

## BIODEGRADABILIDAD DE PLÁSTICOS BAJO CONDICIONES DE COMPOSTAJE AERÓBICO

Y. Mayer<sup>1</sup>, A. Ferrofino<sup>3</sup>, E. Molinari<sup>3</sup>, M. Lebono<sup>3</sup>, R. Zacur<sup>1,3</sup>, D. Ercoli<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Química, Universidad Nacional del Sur (UNS)

<sup>2</sup>Departamento de Ingeniería, Universidad Nacional del Sur (UNS)

<sup>3</sup>Planta Piloto de Ingeniería Química-PLAPIQUI (UNS-CONICET)

Bahía Blanca, Argentina

dercoli@plapiqui.edu.ar

### Introducción

El empleo de plásticos provenientes de recursos renovables en aplicaciones de único uso (por ej. bolsas camisetas, utensilios descartables y películas para agroindustria), representa una interesante alternativa para reducir la cantidad de plásticos no biodegradables que terminan en rellenos y lugares de disposición final a cielo abierto. Los beneficios ambientales que implican estas acciones resultan obvios y se han evaluado a través de distintas metodologías, como la huella de carbono y el análisis del ciclo de vida. La denominación común de bioplásticos, hace referencia a materiales de base biológica (por ej. almidón de maíz, caña de azúcar o celulosa), que pueden ser biodegradables o que presentan ambas características simultáneamente. Su capacidad para biodegradarse depende exclusivamente de su estructura química.

En paralelo con el desarrollo e incentivo para el uso masivo de bioplásticos en productos comerciales, debe contemplarse también la forma de disposición final de los residuos generados. En ese sentido, en USA y la UE se implementaron programas para la separación domiciliar y se desarrollaron plantas de compostaje industrial y digestores anaeróbicos. En particular, el proceso de compostaje genera un ambiente aeróbico con condiciones de humedad y temperatura propicias para que las poblaciones microbianas actúen sobre la materia biodegradable, produciendo abono orgánico de gran calidad para enmienda de suelos. Ejemplos típicos de plásticos compostables son películas de celulosa, mezclas de almidón, ácido poliláctico y PBAT.

Para que un producto plástico sea considerado compostable en USA, debe cumplir con la norma ASTM D6400 y en la UE debe estar certificado bajo EN 13432. En nuestro país, la norma IRAM 29421 (2018) establece requisitos similares a su par europea, para la valoración de plásticos biodegradables mediante compostaje municipal o industrial. Aquí se establecen pautas para la evaluación de la biodegradabilidad y la desintegración del material durante el proceso de compostaje, los efectos ecotóxicos asociados al proceso a escala industrial y la calidad del compost resultante mediante estudios de germinación y crecimiento de especies vegetales en el compostado.

En este trabajo se presentan parte de los resultados obtenidos durante la implementación de la metodología para evaluar la biodegradabilidad de un material plástico de origen europeo en condiciones de compostaje industrial, haciendo foco específicamente en los requisitos 4.1.1 (Caracterización) y 4.1.2 (Biodegradación) de la norma IRAM 29421. Este último aspecto se evaluó específicamente mediante el análisis del CO<sub>2</sub> producido, según IRAM 29422-1 (2015).

### Materiales y Métodos

El material empleado en la implementación de la metodología

para evaluar la biodegradabilidad en compostaje, es un bioplástico comercial de origen europeo con certificado OK Compost (Vincotte). El compost maduro y tamizado (malla 10 mm), fue provisto por CERZOS (UNS-Conicet). Como material de referencia se usó celulosa microcristalina comercial (polvo).

La naturaleza química del bioplástico se evaluó mediante espectrometría infrarroja (FTIR Nicolet) y calorimetría diferencial de barrido (DSC Pyris, Perkin Elmer). Los componentes inorgánicos se analizaron con una balanza termogravimétrica (TGA Discovery). El contenido total de carbono orgánico (TOC) se determinó por combustión seca con un analizador automático (LECO CR-12) y el contenido de nitrógeno (N) mediante el método Kjeldahl. La fracción de sólidos volátiles (SV) del compost se evaluó gravimétricamente utilizando una mufla (550°C) y para el contenido de sólidos secos (SST) se empleó una estufa de convección (105°C).

