

## EVALUACIÓN DE DIFERENTES MODELOS DE COMPOSTADORES DOMÉSTICOS<sup>1</sup>

Dra. Elisabet Rudé Payró  
Prof. Titular del Departament d'Enginyeria Química  
Tel. 93.403.48.51 [elisabet.rude@ub.edu](mailto:elisabet.rude@ub.edu)

y

Dr. Ricard Torres Castillo  
Prof. Titular del Departament d'Enginyeria Química  
Tel. 93.403.40.99 [rtorres@ub.edu](mailto:rtorres@ub.edu)

Barcelona, febrero de 2008

Coordinación:



Proyecto subvencionado (90 %) por:



<sup>1</sup> Traducido del original en catalán por Manuel Marqués.

Los resultados de experiencias piloto realizadas en compostaje a pequeña escala, en Catalunya<sup>2</sup>, pronostican un crecimiento de estos sistemas de tratamiento de residuos. Verter, cada día es más caro, de forma que compostar en el domicilio, para el ayuntamiento y para el ciudadano, es un buen sistema de ahorro. De hecho, compostar la fracción orgánica de los RM (FORM) en el domicilio, no sólo ahorra el canon de vertido, sino que ahorra transporte, contenedores en la vía pública, operaciones de selección, y la energía y contaminación que se deriva de estos. Por lo tanto, el compostaje a pequeña escala representa una gestión más sostenible de los residuos y contribuye a lograr los hitos de la Directiva 1999/31/CE, relativa al vertido de residuos<sup>3</sup>.

Para que este tipo de actuaciones se extiendan de forma considerable en todo el territorio catalán, hay que 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 el usuario deposite la FORM a un contenedor que tiene él mismo, denominado compostador, en lugar de depositarla en el contenedor tradicional, que le queda más lejos.

Aún cuando, a nivel industrial, hay bastantes estudios sobre el compostaje, a nivel doméstico, todavía no hay estudios técnicos o científicos que permitan optimizarlo y divulgar su funcionalidad. Por eso, 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 Universitat de Barcelona (UB), Elisabet Rudé 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 búsqueda se ha organizado en seis Proyectos Final de Carrera para las enseñanzas de Ingeniería Química (EQ) y de Ciencias Ambientales (CCAA), lo cual garantiza una formación mínima de los estudiantes; estos han sido Gemma Arroyo (CCAA), Nieves Cantalejo (CCAA), Ana Cobo (EQ), Sergio Gómez (CCAA), Alberto González (EQ) y Francesc Payà (EQ). Han disfrutado de una beca gracias al contrato establecido con la Entidad Metropolitana de Servicios Hidráulicos y Tratamiento de Residuos (EMSHTR).

## **1. OBJETIVO**

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

---

<sup>2</sup> Diario electrónico Vilaweb: "Sant Bartomeu del Grau Recicla, Reutilitza i Redueix." Lunes 27/03/06 14:00h

<sup>3</sup> 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.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

La base de cálculo escogida para la unidad productora de FORM ha sido una vivienda tipo sita en el Área Metropolitana de Barcelona, consistente en una casa unifamiliar con 2-3 personas, un jardín de 50-100 m<sup>2</sup> de césped, y suficiente vegetación alta como para proveer el material estructurante necesario. Se ha seleccionado esta vivienda por ser 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 establecen un valor aproximado de 1,5 Kg./día de FORM a 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 escogido para llevar a cabo este estudio se presentan en la Tabla 1. Esta tabla incluye 8 compostadores comerciales y uno diseñado expresamente para el estudio (290 C). Los compostadores comerciales son sistemas estáticos que operan con alimentación superior y extracción de compost por la parte inferior. Están diseñados para que el usuario no tenga que intervenir demasiado en el proceso y, por tanto, no necesite invertir mucho tiempo. El sistema 290 C tiene un funcionamiento más complejo que un compostador convencional. Consta de un total de 5 bandejas y se opera de la siguiente manera: se alimenta la bandeja inferior, cuando esta 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 inferior; mientras que el compost más maduro queda siempre en la parte superior y no se pueda contaminar con los lixiviados del material fresco.

Además de estos compostadores, se ha puesto en marcha un vermicompostador comercial (140 V). El funcionamiento del vermicompostador 140 V consiste en añadir gusanos a la bandeja inferior que se van alimentando. Cuando esta bandeja está suficientemente llena, se empieza a alimentar la bandeja inmediatamente superior. En el momento en que los gusanos consideran 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 empezado a operar el día 10 de abril de 2007, salvo 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 la UB tiene en la Facultad de Biología. Para evitar la insolación directa en los compostadores, se ha sombreado una parte del terreno tal y 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 ha eliminado del alimento la carne y el pescado, dado que los gusanos (*Eisenia Foetida*) no tienen dientes. La puesta marcha de este sistema ha consistido en inocular 4.784 g de gusanos con estiércol de vaca, que se han ido alimentando con 250 – 300 g diarios, valor que se ha aumentado o disminuido con la población de gusanos.

