



UNIVERSITAT DE BARCELONA



Departamento de Ingeniería Química
Facultad de Química
Martí i Franquès, 1, 6^a planta
08028 Barcelona

EVALUACIÓN DE DIFERENTES MODELOS DE COMPOSTADORS DOMÉSTICOS

Dra. Elisabet Rudé y Payró
Prof. Titular del Departamento de Ingeniería Química
Tel. 93.403.48.51; e-mail: elisabet.rude@ub.edu

Dr. Ricard Torres Castillo
Prof. Titular del Departamento de Ingeniería Química
Tel. 93.403.40.99; e-mail: rtorres@ub.edu

Barcelona, febrero de 2008

Coordinación:

Proyecto subvencionado (90%) por:



Àrea metropolitana de Barcelona
Entitat del medi ambient



Agència de
Residus de
Catalunya



Generalitat de Catalunya
Departament de Medi Ambient
i Habitatge

Los resultados de experiencias piloto realizadas en compostaje a pequeña escala, en Cataluñaⁱ, pronostican un crecimiento de estos sistemas de tratamiento de residuos. Verter es cada día más caro; de manera que compostar en el domicilio es un buen sistema de ahorro para el ayuntamiento y para el ciudadano. De hecho, compostar la fracción orgánica de los RM (FORM) en el domicilio, no sólo ahorra el canon de vertido, sino que también ahorra transporte, contenedores en la vía pública, operaciones de selección, y la energía y la contaminación que se deriva de ello. Por tanto, el compostaje a pequeña escala representa una gestión más sostenible de los residuos y contribuye a alcanzar las metas de la Directiva 1999/31/CE, relativa al vertido de residuosⁱⁱ.

Para que este tipo de actuaciones se extienda de manera considerable a todo el territorio catalán, se ha de pensar en una metodología de compostaje donde la participación del usuario sea la mínima posible (esto no excluye que el usuario interesado en el tema pueda tener una participación más activa). Se trata de plantear un sistema en el que usuario tire la FORM en un contenedor que tiene él mismo, llamado compostador, en vez de tirarla al contenedor tradicional, que le queda más lejos.

Aunque hay muchos estudios sobre el compostaje a escala industrial, todavía no hay estudios técnicos o científicos que permitan optimizar y divulgar la funcionalidad del compostaje en el ámbito doméstico. Es por ello que, antes de favorecer la extensión del compostaje doméstico, se plantea un estudio para analizar y comparar diferentes sistemas de compostaje doméstico.

Este estudio ha sido coordinado por los doctores, por la Universidad de Barcelona (UB), Elisabet Rudé y Payró y Ricard Torres Castillo, profesores titulares del Departamento de Ingeniería Química de la Facultad de Química de la UB.

El estudio se inició el 23 de marzo de 2007 y ha tenido una duración de diez meses. La investigación se ha organizado en seis proyectos de final de carrera para las enseñanzas de Ingeniería Química (EQ) y de Ciencias Ambientales (CCAA), lo que garantiza una mínima formación de los estudiantes; éstos han sido Gemma Arroyo (CCAA), Nieves Cantalejo (CCAA), Ana Cobo (EQ), Sergio Gómez (CCAA), Alberto González (EQ) y Francesc Payà (EQ). Todos ellos han gozado de una beca, gracias al contrato establecido con la Entidad Metropolitana de Servicios Hidráulicos y Tratamiento de Residuos (EMSHTR).

ⁱ Diario electrónico *Vilaweb*: «*Sant Bartomeu del Grau Recicla, Reutilitza i Redueix*». Lunes 27/03/2006 – 14.00 h.

ⁱⁱ Directiva 1999/31/CE, de 26 de abril de 1999, relativa al vertido de residuos. *Diario Oficial de la Comunidad Europea*, de 16 de julio de 1999, núm. L182.

1. OBJETIVO

El objetivo de este trabajo consiste en analizar y comparar los diferentes modelos de compostadores comercializados en nuestro país, haciendo énfasis en la idea de que cualquier ciudadano, por inexperto que sea, pueda utilizarlos. Se ha estudiado el funcionamiento a nivel científico-técnico y a nivel de usuario doméstico.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

La base de cálculo escogida para la unidad productora FORM ha sido una *vivienda tipo* situada en el área metropolitana de Barcelona, consistente en una casa unifamiliar con 2-3 personas, un jardín de 50-100 m² de césped, y suficiente vegetación alta como para proveer el material estructurante que se necesite. Se ha escogido esta vivienda porque representa un valor medio de la zona de estudio, según datos de la Entidad Metropolitana de Servicios Hidráulicos y Tratamiento de Residuos (EMSHTR). Los cálculos, hechos a partir de los datos de la misma entidad, llevan a un valor aproximado de 1,5 kg/día de FORM para compostar en el domicilio.

Los criterios utilizados para la selección de los compostadores han sido: la disponibilidad en el mercado nacional, la sencillez de operación y el coste unitario. Los compostadores que se han elegido para llevar a cabo este estudio se presentan en la **tabla 1**. Esta tabla incluye ocho compostadores comerciales y uno diseñado expresamente para este estudio (290 C). Los compostadores comerciales son sistemas estáticos que operan con alimentación superior y extracción del compost por la parte inferior. Están diseñados para que el usuario no haya de intervenir demasiado en el proceso y, por tanto, para que no tenga que invertir tiempo en él. El sistema 290 C tiene un funcionamiento más complejo que un compostador convencional. Consta de un total de cinco bandejas y se opera de la manera siguiente: se alimenta la bandeja inferior, cuando ésta está llena, todas las bandejas suben al lugar que ocupaba la bandeja inmediatamente superior y la primera pasa a la parte inferior del compostador (en contacto con el suelo). Este procedimiento hace que siempre se alimente la bandeja de abajo del todo; mientras que el compost más maduro queda siempre en la parte superior y no se puede contaminar con los lixiviados del material fresco.

Además de estos compostadores, se ha puesto en marcha un vermicompostador comercial (140 V). El funcionamiento del compostador 140 V consiste en añadir lombrices a la bandeja inferior, que se van alimentando. Cuando esta bandeja está lo suficientemente llena, se empieza a alimentar la bandeja inmediatamente superior. En el momento en que las lombrices

consideren que han acabado el alimento de la bandeja inferior, subirán a la siguiente, hasta que acaben el alimento, y así sucesivamente hasta llegar a la bandeja superior.

Los compostadores han comenzado a operar el día 10 de abril de 2007, excepto el modelo 290 F, que se ha puesto en marcha el 9 de julio. En la **tabla 3** se resumen algunas de las características de estos compostadores.

