

Calidad del compost: Influencia del tipo de materiales tratados y de las condiciones del proceso

Montserrat Soliva y Marga López
Escola Superior d'Agricultura de Barcelona. UPC
Montserrat.soliva@upc.es

1.Introducción

El compostaje de los residuos orgánicos aúna en sus objetivos la necesidad de la gestión correcta de los residuos con la de mantener la fertilidad de los suelos en un país mediterráneo. Al establecer los criterios para valorar la calidad del compost deberemos por tanto buscar parámetros que valoren contenido/estabilidad de materia orgánica, fitonutrientes, y contaminantes; y otros que permitan valorar las ventajas de su fabricación y usos, así como el coste social, ambiental y energético que conlleva.

Haug (1993) describe el compost como: *materia orgánica que ha sido estabilizada hasta transformarse en un producto parecido a las sustancias húmicas del suelo, que está libre de patógenos y de semillas de malas hierbas, que no atrae insectos o vectores, que puede ser manejada y almacenada sin ocasionar molestias y que es beneficiosa para el suelo y el crecimiento de las plantas.*

Esta definición abarca toda una serie de aspectos que son imprescindibles para dar al compost su justo valor, como abono y/o enmienda de suelo o sustrato. Resulta evidente en el texto (tramo subrayado) que el destino final del compost limita la gama de materiales a los que se debería aplicar el compostaje y condiciona las operaciones de producción. Un residuo/subproducto para ser compostado debe cumplir unos requisitos, tanto para posibilitar el proceso como para poder generar un producto con una determinada calidad.

El hecho de que el compost contenga una gran cantidad de sustancias distintas (muchas de ellas generadas en el transcurso del proceso biológico) hace que sea difícil analizar y comparar los distintos tipos de compost obtenidos. Estos difieren mucho en su composición según: los materiales que se compostan y las condiciones en que se realiza el proceso. Es necesario simplificar los análisis a realizar y los parámetros a comparar, pero encontrando, paralelamente, un buen sistema de interpretación de las diferencias.

En función del origen de los materiales, podemos hablar de compost de:

- fracción orgánica de residuos RM (con o sin recogida selectiva)
- fracción procedente del tratamiento anaerobio de los RM.
- lodos de depuradora
- diferentes tipos de estiércoles
- restos de poda vegetales solos o enriquecidos con algunas fuentes de nitrógeno
- mezclas muy variadas (estiércoles, cortezas, plumas, pelos, algodón etc.)

La composición del producto final depende mucho de cómo se ha controlado el proceso (más que de la tecnología). Puede tener más o menos fitonutrientes, dependiendo de los contenidos iniciales en los materiales de partida o de las posibles pérdidas o transformaciones a lo largo del proceso. También el contenido en MO (y su estabilidad) dependerá de cómo se ha llevado a cabo el proceso.

2. Calidad del compost

El concepto de calidad es difícil de definir ya que ha de tener en cuenta múltiples aspectos y , además, puede ser siempre muy subjetivo .

Siempre debería considerarse la calidad del compost a partir de aquellas características que resulten de aplicar un tratamiento respetuoso con el medio ambiente, acorde con una gestión racional de los residuos y que tenga como objetivo fabricar un producto destinado para su uso en el suelo o como sustrato.

Dentro de los niveles de calidad deben o pueden establecerse distintas exigencias según el mercado al que vaya destinado; pero siempre habrá unos mínimos a cumplir para cualquier aplicación. Es necesario definir una calidad general del compost (de acuerdo con los usuarios potenciales) y además establecer unos parámetros diferenciados para usos diversos, sin querer significar esta afirmación que los máximos permitidos de contaminantes se puedan sobrepasar según el destino.

La calidad del compost viene determinada por la suma de las distintas propiedades y características. Los criterios relevantes en la evaluación de la calidad son: destino del producto, protección del entorno, requerimientos del mercado .

Los productores de compost encuentran ciertas normas innecesariamente restrictivas y los usuarios puede ser que innecesariamente permisivas; no siempre tienen que coincidir la exigencia de los usuarios del compost con las de la sociedad y del entorno.

Un compost de calidad tendrá salida, podrá aplicarse aunque deberá en muchos casos competir con otros materiales (de mejor o peor calidad). debido a la gran variedad de productos compostables y de mezclas posibles se puede obtener compost con calidades y posibilidades de uso muy diversos .

El hecho de que en innumerables casos se haya usado incorrectamente el significado de la palabra compost ha llevado al desprestigio de este producto y a que su uso y su comercialización encuentren serias dificultades. Puede obtenerse por un proceso de compostaje, directamente, o después de estabilizar (también por compostaje) el material generado en un proceso anaerobio.

