

DETERMINACIÓN DE LA BIODEGRADABILIDAD DE VASOS DESECHABLES COMUNES

DETERMINATION OF THE BIODEGRADABILITY OF COMMON DISPOSABLE CUPS.

Alexis Julián Torres Morales ¹, Jair Elián López Sánchez ², José Humberto Castañón González ^{3*},
Rocío Meza Gordillo ⁴, Belén Cruz Antonio ⁵.

¹Licenciatura. Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez. Departamento de Ingeniería Bioquímica. L19310487@tuxtla.tecnm.mx. 9632265298. ²Licenciatura. Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez. Departamento de Ingeniería Bioquímica. L19270385@tuxtla.tecnm.mx. 9611662195. ^{3*}Doctorado. Autor de correspondencia. Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez. Departamento de Ingeniería Bioquímica. jose.cg@tuxtla.tecnm.mx. 9611359095. ⁴Doctorado. Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez. Departamento de Ingeniería Bioquímica. rocio.mg@tuxtla.tecnm.mx. 9611363956. ⁵Licenciatura. Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez. Departamento de Ingeniería Bioquímica. L19270366@tuxtla.tecnm.mx. 9611112448.

Resumen -- El plástico se ha vuelto omnipresente en nuestras vidas por la gran variedad de aplicaciones, además de que se produce diariamente en grandes cantidades. El mayor consumo y uso de productos de corta utilidad ha generado preocupación sobre el impacto ambiental de los plásticos a lo largo de su ciclo de vida debido a que la mayoría de éstos se producen a partir del procesamiento de combustibles fósiles. Con el fin de disminuir la contaminación ambiental se ha generado una gran gama de nuevos plásticos elaborados con materia prima de origen natural, tales como: bioplásticos, plástico biodegradable, oxodegradable y biopolímeros. Actualmente, el desafío es analizar el cumplimiento de las características de degradabilidad de estos materiales y comprobar que lo que venden las empresas con esos nombres es realmente lo que ofrecen. Para el presente estudio se sometieron a distintas pruebas (agua salada, compost y suelo común) tres artículos desechables etiquetados como biodegradables: charola, vaso Wecare® y vaso Andatti®; en un tiempo promedio de 60 días. Se realizaron estudios de espectrofotometría de infrarrojo en los materiales para identificar los compuestos presentes. El análisis espectrofotométrico indicó la presencia de diez compuestos en la muestra de los vasos biodegradables (Wecare® y Andatti®). Los resultados que mostraron los vasos Wecare® y Andatti® fue de un porcentaje de biodegradabilidad en peso de 93% y 92%, respectivamente. En el medio composta disminuyeron significativamente en peso y volumen. Sin embargo, los tres artículos no presentan degradación en los medios de agua salada y suelo común.

Palabras Clave: combustibles fósiles, bioplásticos, biodegradables.

Abstract -- Plastic has become ubiquitous in our lives due to the wide variety of applications, plus it is produced daily in large quantities. The greater consumption and use of products of short utility has generated concern about the environmental impact of plastics throughout their life cycle, since most of them are produced from the processing of fossil fuels. In order to reduce

environmental pollution, a wide range of new plastics made with raw materials of natural origin has been generated, such as: bioplastics, biodegradable plastic, oxodegradable and biopolymers. Currently, the challenge is to analyze compliance with the degradability characteristics of these materials and verify that what companies with those names sell is really what they offer. For the present study, three disposable items labeled as biodegradable were subjected to different tests (salt water, compost, and common soil): tray, Wecare® cup, and Andatti® cup; in an average time of 60 days. Infrared spectrophotometric studies were performed on the materials to identify the compounds present. The spectrophotometric analysis indicated the presence of ten compounds in the biodegradable cup sample (Wecare® and Andatti®). The results shown by the Wecare® and Andatti® vessels were a percentage of biodegradability by weight of 93% and 92%, respectively. In the composting medium they decreased significantly in weight and volume. However, the same three elements do not show degradation in saltwater and common soil media.

Key words – fossil fuels, bioplastics, biodegradable.

INTRODUCCIÓN

De acuerdo con la definición de Gu (2021) [1] “Los plásticos son materiales altamente polimerizados y su composición contiene una amplia gama de moléculas similares teniendo al monómero como unidad básica y repetitiva con diferentes longitudes de cadena, estructuras cíclicas o ramificaciones”.

