

UTILIZACIÓN DE SUBPRODUCTOS DE LA INDUSTRIA TEQUILERA. PARTE 5. BIODEGRADACIÓN DEL MATERIAL DE DESCARNE DE LA INDUSTRIA DE CURTIDURÍA

Gilberto ÍÑIGUEZ, Salvador FLORES y Liliana MARTÍNEZ

Universidad de Guadalajara, Departamento de Madera, Celulosa y Papel, km 15.5 carretera Guadalajara-Nogales. Las Agujas, Mpio. de Zapopan, Jalisco. Apartado Postal 52-93. Guadalajara 45020 Jalisco, México.

(Recibido octubre 2002, aceptado mayo 2003)

Palabras clave: curtiduría, tenerías, pelambre, bagazo de agave, biodegradación

RESUMEN

Las tenerías tienen la nada envidiable reputación de ser una de las industrias más sucias y malolientes, de tal forma que la Norma Oficial Mexicana NOM-052-ECOL-1993 clasifica a los residuos de la curtiduría No. RP4.2/01 como peligrosos. Por peso, los desechos de las tenerías que son pelo y "material de descarnado" provienen principalmente de la preparación de la piel para el curtido. En dos celdas de madera de 2.5 m de ancho por 2.5 m de largo y 1.5 m de alto, el material de descarnado fue sujeto a un proceso de biodegradación por capas, colocando una de bagazo de agave, seguida por una de "composta verde" (intestinos de cerdo) y otra de material de descarnado. Las capas se acomodaron en ese orden hasta una altura aproximada de 0.7 m en donde se logró colocar una tonelada de material de descarnado en cada celda. El proceso de biodegradación del material de descarnado fue seguido por la medición cotidiana de los cambios de temperatura. Al producto de la degradación se le realizaron análisis microbiológicos y químicos, así como estudios de germinación, usando el desarrollo de raíces y el crecimiento inicial de semillas de *Raphanus sativus* para evaluar su índice de madurez. Después de un período de maduración de 42 días del producto de la degradación, no se presentaron problemas de germinación ni de crecimiento radicular ($p > 0.05$), sólo el crecimiento plumbular fue ligeramente afectado por el material de la pila 2. La producción de biomasa (g de materia seca) fue mayor ($p < 0.05$) por los componentes de las pilas 1 y 2 en comparación al tratamiento testigo (116.5 y 102.1 g vs. 88.1 g). Al final de 154 días de degradación termofílica, el material de descarnado se descompuso completamente, obteniéndose un producto negruzco, con olor y textura similares a un suelo de jardinería. Hubo pérdida total de materia seca de 67.3 % en promedio para las dos pilas considerando los pesos inicial y final de los ingredientes. En el producto final de ambas pilas, no se detectaron organismos como *Staphylococcus aureus*, *Salmonella* sp. y coliformes fecales, aunque sí se presentó *Escherichia coli*. El número más probable de coliformes fecales para las pilas 1 y 2 fue de 7 y 43 g^{-1} de muestra, respectivamente. Del presente trabajo de investigación puede concluirse que el proceso de biodegradación por capas podría significar una alternativa técnica y económicamente viable para auxiliar a la industria de curtiduría en el manejo y en la disposición final del material de descarnado, obteniendo con ello además un producto con potencial agronómico.

Key words: leather processing, tanneries, agave bagasse, biodegradation

ABSTRACT

Tanneries have the non-enviable reputation of being one of the dirtiest and bad smelliest

industries, and thus, the Official Mexican Norm (NOM-052-ECOL-1993) classifies tannery waste (No.RP4.2/ 01) as hazardous residues. By weight, tannery residuals come mainly from the preparation of the hide for hardening. This waste is mainly composed of hair and flesh material. Using two wooden cells, 2.5 m x 2.5 m x 1.5 m high, the discarded flesh material was subjected to a layered biodegradation process, placing a layer of agave bagasse, followed by one of "green compost" (pig intestines) and another one of discarded flesh material. This sequence was repeated until a height of 0.7 m was reached. One ton of tannery solid waste was used per cell. Temperature changes were daily monitored during the biodegradation process. Microbial and chemical analyses were performed on the compost, as well as germination studies, using root elongation and initial growth of *Raphanus sativus* seeds to evaluate the compost maturity index. After a 42 day curing period of the biodegradation product, there were neither germination nor radical growth problems ($p > 0.05$). Only the hypocotyl growth was lightly affected by the material of the pile 2. The biomass production (g of dry matter) was higher ($p < 0.05$) for the components of the piles 1 and 2 in comparison to the control treatment (116.5, 102.1 g vs. 88.1 g). At the end of 154 days of thermophilic degradation, the discarded flesh material was completely decomposed, obtaining a blackish product with a smell and texture similar to a gardening soil. It was determined that the total lost of dry matter was in average about 67.3 % for the two piles considering the initial and final weights of the ingredients. In both piles final product, no organisms such as *Staphylococcus aureus*, *Salmonella* sp. or fecal coliforms were detected, although the presence of *Escherichia coli* was found. The most probable number of fecal coliforms for piles 1 and 2 was 7 and 43 per gram of sample, respectively. From the present research work it could be concluded that the layers biodegradation process, may be come a technically and economically viable alternative for the tanneries in the management and final disposal of discarded flesh material and, at the same time, producing with this process a product with agronomic potential.

