



Informe Final:

Estudio espectroscópico y de biodegradabilidad por suelo simulado y agrícola de los plásticos comercializados dentro del Campus Central de la USAC.

Equipo de investigación

Mario Manuel Rodas Morán

Diana Elizabeth Pinagel Cifuentes

Rodrigo José Wolford Ramírez

Camilo José Wolford Ramírez

Lucy Aracely Palacios Surqué

Instituto de Investigaciones Químicas y Biológicas (IIQB)

Dr. Félix Alan Douglas Aguilar Carrera
Director General de Investigación

Ing. Agr. MARN Julio Rufino Salazar Pérez
Coordinador General de Programas

Ing. Agr. Augusto Saúl Guerra Gutierrez
Coordinador del Programa de Investigación

Lic. Mario Manuel Rodas Morán
Coordinador del Proyecto

MA Diana Elizabeth Pinagel Cifuentes
Investigadora

Lic. Rodrigo José Wolford Ramírez
Investigador contratado por Digi

Ing. Agr. Camilo José Wolford Ramírez
Investigador contratado por Digi

Br. Lucy Aracely Palacios Surqué.
Auxiliar de Investigación

Universidad de San Carlos de Guatemala, Dirección General de Investigación, 2020. El contenido de este informe de investigación es responsabilidad exclusiva de sus autores.

Esta investigación fue cofinanciada por la Dirección General de Investigación de la Universidad de San Carlos de Guatemala a través de la Partida Presupuestaria 4.8.63.6.12 CODIGO B24-2020, durante el año 2020, en el Programa Universitario de Investigación en Recursos Naturales y Ambiente.

Índice

1.	RESUMEN:	1
2.	PALABRAS CLAVE:	2
3.	ABSTRACT AND KEYWORDS	2
4.	INTRODUCCIÓN.....	3
5.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
6.	PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	5
7.	DELIMITACIÓN EN TIEMPO Y ESPACIO.....	5
8.	MARCO TEÓRICO.....	6
9.	ESTADO DEL ARTE	9
10.	OBJETIVO GENERAL	10
11.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	10
12.	HIPÓTESIS	10
13.	MATERIALES Y MÉTODO	10
14.	VINCULACIÓN, DIFUSIÓN Y DIVULGACIÓN.....	13
15.	PRODUCTOS, HALLAZGOS, CONOCIMIENTOS O RESULTADOS:.....	13
16.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	25
17.	CONCLUSIONES	30
18.	IMPACTO ESPERADO	30
19.	REFERENCIAS	32
20.	APÉNDICE:	36

Índice de Tablas

Tabla 1. Datos de biodegradabilidad a 120 días de muestras de plástico recolectadas en la USAC durante Marzo de 2020	14
Tabla 2. Ensayo de Compostabilidad de muestras seleccionadas	15
Tabla 3. Análisis de varianza para la pérdida de masa en suelo simulado	22
Tabla 4. Análisis de varianza para la pérdida de masa en suelo agrícola.	23
Tabla 5. Determinación botánica de las plantas espontáneas que surgieron del ensayo.	37

Índice de Figuras:

Figura 1. Número de muestras que cumplen con la normativa universitaria.....	15
Figura 2. Porcentaje de pérdida de masa de los cuerpos de prueba en suelo agrícola y simulado	16
Figura 3. Espectros Infrarrojo de plásticos de un solo uso (9).....	17
Figura 4. Espectros Infrarrojo de plásticos de un solo uso (9).....	18
Figura 5. Espectros Infrarrojo de plásticos de un solo uso (9).....	19
Figura 6. Espectros Infrarrojo de plásticos de un solo uso (7).....	20
Figura 7. cumplimiento de la norma por utensilio	21
Figura 8. Degradación del plato marcado como 54.....	24
Figura 9. Degradación del vaso marcado como 104.....	24
Figura 10. Degradación del plato marcado como 40.....	25
Figura 11. Codificación del semillero y colocación de los cuerpos de prueba al día 0 del ensayo.	36
Figura 12. Ensayo de biodegradabilidad al día 108.....	37
Figura 13. Establecimiento de un bloque experimental previo a ser enterrado.	38
Figura 14. Parcela experimental el día del establecimiento 18/08/2020. Coordenadas - $14^{\circ}34'49.2''N$ $90^{\circ}33'19.3''W$ a 1502 msnm.	39
Figura 15. Parcela experimental. Coordenadas - $14^{\circ}34'49.2''N$ $90^{\circ}33'19.3''W$ a 1502 msnm.	40
Figura 16. Parcela experimental en campo. Coordenadas - $14^{\circ}34'49.2''N$ $90^{\circ}33'19.3''W$ a 1502 msnm.	41
Figura 17. Parcela experimental. Coordenadas - $14^{\circ}34'49.2''N$ $90^{\circ}33'19.3''W$ a 1502 msnm.	42
Figura 18. Recuperación de los cuerpos de prueba en el ensayo en condiciones agrícolas. Coordenadas - $14^{\circ}34'49.2''N$ $90^{\circ}33'19.3''W$ a 1502 msnm.	43
Figura 19. Recuperación de los cuerpos de prueba en el ensayo en condiciones agrícolas. Coordenadas - $14^{\circ}34'49.2''N$ $90^{\circ}33'19.3''W$ a 1502 msnm.	43
Figura 20. Proceso de pesaje final de los cuerpos de prueba en el primer ensayo de biodegradabilidad a 120 días ..	44
Figura 21. Charla de concientización y contextualización del proyecto a los vendedores del Campus de la Universidad de San Carlos de Guatemala, previo al proceso de muestreo.....	45
Figura 22. Remoción de tierra a un cuerpo de prueba posterior a los 120 días del primer ensayo de biodegradabilidad.....	45
Figura 23. Cuerpo de prueba que evidenció biodegradabilidad posterior a los 120 días del primer ensayo.	46
Figura 24. Documento de control de pesaje al finalizar el primer ensayo de biodegradabilidad a 120 días.	47

1. Resumen:

El plástico derivado del petróleo es un material orgánico, presente en varios productos de fácil desecho, lo que ha desencadenado un problema ambiental, tanto a nivel de ecosistema, como de salud pública. En la Universidad de San Carlos, a partir del 2018, se regula la utilización del plástico de un sólo uso.

Este informe de investigación presenta los resultados del monitoreo del plástico de un solo uso, comercializado en el Campus Central de la USAC, Ciudad Universitaria zona 12. La investigación se realizó, a través de metodología analítica coherente con las normas ASTM, usadas para testar la biodegradabilidad del plástico en suelo simulado como agrícola. En dicho ensayo se monitoreó pérdida de masa durante 120 días, enfocándose sobre todo en materiales comercializados como degradables, oxo-biodegradables y hasta compostable, con el objetivo de comprobar dicha cualidad que ya se encuentra normada por la universidad.

Además de la biodegradabilidad, se estudió el contenido estructural de los desechos plásticos por métodos espectroscópicos (FTIR-ATR) de plástico no biodegradable (Poliestireno y Polietileno) y plástico que la literatura cataloga como biodegradable, es decir, derivado de Almidón/Celulosa y ácido poliláctico. En algunos tipos de plástico se observó el antes y después, buscando entender el mecanismo de degradación de algunos plásticos, para ello, utilizando la Norma ASTM correspondiente, se realizó una prueba de compostabilidad para 6 materiales que degradaron en su totalidad, se escogieron las seis bolsas plásticas. Dicho estudio midió el CO₂ microbiano producto de la degradación del material, según norma ASTM, dando como resultado que los materiales biodegradables también son compostables. El polietileno de baja densidad mostró una biodegradación limitada en la mayoría de los casos, debido principalmente a la erosión de la superficie, evidenciada por una disminución entre el 0% al 3% de pérdida de masa. Algunos de estos materiales, principalmente bolsas, reportaban contener un aditivo pro-oxidante en el plástico oxodegradable, en algunos casos se observó un aumento en la degradación, esta pérdida de masa fue de hasta 100%. Los resultados muestran que la mayoría de las bolsas plásticas con etiquetas oxodegradables y compostables no se biodegradarán fácilmente en suelo simulado cuanto suelo agrícola. Este hecho debe ser conocido y entendido, para que los responsables de la toma de decisiones hagan coincidir las características de los materiales con las características de los sistemas de gestión de residuos. uno de los desafíos ambientales de la Universidad de San Carlos de Guatemala, será controlar el uso de las bolsas plásticas, o definitivamente prohibirlas.

2. Palabras clave:

Poliestireno, Ácido poliláctico, pérdida de masa, compostabilidad.

3. Abstract and keywords

Plastic is an organic material, present in several easily disposed products, which has triggered an environmental problem, both at the ecosystem and public health level. At the University of San Carlos, as of 2018, the use of single-use plastic is regulated.

This research report presents the results of the monitoring of single-use plastic, marketed at the Central Campus of the USAC, Ciudad Universitaria zona 12. The research was carried out, through analytical methodology consistent with ASTM standards, used to test the biodegradability of plastic in simulated agricultural soil. In said test, mass loss was monitored for 120 days, focusing mainly on materials marketed as degradable, oxo-biodegradable and even compostable, with the aim of verifying this quality, which is already regulated by the university.

In addition to biodegradability, the structural content of plastic waste was studied by spectroscopic methods (FTIR-ATR) of non-biodegradable plastic (Polystyrene and Polyethylene) and plastic that the literature lists as biodegradable, that is, derived from Starch / Cellulose and acid. polylactic. In some types of plastic, the before and after was observed, seeking to understand the degradation mechanism of some plastics, for this, using the corresponding ASTM Standard, a compostability test was carried out for 6 materials that degraded in their entirety, the ser plastic bags. This study measured the microbial CO₂ product of the degradation of the material, according to the ASTM standard, resulting in those biodegradable materials are also compostable. Low-density polyethylene showed limited biodegradation in most cases, mainly due to surface erosion, evidenced by decreases between 0% and 3% in mass loss. Some of these materials, mainly bags, reported to contain a pro-oxidant additive in the oxodegradable plastic, in some cases an increase in degradation was observed, this mass loss was up to 100%. The results show that most plastic bags with compostable and oxodegradable labels will not easily biodegrade in simulated soil such as agricultural soil. This fact must be known and understood so that decision-makers match the characteristics of the materials with the characteristics of the waste management systems. One of the environmental challenges of the University of San Carlos de Guatemala will be to control the use of plastic bags, or definitely ban them.

Keywords: Poly Styrene; Poly Lactic Acid; Loss Weight, compost ability

4. Introducción

Actualmente se ha desarrollado un gran interés para el mejoramiento del medio ambiente la regulación del consumo de los plásticos de un solo uso, debido a los problemas que varios de estos provocan, y se encuentra relatado que los desechos plásticos son un contaminante frecuente en los ambientes en todo el mundo (Acha et al., 2003; Andrady, 2011; Barnes et al., 2009; Eerkes-medrano, Thompson, & Aldridge, 2015; Hoellein, Rojas, Pink, Gasior, & Kelly, 2014; Lechner et al., 2014; Waller et al., 2017) específicamente el Polietileno de baja y alta densidad, Propileno de alta y baja densidad, Poliestireno (incluyendo el expandido conocido en Guatemala como duroport®), los cuales, poseen poca o nula capacidad de reutilización (Briassoulis & Dejean, 2010) y poca o nula biodegradabilidad (Kaiser, Schmid, & Schlummer, 2017).

Huerta Lwanga y colaboradores (Lwanga et al., 2017) afirman que la bioturbación del suelo con hasta un 40% de cobertura deliberada de la superficie de las bolsas de plástico da como resultado un contenido de plástico de 0,2 a 1,2% en el suelo. La mayoría de las bolsas de un solo uso terminan en un vertedero, pero también son artículos comunes de basura en entornos urbanos y rurales, especialmente a lo largo de las carreteras, donde pueden entrar en contacto con otros contaminantes comunes en las carreteras, como los metales (Crosby, Fullen, & Booth, 2014).

Una vez en el medio ambiente, la radiación ultravioleta y las altas temperaturas pueden provocar la fragmentación del plástico, detritos y formación de partículas microscópicas (microplásticos; partículas de plástico de ≤ 5 mm) (Glaser, 2016) que, por su pequeño tamaño, pueden ser ingeridos por una variedad de invertebrados acuáticos (Farrell & Nelson, 2013; Mathalon & Hill, 2014) y vertebrados (Boerger, Lattin, Moore, & Moore, 2010; de Sá, Luis, & Guilhermino, 2015) Las exposiciones de laboratorio, utilizando invertebrados acuáticos y peces, sugieren que esta ingestión puede provocar bloqueos en el tracto digestivo, respuestas inflamatorias y reducción de la alimentación debido a partículas de plástico que reemplazan los alimentos digeribles (Mattsson et al., 2015)

Por ello, varios gobiernos han legislado a favor de su eliminación en empaques u otros materiales que se usan una vez y luego se desechan. Guatemala ha iniciado en la línea de seguir este ejemplo, y en 2016 la municipalidad de San Pedro La Laguna por primera vez en la historia del país, consigue a través de un acuerdo municipal prohibir la comercialización del plástico de un solo uso en la jurisdicción municipal.

En ese sentido, en el 2018, la Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC) a través del Consejo Superior Universitario, propuso una norma universitaria para regular la actividad comercial del plástico de un solo uso y la extendió, de una forma integral a todo su quehacer, para evitar compras o el uso de este material en sus actividades (Valladares, 2018).

