

Evaluation of the physical-chemical degradation of biodegradable plastics sold in supermarkets

Evaluación de la degradación físico-química de plásticos biodegradables expendidos en los supermercados

Jonathan Almirón, Mg.¹, Yanina Barrionuevo, Ing.¹, Belinda Chavez, Ing.¹, Jose Mamani-Quispe, Mg.¹, Yosheff Ortiz-Valdivia, Mg.¹, Danny Tupayachy-Quispe, Dr.²

¹Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Perú, jalmiron@unsa.edu.pe, ybarrionuevo@unsa.edu.pe, bchavezcr@unsa.edu.pe, josmamaniqui@unsa.edu.pe, yortizv@unsa.edu.pe

²Universidad Católica de Santa María, Perú, dtupayachy@ucsm.edu.pe

Abstract - *The present investigation proposed to evaluate the degradability of plastic materials declared publicly as biodegradable plastics. Its physical and mechanical properties were determined. Likewise, the materials were characterized by Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) and Scanning Electron Microscopy (SEM).*

Two plastics declared as biodegradable (TA and TB) and a conventional plastic such as Polyethylene (TC) were selected, which were subjected to different environments such as water, soil and weather, the study was carried out for a period of 4 months.

It was determined that the biodegradable plastic TA presented a greater weight loss when subjected to soil and water, while TB and TC did not present significant changes in these media. The TB sample presented the greatest weight loss when exposed to the elements. When subjected to mechanical tests, it was observed that the TA samples showed a greater decrease in the properties of maximum resistance and deformation. This behavior was corroborated with SEM, where TA was the one that showed the most signs of degradation when exposed to different media, TB plastic, despite being sold as a biodegradable material, showed slight changes in its morphology like TC plastic. While the FTIR analysis revealed slight variations in their peaks and in the absorbances of the regions corresponding to the biodegradable molecules.

Keywords- Starch, plastics, biodegradable, polyethylene.

Resumen - *La presente investigación propuso evaluar la degradabilidad de materiales plásticos declarados públicamente como plásticos biodegradables. Se determinaron sus propiedades físicas y mecánicas. Asimismo, los materiales se caracterizaron mediante Espectroscopía Infrarroja por Transformada de Fourier (EITF) y Microscopía Electrónica de Barrido (MEB).*

Se seleccionaron dos plásticos declarados como biodegradables (TA y TB) y un plástico convencional como el Polietileno (TC), los cuales fueron sometidos a diferentes ambientes como agua, suelo e intemperie, el estudio se realizó por un período de 4 meses.

Se determinó que el plástico biodegradable TA presentó una mayor pérdida de peso al ser sometido a suelo y agua, mientras que TB y TC no presentaron cambios significativos en estos medios. La muestra de TB presentó la mayor pérdida de peso cuando se expuso a los elementos. Al ser sometidas a ensayos mecánicos, se observó que las muestras de TA presentaron una mayor disminución en las propiedades de resistencia a la tracción y deformación. Este

comportamiento fue corroborado con MEB, donde TA fue el que mostró más signos de degradación al ser expuesto a diferentes medios, el plástico TB, a pesar de ser vendido como material biodegradable, mostró leves cambios en su morfología como el plástico TC. Mientras que el análisis EITF reveló ligeras variaciones en sus picos y en las absorbancias de las regiones correspondientes a las moléculas biodegradables.

Palabras clave- Almidón, plásticos, biodegradables, polietileno.

I. INTRODUCCION

En estos últimos 50 años, los plásticos se han utilizado ampliamente en la sustitución de materiales como el papel, madera y metal, debido a sus extraordinarias propiedades en términos de durabilidad, ligereza y bajo costo, pero a la vez causan una amenaza importante al ambiente, haciendo que sea resistente a la degradación biológica. Esta resistencia se ha convertido en un desafío en los procesos de gestión de desechos [1].

En 2018, la producción mundial de plásticos alcanzó los 359 millones de toneladas métricas, con 62 millones de toneladas métricas producidas solo en Europa [2]. El plástico es responsable de alrededor del 10% del total de residuos generados y del 60 al 90% de la basura marina. Según el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, cada año se vierten 8 toneladas métricas de plástico en los ríos y océanos lo que equivale a un camión completo cada minuto [3] [4], y se van acumulando en el medio ambiente con una creciente amenaza ecológica para la vida silvestre terrestre y marina [5].

A partir de esta problemática, las autoridades están adoptando medidas para tratar de mitigar el problema de los residuos plásticos. Entre las técnicas más comunes se encuentran la incineración, reciclaje y rellenos sanitarios [6].