INTRODUCCIÓN

Las tenerías tienen la nada envidiable reputación de ser una de las industrias más sucias, malolientes y contaminantes, de tal forma que la Norma Oficial Mexicana NOM-052-ECOL-1993 clasifica a los residuos de la curtiduría No.RP4.2/01 como peligrosos, por lo que conforme a los artículos 151 Bis, de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente y 10° de su Reglamento en materia de residuos peligrosos, el manejo de dichos residuos requiere de la autorización por parte de la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Por peso, los desechos de las tenerías provienen principalmente de la preparación de la piel para el curtido. Una vez que se quita el cuero del animal (pelambre), el primer paso para la limpieza del cuero es la remoción del pelo y de la epidermis. Los productos empleados en el pelambre producen un hinchamiento regular en la estructura fibrosa, emulsionan parcialmente la grasa de la piel y destruyen o sueltan suficientemente el pelo y la epidermis, como para ser eliminados fácilmente por medios mecánicos. El pelambre suele tratarse con hidróxido de calcio [$\text{Ca}(\text{OH})_2$] y sulfuro de sodio (Na_2S) ó con sulfhidrato de sodio (NaHS), siempre y cuando el proceso de "apelambrado" no haya destruido el pelo, éste debe eliminarse enseguida ya sea a mano o con máquina. Al mismo tiempo, deben removerse también los restos de la epidermis. La piel apelambrada se descarna a mano con la "cuchilla de descarnar" o bien a máquina. Con ello se

elimina el tejido subcutáneo (subcutis = "carne"). Así pues, los desechos sólidos de las tenerías provienen principalmente de la depilación, recorte, descarnado y adelgazamiento de los cueros. Un cuero con un peso de 45.4 kg, pierde entre 9.1 y 11 kg en grasa, carne, pelo y estiércol durante el descarnado. Normalmente la industria de la curtiduría considera una pérdida de 16 % en este proceso (Ockerman y Hansen 1988).

Por su composición de origen orgánico y por experiencias en la biodegradación de residuos animales (Stanford *et al.* 2000, Elwell *et al.* 2001, Íñiguez y Vaca 2001, Vidussi y Rynk 2001), los desechos sólidos de tenerías pudieran ser sujetos de la degradación aerobia llamada "compostaje". Este proceso, conocido en inglés como "compost" (sustantivo que proviene del latín composite y que significa mezcla para fertilizar o renovar la tierra), es comúnmente utilizado para reciclar materiales orgánicos y mantener la fertilidad de los suelos (Anónimo 1993, Maynard 1994, Golueke y Díaz 1996). Es un proceso biológico aerobio que aprovecha los microorganismos presentes en el mismo material que se va a procesar, para convertir el material orgánico biodegradable en un producto humificado útil para la agricultura (Lau *et al.* 1992, Liao *et al.* 1993, Sims 1994, Georgacakis *et al.* 1996). Dado que éste es un proceso de degradación aerobia, se requiere en ocasiones para facilitar el paso del aire, la adición de algún material que aumente la estructura porosa del residuo susceptible a degradarse. La selección de estos y otros materiales

dependerá del área geográfica, tipo de cultivo y estaciones del año. En este caso, por la ubicación geográfica y la disponibilidad, se consideró importante usar bagazo de agave. Éste es un subproducto de la industria tequilera que se genera en grandes cantidades después de que las “cabezas” de agave o “piñas” son sometidas a un proceso de cocción con vapor en hornos o autoclaves y después pasadas por desgarradoras para disminuir su tamaño y facilitar la extracción más eficiente de los azúcares fermentables para la elaboración de tequila.

El objetivo del presente trabajo fue estudiar el proceso de biodegradación del “material de descarné” empleando bagazo de agave e inóculo de una “composta verde” de la biodegradación aerobia de intestinos de cerdo, así como evaluar el producto de esta biodegradación para fines hortícolas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales

En la realización de este trabajo se utilizaron tres componentes principales: material de descarné, bagazo de agave húmedo y composta verde. El material de descarné fue donado por una tenería local y transportado en tambos de 200 litros al campo experimental de la Universidad de Guadalajara. El material de descarné se consideró como el residuo cárnico subcutáneo, removido por una máquina de cuchillas de pieles de ganado vacuno, tratadas con sulfuro de sodio para emulsionar parcialmente la grasa de la piel y destruir el pelo y la epidermis. El bagazo de agave procedente de una fábrica de tequila donde se sigue con la técnica tradicional de cocción de las cabezas de agave antes de la extracción de los azúcares fermentables, fue donado por la compañía Casa Cuervo. La composta verde fue obtenida del campo experimental de la Universidad donde se maneja y degrada el intestino grueso de cerdos sacrificados en el rastro municipal de Guadalajara. Los tres componentes fueron analizados por su contenido de humedad, cenizas, carbono orgánico total (COT) y nitrógeno total Kjeldahl (NTK), como se describe más adelante (**Tabla I**).

