástico con la tierra interrumpiendo, en breve, pasos del ciclo de degradación, como la hidrólisis en el proceso de fragmentación del polímero (Haider et al, 2019). Ambos factores expuestos con anterioridad reflejan una mejor pérdida de masa en muestras de suelo simulados (Anexo No.2.1 y 2.2.), donde las condiciones ambientales de temperatura, humedad y erosión fueron controladas.

La tabla de resultados No.1. evidencia que solo 9 de las muestras presentan una pérdida de masa arriba del 50% en 120 días, tanto en ensayo por suelo simulado como por suelo agrícola. Los pesos negativos también pueden relacionarse con la presencia de contaminantes que incrementan la masa no considerada al inicio. Sin embargo, el valor negativo no presenta una modificación en el peso inicial, por lo tanto, estas muestras no mostraron una pérdida de masa en 120 días de ensayo, dando como resultado que solo 16 de 34 muestras cumplan con la normativa de la USAC (gráfico No.1. de sección de resultados).

## **10.2. Caracterización por FTIR de los plásticos de un solo uso:**

Se caracterizó por medio de espectros FTIR todos los cuerpos de prueba. Según la tabla de resultados No.1., la mayoría de los casos evidenciaron bandas características del polietileno, este material presenta bandas características de vibraciones C-H alifáticos (Espectro 1 de Anexo No.3.). La evidencia de la presencia de polietileno no es coherente con la norma universitaria, ya que es un material que se encuentra prohibido, sin embargo, algunas muestras con presencia de polietileno, si sufrieron una pérdida de masa en suelo simulado, pero no degradaron en suelo agrícola.

Según resultados de la tabla No.1, utensilios plásticos; como tapas, platos y vasos, muestran espectros FTIR, donde se evidenciaron bandas características del poliestireno, este material presenta bandas de vibraciones aromáticas, enlaces C-H de metilos y metilenos (Espectro 2 de Anexo No.3.). Una de las muestras se caracterizó por presentar en su empaque un sello de producto biodegradable (85-A), sin embargo, el análisis de FTIR (Anexo 4) y de biodegradabilidad en suelo, evidencian la presencia de poliestireno, polímero no biodegradable cuya comercialización se encuentra prohibida de acuerdo con la normativa vigente de la USAC.

Pajillas recolectadas muestran por análisis FTIR la presencia de material polipropileno, estas presentan bandas características de vibraciones de deformación de metilos y metilenos alifáticos (Espectro 3 de Anexo No.3.) una banda intensa en la región de 2800 a 3000  $\text{cm}^{-1}$  por vibraciones de enlaces C-H demuestra la presencia de material polipropileno en pajillas (Anexo 5), este material es clasificado como biodegradable sin embargo, estas muestras no presentaron una pérdida de masa arriba del 6% en suelo agrícola.

Los materiales biodegradables como derivados de celulosa o polilactato, fueron evidenciados en el análisis FTIR. Materiales derivados de celulosa presentan espectros con bandas débiles de vibraciones C-H y C-O de la forma dímera de la molécula de celulosa (Espectro 4 de Anexo No.3.). Material polilactato o ácido poliláctico presenta en su espectro bandas característica de vibraciones C=O intensas (Espectro 5 de Anexo No.3.) Sin embargo, entre ambos materiales considerados biodegradables, los utensilios encontrados por análisis FTIR



hechos de celulosa presentaron valores mayores de pérdida de masa que los utensilios encontrados de polilactato.

### **10.3. Biodegradación por Compostabilidad**

Teniendo como referencia la norma ASTM D5988-03, los ensayos de biodegradación por liberación de CO<sub>2</sub> fueron evaluados durante 45 días en materiales que mostraron un porcentaje de pérdida de masa mayor al 90% en el ensayo de suelo simulado ya que también fue un ensayo bajo condiciones controladas (Anexos No.2.1. y 2.5.). En un sistema controlado las muestras evidenciaron un mínimo de 44% de biodegradación en 28 días, la norma ASTM establece un parámetro aceptable de biodegradación si las pruebas presentan un valor sobre el 70% de biodegradación (ASTM D5988-03, 2012), sin embargo, los porcentaje de biodegradación de las muestras están sobre el 10%, este parámetro es conocido como Porcentaje de Latencia, el cual se define como el 10% mínimo de degradación en 28 días (Vásquez & Beltrán, 2004, 570), por lo tanto, podemos tomar los porcentajes de las muestras (tabla No.2. sección de resultados) como la biodegradación máxima de la muestra en 28 días de compostabilidad. Las muestras 108 y 78-C son las más destacada, estas evidenciaron un comportamiento muy parecido a un sistema sin presencia de plástico (control), el material polietileno, considerado como no biodegradable, no modifico el sistema controlado de suelo y la liberación de CO<sub>2</sub>, es posible que estos utensilios sufran únicamente una fragmentación en condiciones controladas, mas no una biodegradación marcada por liberación de CO<sub>2</sub>.

