



Evaluación de solubilidad y pérdida de peso en la degradación de biopelículas elaboradas a base de mezclas de harina de plátano y chayotextle.

José Angel Román-Brito¹, José Luís Rosas-Acevedo¹, América Libertad Rodríguez-Herrera¹, Heidi María Palma-Rodríguez², Apolonio Vargas-Torres², Ana Laura Juárez-López^{1*}.

¹ Centro de Ciencias de Desarrollo Regional (CCDR) de la Universidad Autónoma de Guerrero (UAG). Privada de Laurel núm. 13, Col. El Roble, Acapulco 39640, Guerrero, México.

² Instituto de Ciencias Agropecuarias (ICAP) de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (UAEH). Avenida Universidad Km.1 s/n, Exhacienda Aquetzalpa, Tulancingo de Bravo 43600, Hidalgo, México.

*Autor de correspondencia: analaura43@hotmail.com

Recibido 13 de agosto de 2020; aceptado 27 de septiembre de 2020

RESUMEN

Para considerar una evaluación completa de los materiales biodegradables, es indispensable someterlos a pruebas de biodegradación en suelo y agua; el comportamiento de estos biomateriales debe ser evaluado en sustratos líquidos y sólidos provenientes de fuentes que pueden ser sitio de disposición final de este tipo de productos. La solubilidad, una prueba que predice el tiempo que tardará en fragmentarse un material al entrar en contacto con un medio líquido y la capacidad de absorción de agua, está relacionada directamente con la hidrofobicidad de los materiales, así como la capacidad de enlazar moléculas de agua. En líquidos con bajos niveles de sólidos, como el agua destilada, potable y efluente, las biopelículas elaboradas a partir de mezclas de almidón y fibra de plátano (*musa paradisiaca* L.) presentaron valores elevados de solubilidad (5.43%; 4.55% y 7.23%), respectivamente. Al utilizar agua proveniente

de la Laguna Negra de Puerto Marqués como medio líquido para la prueba de solubilidad, la muestra de almidón y fibra de plátano presentó valores elevados (10.81%), y al evaluarse en el líquido proveniente de la bahía de Santa Lucía, la muestra de almidón y fibra de chayotextle (*scheium edule*) presentó valores elevados de solubilidad (32.31%), y es que la degradación depende de los parámetros fisicoquímicos del sustrato, así como del tipo y la cantidad de microbiota presente utilizada en cada determinación. Al emplearse lodos biológicos provenientes de la planta de tratamientos de aguas residuales para determinar la pérdida de peso por enterramiento, en un periodo de diez días, las muestras presentaron pérdidas de peso mayores al 90% en promedio.

PALABRAS CLAVE: Biodegradabilidad, solubilidad, fibra, plátano, chayotextle.

ABSTRACT

In order to consider a complete evaluation of biodegradable materials, it's essential to submit them to biodegradation tests in soil and water; the behavior of these biomaterials must be evaluated on liquid and solid substrates from sources that can be the final disposal site for this type of product. Solubility, a test that predicts the time it will take for a material to fragment when in contact with a liquid medium and the ability to absorb water, is directly related to the hydrophobicity of materials, as well as the ability to bind water molecules. In liquids with low levels of solids, such as distilled, drinking and effluent water, biofilms made from mixtures of starch and plantain fiber (*musa paradisiaca* L.) presented high solubility values (5.43%; 4.55% and 7.23%), respectively. When using water from the Black Lagoon of Puerto Marqués as a liquid medium for the solubility test, the plantain starch and fiber sample presented high values (10.81%), and when the liquid from the bay of Santa Lucía was evaluated, Chayotextle (*scheium edule*) starch and fiber sample presented high solubility values (32.31%), that's because the degradation depends on the physicochemical parameters of the substrate, as well as the type and amount of microbiota present used in each determination. When using biological sludge from the wastewater treatment plant to determine the loss of weight by burial, in a period of ten days, the samples presented weight losses greater than 90% on average.

KEY WORDS: Biodegradability, solubility, fiber, plantain, chayotextle

INTRODUCCIÓN

El poliestireno expandido es uno de los contaminantes ambientales plásticos más abundantes en el mundo, el cual es un material plástico espumado derivado del petróleo, y es utilizado en contenedores de alimentos y para la elaboración de materiales de embalaje. Debido al gran volumen de plástico no biodegradable utilizado a nivel mundial, los investigadores buscan materiales que provengan de fuentes renovables y degradables, que puedan reemplazar a los plásticos existentes en el mercado utilizados para elaborar productos para el hogar como platos, espumas de embalaje, vasos, contenedores, etcétera (Vargas et al., 2017). Uno de los polímeros que presenta mayor biodegradabilidad, por ser económico y abundante en la naturaleza durante todo el año, además de proveer alto rendimiento en su extracción, es el almidón, que es un polímero renovable, disponible y de bajo costo para la fabricación de productos desechables o de un solo uso (Palma et al., 2016).