Muestreo

La muestra representativa para los análisis de laboratorio, se obtuvo del material de descarné de tres diferentes tenerías. Para los otros ingredientes, en una pila de bagazo de agave y en otra de composta verde se seleccionaron al azar seis sitios para la toma de muestras a lo largo y ancho de las dos pilas. En cada sitio de obtención de muestras se hizo un corte logitudinal y de la parte de arriba, en medio y abajo de las pilas se colectaron tres submuestras de 3 litros cada una y se mezclaron en una bolsa de plástico. Las 6 mezclas compuestas de los sitios de muestreo se mezclaron en otra bolsa de plástico para tener un volumen total de 54 litros. Se tomaron submuestras de medio litro cada una y se obtuvo una muestra final compuesta de 3 litros, de donde se tomó una muestra para la determinación de humedad. El resto se secó a 55 °C, se molió y guardó en frascos de vidrio para el análisis químico posterior (Leege y Thompson 1997).

Procedimiento experimental

Para la realización del presente trabajo se utilizaron dos celdas de madera de 2.5 m de ancho por 2.5 m de largo y 1.5 m de alto, colocadas en un espacio techado con piso de tierra cubierto por un plástico. Al inicio del llenado de las celdas se colocó sobre el piso una capa de bagazo de agave, seguida por una de composta verde y otra de material de descarné. Después se colocaron nuevamente una capa de bagazo de agave, una capa de composta verde y otra de material de descarné. Se continuó así sucesivamente el llenado de las celdas hasta una altura aproximada de 0.7 m en donde se logró colocar una tonelada de material de descarné en cada una de las celdas. La última capa de material de descarné se cubrió por una capa de composta verde seguida por una de bagazo de agave para no dejar al descubierto la última capa de material de descarné (**Fig. 1**). Al ir poniendo las capas, se colocaron 5 sensores de temperatura en cada celda a diferentes niveles sobre el material de descarné. La temperatura fue registrada diariamente durante los primeros 14 días. El promedio de los cambios de temperatura de los 5 sensores se graficó para cada día. Des-

TABLA I. ALGUNAS CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE LOS COMPONENTES DE LA MEZCLA MATERIAL DE DESCARNE, BAGAZO DE AGAVE Y COMPOSTA VERDE

Análisis	Material de descarné	Composta verde	Bagazo de agave
Materia seca (%)	31.0	58.0	45.0
Nitrógeno (%) ¹	3.9	2.1	0.4
Cenizas (%) ¹	26.2	25.3	9.5
Carbono orgánico total (%) ¹	41.0	41.5	50.3

¹En base seca

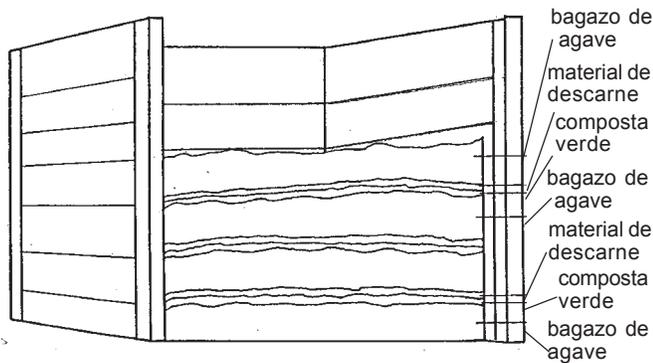


Fig. 1. Celda de madera para la degradación del material de descarte

pués de este tiempo, el contenido de cada celda fue removido con bieldos y colocado nuevamente en sus respectivas celdas formando una pila para continuar con el proceso de biodegradación por dos períodos más, uno de 98 días y otro de 42. Para el de 98 días, cada 7 días se removieron las pilas para facilitar la aireación y la disipación de calor, aprovechando la oportunidad para añadir suficiente agua para conservar el material de las pilas entre 40 y 65% de humedad. Para el período de 42 días las pilas eran removidas con los mismos propósitos, sólo que esta vez por tres períodos de 14 días cada uno. En ambos casos, al ir colocando el material en forma de pilas, se pusieron 5 sensores de temperatura en cada pila a diferentes alturas. El promedio de los cambios de temperatura de los 5 sensores se graficó para cada día. Al final del período de biodegradación de 98 días se tomaron muestras compuestas de ambas pilas para el análisis de orkormesad. También se pesó la cantidad de producto obtenido en ambas pilas. Al final de los 154 días de biodegradación, se pesó la cantidad de producto obtenido y se tomaron muestras compuestas de ambas pilas para los análisis microbiológico, químico y de fitotoxicidad.