Estas medidas han sido efectivas hasta cierto punto, ya que no han tenido un interés suficientemente alto ni una eliminación responsable de estos residuos por parte

Digital Object Identifier: <http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2021.1.1.193>
ISBN: 978-958-52071-8-9 ISSN: 2414-6390
DO NOT REMOVE

de la sociedad, ya que la escala de producción mundial de plástico es mucho más alta que los medios para su eliminación [7].

Por ende, en diferentes partes del mundo se han propuesto leyes que prohíben el uso de bolsas plásticas. Mientras otros gobiernos otorgan incentivos económicos por la disminución del uso de plástico en sus procesos.

En estos últimos años ha aumentado un interés significativo por los plásticos biodegradables fabricados a partir de recursos renovables [8]. Estos materiales son cada vez más interesantes y atractivos como alternativa a los polímeros de base petroquímica [9]. Haciendo que se puedan descomponer y degradarse biológicamente en materias primas sin ningún efecto nocivo para el medio ambiente [10]. Estos plásticos biodegradables hacen referencia a plásticos de base biológica que cumplen con los estándares de degradabilidad y compostabilidad. Si se anuncia que un material o producto es biodegradable, se debe proporcionar más información sobre el tiempo de degradación, el nivel de degradación y las condiciones circundantes requeridas, a fin de que las afirmaciones sean medibles y comparables. Los plásticos biodegradables de base biológica, incluye mezclas de almidón hechas de almidón termoplásticamente modificado y otros polímeros biodegradables, así como poliésteres como el ácido poliláctico (PLA) o polihidroxialcanoatos (PHA).

Cada vez que un plástico se expone a un ambiente energético, caracterizado por una carga de energía comparable a la energía de los enlaces químicos, que los mantienen en el lugar de los átomos que constituyen la cadena principal del polímero, resulta el colapso de la arquitectura macromolecular con la notable fragmentación en el ambiente, este proceso se basa en una combinación de varios mecanismos y factores: temperatura, luz solar, oxidación, humedad, estrés mecánico y acción de microorganismos. [11]

El proceso de degradación de los plásticos comprende dos fases: la desintegración y la mineralización. La primera fase se asocia significativamente con el deterioro de las propiedades físicas, tales como la decoloración, la fragilidad, y la fragmentación. La segunda fase es la conversión final de fragmentos del plástico a pequeñas moléculas como CO₂, agua y biomasa celular en condiciones aerobias; y CH₄, CO₂ y biomasa celular bajo condiciones anaerobias [11].

Resientes investigaciones, realizaron ensayos en diferentes ambientes, como el suelo, compost, medio marino y otros ambientes acuáticos. Entre estas condiciones ambientales, se tuvieron en cuenta principalmente el suelo y el compost debido a su alta diversidad microbiana [12]. El suelo contiene una vasta biodiversidad de microorganismos, que permiten la degradación plástica siendo una de las más factibles con respecto a otros entornos, como el agua o intemperie. En medio agua muchas investigaciones sugieren que la mayor biodegradación podría lograrse en la interfaz de agua-sedimento ya que las condiciones ambientales en la interfaz apoyan la actividad de los macroorganismos que degradan el plástico [13] [14].

El objetivo del presente artículo será evaluar la degradación de dos plásticos declarados como biodegradables y un plástico convencional como el Polietileno. Para dicha evaluación se expondrá a los plásticos a diferentes ambientes

como el agua, suelo e intemperie. Las muestras fueron evaluadas en un periodo de cuatro meses y caracterizadas mediante las técnicas de Microscopia Electrónica de Barrido (MEB), Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier (EITF) y análisis físicos y mecánicos.

II. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

A. Recolección de las muestras

Se evaluaron tres plásticos, de los cuales dos fueron obtenidos en los supermercados y estas fueron comparadas con un plástico convencional. Uno de los plásticos biodegradables indicaba en su rotulado el tipo de composición, mientras que el otro plástico solo indicaba que era biodegradable pero no se mencionaba su origen, en la tabla I se muestra la codificación utilizada.

B. Medios de exposición de las muestras

Para evaluar la degradabilidad, las muestras fueron sometidas a tres ambientes como el suelo, agua e intemperie, posteriormente se realizaron análisis físicos y químicos, por un periodo de cuatro meses.

Las muestras expuestas al suelo fueron colocadas a 30 cm de profundidad por separado, luego fueron enterrados para su evaluación.

TABLA I.
MÉTODO DE ESTUDIO

MEDIOS DE EXPOSICIÓN	CÓDIGO		
	TA	TB	TC
	Biodegradable (fécula de maíz)	Biodegradable (No indicado)	Polietileno (LDPE)
Agua (A)	TA - A	TB - A	TC - A
Suelo (S)	TA - S	TB - S	TC - S
Intemperie (I)	TA - I	TB - I	TC - I

Las muestras sometidas al agua se introdujeron por separado en tres contenedores, luego fueron sumergidos con ayuda de unas pesas para que estén en completo contacto con el agua y de esta manera se evitó que floten a la superficie.