Por datos estadísticos de la tabla No.2. de sección de resultados, el error en los datos puede ser el resultado de un mal condicionamiento de la tierra hacia la muestra, también este puede promoverse por la solidificación de las sales de carbonato en la trampa, la cual debe ser destruida manualmente para controlar la absorción del CO<sub>2</sub> liberado, esto permitió el escape de CO<sub>2</sub> del sistema que no pudo ser cuantificado; también deben considerarse errores como ya mencionados en la pérdida de masa por suelo simulado/agrícola. Para la desviación debe considerarse que los materiales a evaluar no son materiales del mismo polímero, esto abre paso a lecturas y comportamientos distintos entre cada muestra.

Como observación, se debe considerar que las pruebas de compostabilidad evidenciaron el crecimiento de plantas, por lo cual se puede asumir que los plásticos inoculados en la tierra no provocan un efecto inhibitor en el crecimiento vegetal.

## **11. CONCLUSIONES**

1. Condiciones ambientales como temperatura, erosión de la tierra y humedad, fueron los factores que marcaron diferencias para la pérdida de masa, sin embargo, la mayoría de los datos de pérdida de masa en suelo agrícola son coherentes respecto a la pérdida de masa en suelo simulado.
2. Únicamente 16 muestras de plástico de un solo uso presentan pérdida de masa positiva para ambos ensayos de suelo, de las 16 solo 9 presentan una pérdida de masa notable arriba del 50% en 120 días.
3. La identificación de FTIR mostró la presencia de material no biodegradable en muestras etiquetadas como biodegradables o amigables con el ambiente, evidencia que fue comprobable con ensayos de compostabilidad mas no por ensayos de pérdida de masa, lo que sugiere una fragmentación del material mas no una degradación.
4. Por ensayos de compostabilidad se observó que materiales no biodegradables, como el polietileno, no afectan el comportamiento compostable y biodegradable del suelo respecto a la liberación de CO<sub>2</sub>.
5. Por inoculaciones de plásticos de un solo uso mostraron crecimiento de vegetación, lo que puede dar idea que los plásticos no son inhibidores de material vegetal, pero si pueden considerarse contaminantes por no mostrar pérdida de masa mayor al 50% en 120 días.

## 12. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda realizar el ensayo de pérdida de masa en suelo agrícola en temporada de verano y así evaluar si hay diferencia en la pérdida de masa causada por temperaturas más altas tal y como lo indica la literatura.
2. Se recomienda aplicar la norma ASTM D5988-03 de compostabilidad en un plazo de 120 días para respaldar la aceptación de material plástico, no solo por pérdida de masa, y que se considere el porcentaje de biodegradación en 120 días para aquellos materiales que tuvieron valores aceptables de biodegradación en 28 días.
3. A nivel de coordinación general universitario, se recomienda que las normas ambientales estén dirigidas por un respaldo metodológico químico comprobable.

### 13. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Acuerdo Municipal 111-2016. Numero 63 § Legal (2016)
- Acuerdo Gubernativo Numero 189-2019. Numero 8 § Legal (2019)
- Andrady, L. (2003). *Plastic and the enviroment*. Estados Unidos: John Wiley & Sons, Inc.
- American Society for Testing Materials. (2019). Standard Specification for Labeling of Plastics Designed to be Aerobically Composted in Municipal or Industrial Facilities (ASTM D6400-19). *Annual Book of ASTM Standards*, 1–3. doi: <https://doi.org/10.1520/D6400-12.2>
- American Sociaty for Testing Materials. (2012). Standard Test Method for Determining Aerobic Biodegradation in Soil of Plastic Materials or Residual Plastic Materials After Composting (ASTM D5988-03). *ASTM International*, 1–6. doi: <https://doi.org/10.1520/D5338-11.2>
- Arutchelvi, J., Sudhakar, M., Arkatkar, A., Doble, M., Bhaduri, S., & Uppara, P. V. (2008). Biodegradation of polyethylene and polypropylene. *Indian Journal of Biotechnology*, 7(1), 9–22.
- Briassoulis, D., & Dejean, C. (2010). Critical review of norms and standards for biodegradable agricultural plastics part I. Biodegradation in soil. *Journal of Polymers and the Environment*, 18(3), 384–400. doi: <https://doi.org/10.1007/s10924-010-0168-1>
- Coles R., McDowell, D. & Kirwan, M. (2003). *Food Packaging Technology*. Lodon: Blackwell Publishing.
- Galvez, A. (2016). *Elaboracion de Plastico Biodegradable a Partir de Almidon Extraido del Maiz (Zea mays)*. (Tesis inedita de Licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- Haider, T. P., Völker, C., Kramm, J., Landfester, K., & Wurm, F. R. (2019). Plastics of the Future? The Impact of Biodegradable Polymers on the Environment and on Society. *Angewandte Chemie - International Edition*, 58(1), 50–62. doi: <https://doi.org/10.1002/anie.201805766>
- Hartemink, A. (2016). The Definition of Soil Since the Early 1800s. *Advances in Agronomy*, 137, 73-126. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/bs.agron.2015.12.001>