Análisis químico

El contenido de nitrógeno total (NTK) fue determinado por el procedimiento macroKjeldahl (AOAC 1980). El contenido de humedad fue determinado secando 2 g de muestra por 24 h a los 105 °C. Para determinar cenizas, esta misma muestra se puso en una mufla a 550 °C por 2 h. El valor de pH y de la conductividad fueron determinados después de homogeneizar, por 30 min, 5 g de muestra en 50 mL de agua destilada. K, Na, Ca y Mg fueron determinados por emisión atómica (ICP por sus siglas en inglés). P total por digestión de la muestra con ácido nítrico, el método analítico fue obtenido de López y López (1990). El carbono orgánico total (COT) fue calculado mediante la siguiente ecuación (Golueke 1977):

$$\% \text{ COT} = (100 - \% \text{ cenizas}) / 1.8$$

La relación C:N fue calculada con base en el análisis anterior de carbono y al análisis de NTK.

Análisis microbiológico

Se analizó la presencia de *Escherichia coli* y coliformes totales y fecales mediante el método de número más probable de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana (NOM-143-SSA 1996). Asimismo la de *Staphylococcus aureus* y *Salmonella* sp. de acuerdo también con la Norma Oficial Mexicana (NOM-114-SSA 1994).

Análisis de fitotoxicidad

Para el análisis de germinación se colocaron 25 cm³ de producto de las pilas 1 y 2 en cajas Petri de 10 cm. Las muestras se humedecieron con agua desionizada a punto de saturación. El grupo testigo se preparó también en cajas de Petri colocando sólo papel filtro humedecido con 3 ml de agua desionizada. El experimento consistió de 10 repeticiones por tratamiento con 10 semillas de *Raphanus sativus* por caja de Petri. Las semillas se incubaron por tres días a 22 ± 1 °C y el porcentaje de germinación se calculó 3 días después de haber sembrado las cajas. Los estudios de vigor se realizaron en 3 charolas de poliestireno de 34 x 34 cm con 100 celdas (2.5 x 2.5 x 7 cm) cada una. El experimento consistió de tres tratamientos ("peat moss" y producto de las pilas 1 y 2) con 100 repeticiones por tratamiento. "Peat moss" fue utilizado como sustrato testigo. Plantas de *Raphanus sativus* con tres días de haber sido sembradas en cajas de Petri (en papel filtro y agua desionizada) se trasplantaron a charolas, donde se dejaron crecer a la intemperie y en la sombra de las 7 a las 19 h (el resto de las horas en el laboratorio) durante 10 días soleados. Después de este tiempo, se midieron el crecimiento radicular y el plumbular de las plantas, así como la cantidad de materia seca.

Análisis estadístico

Los resultados del estudio de germinación se evaluaron mediante el análisis de varianza para un diseño experimental completamente aleatorio con tres tratamientos y diez repeticiones por tratamiento con un sólo criterio de clasificación (presencia de composta) seguido por el análisis de la mínima diferencia significativa a $p \leq 0.05$. Los resultados de los estudios de vigor (crecimiento radicular y plumbular de las plantas así como la cantidad de materia seca) fueron evaluados también mediante análisis de varianza para un diseño experimental completamente aleatorio con tres tratamientos y 100 repeticiones por tratamiento y un sólo criterio de clasificación (presencia de composta) seguido por el análisis de la mínima diferencia significativa a $p \leq 0.05$ (Montgomery 1991).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Un aspecto importante en el proceso de biodegradación aerobia es añadir un agente ligero (de baja densi-

dad) que aumente la estructura porosa del material que se pretende degradar para facilitar el paso del flujo de aire. Un suministro adecuado de oxígeno le da a los organismos aerobios una ventaja competitiva sobre los anaerobios. Para degradar el material de descarte dada la disponibilidad y el costo, se consideró importante utilizar el bagazo de agave como auxiliar de la degradación para aumentar la estructura porosa del material a degradar. Para esto se seleccionó el bagazo de agave de una fábrica de tequila que cuece las cabezas de agave antes de extraer los azúcares fermentables para la fabricación de tequila. Otro aspecto importante en este tipo de biodegradación aerobia es la adición, al principio de la fermentación, de un inóculo que ayude a establecer en forma más rápida una población microbiana adecuada para la degradación del material problema. Para este propósito se consideró adecuado utilizar la composta verde o material aún no completamente estabilizado proveniente de un campo de biodegradación de intestino de cerdos (Iñiguez y Vaca 2001).

El contenido de carbono en base seca para bagazo de agave, composta verde y material de descarte fue de 50.3, 41.5 y 41.0 %, el de nitrógeno 0.4, 2.1 y 3.9 % y el de humedad 55.1, 42.1 y 69.0 %, respectivamente. La relación en base húmeda de bagazo de agave, composta verde y material de descarte fue de 60.9:33.6:100, respectivamente, teniendo con esto 60 % de humedad en la mezcla, valor dentro del intervalo 40 a 65 % recomendado por Rynk (1992) para lograr una buena y rápida biodegradación. Con la relación anterior de estos principales componentes se obtuvo una relación, calculada en base seca, de C:N de 20:1.