Los compostadores se han ubicado en los campos experimentales que tiene la UB en la Facultad de Biología. Para evitar la insolación directa a los compostadores se ha sombreado una parte del terreno, tal como se ve en la **ilustración 1**.

Los compostadores se han alimentado diariamente y por igual con restos orgánicos de cocina, sin excluir ningún tipo de componente. Sólo en el caso del vermicompostador (140 V) se han eliminado del alimento la carne y el pescado, dado que las lombrices (*Eisenia foetida*) no tienen dientes. La puesta en marcha de este sistema ha consistido en inocular 4.784 gramos de lombrices con estiércol de vaca, que se han ido alimentando con 250-300 gramos diarios, valor que se ha ido aumentando o disminuyendo con la población de lombrices.

Tabla 1. Modelo e imagen de los compostadores elegidosⁱⁱⁱ

<p>200 B</p> 	<p>290 C</p> 	<p>290 F</p> 
<p>300 P</p> 	<p>370 P</p> 	<p>390 P</p> 
<p>400 P</p> 	<p>420 P</p> 	<p>450 P</p> 
		<p>140 V</p> 

Tabla 2. Vermicompostador comercial

ⁱⁱⁱ El volumen aproximado que tiene un compostador es, a menudo, el nombre que le dan los fabricantes y los distribuidores. Como en este estudio se pretende trabajar con volúmenes comparables, el nombre que se ha dado a los diferentes sistemas de compostaje no coincide con el de los fabricantes. La designación se ha hecho indicando el volumen de la caracterización y una letra que indica una característica del compostador: B = bolsa, C = cajones, F = madera (*fusta*, en catalán), P = plástico, V = vermicompostador.

Tabla 3. Parámetros más relevantes de los compostadores que se utilizarán

Denominación	Volumen real	Peso en vacío	Volumen bandeja, si procede	Material de construcción	Altura	Sección base	Extracción compost	Aireación	Precio orientativo
	(L)	(Kg)	(L)		(cm)	(cm x cm)	(núm. y tipo)		(€/unidad)
140 V	140	9,5	28	Plástico reciclado	---	50 x 50 (circular)	1 bandeja extraíble	-	200
200 B	200	0,4	-	Polietileno perforado	Variable	Variable	Total por la boca	Lateral e	10
290 C	292	5,5	73	Plástico reciclado. Fabricación propia	90	63 x 68	1 bandeja extraíble	Lateral e inferior	150
290 F	317	26,5	-	Madera	80	63 x 63	4 lados (se ha de desmontar 1 bisagra)	Lateral	175
300 P	301	10,6	-	Plástico reciclado con cámara de aire	82	67 x 67 (octogonal)	2 puertas inferiores	Lateral	150
370 P	370	25,6	-	Polietileno reciclado	80	68 x 68	1 puerta inferior	Lateral	100
390 P	394	10	-	Plástico reciclado	85	78 x 78	1 puerta inferior	Lateral	70
400 P	420	27,8	-	Plástico mixto reciclado	100	67,5 x 67,5	4 lados (se ha de desmontar 1 bisagra)	Lateral	150
420 P	423	15,5	-	Plástico	102	76 x 76	1 puerta inferior	Lateral	120



Ilustración 1. Fotografías del sistema de sombreado. A la izquierda, momento del montaje; a la derecha el sistema definitivo

Cada 15 días, aproximadamente, y sólo en la época en que ha habido, se ha alimentado césped equivalente^{iv} a una siega en la *vivienda tipo* junto con material estructurante (ramas finas), si se creía necesario. La adición de césped no se ha efectuado en el vermicompostador para evitar un aumento de la temperatura que eliminase las lombrices.

Del material que se ha añadido a cada compostador se ha tomado el peso con una báscula convencional de cocina y la composición cualitativa, pero ni se ha triturado ni se ha seleccionado. Sólo se han troceado las piezas que superaban los 10 cm, aproximadamente.

El estado del proceso se ha comprobado siguiendo cada día una serie de variables, de las que la masa del sistema es una de las más importantes, ya que facilita la reducción de materia conseguida. Esta operaron se ha efectuado por pesada con una balanza de tipo dinamómetro (ilustración 2). Además de la masa, se ha medido diariamente la altura del material y se han hecho observaciones visuales y olfativas (siempre antes de alimentar). Cada media hora se ha medido la temperatura en el centro del material del compostador y la temperatura ambiente. Y con una frecuencia semanal,



Ilustración 2. Momento del pesaje de un compostador

^{iv} Se ha de remarcar que esta cantidad de césped puede variar mucho de una vivienda a otra, ya que depende de factores como la variedad de siembra, la irrigación, la insolación o la protección del viento.

aproximadamente, se han tomado medidas de temperatura en diferentes puntos del material. De manera más esporádica, se ha medido la humedad, el pH y la conductividad. Ya en la fase final del estudio se ha determinado el grado de estabilidad del compost obtenido mediante el test de autocalentamiento.