Actualmente el plástico es uno de los polímeros más consumidos a nivel mundial, y esto sucede gracias a sus características que lo hacen versátil y eficiente, la innovación en la producción de este material le ha permitido ser un producto clave en sectores como el del transporte, el deporte, el envasado etc. Sin embargo, su alta demanda y su prolongado tiempo de degradación ha originado que esté presente en los continentes y en el océano, convirtiendo su uso en un problema crítico, sobre todo para las generaciones futuras [2].

Los plásticos, gracias a su versatilidad, ligereza y bajo costo, se han convertido en materiales indispensables. Se usan en aplicaciones tan diversas como envases y embalaje, en medicina, fabricación de automóviles y en las telecomunicaciones. Los cambios en el estilo de vida, especialmente en los patrones de uso y consumo, han llevado a un incremento continuo en la producción de estos materiales. Existe una producción anual entre 360 a 400 millones de toneladas métricas de polímeros sintéticos en el mundo [3].

Uno de los principales factores contaminantes del suelo y del agua actualmente son los productos desechables como platos desechables, cubiertos y vasos, persisten a causa de su creciente nivel de producción y el extenso uso en todo el mundo. Esto debido a que estos productos son utilizados tan solo una vez y tienen que ser desechados. El primer problema ambiental que lleva a los plásticos es el “problema de los vertederos” [4].

El segundo problema ambiental es la acumulación de plásticos en océanos. Por ejemplo, en un estudio a largo plazo en el Atlántico Norte, una muestra de agua de mar contenía el equivalente a 580,000 piezas de plástico por kilómetro cuadrado. Asimismo, para su eliminación, la incineración de plásticos es el método más utilizado generando emisiones tóxicas como dióxido de carbono y metano [5]. Estos gases de efecto invernadero (GEI) contribuyen al cambio climático mundial [6]. El cuarto problema es su no degradabilidad o durabilidad.

El plástico de origen fósil no es biodegradable y persiste en el medio ambiente durante cientos de años [7]. Uno de los mayores problemas de estos productos son sus extensos periodos de degradabilidad pues estudios posteriores demuestran que los plásticos se han convertido en un contaminante persistente [8], es por ello que se han adoptado medidas gubernamentales de protección al medio ambiente en muchos países realizando acciones de reducción de plástico en un intento por disminuir su consumo y contaminación. Algunas de estas medidas consisten en desarrollar plásticos biodegradables, como los polihidroxialcanoatos (PHA) o los polihidroxibutiratos (PHB) también llamados bioplásticos, los cuales se conforman de biopolímeros que pueden ser degradados fácilmente por la acción microbiana debido a que se obtienen a partir de polímeros naturales extraídos de celulosa o almidón [9]. Son capaces de reemplazar una serie de plásticos tradicionales que actualmente están compuestos de productos petroquímicos, con la ventaja de que son altamente biodegradables [10].

Con ayuda de los avances de la tecnología en conjunto con la biotecnología, hoy en día una gran parte de las empresas que hay en el mercado se han sumado para contrarrestar la contaminación del medio ambiente que provoca la contaminación con PET y otros plásticos que son más utilizados en todo el mundo. Sin embargo, la mayoría de los plásticos convencionales como el polietileno, polipropileno, poliestireno, policloruro de vinilo y politereftalato de etileno, no son biodegradables,

y su creciente acumulación en el medio ambiente ha sido una amenaza para el planeta.

Para superar estos problemas, se han tomado algunas medidas. La primera estrategia implicó la producción de plásticos con alto grado de degradabilidad actualmente llamados productos biodegradables (bioplásticos).

La palabra 'bioplástico' son plásticos con alta capacidad de biodegradación (es decir, plásticos producidos a partir de materiales fósiles) o bien puede ser elaborado a partir de bases biológicas (es decir, de biomasa o en este caso de fibra de caña y otras fibras de origen vegetal) [11].

En la siguiente figura se ilustra la interrelación de un plástico convencional y un bioplástico a base de material biológico (figura 1).

