

Evaluación de la degradación ambiental de bolsas plásticas biodegradables

Assesment of the environmental degradation of biodegradable plastic bags

Recibido: 18-04-2016 Aceptado: 31-05-2016

Resumen

Las bolsas plásticas son de uso desechable y se liberan al medio ambiente en cantidades crecientes. Por esta razón muchos fabricantes las están produciendo a base de materiales poliméricos degradables, como por ejemplo, los polihidroxicanoatos y los polilactatos. En este trabajo se evaluó la degradabilidad por exposición al ambiente de bolsas plásticas declaradas como degradables por sus fabricantes, y se compararon con las convencionales. Se estudiaron tres parámetros como son pérdida de masa, absorción de agua y resistencia mecánica. Los resultados mostraron que las bolsas llamadas degradables presentaron mayor pérdida de masa, mayor absorción de agua, y menor resistencia mecánica antes y después de la exposición al ambiente que las bolsas convencionales, demostrando que las modificaciones químicas realizadas por los fabricantes realmente favorecen su degradación.

Palabras clave: plásticos, materiales desechables, resistencia a la tensión, fotodegradación, pérdida de masa.

Summary

Plastic bags are used as disposable materials, and they are released into the environment at an increasing rate. For this reason many manufacturers are producing degradable polymeric material-based bags, like for example the polyhydroxyalkanoates and the polylactates. In this work, the degradability of bags declared as degradable by their manufacturers, was evaluated by exposure to the environment, and compared to those of the conventional bags. Three parameters were studied: weight loss, water absorption and mechanical strength. The results showed that the degradable bags suffered greater weight loss, increased water absorption and lower mechanical strength before and after exposure to the environment than the conventional bags. This show that the chemical modifications made by manufacturers, actually promote their degradation.

Carlos Alfredo Castellón Castro¹
Luis Neil Tejeda López²
Lesly Patricia Tejeda Benítez³

¹ Colombiano, Ingeniero Químico, Especialista en Gerencia de Proyectos, Universidad de Cartagena, Cartagena, Bolívar, Colombia. Correo electrónico: carcasca99@yahoo.com

² Colombiano, Ingeniero Químico, Universidad de Cartagena, Cartagena, Bolívar, Colombia. Correo electrónico: lntejedal@gmail.com

³ Colombiana, Ph.D (c) en Toxicología Ambiental, Magister en Ingeniería Ambiental, Ingeniera Química, Universidad de Cartagena, Cartagena, Bolívar, Colombia. Correo electrónico: ltejedab@unicartagena.edu.co

Keywords: plastics, disposable materials, tensile stress, photodegradation, weight loss.

Introducción

Desde la creación de los plásticos a escala industrial en la década de 1940, y debido a su gran versatilidad tanto la producción como su consumo ha aumentado de manera exponencial, contribuyendo a incrementar el volumen de residuos sólidos no biodegradables (Al-Salem et al. 2009; Siddique et al. 2008). Entre 1960 y 2000 la producción de resinas plásticas aumentó 25 veces (Moore, 2008). En 2013 se estimó que 299 millones de toneladas de plástico fueron producidas en el mundo y liberadas al ambiente (Suhrrhoff y Scholz-Böttcher, 2016). Esto ha causado grandes efectos dañinos sobre la biodiversidad marina. Se han encontrado más de 200 especies que se han afectado por los plásticos a través de laceraciones, obstrucciones intestinales, dilución de nutrientes e incluso la muerte en aves marinas, cetáceos, pinnípedos y especies de tortugas de mar (Cole et al. 2011; Moore, 2008; González et al. 2015). Por otra parte, con el aumento del costo y disminución de la capacidad de los rellenos sanitarios, hay una preocupación mundial creciente por la eliminación de los residuos plásticos (Bajracharya et al. 2016).

