

## Biodegradabilidad de Artículos Desechables en un Sistema de Composta con Lombriz

**Mariana Ruiz, Karla Pastor y Adriana Acevedo**

Universidad Iberoamericana, Departamento de Ingenierías, Prolong. Paseo de la Reforma 880, Lomas de Santa Fe, 01219, México DF-México (e-mail: mariana.ruiz@uia.mx)

*Recibido Sep. 04, 2012; Aceptado Oct. 30, 2012; Versión final recibida Dic. 04, 2012*

---

### Resumen

El objetivo de este estudio es evaluar de manera preliminar si materiales denominados “verdes” o “biodegradables” son degradados satisfactoriamente en sistemas de composta con lombriz a pequeña escala. La mayoría de dichos materiales se elaboran con derivados del papel o con biopolímeros naturales, de los cuales el más común es el ácido poliláctico (PLA). Para el estudio se sometieron a distintas pruebas cuatro artículos desechables etiquetados como biodegradables hechos de los siguientes materiales: bagazo de caña de azúcar, PLA, papel recubierto por PLA y polímero de maíz. Los resultados mostraron que el PLA, el papel recubierto por PLA y el polímero de maíz no presentan una degradación adecuada en estos sistemas. Esto se atribuye a que no se tienen las condiciones necesarias para iniciar la hidrólisis que el biopolímero requiere para disminuir su masa molecular y hacerlo susceptible al ataque microbiológico y/o a la digestión por lombriz. En cambio el material de bagazo de caña de azúcar mostró un desempeño positivo en la prueba.

*Palabras clave: biodegradabilidad de artículos desechables, lombricomposta, biodegradabilidad de PLA*

## Biodegradability of disposable products in a vermicomposting system

### Abstract

The objective of this study is to conduct an initial test of whether green disposable products satisfactorily degrade in small-scale vermicomposting systems. Most of these materials are made of paper/cardboard or natural biopolymers, being the polylactic acid (PLA) the most commonly employed. Four disposable green products, made of sugar cane fiber, PLA, paper covered with PLA and corn polymer, respectively, were tested. Results showed that disposable items made of PLA, paper covered with PLA, and corn polymer do not satisfactorily degrade in this kind of systems. This is mainly due to not having the ideal conditions for biopolymer hydrolysis, molecular weight reduction, and subsequent microbiological attack and/or worm digestion. However, the sugar cane fiber material had a positive performance in the test.

*Keywords: biodegradable disposable products, vermicomposting, PLA biodegradability*

## INTRODUCCIÓN

Los artículos desechables denominados biodegradables tienen como objetivo disminuir el impacto ambiental mediante una degradación más rápida, que les permita reincorporarse a la naturaleza en menor tiempo que los materiales convencionales. Se entiende por biodegradación la descomposición aeróbica ó anaeróbica de un material por acción enzimática de microorganismos tales como bacterias, hongos y algas bajo condiciones normales del medio ambiente (Manser y Kelling, 1996). Los materiales de nueva generación que componen a los artículos etiquetados como biodegradables están elaborados en su mayoría por derivados del papel o bien por biopolímeros, los cuales provienen de cuatro grandes fuentes: 1) animal (colágeno/gelatina), 2) marina (quitina/quitosán), 3) agrícola (lípidos y grasas e hidrocoloides incluyendo proteínas y polisacáridos) y 4) microbiana (ácido poliláctico - PLA, y polihidroxialcanoatos, PHA) (Tharanathan, 2003; Villada, 2009). Dentro de los materiales más utilizados en la producción industrial están los polisacáridos y el almidón de maíz. Los polisacáridos incluyen las películas elaboradas de bagazo de yuca, carboximetilcelulosa y residuos de papel kraft, con usos como empaque de huevo, frutas y verduras (Matsui et al., 2004). El almidón de maíz, por su lado, es una materia prima en abundancia con usos recientes en la elaboración de bioplásticos. Las investigaciones en bioplásticos (plásticos biodegradables) basadas en almidón se iniciaron en 1970 y actualmente se relacionan con la incorporación del gránulo de almidón o almidón en forma gelatinizada a formulaciones de películas fabricadas en procesos de compresión, extrusión, soplado, extrusión de un sólo tornillo o doble tornillo y moldeo por inyección (Blacido et al., 2005; Parra et al., 2004). Existen películas de almidón y polietileno de baja densidad (LDPE) que contienen hasta un 30% de almidón, mostrándose como un material parcialmente biodegradable. Otras aplicaciones del almidón se encuentran en el almidón termoplástico (TPS) además de la combinación en forma gelatinizada en proporciones entre el 30% y el 70% mezclado con polímeros sintéticos igualmente gelatinizados (Muratore et al., 2005), aunque éstos últimos compuestos no se pueden considerar como completamente biodegradables (Pedroso y Rosa, 2005). De forma análoga, existen otros bioplásticos producidos a partir de la reproducción de un cultivo bacteriano que desarrolla gránulos de un plástico llamado polihidroxialcanoato (PHA) dentro de la célula misma (CIT, 2007). Finalmente el ácido poliláctico (PLA), elaborado a partir de glucosa fermentada y convertida a ácido láctico polimerizado, tiene usos como plástico biodegradable de considerable interés y demanda (Kulinski y Piorkowska, 2005).