Un objetivo de la investigación fue realizar de manera exploratoria un muestreo sobre los plásticos derivados de la actividad comercial y conocer de esta forma el nivel de cumplimiento con la normativa universitaria, así como adquirir experiencia metodológica para seguir monitoreando dicho parámetro para cumplir con la política ambiental de la USAC.

En ese contexto, el presente trabajo aborda una metodología para conocer el material del cual se encuentran manufacturados los recipientes u otros insumos de un solo uso, dentro de los comercios dentro de la USAC, como lo son: tiendas, casetas, quioscos, carretillas y mesas. Este material puede explorarse por espectroscopía infrarroja (FTIR), la cuál con cierta certeza permite conocer la identidad del material mayoritario con el que se encuentran manufacturados los recipientes y clasificarlo dentro de los plásticos que existen en el mercado (Camacho & Karlsson, 2001).

La norma universitaria también exige que exista biodegradabilidad del material en al menos 120 días, según la Norma ASTM D6400-12, por lo que se realizó un estudio de biodegradabilidad en tres sustratos distintos: (1) suelo natural representativo de la cuenca de Amatitlán, (2) suelo natural de origen agrícola representativo del Campus Central y (3) suelo simulado manufacturado según la norma ASTM D5988-03. Se llevó un registro de 120 días, tomando como parámetro pérdida de masa, por ser mayormente factible, en futuras fases y contando con mayor experiencia puede buscarse pérdida de carbono (CO₂) y compostaje, para el presente trabajo únicamente se trabajó pérdida de masa.

Además, con fines académicos se desea medir usando FTIR y microscopía óptica la degradación de algunos materiales, ya que varios aún no están del todo claros en la literatura (Haider, Völker, Kramm, Landfester, & Wurm, 2019) aprovechando esto, en proyectos o investigaciones posteriores poder identificar microorganismos que lograrán interactuar con los plásticos no biodegradables.

5. Planteamiento del problema

El presente trabajo plantea sentar la base para una metodología de análisis para cuantificar la biodegradabilidad y compostabilidad de materiales que se distribuyen por la actividad comercial en el Campus Central de la USAC. En el año 2018, la universidad en un esfuerzo por controlar la generación de plástico de un solo uso por el creciente mercado de alimentos ha aprobado una legislación, la presente investigación también se ha fijado como objetivo conocer cuánto de este material está conforme a la legislación vigente.

Guatemala ha venido creando un marco legal para el control del plástico de un solo uso (Ministerio de Ambiente, 2019), sin embargo, no se posee una norma COGUANOR para diferenciar que

material es biodegradable o compostable del no biodegradable y que se estima puede permanecer años sin conseguir una biosamiliación (Chamas et al., 2020).

Se han ofrecido a los vendedores del campus de la USAC diferentes plásticos degradables como solución para cumplir las normas vigentes, las opciones más populares son los oxodegradables, que se degradan en un proceso secuencial abiótico-biótico (Xochitl, Mar, & Alethia, 2021). En el presente trabajo se busca poner a prueba el certificado que se le es colocado a estos materiales, exponiéndolos a condiciones de suelo simulado y agrícola en un experimento de 120 días de duración para evaluar su biodegradación.

En suma, este estudio puede sentar las bases metodológicas para nuevos trabajos de investigación o para ofrecer servicios a municipalidades, escuelas o empresas, que al igual que la Universidad de San Carlos desean poseer datos sobre el impacto de implementación de políticas o regulaciones ambientales.

6. Preguntas de investigación

¿Es posible establecer una metodología para testar la biodegradabilidad del suelo según la norma ASTM D5988-03 para conocer si los plásticos que se comercializan en el Campus Central de la USAC cumplen con la norma ASTM 6400-12?

¿Es posible hacer una caracterización por FTIR (Espectroscopia de infrarrojos por transformada de Fourier) de los plásticos comercializados dentro de la Ciudad Universitaria?

¿Se está cumpliendo la normativa aprobada por el Consejo Superior Universitario (CSU) sobre plásticos de un solo uso?

¿Es posible testar otros suelos diferentes a la norma ASTM, que son más reales a lo que se encontrarán los desechos plásticos para su deposición final?

7. Delimitación en tiempo y espacio

Delimitación en tiempo: del 1 de febrero al 31 de diciembre de 2020. Se realizaron dos muestreos cada 120 días. Un muestreo al inicio del primer semestre y otro a inicio del segundo semestre. el estudio fue de una duración de 120 días cada uno. Previo a este estudio se realizó la técnica FTIR para conocer el material con el que se encuentra manufacturado el recipiente.

Delimitación espacial: El estudio se hizo en casetas, tiendas, mesas, carretillas y quioscos del Campus Central de la USAC. Los cuerpos de prueba se testaron en el Laboratorio 110 del Departamento de Química Orgánica. Los suelos se prepararon y analizaron en el Laboratorio de Análisis de Suelos, Aguas y Plantas, 3er nivel del edificio de UVIGER, perteneciente a la Facultad

de Agronomía. Los análisis de FTIR se realizaron en: El Laboratorio de Análisis Químico de la Universidad del Valle de Guatemala.

8. Marco teórico

Antecedentes: Caso de la Municipalidad de San Pedro La Laguna, Departamento de Sololá, para la prohibición de la comercialización de plásticos

En septiembre del año 2016, la municipalidad de San Pedro La Laguna, considerando que es de alta importancia reducir los niveles de contaminación en el Lago de Atitlán generados por el uso de bolsas plásticas, duroport, pajillas y sus derivados, estableció el Acuerdo Municipal 111-2016. Dicho Acuerdo prohíbe el uso, venta y distribución de plásticos no reutilizables, sancionando con multas de hasta 15mil quetzales a toda empresa que comercialice éstos productos (Pérez, 2016). La Cámara de la Industria de Guatemala, demandó una inconstitucionalidad general parcial en el Acuerdo Municipal 111-2016, objetando ambigüedad en el alcance y aplicación del Acuerdo, pues no especifica qué son derivados plásticos. En la resolución del caso, la Corte de Constitucionalidad de la República de Guatemala, exhorta al Organismo Ejecutivo y al Congreso de la República de Guatemala, que promuevan la creación de normativa y de políticas públicas sobre el consumo, distribución y producción de materiales no reutilizables que causan contaminación en el medio ambiente para minimizar los efectos nocivos en la salud de las personas a nivel nacional (Guzmán, 2016).

Política de la Universidad de San Carlos de Guatemala sobre el uso de productos de poliestireno y plástico no reciclable

El Consejo Superior Universitario, de la Universidad de San Carlos de Guatemala, en el inciso 7.1 del Acta No. 23-2018, acuerda limitar la comercialización de alimentos dentro de plásticos desechables compuestos de Tereftalato de Polietileno (PET), Polietileno de Alta Densidad (HDPE), Polietileno de Baja Densidad (LDPE), Polipropileno (PP), Poliestireno (PS) y Poliestireno Expandido (EPS), permitiéndose únicamente el uso de plásticos certificados con el sello: Producto biodegradable fabricado con normas ASTM D6400, D6868, D6866. En el punto noveno, instruye a la Dirección General de Investigación a abrir una línea de investigación e innovación tecnológica para producir empaques y otros productos biodegradables alternos al plástico desechable y al duroport. En el punto décimo, instruye a la Dirección General de Administración para que se diseñen e implementen proyectos destinados al acopio, clasificación, tratamiento, manejo y uso de desechos sólidos (Valladares, 2018).

De acuerdo a lo establecido en el Acta No. 23-2018 se procedió a formar un Comité Técnico el cual redactó un Informe sobre la lista de empaques biodegradables y reciclables permitidos en la Universidad de San Carlos de Guatemala, además sugiere crear un laboratorio de investigación multidisciplinaria para pruebas de biodegradabilidad y compostaje cuyo objeto sea el de monitorear la calidad de productos biodegradables y compostables no dañinos a la salud y el ambiente, con lo cual la USAC podría certificar productos limpios, abarcando de esta manera también la responsabilidad social empresarial (Valladares, 2018).

Biodegradación de plásticos de acuerdo a la normativa ASTM D6400-12

La normativa ASTM D6400-12 define a los plásticos biodegradables a todos aquellos que son susceptibles a degradarse y cuyo proceso de degradación es resultado de la acción natural de microorganismos como bacterias, hongos y algas. Para que un plástico se considere biodegradable, de acuerdo a la norma, se debe demostrar de forma satisfactoria que en un tiempo de 180 días por lo menos el 90% de del carbono orgánico se ha convertido en CO₂ bajo condiciones controladas de biodegradación aeróbicas en suelo (ASTM - American Society for Testing Materials, 2019).

Propiedades de un suelo simulado para evaluar biodegradabilidad

Los productos etiquetados como biodegradables son aquellos que se descomponen debido a la acción conjunta de microorganismos como hongos, bacterias y algas, que consiguen metabolizar los compuestos por vía aeróbica liberando CO₂, o bien anaeróbica liberando metano. Este tipo de materiales se pueden agrupar en dos grandes clases: (A) sustancias que deben ser atravesar un proceso de compostaje para su descomposición y (B) materiales que se descomponen en el suelo (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 simulado consiga emular las mejores condiciones para el desarrollo de bacterias, algas y hongos. Cabe señalar que en una evaluación no debe manipularse el suelo de ninguna manera que se inhiba su población natural de microorganismos (exposición a UV, cambios de temperatura, desecación, etc.), corriendo el riesgo de que su capacidad degradativa sea alterada.

Generalmente se emplean los primeros horizontes del suelo para las simulaciones, debido a su riqueza en microorganismos, ya sea empleando únicamente el suelo o en mezclas a diferentes texturas. (Briassoulis & Dejean, 2010). Las mezclas sueltas o francas (con una proporción arcilla-arena-limo equilibrada) consiguen un balance entre la oxigenación del suelo, su capacidad para albergar agua y un área superficial máxima para el desarrollo de los microorganismos edáficos (FAO, 2006).

Suelos en el Centro Experimental Docente de Agronomía (CEDA)

El CEDA se encuentra ubicado dentro de la Ciudad Universitaria de la Universidad de San Carlos de Guatemala, en la Zona 12 de la Ciudad de Guatemala. Sus coordenadas son 14°33'11" latitud Norte y 90°35'58" longitud Oeste, y posee una altura de 1502 msnm en el casco del centro experimental. (Monterroso, 2011) En esta área hay regiones de uso forestal, apícola y agrícola, la cual a su vez contiene campos de cultivo, invernaderos y umbráculos.

El CEDA y toda la extensión de la Ciudad Universitaria, se encuentra en la serie de suelos Guatemala, de la clasificación de Simmons. Se caracterizan por originarse de ceniza volcánica clara, su relieve es prácticamente plano y poseen un buen drenaje interno. Los horizontes superficiales del suelo son de color pardo muy oscuro. El suelo es franco arcilloso, friable, con partículas de 0.3-0.5 mm de espesor. El suelo subsuperficial en cambio es de un color pardo amarillento pudiendo también tomar coloraciones pardo rojizas. Este horizonte es arcilloso, friable, con partículas de 0.5 a 0.6 mm de espesor. El drenaje es lento con un bajo peligro de erosión y una buena fertilidad natural (Simmons, 1959).

Características de la subcuenca del lago de Amatitlán

La cuenca del lago de Amatitlán se encuentra limitada al norte por la calzada Roosevelt y el Boulevard liberación, siguiendo los arcos de la Ciudad de Guatemala por todo el límite norte. Al Oeste se encuentra delimitada por la cuenca del río Achiguate y al Este con la cuenca del río Los Esclavos. (Marroquín, 2008) El sur de la cuenca se encuentra delimitado por el río Michatoya y parte media del río María Linda.

La caldera del lago de Amatitlán forma parte de un gran paisaje cuyo origen se debe al colapso de una estructura volcánica que ocupaba el espacio donde hoy se encuentra el lago y el delta del río Villalobos. Las rocas de esta región son basaltos columnares y andesitas, lo cual se puede comprobar en las paredes internas del cuerpo lacustre. El sur de la sub-cuenca se encuentra salpicado de flujos basálticos que se originaron en el volcán de Pacaya (Marroquín, 2008).

Suelos en la cuenca de Amatitlán

Los suelos de la caldera de Amatitlán se han desarrollado sobre cenizas volcánicas de una elevación media. Superficialmente, estos suelos son de color café, su textura es franco arcillosa y su pH es ligeramente ácido. Los horizontes más profundos del suelo son de color rojizo y llegan hasta un metro de profundidad. La clasificación de Simmons reconoce varias series de suelos en la cuenca y fueron incluidos como parte de los "Suelos de la Altiplanicie Central", estos se caracterizan por

ser profundos y formarse sobre materiales volcánicos, a mediana altitud sobre el nivel del mar (Simmons, 1959).

Simmons reconoce ocho series distintas de suelo para la cuenca de Amatitlán, las predominantes son la serie Morán y la serie Cauqué. La serie Morán se caracteriza por poseer suelos profundos, con un buen drenaje, que se han desarrollado sobre ceniza pomácea de origen volcánico en un clima estacional. Estos suelos ocupan los relieves ondulados a mediana altitud en el sur central del departamento de Guatemala. Son rojizos y originalmente se encontraban altamente forestados. Son suelos más pesados y profundos que los suelos de Fraijanes y Barberena, con los cuales colindan hacia el este (Marroquín, 2008; Simmons, 1959). La serie Cauqué, por otro lado, es bastante similar a la serie Morán salvo en que la ceniza pomácea de la cual se origina es firme y gruesa. Estos suelos ocupan relieves ondulados a altitudes de 1500 msnm en la meseta central del departamento de Guatemala.