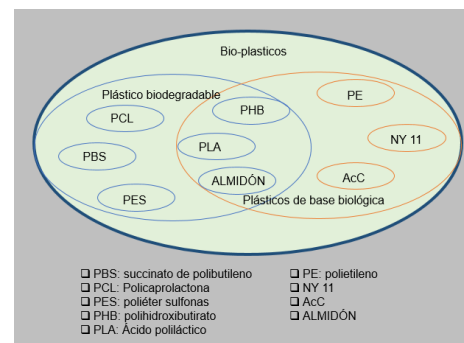


Figura 1. Bioplásticos compuestos por plásticos biodegradables y plásticos de base biológica [11]. Modificado de: Sancho y Cervera J., Rosiles G., Situación Actual del Manejo Integral de los Residuos Sólidos en México. Sedesol. 1999.

Con la elaboración de bioplásticos se pretende como primer objetivo disminuir en gran parte el uso de PET en los diferentes usos que se le dan cotidianamente y que estos plásticos biodegradables se desintegren de manera natural en el medio ambiente en un periodo corto [12].

Residuos sólidos urbanos

Los residuos sólidos urbanos (RSU) se definen como aquellos residuos que se producen en las casas habitación como consecuencia de la eliminación de los materiales que se utilizan en las actividades domésticas (por ejemplo, residuos de los productos de consumo y sus envases, embalajes o empaques, o residuos orgánicos); los que provienen también de cualquier otra actividad que se realiza en establecimientos o en la vía pública, con características domiciliarias y los resultantes de lugares públicos siempre que no sean considerados como residuos de otra índole [13].

Generación de residuos

En 2012 la producción mundial de residuos sólidos urbanos se calculó en alrededor de 1 300 millones de toneladas diarias, y se estima que podría crecer hasta los 2 200 millones en el año 2025 [18].

La generación global de RSU muestra una disparidad regional en cuanto a su volumen, determinada en general, por el desarrollo económico y la proporción de la población urbana [20].

En el año 2010, cerca del 44% de los RSU producidos en el planeta corresponden a los países con las economías más desarrolladas de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE; Figura 2) [19] [22].

En el caso de Latinoamérica y el Caribe, contribuyeron con el 12% del total, detrás de los países que integran las regiones del Pacífico y del este de Asia [14].

Figura 2. Generación global de residuos por región

En el tema de la generación y composición de los residuos sólidos, la información sobre la generación y la composición de los RSM, es parte fundamental del análisis de cualquier sistema de manejo integral de los



RSM, es por ello que a continuación se hace referencia a tales aspectos.

Con la finalidad de tener elementos de comparación de la situación en México, en la tabla 1, se presentan diferentes tasas de generación de RSM en diferentes países y ciudades del mundo.

Tabla 1. Tasa comparativa de generación per cápita de residuos sólidos municipales en distintos países.

País	Generación per cápita (kg/hab/día)
E. U. A.	1.970
Canadá	1.900
Finlandia	1.690
Holanda	1.300
Suiza	1.200
Japón	1.120
Brasil (Sao Paulo)	1.350
Argentina (Buenos Aires)	0.880
Chile (Santiago)	0.870
México	0.853

Por lo que resulta de interés evaluar la biodegradabilidad de estos residuos con el fin de disminuir el volumen y el impacto ambiental

Normas para la determinación de la biodegradabilidad de materiales plásticos

Existen un gran número de normas de biodegradabilidad, redactadas por distintos organismos de normalización (ISO, CEN, ASTM, DIN, etc.). Los criterios de clasificación son variados: medio en el que se produce la biodegradación, variable de medida elegida, presencia o ausencia de oxígeno en el medio, etc.

Las normas internacionales transpuestas a nivel nacional más empleadas en la determinación de la biodegradabilidad de los materiales plásticos son las siguientes [15]:

– UNE-EN-ISO 14852:2005: Determinación de la biodegradabilidad aeróbica final de materiales plásticos en medio acuoso. Método según el análisis del dióxido de carbono generado (ISO 14852:1999) [23].

– UNE-EN-ISO 14855:2005: Determinación de la biodegradabilidad aeróbica final y desintegración de materiales plásticos en condiciones de compostaje controladas. Método según el análisis del dióxido de carbono generado (ISO 14855:1999) [24].

– UNE-EN-ISO 17556:2005 Plásticos: Determinación de la biodegradabilidad aeróbica última en el suelo mediante la medición de la demanda de oxígeno en un respirómetro o bien mediante la cantidad de dióxido de carbono generada (ISO 17556:2003) [25].