A nivel comercial, los materiales biodegradables pueden ser etiquetados como tales dependiendo de la legislación de cada país y sus normas particulares. Sin embargo, lo más usual es encontrar en el mercado, materiales como bolsas, platos, vasos y cubiertos desechables que se denominan biodegradables con referencia a la norma ASTM D6400. Esta norma especifica que el material puede considerarse biodegradable “si y sólo si existen las condiciones necesarias de composteo, principalmente en términos de humedad y temperatura” (ASTM, 2012).

### *Composteo y Vermicomposteo*

El composteo consiste en una descomposición microbiana cuyo producto es un humus comúnmente conocido como composta o compost. En general, las características químicas y físicas de la composta varían de acuerdo con el material utilizado para fabricarla, las condiciones de operación y el grado de descomposición obtenido. Algunas de las propiedades que distinguen a la composta de otros materiales orgánicos son: color que va del café medio al café muy oscuro, bajo contenido de C/N (relación carbono/nitrógeno), cambio continuo en sus propiedades físicas debido a la actividad microbiana y alta capacidad de absorción de agua (Kreith y Tchobanoglous, 2002). El composteo, bien sea de residuos agrícolas o de residuos urbanos es una práctica común y documentada (Rosal et al., 2007; Varnero et al., 2011).

Particularmente, la lombricomposta o vermicomposta (producto del composteo con lombriz) es un mejorador de suelos, alto en nitrógeno, potasio, fósforo y magnesio, cuyas propiedades han sido estudiadas extensamente (Manser and Kelling, 1996; Dominguez et al., 1997; Trautmann et al., 2007, Nancarrow and Taylor, 1998; Edwards, 1995 ROU, 2002a; Fernandez et al., 2009). La abundante literatura sobre composteo con lombriz va desde la biología y comportamiento de la *Eisenia foetida* o lombriz roja californiana utilizada para ello (Grossman, 2007; Aira et al., 2006; Satchell, 1983; Venter y Reinecke, 1988; Edwards y Bohlen, 1996; Doube et al., 1997), hasta la descripción de sistemas caseros (Nancarrow y Taylor, 1998; Martin, 2008), sistemas a escala media (Edwards, 1998a, Edwards, 1998b; Kater, 1998; ROU, 2001; ROU, 2002a; ROU, 2003; ROU, 2008; Trautmann et al., 2007; NCSU, 2009; Ruiz, 2010), y sistemas a escala industrial y de aprovechamiento de residuos industriales y agrícolas (Nancarrow y Taylor, 1998; Wilson, 1999, Goncalves et al., 2010; Singh, 2012, Suthar et al., 2012). Estudios como el de Sim y Wu

(2010), por ejemplo, analizan el potencial del composteo con lombriz de residuos sólidos municipales y Alidadi et al. (2007) reportan la biodegradación de lodos residuales de plantas de tratamiento de agua con composteo con lombriz. También existen numerosas publicaciones sobre el aprovechamiento de residuos de ingenios azucareros a través del composteo con lombriz (Sanchez et al., 2007; Sen y Chandra, 2007; Kumar, 2010; Shweta et al., 2010). En los diversos estudios se resalta la importancia de una inoculación inicial por 30 días con *Pleurotus sajorcaju*, *Trichoderma viridae*, *Aspergillus niger* y *Pseudomonas striatum* para acelerar el proceso de composteo con lombriz (Kumar et al., 2010). La inoculación microbiana en sistemas de composteo con lombriz también ha sido analizada por Das et al. (2012).

### Relevancia del proyecto

La hipótesis del estudio es que algunos de los artículos desechables que actualmente se comercializan como "biodegradables" cumplen con los criterios de biodegradabilidad únicamente cuando existen las condiciones necesarias de composteo (ASTM, 2012), pero es probable que dichos artículos no sean biodegradables en los sistemas caseros de composteo, que son una de las formas de aprovechamiento de desperdicios a pequeña escala más fácilmente ejecutados en México. Particularmente, en el caso del composteo con lombriz y dadas las condiciones necesarias para la sobrevivencia y desarrollo de la misma, es posible que los artículos desechables biodegradables no puedan cumplir con su objetivo de disminuir el impacto ambiental, degradarse más rápido y reincorporarse a la naturaleza en menor tiempo que los materiales convencionales, sino que desequilibren al sistema de lombricomposta al ser incorporados en él. Por lo tanto, el objetivo de este estudio es poner a prueba diversos materiales desechables etiquetados como biodegradables para determinar cómo se comportan en un ambiente de composteo con lombriz a pequeña escala. Para ello se aprovecharon las instalaciones de la estación experimental de lombricomposta de la Universidad Iberoamericana Ciudad de México con los materiales y métodos que se describen a continuación.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó para 4 artículos desechables etiquetados como "biodegradables" de diferente material (Figura 1):

1. Plato Ondulado 6" Bagazo Caña Azúcar Compostable
2. Vaso de PLA Compostable
3. Vaso Térmico (Papel y PLA Compostable)
4. Cuchara Fécula de Maíz Compostable