**Tabla 1.** Modelo e imagen de los compostadores estudiados<sup>4</sup>

200 B	290 C	290 F
		
300 P	370 P	390 P
		
400 P	420 P	450 P
		

**Tabla 2.** Vermicompostador comercial.



<sup>4</sup> El volumen aproximado que tiene un compostador es, a menudo, el nombre que le dan los fabricantes y 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 realizado indicando el volumen de la caracterización y una letra que indica una característica del compostador: B = bolsa, C = cajones, F = madera, P = plástico, V = Vermicompostador.

**Tabla 3.** Parámetros más relevantes de los compostadores a utilizar.

Denominación	Volumen real (L)	Peso vacío (Kg.)	Volumen bandeja si procede (L)	Material de construcción	Altura (cm.)	Sección base (cm.xcm.)	Extracción compost (número y tipo)	Aireación	Precio orientativo (€/unidad)
140 V	140	9,5	28	Plástico reciclado	---	50×50 (circular)	1 bandeja extraíble	-	200
200 B	200	0,4	-	Poliétileno perforado	variable	variable	Total por la boca	Lateral	10
290 C	292	5,5	73	Plástico reciclado Fabricación propia	90	63×68	1 bandeja extraíble	Lateral y inferior	150
290 F	317	26,5	-	Madera	80	63×63	4 lados (desmontar 1 bisagra)	Lateral	175
300 P	301	10,6	-	Plástico reciclado con cámara de aire	82	67×67 (octogonal)	2 puertas inferiores	Lateral	150
370 P	370	25,6	-	Poliétileno reciclado	80	68×68	1 porta inferior	Lateral	100
390 P	394	10	-	Plástico reciclado	85	78×78	1 puerta inferior	Lateral	70
400 P	420	27,8	-	Plástico mixto reciclado	100	67,5×67,5	4 lados (desmontar 1 bisagra)	Lateral	150
420 P	423	15,5	-	Plástico	102	76×76	1 puerta inferior	Inferior	120
450 P	450	15,9	-	Plástico reciclado	81	67×67 (octogonal)	4 lados (desmontar 1 bisagra)	Lateral	150



**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, el equivalente<sup>5</sup> a una siega de la vivienda tipo, junto con material estructurante (ramas pequeñas), si se creía necesario. La adición de césped no se ha efectuado en el vermicompostador para evitar un aumento en la temperatura que podría eliminar los gusanos.

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

El estado del proceso se ha comprobado siguiendo, cada día, una serie de variables, de las cuales la masa del sistema es una de las más importantes porque proporciona la reducción de materia conseguida. Esta operación se ha efectuado por pesaje con una balanza del tipo dinamómetro (Ilustración 2). Además de la masa, se ha medido, diariamente, la altura del material, y se han realizado 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, aproximadamente, se han tomado medidas de temperatura en diferentes puntos del material. De forma 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.

---

<sup>5</sup> Esta cantidad de césped puede variar mucho de una vivienda a otra ya que depende de factores como la variedad sembrada, la irrigación, la insolación o la protección del viento.



**Ilustración 2.** Momento del pesaje de un compostador.

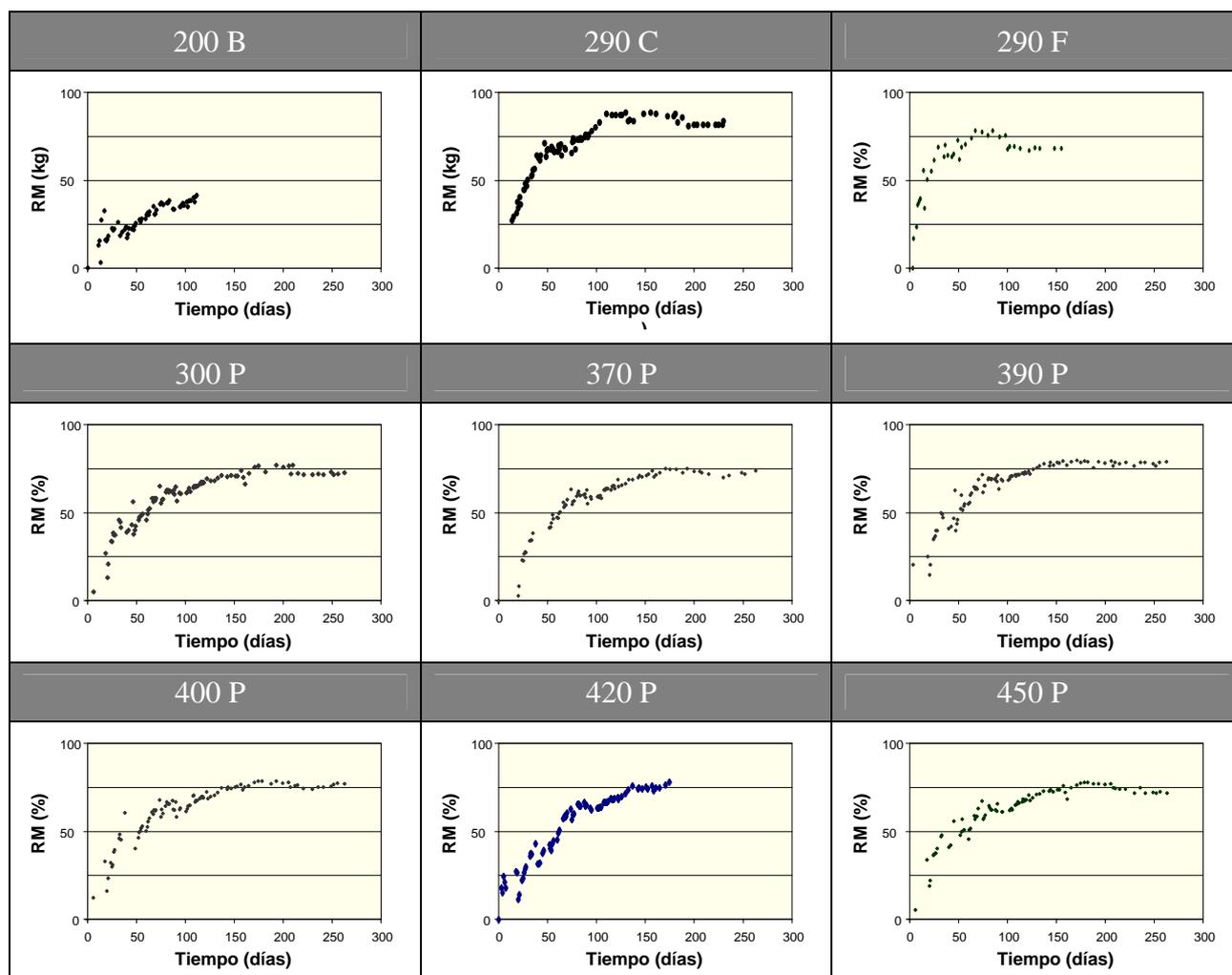
### **3. EVOLUCIÓN DE LOS DIFERENTES SISTEMAS**