La **figura 2** ilustra los cambios de temperatura para el contenido de las dos celdas durante los primeros 14 días de degradación. En la pila 2 se registró un incremento mayor de temperatura que en la pila 1 debido probablemente al diferente estado de descomposición del material de descarte ya que el llenado de cada una de las celdas se hizo con 7 días de diferencia. La temperatura máxima para la primera pila fue 54.2 °C y de 61.5 °C para la segunda, con una diferencia entre pilas de 7.3 °C. Sin embargo, al final de los primeros 14 días de fermentación, al hacer el primer movimiento de las pilas con un bioldo, se pudo apreciar que el material de descarte había perdido su aspecto y consistencia original al no encontrarse ya ningún trozo.

La **figura 3** muestra los cambios de temperatura para las pilas 1 y 2 durante un siguiente período de biodegradación de 98 días. En esta figura puede apreciarse claramente por los cambios de temperatura, el tiempo en que las pilas eran removidas para ayudar a disipar el calor, facilitar la aireación y añadir agua. También en esta figura puede notarse la enorme capacidad del contenido de las pilas para alcanzar rápidamente altas temperaturas, tan sólo en 7 días antes de que las pilas

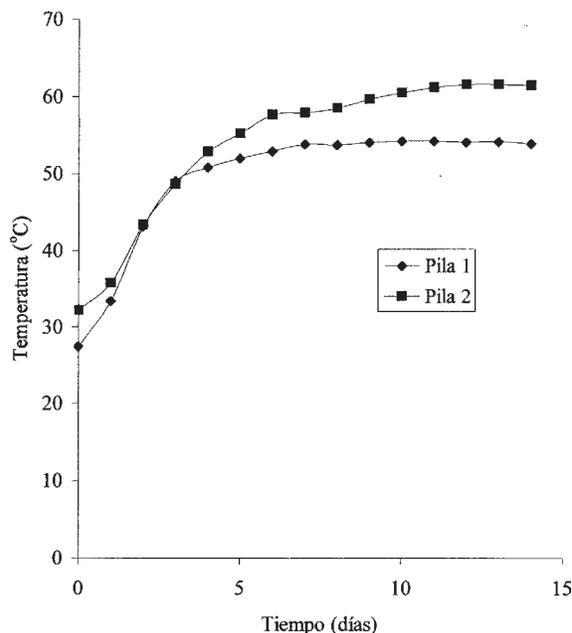


Fig. 2. Cambios de temperatura durante la biodegradación del material de descarte en un primer período de 14 días

se volvieron a remover, a pesar de que con el movimiento de las pilas y la adición de agua, las temperaturas podían disminuir hasta 33 y 34 °C. La adición de agua fue siempre la suficiente para mantener el contenido de humedad entre 40 y 65 %, intervalo recomendado por Rynk (1992) para lograr una buena y rápida biodegradación. En la **figura 3**, desde el inicio de la biodegradación (**Fig. 2**) y hasta el día 56 de la segunda etapa, los valores de temperatura de la pila 1 siempre fueron menores a los valores de la pila 2 (**Fig. 3**). Para la pila 1 la temperatura máxima (77.6 °C) se registró al día 63 de iniciada la segunda etapa de degradación, mientras que para la pila 2 la temperatura máxima (80.1 °C) se registró antes, a los 49 días. Al final de la segunda etapa de biodegradación (98 días), las temperaturas registradas para las pilas 1 y 2 fueron de 54.7 y 62.6 °C respectivamente, una diferencia de 7.9 °C. Al llegar a este tiempo de degradación (112 días en total), el material de ambas pilas adquirió un color negruzco, con olor y textura a suelo, sobre todo el material de la pila 1. Por estas características físicas se consideró inicialmente un material ya estabilizado al que se le practicaron análisis de CO₂ y NH₃ mediante la prueba colorimétrica de Solvita (Woods End Research Laboratory 1990). Por el desarrollo de color en los papeles indicadores de las concentraciones CO₂ y NH₃ en las muestras de las pilas 1 y 2, se podría deducir la completa estabilización del material de descarte; sin embargo, al realizar las pruebas de fitotoxicidad se comprobó la importancia del período de maduración o “curado” de las compostas para dejar el material listo para su aprovechamiento.

La **tabla I** presenta el efecto de los productos de las

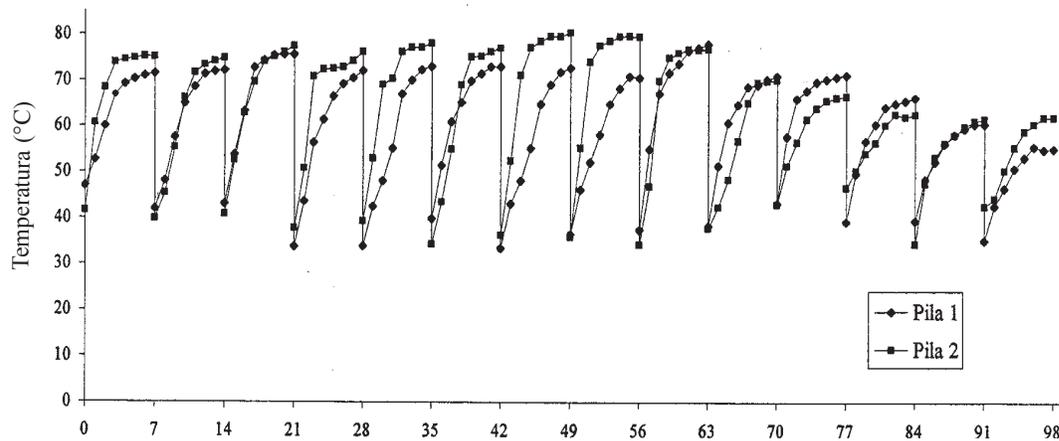


Fig. 3. Cambios de temperatura durante la biodegradación del material de descarnado en una segunda etapa de 98 días