9. Estado del arte

Al-Salem, realizó un estudio para evaluar el potencial uso de polietileno lineal de baja densidad (LLDPE) para el reciclaje de desechos sólidos. Fabricó Blends LLDPE-Desecho sólido y evaluó la capacidad de degradación por medio del cambio de las propiedades mecánicas de los blends al ser expuestos a duras condiciones climáticas; exposición solar, altas temperaturas ambientales y contaminantes del aire (Al-Salem, 2019)

El polietileno de alta densidad (HDPE), es uno de los plásticos no biodegradables más comúnmente utilizados, en un estudio reciente se evaluó la capacidad de biodegradación en suelo de Blends de HDPE con almidón de maíz, se observó que la adición de materiales biodegradables como el almidón en el HDPE, además de mejorar sus propiedades mecánicas, mejora su capacidad de biodegradación (Oragwu, 2019).

Tróchez, fabricó una bolsa para el cultivo en vivero de café utilizando ácido poliláctico y almidón de yuca, como una alternativa a las bolsas convencionales fabricadas de polietileno de baja densidad. Se evaluó la biodegradación de las bolsas midiendo su resistencia mecánica a la tensión en sentido longitudinal y transversal por 120 días. La evaluación permitió concluir que a partir del día 15 de estudio, se hace evidente la biodegradación (Palechor, Cerón, Villada, & Salazar, 2016)

10. Objetivo General

Sentar las bases metodológicas para la caracterización de la biodegradabilidad del plástico de un solo uso comercializado en la USAC.

11. Objetivos específicos

- Caracterizar por FTIR los plásticos muestreados en el Campus de la Universidad de San Carlos previo y posterior a realizar el estudio de biodegradabilidad;
- Formular un suelo simulado y tomar muestras de suelo de Universidad de San Carlos de Guatemala y de la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán, AMSA y caracterizar los suelos de forma mensual;
- Monitorear durante 120 días en intervalos de 10 días la pérdida de masa de los distintos cuerpos de prueba enterrados en los distintos suelos;
- Determinar si una muestra cumple o no con la política de la USAC sobre plástico de un solo uso.

12. Hipótesis

No Aplica al ser una investigación de carácter exploratorio

13. Materiales y método

Enfoque de la investigación: cuantitativo-descriptivo

Tipo de la investigación: exploratoria-correlacional.

Muestreo del plástico de un solo uso

Se realizó en conjunto con el Laboratorio de Control de Alimentos, de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, el cual ya cuenta con un mapeo y clasificación de comercios, tanto formales como informales. Éstos se encuentran clasificados en: tiendas, casetas, mesas, quioscos y carretas. De éstas se tomaron aleatoriamente 5 de cada una y se tomaron aleatoriamente muestras del material usado como recipientes para colocar alimentos.

Muestreo y análisis del suelo

Se realizó un muestreo de suelos en una finca ubicada en Santa Rosa, representativa del área de influencia, considerando una muestra compuesta de 20 submuestras/Ha, tomadas completamente al azar en los primeros 10 cm de profundidad. Previo a la toma de la muestra se descartó la broza y la vegetación superficial, procurando eliminar las raicillas de la muestra. En cada sitio escogido al azar, se empleó una pala de punta para sustraer 1 kg de suelo. Una vez tomadas 20 submuestras, estas fueron tamizadas para eliminar raicillas y piedras, y se homogenizarán en un balde plástico (Schweizer Lassaga, 2011). Se tomó nota de las coordenadas, altitud y condiciones climáticas del sitio y momento de colecta.

La muestra se constituye finalmente de 1 kg de suelo homogenizado, el cual fue guardado y etiquetado en una bolsa de cierre hermético para su destinación al Laboratorio de Análisis de Suelos, Aguas y Plantas, perteneciente a la Facultad de Agronomía (FAUSAC). Se determinó la textura por el método de Bouyoucos, capacidad de campo, contenido de humedad por desecación en horno, cenizas totales y proporción Carbono/Nitrógeno. El pH se determinó en una solución de agua destilada y suelo en proporciones 5:1, empleando un electrodo de vidrio calibrado en una solución buffer estándar (ASTM D5988-03, 2012). El resto de la muestra se empleó como constituyente del suelo simulado, representativo del área de influencia. Para preservar los microorganismos del suelo este se almacenado en un sitio fresco, en condiciones de oscuridad y evitando su desecación hasta un máximo de 1 semana antes de su empleo.

Preparación de suelo simulado

El suelo fue preparado en una mezcla a partes iguales de arena, estiércol de vaca compostado y suelo del área de influencia. Este debe de ser tamizado a partículas menores de 2mm. Todo material inerte, piedras, restos de hojas y raicillas vegetales se eliminó durante el tamizaje. Una vez realizada la mezcla, el suelo puede ser almacenado en un recipiente hermético en condiciones de refrigeración hasta un máximo de 1 mes (ASTM D5988-03, 2012).

Previo a su utilización, el estiércol de vaca se compostó hasta estabilizarse completamente, previniendo con ello la descomposición del material durante la evaluación. Para ello se realizó una cama de 1 m², con capas de 10 cm de estiércol fresco y 2 cm de suelo hasta alcanzar una altura de 0.5 m. La pila fue humedecida hasta capacidad de campo y se le realizó un volteo cada 3 días hasta que la temperatura se estabilice. Si la mezcla se seca se humedeció de nuevo hasta que finalizó el compostaje (FAO, 2013). Una vez estabilizada, la pila se dispersó en una capa de 2 cm de espesor y se exhibió al sol durante 7 días previo a su utilización en la mezcla.

Caracterización por FTIR.

Se tomó una porción no menor de 1 cm² de cada plástico muestreado, éste con ayuda de una lima o lija, se tritura hasta quedar como polvo. El material ya pulverizado se colocó sobre un cristal de Celenuro de Zinc con una cabeza de acero, el cuál es un accesorio de Reflectancia Total Atenuada (ATR) con una resolución no menor de 4 cm⁻¹ usando como media aritmética 6 ciclos en la gama de números de onda de 4000 a 600 cm⁻¹ para monitorear su absorción en el Infrarrojo. A través de los espectros de infrarrojo se buscaron bandas asociadas a los picos de los plásticos comunes y poco biodegradables como lo es: Tereftalato de polietileno (Liang & Krimm, 1959), Polietileno de Alta y Baja densidad (Krimm, Liang, & Sutherland, 1956), Polipropileno (Luongo, 1960) y Poliestireno. (Liang & Krimm, 1958)

Pruebas de Biodegradabilidad:

Se empleó un suelo simulado según la Norma ASTM y dos suelos naturales, estos fueron obtenidos por muestreo compuesto, en áreas donde los plásticos del área de influencia encuentran su deposición final. Los plásticos se cortaron con tijera en cuadros de 1cm² siendo el cuerpo de prueba a testar, éste es pesado y enterrado en los respectivos suelos a una temperatura de 297K. La biodegradación se monitoreó por un periodo total de 120 días (según la norma de la USAC), usando el parámetro de pérdida de porcentaje de masa. Los cuerpos de prueba son removidos de su respectivo suelo cada 10 días, lavadas con agua destilada secas con horno por 6 horas y pesadas en seguida, los cuerpos de prueba fueron enterrados nuevamente en sus respectivos suelos. Los experimentos fueron realizados por quintuplicado.

Estudio de Compostabilidad:

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 realizó para aquellas muestras que mostraron pérdida de masa significativa por prueba de biodegradabilidad.

Se utilizó el procedimiento anteriormente relatado en la norma ASTM D5988-03 del año 2012 que consiste en preparar una disolución de hidróxido de Bario al 0.25 N, seguido de colocar en una desecadora con cierre hermético 1 g de muestra y 500 gramos de suelo; sobre la placa de separación de la desecadora se coloca 20 ml de disolución de hidróxido de bario, se deja esta de 3 a 4 días,

luego se reemplaza la disolución por otro tiempo similar hasta completar 60 días. Terminado este tiempo se titula las disoluciones con HCl 0.25N, usando fenoltaleína como indicador.

Luego de esto se calcula los mg de CO₂ producidos entre los CO₂ teóricos, se debe además tener la corrección de un testigo para no tomar en cuenta la acción microbiana del suelo.

14. Vinculación, difusión y divulgación

Se buscó principalmente la colaboración y asesoría de las siguientes personas e instituciones. Licda. Ana Luisa Mendizabal, Laboratorio de Análisis Químico de la Universidad del Valle de Guatemala, para pruebas de FTIR. Prof. Dr. Derval Rosa, Centro de Engenharia, Modelagem e Ciências Sociais Aplicadas (CECS) da Universidade Federal do ABC (UFABC), Santo André, Estado de São Paulo, Brasil. Lic. Aníbal Ruíz, Laboratorio de Control de Calidad de la Farmacéutica Global Farma.

El Prof. Derval dio algunas ideas para el suelo simulado, con la Universidad del Valle de Guatemala, no se logró trabajar debido a la Pandemia del COVID-19, todos los análisis de FTIR se lograron en Global Farma.

Además, en febrero de 2020 se impartió una plática a estudiantes de primer ingreso de la Facultad de Agronomía, sobre la importancia de la investigación en ambiente y el uso responsable del consumo de alimentos, también durante el mes de marzo del mismo año, se participó de la inducción que realiza actividad comercial de la USAC a vendedores, con el fin de concientizarlos sobre la compra de material biodegradable para empaque y de las falsificaciones que se pueden encontrar con un sello “verde”. Se ha participado en distintas pláticas y eventos estudiantiles, divulgando los resultados, además se tiene una infografía lista para salir.

15. Productos, hallazgos, conocimientos o resultados:

Se recolectaron 50 muestras en distintos comercios dentro de la USAC, estos se dividen en carretas, quioscos, tiendas, cafeterías y casetas, dejando fuera por la dificultad de preparación a los cubiertos, también se dejaron fuera algunas bolsas plásticas que eran del mismo proveedor, obteniendo al final 34 muestras, monitoreando con ello 24. El menor porcentaje de pérdida de masa en suelo agrícola fue la bolsa 60, Mientras que el porcentaje mayor fue el de 17-A (plato). En contraste con la pérdida de masa en suelo simulado (ver Tabla 1).

Tabla 1. Datos de biodegradabilidad a 120 días de muestras de plástico recolectadas en la USAC durante Marzo de 2020

Muestra	% pérdida de masa en suelo agrícola	% pérdida de masa en suelo simulado.	Resultado por FTIR
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)	-5.40	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)	0.10	-0.06	Poliestireno
104-C (pajilla)	0.26	4.34	Polipropileno
229 (bolsa)	0.36	0.14	Polietileno
78-B (pajilla)	0.36	-0.10	Polipropileno
8 (bolsa)	0.38	0.10	Polietileno
11-B (pajilla)	0.39	0.05	Polietileno
85-B (Bolsa)	0.77	-0.34	Polietileno
40-B (pajilla)	5.82	14.29	Celulosa/PP
32 (Bolsa)	9.92	-0.03	Polietileno
13-B (bolsa)	11.05	5.38	Celulosa/PE
78-C (bolsa)	17.30	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)	90.50	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	PLA
104-B (Vaso Grande)	95.04	92.51	PLA
54-A (plato)	97.47	95.83	Celulosa
17-A (plato)	99.37	100	Celulosa

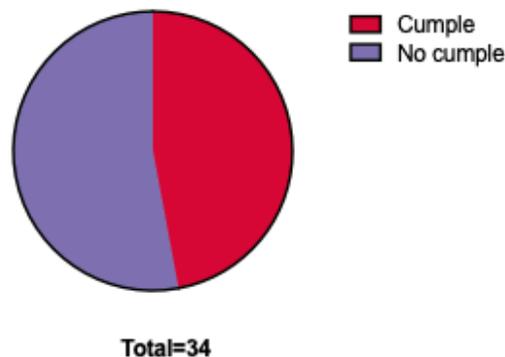
Se realizó el ensayo de compostabilidad (Tabla 2) de 2 muestras de bolsas plásticas que se encontró que biodegradaron, sin embargo, son manufacturadas con polietileno, comparando estas con otro material biodegradable a base de celulosa.