Finalmente, las muestras sometidas a la intemperie fueron sujetadas a una lámina de cartón, con un determinado ángulo, con el objetivo de obtener un contacto directo a la luz solar.

C. Caracterización de las muestras

Las muestras fueron caracterizadas por Microscopia Electrónica de Barrido (MEB) con el objetivo de observar y caracterizar la superficie, de esta manera se obtuvo información de su morfología. El equipo utilizado fue un EVO-MA10, se trabajó con el software Smart-SEM ZEISS, con un detector de electrones secundarios y una presión de alto vacío.

La Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier (EITF), fue aplicada para identificar los grupos funcionales presentes en las muestras, basado en la

ubicación e intensidad de los picos del espectro. El equipo utilizado fue de la marca Perkin Elmer modelo Fourier.

D. Análisis físicos y mecánicos

El análisis de pérdida de masa consistió en pesar las muestras antes y después de cada tratamiento sometido, este se realizó en una balanza analítica modelo Sartorius CPA 2245.

El ensayo de resistencia a la tracción fue realizado de acuerdo con la norma ASTM D 882-02. Obteniendo como resultado la resistencia máxima y el porcentaje de deformación.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. Caracterización de las muestras

A.1. Espectroscopía Infrarroja por Transformadas de Fourier (EITF)

En el espectro de absorción de la muestra TA, como se muestra en la Fig. 1, se observaron claramente los movimientos de tensión de estrechas bandas de absorción ligadas a los enlaces C-H a $2956,41\text{ cm}^{-1}$, $2917,77\text{ cm}^{-1}$, $2873,3\text{ cm}^{-1}$ y $2850,52\text{ cm}^{-1}$, además de una banda delgada perteneciente al enlace C=O a $1711,50\text{ cm}^{-1}$ correspondiente al grupo amida y una banda estrecha correspondiente al mismo tipo de enlace entre $1648,3\text{ cm}^{-1}$ y $1577,83\text{ cm}^{-1}$. Mientras que en la muestra TA-A, después de 4 meses de exposición a la intemperie, presenta regiones de enlaces C-H y una ligera disminución en la proporción de los picos característicos de este grupo a $2956,40\text{ cm}^{-1}$, $2899,9\text{ cm}^{-1}$ y $2874,8\text{ cm}^{-1}$, no teniendo cambios significativos en el grupo amida perteneciente al enlace C=O. En el caso del espectro de absorción de la muestra TA-S, presentó el grupo O-H a $3406,9\text{ cm}^{-1}$, poco intensa. En la región de los enlaces C-H una ligera variación en la banda correspondiente a $2955,61\text{ cm}^{-1}$, $2899,3\text{ cm}^{-1}$ y 2875 cm^{-1} y una banda estrecha correspondiente al grupo C=O entre $1757,3\text{ cm}^{-1}$ y $1711,25\text{ cm}^{-1}$. Finalmente, el espectro de absorción de la muestra TA-I, se observó una disminución en la proporción de los picos característicos del grupo C-H, de tener cuatro bandas de absorción, se redujo a solo una ubicada en $2958,77\text{ cm}^{-1}$, y se detectó una baja intensidad en el enlace C=O (1710 cm^{-1}).

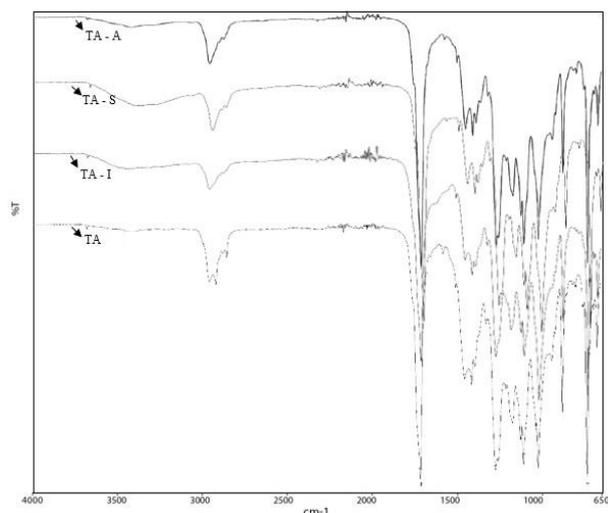


Fig. 1 EITF de TA evaluado a 4 meses luego de ser sometido a diferentes medios

En el caso del espectro de absorción de la muestra TB, como se muestra en la Fig. 2 se presentó unas bandas estrechas