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**

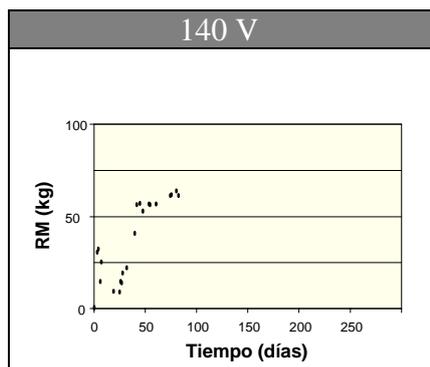
En la Tabla 4 se presenta la evolución de la reducción de materia (RM) observada en los diferentes compostadores. Se puede ver que, tras 2 meses de operación, prácticamente todos los compostadores han superado el 50 % de reducción de materia. Aún cuando sería necesario ver la evolución un segundo año, el hecho 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 superior velocidad de degradación de la materia orgánica). En este momento, también hay que considerar el efecto de la composición de los restos de materia orgánica (productos húmedos y fácilmente degradables como césped, verduras, frutas, etc.).

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



Cabe destacar la finalización prematura de los compostadores 200 B y 420 P. El compostador 200 B en pocos días de operación ya demuestra que no degrada la materia orgánica a la misma velocidad; cuando 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 la su falta de estabilidad (en uso diario), ha hecho que se descartara a los 110 días de operación. Con respecto al compostador 420 P se ha parado a los 180 días de operación, no porque no degradara, sino porque ha resultado demasiado incómodo para trabajar.

**Tabla 5.** Evolución de la reducción de la materia (RM) en el vermicompostador



En el caso del vermicompostador 140 V se logra un nivel de reducción de materia inferior al de los compostadores (Tabla 5); pero, atendido el poco tiempo de funcionamiento, debido a que cuando la temperatura ambiente fue elevada, todos los gusanos murieron, no se puede considerar concluyente. Se puede deducir, no obstante que, en verano, un vermicompostador no se puede ubicar en el exterior. 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 al 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 poderla comparar con el compostador que se puso en marcha más tarde, el 290 F. En pleno verano (a 170 días, salvo el 290 F), la mayoría de los compostadores proporcionaron reducciones de materia ligeramente superiores al 75 %; mientras que, en invierno baja ligeramente esta reducción de materia, pero continúa estando por encima del 70 %. Hay que observar que la reducción de materia ha sido más elevada de la que se ha encontrado en la bibliografía por otros países; así Iyengar y Bhave (2006<sup>6</sup>) llegan a un 60 – 70 %, o Jasim y Smith (2003<sup>7</sup>) 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 seleccionar o rechazar un compostador

<sup>6</sup> Iyengar, S. R. and Bhave, P. P.. In-vessel composting of household wastes. *Waste Management* 26. (2006) 1070-1080.

<sup>7</sup> 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 2006).

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

COMPOSTADOR	Alimentación total acumulada* ATA (Kg.)	Materia resultante en el compostador* MRC (Kg.)	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 i 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 recogidas a los 263 días.