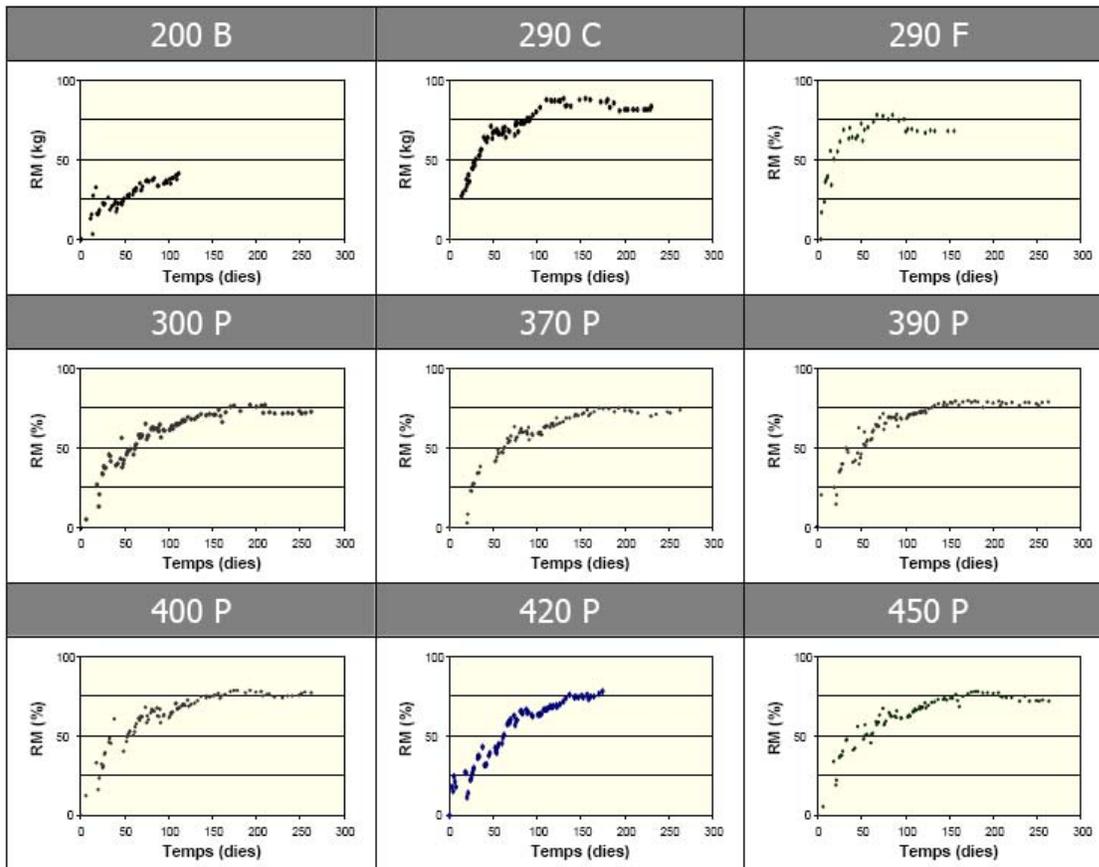
3. EVOLUCIÓN DE LOS DIFERENTES SISTEMAS

En este apartado se presentan los resultados más relevantes del estudio en cuanto a la evolución de las diferentes variables estudiadas y a la física de los compostadores (facilidad de operación, envejecimiento, duración, capacidad, flexibilidad...).

3.1. EVOLUCIÓN DE LA REDUCCIÓN DE MATERIA

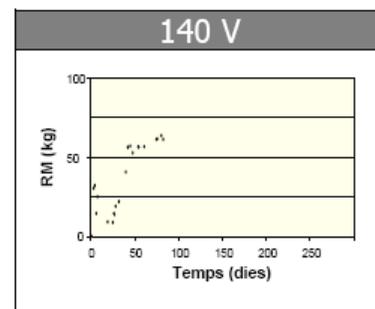
En la tabla 4 se presenta la evolución de la reducción de materia (RM) observada para los diferentes compostadores. Se puede ver que, después de dos meses de operación, prácticamente todos los compostadores han superado el 50 % de reducción de materia. Si bien se tendría que ver la evolución de un segundo año, el hecho de que el compostador 290 F consiga reducir la materia más rápidamente no se atribuye a la acción del compostador; esta degradación parece más imputable al hecho de ponerlo en marcha cuando la temperatura ambiental era más elevada (población de organismos más numerosa que comporta una mayor velocidad de degradación de la materia orgánica). En este momento, también se ha de considerar el efecto de la composición de los restos de materia orgánica (productos húmedos y fácilmente degradables como el césped, verduras, frutas, etc.).

Tabla 4. Evolución de la reducción de materia (RM) en los diferentes compostadores



Se ha de destacar la finalización prematura de los compostadores 200 B y 420 P. El compostador 200 B, en pocos días de operación ya demostró que no degrada la materia orgánica a la misma velocidad, o al menos, con el sistema de alimentación diaria que se ha utilizado en este estudio. Esto, unido al olor, al aspecto anaeróbico, a la incomodidad de tenerlo que desatar y atar cada vez que se ha de alimentar, y a su falta de estabilidad (en uso diario), ha hecho que se descartase a los 110 días de operación. En cuanto al compostador 420 P, se ha parado a los 180 días de operación, no porque se degradara, sino porque ha resultado demasiado incómodo para trabajar.

Tabla 5. Evolución de la reducción de materia (RM)



En el caso del vermicompostador 140 V se alcanza un nivel de reducción de materia inferior al de los otros compostadores (**tabla 5**), pero teniendo en cuenta el poco tiempo de funcionamiento, ya que cuando la temperatura ambiente fue elevada todas las lombrices se murieron, no se puede considerar

concluyente. Sin embargo, se puede deducir que un vermicompostador no puede ubicarse en el exterior en el verano. Por este motivo el sistema 140 V se deja al margen del estudio.

La **tabla 6** resume las variables *alimentación total alimentada* (ATA) y *materia restante en el compostador* (MRC) a 263 días y presenta la reducción de materia (RM) a 170 y 263 días. Se ha presentado esta RM a 170 días, para poder compararla con el compostador que se puso en marcha más tarde, el 290 F. En pleno verano (a 170 días, excepto el 290 F), la mayoría de los compostadores han proporcionado reducciones de materia ligeramente superiores al 75%, mientras que en invierno baja ligeramente esta reducción de materia, pero continúa estando por encima del 70%. Se ha de observar que la reducción de materia ha sido más elevada que la que se ha encontrado en la bibliografía para otros países: Iyengar y Bhave (2006^v) llegan a un 60%-70% o Jasim y Smith (2003^{vi}) consiguen una reducción de materia del 53 %.

De los valores de esta **tabla 6**, se desprende que la eliminación de materia no es un parámetro concluyente a la hora de elegir o rechazar un compostador.

Tabla 6. Comparativa de la reducción de materia en 2 plazos diferentes

COMPOSTADOR	Alimentación total acumulada *	Material restante en el compostador	Reducción de materia	
			RM a 170 días (%)	RM a 263 días (%)
140 V	21,0	8,4	60,0 (a 84 días)	
200 B	116,5	68,4	41,3 (a 110 días)	
290 C	175,0	28,3	83,6 (a 170 y 230 días)	
290 F	148,9	47,8	67,9	
300 P	273,7	71,0	74,9	74,0
370 P	273,6	77,3	76,0	71,6
390 P	288,7	62,0	79,4	78,5
400 P	281,8	64,8	77,8	77,0
420 P	200,0	42,0	79,0	
450 P	269,5	74,0	75,7	72,5

* Variables tomadas a 263 días.

^v Iyengar, S. R. and Bhave, P. P. In-vessel composting of household wastes. *Waste Management* 26. (2006) 1070-1080.

^{vi} Jasim, S. and Smith, S. R. (2003) The Practicability of Home Composting for the Management of Biodegradable Domestic Solid Waste. Final Report to The Norlands Foundation, Department of Civil and Environmental Engineering, Imperial College London, UK (revisado en el 2006).

3.2. EVOLUCIÓN DE LA ALTURA DEL MATERIAL

Para estudiar la idoneidad del volumen que se ha de utilizar se ha contabilizado, diariamente, la altura del material acumulado en los compostadores. Este parámetro sigue un patrón similar al de la masa: inicialmente se produce un aumento rápido de la altura y con el tiempo se va desacelerando. Se producen, eso sí, importantes picos cuando se añade césped acabado de cortar. La **tabla 7** recoge las alturas máximas (en cm y en % del total) que se han alcanzado con los diferentes sistemas estudiados. Se observa que, después de nueve meses de estar operando los compostadores sin haber extraído el compost acabado, la altura del material es del orden de un 60% de la altura total del compostador. Este porcentaje permite estimar que el volumen utilizado en los compostadores del estudio se ha sobredimensionado para la *vivienda tipo* elegida.