de absorción, característica del grupo C-H entre $2915,77\text{ cm}^{-1}$ y $2848,26\text{ cm}^{-1}$, además de una banda de absorción a 1740 cm^{-1} correspondiente al grupo carbonilo C=O. En cambio, en el espectro de absorción de la muestra TB-A después de 4 meses de exposición, presentó regiones de enlace C-H y una ligera disminución en la proporción de los picos característicos de este grupo a $2915,72\text{ cm}^{-1}$ y $2848,19\text{ cm}^{-1}$. No contando con la presencia del enlace C=O. Mientras en el espectro de absorción de la muestra TB-S, no presentaron cambios esenciales para la región C-H. Sin embargo, se distinguió la ausencia de la banda estrecha de C=O y algunas variaciones en la región de huella digital. En cambio, en el espectro de absorción de la muestra TB-I, fue muy similar a TB con un ligero cambio en dos bandas estrechas de absorción a $1731,6\text{ cm}^{-1}$ y $1712,7\text{ cm}^{-1}$ correspondientes al enlace C=O y la presencia de algunas bandas menores correspondientes a la huella digital.

En el espectro de absorción de la muestra TC, como se muestra en la Fig. 3 presentó unas bandas estrechas de absorción ligadas al grupo C-H entre $2915,49\text{ cm}^{-1}$ y $2848,15\text{ cm}^{-1}$, además de algunas bandas menores correspondientes a la región de la huella digital.

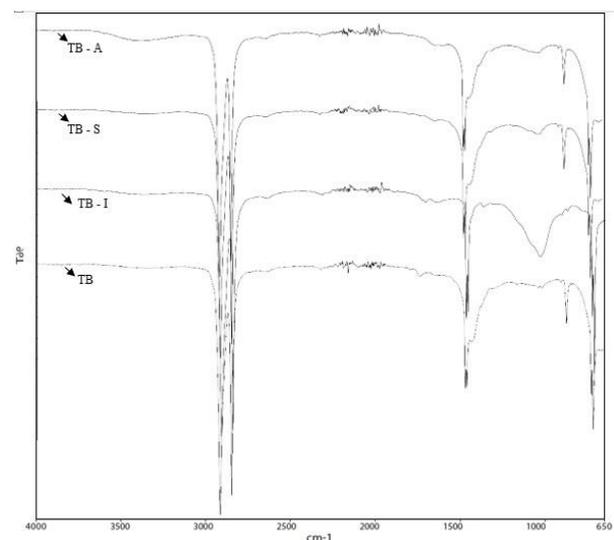


Fig. 2 EITF de TB evaluado a 4 meses luego de ser sometido a diferentes medios

Mientras en el espectro de absorción de la muestra TC-A, no presentó ningún cambio esencial en las bandas de absorción ligadas al grupo C-H, pero se aprecia una nueva banda de estiramiento del grupo carbonilo C=O a $1642,6\text{ cm}^{-1}$. En el espectro de absorción de la muestra TC-S, no presentó ningún cambio esencial en las bandas de absorción ligadas al grupo C-H, salvo una nueva banda de absorción del grupo C=O entre $1540,1\text{ cm}^{-1}$ y $1639,2\text{ cm}^{-1}$.

Por último, el espectro de absorción de la muestra TC, TC-A, TC-S y TC-I, no presentó ningún cambio esencial en las bandas de absorción ligadas al grupo C-H, solo se observa una nueva banda de absorción del grupo C=O entre $1712,2\text{ cm}^{-1}$ y $1639,3\text{ cm}^{-1}$, $1642,6\text{ cm}^{-1}$ y $1540,1\text{ cm}^{-1}$, $1712,2\text{ cm}^{-1}$ y $1639,3\text{ cm}^{-1}$, siendo bandas

no cruciales y la presencia de algunas bandas menores correspondientes a la huella digital respectivamente.

Entonces se puede concluir que dentro de los análisis de EITF, se encontraron bandas de absorción en los diferentes medios estudiados. Mostrando formaciones de enlaces de los grupos O-H, C-H y C=O respectivamente, los cuáles aparecieron y desaparecieron durante los cuatro meses de estudio, indicando que hubo una ruptura de enlaces y por ende una liberación de elementos, afirmando que existe un leve indicio de degradación.

A.2. Microscopia electrónica de barrido (MEB)

En la imagen de la muestra TA, como se puede observar en la Fig. 4, muestra una morfología superficial lisa, con muy pocas irregularidades y poros. En la imagen de la muestra TA-A, luego de cuatro meses de exposición, arrojaron resultados más interesantes, se encontró una morfología superficial con una marca de erosión, no encontrándose fisuras y grietas significativas.