El esfuerzo internacional se centra en el desarrollo de alternativas más sostenibles para el embalaje, y así poder sustituir las espumas de poliestireno existentes en el mercado. Polímeros renovables y biodegradables

extraídos a partir de fuentes de origen natural como la yuca, la papa, el camote y el maíz son mezclados con fibras vegetales para la obtención de nuevos productos, y se encuentran entre los materiales que se han explorado como sustitutos de polímeros a base de petróleo (Román et al., 2020). El almidón en particular ha demostrado un incremento en la utilización como materia prima para el desarrollo de productos denominados de un solo uso, entre los que encontramos contenedores, vasos y platos debido principalmente a su bajo costo, biodegradabilidad y facilidad de procesamiento (Román et al., 2020).

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, y normalmente se caracteriza por la pérdida de propiedades (integridad, masa molecular, estructura o resistencia mecánica) y fragmentación (Castellón et al., 2016). La degradación se ve afectada por las condiciones ambientales y la composición del biomaterial durante el período de tiempo en que se degrada, y comprende una o más etapas (Babaee et al., 2015).

El proceso de degradación de los plásticos se efectúa en 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; mientras que la segunda fase es la conversión final de fragmentos del plástico a pequeñas moléculas como CO₂, agua y biomasa celular en condiciones aerobias, así como CH₄, CO₂ y biomasa celular bajo condiciones anaerobias (Krzan et al., 2006).

La solubilidad es una prueba que predice el tiempo que tardara en desintegrarse un material al entrar en contacto con un medio líquido, así como la capacidad de absorción de agua que está relacionada directamente con la hidrofobicidad de los materiales o la capacidad que tiene para repeler el agua de su superficie, además de absorber o enlazar moléculas de agua a nivel molecular (Vargas et al., 2017). Una característica importante en la aplicación de estas películas es la solubilidad, ya que de sus valores dependerá su aplicación; una mayor solubilidad indica menor resistencia al agua y viceversa.

La solubilidad es la capacidad de un material para disolverse en determinadas condiciones de temperatura, e incluso presión en caso de un soluto gaseoso, y puede

expresarse en unidades de concentración: molaridad, fracción molar y como porcentaje (Filippone et al., 2002).

El comportamiento biodegradativo debe ser evaluado en aguas provenientes de fuentes que pueden ser sitio de disposición final de este tipo de biomateriales: aguas residuales, lagos y ríos (Patil et al., 2000). Por otra parte, la evaluación de la biodegradabilidad de polímeros de origen natural y modificados es una prueba fundamental en el desarrollo de materiales biodegradables (Kumar et al., 1993). La pérdida de peso de una muestra a lo largo de un período de degradación también se encuentra registrada como un indicador de la degradabilidad de un polímero (Ishigaky et al., 2004).

Para una evaluación completa de los materiales biodegradables, es indispensable someterlos a la prueba de biodegradación en suelo; por lo general, para dicha prueba, se entierran muestras de tamaño estándar del material en espacios al aire libre, donde se puede monitorear la temperatura y humedad (Dalev et al., 2000).

El objetivo del presente trabajo fue determinar el porcentaje y tiempo en el que se degradan biopelículas, desarrolladas a partir de fuentes de origen natural mediante la aplicación de técnicas de solubilidad y pérdida de peso por enterramiento. Se identificaron las condiciones y tiempo de los sustratos en que pueden

degradarse de manera rápida los biomateriales, después de utilizarlos y reincorporarse a la naturaleza en un menor periodo de tiempo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales. Los frutos de plátano macho (*musa paradisiaca* L) fueron adquiridos de la comunidad de Tetitlán, del municipio de Tecpán de Galeana, del estado de Guerrero, el Chayotextle (*scheum edule*) se obtuvo en el mercado de Acaxochitlán, municipio del estado de Hidalgo; mientras que los reactivos utilizados en este proyecto estereato de magnesio, cloruro de sodio y sílica gel son grado reactivo Meyer.