Alrededor de un tercio de los plásticos se utilizaron en la fabricación de artículos desechables, como envolturas, bolsas y otros materiales de embalaje, vasos y bandejas para comidas rápidas, aumentando los volúmenes de plásticos en los rellenos sanitarios y vertederos

(Yabannavar & Bartha, 1994). La Agencia Ambiental de Estados Unidos ha calculado que en el mundo se producen entre 500.000 millones y un billón de bolsas de plástico por año. Por esta razón, en respuesta a las actitudes de los consumidores, las iniciativas legislativas, y la presión de grupos ambientales, algunos fabricantes han formulado varias películas de plástico “amigables con el medio ambiente” y biodegradables para la fabricación de bolsas de compra y elementos desechables que sean alternativas ecológicas a los productos tradicionales de plástico a base de petróleo (Lee et al., 2016). Los PAD se pueden clasificar de acuerdo a su origen natural o sintético, como se ilustra en la Figura 1. Las materias primas de PAD pueden ser de origen petroquímico, animal, vegetal o de microorganismos. La síntesis, a su vez, puede ocurrir por tres vías principales: 1. biosíntesis, como la fermentación, quimiosíntesis, o la aplicación directa de materiales naturales con o sin modificación, por ejemplo, las fibras naturales (Krzan et al., 2006). El ácido láctico usado para producir ácido poliláctico (PLA) puede obtenerse a partir de la fermentación del almidón o sintéticamente derivado del petróleo, y las dos vías producen PLA biodegradable. Los llamados bioplásticos provienen de biomasa renovable y contribuyen a disminuir los gases de efecto invernadero, debido a que el dióxido de carbono atmosférico es usado por las plantas para producir los carbohidratos. Sin embargo, el polietileno derivado del bioetanol es un bioplástico, pero no es biodegradable, por lo cual generará problemas en su disposición final (Weiss et al., 2012; Gómez y Michel, 2013).

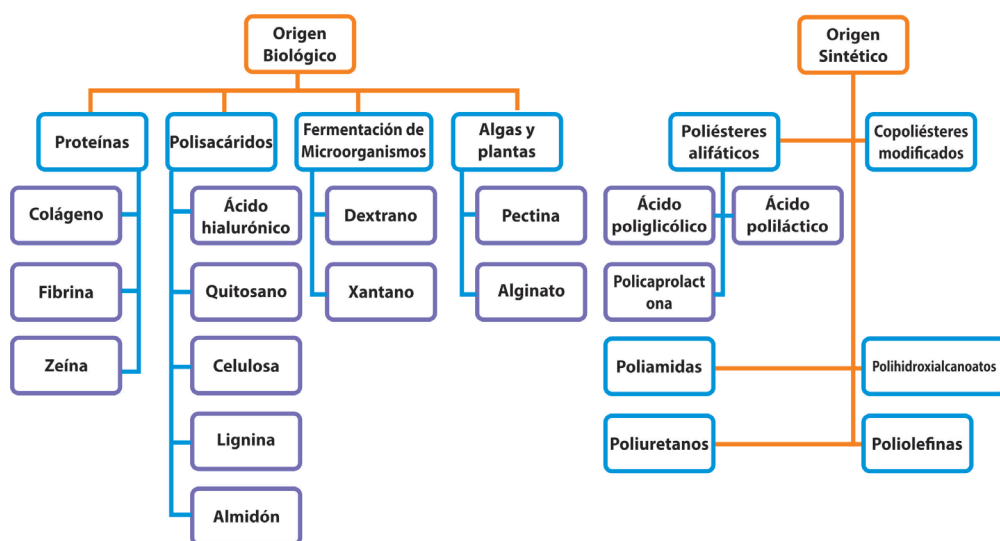


Figura 1. Tipos de plásticos biodegradables
Fuente: (Krzan et al., 2006)

Los bioplásticos biodegradables provenientes de la biomasa, se diseñaron para ser compostables y/o biodegradables. Estos tipos incluyen resinas a base de PLA y polihidroxialcanoatos (PHA).

La Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM) y la Organización Internacional de Normalización (ISO) definen la degradación como “un proceso irreversible que conduce a un cambio significativo de la estructura de un material, normalmente se caracteriza por una pérdida de propiedades (integridad, masa molecular, estructura o resistencia mecánica) y fragmentación”. La degradación se ve afectada por las condiciones ambientales y el producto durante un período de tiempo que comprende una o más etapas (Babae et al., 2015; Krzan et al., 2006).

Cuando los plásticos se exponen 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 en el colapso de la arquitectura macromolecular con la notable fragmentación. Esto corresponde con el inicio de la degradación. 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 (Krzan et al., 2006).

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 CO_2 , agua y biomasa celular en condiciones aerobias; y CH_4 , CO_2 y biomasa celular bajo condiciones anaerobias, como se visualiza en la Figura 2 (Krzan et al., 2006).

La degradación ambiental del polietileno, por ejemplo, se debe a la acción sinérgica de la foto, termo, oxo y biodegradación. Debido a que la biodegradación de polietileno de alto peso molecular comercial avanza lentamente, la oxidación abiótica es el paso inicial y determinante de la velocidad. El polietileno ambientalmente degradable se prepara mezclando con aditivos biodegradables o fotoiniciadores o por copolimerización. Más de 200 productos de degradación diferentes, incluyendo alcanos, alquenos, cetonas, aldehídos, alcoholes, ácidos carboxílicos, ceto-ácidos, ácidos dicarboxílicos, lactonas y ésteres se han identificado en la termo y foto-oxidación del polietileno, los cuales pueden ser asimilados por los microorganismos (Hakkarainen y Albertsson, 2004).

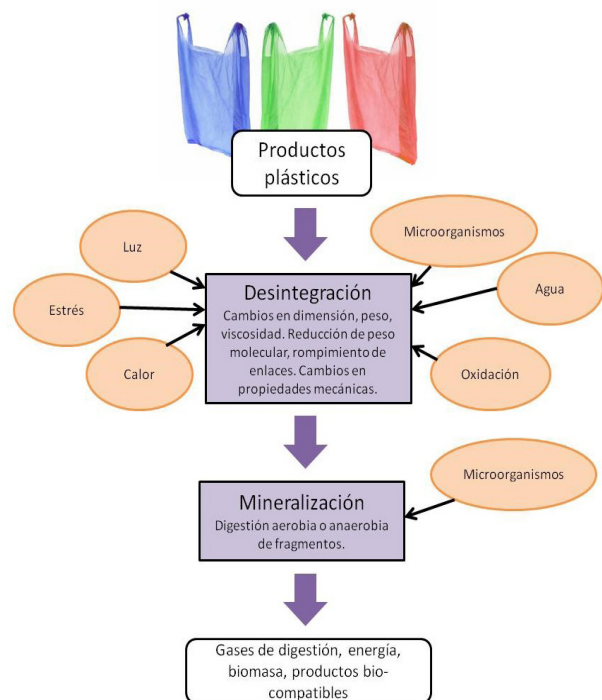


Figura 2. Proceso de degradación ambiental de plásticos
Fuente: (Krzan et al., 2006)