Tabla 7. Comparativa de la altura máxima alcanzada en cada compostador

COMPOSTADOR	Altura total del compostador		Altura máxima alcanzada	
	(cm)	(cm)	(cm)	(%)
140 V	—	—	—	—
200 B	—	—	—	—
290 C	—	—	—	—
290 F	80	33,0	41,3	
300 P	82	50,0	61,0	
370 P	80	46,0	57,5	
390 P	85	51,0	60,0	
400 P	100	55,5	55,5	
420 P	102	57,0	55,9	
450 P	81	41,0	50,6	

3.3. EVOLUCIÓN DE LA HUMEDAD

En la **figura 1** se presenta el porcentaje de veces (a lo largo de toda la experimentación) que cada compostador se ha encontrado demasiado seco (por debajo de un 40%), con humedad correcta (por encima del 40%) o demasiado húmedo (por encima del 60%).

La **figura 1** ha conducido a una clasificación inicial de los compostadores, según la tendencia que mantienen respecto a la humedad, en secos, correctos y mojados. A pesar de esta sencilla clasificación, mostrada en la **tabla 8**, se ha de considerar la influencia meteorológica; ésta puede hacer que, en un momento

puntual, un compostador difiera de su tendencia general. Por otro lado, el compostador 290 F, aun no estando excesivamente mojado, es el que con menos frecuencia ha dado resultados demasiado secos y, en cambio, ha resultado ser demasiado húmedo en un 40% de las mediciones; de hecho, se podría clasificar como correcto/mojado.

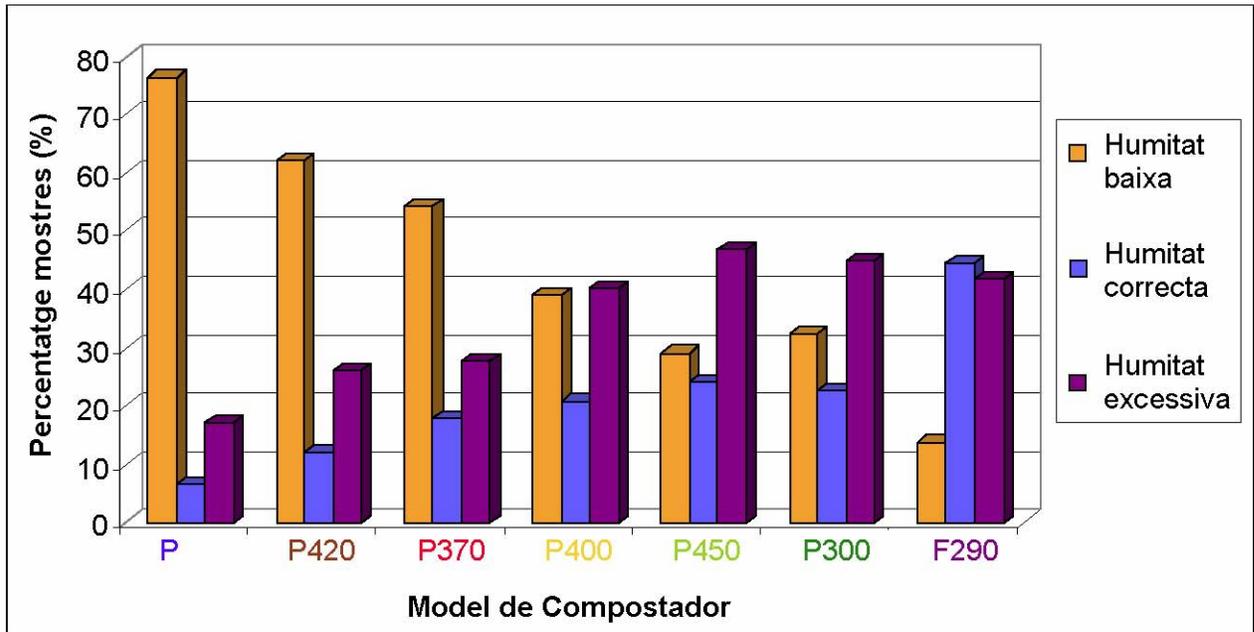


Figura 1. Porcentaje de ocasiones en que se ha encontrado un nivel bajo, normal o excesivo de humedad en cada compostador

Un aspecto común a todos los compostadores ha sido la importante diferencia entre la humedad en el centro y en el lateral para una misma sección horizontal. Esta diferencia viene determinada por la entrada de aire en los compostadores (lateral).

Tabla 8. Clasificación sinóptica de los compostadores en función de su humedad

Clasificación	Seco	Correcto	Mojado
	370 P	300 P	
Compostador	390 P	400 P	290 F
	420 P	450 P	

Cuando un compostador ha presentado exceso de humedad, se ha removido su contenido (siempre en la parte más superficial) para homogeneizar los laterales con el centro. Ahora bien, éste no ha sido un problema frecuente. Ha sido mucho más frecuente la falta de agua. En este caso se ha añadido agua al sistema. En algunas ocasiones se ha regado el suelo para que el material fuera absorbiendo la humedad cuando lo necesitara. El efecto de esta acción

parece positivo, pero se tendrá que estudiar específicamente este parámetro.

3.4. EVOLUCIÓN DE LA TEMPERATURA

El monitoreo de la temperatura en la fracción más baja del compostador, la correspondiente al primer compost que se podrá extraer, ha sido muy similar en todos los sistemas. La **figura 2** muestra los primeros días de evolución del compostador 400 P. La primera semana transcurre a temperatura ambiental en todos los compostadores, ya que la masa inicial no es significativa y el poco calor producido se escapa fácilmente del compostador. A medida que se va alimentando césped, la temperatura ya sube de manera importante a causa de su elevada biodegradación y del incremento de masa que comporta este césped. La excepción de la temperatura la constituye el compostador 200 B, que sólo ha sobrepasado los 30 °C muy esporádicamente.