Extracción de la harina de plátano macho (*musa paradisiaca* L). Para la obtención de la harina de plátano, se utilizó el método seco adaptado a partir del propuesto por Flores et al., (2004), y se utilizaron frutos verdes de plátano macho (*musa paradisiaca* L), los cuales se lavaron con agua potable para retirar la suciedad superficial y se retiró la cáscara del fruto para obtener la pulpa libre. Las muestras a analizar se pesaron para determinar el rendimiento de pulpa y la cáscara en estado fresco y deshidratado, y el plátano se cortó con una mandolina para obtener rebanadas de 2-3

mm de espesor aproximado y, de esta forma, facilitar su secado. Posteriormente, se introdujeron a una estufa a 45 °C durante 24 h, y para la molienda del material seco, se utilizó una licuadora semi-industrial a velocidad máxima durante cinco minutos; una vez molido el fruto, se tamizó en malla 60 para homogeneizar a tamaño de partícula.

Extracción de fibra de la cáscara de plátano macho (*musa paradisiaca* L). Se utilizó la metodología propuesta por Flores et al. (2004), con modificaciones de Vargas et al. (2017). A partir de la cáscara de plátano macho (*musa paradisiaca* L) en estado inmaduro, se cortó en cubos de 3 x 3 cm, se sometieron a proceso de secado durante 48 h a 50 °C en una estufa de laboratorio, y adicionalmente se molió en una licuadora semi-industrial a velocidad máxima durante 5 minutos; una vez molida la cascara, se tamizó el polvo obtenido en una malla 60 para homogeneizar a tamaño de partícula.

Extracción de la harina de Chayotextle (*scheium edule*). La harina de Chayotextle (*scheium edule*) se obtuvo por el método seco propuesto por Flores et al. (2004) para obtención de almidón de plátano macho, con modificaciones de Hernández et al. (2011). Los tubérculos fueron cortados en cubos de 5–6 cm y de

inmediato fueron inmersos en una solución de ácido cítrico (0.3% p / v), se metieron en una licuadora a baja velocidad con proporciones de 500 gr de raíz y 500 ml de agua del grifo durante 2 min. La muestra resultante se tamizó de manera consecutiva con los siguientes números de malla: 50, 100 y 300, hasta que el agua de lavado se visualizó limpia. La solución de almidón se remojó durante 4 h y se secó en un secador por atomización, con temperatura de alimentación de 130-150 °C, una concentración en la línea de alimentación del 30–40% y temperatura de salida de 70–80°C; el polvo resultante se molió y se pasó por un tamiz 50 y se almacenó a temperatura ambiente (25°C) en un recipiente de vidrio.

Extracción de fibra de Chayotextle (*Scheium edule*).

Para la obtención de la fibra, se utilizó la metodología propuesta por Hernández et al. (2011), en la que, a partir de la muestra retenida en la malla 50, se sometió a secado en una estufa de laboratorio durante 48 h a 50 °C. La muestra resultante se molió en una licuadora semi-industrial a velocidad máxima durante 5 minutos; el polvo que se obtuvo se tamizó en una malla 60 para homogeneizar a tamaño de partícula.

Elaboración de las biopelículas. Se elaboraron mediante el método de termo prensado; se utilizó una máquina para hornear de laboratorio, en la que se llevó a cabo el proceso de cocción (hornear) y el molde se precalentó a 190°C, mientras que las espumas expandidas se obtuvieron a los 1.2 min de cocción, en formas rectangulares de 16.5 cm de largo, 11.2 de ancho y 0.2 cm de grosor.

Tabla 1. Matriz experimental. PS = almidón de plátano, CS = almidón de chayotextle, PPF = fibra de plátano y CF = fibra de chayotextle.

Muestra	ID
PS80/CS0/PPF0/CF0	C1
PS80/CS0/PPF18/ CF0	S1
PS60/CS20/PPF13.5/ CF4.5	S2
PS40/CS40/PPF9/ CF9	S3
PS20/CS60/PPF4.5/ CF13.5	S4
PS0/CS80/PPF0/ CF18	S5
PS0/CS80/PPF0/CF0	C2

En la matriz experimental, se presenta la codificación de las muestras, la cual se puede ubicar en la tabla 1. Adicionalmente, en la tabla 2 se observan las diferentes formulaciones de las biopelículas evaluadas en este trabajo.

Pérdida de peso por enterramiento. Seis muestras de biopelículas de 3 x 3 cm² fueron colocadas en un desecador con sílica gel durante 7 días para ajustar su humedad relativa a 0%, y se registró el peso inicial de cada muestra (W₁) usando una balanza analítica.

Tabla 2. Formulaciones. PS = almidón de plátano macho, CS = almidón de Chayotextle, PPF = fibra de plátano macho y CF = fibra de Chayotextle.