Tabla 2. Ensayo de Compostabilidad de muestras seleccionadas

Identidad de la muestra	mg CO2 obte. Pro.	%Bio
108 (bolsa)	251.9	57.25
78-C (bolsa)	256.3	58.25
17-A (plato)	218.9	49.75
54-A (plato)	184.8	42
104-A (vaso)	194.7	44.25
40-A (plato)	194.7	44.25

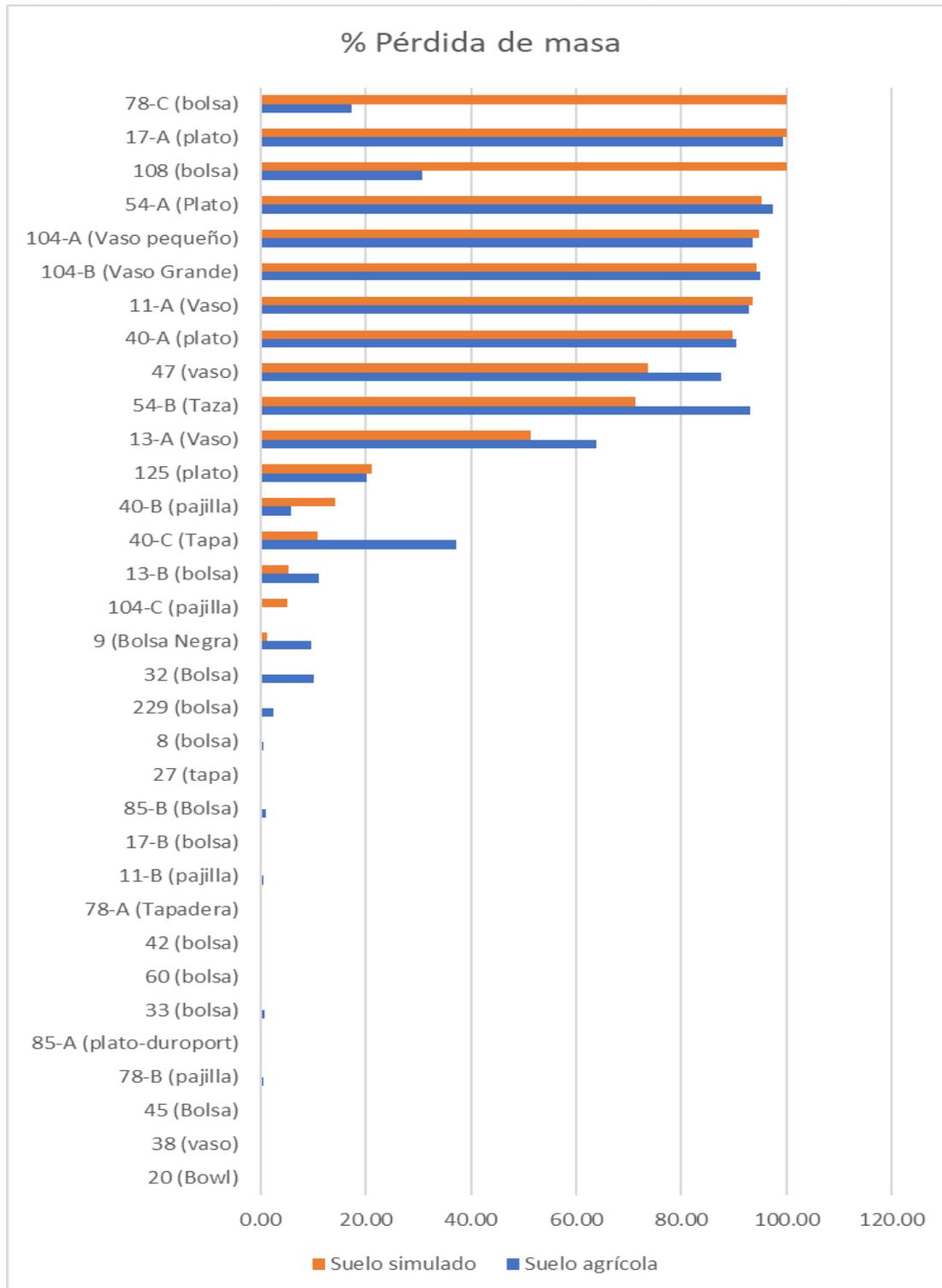
Con los datos anteriores fue posible realizar una gráfica (Figura 1) mostrando de manera gráfica el universo de materiales plásticos, indicando que más del 50% de los empaques u utensilios de un solo uso utilizados para colocar alimentos no cumple con la normativa universitaria:

Figura 1. Número de muestras que cumplen con la normativa universitaria



Se presenta la figura 2, en la cuál se muestra una comparación entre ambas metodologías, mostrándose que en todas las muestras existió coherencia de los datos. En la mencionada tabla se encontró que la mejor biodegradabilidad en ambos métodos la presenta la muestra 17-A, manufacturado de Celulosa.

Figura 2. Porcentaje de pérdida de masa de los cuerpos de prueba en suelo agrícola y simulado



En las Figuras 3, 4, 5 y 6 se encuentran resumidos los espectros infrarrojos de todas las muestras. Dichos espectros fueron útiles para encontrar el material de manufactura de todos los plásticos de un solo uso, recolectados en la USAC en marzo de 2020.

Figura 3. Espectros Infrarrojo de plásticos de un solo uso (9)

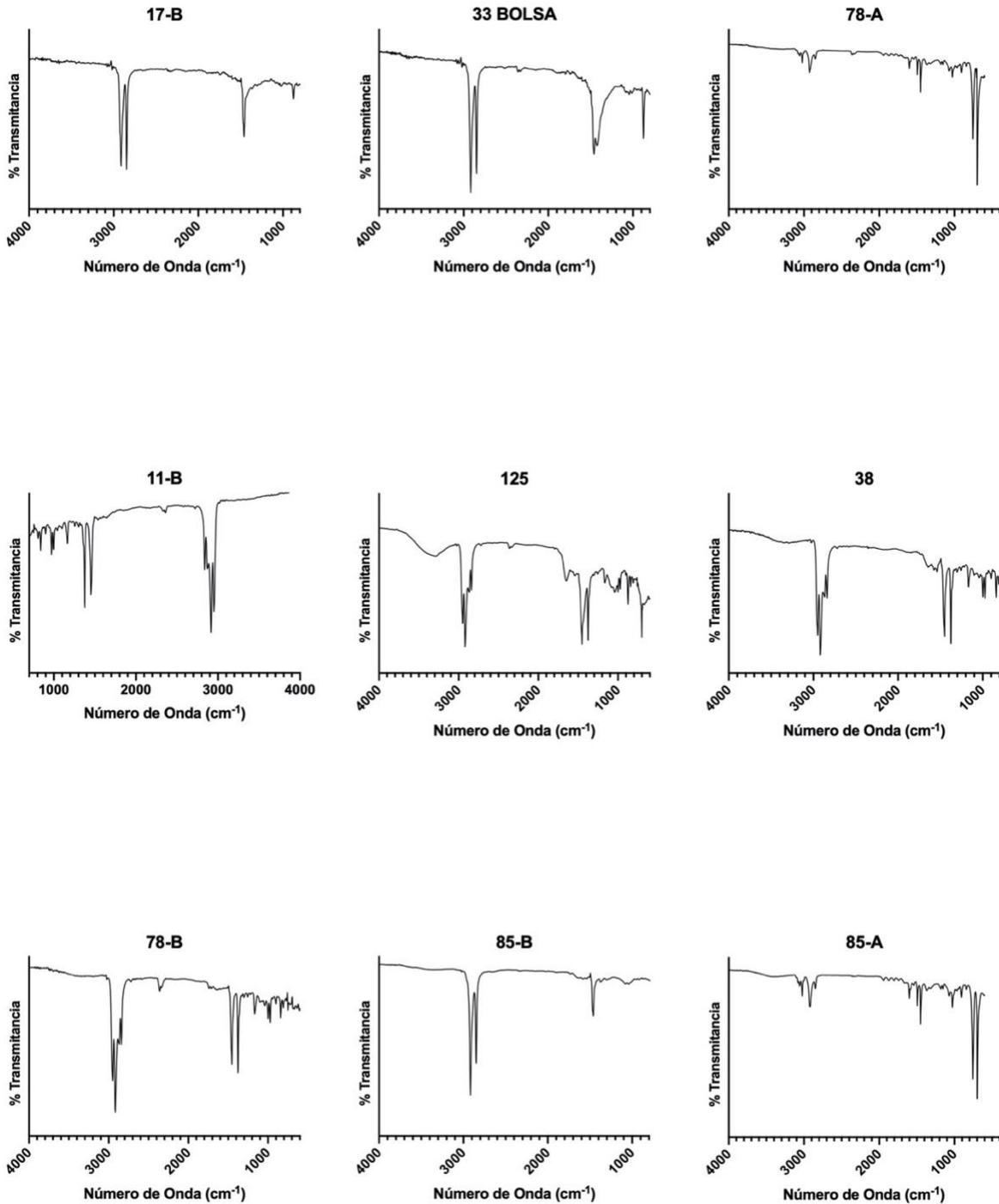


Figura 4. Espectros Infrarrojo de plásticos de un solo uso (9)

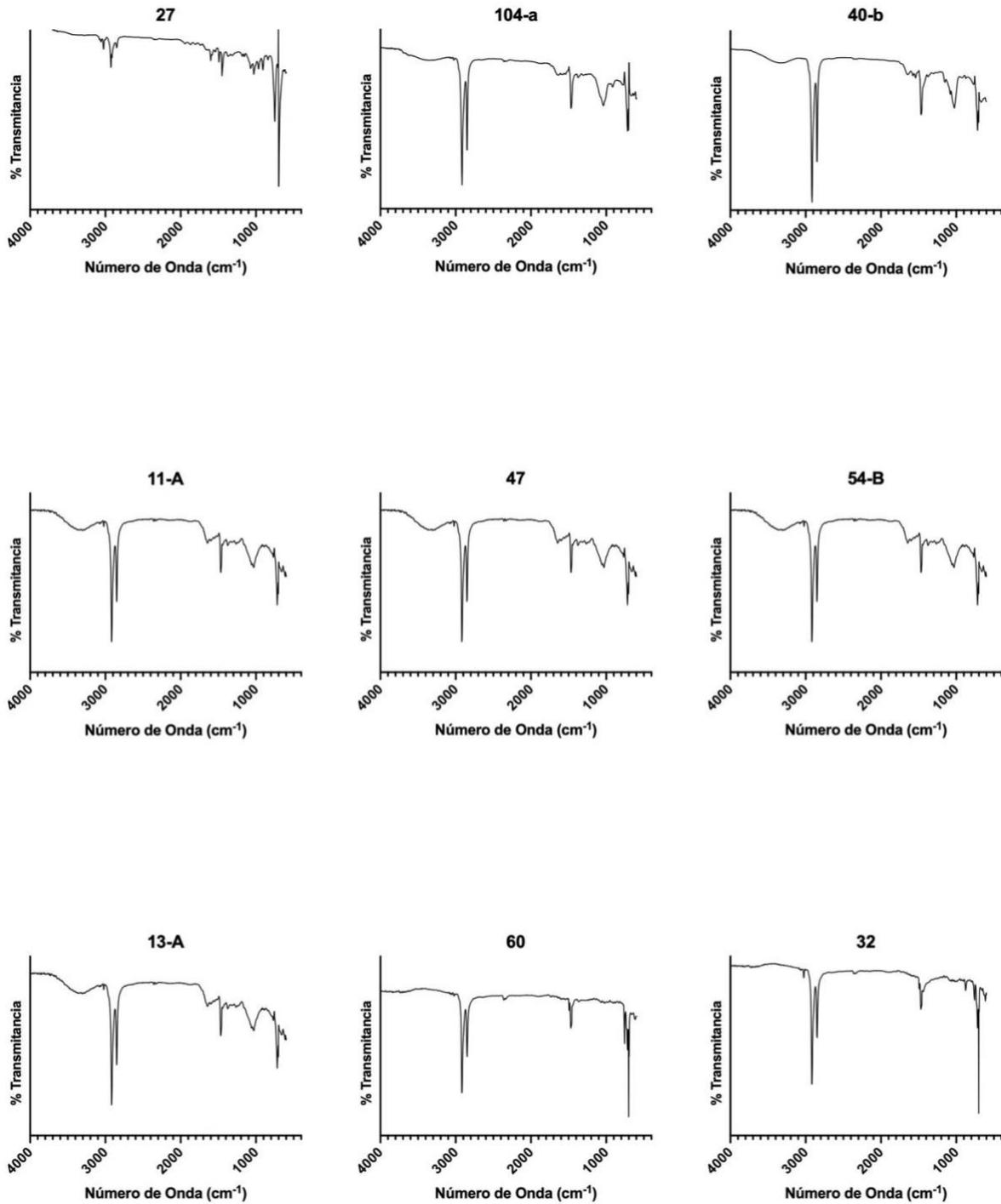


Figura 5. Espectros Infrarrojo de plásticos de un solo uso (9)