- Hayes, D. G., Wadsworth, L. C., Sintim, H. Y., Flury, M., English, M., Schaeffer, S., & Saxton, A. M. (2017). Effect of diverse weathering conditions on the physicochemical properties of biodegradable plastic mulches. *Polymer Testing*, 62, 454–467.
- Kaiser, K., Schmid, M., & Schlummer, M. (2017). Recycling of Polymer-Based Multilayer Packaging: A Review. *Recycling*, 3(1), 1. doi: <https://doi.org/10.3390/recycling3010001>
- Kibblewhite, M., Ritz, K. & Swift, M. (2008). Soil health in agricultural systems. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. 363, 685-701. doi: 10.1098/rstb.2007.2178
- Marroquín, L. A. R. (2008). *Planificación del uso de la tierra en la aldea El Cerrito, Municipio de Amatitlán, Departamento de Guatemala*. (Tesis inédita de Licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- Monterroso, C. A. (2011). *Trabajo de graduación relaizado en el uso actual de las instalaciones y funcionamiento administrativo del centro experimental docente de agronomía “Domingo Amador” (CEDA), Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala*. (Tesis inédita de Licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- Mollinedo Paiz, Edgar Leonel (2017). *Elaboración de plástico biodegradable a partir de almidón de maíz; evaluando su degradabilidad con ácido sulfúrico y su expansión polimérica al variar la formulación*. (Tesis inédita de Licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- Narayan, R. (1993). Biodegradable Plastics. *Lansing: NIST*.
- Leejarkpai, T., Suwanmanee, U., Rudeekit, Y. & Mungcharoen, T. (2011). Biodegradable kinetics of plastics under controlled composting conditions. *Waste Managment*, 31, 1153-1161. doi: 10.1016/j.wasman.2010.12.011
- Liu, Y. L., Chen, W. H., & Chang, Y. H. (2009). Preparation and properties of chitosan/carbon nanotube nanocomposites using poly(styrene sulfonic acid)-modified CNTs. *Carbohydrate Polymers*, 76(2), 232–238. doi: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2008.10.021>

- Orhan, Y., & Büyükgüngör, H. (2000). Enhancement of biodegradability of disposable polyethylene in controlled biological soil. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 45(1–2), 49–55. doi: [https://doi.org/10.1016/S0964-8305\(00\)00048-2](https://doi.org/10.1016/S0964-8305(00)00048-2)
- Park, S., Hettiarachchy, N. & Were, L. (2000). Degradation Behavior of Soy Protein-Wheat Gluten Films in Simulated Soil Conditions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48(7), 3027-3031.
- Política de Cero uso de Productos de Poliestireno y plástico No reciclable, en la Universidad de San Carlos de Guatemala. Acta No . 23-2018 § inciso 7.1 (2018)
- Reyna, H. (2018). *Comparacion de dos biopolimeros, uno a base de almidon de papa y otro a base de almidon de papa y goma xantan*. (Tesis inédita de Licenciatura. Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- Rodrigues, C., Tofanello, A., Nantes, I. a& Rosa, D. (2015). Biological Oxidative Mechanims for Degradation of Ply(lactic acid) Blended with Thermoplastic Starch. *ACS Sustaintable Chemistry & Engineering*. 3(11), 2756-2766. doi: 10.1021/acssuschemeng.5b00639
- Rojas, J. (2019). *Evaluacion de la biodegradabilidad, propiedades fisicas y mecanicas de una Espuma Solida a Base de Celulosa y Almidon Extraido de Desechos Poscosecha del Banano Verde (Musa acuminata L.)*. (Tesis inédita de Licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- Román, P., Martínez, M. & Pantoja, A. (2013). *Manual de compostaje del agricultor*. México: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentacion y la Agricultura (FAO).
- Rudnik, E., & Briassoulis, D. (2011). Degradation behaviour of poly(lactic acid) films and fibres in soil under Mediterranean field conditions and laboratory simulations testing. *Industrial Crops and Products*, 33(3), 648–658. doi: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2010.12.031>
- Siracusa, V., Rocculi, P., Romani, S. & Dalla, M. (2008). Biodegradable polymers for food packaging: a review. *Trends in Food Sciencie & Technology*, 19(12), 634-643. doi: 10.1016/j.tifs.2008.07.00

- Schweizer-Lassaga, S. (2010). *Muestreo Y Análisis De Suelos Para Diagnóstico De Fertilidad*. Costa Rica: INTA/MAG.
- Vazques, G. & Beltran, R. (2004). Pruebas normalizadas para la evaluación de la biodegradabilidad de sustancias químicas. *Interciencia*, 29(10), 568-573.
- Villalta, A. (2018). *Evaluación de la biodegradabilidad de Diferentes formulaciones de un bioplástico sintetizado, a partir del almidón obtenido de la Cáscara de Mango (Mangifera indica L.) a escala de Laboratorio*. (Tesis inédita de Licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.