En la Figura 1 se presenta un esquema simplificado de una de las nueve líneas de compostaje empleadas. Los recipientes de compostaje de ≈3 litros, se colocaron en una cámara mantenida en condiciones termofílicas (58°C±2°C): tres con compost (blanco), tres con una mezcla de compost y celulosa (referencia) y tres con compost y trozos de película de bioplástico (<20x20 mm). En todos los casos se agregó material suficiente como para asegurar en cada recipiente un contenido mínimo de TOC= 20g y una relación entre masas secas de inóculo y material de ensayo= 6:1. A cada uno de ellos se le suministró continuamente aire libre de CO<sub>2</sub> y saturado con vapor de agua, controlando la correcta humidificación del compost durante todo el período del ensayo. El CO<sub>2</sub> producido en cada recipiente de compostaje, se colectó en una trampa con una solución de NaOH y se tituló periódicamente para obtener la masa generada (KEM Tritrator). A partir de estos resultados, se calculó -para la celulosa y el bioplástico- el correspondiente % de biodegradación (Dt).

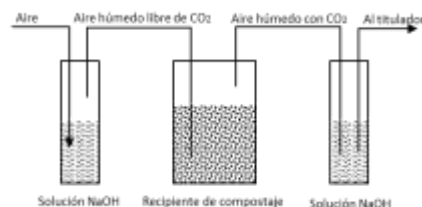


Figura 1.- Sistema de Ensayo

### Resultados y Discusión

**Caracterización.** Mediante análisis de FTIR, DSC y TGA, se determinó que el componente mayoritario del bioplástico era ácido poliláctico (PLA), con ≈2% de carga inorgánica.

En la Tabla 1 se encuentran las propiedades relevantes de los materiales empleados en este estudio. La relación C/N del compost empleado (≈20), se ubicó en el rango recomendado

por diversos especialistas y estándares internacionales (10-40). Valores muy elevados de dicha relación, indicarían una baja disponibilidad del N necesario para mantener la actividad celular de los microorganismos y la consecuente lentificación del proceso de biodegradación. El contenido de metales y otros elementos presentes en el bioplástico, se ubicaron muy por debajo de los límites máximos admitidos en la Tabla A.1 (IRAM 29421). Durante el ensayo, el pH de las mezclas en todos los recipientes, se mantuvo  $\approx 7-8$ , asegurando un ambiente neutro adecuado para proteger y potenciar la actividad microbiana.

Tabla 1.- Propiedades de los materiales

Parámetros	Bioplástico	Compost	Celulosa
C Orgánico Total, TOC (%)	57.3	33.5	43.6
N Total (%)	-	1.7	-
Metales y elementos (ppm)	Cumple	Cumple	-
Sólidos Secos Tot., SST (%)	99.6	50	96.2
Sólidos Volátiles, SV (%)	$\approx 98$	61.3	$\approx 100$
pH	-	7.5	-

**Biodegradación.** Durante el período de incubación a  $58^{\circ}\text{C}$ , cada tres días se determinó la masa (g) de  $\text{CO}_2$  a la salida de cada recipiente de compostaje, producido por la acción enzimática de los microorganismos sobre el C de los sustratos orgánicos (reacción de oxidación).

Desde el inicio del ensayo, periódicamente se verificó que el nivel de aireación de cada recipiente fuera el suficiente como para asegurar condiciones aeróbicas, que la humedad del compost se mantuviera en  $\approx 50\% \text{HR}$  y que no se formaran aglomerados. A partir de la masa de  $\text{CO}_2$  producida en cada recipiente para cada intervalo de medición, se calculó el porcentaje de biodegradación ( $D_t$  %) de la celulosa y del bioplástico, mediante la siguiente relación:

$$D_t\% = \left[ \frac{(\text{CO}_2)_T - (\text{CO}_2)_B}{\text{ThCO}_2} \right] \cdot 100 \quad (1)$$

donde  $(\text{CO}_2)_T$ :  $\text{CO}_2$  producido en recipientes con material de ensayo (celulosa o bioplástico);  $(\text{CO}_2)_B$ :  $\text{CO}_2$  producido por el blanco (compost);  $\text{ThCO}_2$ :  $\text{CO}_2$  teórico del material de ensayo ( $\text{ThCO}_2 = 95.3 \text{ g}$  y  $120.9 \text{ g}$ , para la celulosa y el bioplástico respectivamente). En la Figura 2 se encuentran las curvas obtenidas para  $D_t\%$  de la celulosa y el bioplástico, en función del tiempo de tratamiento.