ID	PS	CS	PPF	CF
Peso (gr)				
C1	80	0	0	0
S1	80	0	18	0
S2	60	20	13.5	4.5
S3	40	40	9	9
S4	20	60	4.5	13.5
S5	0	80	0	18
C2	0	80	0	0

Las muestras fueron enterradas verticalmente en un recipiente de plástico de 16 x 8 x 5 cm de largo, ancho y profundidad (figura 1), conteniendo cada uno de los tres sustratos evaluados: 1. Lodos biológicos de planta de tratamientos de aguas residuales. 2.- Composta tradicional, obtenida a partir de la degradación de restos orgánicos y 3.- Tierra comercial para jardinería marca

Vigoro, respectivamente. Las muestras se introdujeron a 4 cm de la superficie del recipiente, dejando 1 cm en el fondo y otro en la parte superior para cubrir en su totalidad cada una de las muestras (Dalev et al., 2000). Además, los recipientes fueron atomizados con 40 ml de agua destilada cada tercer día durante el tiempo que se efectuó la prueba, esto para mantener el contenido de humedad. Las muestras se retiraron en los tiempos establecidos, el sustrato adherido se eliminó cuidadosamente con un pincel, espátula y atomizaciones con agua destilada, y se colocaron en una estufa a 60 °C durante 24 h para eliminar el exceso de humedad; pasado ese tiempo, se colocaron en un desecador durante 30 min y se registró su peso (W₂). La pérdida de peso se calculó de acuerdo a la ecuación propuesta por Qian et al. (2016).

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

Solubilidad. Muestras de 3 x 3 cm se almacenaron durante 7 días en un desecador con sílica gel para ajustar la humedad relativa a 0%, las cuales fueron pesadas (W₁) y se colocaron en vasos de precipitados con 80 ml de líquido. Para esta prueba, se utilizaron seis medios líquidos, obtenidos de diferentes fuentes: 1.- agua destilada, 2.-. influente 3.- efluente de la planta de tratamientos de aguas residuales ubicada en el Coloso, 4.- agua de la bahía de Santa Lucía, 5.- agua potable de la red

municipal de Acapulco, Guerrero y 6.- agua de Laguna Negra de Puerto Marqués. En la figura 2, se presentan las muestras que se mantuvieron bajo agitación constante a 350 rpm, en una parrilla con agitación durante 1 h a 25 °C; después de ese tiempo, las muestras se secaron en una estufa a 60 °C durante 24 h, y se colocaron en un desecador por 30 min., registrando su peso (W_2). Finalmente, se determinó el porcentaje de solubilidad utilizando la fórmula propuesta por Martínez et al. (2017).

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



Figura 1. Determinación de pérdida de peso por enterramiento en composta en diferentes tiempos.

Análisis estadístico. Los experimentos se realizaron por triplicado para la prueba de solubilidad y por sextuplicado para la prueba de degradación; los resultados se obtuvieron como media aritmética \pm error

estándar. El análisis estadístico aplicado corresponde a un análisis de varianza (ANOVA), con un nivel de confianza del 95% y un error del 5%, en el que se aplicó la prueba de Tukey de comparación múltiple de medias para determinar diferencias estadísticas significativas.

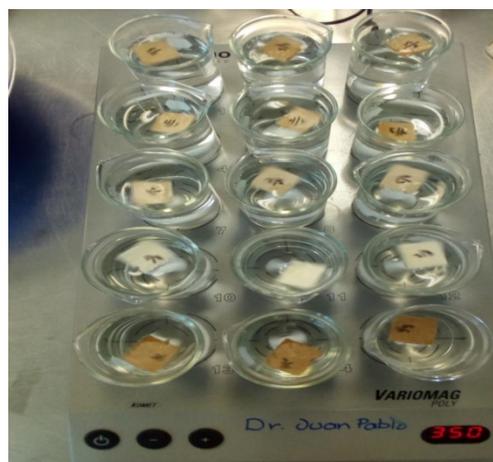


Figura 2. Determinación de solubilidad de películas biodegradables, se realizaron por triplicado a 350 rpm durante 60 min a 25°C.