## 14. ANEXOS

**Anexo No.1.** Resumen de datos, plásticos de un solo uso por pérdida de peso en 120 días.

Parámetro	Cantidad de muestras
Si tuvieron pérdida de peso	16
No tuvieron pérdida de peso	18
Mostraron pérdida de peso >50%, en suelo simulado	11
Mostraron pérdida de peso >50%, en suelo agrícola	9
Mostraron pérdida de peso >50%, en ambos suelos	9
Mostraron pérdida de peso >90% en ambos suelos	4

Fuente: Datos Experimentales.

**Anexo 2.** Documentación Fotográfica de Parte Experimental.

**Anexo No.2.1.** Procedimiento de Ensayo por Suelo Simulado. Inoculación de muestras en semillero, día 0.



Fuente: Fotografías tomadas por Lic. Rodrigo Wolford.

**Anexo No.2.2.** Procedimiento de Ensayo por Suelo Simulado. Inoculación de muestras en semillero, día 108.



Fuente: Fotografías tomadas por Lic. Rodrigo Wolford.



**Anexo No.2.3.** Procedimiento de Ensayo por suelo agrícola, AMSA, Coordenadas – 14°34'49.2" N 90°33'19.3" W a 1502 msnm; día 0.



Fuente: Fotografías Tomadas por Lic. Rodrigo Wolford.

**Anexo No.2.4.** Procedimiento de Ensayo por suelo agrícola, AMSA, Coordenadas – 14°34'49.2" N 90°33'19.3" W a 1502 msnm; día 108.



Fuente: Fotografías Tomadas por Lic. Rodrigo Wolford.

**Anexo No.2.5.** Sistema de Ensayo de Compostabilidad, liberación de  $\text{CO}_2$ .



Fuente: Fotografías tomadas por Lucy Palacios, Guatemala.

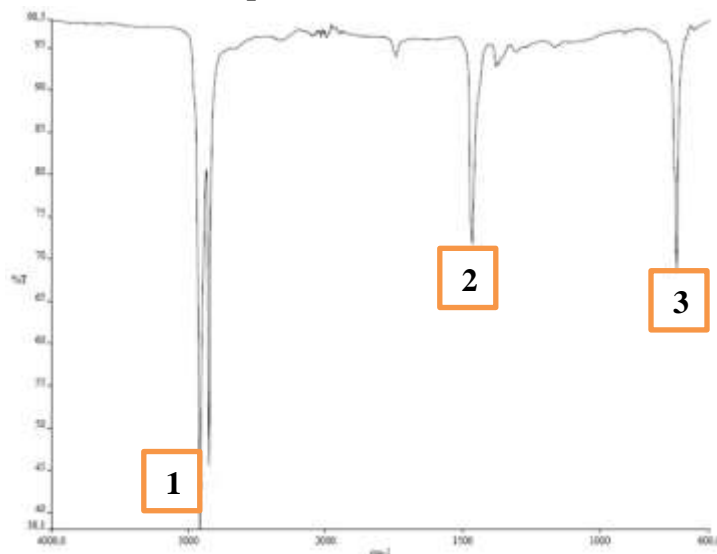
**Anexo No.2.6.** Cuantificación de liberación de  $\text{CO}_2$ . Ensayo de Compostabilidad, punto final de fenolftaleína.



Fuente: Fotografías tomadas por Lucy Palacios, Guatemala.

**Anexo No.3.** Espectros IR de materiales encontrados, espectros teóricos de referencia.

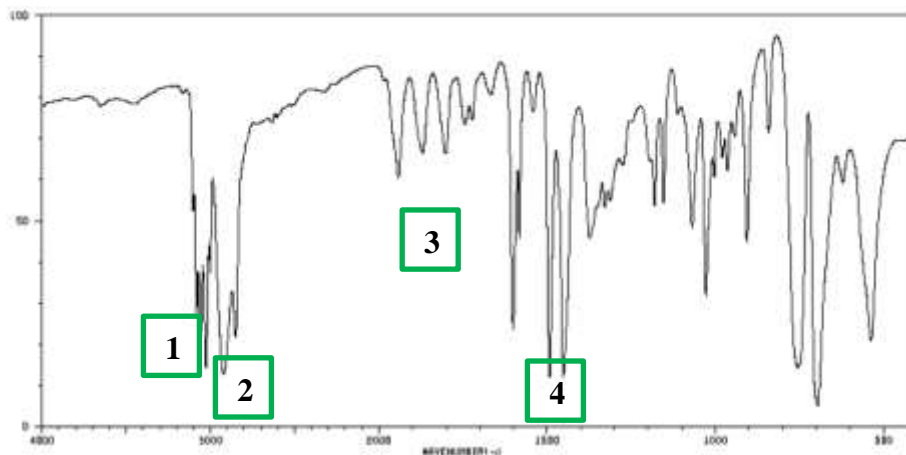
**Espectros 1. Polietileno**



Bandas: 1. Vibraciones C-H, 2. Vibraciones C-C, 3. Flexiones -C-H.