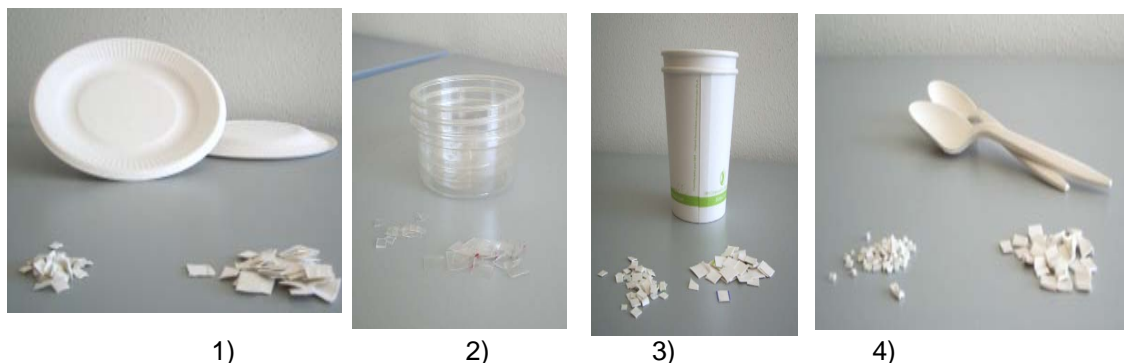


Fig. 1: Cuatro artículos desechables "biodegradables" sometidos a prueba: 1) plato de bagazo de caña de azúcar, 2) vaso de PLA, 3) vaso de papel y PLA, 4) cuchara de fécula de maíz.

Los materiales se seleccionaron, en primer lugar, por ser al momento de la prueba los únicos disponibles en el mercado mexicano como alternativa a los desechables de plástico convencionales (polietileno, polipropileno y poliestireno); y en segundo lugar, para representar una variedad de materiales biodegradables, incluyendo polisacáridos y biopolímeros. Todos los materiales fueron adquiridos a través de la empresa Renovapack S.A. de C.V., con sede en Monterrey, México. En la Tabla 1 se presentan los datos comerciales de los artículos desechables utilizados en las pruebas. En la Tabla 2 se describen las características del sustrato utilizado (composta madura), proveniente de la estación experimental de lombricomposta de la propia Universidad, y su comparación con la Norma Oficial Mexicana.

La población de lombriz utilizada es de la especie *Eisenia foetida* obtenida de la propia estación experimental de la Universidad y cuyo pie de cría fue obtenido originalmente del proveedor: Grupo para Promover la Educación y el Desarrollo Sustentable, A.C (GRUPEDSAC) situado en Huixquilucan, México. La etapa de desarrollo de las lombrices seleccionadas fue 50% juveniles (sin clitelo) y 50% maduras (con clitelo).

A continuación se describen las dos pruebas realizadas con dichos materiales.

Tabla 1: Datos comerciales de los artículos desechables utilizados (Renovapack, 2012)

	Plato ondulado	Vaso de PLA	Vaso térmico (papel y PLA)	Cuchara fécula de maíz
Material	Bagazo de fibra de caña de azúcar	Ácido Poliláctico (PLA)	Ácido Poliláctico (PLA) y Papel	Fécula de Maíz
Certificación	FDA, SGS	BPI	BPI	FDA
Procedencia	China	China	China	China

Tabla 2. Características de la composta proveniente de la Estación Experimental de la Universidad Iberoamericana (UIA) y su comparación con la Norma Mexicana (SECOFI, 2008)

	Lombricomposta producida en la UIA	Norma Mexicana NMXFF-109-SCFI-2008
Contenido de Humedad (%w/w)	42.3%	20% – 40%
pH	8.18	5.5 – 8.5
Conductividad Eléctrica (dS/m)	0.75 dS/m	< 4 dS/m
Total N (%w/w)	2.04%	1% - 4%
Radio C/N	5.9	< 20

### Prueba 1

Se utilizaron, como contenedores, 16 charolas para germinación con un tamaño de 520 mm x 250 mm hechas de polipropileno. Por el tamaño del contenedor, Appelhof (1997) recomienda colocar 1 kg de sustrato y 16 gramos de lombriz. En cada contenedor se colocaron 1.3 kg de composta madura (previando la evaporación de humedad inicial que era del 80%). En la mitad de las muestras se colocaron 16 gramos de lombriz y en la otra mitad de las muestras se colocaron 32 gramos de lombriz para analizar el impacto de la población en la velocidad del proceso de descomposición. A pesar de que no existen experimentos similares a éste, Appelhof (1997) recomienda una relación de 2:1 lombriz, alimento; por lo tanto, se adicionaron 8 gramos del material experimental (proveniente de los artículos desechables) en cada una de las muestras. El tamaño de partícula del material experimental fue reducido a 10 mm, 5 mm y 2 mm, siguiendo investigaciones de Kale et al. (2007b), donde de manera análoga, se probó la biodegradabilidad de PLA reduciendo el material a un tamaño de 10 mm en un sistema de composteo aeróbico (sin lombriz); también se tomó en cuenta la factibilidad de corte por la estructura del artículo (por ejemplo, la cuchara por su misma forma, no permitió un tamaño de partícula de 10mm). Adicionalmente se midió el espesor de los materiales utilizando un vernier 532-120 marca Mitutoyo con precisión de 0-180mm ± 0.03mm, 0-280mm ± 0.04mm. La tabla 3 resume las características de cada una de las muestras utilizadas en esta prueba.