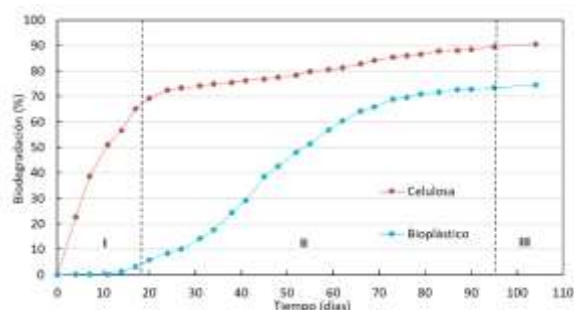


Figura 2.- Curva de Biodegradación

En términos generales, se observó que la velocidad de producción de  $\text{CO}_2$  de todos los materiales se incrementaba con el tiempo de tratamiento, en el siguiente orden: celulosa (referencia) > bioplástico > compost (blanco). Para la celulosa, se registró un inmediato y rápido crecimiento de la masa total de  $\text{CO}_2$  generado por la acción microbiana, alcanzando a los 20

días un valor de  $D_t \approx 70\%$ . Esto permitió verificar satisfactoriamente otro de los requisitos de la norma para el material de referencia ( $D_{t45 \text{ días}} > 70\%$ ), indicando que el proceso de compostaje se desarrollaba normalmente. En el caso del bioplástico, se observó un retardo de  $\approx 20$  días antes del inicio de la fase de biodegradación propiamente dicha. Este período se asoció a la ocurrencia de un proceso de difusión de agua en la matriz polimérica, que provocaría un fenómeno de degradación hidrolítica y consecuente disminución del peso molecular. Como resultado de este proceso, el C del PLA quedaría más fácilmente accesible para su posterior asimilación por parte de la población microbiana, lo que daría origen a la fase de biodegradación (región II). En el caso de la celulosa, el inicio de esta fase ocurrió sin demora y desde el inicio del ensayo. Se infirió entonces que, para este material, el proceso de fragmentación de cadenas ocurría rápidamente, generando una fuente accesible de C para que los microorganismos presentes lo emplearan en sus procesos celulares.

Transcurridos  $\approx 90$  días de tratamiento, se registró el inicio de una fase de meseta, con una velocidad de biodegradación significativamente menor (región III), correspondiente a  $D_t \approx 90\%$  para la celulosa y  $D_t \approx 75\%$  para el bioplástico. En términos relativos, se encontró que luego de 3 meses de tratamiento el bioplástico alcanzó  $\approx 85\%$  de la biodegradación correspondiente a la celulosa, valor muy cercano al criterio del 90% indicado en el apartado A.2.2.2 Anexo A (IRAM 29421). A partir de este resultado, se concluyó que el bioplástico alcanzaría el 90% de biodegradación dentro del período máximo de 180 días indicado en la norma de referencia (un ciclo normal de compostaje).

En la Figura 3 se presentan imágenes de la mezcla inicial de compost y bioplástico y luego de 90 días de tratamiento, donde se aprecia el cambio de textura y color del material y la total desintegración e incorporación del bioplástico a la biomasa.



Figura 3.- Compost + bioplástico (izq: inicio, der: final del ensayo)

## Conclusiones

El trabajo realizado permitió implementar la metodología para evaluar la biodegradabilidad de plásticos bajo condiciones de compostaje aeróbico según IRAM 29421:2018. La metodología se empleó satisfactoriamente para evaluar la biodegradación aeróbica última de un plástico comercial basado en PLA e identificar las variables críticas del proceso (propiedades relevantes del bioplástico y del compost, control de humedad, temperatura y pH de los materiales, entre otras).

## Referencias Bibliográficas

- IRAM 29421:2018. "Materiales y Productos Plásticos Biodegradables y Compostables. Requisitos para su Valoración mediante Compostaje".
- IRAM 29422-1:2015. "Determinación de la Biodegradabilidad Aeróbica Última de los Materiales Plásticos bajo Condiciones Controladas de Compostaje. Método por Análisis del Dióxido de Carbono Producido".