La evaluación de la degradabilidad de los PAD ha sido un difícil reto científico y técnico debido a la variedad de materiales degradables empelados. Con el fin de estandarizar las técnicas y criterios de evaluación, una serie de normas fueron establecidas por los diferentes organismos de normalización que también se utilizan como base para los sistemas de certificación (Krzan et al., 2006). Para evaluar la degradabilidad de los PAD se han propuesto varias técnicas. La pérdida de masa es un método cuantitativo que se correlaciona bien con la cantidad de desprendimiento de gas, que a su vez es una medida de la biodegradación basado en la respiración microbiana. Algunos autores han evaluado la degradación de plásticos ambientalmente degradables usando el parámetro de pérdida de masa. Por ejemplo, Qian et al., (2016) determinaron la pérdida de masa de muestras de polihidroxibutirato - cohidroxivalerato (PHBV) normal y modificado con nanofosfato de calcio y magnesio y con la proteína del maíz zeína, exponiendo las muestras a solución de Tris-HCl. En otro estudio, Torres-Huerta et al., (2014), determinaron la pérdida de masa de mezclas de polietileno terftalato (PET) con ácido poliláctico (APL) y quitosano en un ambiente acelerado, usando lámparas UV. Por otro lado, Wu et al., (2015) usaron este método en co-poliésteres de 2,5-ácido furandicarboxílico con grupos lactil después de

la degradación en suelo. Otro método usado para evaluar la degradabilidad de materiales plásticos es la absorción de agua. Algunos autores han usado este método en sus estudios. Por ejemplo, Babaei *et al.*, (2015) determinaron la absorción de humedad en nanocompuestos termoplásticos reforzados con almidón modificado con nanofibras de celulosa. Estos compuestos son capaces de absorber la humedad del medio ambiente, lo cual conduce a la escisión hidrolítica de la cadena de polímeros, liderando su degradación química o enzimática (Krzan *et al.*, 2006). Finalmente, los cambios medibles en las propiedades mecánicas pueden ser atribuibles a la biodegradación microbiana y a la degradación por oxidación (DEFRA, 2015). Este ensayo lo realizaron Kijeńska *et al.*, (2010) en copolímeros de polietileno y polipropileno de baja densidad rellenos con paja después de la exposición por 12 meses a compost y a suelo.

En nuestro país, desde hace varios años se han implementado campañas de reducción del uso de bolsas plásticas, de manera que almacenes de cadena han impreso en sus bolsas lemas como “Si el planeta quieres cuidar, menos bolsas debes usar”. Adicionalmente, los supermercados y grandes superficies están usando desde hace varios años bolsas plásticas fabricadas con plásticos degradables, bien sea oxo, foto o biodegradables. Recientemente, el Ministerio de Ambiente lanzó la campaña “ReemBÓLSA al Planeta” con el fin de motivar a las personas a no usar bolsas plásticas, sino llevar bolsas reutilizables para las compras. Y con la aprobación de la Resolución que regula el uso racional de bolsas plásticas de único uso, inútiles o no reutilizables en un 80% para el año 2020 y para el 2025 su completa eliminación en todo el país. La ley indica que no se pueden usar bolsas de menos de 30x30 centímetros, todas las bolsas deberán ser más resistentes con el fin de evitar el uso de doble bolsa para objetos pesados, y deberán tener un mensaje educativo impreso que invite a un consumo responsable.

En este estudio se evaluaron las declaraciones realizadas por los fabricantes sobre degradabilidad de sus bolsas, usando técnicas como pérdida de masa, absorción de humedad y pérdida de resistencia a la tensión.

Materiales y métodos

Materiales. Fueron seleccionadas diez tipos de bolsas plásticas identificadas como degradables (BPD), adquiridas en los principales almacenes de cadena de la ciudad de

Cartagena, que se han autodeclarado como degradables ante la opinión pública, e impresas en tinta de color con los logos de los respectivos almacenes. Adicionalmente, se tomaron diez tipos de bolsas convencionales de polietileno (BCP), compradas en un almacén de insumos plásticos.

Exposición de bolsas. Las muestras de cada bolsa, en las dimensiones correspondientes a la prueba a realizar, se sujetaron con grapas a una lámina de plástico que a su vez fue colocada sobre una mesa colocada en un espacio semiexterior del laboratorio, es decir, con techo de plástico transparente, para permitir el paso de luz, y sin aire acondicionado. Durante la exposición, las temperaturas registradas en la ciudad de Cartagena de Indias estuvieron entre 28 y 33 °C con una humedad relativa entre 75 y 88% y no se presentaron precipitaciones.