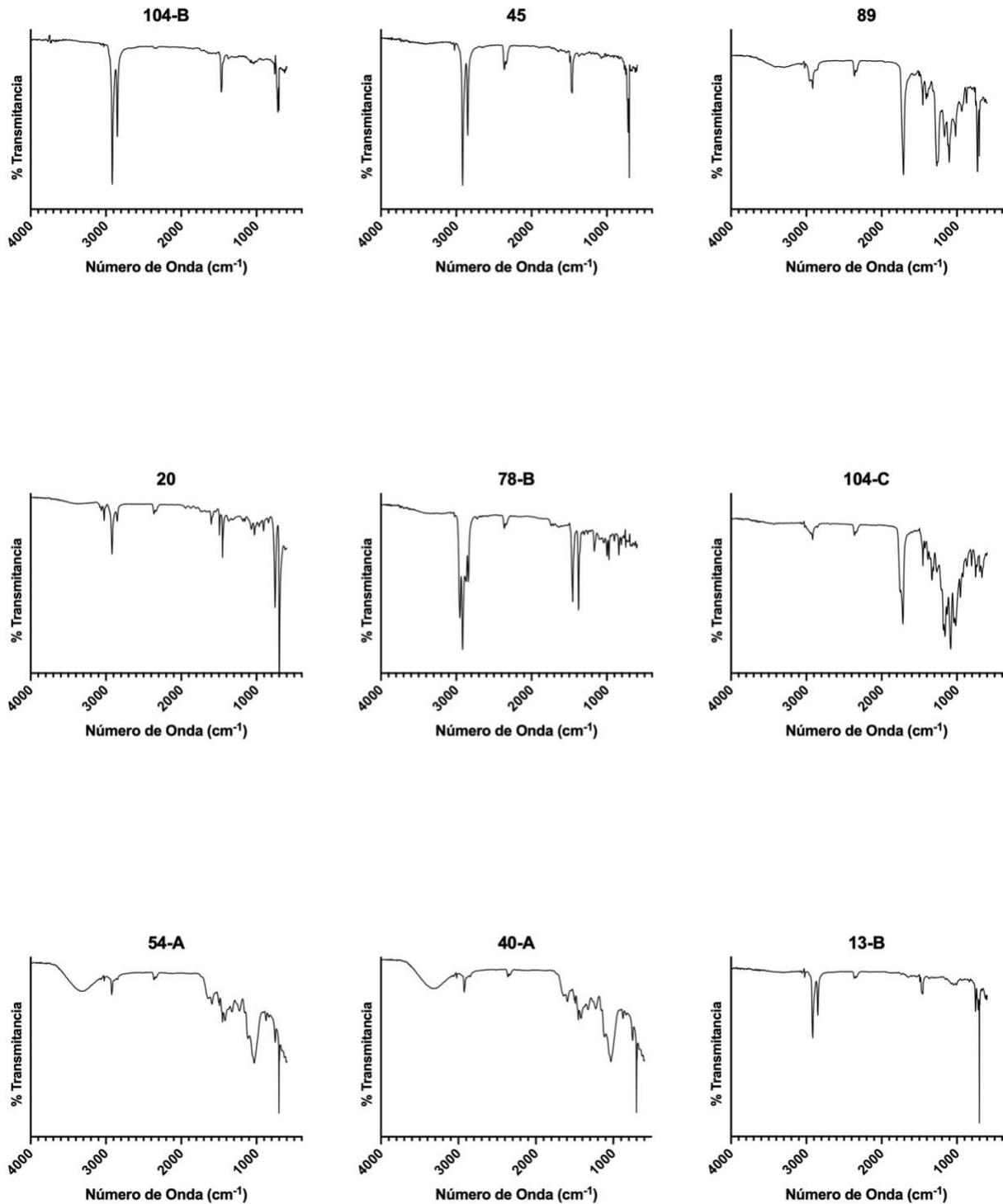
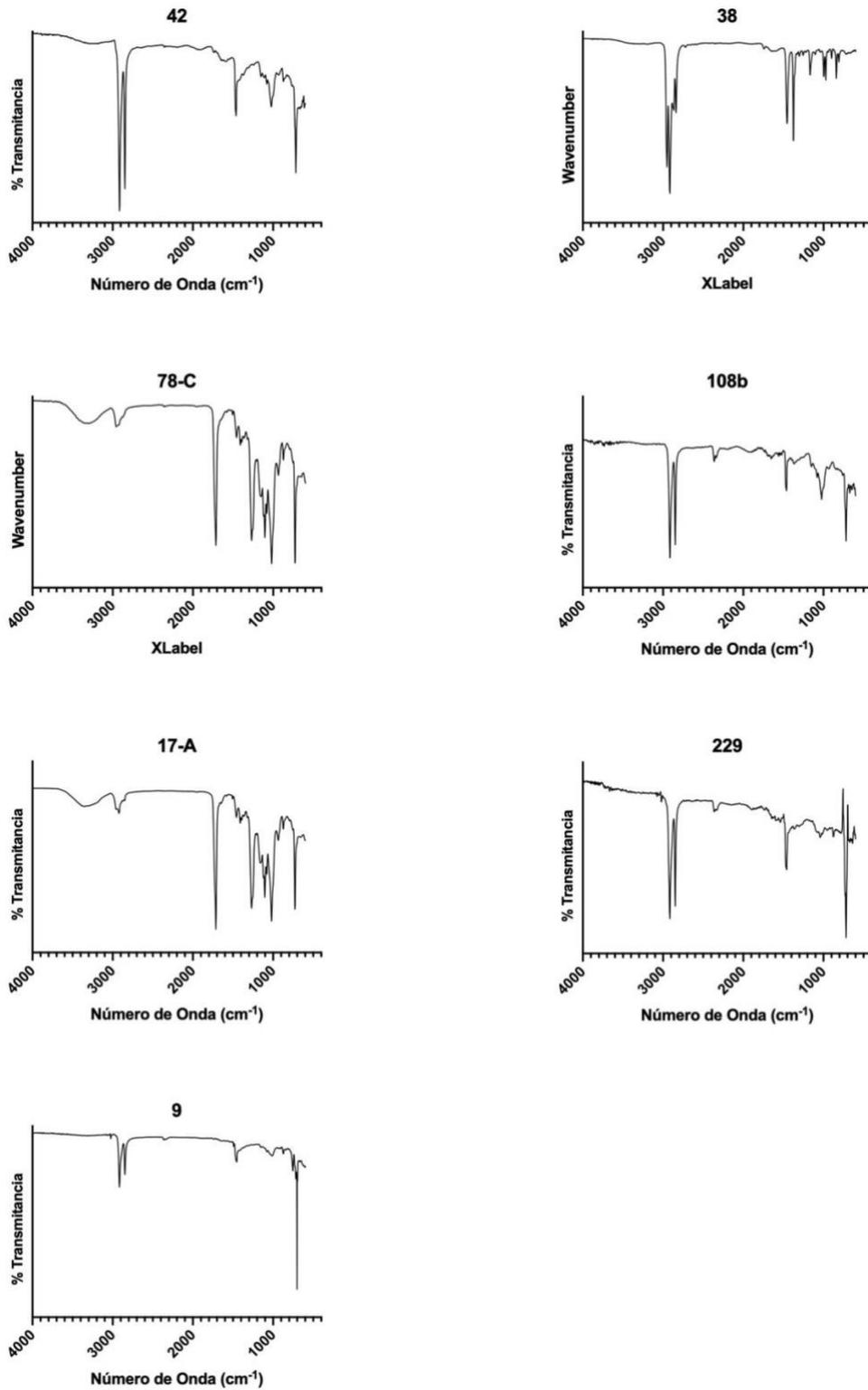
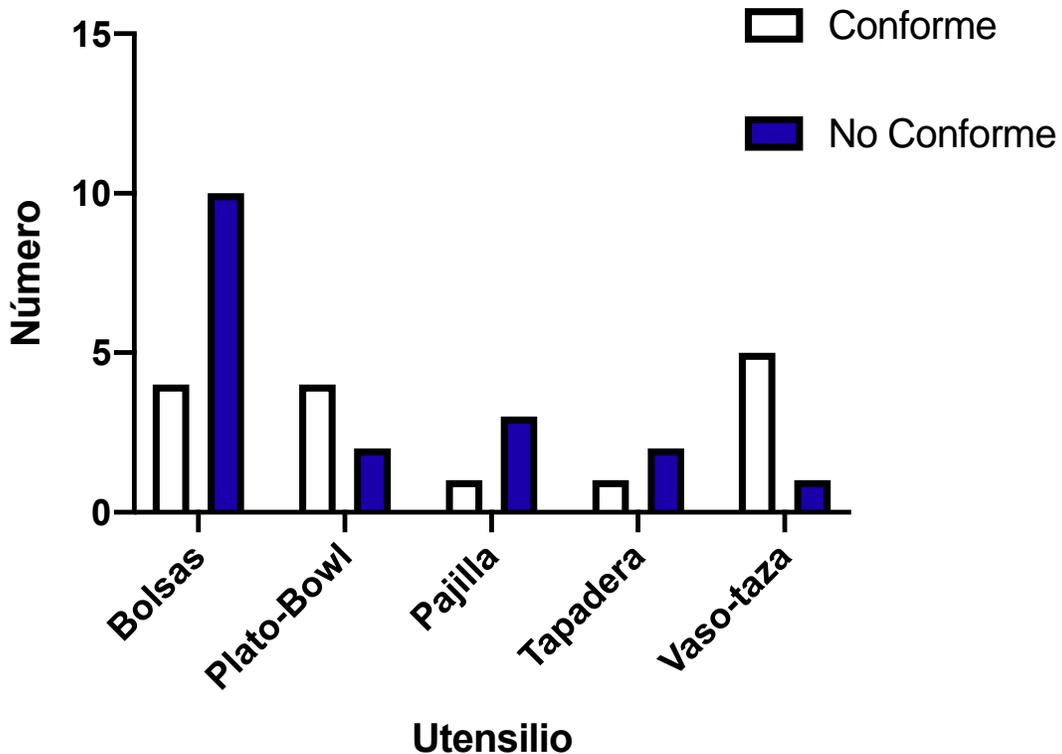


Figura 6. Espectros Infrarrojo de plásticos de un solo uso (7)



Además, se consideró interesante, colocar una gráfica (Figura 7) utensilio contrastado con número de unidades que no cumplieron la norma universitaria, mostrándose que el utensilio que más unidades posee sin cumplir son las bolsas plásticas.

Figura 7. cumplimiento de la norma por utensilio



En la Tabla 3 y 4 se resumen análisis de varianza entre el método en suelo simulado y el suelo agrícola, donde se demuestra que la varianza entre métodos es poca y el material que degradó se observó tanto en un método cuanto en otro.

Tabla 3. Análisis de varianza para la pérdida de masa en suelo simulado.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
% Pérdida de masa 165		0.98	0.98	20.58

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	277500.53	32	8671.89	215.50	<0.0001
Material	277500.53	32	8671.89	215.50	<0.0001
Error	5311.79	132	40.24		
Total	282812.32	164			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=15.27285

Error: 40.2408 gl: 132

Material	Medias	n	E.E.		
78-B (pajilla)	0.00	5	2.84	A	
85-A (plato-duroport)	0.00	5	2.84	A	
20 (Bowl)	0.00	5	2.84	A	
38 (vaso)	0.00	5	2.84	A	
45 (Bolsa)	0.00	5	2.84	A	
33 (bolsa)	4.0E-03	5	2.84	A	
60 (bolsa)	0.02	5	2.84	A	
42 (bolsa)	0.04	5	2.84	A	
78-A (Tapadera)	0.04	5	2.84	A	
11-B (pajilla)	0.05	5	2.84	A	
17-B (bolsa)	0.07	5	2.84	A	
85-B (Bolsa)	0.07	5	2.84	A	
32 (Bolsa)	0.11	5	2.84	A	
229 (bolsa)	0.18	5	2.84	A	
27 (tapa)	0.23	5	2.84	A	
8 (bolsa)	0.45	5	2.84	A	
9 (Bolsa Negra)	1.49	5	2.84	A	
104-C (pajilla)	4.33	5	2.84	A	
13-B (bolsa)	5.38	5	2.84	A	
40-C (Tapa)	8.73	5	2.84	A	B
40-B (pajilla)	4.29	5	2.84	A	B
125 (plato)	21.14	5	2.84		B
13-A (Vaso)	58.12	5	2.84		C
54-B (Taza)	67.39	5	2.84		C
47 (vaso)	71.09	5	2.84		C
40-A (plato)	87.51	5	2.84		D
104-B (Vaso Grande)	92.51	5	2.84		D
11-A (Vaso)	93.53	5	2.84		D
104-A (Vaso pequeño)	94.66	5	2.84		D
54-A (plato)	95.83	5	2.84		D
108 (bolsa)	100.00	5	2.84		D
17-A (plato)+	100.00	5	2.84		D
78-C (bolsa)	100.00	5	2.84		D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Tabla 4. Análisis de varianza para la pérdida de masa en suelo agrícola.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
% Pérdida de masa	136	0.93	0.91	41.64

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	199216.22	33	6036.86	40.51	<0.0001
Material	199216.22	33	6036.86	40.51	<0.0001
Error	15200.80	102	149.03		
Total	214417.01	135			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=33.87697

Error: 149.0274 gl: 102

Material	Medias	n	E.E.
27 (tapa)	0.00	4	6.10 A
45 (Bolsa)	0.00	4	6.10 A
85-A	0.00	4	6.10 A
42 (bolsa)	0.00	4	6.10 A
60 (bolsa)	0.00	4	6.10 A
38 (vaso)	0.05	4	6.10 A
20 (Bowl)	0.05	4	6.10 A
17-B (bolsa)	0.06	4	6.10 A
78-A (Tapadera)	0.11	4	6.10 A
104-C (pajilla)	0.28	4	6.10 A
8 (bolsa)	0.38	4	6.10 A
11-B (pajilla)	0.40	4	6.10 A
78-B (pajilla)	0.49	4	6.10 A
33 (bolsa)	0.62	4	6.10 A
85-B (Bolsa)	0.89	4	6.10 A
229 (bolsa)	2.38	4	6.10 A B
40-B (pajilla)	5.83	4	6.10 A B C
9 (Bolsa Negra)	9.63	4	6.10 A B C
32 (Bolsa)	10.17	4	6.10 A B C
13-B (bolsa)	11.05	4	6.10 A B C
78-C (bolsa)	17.30	4	6.10 A B C
125 (plato)	20.26	4	6.10 A B C
108 (bolsa)	30.70	4	6.10 A B C D
89 (bolsa)	35.98	4	6.10 B C D
40-C (Tapa)	37.12	4	6.10 C D
13-A (Vaso)	63.85	4	6.10 D E
47 (vaso)	87.55	4	6.10 E F
40-A (plato)	90.50	4	6.10 E F
11-A (Vaso)	92.74	4	6.10 E F
54-B (Taza)	93.06	4	6.10 E F
104-A (Vaso pequeño)	93.53	4	6.10 E F
104-B (Vaso Grande)	95.04	4	6.10 E F
54-A (plato)	97.47	4	6.10 E F
17-A (plato)	99.37	4	6.10 F

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

En la Figura 8, 9 y 10 se presenta la comparación de 3 muestras manufacturada de celulosa, escogidas en el estudio de compostabilidad.