Estas normas de ensayo se basan en que, durante la biodegradación del material de ensayo en presencia de oxígeno, se generan como productos dióxido de carbono, agua, sales minerales y nueva biomasa. El porcentaje de biodegradación se calcula mediante la relación entre el dióxido de carbono generado a partir del material de ensayo y la cantidad teórica máxima de dióxido de carbono que puede producirse a partir del material de ensayo [15].

El presente artículo tiene como objetivo analizar la biodegradabilidad de los diferentes bioplásticos que hay en el mercado, de forma que los fabricantes, usuarios, gobiernos e instituciones cuenten con un mayor conocimiento al respecto y puedan tomar decisiones informadas.

DESARROLLO

Las pruebas se realizaron en tres medios diferentes. Suelo Composta, agua de mar (agua salada). De igual manera se recolectaron tres muestras diferentes (Figura.3):

La primera muestra es un vaso biodegradable marca Andatti (A), es un vaso eco amigable elaborado con bagazo de caña de azúcar con capacidad de 12 oz (354.882 mL). Es un vaso térmico que le permite soportar altas temperaturas, sin resistencia al microondas y comercializado bajo la empresa comercial Oxxo® [16].

La segunda muestra, un vaso compostable marca wecare (W)®. Es un vaso biodegradable - compostable elaborado a base de papel ácido poliláctico (PLA), con capacidad de

12 oz (354.882 mL). Es un vaso térmico que soporta altas temperaturas y posee resistencia a microondas, refrigerador y la humedad de alimentos [17].

La tercera muestra, es una charola biodegradable marca Sam's Club® (Sc), utilizada para la venta de panes en dicha empresa, con resistencia a microondas, refrigeración y humedad de alimentos.



Figura 3. muestras propuestas para la prueba de biodegradabilidad.

Para poner en marcha el proceso de biodegradabilidad se recortaron tres fragmentos con dimensiones de 2.50 x 2.50 cm de cada una de las muestras como se ilustran en la (Figura.4).



Figura 4. muestras con dimensiones de 2.50 x 2.50 cm (Tres fragmentos de cada material).



Figura 5. Inicio del proceso de biodegradabilidad en los medios propuestos.

A cada una de las muestras se les realizó un análisis por espectroscopia de infrarrojo por transformada de Fourier, utilizando un espectrómetro FTIR Nicolet™ iS™10 (Thermo Scientific, Waltham, USA). Los espectros se obtuvieron tras 40 barridos en un rango de 4000 a 500 cm-1. Este análisis se realizó con la finalidad de identificar los grupos funcionales de los componentes

presentes en cada uno de los materiales que conforman las muestras. Dicho estudio se realizó antes y después de someter las muestras al proceso de biodegradación.

Análisis de biodegradabilidad en suelo

Para el análisis de biodegradabilidad en suelo común se colocaron tres fragmentos de cada muestra en el medio previamente pesados, haciendo así un total de 9 unidades experimentales colocadas en un recipiente abierto con suelo expuesto a la intemperie. Todas las muestras se colocaron a una profundidad de 1.5 cm durante 90 días. Pasado este tiempo, las muestras se enjuagaron con agua destilada, se secaron a temperatura ambiente y se obtuvieron sus pesos.

Análisis de biodegradabilidad en composta

Para el análisis de biodegradabilidad en composta se procedió de acuerdo con la metodología anteriormente descrita para el análisis en suelo. Se colocaron tres fragmentos previamente pesados de cada muestra en el medio en un recipiente abierto expuesto a la intemperie. Todas las muestras se colocaron a una profundidad de 1.5 cm durante 90 días. Pasado este tiempo, las muestras se enjuagaron con agua destilada, se secaron a temperatura ambiente y se obtuvieron sus pesos. El porcentaje de pérdida de peso se calculó con la siguiente ecuación:

$$\frac{(P_i - P_f)}{P_i} * 100 \quad \text{Ec. (1)}$$

Donde P_i es el peso inicial de las muestras y P_f es el peso final de la muestra.