Prueba de pérdida de masa. Una muestra del material de 2 x 2 cm² fue colocada en un desecador con CaSO₄ (0% de humedad) durante tres días y después se registró la masa inicial de las muestras (W₁) usando una balanza analítica. Las piezas fueron expuestas a la intemperie durante seis semanas, y nuevamente colocadas en el desecador y pesadas (W₂). La pérdida de masa se calculó para cada pieza de acuerdo a la ecuación propuesta por Qian *et al.*, (2016):

$$PP = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100\% \quad (1)$$

Se reportó el promedio de tres réplicas para cada muestra.

Prueba de absorción de humedad. Este ensayo se realizó de acuerdo con la norma ASTM E104. Todos los especímenes para la absorción de agua se cortaron con dimensiones de 2x2 cm y se secaron a 60 °C durante 24 h. Las muestras secas se colocaron en un desecador con CaSO₄ (0% de humedad) durante tres días y después se registró su masa inicial (W₁). Las muestras se transfirieron a continuación en un desecador con CaSO₄ (98% de humedad) y se registró la masa cada 20 minutos, hasta alcanzar una masa constante (W₂). La absorción de agua (AA) se calculó como sigue:

$$AA = \frac{W_2 - W_1}{W_1} \times 100\% \quad (2)$$

El promedio de tres réplicas para cada muestra fue reportado.

Prueba de resistencia mecánica. Los ensayos mecánicos se realizaron según la norma ASTM D638. Las muestras se cortaron en 7×1 cm. Antes del ensayo, todas las muestras de prueba se acondicionaron durante tres días en un desecador con 55% de humedad relativa a temperatura ambiente. Los ensayos de tracción se llevaron a cabo usando una máquina de ensayo Instron (M350-10-CT) con una carga de 500 N y una velocidad de ensayo de 4 mm/min. Esta prueba se realizó antes de la exposición al ambiente y seis semanas después de la misma. Al menos cinco réplicas se ensayaron para cada muestra.

Análisis estadístico. Todos los experimentos se realizaron por triplicado para cada grupo, con excepción de la prueba de resistencia mecánica que se realizó por quintuplicado. Los resultados se expresaron como media $\pm$ desviación estándar. El análisis estadístico se llevó a cabo por prueba t pareada. Un valor de $P < 0,05$ se consideró estadísticamente significativo. Los valores de cada prueba para los dos grupos de bolsas se analizaron para establecer si existían correlaciones entre las diferentes variables. Dado que los datos fueron normales por la prueba de Kolmonorov-Smirnov, se usó la correlación para datos paramétricos de Pearson.

Resultados y discusión

Observaciones generales. Tanto las BPD (Bolsas Plásticas Degradables), como las BCP (Bolsas Convencionales de Polietileno), sufrieron cambios, como pérdida de color y deformación. Las denominadas BPD, además perdieron la tinta de impresión y mostraron grietas en su superficie.

Pérdida de masa. Los resultados de pérdida de masa para los dos tipos de bolsas evaluadas se muestran en la Figura 3. Durante las seis semanas del ensayo, las BPD sufrieron una pérdida de masa del 74% con una desviación estándar de 6%, mientras que en el mismo tiempo, las BCP perdieron sólo el 22% de su masa inicial con una desviación estándar del 9%. Usando la prueba estadística t, se encontraron diferencias significativas entre los dos grupos con un valor $P < 0.01$, lo cual indica que el porcentaje de pérdida de masa es significativamente diferente entre las BPD y las BCP. Por lo tanto, se puede afirmar, que los aditivos agregados a las resinas con las cuales se fabrican

las BPD permiten la disminución de la masa de estas bolsas en un 74% promedio, en un período de seis semanas. Otros autores han evaluado la degradación usando el parámetro de pérdida de masa de mezclas de polímeros con otros aditivos en ambientes acelerados. Por ejemplo, Torres-Huerta et al., (2014), expusieron mezclas de polietileno terftalato (PET) con ácido poliláctico (APL) y quitosano en un ambiente acelerado usando lámparas UV. La adición de estos aditivos posibilitó el aumento en la pérdida de masa de los materiales tras la exposición, mostrando que la modificación de las resinas de polímeros con aditivos químicos facilitan la degradación ambiental, en este caso, evidenciada en la pérdida de masa del material.