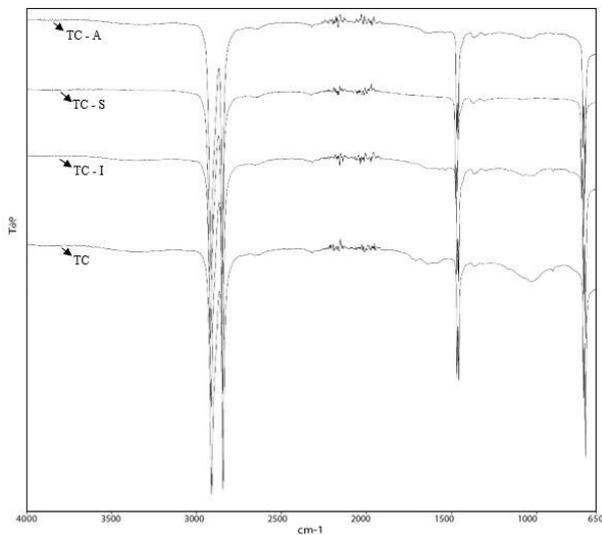


Fig. 3 EITF de TC evaluado a 4 meses luego de ser sometido a diferentes medios

Mientras en la imagen de la muestra TA-S expuesta al mismo periodo se reveló con mayor precisión una superficie marcada de irregularidades, con presencia de pequeños poros, grietas y filamentos que demuestran el inicio de la degradación. Así mismo al observar la imagen de la muestra TA-I que fue también expuesta a este mismo periodo de evaluación se reveló la presencia de irregularidades en su superficie, se aprecia una rugosidad especialmente marcada, al igual que fisuras y poros, producto de la exposición a los rayos solares.

En la imagen de la muestra TB, se observa una morfología superficial parcialmente lisa, sin porosidades, ni erosiones significativas, mientras la muestra TB-A, luego de cuatro meses de exposición, reveló una mayor rugosidad de la superficie en comparación a la muestra inicial, mostrando agujeros o fisuras de tamaño ligeramente considerable. La muestra TB-S, que fue expuesta al mismo tiempo, no mostró marcadas grietas, tampoco rugosidades significativas en la superficie del plástico, ni fisuras, pero en la imagen de la muestra TB-I, quien también fue expuesta al mismo periodo de tiempo, exhibió una

superficie ligeramente lisa, sin cambios significativos, con pequeñas fisuras y porosidades.