Análisis de biodegradabilidad en agua salada

Se sintetizó en el laboratorio agua salada a partir de agua destilada y sal de mar que se obtuvo de un acuario. De acuerdo con las referencias analizadas, se realizó la mezcla un litro de agua y 35 g de sal de mar triturada con un mortero. Para la preparación de las muestras, de igual manera se colocaron las 9 muestras (3 fragmentos de cada material) en el recipiente con el agua de mar. Estas últimas muestras a diferencia de las otras, se colocaron en el fondo del recipiente para tener en mayor aprovechamiento del medio.

DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Medio de suelo común

No se observó un porcentaje de biodegradabilidad en las muestras. Se deduce que al ser tierra común no existe presencia de organismos degradadores, por lo tanto, no se llevó a cabo la biodegradación de las muestras.

Medio agua salada

No se observó un porcentaje de biodegradabilidad significativo en las muestras. El peso inicial de la muestra fue el mismo peso final, el peso de la muestra ANDATTI® fue de 0.1880 g, WECARE® fue de 0.2210 g y para la muestra SC® tuvo un peso de 0.3245 g.

Medio de Composta

En este medio se observó que las muestras fueron biodegradadas. En la tabla 2. Se presentan los resultados de los pesos obtenidos al inicio y al final del experimento al cabo de 90 días.

Tabla 2. Pesos iniciales y pesos finales.

Muestra	Peso Inicial (g)	Peso Final (g)
WECARE®	0.2209	0.0154
ANDATTI®	0.1879	0.0134
SC®	0.3247	0.3247

Tabla 3. Porcentaje de biodegradabilidad en las muestras.

Muestra	Biodegradabilidad En Peso (%)
A1 (WECARE®)	93
A2 (ANDATTI®)	92
A3 (SC®)	0

Representando los datos de porcentajes de biodegradabilidad de la tabla 3. Podemos observar que obtuvimos en las muestras de WECARE® y ANDATTI® un porcentaje mayor del 90% de biodegradabilidad como establece la norma ISO 14855, sin embargo, la muestra A3 (SC®) no se observa ningún cambio en la muestra y el peso no varió, por lo tanto, no tuvo un porcentaje de biodegradabilidad.

Espectrofotometría ATR-FTIR

El espectrofotómetro es un equipo que se utilizó para conocer los compuestos a partir de los enlaces que contienen las muestras.

Muestra de ANDATTI® día 1.

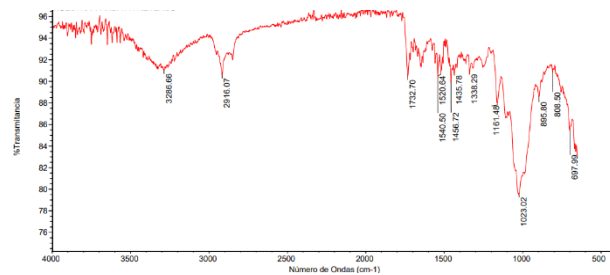


Figura 6. Espectro obtenido de la muestra ANDATTI® día 1.

Índice de compuestos presentes en la muestra de ANDATTI®

- 1.- Celofán
- 2.- Polietil acrilato acrilamida
- 3.- Dextrosa monohidratada
- 4.- Isomaltosa
- 5.- Dextrosa anhidra
- 6.- Polivinil acetate de etileno
- 8.- 6-deoxi-6-glucosa
- 9.- Pentadiino
- 10.- Éster butílico de ácido metacrílico

Muestra de WECARE® día 1.

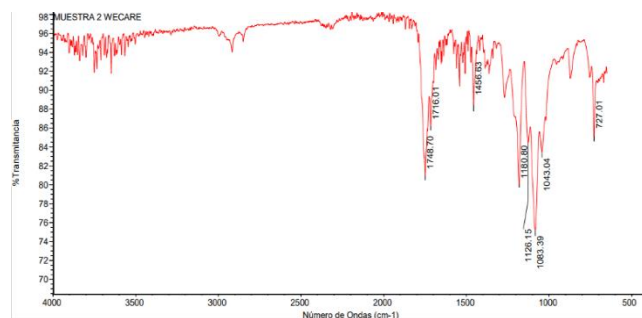


Figura 7. Espectro obtenido de la muestra WECARE® día 1.

Índice de compuestos presentes en la muestra de WECARE®.