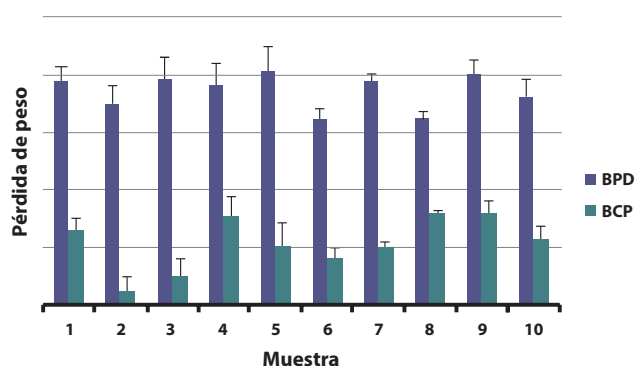


Figura 3. Pérdida de masa. BPD: Bolsas plásticas biodegradables. BCP: Bolsas plásticas convencionales. Fuente: los autores.

Absorción de humedad. El porcentaje promedio en la absorción de agua se presenta en la Figura 4. Después de 60 min, las BPD absorbieron en promedio 73.9% de humedad con una desviación estándar de 1.6%, mientras que las BCP solo absorbieron el 56.1% de agua con una desviación de 1.79%. La significancia estadística de la diferencia entre estas muestras es alta, teniendo en cuenta que empleando la prueba t pareada el valor P es < 0.0001 . Se puede intuir que las BPD contienen aditivos que favorecen la absorción de humedad, con el fin de mejorar las condiciones de degradación. Kakroodi et al., (2014) encontraron que la absorción de agua de polietileno reforzado con fibras de cáñamo aumentaba con el incremento del porcentaje de cáñamo en la mezcla, comprobando que la modificación química de las resinas afecta su comportamiento en el ambiente.

Resistencia mecánica. Los resultados obtenidos para la resistencia a la tensión antes y después de seis semanas se presentan en la Tabla 1. El valor inicial mucho menor de las BPD (23.4 MPa) comparado con el valor de las BCP (31.7 MPa), es una de las principales desventajas

de los materiales biodegradables, debido a que pierden versatilidad en sus aplicaciones. La resistencia a la tensión al cabo de seis semanas de exposición al ambiente fue 8,1 MPa para las BPD, disminuyendo en un 65 %, y de 13,7 MPa para las BCP, disminuyendo un 57 % respecto al valor inicial. Abdullah et al., (2013) evaluaron la disminución en las propiedades mecánicas de co-polímeros de polietileno tereftalato reforzado con polioximetileno después de la exposición por 672 horas en cámaras de desgaste acelerado. Ellos encontraron que los cambios de las propiedades mecánicas de los co-polímeros disminuyeron en un 50% cuando estaban reforzados, y solo un 2% cuando no. Esto demuestra que las modificaciones químicas realizadas a los polímeros para mejorar su biodegradabilidad también disminuyen su resistencia mecánica.