pilas 1 y 2 después de 112 días de degradación sobre la germinación y el crecimiento plumbular y radicular de *Raphanus sativus* después de 10 días de haberse trasplantado. El porcentaje de germinación del material de las pilas 1 y 2 fue muy bajo en comparación con el testigo, sobre todo para el material de la pila 2 (95 % vs. 62 y 25 % para las pilas 1 y 2, respectivamente). Por los resultados de germinación y de vigor para los materiales de las pilas 1 y 2 en comparación con el control, puede concluirse que, para ambos materiales, era necesario continuar con el proceso de compostaje, sobre todo con el material de la pila 2, en donde sólo creció el 43 % de las plantas. La marcada diferencia entre los resultados de los componentes de las pilas 1 y 2 fue debido en parte a que los componentes de la pila 2 no estaban en el mismo grado de estabilización como los componentes de la pila 1; este grado de estabilización puede explicarse por la diferencia de 8 °C entre ambas pilas al término de 112 días de biodegradación (Fig. 3), aunque para las dos pilas las temperaturas registradas eran todavía muy altas

(54.7 °C para la pila 1 y 62.7 °C para la pila 2). Para este tiempo, la pérdida de materia seca representaba ya el 60.6 % para la pila 1 y de 57.6 % para la pila 2. La figura 4 presenta los cambios de temperatura para un tercer período de biodegradación que consistió de 28 días. Al final de este tiempo, en el material de la pila 1 se registró una temperatura de 41 °C y en el de la pila 2 una temperatura de 53 °C. Se calculó una diferencia de 13.7 °C para la pila 1 y de 9.7 °C para la pila 2 entre el final de este período y el final del período de 98 días (Fig. 3). Para este tiempo de biodegradación, la pérdida de materia seca fue de 17.8 % para la pila 1 y de 22.5 % para la pila 2, acumulando una pérdida total de materia seca desde el inicio de la biodegradación, de 67.6 % para la pila 1 y de 67.1 % para la pila 2.

La tabla II presenta los estudios de germinación y de vigor al final de estos últimos 42 días de fermentación (154 días en total). En esta tabla puede apreciarse cómo mejoró la calidad del producto de las pilas 1 y 2. No se presentaron problemas de germinación, ya que estadísticamente

TABLE I. EFECTO DE LA COMPOSTA DESPUÉS DE 112 DÍAS DE BIODEGRADACIÓN SOBRE LOS CRECIMIENTOS PLUMBULAR Y RADICULAR DE *Raphanus sativus* DESPUÉS DE 10 DÍAS DE HABERSE TRANSPLANTADO

Componente	Control	Pila 1	Pila 2
Germinación	95 % ^a	62 % ^b	25 % ^c
Plumbula (cm)	3.38 ^{1a}	2.24 ^b	ND
Radícula (cm)	5.73 ^a	6.78 ^b	ND
Relación plumbula/radícula	0.652	0.373	-----

¹Cada valor representa la media de 100 plántulas

ND, No fue posible determinarse dado que sólo creció el 43 % de las plantas

^{a,b,c} Valores en el mismo renglón con distinto superíndice son diferentes estadísticamente ($p \leq .05$) según el método de la mínima diferencia significativa.

ticamente el porcentaje de semillas de *Raphanus sativus* que emergieron fue el mismo para los tres tratamientos ($p > 0.05$). El crecimiento radicular tampoco fue afectado por el tipo de sustrato ($p > 0.05$), sólo el crecimiento plumbular fue ligeramente alterado por el material de la pila 2 (3.91 cm de longitud contra 4.53 y 4.4 cm para el testigo y el material de la pila 1), aunque la relación plumbula/radícula fue la misma para los tres tratamientos ($p > 0.05$). En términos de producción de biomasa (g de materia seca), ésta si fue favorecida ($p < 0.05$) por