Figura 8. Degradación del plato marcado como 54

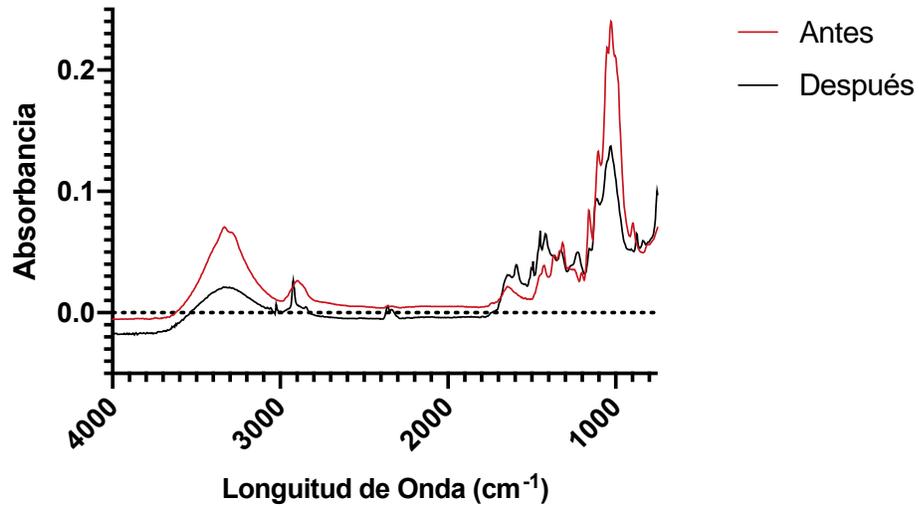


Figura 9. Degradación del vaso marcado como 104

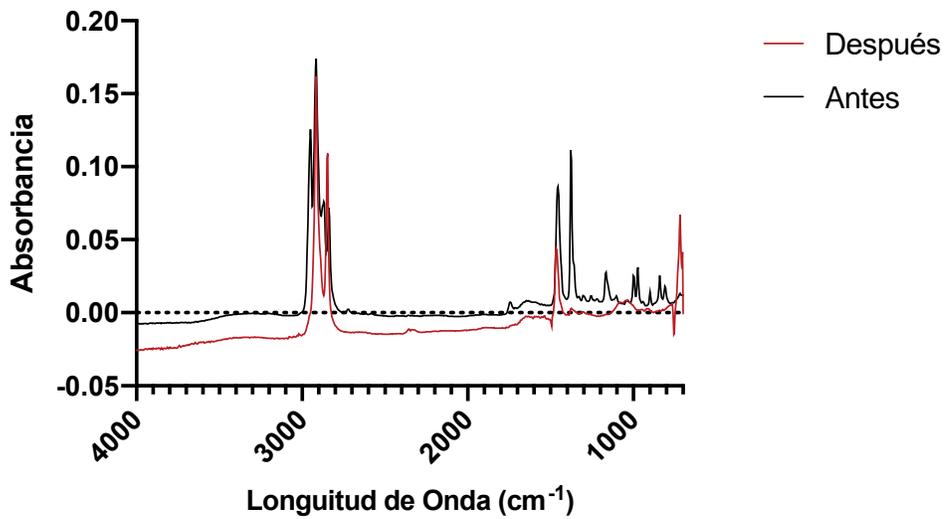
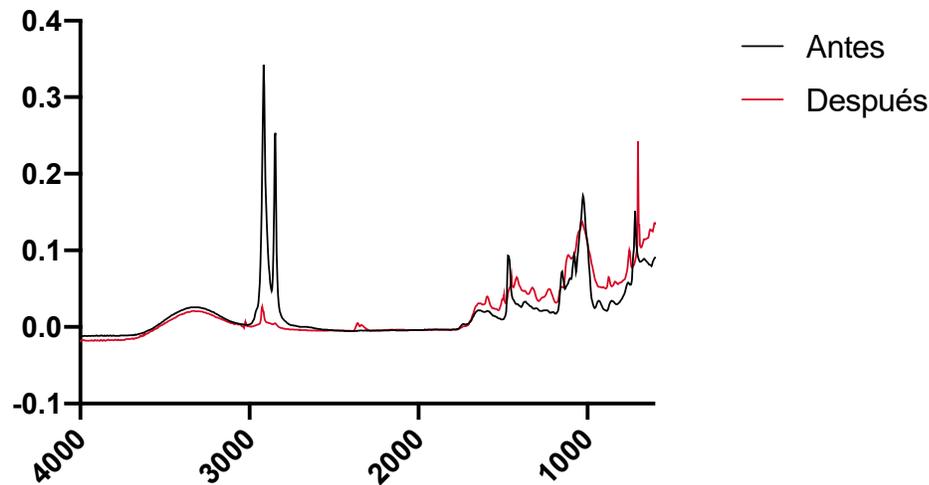


Figura 10. Degradación del plato marcado como 40



16. Análisis y discusión de resultados

Ensayo con suelo Simulado:

Según la propuesta de procedimiento, se realizan pruebas de biodegradación en cajas que contienen un suelo seleccionado, mezclado 30% de humedad, 30% de materia orgánica (o una relación 4:1 Carbono/Nitrógeno) 20 % de arena y 20% de arcilla esto para seguir las normas ASTM y replicar experimentos anteriormente narrados en la literatura (Rodrigues, Tofanello, Nantes, & Rosa, 2015). Las muestras de plástico que se analizaron son colocadas dentro de la capa de suelo.

La definición de degradación es la conversión de grandes moléculas complejas en pequeños fragmentos de moléculas menos complejas (Park, Hettiarachchy, & Were, 2000) y si esta degradación se da por vía de microorganismo, se le conoce como biodegradación. En el suelo simulado se evidenció que al tener materia orgánica se tenían microorganismos dentro del experimento. Por ello se registraron las pérdidas de masas de las muestras obtenidas en muestreo con vendedores dentro del Campus Central de la USAC. Dichas pérdidas se obtuvieron a partir de la diferencia entre el peso del plástico inicial y el peso de la muestra después de 120 días de encontrarse enterradas. Dichas pérdidas son presentadas en la tabla 1, donde se coloca el porcentaje de la pérdida en función a su masa inicial, siendo 100% la pérdida total del peso. La estimación de la degradación por la pérdida de peso es propensa a errores en parte a la masa de suciedad, hongos y bacterias que no fue eliminado durante el lavado. A pesar de estos problemas potenciales, las

tendencias generales en la pérdida de peso el tiempo fue bastante constante al realizar el experimento por quintuplicado en las muestras se observa que varias hechas por celulosa perdieron hasta el 100% de su masa, llama la atención dos bolsas de polietileno (108 y 78-C) que perdieron hasta un 100% de su masa, es posible que la degradación ocurriera para generar microplástico por lo que se recomienda realizar un estudio de biodegradabilidad.

En esa línea la Gráfica 2, muestra que, por utensilios, las bolsas plásticas siguen siendo lo más complicado de regular, ya que las dos bolsas biodegradables son de polietileno, al igual que las no biodegradables, cuyo aditivo está en concentraciones tan mínimas que no son detectables por métodos espectroscópicos. Lo cual deja como única vía analítica el estudio de biodegradabilidad en suelo (tanto agrícola como simulado).

Se evaluaron las siguientes pruebas de hipótesis con el cambio de peso observado en condiciones de suelo simulado:

Ho: Los materiales plásticos evaluados poseen igual pérdida de masa durante el período de observación.

Ha: Al menos uno de los materiales evaluados posee una mayor pérdida de masa durante el período de observación.

Como se observa en la Tabla No. 3, la varianza dentro de cada grupo de materiales es mucho menor que la varianza debida al tipo de material. Debido a que $F_{\text{crítico}} < F_{\text{calculado}}$, se rechaza la hipótesis nula y se acepta que los materiales evaluados poseen distinta degradación en las condiciones del experimento. El análisis consigue explicar en un 98% la varianza observada, considerando además un coeficiente de variación de 0.2 dentro de los grupos. Se procedió a un análisis de los valores medios para cada material empleando la prueba de Tukey con un valor alfa de 0.05.

En la Tabla No. 3 se observan los grupos Tukey creados tras la comparación de medias, formándose de esta manera cuatro conjuntos cuyo rendimiento en campo es distinto. De esta forma, todos los materiales en el grupo D poseen un rendimiento equivalente en el experimento, de tal manera que el material 40-A (plato) no posee diferencias estadísticamente significativas con el material 78-C (bolsa), pese a que su porcentaje medio de pérdida de masa fue de 87.51% y 100% respectivamente.

Ensayo en Campo en suelo Agrícola

Para el ensayo en suelo agrícola se consiguió utilizar una parcela de cultivos anuales en la Facultad de Agronomía, en el Campus Central de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Existen diferencias entre el ensayo en suelo agrícola y simulada que se puede atribuir, principalmente a las condiciones de temperatura del suelo (radiación solar) ya que temperaturas más cálidas promueven

la actividad microbiana, además las muestras fueron colocadas en invierno donde la humedad es mayor en el suelo (Hayes et al., 2017), estas condiciones fueron las que marcaron diferencias, sin embargo la mayoría de los datos son coherentes con las tomadas en suelo simulado.

Se evaluaron las siguientes pruebas de hipótesis con el cambio de peso observado en condiciones de suelo agrícola:

H₀: Los materiales plásticos evaluados poseen igual pérdida de masa durante el período de observación.

H_a: Al menos uno de los materiales evaluados posee una mayor pérdida de masa durante el período de observación.

Como se observa en la Tabla No. 4, la varianza dentro de cada grupo de materiales es menor que la varianza debida al tipo de material, por lo cual este es el principal factor que determina las diferencias en el cambio de peso

Debido a que $F_{\text{crítico}} < F_{\text{calculado}}$, se rechaza la hipótesis nula y se acepta que los materiales evaluados poseen distinta degradación en el ensayo en suelo agrícola. Cabe señalar además que el análisis consigue explicar más del 90% de la varianza observada. Se procedió a un análisis de los valores medios para cada material empleando la prueba de Tukey con un valor alfa de 0.05.

En la Tabla No. 4 se observan los grupos Tukey creados tras la comparación de medias, se obtuvieron 6 grupos Tukey, en los cuales hay varios materiales que se encuentran en 2 o más grupos por asociación de medias. En esta prueba los materiales agrupados en Tukey F mostraron excelentes valores de biodegradabilidad, rondando todos el 90% en pérdida de masa, lo cual es coherente con los resultados obtenidos en condiciones de suelo simulado.

Con la idea de comparar ambos métodos se hizo un análisis conjunto, el cual se resume en la figura 2 y en la tabla 3 y 4, demostrando que el material que degradó mostró el mismo comportamiento con ambos métodos de evaluación. Los materiales que mostraron los valores más bajos de cambio de peso coincidieron en ambas pruebas, lo cual es sumamente valioso porque las dos metodologías se validan mutuamente. Los materiales que presentaron el peor perfil en biodegradación lo manifestaron por igual en suelo simulado y agrícola, por lo cual el sustrato no incidió en los resultados globales del experimento.

Caracterización por FTIR de los plásticos de un solo uso:

Se caracterizó por medio de espectros FTIR obtenidos para todos los cuerpos de prueba provenientes de bolsas plásticas. Para la mayoría de los casos se evidenciaron las bandas características del polietileno. La evidencia de la presencia de polietileno no es coherente con la

norma universitaria, la cual se encuentra prohibida, llama la atención muestras de bolsas de polietileno que degradaron en suelo simulado y no degradaron en suelo agrícola.

Algunas bolsas que degradaron presentaron una banda en la región de 1670, la cual también ha sido reportada como indicador de carbonilos (Arutchelvi et al., 2008). Debido a esta evidencia es posible que se trate de un óxido de polietileno, el cuál puede ser generado con aditivos, por lo tanto, es posible que este producto si se encuentre entre los materiales permitidos por la norma universitaria, aunque por ensayo de suelo agrícola ninguna bolsa degrada arriba del 50%.

La mayoría de utensilios plásticos, tapas, platos, vasos de plásticos muestran espectros FTIR, donde se evidenciaron las bandas características del poliestireno. Las bandas características de poliestireno se encuentran bien relatadas en la literatura (Liu, Chen, & Chang, 2009). Una de las muestras se caracterizó por presentar en su empaque un sello de producto biodegradable (85-A), sin embargo, por medio del análisis de FTIR y de biodegradabilidad en suelo, se concluyó que es poliestireno, polímero no biodegradable cuya comercialización se encuentra prohibida de acuerdo a la normativa vigente de la USAC.