RESULTADOS

La falta de cultura en el manejo y disposición final de los residuos sólidos urbanos implica que los productos clasificados como desechables sean dispuestos de manera inadecuada, ya que terminan en diferentes cuerpos de agua, tales como cauces de ríos, arroyos, lagunas o plantas de tratamiento de agua residuales. En la tabla 3 se presentan los resultados del porcentaje de solubilidad para 3 muestras provenientes de diferentes

fuentes: agua de la bahía de Santa Lucía, agua de Laguna Negra de Puerto Marqués y agua potable de la red municipal de Acapulco. El agua de la bahía de Santa Lucía fue absorbida rápidamente por las muestras y en sus formulaciones contenían un mayor porcentaje de almidón y fibra de chayotextle (*scheium edule*) S4 (29.15%) y S5 (32.31%), indicando la posible fragmentación o hidrólisis de la matriz polimérica y su posterior disolución, debido a que el NaCl tiene elevado poder osmótico y a la concentración de esta sal en el agua de mar (35-45%), que favorece la capacidad de absorción en las formulaciones.

Tabla 3. Solubilidad en sustratos líquidos de tres fuentes de agua.

Sustratos	BSL*	LNPM**	AP***
I.D.	Solubilidad (%)		
C1	8.95±2.10 ^a	7.84±0.64 ^a	3.23±0.47 ^{a,f}
S1	6.60±0.61 ^{b,h}	10.817±0.51 ^b	4.55±0.56 ^b
S2	9.75±0.98 ^{a,c}	8.63±0.53 ^{a,c}	3.88±0.72 ^{a,c}
S3	13.12±2.11 ^d	6.56±0.53 ^d	2.12±0.49 ^d
S4	29.15±0.57 ^e	6.68±0.38 ^{d,e}	4.68±0.64 ^{b,e}
S5	32.31±1.23 ^f	5.41±0.38 ^f	2.10±0.77 ^{d,f}

C2	27.54±1.13 ^g	4.17±0.06 ^f	1.26±0.26 ^g
----	-------------------------	------------------------	------------------------

Las medias en la misma columna con súper índices diferentes son significativamente diferentes ($\alpha \leq 0.05$).

*Bahía de Santa Lucía, **Laguna Negra de Puerto Márquez, ***agua potable.

Promedio de tres replicas ± error estándar.

Los valores obtenidos son similares a los reportados por Palma et al (2016), que van de 7.28% a 32.42% en espumas elaboradas a partir de almidón de plátano y proteínas séricas de leche, valores que son elevados probablemente debido a la disminución de la permeabilidad que le provee la formación del complejo proteína lípido a la matriz polimérica después del proceso de cocción, incrementando el tamaño de poros o espacios entre cada uno de los componentes del biomaterial.

Román et al. (2019) reportaron valores inferiores en espumas expandidas elaboradas a partir de espumas expandidas a partir de mezclas de harina de plátano macho y fibra de bagazo de caña; además, reportaron que la película de control mostró valores de solubilidad altos (19.59%), disminuyendo este parámetro al incrementar el contenido de fibra en la matriz polimérica, y concluyen que esto se debió a que la harina tiene un carácter hidrofílico, lo que provoca que el agua logre penetrar fácilmente a la matriz polimérica, comportamiento que puede explicarse por la ausencia de fibra de bagazo de

caña de azúcar en las muestras de control. Por otra parte, Pelissari et al. (2012) reportaron en películas preparadas con harina de achira más valores de mayor solubilidad que películas preparadas en mezcla con otros compuestos. Varios autores han reportado que la solubilidad de las películas está asociada con el tipo de materia prima utilizada para la formación de la matriz polimérica, el tipo de interacciones que ocurren en la matriz y las condiciones del proceso (Farajzadeh et al., 2014).

Al utilizarse agua proveniente de Laguna Negra de Puerto Marqués, la muestra denominada S1, que contenía mayor porcentaje de fibra y almidón de plátano macho (*musa paradisiaca* L), fue más susceptible a la absorción de este líquido, presentando 10.81% de solubilidad. La solubilidad en agua de la red de suministro (agua potable), presentó bajos niveles de este parámetro, siendo los más elevados los de las muestras S1 (4.55%) y S4 (4.68%), respectivamente.

En la tabla 4, se presentan los resultados del porcentaje de solubilidad en tres fuentes, agua destilada, efluente e influente de planta de tratamientos de aguas residuales.

Tabla 4. Solubilidad en sustratos líquidos de tres fuentes de agua.

Sustratos	Destilada	Influente	Efluente
I.D.	Solubilidad (%)		
C1	4.33±0.08 ^a	0.68±0.19 ^a	3.65±0.25 ^{a,c}
S1	5.43±0.01 ^b	2.24±0.72 ^b	7.23±0.15 ^b
S2	3.94±0.34 ^c	3.39±0.16 ^c	3.91±0.07 ^a
S3	2.57±0.18 ^{d,f}	1.88±0.00 ^d	3.87±0.29 ^a
S4	5.30±0.17 ^c	1.15±0.13 ^e	4.91±0.09 ^d
S5	2.77±0.82 ^{d,f}	1.95±0.29 ^{d,f}	8.0±0.53 ^c
C2	3.25±0.63 ^{c,f,g}	1.19±0.00 ^{e,g}	4.99±0.12 ^f

Las medias en la misma columna con súper índices diferentes son significativamente diferentes ($\alpha \leq 0.05$).