Tabla 3. Características de las muestras experimentales en la Prueba 1

Artículo desechable y material	Espesor del material original (mm±0.03)	Tiempo de la Prueba (días)	# de muestra	Tamaño de partícula original (mm±0.5)	Lombriz (gramos±0.05)
Plato Ondulado 6" Bagazo Caña Azúcar Compostable	0.45	30	1	10	16
			2	5	16
			3	10	32
			4	5	32
Vaso de PLA Compostable	0.15	180	5	10	16
			6	5	16
			7	10	32
			8	5	32
Vaso Térmico (Papel y PLA Compostable)	0.55	90	9	10	16
			10	5	16
			11	10	32
			12	5	32
Cuchara Fécula de Maíz Compostable	de 1.25 a 1.00	360	13	5	16
			14	2	16
			15	5	32
			16	2	32

Las variables que se evaluaron semanalmente durante la prueba 1 fueron: temperatura, utilizando un termómetro digital marca Hanna Instruments y humedad y pH utilizando un medidor con sonda de 8" marca TFA. Además, el sistema fue monitoreado tres veces por semana para ajustar el contenido de humedad de cada muestra al 50% conforme con investigaciones previas (Das, 2012), así como para determinar si existían cambios visibles en el material experimental. El tiempo de duración del experimento fue originalmente de 30 días para todos los materiales, según la metodología de Kale et al. (2007b). Sin embargo, se decidió alargar el tiempo de duración en múltiplos de 30 días (60, 90, etc.) para los materiales que no mostraron ningún cambio aparente en el plazo inicial de 30 días. Para el caso del desechable de bagazo de caña de azúcar el tiempo total del experimento fue 30 días, para el desechable de PLA, 90 días, para el desechable de papel recubierto de PLA, 180 días y para el desechable de fécula de maíz, 360 días. El cambio aparente en el material se determinó a través de inspección visual de los siguientes indicadores: deformación que ocasionó curvatura mayor a 20° del plano, disminución de tamaño a <70% del original y cambio de color de transparente a opaco, en concordancia con experimentos similares (Kale et al., 2007b).

Durante el periodo de duración de la prueba, todas las muestras mantuvieron una temperatura entre 12.9°C y 14.7°C, una humedad entre 35% y 65% y un pH entre 7 y 7.5; las cuales son las condiciones ideales según la literatura para el composteo con lombriz (Reinecke y Viljoen, 1990; Benitez et al., 1999; DEW, 2001; ROU, 2002a; ROU, 2002b; Grossman y Weitzel, 2007).

Las variables evaluadas al final de la prueba fueron: alteración del material (deformación que ocasionó curvatura mayor a 20° del plano y disminución del tamaño de partícula a <70% del original) y espesor del material utilizando el vernier descrito anteriormente; además, peso de composta, peso de material experimental remanente y peso de población de lombriz, utilizando una balanza electrónica marca US Balance con precisión de 0.1 gramos. Cabe resaltar que aunque no existen pruebas como la presente en sistemas de composteo con lombriz, la literatura antes citada sustenta el procedimiento metodológico aquí descrito.

### *Prueba 2*

Después de analizar los resultados de la Prueba 1, se observó que el material 1 fue el único totalmente asimilado por el sistema, mientras que el material 4 no sufrió cambio alguno y los materiales 2 y 3, fabricados con PLA, presentaron resultados poco concluyentes. Por ello, se decidió realizar la Prueba 2 exclusivamente para el PLA. En esta prueba el objetivo fue analizar durante un periodo de 90 días (periodo en que se presentaron cambios en el PLA durante la Prueba 1), si la adición de alimento de origen vegetal "apetecible" para la lombriz, mezclado con PLA en diversas proporciones tendría un efecto en la población de lombriz o en el composteo del PLA (sobre todo, considerando que en un sistema a escala real los desechos no son de un solo tipo, sino van mezclados, lo cual puede favorecer o no a la descomposición del material y al desarrollo de la lombriz). Para esta prueba se utilizaron 4 contenedores, cada uno con 1 kg de composta madura como sustrato, 16 gramos de lombriz (según Appelhof, 1997) y 100 gramos de alimento de origen vegetal consistente en una mezcla de manzana, sandía y brócoli (según las relaciones recomendadas por ISO 14855-2 de 10:1 composta-alimento; Kale et al, 2007 b). En cada contenedor se agregaron las muestras de PLA con un tamaño de partícula de 10 mm de la siguiente manera: al primero 10 gramos (10% PLA con respecto al alimento), al segundo 33.3 gramos (33% PLA con respecto al alimento), al tercero 100 gramos (100% PLA con respecto al alimento) y al cuarto contenedor no se agregó PLA (muestra control), según las recomendaciones de Auras (2012). Las variables evaluadas al final de la prueba (90 días) fueron: alteración del material (deformación que ocasionó curvatura mayor a 20° del plano y disminución del tamaño de partícula a <70% del original), peso del sustrato (como un indicador del consumo del mismo por parte de la lombriz), peso del material experimental remanente y peso de la población de lombriz, de manera análoga a la Prueba 1. Adicionalmente, para cada una de las 4 muestras de esta prueba se analizó: pH, contenido de nitrógeno, fósforo y potasio utilizando el kit de pruebas para suelo Hanna Instruments HI3896.