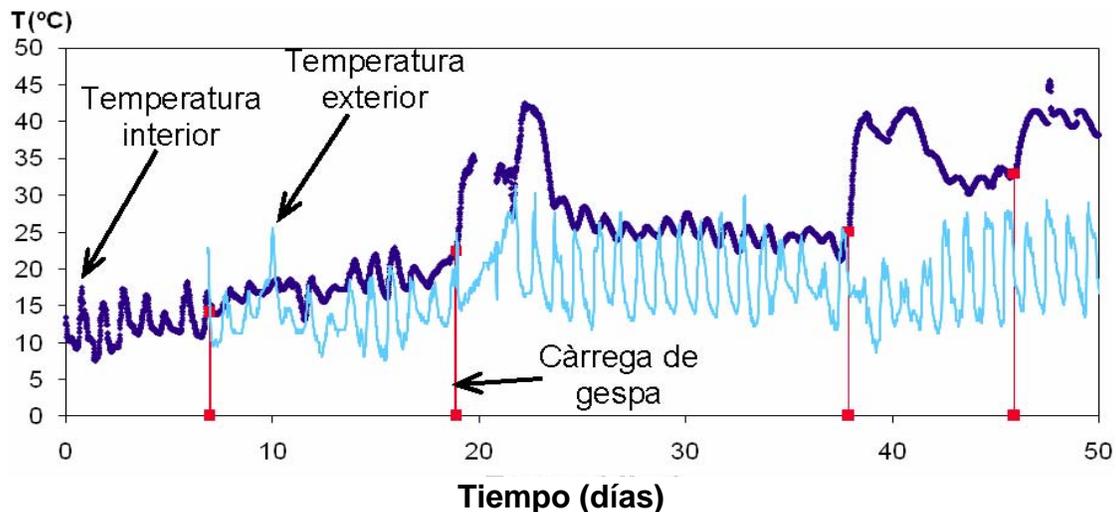


Figura 2. Primeros días de evolución de la temperatura dentro y fuera del compostador 400 P. Se indican las cargas de césped

En esta parte inferior de los compostadores la temperatura continúa en valores cercanos a los 40 °C y cada vez está menos afectada por la temperatura exterior. La temperatura ya no sube más a causa del aumento de la distancia con la zona de alta temperatura, que es donde se alimenta. De hecho, cuando ya no hay producción de césped, la temperatura del material baja de manera significativa, como puede verse en la parte final de la **figura 3**.

Esta **figura 3** presenta el perfil de temperatura a tres alturas diferentes: 1/3, 1/2 y 2/3, medidas desde abajo, para el compostador 400 P. A excepción del sistema 200 B, en el que la falta de equilibrio no permite compararlo, y del 290 C, cuyas profundidades son muy inferiores, el resto de compostadores han evolucionado de manera similar. Hay algunos aspectos que vale la pena

destacar. En primer lugar, la capa inferior no alcanza temperaturas elevadas. En segundo lugar, la temperatura de la mitad superior depende mucho de que se alimente césped; si se añade césped la temperatura puede llegar a ser muy elevada, si no se alimenta césped la temperatura baja mucho. Se ha de señalar que aunque la fracción superior llegue a temperaturas de higienización, ésta no se puede asegurar nunca con la temperatura, ya que la fracción inferior no alcanza estas temperaturas y se puede contaminar con el material fresco alimentado.

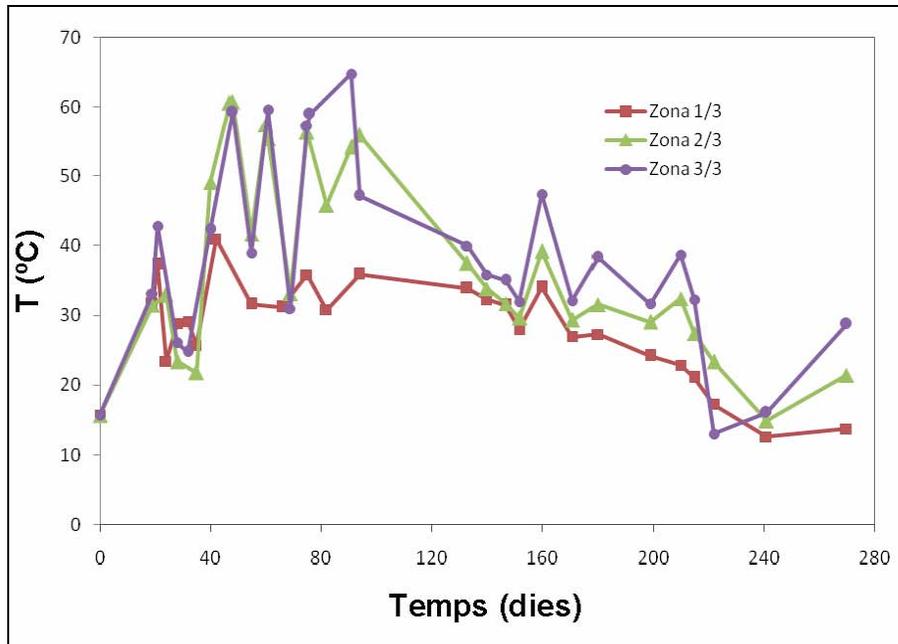


Figura 3. Evolución de la temperatura a diferentes niveles de profundidad del material para el compostador 400 P

3.5. EVOLUCIÓN DEL ASPECTO

Para la evaluación de este parámetro, se ha dividido el período en tres intervalos de tiempo correspondientes a diferentes condiciones de operación:

- a) Los tres primeros meses: en este período se ha añadido césped, pero no se ha mezclado el material, para simular el funcionamiento del proceso en el caso particular de que el usuario no se implique en el proceso de compostaje y adopte una actitud pasiva.
- b) Del cuarto al séptimo mes: se ha añadido césped y se ha removido el material con cada carga de césped, mezclándolo con el material vertido anteriormente. También se ha mezclado cuando la situación lo requería. De esta manera se ha simulado el funcionamiento del sistema en caso de que el usuario adopte una actitud activa. Este cambio de actitud comporta una evolución del aspecto diferente respecto a la observada en el período anterior, ya que no se llega

- nunca a tener tanta acumulación de residuos orgánicos.
 c) Octavo y noveno mes: no se ha añadido césped (en esta época del año no hay disponible) y se ha mezclado siempre que ha sido necesario.

Del aspecto se evalúa el estado de degradación, la heterogeneidad y homogeneidad, la coloración, la humedad superficial, el enmohecimiento, la oxidación, etc.