### 3.2. EVOLUCIÓN DE LA ALTURA DEL MATERIAL

Para estudiar la idoneidad del volumen a utilizar, se ha contabilizado, diariamente, la altura de material acumulada 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, esto si, importantes picos cuando se añade el césped acabado de segar. La Tabla 7 recoge las alturas máximas (en cm y en % del total) que han logrado los diferentes sistemas estudiados. Se observa que, tras 9 meses de operar los compostadores sin haber extraído composts 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 ha sido sobredimensionado para la vivienda tipo escogida.

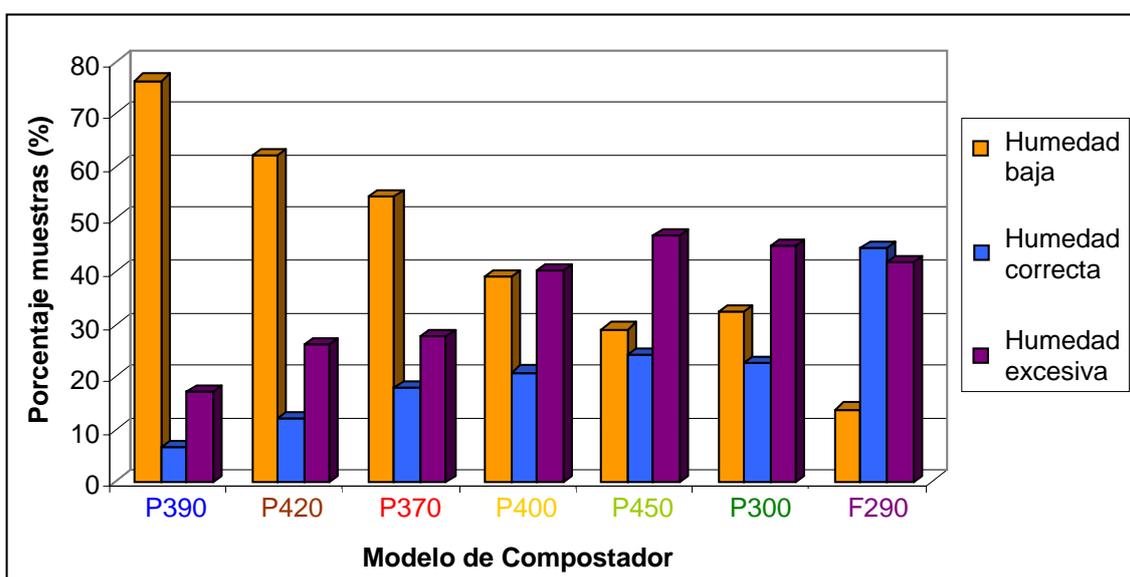
**Tabla 7.** Comparativa de la altura máxima alcanzada en cada compostador.

COMPOSTADOR	Atura total del compostador (cm)	Altura máxima conseguida	
		(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 ocasiones (a lo largo de toda la experimentación) en que cada uno de los compostadores se ha encontrado demasiado seco (por debajo de un 40 %), humedad correcta (entre un 40 % y un 60 %) 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 de la humedad, en secos, correctos y húmedos. A pesar de esta sencilla clasificación, mostrada en la Tabla 8, se debe considerar la influencia meteorológica; esta puede hacer que, en un momento puntual, un compostador difiera de su tendencia general. Por otro lado, el compostador 290 F, a pesar de no ser excesivamente húmedo, es el compostador que con menos frecuencia ha dado resultados demasiados secos y, en cambio, ha resultado ser demasiado húmedo en un 40 % de las medidas; de hecho se podría clasificar como correcto/húmedo.



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

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

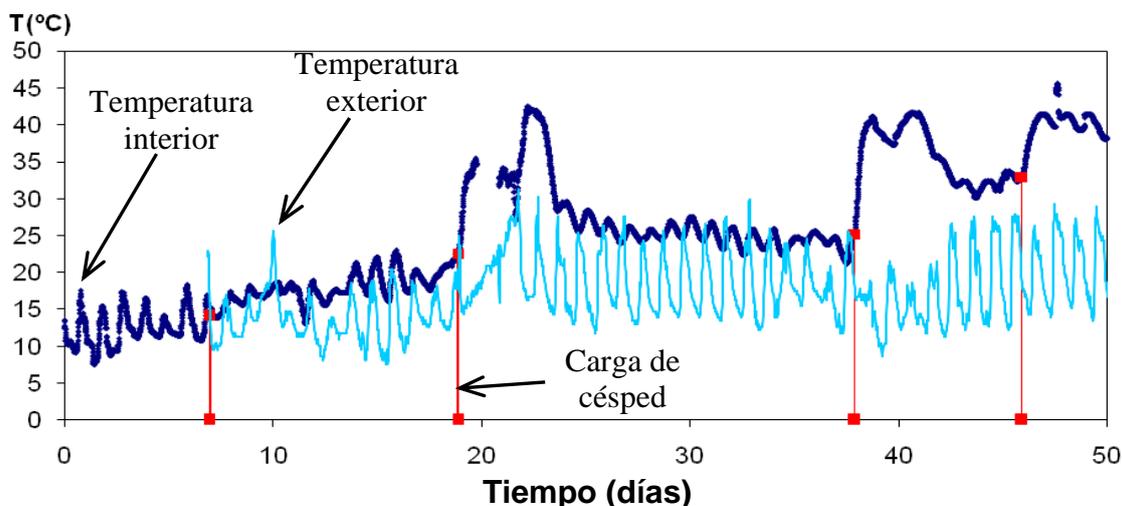
**Tabla 8.** Clasificación sinóptica de los compostadores en función de su humedad

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 a los compostadores (lateral).