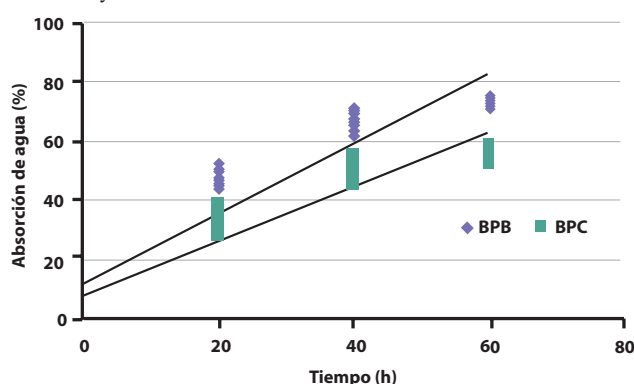


Figura 4. Absorción de agua. BPD: Bolsas plásticas biodegradables. BCP: Bolsas plásticas convencionales. **Fuente.** los autores.

Tabla 1. Resistencia a la tensión

Tipo de bolsas	Resistencia a la tensión (MPa)		Disminución (%)
	Inicial	6 semanas	
BPD	23,4* (2")	8,1 (1)	65 %
BCP	31,7 (3)	13,7 (2)	57 %

BPD: Bolsas plásticas biodegradables BCP: Bolsas plásticas convencionales. * Promedio de cinco muestras. ** Desviación estándar. **Fuente:** los autores.

Análisis de correlaciones. Los coeficientes de correlación entre variables, al igual que sus valores P se muestran en la Tabla 2. Los resultados muestran que las tres variables se correlacionan muy fuertemente. La resistencia a la tensión negativamente con la pérdida de masa ($R = -0,96$) y la absorción de agua ($R = -0,97$); y estas dos últimas se asocian positivamente ($R = 0,94$). Lo anterior muestra que las diferencias entre estos parámetros se encuentran asociados con la naturaleza de las bolsas, presentándose mayor pérdida de masa, mayor absorción de agua, y menor resistencia a la tensión en las BPD que en las BCP.

Tabla 2. Análisis de Correlación de Pearson

	Pérdida de masa	Absorción de agua	Resistencia a la tensión
Pérdida de masa		0,94 ($< 0,001$)	-0,96 ($< 0,001$)
Absorción de agua	0,94* ($< 0,001$)**		-0,97 ($< 0,001$)
Resistencia a la tensión	-0,96 ($< 0,001$)	-0,97 ($< 0,001$)	

* Coeficiente de correlación R. ** Valor P.

Fuente: los autores.

Conclusiones

El estudio experimental realizado y el análisis estadístico efectuado permiten concluir que las BPD muestran un mayor deterioro bajo condiciones ambientales que las BCP, por lo que pueden tener una menor permanencia en el ambiente después de su uso. Sin embargo, es necesario continuar desarrollando campañas que permitan el uso racional de estos productos, con miras a la preservación del medio ambiente.

Referencias

- Abdullah, M., Dan-mallam, Y., Megat Yusoff, P. (2013). Effect of Environmental Degradation on Mechanical Properties of Kenaf/ Polyethylene Terephthalate Fiber Reinforced Polyoxymethylene Hybrid Composite. *Advances in Materials Science and Engineering*. 8.
- Al-Salem, S., Lettieri, P., Baeyens, J. (2009). Recycling and recovery routes of plastic solid waste (PSW), a review. *Waste Management*, 29, 2625–2643.
- ASTM D638 - 14. (2002). *Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics*.
- ASTM E104-02. (2012). *Standard Practice for Maintaining Constant Relative Humidity by Means of Aqueous Solutions*.
- ASTM D 883. (1991). *Standard terminology relating to plastics*.