Tabla 9. Evolución del aspecto del material

Período		
Tres primeros meses	Del cuarto al séptimo mes	Octavo y noveno mes
Condiciones		
Temperaturas moderadas al inicio del período (16-20 °C). Más elevadas hacia el final (20-25 °C).	Temperaturas elevadas en verano (25°-30 °C), más moderadas en otoño (16-22 °C).	Temperaturas bajas (10-18 °C).
Cargas de césped quincenales.	Cargas de césped quincenales.	No se carga césped.
No se mezcla.	Se mezcla.	Mezcla más habitual.
Aspecto en superficie		
Al comenzar el ciclo sólo se observa hierba. Según pasan los días hasta la carga siguiente el material se va acumulando, se observa: - Pasta de residuos orgánicos en diferente grado de descomposición. - Material húmedo y compactado. - Creciente extensión con oxidación y enmohecimientos. La situación vuelve a iniciarse con la carga siguiente.	Apariencia similar a la del primer período por lo que respecta a los ciclos establecidos para la hierba. Ruptura de los ciclos por las mezclas puntuales que dan lugar a: - Mezcla terrosa con césped y restos orgánicos. - Material esponjoso. - Disminución de restos oxidados y de mohos.	Acumulación progresiva de material como el primer período pero con una humedad mucho más elevada. No hay ciclos por la ausencia de carga de césped. Se modifica el aspecto cada vez que se mezcla, adquiriendo el aspecto posterior a la mezcla descrito en el segundo período, pero sin restos de hierba. Igualmente, esponjoso, sin mohos, etc.
Perfil		
Alternancia de capas de restos de comida y de restos vegetales.	Homogéneo. Compost más maduro en profundidad.	Homogéneo. Compost más maduro en profundidad.
Diferencia centro – lateral		
Lateral más seco y con menos acumulación de restos de comida.	Homogeneización con la mezcla, que sólo se mantiene algunos días.	Homogéneo. No hay diferencias.

3.6. EVOLUCIÓN DE LOS OLORES

A lo largo de estos meses los olores se han reducido a cinco o seis tipologías de olores que se iban sucediendo y cambiando de intensidad según las condiciones que se daban. De nuevo se consideran los tres períodos descritos en el apartado anterior.

Los olores que se han llegado a percibir en este tiempo han sido:

- . *Hierba*: aparecía en los momentos de carga de césped y perduraba más o menos días según diversos factores, como la pérdida de humedad que se producía, si se mezclaba mucho con el material de abajo, etc. Es un olor neutro, que no es desagradable.

- . *Materia orgánica fresca*: propio del momento inmediatamente posterior a la carga de alimento.

- . *Descomposición*: fruto de varios días seguidos de carga de fracción orgánica sin mezclar. Los residuos que hay en la superficie se están degradando. Puede llegar a ser desagradable si la intensidad es elevada.

- . *Humus - Tierra*: propio de los compostadores que se han mezclado hace pocos días.

- . *Amoníaco*: indica exceso de material nitrogenado. Se asocia frecuentemente a días posteriores a la carga de césped.

- . *Putrefacción*: propio de zonas con humedad muy elevada, donde no tiene acceso el oxígeno y se dan reacciones anaeróbicas. Por su origen, no se pueden dar en superficie, por lo que se detectan al mover el material para ver su estado o al mezclar. Las lluvias y las bajas temperaturas favorecen la creación de estas zonas, así como el vertido continuado de restos de comida sin mezclar.

En la primera fase del estudio, en la que no se ha mezclado, se han observado unos ciclos en cuanto a la evolución de los olores detectados, que se daban entre cargas de césped. La **figura 4** muestra uno de estos ciclos. El tiempo cero corresponde al día en el que se ha hecho la carga de césped. Al día siguiente de la carga (día 1) predomina el olor a hierba. En los días siguientes destaca el olor a amoníaco que va variando de intensidad hasta que el día 10 comienza a percibirse un olor a descomposición. El día 15 se hace una nueva carga de césped que determina el inicio de un nuevo ciclo que, igualmente, se caracteriza por un olor a hierba durante los primeros días después de la carga. Se observan, sin embargo, ligeras diferencias respecto al período anterior: el olor a amoníaco desaparece antes y el olor a descomposición aparece antes que en el ciclo anterior y llega a ser mucho más intenso.

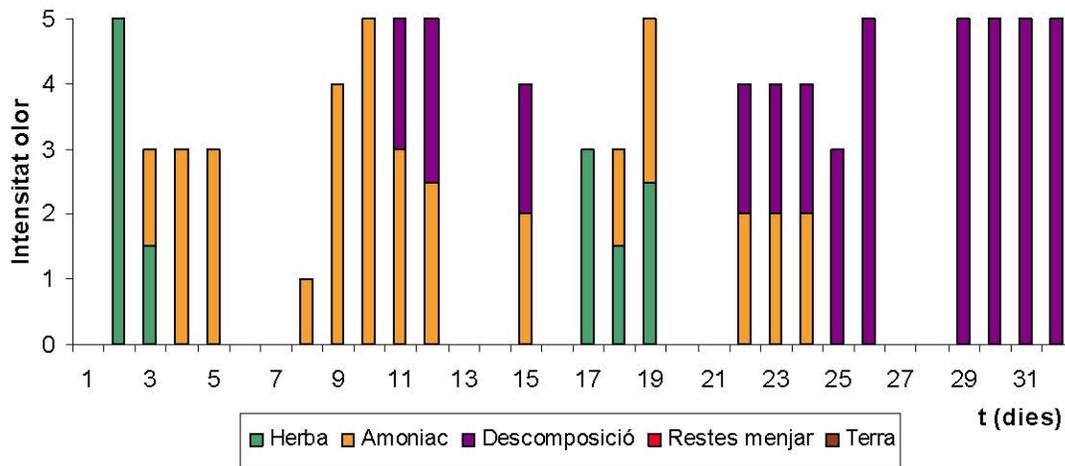


Figura 4. Evolución de los olores en los primeros tres meses de seguimiento del proceso

La **figura 5** muestra la evolución del olor en el segundo período. Como en el ejemplo anterior, se empieza con una carga de césped que determina el olor de los primeros días. Pero a partir de aquí la evolución es diferente. No hay olores amoniacaes, sino que aparecen olores a materia orgánica que, a medida que se produce la degradación de los materiales, pasan a olores de descomposición. Esta tendencia se trunca en diversas ocasiones por la agitación. Además, durante estos días se produjeron lluvias importantes, por lo que se tuvo que mezclar para reducir la humedad. La aparición de olor a tierra es siempre posterior a una mezcla, y éste acabará por dar paso de nuevo al de descomposición, si se vuelven a acumular residuos y no se remueve. El día 20 se hace otra carga de césped que marca el inicio de un nuevo ciclo muy similar al anterior. Sólo se diferencia en que, hacia los días 28 y 29, se deja de mezclar y el olor a descomposición se vuelve se percibe más.

Se ha de destacar la menor intensidad de los olores en este período respecto al de la **figura 4**. Las temperaturas exteriores eran más bajas, lo que comporta olores menos intensos, y, además, la lluvia y las mezclas atenúan considerablemente los olores fuertes.