Fuente: Peltzer, M. & Simoneau, C. (2013). *Report fan interlaboratory comparison from the European Reference Laboratory for Food Contact Material*. Join Research Centre. Italy: European Union.

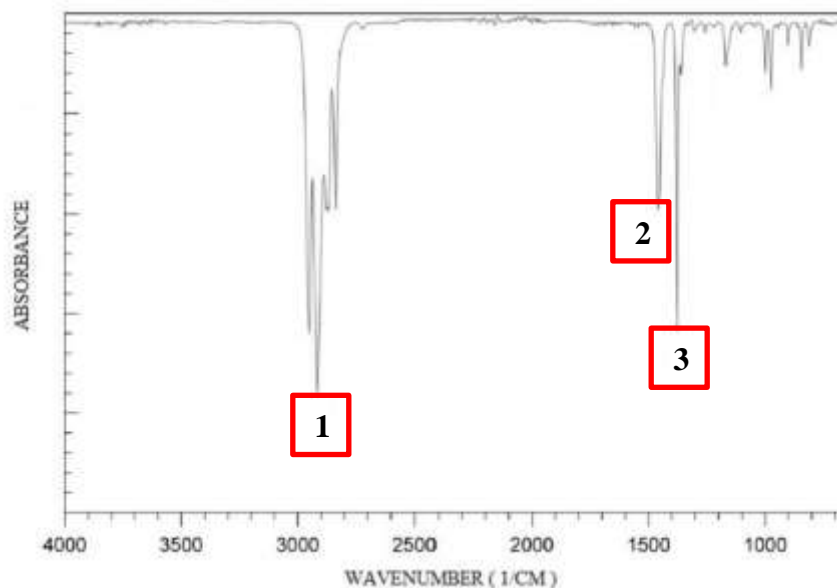
**Espectro 2. Poliestireno**



Bandas: 1. tensión C-H aromáticos, 2. Tensión CH2, 3. Rango de aromáticos monosustituídos, 4. Deformaciones CH2

Fuente: Yovani, A., Bermúdez, L. & Salazar, R. (2008). Synthesis and Characterization of the polystyrene-asphaltene graft copolymer by FT-IR Spectroscopy. *Ciencia, Tecnología y Futuro*, 3(4), 157-167.

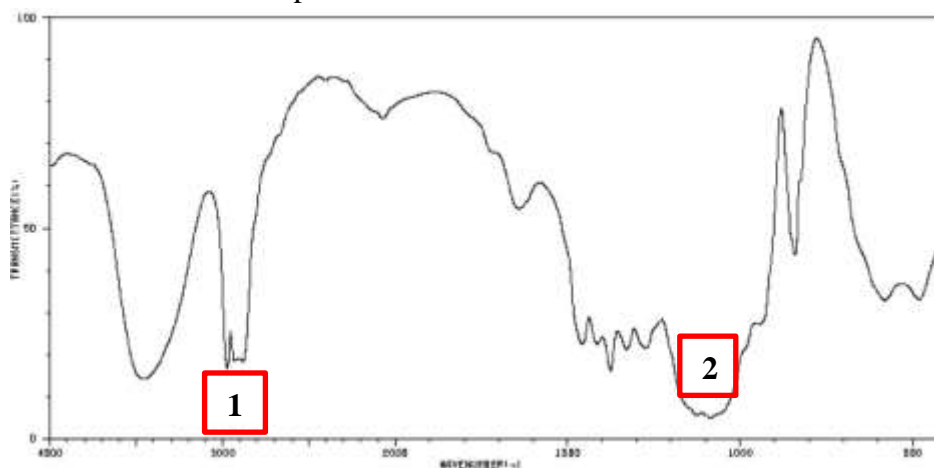
Espectro 3. Polipropileno



Bandas: 1. Estiramientos C-H, 2. CH<sub>2</sub> deformaciones, 3. Deformaciones CH<sub>3</sub>.

Fuente: Peltzer, M. & Simoneau, C. (2013). *Report fan interlaboratory comparison from the European Reference Laboratory for Food Contact Material*. Join Research Centre. Italy: European Union.