## **RESULTADOS**

### *Prueba 1*

Debido a que hubo diferentes combinaciones en las cantidades de sustrato, lombriz y tamaño de partícula, todos los resultados se reportan en porcentaje en vez de en números absolutos con el fin de facilitar la comparación de los resultados de las diferentes muestras (Tabla 4).

Tabla 4. Resultados al final de la Prueba 1

Artículo desechable y material	# de muestra	% piezas alteradas (curvatura >20% y tamaño de partícula <70% del original)	Peso final de la composta (gramos)	% del peso del material desechable respecto al original*	% del peso de población de lombriz respecto al original*	Espesor promedio de partícula con respecto al original (%)
Plato Ondulado 6" Bagazo Caña Azúcar Compostable	1	100%	1050	0%	69%	N/A
	2	100%	790	0%	69%	N/A
	3	100%	820	0%	67%	N/A
	4	100%	970	0%	98%	N/A
Vaso de PLA Compostable	5	37%	950	90%	150%	295%
	6	14%	820	100%	59%	288%
	7	24%	747	72%	150%	296%
	8	23%	1108	85%	69%	270%
Vaso Térmico (Papel y PLA Compostable)	9	100%	989	41%	13%	10%
	10	100%	1084	14%	1%	2%
	11	100%	747	26%	6%	11%
	12	100%	1108	11%	10%	10%
Cuchara Fécula de Maíz Compostable	13	0%	716	100%	0%	100%
	14	0%	708	100%	0%	100%
	15	0%	759	100%	0%	100%
	16	0%	737	100%	0%	100%

\*El porcentaje de peso con respecto al original se determinó de la siguiente forma: (peso final/peso original) x100

### Prueba 2

La Tabla 5 resume los resultados físicos de las 4 muestras de PLA de esta prueba y la Tabla 6, los resultados del análisis químico.

Tabla 5. Resultados al final de la Prueba 2

Muestra	Proporción de material experimental	% piezas alteradas (curvatura >20% y tamaño de partícula <70% del original)	% del peso del sustrato respecto al original	% del peso del material desechable (PLA) respecto al original	% del peso de población de lombriz respecto al original
1	(10% PLA vs alimento)	0%	90%	100%	40
2	(33% PLA vs alimento)	0%	89%	97%	19
3	(100% PLA v alimento)	0%	91%	100%	25
4	(0% PLA vs alimento)	0%	66%	N/A	249

Tabla 6. Resultados del análisis químico de las cuatro muestras de la Prueba 2

Número de Muestra	pH	Nitrógeno (NO <sub>3</sub> ) mg/l (ppm)	Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) mg/l (ppm)	Potasio (K <sub>2</sub> O) mg/l (ppm)
1	8	10	130	45
2	8	9	110	40
3	8	20	130	10
4	8	22	100	25

## DISCUSIÓN

A partir de los resultados observados en la Prueba 1, puede concluirse que los artículos desechables compuestos por material de bagazo de caña de azúcar (material 1) son asimilados en un sistema a pequeña escala de composteo con lombriz, ya que en las 4 muestras el material se integró por completo al sustrato en un tiempo menor a un mes. Sin embargo, la población de lombriz en las pruebas con este material varió notablemente (en la muestra 4 se mantuvo estable, mientras que en las muestras 1 a 3 disminuyó más del 30%), por lo que es necesario hacer nuevos ensayos, con sus correspondientes análisis fisicoquímicos para determinar bajo qué condiciones es posible un adecuado desarrollo y reproducción de las lombrices en la presencia de estos materiales.

El artículo compuesto por papel recubierto con PLA (material 3) sufrió cambios notorios en la prueba debido a que la capa de papel se desintegró, quedando únicamente visible la capa de PLA, con apariencia igual a la de la muestra del material 2. El alto porcentaje de pérdida de masa y de espesor de partícula en esta prueba sugiere que la porción de papel es completamente asimilada por el medio. Las muestras 10 y 12, donde se obtuvieron las mayores reducciones en peso del material desechable parecieran indicar que mientras menor es el tamaño de partícula, mayor es la cantidad de papel desintegrado.

En el caso del PLA (material 2) se observaron pérdidas de masa pequeñas (entre el 0% y 15%) y alteración en la forma entre el 14% y el 37%. Puede observarse que en este tipo de sistemas sí es posible que ocurra una degradación inicial dada la deformación que se presentó en el material; sin embargo, las condiciones de temperatura del sistema (15°C) no son suficientes, según la literatura, para lograr el proceso de hidrólisis, necesario para iniciar la biodegradación, que disminuya el peso molecular del PLA a niveles que permitan la obtención de oligómeros que puedan ser atacados por los microorganismos (Kale et al., 2007). El fenómeno observado en el presente estudio, sugiere que, en vez de iniciarse una degradación que separara las cadenas de polímero, se presentó un reacomodo de estas cadenas, engrosando el material (confirmando estudios similares llevados a cabo por Kijchavengkul y Auras, 2008, que indican que para una adecuada hidrólisis se requiere de temperaturas mayores a 50°C). Las cadenas de polímero engrosadas se vuelven menos flexibles provocando que el agua y los microorganismos casi no puedan penetrarlas y la biodegradabilidad se reduce (Kijchavengkul and Auras, 2008). Se concluye por lo tanto, que el PLA no pudo ser consumido por la lombriz y que el crecimiento de la población de ésta en las muestras 5 y 7 podría ser atribuible a la calidad del sustrato.