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, este no ha sido un problema frecuente. Ha sido mucho más frecuente la carencia de agua. En este caso se ha añadido agua al sistema. En algunas ocasiones se ha regado la tierra para que el material fuera absorbiendo la humedad cuando lo necesitara. Los efectos de esta acción parecen positivos pero haría falta estudiar específicamente este parámetro.

### 3.4. EVOLUCIÓN DE LA TEMPERATURA

La monitorización 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, debido a que la masa inicial no es significativa y el poco calor producido escapa fácilmente del compostador. Tal y como se va alimentando césped, la temperatura de los compostadores va subiendo; de hecho al cabo de pocas horas de alimentar el césped, la temperatura ya sube de forma importante por su elevada biodegradación y por el incremento de masa que supone este césped. La excepción de la temperatura la constituye el compostador 200 B, que sólo ha pasado de 30 °C de forma muy esporádica.

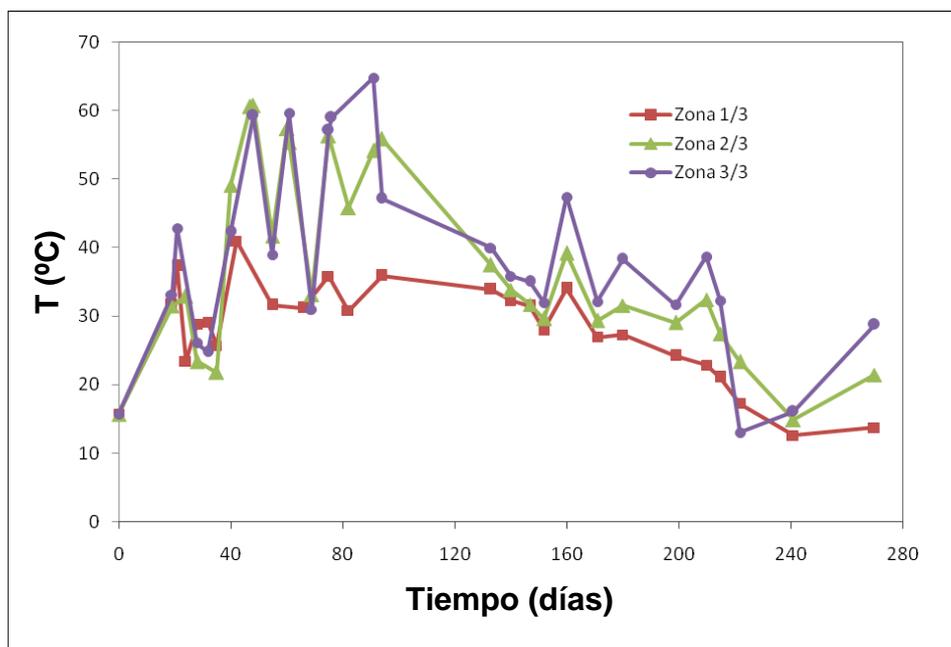


**Figura 2.** Primeros días de evolución de la temperatura dentro y fuera del compostador 400 P. Se indican las cargas de césped.

En esta parte inferior de los compostadores la temperatura continúa en valores próximos a los 40 °C y cada vez está menos afectada por la temperatura exterior. La temperatura ya no sube más debido al aumento de la distancia con la zona de alta temperatura, que es dónde se alimenta. De hecho, cuando ya no hay producción de césped, la temperatura del material baja de forma significativa como se puede ver en la parte final de la Figura 3.

Esta Figura 3 presenta el perfil de temperatura en tres alturas diferentes: 1/3, 1/2 y 2/3 medidas desde abajo, para el compostador 400 P. Menos en el sistema 200 B, en el que la falta de equilibrio no permite compararlo, y del 290 C, en el cual los niveles son mucho

menores, el resto de compostadores ha evolucionado de una forma similar. Hay algunos aspectos que vale la pena destacar. En primer lugar, la capa inferior no logra temperaturas elevadas. En segundo lugar, la temperatura de mitad superior depende mucho de que se alimente césped; si se añade césped la temperatura puede llegar a ser bastante elevada, si no se alimenta césped la temperatura baja mucho. Es preciso resaltar que aunque la fracción superior llegue a temperaturas de higienización no se puede garantizar únicamente con la temperatura, ya que la fracción inferior no las alcanza y se puede contaminar con el material fresco alimentado.