Los materiales biodegradables como el ácido poliláctico o derivados de celulosa o almidón, fueron coherentes con la degradación tanto en suelo simulado como suelo agrícola y poseen un espectro asociado al ácido poliláctico como el observado por (Rudnik & Briassoulis, 2011). Algunas muestras biodegradables son difíciles de determinar, podría ser un análogo manufacturado con almidón como el observado por Orhan y Büyükgüngör (2000) o puede tratarse de un material no referido en esta investigación. Sin embargo, es un esfuerzo encaminado a la sustitución de materiales no biodegradables, como polietileno y poliestireno.

Ensayo de Compostabilidad:

En la tabla 2, puede apreciarse un análisis que se llevó a cabo entre los meses de febrero y marzo que es el estudio de compostabilidad según la Norma ASTM D5988-03,2012 en dicho ensayo, se utiliza un blanco para corregir la acción bacteriana, este ensayo se realiza por octuplicado. En dicho ensayo se puede observar que las dos bolsas que mostraron ser biodegradables, en verdad se compostan, lo cual es importante debido a que según el análisis de FTIR (Gráfica 4 en Anexos) se encuentra manufacturado principalmente por polietileno, sin embargo, cabe recordar que existen nuevos aditivos, los cuales pueden oxidar al etileno y este óxido facilita su bio-asimilación.

Llama la atención que estas bolsas plásticas que son compostables compostan en mayor proporción que los materiales a base de celulosa, lo cual deja la duda si la degradación a CO₂ es realmente biológica o posee un mecanismo oxidativo por el aditivo, esto puede encontrarse con

termogravimetría o calorimetría diferencial, sin embargo, este equipo no se encuentra a disposición, sin embargo, puede ser objeto de estudio de otras investigaciones.

Degradación de algunos utensilios de Celulosa:

En la gráfica 3, 4 y 5 puede apreciarse una comparación de materiales antes y después de la degradación tanto en suelo simulado como en material agrícola, las gráficas nos muestran que la degradación de la celulosa es la fragmentación de la Celulosa (muestra 54-A) y ácido poliláctico (muestra 104-A) sin embargo con la muestra 40-A, denota que es una mezcla de algún otro material como celulosa, sin embargo el primero en degradarse o fragmentarse es el material no celulósico, dicha muestra fue la que menos compostabilidad observó (tabla 2) lo cual lleva a pensar que es un material que posee celulosa pero cuenta con alguna cubierta plástica, esta cubierta plástica puede ser que se fragmente a microplástico, sin embargo con los análisis utilizados no se puede concluir con ciencia cierta este hecho.

Determinación botánica de especies encontradas en el ensayo por suelo simulado

En la figura 12 ubicada en el apéndice, se puede observar la unidad experimental tras 77 días de monitoreo, en ésta se observó el crecimiento de vegetación espontánea, se observan vegetales asociados a campos de cultivo como cyperáceas, oxalidáceas, euphorbiáceas y gramíneas consideradas plantas arvenses. Aunque la cobertura es incipiente, se observa su distribución homogénea en la unidad experimental.

Todos los vegetales espontáneos se encontraron en fase de plántula, por lo que al terminar 120 días de ensayo no mostraron estructuras reproductivas. Las características vegetativas fueron suficientes para identificar a *Cyperus rotundus* L., *Oxalis corniculata* L., y *Phyllanthus niruri* L., se identificaron además dos especies distintas de gramíneas, pero su determinación botánica no fue posible por no llegar al estado de inflorescencia. Las plantas fueron determinadas, los nombres científicos fueron verificados y se registraron las principales sinonimias de las plantas identificadas en la tabla 5 ubicada en el apéndice, para ello se empleó la base de datos conjunta de las siguientes instituciones: *The Royal Botanic Gardens, Kew, Harvard University Herbaria & Libraries* y *Australian National Botanic Gardens* (IPNI, 2020; The Plant List, 2013).

Cumplimiento de la norma universitaria:

La Gráfica 1 revela que de 34 cuerpos de prueba, el 47 % de estos son biodegradables en cierta medida (arriba del 5% de degradación), en su totalidad muestras que no son manufacturadas con polietileno y poliestireno. Algunas de las manufacturadas con polietileno y poliestireno se degradaron, sin embargo, con la metodología utilizada no es posible evidenciar si generan algún

residuo microplástico o si se logró su compostabilidad por completo. Un 53% de los materiales comercializados en la USAC no degradaron con la técnica de suelo agrícola o suelo simulado. Por lo que es importante que una vez se regrese a la normalidad de la actividad comercial en la USAC, pasada la emergencia del COVID se dedique esfuerzos a verificar dicha normativa. Como ya se expuso un problema a tratar es que el utensilio que posee mayor cantidad de material no conforme con dicha legislación son las bolsas plásticas, las cuales se han vuelto de un uso crucial, una posible solución es regular para que solo se utilice bolsas de papel, ya que ni las bolsas a base de celulosa logran degradarse en 120 días.

17. Conclusiones

- El presente estudio logró medir la degradación biológica de diferentes materiales, tanto en suelo simulado como en campo, a pesar de las diferencias, ambos estudios fueron coherentes por lo que se sentaron las bases metodológicas para la caracterización de la biodegradabilidad del plástico de un solo uso comercializado en la USAC.
- El método de infrarrojo demostró en la investigación ser el más eficiente para caracterizar los materiales ya que en todas las muestras se logró caracterizar el material de manufactura de los plásticos muestreados en el Campus de la Universidad de San Carlos previo y posterior a realizar el estudio de biodegradabilidad;
- Para la norma ASTM y en el presente estudio es crucial la formulación del suelo, ya que este logra tener una relación óptima de materia orgánica que contiene la microbiota del suelo, los resultados muestran que la formulación fue fundamental para el éxito de la metodología.
- No existió diferencia estadística entre ambos métodos, por lo que ambos son confirmatorios a 120 días para medir la biodegradabilidad.
- 53% de las muestras probadas con ambos métodos no cumplen la normativa universitaria, de estos el 77% son bolsas plásticas, esto indica la necesidad de revisar la normativa y las medidas de implementación.

18. Impacto esperado

Se espera que una vez publicados los resultados, la repercusión sea que la actividad comercial de la USAC vaya hacia el cumplimiento de la política ambiental de la Universidad, que implicará una desaparición del plástico no biodegradable en suelo, lo que permitirá no contribuir más al deterioro ambiental de ríos y lagos. Además, podrá, a nivel nacional, apoyar a municipalidades que busquen reorientar sus políticas municipales hacia la actividad comercial, la cual es positiva, pero debe buscarse que no sea en detrimento del medio ambiente.

A nivel nacional también se espera un impacto al conocerse los resultados de la presente investigación, ya que no se cuenta con un reglamento que norme la producción y la distribución de

materiales no biodegradables, En esta investigación, la evaluación de la degradación de materiales se llevaron a cabo en reactores simulando las condiciones de los vertederos durante 120 días para evaluar la degradación, esto nos permitieron concluir que, como era de esperar, el polietileno de alta densidad (HDPE) fue quien evidenció resultados no conformes a la normativa, por lo que si estos llegan a un vertedero no degradarán aunque posean sello de biodegradables y la normativa no será una solución para el problema de los desechos plásticos.

Se espera también que con esta experiencia se logre una línea de investigación en degradación de materiales.

19. Referencias

- Acha, E. M., Mianzan, H. W., Iribarne, O., Gagliardini, D. A., Lasta, C., & Daleo, P. (2003). The role of the Rio de la Plata bottom salinity front in accumulating debris. *Marine Pollution Bulletin*, 46(2), 197–202. [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(02\)00356-9](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(02)00356-9)
- Al-Salem, S. M. (2019). Influential parameters on natural weathering under harsh climatic conditions of mechanically recycled plastic film specimens. *Journal of Environmental Management*, 230(44), 355–365. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.09.044>
- Ambiente, M. de. (2019). *Acuerdo Gubernativo Número 189-2019* (p. 8). p. 8. Ciudad de Guatemala: DIARIO DE CENTRO AMÉRICA.
- Andrady, A. L. (2011). Microplastics in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin*, 62(8), 1596–1605. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.05.030>
- 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.
- ASTM - American Society for Testing Materials. (2019). ASTM D6400 - 19 Standard Specification for Labeling of Plastics Designed to be Aerobically Composted in Municipal or Industrial Facilities. *Annual Book of ASTM Standards*, 1–3. <https://doi.org/10.1520/D6400-12.2>
- ASTM D5988-03. (2012). Standard Test Method for Determining Aerobic Biodegradation in Soil of Plastic Materials or Residual Plastic Materials After Composting. *ASTM International*, 1–6. <https://doi.org/10.1520/D5338-11.2>
- Barnes, D. K. A., Galgani, F., Thompson, R. C., Barlaz, M., Barnes, D. K. A., Galgani, F., ... Barlaz, M. (2009). Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. *Philosophical Transactions of The Royal Society B*, 364(June). <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0205>
- Boerger, C. M., Lattin, G. L., Moore, S. L., & Moore, C. J. (2010). Plastic ingestion by planktivorous fishes in the North Pacific Central Gyre. *Marine Pollution Bulletin*, 60(12), 2275–2278.
- 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. <https://doi.org/10.1007/s10924-010-0168-1>
- Camacho, W., & Karlsson, S. (2001). NIR, DSC, and FTIR as quantitative methods for compositional analysis of blends of polymers obtained from recycled mixed plastic waste. *Polymer Engineering & Science*, 41(9), 1626–1635.
- Chamas, A., Moon, H., Zheng, J., Qiu, Y., Tabassum, T., Jang, J. H., ... Suh, S. (2020). Degradation Rates of Plastics in the Environment. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, 8, 3494–3511. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.9b06635>
- Crosby, C. J., Fullen, M. A., & Booth, C. A. (2014). Potential linkages between mineral magnetic measurements and urban roadside soil pollution (part 2). *Environmental Sciences: Processes and Impacts*, 16(3), 548–557. <https://doi.org/10.1039/c3em00345k>
- de Sá, L. C., Luis, L. G., & Guilhermino, L. (2015). Effects of microplastics on juveniles of the common goby (*Pomatoschistus microps*): confusion with prey, reduction of the predatory performance and efficiency, and possible influence of developmental conditions. *Environmental Pollution*, 196, 359–362.
- Eerkes-medrano, D., Thompson, R. C., & Aldridge, D. C. (2015). Microplastics in freshwater