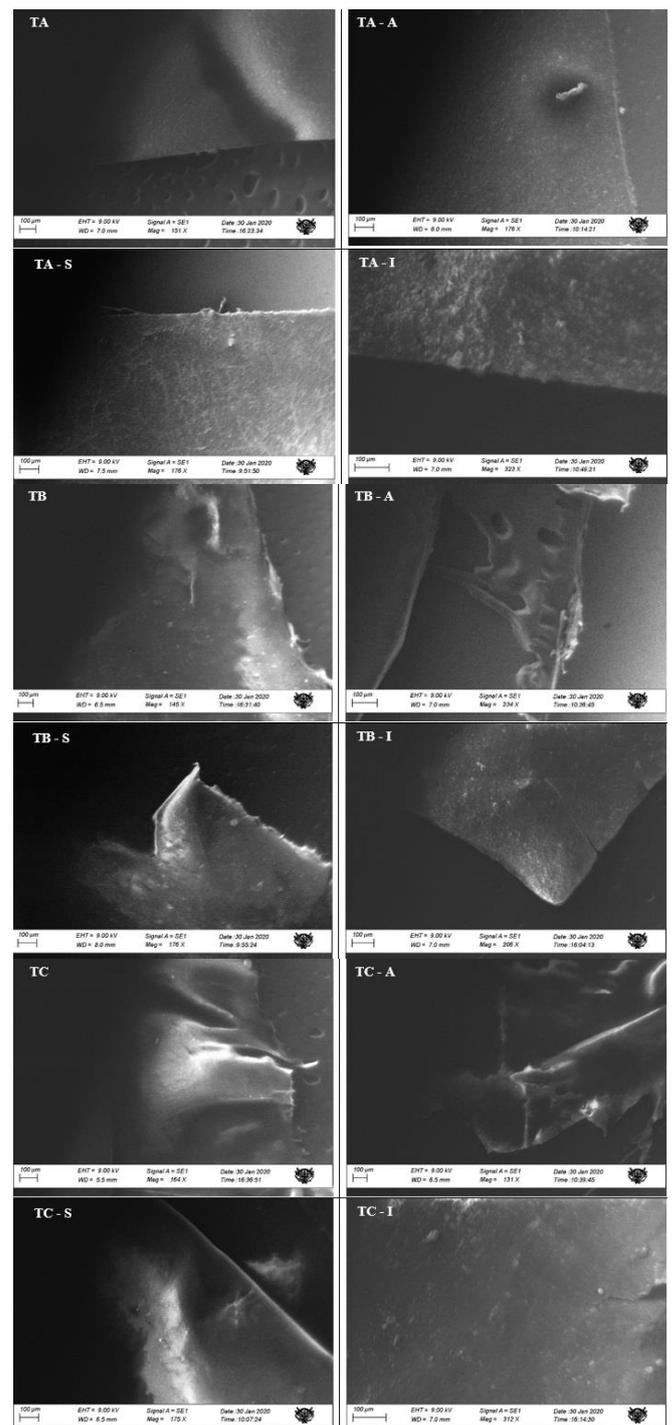


Fig. 4 Microfotografías (SEM) de la degradación de las bolsas de plástico TA, TB y TC, en diferentes medios.

La imagen de la muestra TC, no reveló rugosidades marcadas, tampoco fisuras, ni grietas significativas. En la imagen de la muestra TC-A, luego de ser expuesta cuatro meses en agua, se observó una estructura donde se aprecia una rugosidad especialmente marcada, con presencia de ligeras grietas significativas, mientras la muestra TC-S, luego de ser expuesta el mismo periodo,

no presentó cambios significativos, pero en la muestra TC-I, quien también fue expuesta a este mismo periodo de tiempo, reveló la presencia de ligeras grietas en toda la superficie del plástico, con presencia de diminutos poros. No mostrando un gran cambio significativo.

Finalmente, luego de ser analizadas las imágenes podemos resaltar que el plástico TA fue el que presentó más indicios de degradación al ser expuesto a los diferentes medios, el plástico TB pese a que es vendido como un material biodegradable presentó ligeros cambios al igual que el plástico TC.

B. Análisis físicos de las muestras

B.1. Pérdida de peso

Los resultados de pérdida de peso para los tres tipos de plásticos evaluados se muestran en la Tabla II. Estos resultados fueron registrados luego de 4 meses de ser expuestos a diferentes medios.

De los resultados mostrados en la Tabla II, después de 4 meses de ser sometidos las muestras a diferentes medios, podemos inferir que la muestra TA-S presentó claramente una pérdida de peso del 18%, siendo el valor más alto, caso contrario sucedió con la muestra TC-A quien tuvo un valor mínimo de pérdida de peso del 4%.

TABLA II.
PERDIDA DE PESO DURANTE EL PROCESO DE DEGRADACIÓN EN DIFERENTES MEDIOS.

CÓDIGO	PESO (%)
TA-A	16
TA-S	18
TA-I	10
TB-A	5
TB-S	6
TB-I	13
TC-A	4
TC-S	5
TC-I	7

Entonces se puede concluir que el plástico TA al ser degradable y elaborado con fécula de maíz y además al ser expuesto en un medio como el suelo, permitió que factores como, la humedad, la temperatura, los microorganismos, cambios químicos como el pH, genere la ruptura de cadenas moleculares y de esta manera se dio su disminución de peso.

Estos resultados fueron comparados con estudios actuales, tal es el caso de C. A. Castellón (2016), quien realizó una evaluación durante seis semanas, sometiendo a los plásticos biodegradables y convencionales a la intemperie, obteniendo una pérdida de peso del 74% en los plásticos biodegradables y un 22% en los plásticos convencionales, comparando estos resultados con los valores obtenidos en nuestra investigación, el valor máximo de pérdida de peso fue de la muestra TB-I con un valor del 13%, es así que se deduce que las condiciones ambientales juegan un papel importante en el proceso de degradación, ya que la investigación se realizó en Colombia donde las temperaturas son más elevadas [15].

B.2. Resistencia a la tracción

En la tabla III se muestra la resistencia máxima a la tracción y el porcentaje de deformación de los plásticos TA, TB y TC, sometidos a diferentes medios de degradación.

Los resultados referentes a la máxima resistencia a la tracción, ensayadas a las muestras de plástico después de 4 meses de exposición a diferentes medios, revelaron que el plástico TC-A, presentó un valor de 24.88 MPa, siendo el valor más alto, mientras que el plástico TA-S presentó un valor mínimo de 4.79 MPa. Por lo que podemos deducir que el plástico TC-A, al ser un plástico convencional, formado por cadenas poliméricas ocasiona que sus propiedades no se vean afectadas al exponerlas a diferentes medios, pero se observan un descenso notorio al ser expuesto a la intemperie, esto puede deberse a su composición, que al ser procesados se utiliza plastificantes y al eliminarse este por efecto de la exposición a la intemperie ocasiona grietas y fisuras que fueron visualizadas en las imágenes de MEB. Mientras que el plástico TA-S al ser un termoplástico degradable cuyo material base se obtiene a partir de seres vivos ya sea de animales y vegetales, en este caso de almidón de maíz, y al ser sometido al suelo, origina una degradación acelerada debido a que este contiene una vasta biodiversidad de microorganismos, que permiten la biodegradación del plástico.