- 1.- Politetrafluoro etileno: propileno
- 2.- Policarbonato
- 3.- Propoxifeno
- 4.- Formaldehído
- 5.- Éster metílico de ácido polifenilacético
- 6.- Cloruro de bencensulfonilo
- 7.- Ácido glucorónico
- 8.- Propionato de celulosa
- 9.- Ácido bencensulfónico
- 10.- Monoestearato de sorbitán

Muestra de SC® día 1.

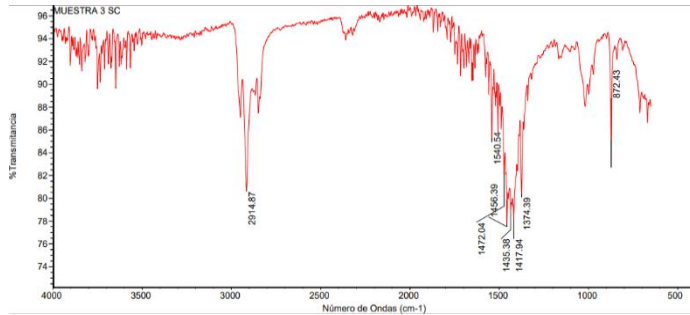


Figura 8. Espectro obtenido de la muestra SC® día 1.

Índice de compuestos presentes en la muestra de SC®.

- 1.- Polipropileno
- 2.- Polietilen propileno
- 3.- Polietilen propileno dieno
- 4.- Triacotano
- 5.- Polietileno de baja densidad
- 6.- Polipropileno polietileno propileno

Muestra de ANDATTI® día 90.

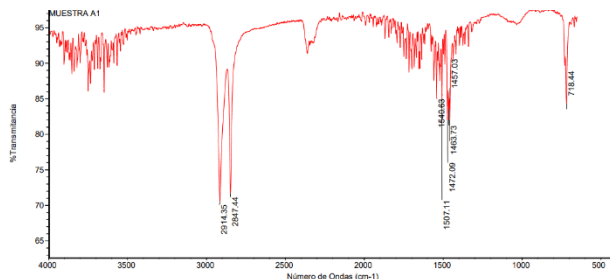


Figura 9. Espectro obtenido de la muestra ANDATTI® día 90.

Índice de compuestos presentes en la muestra ANDATTI®.

- 1.- Polietileno de baja densidad
- 2.- Triacotano
- 3.- Polietilen: propileno: dieno
- 4.- Polietileno
- 5.- Polietileno oxidado
- 6.- Cera vegetal mexicana
- 8.- Cera vegetal brasileña
- 9.- Polietilen propileno

Muestra de WECARE® día 90.

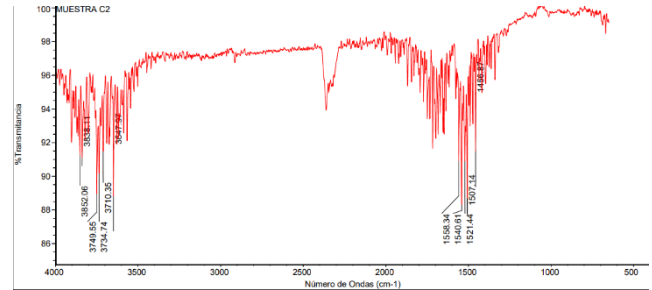


Figura 10. Espectro obtenido de la muestra WECARE® día 90.

Índice de compuestos presentes en la muestra de WECARE®.

- 1.- *p*-tolualdehído
- 2.- Cloruro de sodio
- 3.- Nylon
- 4.- Poliamida

En los espectros de infrarrojo de las muestras se puede observar que los espectros iniciales contienen mayor variedad estructural de compuestos y que estos compuestos son poliméricos y de mayor peso molecular que los que se observan al final del estudio de biodegradación. Se pueden observar también compuestos oxidados como aldehídos polietileno oxidado. Además, los compuestos de menor peso molecular presentes en al inicio del estudio, no se observan en los espectros al día 90, lo que sugiere que estos pueden ser utilizados como fuente de carbono por los microorganismos presentes en el medio.