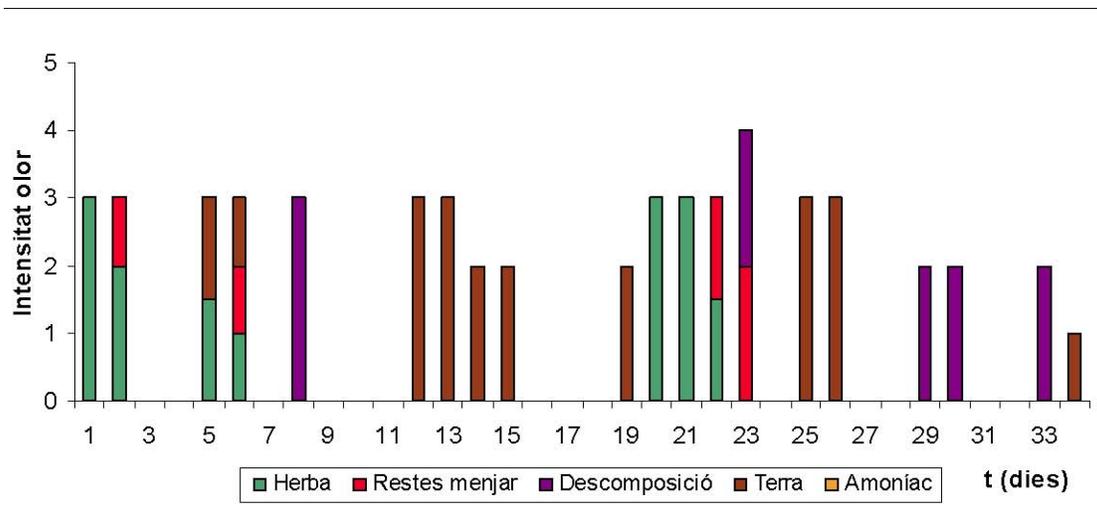


Figura 5. Evolución de los olores en el segundo período de seguimiento del proceso (carga de césped y mezcla)

Se ha de destacar que la mayoría de sistemas presentan, en el segundo mes de funcionamiento, un máximo en la atracción de insectos y generación de olores.

3.7. EVOLUCIÓN DE LOS MACROORGANISMOS

Los organismos observados en superficie en mayor cantidad han sido escarabajos, mosquitas de la fruta, moscas y hormigas. También se han podido ver, en menor cantidad: cochinillas, arañas, avispa, moscas grandes, y larvas de la mosca negra soldado y mosquitos. La elevada humedad en la base del compostador atraía a una gran cantidad de babosas y lombrices. En las paredes interiores de los compostadores había a menudo caracoles.

En la **figura 6** se muestra la evolución observada en cuanto a los cuatro macroorganismos predominantes.

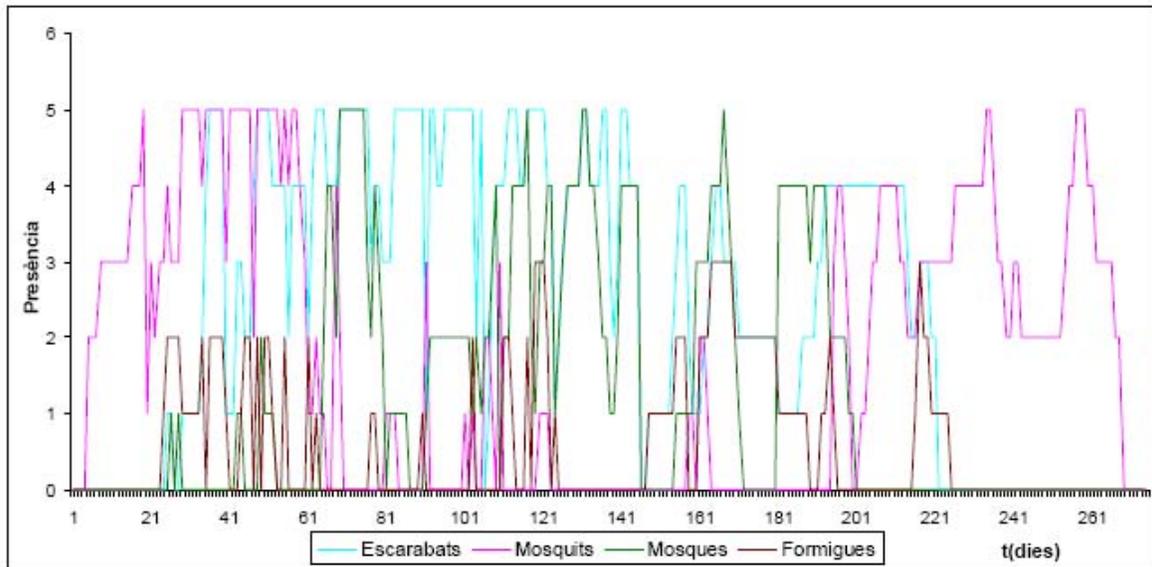


Figura 6. Evolución de los macroorganismos predominantes durante el seguimiento de los compostadores

3.8. INTERACCIONES CON EL PROCESO

A través de sencillas actuaciones se pueden modificar algunos de los parámetros que condicionan el compostaje, optimizando el proceso o resolviendo aquellos pequeños problemas que se hayan podido detectar. Las actuaciones más comunes son la mezcla y el riego.

La mezcla se ha utilizado para homogeneizar la humedad y la composición en la parte superior del material, cuando ha sido necesario (lluvias, calor intenso, compactación del material...). Esta agitación ha comportado un aumento de la temperatura y una disminución de los olores.

Cuando la temperatura ambiental ha sido muy elevada, la evaporación de agua y la aireación han provocado una disminución importante de la humedad. En este caso ha sido necesario regar y homogeneizar el material. En los casos en que el déficit de humedad no era muy grande, sólo se regó el suelo para que el material fuera absorbiendo el agua del suelo.