TABLA III
RESISTENCIA A LA TRACCIÓN PARA LOS PLÁSTICOS, TA, TB Y TC EN EL MEDIO SUELO, AGUA E INTEMPERIE.

CÓDIGO	TIEMPO	RESISTENCIA MÁXIMA	DEFORMACIÓN
	(Mes)	(MPa)	(%)
TA	0	21,68	71,31
TA-A	1	14,83	31,61
	4	8,08	4,64
TA-S	1	7,97	7,17
	4	4,79	0,00
TA-I	1	12,57	5,16
	4	12,45	0,00
TB	0	28,56	44,72
TB-A	1	19,87	28,43
	4	19,24	22,61
TB-S	1	18,41	36,96
	4	18,33	25,80
TB-I	1	11,94	9,57
	4	9,14	0,00
TC	0	26,72	47,68
TC-A	1	25,42	36,78
	4	24,88	34,93
TC-S	1	22,06	10,04

	4	17,15	9,88
TC-I	1	16,52	10,92
	4	8,36	0,00

Además, origina cambios físicos como, la decoloración, fragilidad y la fragmentación en pequeñas moléculas como CO₂, agua y biomasa celular en condiciones aerobias; y CH₄, CO₂ y biomasa celular bajo condiciones anaerobias. Con respecto a la deformación presentada en ambos casos podemos ver que esta disminuye en un 100%.

Estos resultados son similares, a lo reportado por *J. Remersaro (2010)*, quien evaluó por un tiempo de 6 semanas y las muestras fueron expuestas a la intemperie, se reportó un valor inicial de resistencia a la tracción de 23.4 MPa, reduciéndose a 8.1 MPa en plásticos degradables, mientras los convencionales tenían un valor inicial de 31.7 MPa reduciéndose la resistencia a 13.7 MPa [15]. Otras investigaciones con un tiempo de 50-200 h reportaron que las bolsas comunes de polietileno presentaron una resistencia de tracción de 2.5 Kg/mm² y porcentaje de deformación de 2.22% por 100 h, mientras que las bolsas degradables tenían una resistencia de tracción de 2.2 Kg/mm² y porcentaje de deformación de 5% [16] [17]

IV. CONCLUSIONES

Es factible la degradación de los plásticos considerados biodegradables en medios ambientales tales como el agua, suelo e intemperie. Esto se ve reflejado en los resultados obtenidos, como el porcentaje de pérdida de peso, porcentaje de deformación y resistencia a la tracción, cuyos valores disminuyeron considerablemente en el periodo de cuatro meses. Así mismo se observa en las imágenes MEB, como los plásticos biodegradables con el paso del tiempo presentan imperfecciones en su superficie, características de un inicio de degradación. Por último, el análisis de EITF manifiesta que existe una ruptura de grupos funcionales y una liberación en el medio sometido, lo que provoca una variación en el ambiente en que se desarrolla.

En cuanto a la pérdida de peso, el plástico que tuvo un porcentaje bajo fue el plástico TC, esto está relacionado a sus propiedades de alta resistencia en el ambiente, lo cual hace que perdure a través de los años sin degradarse, caso contrario a los plásticos biodegradables TA y TB, que, si perdieron masa, pero no como se esperaba. En el análisis EITF, pese a que no existió una variación considerable en los grupos funcionales estudiados, no se pudo notar la diferencia entre las bandas de absorción propias de cada tipo de plástico, se pudo notar que existió una ruptura de enlaces, lo cual explicaría la presencia y ausencia de los grupos funcionales durante los cuatro meses de estudio.

Se determinó una notable diferencia en la degradación entre los materiales plásticos biodegradables TA y TB y el plástico convencional TC. En los resultados MEB se puede exponer claramente como el plástico TA, tiende a degradarse en mayor magnitud en los tres medios estudiados, en su superficie predominaron una gran cantidad de poros y pequeños

filamentos. Mientras que TB no mostró este comportamiento pese a que es un material biodegradable, lo que nos puede hacer presumir de su condición de material biodegradable, la cual no sería tan cierto, como lo menciona el supermercado. Finalmente, el plástico TC, no muestra inicios de degradación, ya que en su superficie solo se muestran pequeñas grietas propias de las condiciones ambientales a las que estuvieron sometidas.