CONCLUSIONES

Se logró analizar las muestras de los productos que se venden como biodegradables, principalmente, la marca WECARE® es una empresa dedicada a la venta y distribución de productos biodegradables, como platos desechables, cubiertos, pero en este caso nos enfocamos en los vasos biodegradables, los cuales, cumplen con su objetivo pues en los medios que se experimentaron se observaron diferentes resultados. Sin embargo, el medio de composta fue donde se logró biodegradar la parte interior de la muestra y quedó como residuo una membrana de plástico.

Las muestras de SC® no existió una variación de peso con la muestra inicial y la muestra final y tampoco existió un cambio visible en las muestras en ningún medio. En el caso de los vasos biodegradables de la marca ANDATTI® se logró observar los mismos resultados que las muestras de WECARE®, pues también cumplió con el objetivo de degradarse al cabo de tres meses, estos resultados exitosos de biodegradación en el medio de composta se deben a que existen microorganismos descomponedores

de materia que actúan en presencia de agua para llevar a cabo su metabolismo.

Los otros medios en los que se llevó a cabo el experimento, agua salada y tierra común no se observaron cambios significativos en las muestras al igual que no vario en peso las muestras iniciales y finales.

Como conclusión cabe aclarar que la muestra de WECARE®, tuvo un mayor porcentaje de biodegradación a comparación de las otras muestras.

Se sugiere realizar un análisis de las muestras al cabo de 6 meses para observar si las membranas de plásticos sobrantes se lograrán biodegradar, al igual que cuantificar el tiempo de degradación de la muestra de SC® y determinar si cumple con la norma ISO 14855.

Otro punto para tomar en cuenta en recomendaciones es que debe de actualizar la librería del equipo espectrofotómetro IR para tener una mayor exactitud en los resultados, pues en la librería de comparación de las muestras debe de tener un porcentaje de similitud de 80 a 90 % para que se tome como un resultado concreto, en las muestras existió un porcentaje de similitud por debajo de 60%.

AGRADECIMIENTOS

Al Tecnológico Nacional de México, al Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez y al equipo de trabajo por brindarnos su apoyo.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Gu, J. D. (2021). Biodegradability of plastics: the issues, recent advances, and future perspectives. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(2), 1278-1282.
- [2] Vázquez, A., Pérez, M. V., Valdemar, R. M. E., & Villavicencio, M. B. (2016). Bioplásticos y plásticos degradables. Unpublished. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1294.4241>
- [3] Chow, J., Perez-Garcia, P., Dierkes, R., & Streit, W. R. (2023). Microbial enzymes will offer limited solutions to the global plastic pollution crisis. *Microbial Biotechnology*, 16(2), 195–217. <https://doi.org/10.1111/1751-7915.14135>
- [4] Law, K. L. 2010. "Plastic Accumulation in the North Atlantic Subtropical Gyre." *Science* 329: 1185-8.
- [5] Arikan, E. B., & Ozsoy, H. D. (2015). A review: investigation of bioplastics. *J. Civ. Eng. Arch*, 9(1), 188-192.
- [6] Barker, T. 2010. Technical Summary in Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment. Report of the intergovernmental panel on climate change.
- [7] El Kadi, S. 2010. Bioplastic Production Form Inexpensive Sources Bacterial Biosynthesis, Cultivation

System, Production and Biodegradability. USA: VDM (Verlag Dr. Müller) Publishing House.

- [8] Li, J., Lui, H. & Paul Chen, P. (2018) Microplastics in freshwater systems: A review on occurrence, environmental effects, and methods for microplastics detection. *Water Research*, 137, 362-374. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.12.056>

- [9] Agustin, Y. E., & Padmawijaya, K. S. (2017). Effect of glycerol and zinc oxide addition on antibacterial activity of biodegradable bioplastics from chitosan-kepok banana peel starch. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 223, 012046. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/223/1/012046>.

- [10] Auccahuasi, F. A. S., Del Carmen Huamán Mogollón, L., Chipa, H. P., & Chacón, M. E. C. (2020). Biodegradabilidad de los bioplásticos elaborados a partir de cáscaras de Mangifera indica y Musa paradisiaca. *Centro Agrícola*, 47(4), 22-31. <http://scielo.sld.cu/pdf/cag/v47n4/0253-5785-cag-47-04-22.pdf>

- [11] Tokiwa, Y., Calabia, B. P., Ugwu, C. U., & Aiba, S. (2009). Biodegradability of plastics. *International journal of molecular sciences*, 10(9), 3722-3742.