4. FACILIDAD DE OPERACIÓN DE LOS COMPOSTADORES

La **tabla 10** presenta las características relativas a la duración, ergonomía y otros aspectos de los compostadores que indican las dificultades e incomodidades que puede presentar la manipulación de cada uno de ellos

Tabla 10. Resumen de las características de operación de los diferentes compostadores

	200 B	290 C	290 F	300 P	370 P	390 P	400 P	420 P	450 P
Imagen									
Consistencia	Nula	Mejorable	Elevada	Elevada	Elevada	Baja	Elevada	Elevada	Elevada
Apertura de alimentación	Incómodo (hay que abrir la bolsa e intentar que quede abierta cuando se alimenta)	Buena (extracción del cajón inferior).	Buena (mejoraría con un extremo de la tapa fijado en la pared lateral)	Buena (mejoraría con las dos partes de la tapa más separadas para facilitar la agitación)	Buena (mejoraría con un extremo de la tapa fijado en la pared lateral)	Buena por medida, mala por consistencia de la junta con el compostador.	Buena (mejoraría disminuyendo el peso de la tapa)	Mala por anclaje y medida (difícil hacer mayor por pérdida de consistencia)	Buena
Altura	Buena	Buena (hacer cestas más altas)	Buena	Buena	Buena	Buena	Demasiado alto (dificultad remover).	Demasiado alto (dificultad remover).	Buena
Sistema de extracción del compost	Superior o rompiendo la bolsa (no permite extraer el material más antiguo; sólo apto para operación discontinua)	Muy simple	Simple (eje metálico que ha de encajar en orificios demasiado estrechos)	Simple (mejoraría con puertas más anchas y mejor ajuste del cierre)	Simple (mejoraría con bisagras de más calidad).	Simple (mejoraría con bisagras de más calidad).	Simple (eje plástico acabado en punta que encaja con alguna dificultad en los orificios del vértice)	Simple (mejoraría con puertas más anchas)	Simple (eje plástico demasiado grueso que ha de encajar en los orificios del vértice)
Aireación	Escaso	Excesivo	Superficie de exposición elevada en seco. Variable con la humedad y la altura	Ligeramente bajo	Correcto para trabajar a plena carga (la aireación empieza a una altura considerable)	Excesivo por la baja consistencia.	Correcto (fácilmente adaptable).	Excesivo. El cono central dificulta la agitación	Correcto (demasiado homogéneo en altura)
Autorregulación de la humedad	Ninguna (la humedad se acumula por falta de aireación)	Escasa (la humedad se acumula por falta de grueso del material)	Aceptable (la madera regula la humedad, ligera tendencia al exceso de agua)	Aceptable si se ajustan bien las puertas inferiores	Aceptable (tendencia seca)	Escasa (la humedad no se mantiene por excesiva aireación)	Aceptable (se le ha de ayudar en verano)	Escasa (la humedad no se mantiene por excesiva aireación)	Aceptable (se le ha de ayudar en verano)

4.1. NUEVO MÉTODO PARA LA ESTIMACIÓN DE LA HUMEDAD

Dado que uno de los parámetros más importante que se ha revelado en el estudio ha sido la humedad, se ha ensayado un nuevo método de estimación de este parámetro.

El método desarrollado se basa en determinar la humedad mediante la utilización de un pequeño palo de madera (el típico de las broquetas), y consiste, básicamente, en introducir el palo en el material y, por simple observación del aspecto del palo y comparación con unos patrones (como si fuera un papel indicador del pH), estimar la humedad del material.

Para la validación de este método se ha efectuado un estudio con personas de diferentes perfiles. En el estudio se entregaba un número no fijado de fotografías de palos que habían sido introducidos en un punto, de humedad conocida, de un compostador y los participantes en el estudio tenían que adivinar la humedad por comparación con unas fotografías patrón, preparadas para esta finalidad. El resultado ha dado un error entre el 5% y el 15% en el valor de la humedad estimada, que se ha considerado lo bastante satisfactorio como para utilizar este nuevo método en compostaje doméstico. Además, es más limpio y sencillo que los existentes.

5. CONCLUSIONES

- El vermicompostador (140 V) no elimina la necesidad de evacuar la basura orgánica en un domicilio, requiere un proceso largo de puesta en marcha y es demasiado vulnerable a las temperaturas veraniegas. Por eso se ha excluido de las conclusiones posteriores.
- El compostador 200 B ha demostrado no ser adecuado para el compostaje en el domicilio particular. Las razones son, básicamente, dos: la dificultad de alimentar diariamente el sistema y la dificultad para obtener condiciones aeróbicas, lo que provoca malos olores. Por estos motivos también se ha excluido de las conclusiones posteriores.

Respecto a los ocho compostadores restantes, se exponen, a continuación, las principales conclusiones de este estudio.

- El compostaje de la materia orgánica generada en una vivienda se puede hacer, con buenos resultados, en la misma vivienda, incluso con una baja dedicación por parte del usuario. Esto comporta un importante ahorro en el

transporte de los residuos.

- La presencia de componentes no recomendados por la bibliografía (carne, pescado...) no ha presentado ninguna dificultad para el buen desarrollo del proceso.
- El comportamiento general de los ocho compostadores ha sido muy similar para todas las variables. En todos se ha constatado una cierta dependencia estacional.
- En las condiciones de trabajo, de alimentación diaria, todos los compostadores han alcanzado un máximo de temperatura alrededor de los 60 °C.
- En las condiciones del trabajo se han alcanzado valores de reducción de materia de un 70%-80%. En verano se alcanzan valores más altos.
- Los resultados muestran que para la *vivienda tipo* escogida sería suficiente un compostador de 300 litros de capacidad.
- Se ha ensayado con éxito un nuevo método de estimación de la humedad.
- Todos los compostadores han evidenciado zonas más secas (cercanas a los orificios de entrada de aire) y zonas más mojadas (en el centro).
- Los invertebrados predominantes, especialmente en verano, han sido moscas de la fruta, escarabajos, hormigas y moscas.
- Se ha observado un ciclo de olores, temperaturas y humedades entre cargas sucesivas de césped.
- Las principales actuaciones que ha de hacer el usuario son, remover después de una lluvia importante y regar en épocas de calor intenso, siendo aconsejable mezclar justo después del riego para homogeneizar el material y evitar malos olores.
- Se ha demostrado que el compostador 290 C presenta un funcionamiento adecuado, pero las bandejas deberían tener el doble de su capacidad actual.
- El compost resultante ha presentado unos valores de humedad, pH, conductividad, materia orgánica, relación C/N y grado de madurez aceptables.
- El análisis visual del compost resultante demuestra una ausencia total de impropios.

6. RECOMENDACIONES

A continuación, se enumeran algunas de las recomendaciones que se derivan de este estudio.

- Continuar el monitoraje de los compostadores un segundo año para comprobar realmente como afecta la estacionalidad en el proceso.
- Hacer un seguimiento del caudal y de la concentración de oxígeno dentro de los compostadores.
- Modelizar los resultados obtenidos.
- Comparar los sistemas empleados con los compostadores llamados *Green Cone*.
- Experimentar con un diseño de compostador que permita reducir la desecación en los laterales del compostador.
- Experimentar con un diseño de compostador que permita recoger los lixiviados para hacer su seguimiento (concentración de tóxicos, caudales...).

Barcelona, a 29 de febrero de 2008

Firmado

Dra. Elisabet Rudé y Payró

Dr. Ricard Torres Castillo

Profesores titulares del Departamento de Ingeniería Química