Promedio de tres replicas \pm error estándar.

Un comportamiento similar presentó la biopelícula al ser utilizado como medio líquido agua destilada. Las muestras S1 y S4 presentaron niveles más altos de solubilidad, 5.43% y 5.30% respectivamente, en este medio líquido, indicando que, a menor contenidos de sólidos, el poder de absorción de agua (hinchamiento) de los biomateriales es menor, aumentando la capacidad de repeler el agua, con lo que los biomateriales tardarán más tiempo en fragmentarse hasta llegar al nivel mínimo. Al utilizarse como medio líquido agua de influente de una planta de tratamientos, los valores más altos de solubilidad los presentaron las muestras que contenían mayor cantidad de almidón y fibra de plátano macho

(*musa paradisiaca* L) S1 y S2 con porcentajes de 2.24% y 3.39% respectivamente, valores que se incrementaron cuando se utilizó como medio líquido agua proveniente del efluente de planta de tratamientos, con valores de 7.23% y 8.0% para las muestras referidas como S1 y S5, que contenían la mayor cantidad de almidón y fibra de plátano macho (*musa paradisiaca* L) y chayotextle (*scheium edule*).

Los resultados obtenidos en este estudio son inferiores a los encontrados por Flores et al. (2020), ya que ellos reportaron valores de 8.86%-11.87% en biopelículas elaboradas a partir de mezclas de almidón de plátano macho y fibra de bagazo de caña, y concluyeron que, al aumentar el contenido de fibra en la mezcla polimérica y disminuyendo el tamaño de partícula, se obtienen valores más elevados de porcentaje de solubilidad, que puede deberse a la disminución del tamaño de partícula que incrementó el poder de absorción en el gránulo de almidón, lo cual provoca que el agua logre penetrar fácilmente la bioespuma. Valores similares reportaron Vargas et al. (2017) en espumas elaboradas a partir de mezclas de almidón de chayotextle (*scheium edule*) y fibra de madera, que se encuentran entre 2.19% y 8.39%, utilizando agua de grifo para la realización de esta técnica.

Los valores de pérdida de peso durante diferentes tiempos de enterramiento se presentan en la tabla 5. Se utilizaron tres sustratos (lodos biológicos, composta y tierra para jardinería), considerados como posibles sitios de disposición final de este tipo de biomateriales. Al utilizarse los lodos provenientes de la planta de tratamientos de aguas residuales ubicada en el Coloso, la prueba necesitó de 10 días para que los biomateriales alcanzaran en promedio más del 90% de biodegradación, lo cual se debe a la cantidad y tipo de microorganismos presentes, debido a que este sustrato proviene de una fuente rica en materia orgánica, y al activarse los lodos, el número de micro y macro organismos presentes es viable.

Tabla 5. Pérdida de peso por enterramiento en tres sustratos.

I.D.	Sustratos		
	LB*	C**	TJ***
Degradabilidad (%)			
C1	95.82±0.267 ^a	77.87±0.51 ^a	83.12 ± 1.5 ^a
S1	92.29±0.126 ^b	72.38±0.34 ^b	73.06 ± 1.8 ^b
S2	82.74±0.68 ^c	72.32±2.04 ^{b,c}	69.11 ± 0.5 ^c
S3	90.26±0.702 ^d	63.17±1.64 ^d	74.11 ± 1.3 ^{b,d}
S4	92.04±0.367 ^{b,e}	74.74±1.59 ^e	53.18 ± 1.7 ^e
S5	93.73±0.874 ^f	74.36±1.41 ^{e,f}	60.10 ± 0.5 ^f

C2	93.5±0.769 ^{g,f}	85.13±2.78 ^g	64.47 ± 2.4 ^g
----	---------------------------	-------------------------	--------------------------

Las medias en la misma columna con súper índices. diferentes son significativamente diferentes ($\alpha \leq 0.05$).

*Lodos biológicos, 10 días de enterramiento. **Composta, 30 días de enterramiento. ***Tierra de jardinería, 45 días de enterramiento.

Promedio de seis replicas \pm error estándar.