REFERENCIAS

- [1] A. S. Luyt and S. S. Malik, "Can biodegradable plastics solve plastic solid waste accumulation" in *Plastics to Energy: Fuel, Chemicals, and Sustainability Implications*, 2018.
- [2] The European Plastics Industry, "Plastics – the Facts: An analysis of European latest plastics production, demand and waste data," *Plast. (Association Plast. Manuf.)*, 2013.
- [3] J. Raynaud, "Plastics Valuation: The Business Case for Measuring, Managing and Disseminating Plastic Use in the Consumer Goods Industry," Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) (2014). <https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/9238>
- [4] J. R. Jambeck et al., "Plastic waste inputs from land into the ocean," *Science*, vol. 347, no. 6223, 2015, doi: 10.1126/science.1260352.
- [5] H. Bhardwaj, R. Gupta, and A. Tiwari, "Communities of Microbial Enzymes Associated with Biodegradation of Plastics," *Journal of Polymers and the Environment*, vol. 21, no. 2, 2013, doi: 10.1007/s10924-012-0456-z.
- [6] J. A. Baca, D. T. Quispe, M. V. Vilca, F. Roudet, and S. Duquesne, "Study of the thermo-mechanical and flammability properties of PP composites with pyrolytic solid residue from vehicle waste," in *Proceedings of the LACCEI international Multi-conference for Engineering, Education and Technology*, 2019, vol. 2019-July, doi: 10.18687/LACCEI2019.1.1.144.
- [7] S. Peng, B. S. Wu, L. Wu, B. G. Li, and P. Dubois, "Hydrolytic degradation of biobased poly(butylene succinate-co-furandicarboxylate) and poly(butylene adipate-co-furandicarboxylate) copolyesters under mild conditions," *J. Appl. Polym. Sci.*, vol. 134, no. 15, 2017, doi: 10.1002/app.44674.
- [8] F. Roudet, J. Almirón, and B. Chavez, "Obtención de películas biodegradables mediante la Gestión de Residuos Orgánicos que contienen Almidón y Quitosano," 2020, doi: 10.18687/laccei2020.1.1.402.
- [9] W. D. Luzier, "Materials derived from biomass/biodegradable materials," in *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 1992, vol. 89, no. 3, doi: 10.1073/pnas.89.3.839.
- [10] M. Ponjavic, M. S. Nikolic, J. Nikodinovic-Runic, S. Jeremic, S. Stevanovic, and J. Djonlagic, "Degradation behaviour of PCL/PEO/PCL and PCL/PEO block copolymers under controlled hydrolytic, enzymatic and composting conditions," *Polym. Test.*, vol. 57, 2017, doi: 10.1016/j.polymertesting.2016.11.018.
- [11] A. Krzan, S. Hemjinda, S. Miertus, A. Corti, and E. Chiellini, "Standardization and certification in the area of environmentally degradable plastics," *Polymer Degradation and Stability*, vol. 91, no. 12, 2006, doi: 10.1016/j.polymdegradstab.2006.04.034.
- [12] Briassoulis, A. Mistriotis, N. Mortier, and M. Tosin, "A horizontal test method for biodegradation in soil of bio-based and conventional plastics and lubricants," *J. Clean. Prod.*, vol. 242, 2020, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.118392.
- [13] D. Zapata, R. Pujol, and F. Coda, "Polímeros biodegradables: una alternativa de futuro a la sostenibilidad del medio ambiente," *Técnica Ind.*, vol. 297, 2012.
- [14] M. Tosin, A. Pischredda, and F. Degli-Innocenti, "Biodegradation kinetics in soil of a multi-constituent biodegradable plastic," *Polym. Degrad. Stab.*, vol. 166, 2019, doi: 10.1016/j.polymdegradstab.2019.05.034.

- [15] C. A. Castellón Castro, L. N. Tejada López, and L. P. Tejada Benítez, "Evaluación de la degradación ambiental de bolsas plásticas biodegradables," *Inf. Técnico*, vol. 80, no. 1, 2016, doi: 10.23850/22565035.317.
- [16] J. Remersaro, D. Medina, N. Tejada y L. Latrónica, "Ensayos físico-químicos para el estudio de la degradación de bolsas de supermercado," *Revista del laboratorio tecnológico del Uruguay*, vol. 5, 2010.
- [17] F. Quiroz, F. Cadena, L. Sinche, I. Chango, and M. Aldás, "Estudio de la degradación en polímeros oxo-biodegradables," *Rev. Politécnica*, vol. 30, no. 1, 2009.