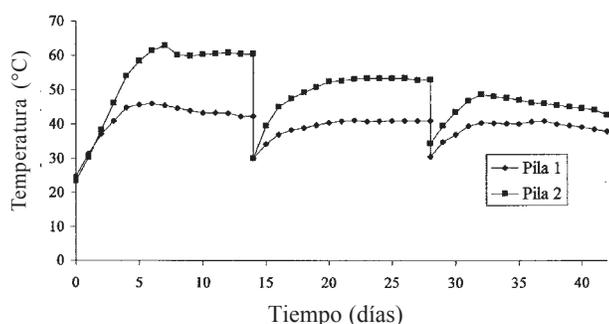


Fig. 4. Cambios de temperatura durante la biodegradación del material de descarte en el último período de 41 días

que impidieron una buena germinación de semillas y un buen desarrollo inicial de las plantas. Morel *et al.* (1985), así como Inbar *et al.* (1986), reportaron que compostas inmaduras introdujeron al suelo compuestos fitotóxicos entre los que se incluían amoníaco, óxido de etileno y ácidos grasos de bajo peso molecular, lo que provocó efectos negativos en la germinación de semillas y en el crecimiento de plantas. Tanto para las compostas de la **tabla I** como para las de la **tabla II**, la prueba de Solvita[®], había reportado bajos niveles de CO₂ y amoníaco, por lo que se consideraron estas compostas como maduras, no así al realizar las pruebas de fitotoxicidad donde se resalta la importancia de un período extra (“curado o maduración”) después de un período de biodegradación activa. El análisis de Solvita[®] es un procedimiento que determina el índice de madurez basado en el desarrollo de color en dos paletas mediante la respiración y la emisión de gas amoníaco.

La **tabla III** presenta algunas de las características físicas y químicas del producto obtenido de las pilas 1 y 2. Puede apreciarse un buen contenido de algunos elementos tales como calcio, sodio, magnesio, potasio y fósforo, útiles para que el producto de la biodegradación del material de descarte pueda ser utilizado para fines agrí-

TABLA II. EFECTO DE LA COMPOSTA DESPUÉS DE 154 DÍAS DE BIODEGRADACIÓN SOBRE LOS CRECIMIENTOS PLUMBULAR, RADICULAR Y PRODUCCIÓN DE BIOMASA DE *Raphanus sativus* DESPUÉS DE 10 DÍAS DE HABERSE TRASPLANTADO

Componente	Control	Pila 1	Pila 2
Germinación	95 ^a	90 ^a	95 ^a
Plumbula (cm) ¹	4.53 ^a	4.40 ^a	3.91 ^b
Radícula (cm)	7.65 ^a	7.46 ^a	7.04 ^a
Relación Plumbula/radícula	0.63 ^a	0.64 ^a	0.60 ^a
Biomasa (g MS)	88.1 ^a	116.5 ^b	102.1 ^c

¹Cada valor representa la media de 100 plantitas

^{a,b,c} Valores en el mismo renglón con distinto superíndice son diferentes estadísticamente ($p \leq 0.05$) según el método de la mínima diferencia significativa

los componentes de las pilas 1 y 2 en comparación con el tratamiento testigo (116.5 y 102.1 g vs. 88.1 g). De los componentes de las dos, los de la 1 resultaron mejor que los de la 2 en términos de producción de biomasa [$p < 0.05$] (116.5 g vs. 102.1 g). Ahora bien, comparando los resultados de las **tablas I** y **II** puede evidenciarse lo importante que es permitir que las pilas de composta permanezcan sin moverse, por lo menos un mes más, para permitir su maduración.

Como se aprecia en los resultados, este tiempo fue crítico para la eliminación de algunos residuos fitotóxicos

colas. El valor de pH promedio de las dos pilas fue 8.7. Uno de los aspectos importantes a resaltar en estos resultados es el cambio que hubo entre la relación C:N de las muestras. Al inicio de la biodegradación la relación C:N fue de 20:1 mientras que al final de ésta, la relación C:N fue de 10:1 y 10.3:1 para las muestras de las pilas 1 y 2 respectivamente. Usualmente la materia orgánica estable en el suelo tiene valores de C:N entre 10:1 y 15:1 (Stoffella y Kahn 2001), lo que es generalmente preferible para la mayoría de los cultivos (Rynk 1992). El promedio del contenido de cenizas para las pilas 1 y 2 fue de

56.9 % que, comparado con el 20 % que se tenía al inicio de la biorreacción, corrobora el proceso de mineralización experimentado por el material de descarte, la composta verde y el bagazo de agave. En muestras compuestas del producto final de ambas pilas, no se detectaron organismos como *Staphylococcus aureus* *Salmonella* sp. y coliformes fecales, aunque sí se encontró la presencia de *Escherichia coli*. El número más probable de coliformes fecales para las pilas 1 y 2 fue de 7 y 43 g de muestra, respectivamente.

TABLA III. ALGUNAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LA MEZCLA BIODEGRADADA (COMPOSTA) DEL MATERIAL DE DESCARNE *

Análisis	Pila 1	Pila 2
Humedad (%)	51.1	51.7
Valor de pH	8.8	8.6
Conductividad ($\mu\text{mho cm}^{-1}$)	8.0	8.5
Carbono orgánico total (COT) (% BS)	22.9	24.9
Nitrógeno total (NTK) (% BS)	2.3	2.4
Cenizas (% BS)	58.7	55.1
Relación C:N	10:1	10.3:1
Ca (% BS)	9.8	10.7
Na (% BS)	0.56	0.79
Mg (% BS)	0.47	0.71
K (% BS)	0.20	0.24
P-total (% BS)	0.71	0.65

* Promedio del análisis por triplicado de las muestras

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo de investigación conjunto fue apoyado por la Cámara Regional de la Industria de Curtiduría en Jalisco. Los autores expresan su agradecimiento al Maestro Arturo Camacho por su asistencia en el análisis estadístico.