En la composta tradicional, la muestra control (C2) alcanzó 85.13% de pérdida de peso a los 30 días; un porcentaje similar fue obtenido por la muestra (C1), con 83.12% a los 45 días de enterramiento cuando se utilizó tierra para jardín como sustrato para degradación, esto debido a que, a menor material de refuerzo, el biomaterial rico en almidón puede ser hidrolizado de forma más rápida, lo que permite la pronta actividad microbiana por la biodisponibilidad de almidón como fuente de carbono para este tipo de microorganismos. Valores inferiores al 77% reportaron Flores et al (2020) en películas elaboradas a partir de mezclas de harina de plátano y fibra de bagazo de caña, sometidas al proceso de degradabilidad por enterramiento, y utilizaron como sustrato la composta casera. Las muestras que presentaron estos valores fueron de mezclas con menor material de refuerzo (bagazo de caña) y menor tamaño de partícula (malla 30), y concluyen que esto se debe a que, a menor tamaño de partícula, existe mayor área de contacto, lo que permite la absorción del agua y la

hinchazón del material en un menor periodo de tiempo, promueve la hidrólisis (Bonhommea et al., 2003) y facilita la actividad de microorganismos, como hongos y bacterias (Negoro et al., 2007), presentes en el sustrato utilizado (composta casera). Por su parte, Rabell et al. (2013) reportaron fragmentación por degradación en materiales plásticos (polietileno de baja densidad) después de 45 días de composteo, de acuerdo con el estándar ASTM 6954 (ASTM 2004).

CONCLUSIONES

El material de refuerzo adicionado contiene como insumo principal celulosa, hemicelulosa y lignina, capaces de entrelazar moléculas de agua mediante puentes de hidrógeno; a mayor material de refuerzo, el carácter de la película fue hidrofílico cuando se utilizó un líquido con altas concentraciones de cloruro de sodio, como el caso del agua proveniente de la bahía de Santa Lucía, presentando los valores más altos en esta determinación, y disminuyendo este parámetro cuando se utilizó un líquido proveniente de Laguna Negra de Puerto Marqués, así como el influente y efluente proveniente de la planta de tratamientos de aguas residuales, agua potable y agua destilada.

Cabe señalar además que, al incrementar los materiales de refuerzo, aumentó el porcentaje de degradabilidad, debido a que la asociación de almidón y fibra da como resultado un material con mayor capacidad de enlazar moléculas de agua, provocando un hinchamiento y posterior hidrólisis de los componentes del almidón y fibra, con lo cual los materiales se vuelven más susceptibles al ataque microbiano, así que las muestras control que no contenían material de refuerzo presentaron menores valores de pérdida de peso por enterramiento.

Por último, hay que, al utilizar como sustrato lodos biológicos de plantas de tratamientos de aguas residuales para determinar pérdida de peso por enterramiento, las biopelículas se degradaron en un corto periodo de tiempo, debido principalmente a la amplia y variada microbiota que contienen.

BIBLIOGRAFÍA

ASTM (2004) ASTM 6954-04 Standard Guide for Exposing and Testing Plastics that Degrade in the Environment by a Combination of Oxidation and Biodegradation. ASTM International, West Conshohocken, PA 2004.

- Babae, M., Jonoobi, M., Hamzeh, & Ashori, A. (2015). Biodegradability and mechanical properties of reinforced starch nanocomposites using cellulose nanofibers, *Carbohydrate Polymers*, 132, 1-8.
- Bonhomme, S., Cuerb, A & Delort, A. (2003). Environmental biodegradation of polyethylene. *Polymer Degradation and Stability*, 4 (2): 441-452.
- Castellón, C., Tejada, L & Tejada, A. (2016). Evaluación de la degradación ambiental de bolsas plásticas biodegradables. *Informador Técnico*. 80, 24-31.
- Dalev, P., Patil, L., Mark, J., Vassileva, E., & Farikov, S. (2000). Biodegradation of Chemically Modified Gelatin Films in Soil. *Journal of Applied Polymer Science*, 78, 1341–1347
- Farajzadeh, R., Vincent, S & Bourada, N. (2014). Effect of Gas Permeability and Solubility on Foam. *Journal of Soft Matter*, 1, 1-7.
- Filippone, S., Hortoon, F & Rabell, A. (2002) Characteristics of biodegradable Materbi-starch based foams as affected by ingredient formulations, *Industrial Crops and Products*: 13 (3) 219-227.
- Flores-Castro, A., Tenorio-Correa, D., Rizo-Narváez, Z., Román-Brito, J & Agatón-Catalán, V. (2020).