- [12] Kubowicz, S., & Booth, A. M. (2017). Biodegradability of plastics: challenges and misconceptions.

- [13] Editorial RSyS. (2023, 14 enero). *Residuos: qué son, definición, clasificación, manejo y ejemplos*. Responsabilidad Social Empresarial y Sustentabilidad. <https://responsabilidadsocial.net/residuos-que-son-definicion-clasificacion-manejo-y-ejemplos/>

- [14] SEMARNAT. (01 de enero de 2015). Informe de la situación del medio ambiente en México. Obtenido de <https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe15/tema/cap7.html>.

- [15] Juárez, C. (2021, 1 septiembre). *Determinación de la biodegradabilidad de materiales plásticos*. The Food Tech. <https://thefoodtech.com/insumos-para-empaque/determinacion-de-la-biodegradabilidad-de-materiales-plasticos/>

- [16] OXXO®. (s/f). Oxxo.com. Recuperado el 30 de septiembre de 2022, de <https://www.oxxo.com/blog/oxxo-tip-andatti-mejora-tu-dia>.

- [17] C A T Á L O G O D E P R O D, C. (2022). Desechables Biodegradables -Compostables. Com.mx. Recuperado el 30 de septiembre de 2022, de <https://wecareproducts.com.mx/wp-content/uploads/Catalogo-We-Care-Digital.pdf>.

- [18] Bhada-Tata, P., & Hoornweg, D. (2012). Waste Generation. *What a Waste: A Global Review of Solid Waste Management*, 1-116.

- [19] Estadística e Información Ambiental, D.-D. G. (2022). Informe del Medio Ambiente. Gob.mx:8443. Recuperado el 30 de septiembre de 2022, de <https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe15/tema/cap7.html>.

[20] INECC, Semarnat. Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos. INECC, Semarnat. México. 2012.

[21] Instituto Nacional de Ecología. (2022). Gob.mx. Recuperado el 30 de septiembre de 2022, de <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/133/situacion%20en%20mexico.html>

[22] OECD. OECD Factbook 2014: Economic, Environmental and Social Statistics. OECD Publishing 2014. Disponible en <https://www.oecd.org/dataoecd/30/13/49789512.pdf> Expires=1459204364&id=id&acname=guest&checksum=6FCA13D595A51CDCBD05CE042F03CBF4. Fecha de consulta: diciembre de 2015.

[23] Organización Internacional de Normalización. (1999). Determination of the ultimate aerobic biodegradability of plastic materials in an aqueous medium — Method by analysis of evolved carbon dioxide (ISO 14852). <https://www.iso.org/standard/25766.html>

[24] Organización Internacional de Normalización. (1999). Determination of the ultimate aerobic biodegradability and disintegration of plastic materials under controlled composting conditions — Method by analysis of evolved carbon dioxide (ISO 14855). <https://www.iso.org/standard/42155.html>

[25] Organización Internacional de Normalización. (2003). Determination of the ultimate aerobic biodegradability in soil by measuring the oxygen demand in a respirometer or the amount of carbon dioxide evolved (ISO 17556). <https://www.iso.org/standard/30743.html>

[26] Sangeetha D., Ramya A., Kannan K., Antony A.R. & Kannan R. 2019. Investigation of biodegradation potentials of high density polyethylene degrading marine bacteria isolated from the coastal regions of Tamil Nadu, India. 549-560, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S025326X1830852X?via%3Dihub>.

Visualización	Alexis Julián Torres Morales; Belén Cruz Antonio (igual)
Redacción Inicial	Alexis Julián Torres Morales; Jair Elián López Sánchez (igual)
Redacción Final	José Humberto Castañón González; Rocío Meza Gordillo (igual)



Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución 4.0.

ROLES DE CONTRIBUCIÓN

Rol	Autor (es)
Conceptualización	José Humberto Castañón González
Curación de datos	Rocío Meza Gordillo
Metodología	Alexis Julián Torres Morales; Jair Elián López Sánchez (igual)
Administración del Proyecto	Jair Elián López Sánchez; Belén Cruz Antonio (igual)
Recursos	José Humberto Castañón González
Software	Rocío Meza Gordillo
Supervisión	José Humberto Castañón González
Validación	José Humberto Castañón González; Rocío Meza Gordillo (igual)