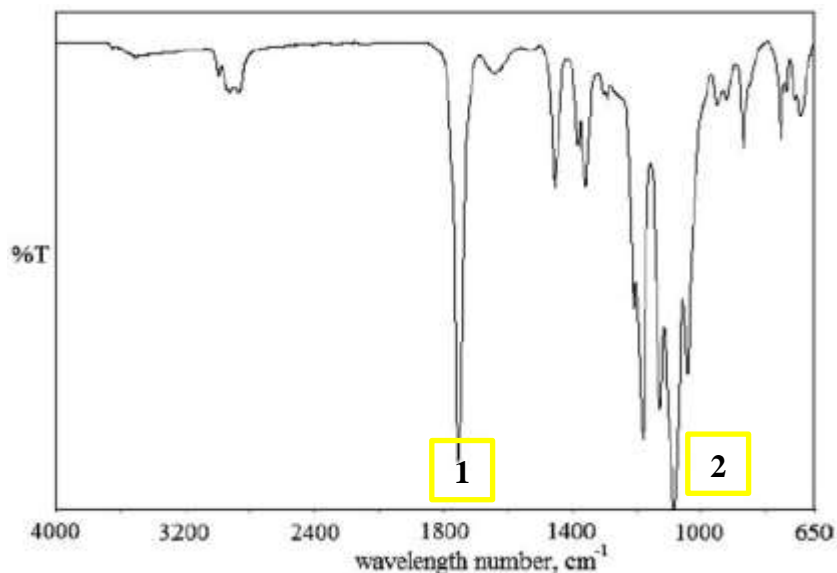
Espectro 4. Derivados de Celulosa



Bandas: 1. Estiramiento C-H saturado., 2. Estiramiento C-O. \*Estas a mayor rango de vista de transmitancia, se observan como bandas poco intensas, forma característica de celulosa no hidrolizada.

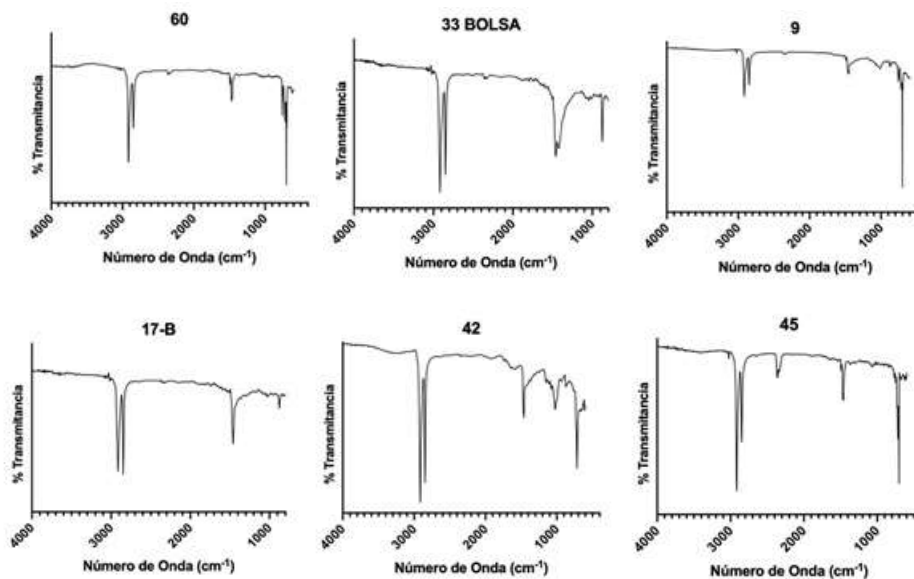
Fuente: Sun, N., Wang, T., & Yan, X. (2017). *Synthesis and investigation of a self-assembled hydrogel based on hydroxyethyl cellulose and its in vitro ibuprofen drug release characteristics*. *RSC Advances*, 7(16), 9500–9511. doi:10.1039/c6ra25355e

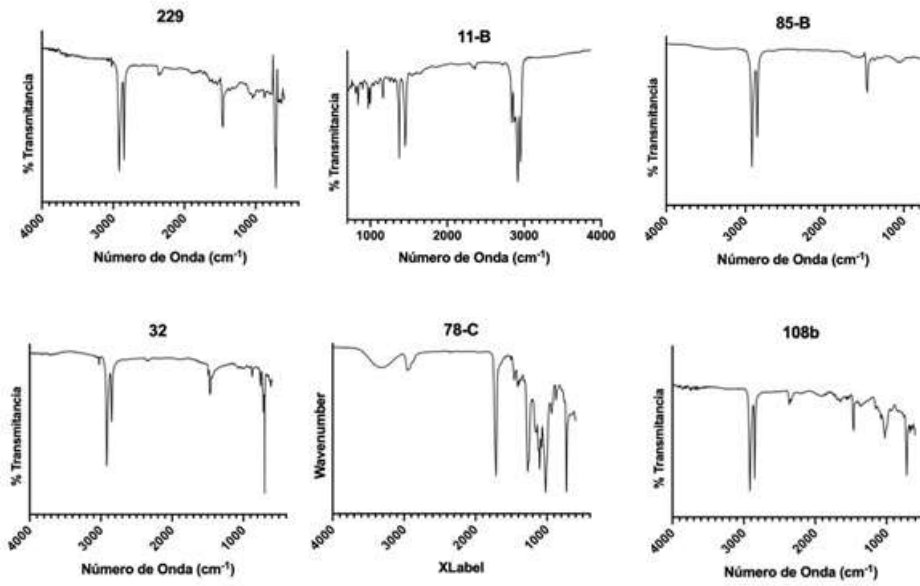
### Espectro No.5. Polilactato o derivados.