- Estudio de degradación y solubilidad de biopelículas elaboradas a partir de mezclas de harina de plátano macho (*Musa paradisiaca* L) y bagazo de caña (*Saccharum officinarum*). *Foro de Estudios Sobre Guerrero*, 6 (7) 725-737.
- Flores-Gorosquera, E., García-Suaréz, F., Flores-Huicochea, E., Nuñez-Santiago, M & Bello-Pérez, L. (2004). Rendimiento del proceso en la extracción de almidón a partir de frutos de plátano (*Musa paradisiaca*). Estudio en planta piloto. *Acta Científica Venezolana*. 2004, 55, 86–90.
- Hernandez-Uribe, J., Agama-Acevedo, E., Gonzalez-Soto, R., Bello-Pe´rez, L & Vargas-Torres, A. (2011). Isolation and characterization of Mexican chayote tuber (*Sechium edule* Sw.) starch. *Starch/Starke*, 63, 32–41.
- Ishigaki, T., Sugano, W., Nakanishi, A., Tateda, M., Ike, M & Fujita, M. (2004). The degradability of biodegradable plastics in aerobic and anaerobic waste landfill model reactors. *Chemosphere*, 54, 225–233.
- 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(2), 2819–2833.
- Kumar, G., Kalpagam, V & Nandi, U. (1985). *Biodegradation of gelatin graft copolymers. III. Journal of Applied Polymers Science*, 30 (2), 609-619.
- Martínez-Ortiz MA, Vargas-Torres A, Román-Gutiérrez A, Chavarría-Hernández N, Zamudio-Flores PB, Meza-Nieto M & Palma-Rodríguez, H. (2017). Partial characterization of chayotextle starch-based films added with ascorbic acid encapsulated in resistant starch. *International Journal of Biological Macromolecules*, 98:341-347.
- Negoro, S., Taniguchi, T., Kanaoka, M., Kimura, H & Okada H. (2007). Plasmid-determined enzymatic degradation of nylon oligomers. *Journal. Bacteriological*, 2, 22–31.
- Palma-Rodríguez, H., Berrios, J. Glenn, G., Salgado R., Aparicio, A., Rodríguez, A & Vargas, A. (2016) Effect of the storage conditions on mechanical properties and microstructure of biodegradable baked starch foams. *CYTA- Journal of Food*, 14, 415-422.
- Patil, R. D.; Dalev, P. G.; Mark, J. E.; Vassileva, E & Fakirov, S. (2000). Biodegradation of chemically

- modified gelatin films in lake and river waters. *Journal of Applied Polymer Science*, 76, 29-37.
- Pelissari, F., Andrade, M., Sobral, P & Menegalli, F. (2012). Isolation and characterization of the flour and starch of plantain bananas (*Musa paradisiaca*). *Starch/Starke*, 63, 32–41.
- 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.
- Rabell, M., Contreras, A., Vázquez, A., Espinoza, R., Beltrán, M., Osada, M & González, J. (2013). Propuesta metodológica para la evaluación de la degradabilidad de plásticos mediante composteo. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 29 (3) 127-133.
- Román-Brito, J., Juárez-López, A., Rosas-Acevedo, J., Berrios, J., Glenn, G., Klamczynki, A. Palma-Rodriguez, H & Vargas-Torres, A. (2020). Physicomechanical Properties and Biodegradation Rate of Composites Made from Plantain and Chayotextle Starch/Fiber. *Journal of Polymers and the Environment*.
- Román-Moreno, J., Radilla-Serrano, G., Flores-Castro, A., Berrios, J., Glenn, G., Salgado-Delgado, A., Palma-Rodríguez, H & Vargas-Torres, A. (2020). Effect of size and amount of sugarcane fibers on the properties of baked foams based on plantain flour. *Heliyon*.
- Román-Moreno, J., Radilla-Serrano, G., Vargas-Torres, A., Salgado-Delgado, R & Flores-Castro, A. (2019). Caracterización parcial de películas tipo foam elaboradas a partir de mezclas de harina de plátano macho y fibra de bagazo de caña de azúcar. *CITID*, 2 (2) 1-8.
- Tokiwa, J. (2009). Biodegradability of Plastics. National Institute of Advanced Industrial Science and Technology. Higashi – Japón, 367-377.
- Vargas, A., Palma, H., De Jesus, J., Glenn, G., Salgado, R., Olarte, A., Prieto, J & Hernandez, J. (2017). Biodegradable baked foam made with chayotextle starch mixed with plantain flour and wood fiber. *Journal of Applied Polymer Science*, 1002: 45565-45573.