**Figura 3.** Evolución de la temperatura en 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 periodo en tres intervalos de tiempos correspondientes a diferentes condiciones de operación:

a) Los tres primeros meses: En este periodo 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 adicionado césped y se ha mezclado el material con cada carga de césped, mezclándola con el material depositado 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 periodo anterior, puesto que no se llega nunca a tener tanta acumulación de residuos orgánicos.

c) Octavo y noveno mes: No se ha adicionado césped (en esta época del año no se dispone) y se ha mezclado siempre que ha sido necesario.

Del aspecto se evalúa el estado de degradación, heterogeneidad / homogeneidad, coloración, la humedad superficial, los mohos, la oxidación, etc.

**Tabla 9.** Evolución del aspecto del material.

<b>Periodo</b>		
<b>Tres primeros meses</b>	<b>Del cuarto al séptimo mes</b>	<b>Octavo y noveno mes</b>
<b>Condiciones</b>		
Temperaturas moderadas al inicio del periodo (16-20°C). Más elevadas hacia el final (20-25°C). Cargas de césped quincenales. No se mezcla.	Temperaturas elevadas en verano (25°-30°C), más moderadas en otoño (16-22°C). Cargas de césped quincenales. Se mezcla.	Temperaturas bajas (10-18°C). No se carga césped. Mezcla más habitual.
<b>Aspecto en superficie</b>		
Al comenzar el ciclo sólo se observa hierba. A medida que pasan los días hasta la siguiente carga 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 enmohecimiento. La situación vuelve a iniciarse con la siguiente carga.	Apariencia similar a la del primer periodo en referencia a los ciclos establecidos por la hierba. Ruptura de los ciclos por las mezclas puntuales que dan lugar a: - Mezcla de aspecto terroso con césped y restos orgánicos. - Material esponjoso. - Disminución restos oxidados y con enmohecimiento.	Acumulación progresiva de material como el primer periodo 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 descrita en el segundo periodo pero sin restos de hierba. Igualmente, esponjoso, sin enmohecimiento, etc.
<b>Perfil</b>		
Alternancia de capas de restos de comida y restos vegetales.	Homogéneo. Compost más maduro en profundidad.	Homogéneo. Compost más maduro en profundidad.
<b>Diferencia centro – lateral</b>		
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

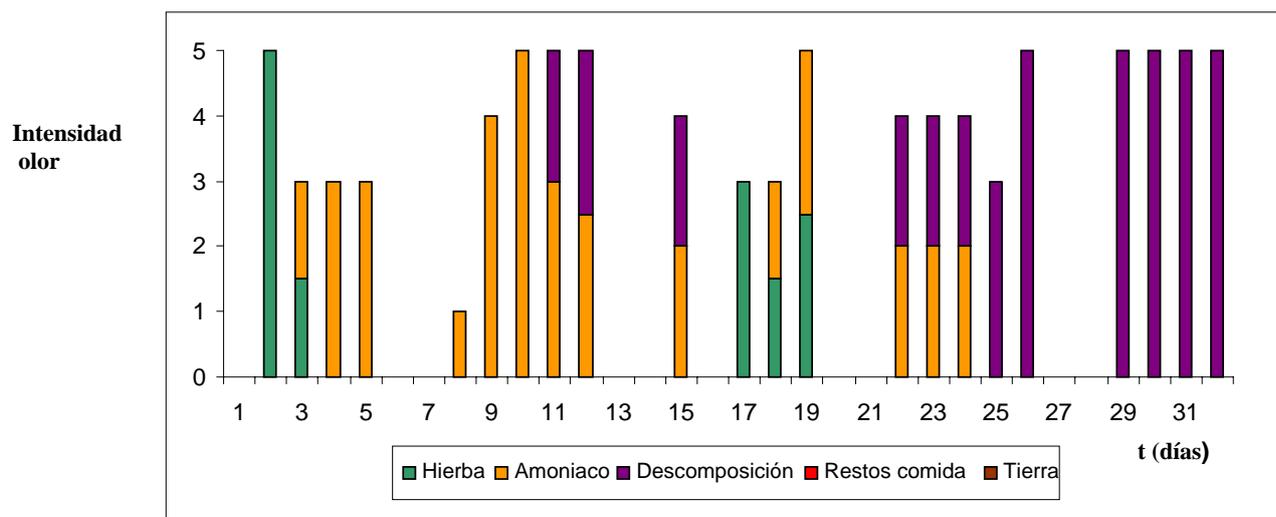
A lo largo de estos meses los olores se han reducido a cinco o seis tipologías que se iban sucediendo y cambiando de intensidad según las condiciones que se daban. De nuevo se consideran los tres periodos descritos en el apartado anterior.

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 varios factores, como la pérdida de humedad que había, si se mezclaba mucho con el material de debajo, etc. Es un olor neutro, que no es desagradable
- **Materia orgánica fresca:** Propio del momento inmediatamente posterior de la carga de alimento.

- Descomposición: Fruto de varios días seguidos de carga de fracción orgánica sin mezclar. Los residuos que hay en 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.
- Amoniaco: 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 llega 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 cocina sin mezclar.