En cuanto al desechable de material denominado “fécula de maíz compostable” (material 4), a partir de los resultados de las 4 muestras puede concluirse que este material no es apto de ser aprovechado a través del composteo con lombriz, al no mostrar ningún cambio después de 360 días en este medio.

Finalmente, los resultados de la Prueba 2 muestran una reducción mínima en la cantidad de material experimental, por lo que puede concluirse que los residuos vegetales son consumidos por la lombriz y, al momento de agotarse, no se considera al PLA como una fuente alterna de alimento y se reduce la población más que en la prueba sin residuos vegetales. En contraparte, en la muestra control (sin PLA) la población de lombriz se incrementó 2.5 veces, lo cual concuerda con las estimaciones que indican que en condiciones favorables, la población de lombriz se duplica en 90 días (TAES, 2009). Adicionalmente, los resultados del análisis químico mostraron que los valores más próximos al ideal para suelos (Hanna, 2012), fueron los de la muestra ausente de PLA (muestra 4). Por lo tanto, se concluye que las condiciones ideales para la lombriz fueron aquellas donde hubo ausencia de PLA.

## CONCLUSIONES

Los resultados del presente estudio permiten concluir que algunos de los materiales denominados “biodegradables” que se encuentran en el mercado no tienen un desempeño satisfactorio en sistemas de composteo con lombriz a pequeña escala, debiéndose principalmente a que no se tienen las condiciones necesarias para iniciar la hidrólisis que el biopolímero requiere para disminuir su peso molecular y hacerlo susceptible al ataque microbiológico y/o a la digestión por lombriz. Por lo tanto se requiere realizar mayor investigación en esta área, a fin de determinar bajo qué condiciones prácticas podría lograrse iniciar la descomposición del material y obtener una biodegradación satisfactoria sin afectar a la población de *Eisenia foetida*. Se concluye, además, que los polímeros biodegradables no necesariamente son mejores para el medio ambiente si no se garantizan las condiciones requeridas para que la biodegradación ocurra y es indispensable continuar la investigación en este tema a fin de redefinir las condiciones que garanticen la sustentabilidad de los sistemas de disposición de residuos sólidos que incluyan polímeros biodegradables. Por ello se ha iniciado la evaluación de alternativas de manejo de residuos que fomenten la hidrólisis de los materiales antes de agregarlos a sistemas de composteo con lombriz. Los siguientes pasos de la presente investigación incluye, además, evaluar la viabilidad de los productos de bagazo de caña en sistemas de composteo con lombriz a mayor escala, así como investigar el fenómeno de “palatabilidad” de los materiales en presencia o ausencia de otro tipo de alimento (es decir, corroborar si los materiales biodegradables se degradan menos cuando existe una fuente alterna de nutrientes).

## REFERENCIAS

Aira, M., Monroy, F. y Domínguez, J., *Eisenia fetida (Oligochaeta, Lumbricidae) Activates Fungal Growth, Triggering Cellulose Decomposition During Vermicomposting*. Microbial Ecology, 52(4), 738-747, (2006).

Alidadi, H. H., Parvaresh, A. R., Shahmansouri, M. R., Pourmoghadas, H. H., & Najafpoor, A. A. Combined Compost and Vermicomposting Process in the Treatment and Bioconversion of Sludge. *Pakistan Journal Of Biological Sciences*, 10(21), 3944-3947, (2007).

Appelhof, M., *Worms Eat My Garbage*, 2ª edición, Kalamazoo, MI: Flowerfield Press, (1997).

ASTM International. *ASTM D6400 Abstract*. <http://www.astm.org/Standards/D6400.htm>. Acceso: 24 Febrero (2012).

Auras, Entrevista telefónica Rafael Auras, School of Packaging, Michigan State University, East Lansing, MI, EUA. (2012).

Benitez, E., Nogales, R., Elvira, C., Masciandaro, G. and Ceccanti, B. Enzyme activities as indicators of the stabilization of sewage sludges composting with *Eisenia fetida*. *Bioresource Technology*, 67, 297-303, (1999).

Blacido, D., Sobral, P. y Menegalli, F.C., *Development and characterization of biofilms based on Amaranth flour (Amaranthus caudatus)*. *Journal of Food Engineering*, 67, 215-223, (2005).

Centro de Información Técnica, *Degradación de los Materiales Plásticos*, En *Plastivida: Entidad Técnico Profesional Especializada en Plásticos y Medio Ambiente*. Buenos Aires. <http://plastivida.site40.net/pdf/21.pdf>, (2007), Acceso: 22 Junio de 2012.

Das, D., Bhattacharyya, P., Ghosh, B., & Banik, P. Effect of vermicomposting on calcium, sulphur and some heavy metal content of different biodegradable organic wastes under liming and microbial inoculation. *Journal Of Environmental Science And Health. Part. B, Pesticides, Food Contaminants, And Agricultural Wastes*, 47(3), 205-211, (2012).

Dominguez, J., Edwards, C.A. and Subler, S. A comparison of vermicomposting and composting. *BioCycle*, 38(4), 57-59, (1997).

Doube, B.M., Schmidt, O., Killham, K., Correll, R., *Influence of mineral soil on the palatability of organic matter for Lumbricid earthworms: a simple food preference study*, *Soil Biol. Biochem.*, 29(3/4), 569-575, (1997).