Bandas: 1. Vibraciones de carbonilo (C=O) de ester. 2. Vibraciones de enlaces C-O-C  
Fuente: Taşkin, E., Hazer, B., Beşirli, N., & Çavuş, G. (2012). *Synthesis of Some Novel Blends of Polylactide with Polylactide-b-Poly (ethylene glycol) Block Copolymers*. *Journal of Macromolecular Science, Part A*, 49(2), 164–170. doi:10.1080/10601325.2012.642222

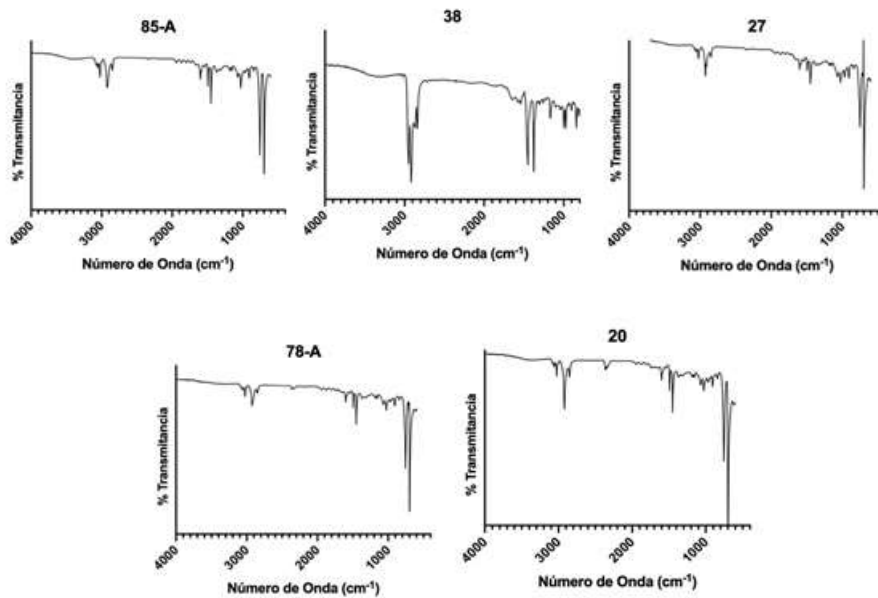
### Anexo No.3. Espectros FTIR de muestras de plástico de un solo uso comercializados en USAC. muestras identificadas de polietileno.





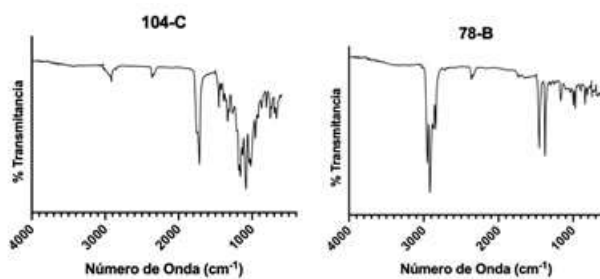
Fuente: Datos obtenidos en Laboratorio de Global Farma.

**Anexo No.4.** Espectros FTIR de muestras de plástico de un solo uso comercializados en USAC. muestras identificadas con poliestireno.



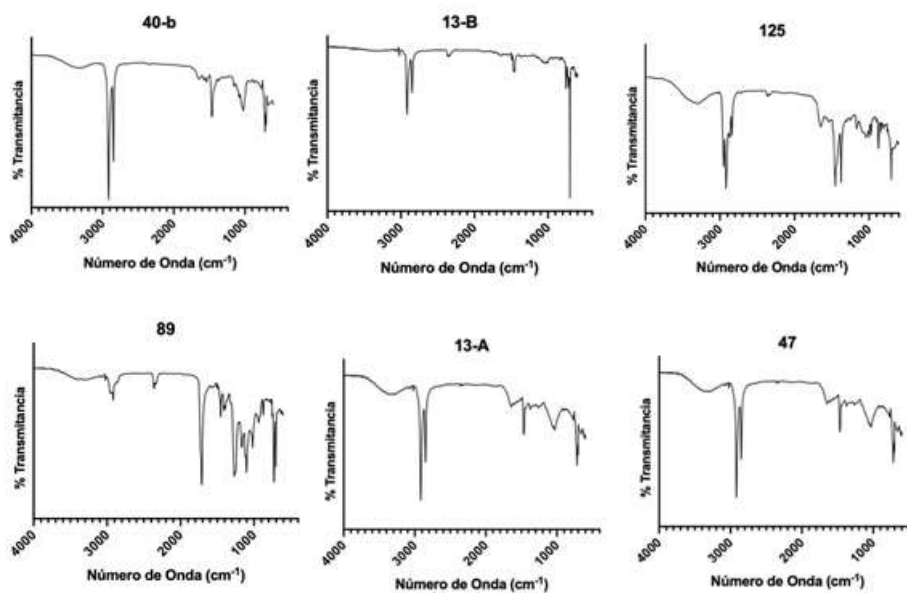
Fuente: Datos obtenidos en Laboratorio de Global Farma.