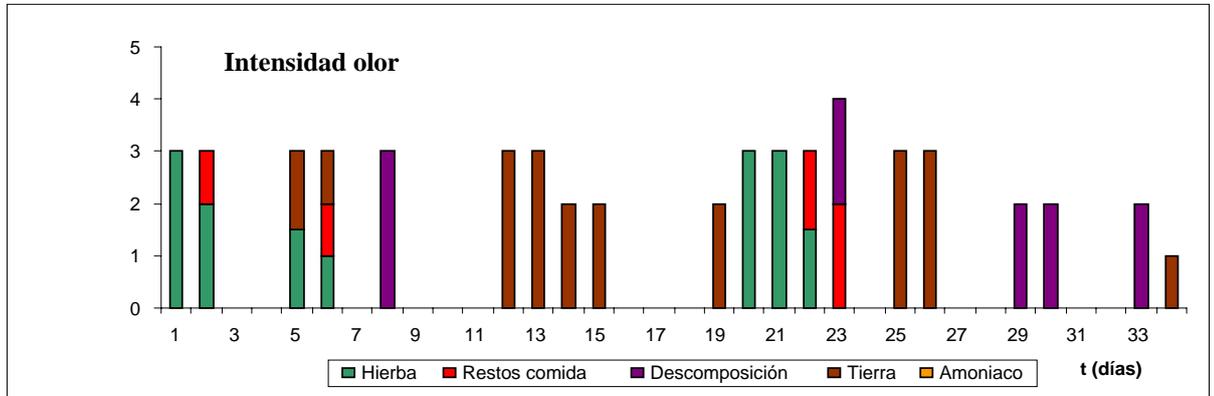
En la primera fase del estudio, en que no se ha mezclado, se ha observado unos ciclos en cuanto a la evolución de los olores detectados, que se daban entre cargas de césped. La Figura 4 muestra uno de estos ciclos. El tiempo cero corresponde al día en que se ha hecho la carga de césped. Al día siguiente de la carga (día1) predomina el olor a hierba. En los días siguientes destaca el olor a amoniaco que va variando su intensidad hasta el día 10 en que se empieza a percibir olor a descomposición. El día 15 se hace una nueva carga de césped que determina el inicio de un nuevo ciclo que se caracteriza igualmente por un olor de hierba durante los primeros días tras la carga. Se observan, no obstante, ligeras diferencias respecto al periodo anterior: el olor a amoniaco 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 periodo. 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 amoniacales, sino que aparecen olores de materia orgánica que, a medida que se da la degradación de los materiales, pasan a olores de descomposición. Esta tendencia se encuentra truncada en varias 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 del olor a tierra es siempre posterior a una mezcla, y este acabará por dar paso de nuevo al de descomposición si se vuelve a dar acumulación de residuos y no se mezcla. El día 20 se da 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 hace más notable.

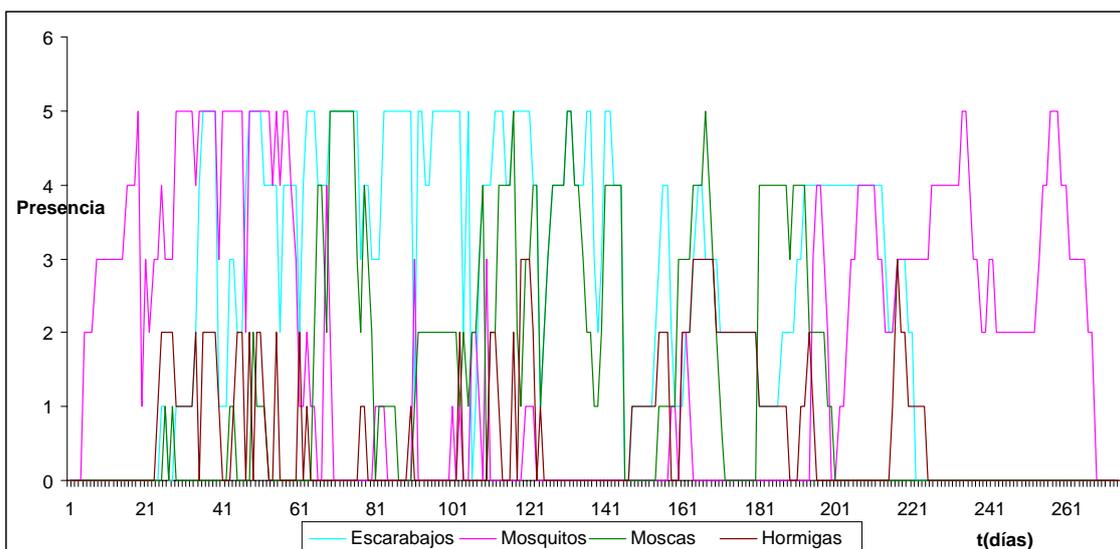
Es necesario destacar la menor intensidad de los olores en este periodo respecto al de la Figura 4. Las temperaturas exteriores eran más bajas, las cuales se asocian a olores menos intensos, y además la lluvia y las mezclas atenúan notablemente los olores fuertes. La mayoría de sistemas presentan, en el segundo mes de funcionamiento, un máximo en la atracción de insectos y generación de olores.