Down to Earth-Worms (2001, September 10). *Vermicomposting Index Introduction Biology*. <http://www.musc.edu/vpfa/eandf/sustainability/Documents/WMPRIMER.pdf>. Acceso: 14 Agosto (2009).

Edwards, C.A. y P. J. Bohlen, *Biology and Ecology of Earthworms*, 3ª edición, pp 530, Chapman and Hall, London, (1996).

Edwards, C.A., *Breakdown of animal, vegetable and industrial organic wastes by earthworms*, *Earthworms in Waste and Environmental Management*, pp 391, SPB Academic Publishing, The Hague, Netherlands, (1998a).

Edwards, C.A., *The use of earthworms in the breakdown and management of organic wastes*, *Earthworm Ecology*, pp 441, St. Lucie Press, Boca Raton, Fla, USA, (1998b).

Fernandez, C. et al., Influencia de la *Eisenia foetida* y de Sustratos Orgánicos como Agentes Bioestimulantes en la Biodegradación de un Suelo Contaminado con Petróleo Pesado. *Inf. tecnol.* [online] 20(5),19-30, (2009).

Goncalves Da Silva, M., Roque, S., Muniz, A., Marchetti, M., Da Matta, J., & Pelisson, N. Efficiency of Organic Compost from Agri-Industrial Wastes as Fertilizer for Corn and Wheat. *Communications In Soil Science & Plant Analysis*, 41(21), 2517-2531, (2010).

Grossman, S.C., Weitzel, M., *Recycle with Worms: The Red Wiggler Connection*, 3a ed. Shields Publications, Eagle River, WI, (2007).

Hanna Instruments, *Soil Test Manuals*, <http://www.hannainst.com/usa/manuals.cfm>, Acceso: 5 Noviembre, (2012).

Kale et al., *Degradability of Poly(lactide) Packages*, *Packaging Technology Science*, 20, 49-70, (2007).



- Kale, G., Auras, R., Singh, S. P., and Narayan, R., *Biodegradability of polylactide bottles in real and simulated composting conditions*. *Polymer Testing* 26, 1049-1061, (2007b).
- Kater, J., *The Continuous Flow Worm Bed for On-site Organic Waste Management*. Report of a project funded by the New South Wales Government Waste Reduction Grants Program. New South Wales Environment Protection Authority, Sydney, (1998).
- Kijchavengkul, T. and Auras, R., *Perspective Compostability of polymers*, *Polymer International* 57, 793–804 (2008).
- Kijchavengkul T., Kale G., Auras, R., *Degradation of Biodegradable Polymers in Real and Simulated Composting Conditions*, *Polymer Degradation and Performance*, Editorial American Chemical Society, Volumen 1004, pp 31-40, Washington D.C., USA (2009)
- Kreith, Frank, George Tchobanoglous, *Handbook of Solid Waste Management*, 2ª edición, pp 950, McGraw-Hill, NY, USA (2002).
- Kulinski, Z. y Piorkowska, E., *Crystallization, structure and properties of plasticized poly (Lactide)*. *Polymer*, 46 (23), 10290-10300, (2005).
- Kumar, R., Verma, D., Singh, B. L., Kumar, U., & Shweta., *Composting of sugar-cane waste by-products through treatment with microorganisms and subsequent vermicomposting*. *Bioresource Technology*, 101(17), 6707-6711, (2010).
- Manser, A. G. R., y Kelling, A. A., *Practical handbook of processing and recycling municipal waste*, pp 557, Lewis, Boca Raton, Fla, USA, (1996).
- Martin, D., *Fall Gardening* [Podcast]. Science Friday Archives. <http://www.sciencefriday.com/program/archives/200810106>, (2008), Acceso: 4 Agosto 2009.
- Matsui, K.; Larotonda, F.; Paes, S.; Luiz, D.; Pires, A. y Laurindo, J., *Cassava bagasse-Kraft paper composites: analysis of influence of impregnation with starch acetate on tensile strength and water absorption properties*. *Carbohydrate Polymer*, 55, 237-243, (2004).
- Meneses, G., De la Rosa, P., and Monroy, J.L. *Caracterización de humus de lombriz*. [http://www.uia.mx/campusverde/ICV\\_invest.html](http://www.uia.mx/campusverde/ICV_invest.html), Acceso 11 Diciembre (2009).
- Muratore, G.; Del Nobile, M.; Buonocore, G; Lanza, C. y Asmundo, C., *The influence of using biodegradable packaging films on the quality decay kinetic of plum tomato (Pomodoro Datterino)*, *Journal of Food Engineering*, 67(4), 393-399, (2005).
- Nancarrow, L. y Taylor, J. H., *The Worm Book*, pp 160, Ten Speed Press, Berkeley, CA, (1998).
- North Carolina State University, *Events: 2009 NCSU Vermiculture Conference.*, [http://clay.ces.ncsu.edu/index.php?page=events&event\\_id=15221](http://clay.ces.ncsu.edu/index.php?page=events&event_id=15221), Acceso: 12 Marzo (2009).
- Parra, D.; Tadini, C.; Ponce, P. y Lugao, A., *Mechanical properties and water vapor transmission in some blends of cassava starch edible films*, *Carbohydrate Polymer*, 58, 475-481, (2004).
- Pedroso, A. y Rosa, D., *Mechanical, thermal and morphological characterization of recycled LDPE/ corn starch blends*, *Carbohydrate Polymer*, 59, 1-9, (2005).
- Pramanik, P. P., Ghosh, G. K., & Banik, P. P. *Effect of microbial inoculation during vermicomposting of different organic substrates on microbial status and quantification and documentation of acid phosphatase*. *Waste Management*, 29(2), 574-578, (2009).
- Recycled Organics Unit, *Recycled Organics Industry Dictionary & Thesaurus: standard terminology for the NSW recycled organics industry*. 2ª edición, <http://www.rolibrary.com>, (2001), Acceso: 3 Septiembre 2008.
- Recycled Organics Unit, *Best Practice Guideline to Managing On-Site Vermiculture Technologies*. Printed by the Recycled Organics Unit, The University of New South Wales, Sydney, Australia, <http://www.recycledorganics.com>, (2002a), Acceso: 3 Septiembre 2008.