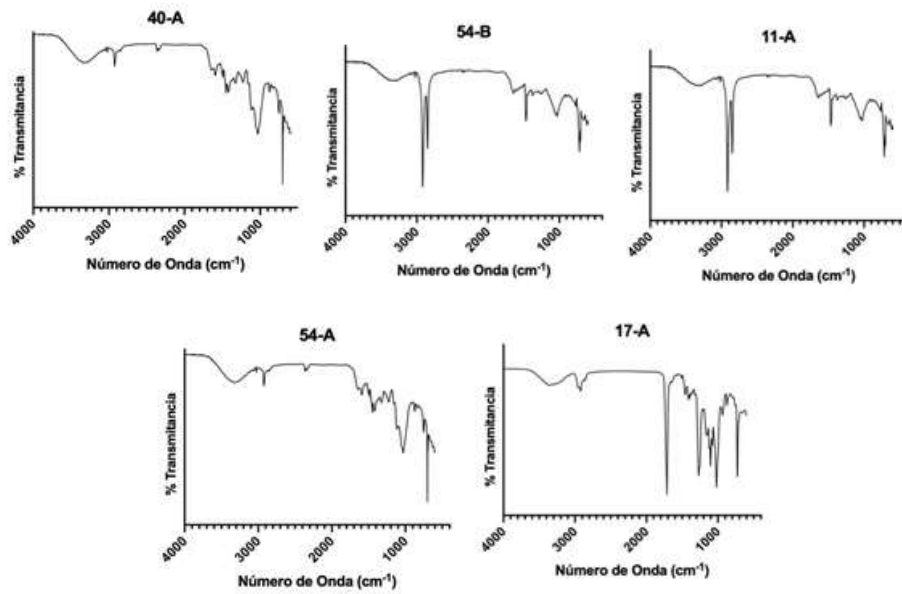
**Anexo No.5.** Espectros FTIR de muestras de plástico de un solo uso comercializados en USAC. Muestras identificadas con Polipropileno.



Fuente: Datos obtenidos en Laboratorio de Global Farma.

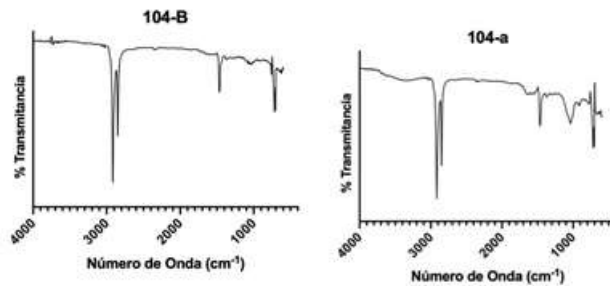
**Anexo No.6.** Espectros FTIR de muestras de plástico de un solo uso comercializados en USAC. Muestras identificadas con Celulosa o derivados.





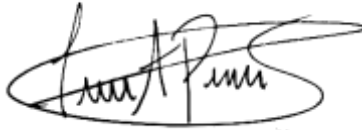
Fuente: Datos obtenidos en Laboratorio de Global Farma.

**Anexo No.6.** Espectros FTIR de muestras de plástico de un solo uso comercializados en USAC. Muestras identificadas con Ácido Poliláctico o polilactato.



Fuente: Datos obtenidos en Laboratorio de Global Farma.





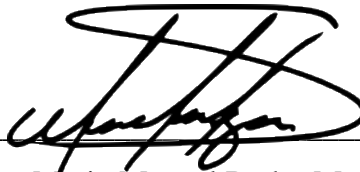
---

Lucy Aracely Palacios Surqué  
Autor



---

Lic. Rodrigo José Wolford Ramírez  
Asesor del proyecto



---

Lic. Mario Manuel Rodas Morán  
Coordinador del Proyecto



---

Licda. Bessie Evelyn Oliva Hernández  
Directora de Escuela



---

M.A Pablo Ernesto Oliva Solo  
Decano