- Babaei, M., Jonoobi, M., Hamzeh, Y., Ashori, A. (2015). Biodegradability and mechanical properties of reinforced starch nanocomposites using cellulose nanofibers, *Carbohydrate Polymers*, 132, 1-8.
- Bajracharya, R., Manalao, A., Karunasena, W., Laua, K. (2016). Characterisation of recycled mixed plastic solid wastes, Coupon and full-scale investigation, *Waste Management*, 48, 72-80.
- Cole, M., Lindeque, P., Halsband, C., Galloway, T. (2011). Microplastics as contaminants in the marine environment, a review. *Marine Pollution Bulletin*, 62, 2588-2597.
- Department for Environment, Food and Rural Affairs. DEFRA. (2015). *Review of standards for biodegradable plastic carrier bags*, Reino Unido.
- Gómez, E., Michel, F. (2013). Biodegradability of conventional and bio-based plastics and natural fiber composites during composting, anaerobic digestion and long-term soil incubation. *Polymer Degradation and Stability*, 98(12), 2583-2591.
- González, C., Machain, N., Campagna, C. (2015). Legal and institutional tools to mitigate plastic pollution affecting marine species, Argentina as a case study, *Marine Pollution Bulletin*, 92(1-2), 125-33.
- Hakkarainen, M., Albertsson, A. (2004). Environmental Degradation of Polyethylene Long Term Properties of Polyolefins. *Advances in Polymer Science*, 169:177-200.
- ISO 472 Plastics – vocabulary, amendment 3 (1993). *General terms and terms relating to degradable plastics*.
- Kakroodi, A., Kazemi, Y., Rodrigue, D. (2013). Mechanical, rheological, morphological and water absorption properties of maleated polyethylene/hemp composites: Effect of ground tire rubber addition. *Composites Part B: Engineering*, 51: 337-344.
- Kijęńska, M., Kowalska, E., Pałys, B., Ryczkowski, J. (2010). Degradability of composites of low density polyethylene/polypropylene blends filled with rape straw, *Polymer Degradation and Stability*, 95(4), 536-542.
- Krzan, J., Hemjinda, S., Miertus, S., Corti, A., Chiellini, E. (2006). Standardization and certification in the area of environmentally degradable plastics, *Polymer Degradation, and Stability*, 91(12), 2819-2833.
- Lee, S., Choe, H., Kim, S., Park, D., Nasir, A., Kim, B., Kim, K. (2016). Complete genome of biodegradable plastics-decomposing *Roseateles depolymerans* KCTC 42856(T) (=61A(T)), *Journal of Biotechnology*, 220, 47-8.
- Moore, C. (2008). Synthetic polymers in the marine environment, a rapidly increasing, long-term threat, *Environmental Research*, 108, 131-139.
- Qian, J., Ma, J., Su, J., Yan, Y., Li, H., Shin, J., Wei, J., Zhao, L. 2016. PHBV-based ternary composite by intermixing of magnesium calcium phosphate nanoparticles and zein, In vitro bioactivity, degradability and cytocompatibility. *European Polymer Journal*. 75, 291-302.
- Siddique, R., Khatib, J., Kaur, I. (2008). Use of recycled plastic in concrete, a review, *Waste Management*, 28, 1835-1852.
- Suhrhoff, T., Scholz-Böttcher, B. (2016). Qualitative impact of salinity, UV radiation and turbulence on leaching of organic plastic additives from four common plastics - A lab experiment, *Marine Pollution Bulletin*. 102(1), 84-94.
- Torres-Huerta, A., Palma-Ramírez, D., Domínguez-Crespo, M., Del Ángel-López, D., De La Fuente, D. (2014). Comparative assessment of miscibility and degradability on PET/PLA and PET/chitosan blends, *European Polymer Journal*, 61, 285-299.
- Weiss, M., Haufe, J., Carus, M., Brandão, M., Bringezu, S., Hermann, B. (2012). A review of the environmental impacts of biobased materials, *Journal of Industrial Ecology*, 16, S169-S181.

- Wu, H., Wen, B., Zhou, H, Zhou, J., Yu, Z., Cui, L., Huang, T., Cao, F. (2015). Synthesis and degradability of copolyesters of 2, 5-furandicarboxylic acid, lactic acid, and ethylene glycol, *Polymer Degradation and Stability*, 121, 100-104.
- Yabannavar, A., Bartha, R. (1994). Methods for Assessment of Biodegradability of Plastic Films in Soil, *Applied Environmental Microbiology*, 60(10),3608–3614.