REFERENCIAS

- Anónimo (1993). Forging a link between composting and sustainable agriculture. *Compost Sci. Utilizat.* 1, 48-51.
- AOAC (1980). Official Methods of Analysis. 12th. ed. Association of Official Analytical Chemists. Washington, D. C.
- Elwell D., Keener H. y Moeller S. (2001). Composting animal mortalities. *Biocycle*, May, 67-68.
- Georgacakis D., Tsavdaris A., Bakouli J. y Symeonidis S. (1996). Composting solid swine manure and lignite mixtures with selected plant residues. *Biores. Technol.* 56, 195-200.
- Golueke C. G. (1977). Biological processing: composting and hydrolysis. En: Handbook of solid waste management (D. G. Wilson, Ed.). van Norstrand Reinhold, Nueva York, pp. 197-225.
- Golueke C. G. y Díaz L. F. (1996). Historical review of composting and its role in municipal waste management. En: *The science of composting*, Part 1. (M. de Bertoldi, P. Sequi, B. Lemmes T. Papi, Eds.) Blackie, Glasgow, pp. 3-14.
- Inbar Y., Chen Y., Hader Y. y Saviozzi A. (1986). Organic matter and nutrients in fresh and mature farmyard manure. *Agric. Wastes* 16, 225-36.
- Íñiguez-C. G. y Vaca-L. P. (2001). Utilización de subproductos de la industria tequilera. Parte 4. Biodegradación del intestino grueso de cerdos con bagazo de agave húmedo. *Rev. Int. Contam. Ambient.* 17, 109-116.
- Lau A. K., Lo K. V., Liao P. H. y Yu J. C. (1992). Aeration experiments for swine waste composting. *Biores. Technol.* 41, 145-152.
- Leege P. B. y Thomson W. H. (Eds.). (1997). Test methods for the examination of composting and compost. (Online). Available at <http://www.edaphos.com>. Verified July 15, 1999. U.S. Composting Council. Ambest. Ohio.
- Liao P. H., Vizcarra A. T., Chen A. y Lo K. V. (1993). Composting separated solids swine manure. *J. Environ. Sci. Health A28*, 1889-1901.
- López R. J. y López M. J. (1990). *El diagnóstico de suelos y plantas. Métodos de campo y laboratorio*. 4a. ed. Mundi-Prensa; Madrid, pp. 115-116.
- Maynard A. A. (1994). Seventy years of research on waste composting and utilization at the Connecticut Agricultural Experimental Station. *Compost Sci. Utilizat.* 2, 213-221.
- Montgomery D. C. 1991. Design and analysis of experiments. Wiley, New York.
- Morel J. L., Colin F., Germon J. C., Godin P. y Juste C. (1985). Methods for the evaluation of the maturity of municipal refuse compost. En: *Composting of agricultural and other wastes* (J. K. R. Gasser Ed.). Elsevier Applied Science, Oxford.
- NOM-052-ECOL (1993). Norma Oficial Mexicana. *Diario Oficial*. 2 de julio, México, D.F.
- NOM-114-SSA (1994). Norma Oficial Mexicana. *Diario Oficial*. 22 de septiembre, México, D. F.
- NOM-143-SSA (1996). Norma Oficial Mexicana. *Diario Oficial*. 19 de septiembre, México, D. F.
- Ockerman H. W. y Hansen C. L. (1988). *Animal by-product processing*. Hide and skin by-products. Ellis Horwood, Chichester/VCH Verlagsgesellschaft, Weinheim, pp. 89-131.
- Rynk R. (Ed.). (1992). *On-farm composting handbook*, Northeast Regional Agricultural Engineering Service, publication 54, Ithaca NY, [Online]. Disponible en : <http://www.cfe.cornell.edu/compost/OnFarmHandbook/coverpg.html>
- Sims J. T. (1994). Animal waste management. En: *Encyclopedia of agricultural science* (C. J. Arntzen y E. M. Ritter, Eds.). Academic Press, Nueva York, Vol. 1, pp. 185-202.
- Stanford K., Larney F. J., Olson A. F., Yanke L. J. y McKenzie R. H. (2000). Composting as a means of disposal of sheep mortalities. *Compost Sci. Utilizat.* 8, 135-146.

Stoffella P. J. y Kahn B. A. (2001). *Compost utilization in horticultural cropping systems*. Lewis Publishers. CRC Press LLC. Boca Raton, Florida, 111 p.

Vidussi F. y Rynk R. (2001). Meat byproducts as composting feedstocks. *BioCycle*, March, 71-74.

Woods End Research Laboratory (1990). Guide to Solvita™ Testing for compost maturity index. [Online] Available at <http://www.woodsendlab.org>. Verified June 30, 1999. Woods End Research Laboratory. Mt. Vernon, Maine.