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

### 3.7. EVOLUCIÓN DE LOS MACROORGANISMOS

Los organismos observados en mayor cantidad en superficie han sido escarabajos, pequeñas moscas de la fruta, moscas y hormigas. También se han podido ver en menor cantidad: cochinillas, arañas, avispas, moscas grandes, y larvas de la mosca negra soldado y mosquitos. La elevada humedad en la base del compostador atraía a gran cantidad de babosas y gusanos. 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 traído asociado un aumento de la temperatura y una disminución de los olores. Cuando la temperatura ambiental ha sido muy elevada, la evaporación del agua y el aireado 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 la tierra 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.

### **4.1. NUEVO MÉTODO PARA LAS ESTIMACIONES DE LA HUMEDAD**

Dado que uno de los parámetros que se ha revelado más importante 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 brochetas), y consiste, básicamente, en introducir el palo dentro del material y, por simple observación del aspecto del palo y comparación con unos patrones (cómo si fuera un papel indicador de 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 que los participantes en el estudio habían de adivinar la humedad por comparación con unas fotografías patrón preparadas para esta finalidad. El resultado del estudio ha proporcionado un error del 5 al 15 % en el valor de la humedad estimada, que se ha considerado suficientemente satisfactorio como para utilizar este nuevo método en compostaje casero. Además, es más limpio y sencillo que los existentes.

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
<b>Imagen</b>									
<b>Consistencia</b>	Nula	A mejorar	Elevada	Elevada	Elevada	Baja	Elevada	Elevada	Elevada
<b>Abertura de alimentación</b>	Incómodo (se ha de abrir la bolsa e intentar que esta quede abierta mientras se deposita el alimento).	Buena (extracción del cajón inferior).	Buena (mejoraría con un extremo de la tapa fijado a 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 a la pared lateral).	Buena por medida; mala por consistencia de la junta con el compostador.	Buena (mejoraría con una disminución de peso de la tapa).	Mala por el anclaje y la medida (difícil de hacer más grande porque perdería consistencia).	Buena
<b>Altura</b>	Buena	Bona (es preciso hacer más altas las cestas)	Buena	Buena	Buena	Buena	Demasiado alto (dificulta remover)	Demasiado alto (dificulta remover)	Buena
<b>Sistema de extracción del compost</b>	Superior o rompiendo la bolsa (no permite extracción del 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 amplias 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 de los vértices)	Simple (mejoraría con puertas más amplias)	Simple (eje plástico demasiado grueso que ha de encajar en los orificios de los vértices)
<b>Ventilación</b>	Escaso	Excesivo	Superficie de exposición elevada en seco. Variable con la humedad y la altura	Ligeramente bajo	Correcto para trabajar a plena carga (la ventilación comienza a una altura considerable).	Excesivo para la baja consistencia.	Correcto (fácilmente adaptable).	Excesivo. El cono central dificulta la agitación.	Correcto (demasiado homogénea en altura).
<b>Autorregulación de la humedad</b>	Ninguna (la humedad se acumula por falta de ventilación)	Escasa (la humedad se acumula por falta de grosor de material).	Aceptable (la madera regula la humedad con 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 ventilación).	Aceptable (hay que ayudarlo en verano).	Escasa (la humedad no se mantiene por excesiva ventilación).	Aceptable (hay que ayudarlo en verano).

## 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 esto se ha excluido de las conclusiones posteriores.

- El compostador 200 B ha demostrado no ser adecuado para el compostaje en domicilio particular. Las razones son, básicamente, dos: la dificultad de alimentar diariamente el sistema y la dificultad para obtener condiciones aeróbicas, lo cual provoca malos olores. Por estos motivos también se ha excluido de las conclusiones posteriores. Respecto de los 8 compostadores restantes se exponen, a continuación, las principales conclusiones de este estudio.

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

- 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 8 compostadores ha sido muy similar para todas las variables. En todos ellos se ha constatado una cierta dependencia estacional.

- En las condiciones de trabajo de alimentación diaria, todos los compostadores han logrado un máximo de temperatura alrededor de los 60 °C.

- En las condiciones del trabajo se ha logrado valores de reducción de materia de un 70 — 80 %. En verano se logran los valores más altos.

- Los resultados muestran que, para la vivienda tipo escogida, sería suficiente un compostador de 300 L. de capacidad.

- Se ha ensayado con éxito un nuevo método de estimación de la humedad.

- Todos los compostadores han evidenciado zonas más secas (próximas a los orificios de entrada de aire) y zonas más húmedas (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 debe hacer el usuario son mezclar después de una lluvia importante y regar en épocas de calor intenso, siendo aconsejable mezclar justo tras regar para homogeneizar el material y evitar malos olores.

- Se ha demostrado que el compostador 290 C presenta un funcionamiento adecuado, pero las bandejas deberían de 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 total ausencia de impropios.

## **6. RECOMENDACIONES**

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

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

Barcelona, 29 de febrero de 2008

Dra. Elisabet Rudé i Payró  
Dr. Ricard Torres Castillo  
Profesores Titulares del Departament de Enginyeria Química  
Universitat de Barcelona