- Recycled Organics Unit, *Evaluation of the Processing Capacity of On-Site In-Vessel Vermiculture Technology. Final Report*, <http://www.rolibrary.com>, (2002b), Acceso: 3 Septiembre 2008.
- Recycled Organics Unit, *Guide to Developing a Process Control System for a Composting Facility*, 3ª edición, <http://www.recycledorganicsunit.com>, (2003), Acceso: 3 Septiembre 2008.
- Recycled Organics Unit, *Occupational Health and Safety and Commercial Composting Volume 3: Avoiding common risks of infection: an induction for new staff*. <http://www.recycledorganics.com>, (2008), Acceso: 20 Mayo 2009.
- Reinecke, A.J. and Viljoen, S.A. The influence of feeding patterns on growth and reproduction of the vermicomposting earthworm *Eisenia fetida* (Oligochaeta). *Biology and Fertility of Soils*, 10, 184-187, (1990).
- Renovapack, S.A. de C.V. *Productos.*, <http://www.renovapack.com/sustentabilidad> (2012), Acceso: 15 Noviembre (2012).
- Rosal, A. et al., La Incidencia de Metales Pesados en Compost de Residuos Sólidos Urbanos y en su uso Agronómico en España. *Inf. tecnol.* [online], 18, 6, 75-82, (2007).
- Ruiz, M. *Taller de elaboración de Lombricomposta*. Universidad Iberoamericana, Ciudad de México (2010).
- Sánchez Hernández, R., Ordaz Chaparro, V. M., Valdes, G., Palma López, D. J., & Bolón, J. Chemical Characteristics Of Several Vermicomposts In México. *Compost Science & Utilization*, 15(1), 47-52, (2007).
- Satchell, J. E., *Earthworm microbiology*, in *Earthworm Ecology: From Darwin to Vermiculture*, Chapman and Hall, 198-208, Cambridge, (1983).
- Sen, B., & Chandra, T. S. Chemolytic and solid-state spectroscopic evaluation of organic matter transformation during vermicomposting of sugar industry wastes. *Bioresource Technology*, 98(8), 1680-1683, (2007).
- Sim, E., & Wu, T. *The potential reuse of biodegradable municipal solid wastes (MSW) as feedstocks in vermicomposting*. *Journal Of The Science Of Food And Agriculture*, 90(13), 2153-2162, (2010).
- Singh, D., & Suthar, S. *Vermicomposting of herbal pharmaceutical industry waste: Earthworm growth, plant-available nutrient and microbial quality of end materials*. *Bioresource Technology*, 112, 179-185, (2012).
- Suthar, S., Mutiyar, P. K., & Singh, S. *Vermicomposting of milk processing industry sludge spiked with plant wastes*. *Bioresource Technology*, 116, 214-219, (2012).
- Shweta, Kumar, R., Singh, B. L., & Deepshikha, V. *Integrating Microbial Composting and Vermicomposting for Effective Utilization of By-products of Sugar Cane-Processing Industries*. *Bioremediation Journal*, 14(3), 158-167, (2010).
- Texas AgriLife Extension Service, Texas A&M System, *Worm Composting Resources*, <http://aggiehorticulture.tamu.edu/extension/compostfacility>, Acceso 21 Mayo (2009).
- Tharanathan, R., *Biodegradable films and composite coatings: past, present and future*. *Critical Review in Food Science and Technology*, 14, 71-78, (2003).
- Trautmann, N. M., Richard, T., Krasny, M.E., *Composting in Schools*, <http://compost.css.cornell.edu/schools.html>, (2007), Acceso: 14 Agosto de 2009.
- Varnero, M.T. et al., *Sistemas de Compostaje para el Tratamiento de Alperujo*. *Inf. tecnol.* [online], 22(5), 49-56, (2011).
- Venter, J.M., Reinecke, A.J., *The life-cycle of the compost worm Eisenia fetida (Oligochaeta)*, *S. Afr. J. Zoo.*, 23, 161-165, (1988).
- Villada, H.S., Acosta H.A. y Velasco R. J., *Biopolímeros Naturales Usados en Empaques Biodegradables*. *Mundo Alimentario*. Septiembre/Octubre 2009, Mundo Alimentario, México, (2009).
- Wilson, E., *Worm Farm Management: practices, principles, procedures*, pp 120, Kangaroo Press, Sydney, (1999).