- systems : A review of the emerging threats , identification of knowledge gaps and prioritisation of research needs. *Water Research*, 75, 63–82.
<https://doi.org/10.1016/j.watres.2015.02.012>
- FAO. (2006). Conservación de los recursos naturales para una Agricultura sostenible. *Fertilidad de Suelo*, 1–28. <https://doi.org/10.1002/ldr.606>
- FAO. (2013). Manual de compostaje del agricultor. In *Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe*.
- Farrell, P., & Nelson, K. (2013). Trophic level transfer of microplastic: *Mytilus edulis* (L.) to *Carcinus maenas* (L.). *Environmental Pollution*, 177, 1–3.
- Glaser, J. A. (2016). Microplastics in the environment. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 17(6), 1383–1391. <https://doi.org/10.1007/s10098-015-1007-9>
- Guzmán, M. Expediente 5956-2016. , Anuario Iberoamericano de Justicia Constitucional § (2016).
- 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.
<https://doi.org/10.1002/anie.201805766>
- 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.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2017.07.027>
- Hoellein, T., Rojas, M., Pink, A., Gasiór, J., & Kelly, J. (2014). Anthropogenic litter in urban freshwater ecosystems: Distribution and microbial interactions. *PLoS ONE*, 9(6).
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0098485>
- IPNI. (2020). *Phyllanthus niruri* L., *Sp. Pl. 2: 981 (1753)*. International Plant Names Index.
<https://www.ipni.org/n/194900-2>
- IPNI. (2020). *Oxalis corniculata* L., *Sp. Pl. 1: 435 (1753)*. International Plant Names Index.
<https://www.ipni.org/n/177893-2>
- IPNI. (2020). *Cyperus rotundus* L., *Sp. Pl. 1: 45 (1753)*. International Plant Names Index.
<https://www.ipni.org/n/305797-1>
- Kaiser, K., Schmid, M., & Schlummer, M. (2017). Recycling of Polymer-Based Multilayer Packaging: A Review. *Recycling*, 3(1), 1. <https://doi.org/10.3390/recycling3010001>
- Krimm, S., Liang, C. Y., & Sutherland, G. B. B. M. (1956). Infrared spectra of high polymers. II. Polyethylene. *The Journal of Chemical Physics*, 25(3), 549–562.
<https://doi.org/10.1063/1.1742963>
- Lechner, A., Keckeis, H., Lumesberger-loisl, F., Zens, B., Krusch, R., Tritthart, M., ... Schludermann, E. (2014). The Danube so colourful : A potpourri of plastic litter outnumbers fish larvae in Europe ' s second largest river. *Environmental Pollution*, 188, 177–181.
<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2014.02.006>
- Liang, C. Y., & Krimm, S. (1958). Infrared spectra of high polymers. VI. Polystyrene. *Journal of Polymer Science*, 27(115), 241–254. <https://doi.org/10.1002/pol.1958.1202711520>
- Liang, C. Y., & Krimm, S. (1959). Infrared spectra of high polymers. Part IX. Polyethylene terephthalate. *Journal of Molecular Spectroscopy*, 3(1–6), 554–574.
[https://doi.org/10.1016/0022-2852\(59\)90048-7](https://doi.org/10.1016/0022-2852(59)90048-7)
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2008.10.021>
- Luongo, J. P. (1960). Infrared study of polypropylene. *Journal of Applied Polymer Science*, 3(9), 302–309. <https://doi.org/10.1002/app.1960.070030907>
- Lwanga, E. H., Gertsen, H., Gooren, H., Peters, P., Ploeg, M. Van Der, Besseling, E., ... Geissen, V. (2017). Incorporation of microplastics from litter into burrows of *Lumbricus terrestris*. *Environmental Pollution*, 220, 523–531. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.09.096>
- Marroquín, L. A. R. (2008). Planificación del uso de la tierra en la aldea El Cerrito, Municipio de Amatitlán, Departamento de Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Mathalon, A., & Hill, P. (2014). Microplastic fibers in the intertidal ecosystem surrounding Halifax Harbor, Nova Scotia. *Marine Pollution Bulletin*, 81(1), 69–79. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.02.018>
- Mattsson, K., Ekvall, M. T., Hansson, L.-A., Linse, S., Malmendal, A., & Cedervall, T. (2015). Altered behavior, physiology, and metabolism in fish exposed to polystyrene nanoparticles. *Environmental Science & Technology*, 49(1), 553–561.
- Monterroso, C. A. (2011). *Trabajo de graduación realizado 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.* Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Oragwu, I. P. (2019). Biodegradation of high density Polyethylene blends in soil environment. *Global Scientific*, 7v(3), 447–455.
- Orhan, Y., & Büyükgüngör, H. (2000). Enhancement of biodegradability of disposable polyethylene in controlled biological soil. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 45(1–2), 49–55. [https://doi.org/10.1016/S0964-8305\(00\)00048-2](https://doi.org/10.1016/S0964-8305(00)00048-2)
- Palechor, J., Cerón, A., Villada, H., & Salazar, M. (2016). Deterioro de una bolsa biodegradable de almidón de yuca con ácido poliláctico en un vivero. *Vitae*, 23(March), 585–589.
- Park, S. K., Hettiarachchy, N. S., & 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. <https://doi.org/10.1021/jf0000272>
- Pérez, P. (2016, October). Municipalidad de San Pedro la Laguna, Departamento de Sololá Acuerdo Municipal 111-2016. *Diario de Centroamérica*.
- Rodrigues, C. A., Tofanello, A., Nantes, I. L., & Rosa, D. S. (2015). Biological Oxidative Mechanisms for Degradation of Poly(lactic acid) Blended with Thermoplastic Starch. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, 3(11), 2756–2766. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.5b00639>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2010.12.031>
- Schweizer Lassaga, S. (2011). *Muestreo Y Análisis De Suelos Para Diagnóstico De Fertilidad*. 18. <https://doi.org/10.1026//0033-3042.53.2.61>
- Simmons, C. (1959). *Simmons, C. S., Tarano, T., J.M., Pinto, Z., J.H. Clasificación de reconocimiento de los suelos de la República de Guatemala. Guatemala, Instituto agropecuario nacional. 1959. 1,000 pages.* (Vol. 5). <https://doi.org/10.7202/020336ar>
- Valladares, C. *Consejo Superior Universitario ACTA No. 23-2018.* (2018).
- Waller, C. L., Grif, H. J., Waluda, C. M., Thorpe, S. E., Loaiza, I., Moreno, B., ... Hughes, K. A. (2017). Microplastics in the Antarctic marine system : An emerging area of research.

Science of the Total Environment, 598, 220–227.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.03.283>

Xochitl, Q., Mar, E. R., & Alethia, V. (2021). Degradation of Plastics in Simulated Landfill Conditions. *Polymers*, 13, 1–13.

20. Apéndice:

Figura 11. Codificación del semillero y colocación de los cuerpos de prueba al día 0 del ensayo.



Figura 12. Ensayo de biodegradabilidad al día 108



Tabla 5. Determinación botánica de las plantas espontáneas que surgieron del ensayo.

Familias identificadas	Nombre común	Nombre científico	Sinonimias	Estado fenológico
Cyperaceae	Coyolillo	<i>Cyperus rotundus</i> L.	<i>Chlorocyperus rotundus</i> (L.) Palla, <i>Cyperus agrestis</i> Willd.	Plántula
Oxalidaceae	Chicha-fuerte	<i>Oxalis corniculata</i> L.	<i>Acetosella bakeriana</i> Kuntze, <i>Oxalis albicans</i> Kunth	Plántula
Euphorbiaceae	Flor escondida	<i>Phyllanthus niruri</i> L.	<i>Diasperus niruri</i> (L.) Kuntze, <i>Niruris annua</i> Raf.	Plántula
Poaceae*	SD	SD	SD	Plántula
Poaceae*	SD	SD	SD	Plántula

* Sin determinar

Figura 13. Establecimiento de un bloque experimental previo a ser enterrado.



Figura 14. Parcela experimental el día del establecimiento 18/08/2020. Coordenadas - $14^{\circ}34'49.2''N$ $90^{\circ}33'19.3''W$ a 1502 msnm.



Figura 15. Parcela experimental. Coordenadas - $14^{\circ}34'49.2''N$ $90^{\circ}33'19.3''W$ a 1502 msnm.



Elaboración propia; obtenida el viernes 23 de octubre.

Figura 16. Parcela experimental en campo. Coordenadas - $14^{\circ}34'49.2''N$ $90^{\circ}33'19.3''W$ a 1502 msnm.



Elaboración propia; obtenida el martes 3 de noviembre.

Figura 17. Parcela experimental. Coordenadas - $14^{\circ}34'49.2''N$ $90^{\circ}33'19.3''W$ a 1502 msnm.



Elaboración propia; obtenida el martes 17 de noviembre.

Figura 18. Recuperación de los cuerpos de prueba en el ensayo en condiciones agrícolas.
Coordenadas - 14°34'49.2"N 90°33'19.3"W a 1502 msnm.



Figura 19. Recuperación de los cuerpos de prueba en el ensayo en condiciones agrícolas.
Coordenadas - 14°34'49.2"N 90°33'19.3"W a 1502 msnm.



Figura 20. Proceso de pesaje final de los cuerpos de prueba en el primer ensayo de biodegradabilidad a 120 días



Figura 21. Charla de concientización y contextualización del proyecto a los vendedores del Campus de la Universidad de San Carlos de Guatemala, previo al proceso de muestreo



Figura 22. Remoción de tierra a un cuerpo de prueba posterior a los 120 días del primer ensayo de biodegradabilidad.



Figura 23. Cuerpo de prueba que evidenció biodegradabilidad posterior a los 120 días del primer ensayo.

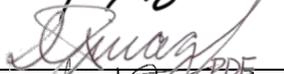


Figura 24. Documento de control de pesaje al finalizar el primer ensayo de biodegradabilidad a 120 días.

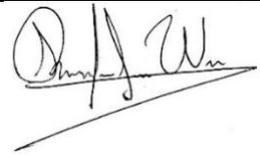
Control de pesaje de los cuerpos de prueba					
Fecha y hora: 07 de agosto de 2020 - 9:30 a 12:00					
Mx	#	Peso (g)	Mx	#	Peso (g)
11-A vaso	1	0.00937	45 bolsa	1	0.02870
	2	0.00510		2	0.02699
	3	0.00699		3	0.02159
	4	0.00416		4	0.02579
	5	0.00625		5	0.02600
* 51-B Taza	1	0.00655	* 89 fragil	1	0.01112
	2	0.04145		2	0.02376
	3	0.06037		3	0.02866
	4	0.04094		4	0.01081
	5	0.02982		5	0.01499
40-C tapa (fragil)	1	0.14033	20 igual	1	0.07853
	2	0.07489		2	0.06342
	3	0.13282		3	0.12267
	4	0.10593		4	0.10185
	5	0.10152		5	0.06955
47 vaso * fragmentos	1	0.02681	78-B pajilla igual	1	0.01119
	2	0.01790		2	0.04292
	3	0.02118		3	0.04608
	4	0.0402		4	0.03454
	5	0.00926		5	0.03529
* 13-A vaso fragil	1	0.03505	104-C pajilla cambio en la superficie	1	0.05343
	2	0.02613		2	0.03039
	3	0.01086		3	0.03042
	4	0.04888		4	0.04109
	5	0.04516		5	0.03116
60 Bolsa	1	0.02209	54-A fragmentos *	1	0.00198
	2	0.02098		2	X
	3	0.01782		3	0.00138
	4	0.02127		4	0.00921
	5	0.01845		5	X
104-b vasos mandado	1	0.00679	* 40-a plato fragil	1	0.01348
	2	0.00538		2	—
	3	0.01319		3	0.01912
	4	0.00609		4	0.02311
	5	0.00513		5	—
delgado	1	0.07257	13-B Bolsa igual	1	0.01795
	2	0.06532		2	0.01743
	3	0.06628		3	0.01684
	4	0.08097		4	0.01847
	5	0.06158		5	0.01741
85-B Bolsa	1	0.03017	33 bolsa igual	1	0.02270
	2	0.03792		2	0.02055
	3	0.03699		3	0.02737
	4	0.03388		4	0.02048
	5	0.04197		5	0.02272
85-B Bolsa	1	0.02130	17-b bolsa igual	1	0.02130
	2	0.01531		2	0.01531
	3	0.01110		3	0.01110
	4	0.01409		4	0.01409
	5	0.01559		5	0.01559
85-B Bolsa	1	0.04842	78-A Bolsa igual	1	0.04842
	2	0.05680		2	0.05680
	3	0.04123		3	0.04123
	4	0.06032		4	0.06032
	5	0.03809		5	0.03809
85-B Bolsa	1	0.03047	11-b pajilla igual	1	0.03047
	2	0.02491		2	0.02491
	3	0.02945		3	0.02945
	4	0.02266		4	0.02266
	5	0.02466		5	0.02466

Listado de los integrantes del equipo de investigación (en una sola hoja)

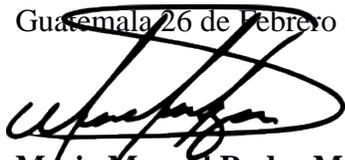
Contratados por contraparte y colaboradores

Nombre	Firma
Mario Manuel Rodas Morán (coordinador)	
Diana Elizabeth Pinagel Cifuentes	
Lucy Aracely Palacios Surqué	

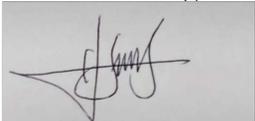
Contratados por la Dirección General de Investigación

Contratados por la Dirección General de Investigación					
Nombre	Categoría	Registro de Personal	PAGO DIGI		FIRMA
			SI	NO	
Rodrigo José Wolford Ramírez	Investigador	20160163	X		
Camilo José Wolford Ramírez	Investigador	20130170	X		

Guatemala 26 de Febrero de 2021



Mario Manuel Rodas Morán
Proyecto de Investigación



Ing. Agr. Saúl Guerra Gutiérrez
Programa Universitario de Investigación
en Medio Ambiente y Recursos Naturales

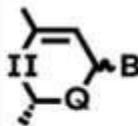


Ing. MARN Julio Rufino Salazar Pérez
Coordinador General de Programas
Digi UGMA

Ing. Agr. MARN Julio Rufino Salazar
Coordinador General de Programas



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala



instituto-(*)
- (Investigaciones) -
(químicas) y -
biológicas

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACIA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS

REF.IIQB.88.02.2021

Guatemala, 26 de febrero del 2021

Señor Director

Dr. Félix Alan Douglas Aguilar Carrera
Director General de Investigación
Universidad de San Carlos de Guatemala

Señor Director:

Con un cordial saludo me dirijo a usted para adjuntar el informe final del proyecto: **“Estudio espectroscópico y de biodegradabilidad por suelo simulado y agrícola de los plásticos comercializados dentro del campus de la USAC”** con código **B24-2020**, coordinado por el **M.Sc. Mario Manuel Rodas Morán** y avalado por el Instituto de Investigaciones Químicas y Biológicas de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Este informe final fue elaborado con base en la guía de presentación de la Dirección General de Investigación, el cual fue revisado su contenido en función del protocolo aprobado, por lo que esta unidad de investigación da la aprobación y aval correspondiente.

Asimismo, el coordinador del proyecto, se compromete a dar seguimiento y cumplir con el proceso de revisión y edición establecido por DIGI del **informe final y del manuscrito científico**. El manuscrito científico debe enviarse, por el coordinador del proyecto, para publicación, al menos, en una revista de acceso abierto (*Open Access*) indexada y arbitrada por expertos en el tema investigado.

Sin otro particular, suscribo atentamente.

“Id y enseñad a todos”

M.Sc. Mario Manuel Rodas Morán
Coordinador del Proyecto

Dra. María Eunice Enríquez Cottón
Directora

Instituto de Investigaciones Químicas y Biológicas
Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia



c.c. archivo
MEEC/tvch.