La estrategia para conseguir una determinada calidad no puede separarse de un planteamiento global de la gestión de los residuos. Debe desarrollarse el mercado del compost a la vez que la conciencia de calidad.

Si se quiere potenciar el uso del compostaje y del compost, las plantas de tratamiento han de tener como uno de los objetivos primordiales la obtención del compost, no sólo el tratamiento de residuos. No obstante, en la realidad, no se compostan para obtener un determinado producto si no que se gestiona/trata un/os residuo/s con la intención de evitar problemas ambientales y, secundariamente, obtener un producto final (compost); además, esto se lleva a cabo, muchas veces, ignorando los fundamentos biológicos del proceso y obviando la relación entre control del proceso y calidad del producto obtenido.

Probablemente esto es debido a falta de:

- divulgación de la información existente
- trabajo coordinado
- falta de motivación
- de especialización de ciertas empresas

Es siempre difícil y muy subjetivo definir la calidad de un producto porque está relacionada con la aptitud del mismo para ser utilizado. ¿Qué aplicaciones va a tener el compost?.

Los requerimientos de calidad deberían ir dirigidos a conseguir:

- ✓ aspecto y olor aceptables
- ✓ higienización correcta
- ✓ muy bajo nivel de impurezas y contaminantes
- ✓ nivel bueno de componentes agrónomicamente útiles (MO estabilizada y fitonutrientes)
- ✓ una cierta constancia de características

y todo ello, procurando aprovechar al máximo la potencialidad de los materiales iniciales, evitando todas las posibles vías de contaminación durante el proceso, la generación excesiva de rechazo, así como el consumo superfluo de energía.

Al plantear las características finales óptimas para un compost es difícil establecer niveles para el contenido en MO y nutrientes, ya que dependen mucho de los materiales tratados, En la mayoría de normativas o legislaciones, frecuentemente, sólo se fijan los contenidos en metales pesados, siendo poco exigentes en los parámetros más agronómicos. La calidad del compost viene determinada por la suma de las distintas propiedades y características. En cualquier caso debe hablarse de:

- ✓ **Calidad física:** granulometría, capacidad de retención de agua, humedad, presencia de partículas extrañas, olor.
- ✓ **Calidad química,** en la que aparecen tres vertientes: contenido y estabilidad de la materia orgánica, contenido y velocidad de mineralización de los nutrientes vegetales que contenga y presencia de contaminantes inorgánicos u orgánicos.
- ✓ **Calidad biológica:** presencia de semillas de malas hierbas y patógenos primarios y secundarios.

Podría también valorarse otros aspectos como calidad ambiental en las plantas, seguridad de los trabajadores y de los futuros usuarios, etc.

También debe controlarse el funcionamiento y los rendimientos de las plantas de compostaje, así como la adecuación de la maquinaria. En la actualidad algunas plantas de compostaje siguen no funcionando bien y otras se están construyendo por considerarse políticamente correcto, pero no por un real convencimiento y preocupación por conseguir que sean rentables (ambiental y económicamente).

Dentro de los niveles de calidad también deberán establecerse distintas exigencias según el mercado al que vaya destinado; pero siempre habrá unos mínimos a cumplir para cualquier aplicación. Es necesario definir una calidad general del compost y, además, establecer unos parámetros diferenciados para usos diversos, sin querer significar esta afirmación que los máximos permitidos de contaminantes se puedan sobrepasar según el destino (Figura 1) (Tabla 1).

En general, se considera necesario establecer los contenidos máximos permitidos de contaminantes para proteger el suelo *de una excesiva contaminación*. Como resultado de esta consideración, todas las legislaciones contemplan y fijan unos niveles de metales pesados permitidos, que varían ampliamente.

Consideramos que la finalidad de una normativa sobre calidad del compost debe ir mucho más allá que evitar una *excesiva* contaminación del suelo. El concepto de "excesiva" es subjetivo, y por lo tanto peligroso, y no toma en consideración la característica principal del compost, a saber: **el compost como un producto que aporta una serie de efectos beneficiosos al suelo y los cultivos**. Hay normativas como la austríaca que se preocupa de que el compost produzca beneficios a los cultivos; otras que pretenden proteger al suelo de una aplicación excesiva de

nutrientes (danesa) y otras como la española actual que se ciñe simplemente a evitar la “contaminación excesiva” por metales¹ (Tabla 2); también, aunque con más restricciones, va en este sentido el borrador de la nueva propuesta de la UE.

Las normativas deberían plantearse para alcanzar la reconciliación entre:

- objetivos de **tratamiento y gestión** con los de **producción y calidad**
- **rendimiento, eficiencia**
- intereses de **productores y de usuarios**
- intereses **del medio ambiente y de la sociedad**

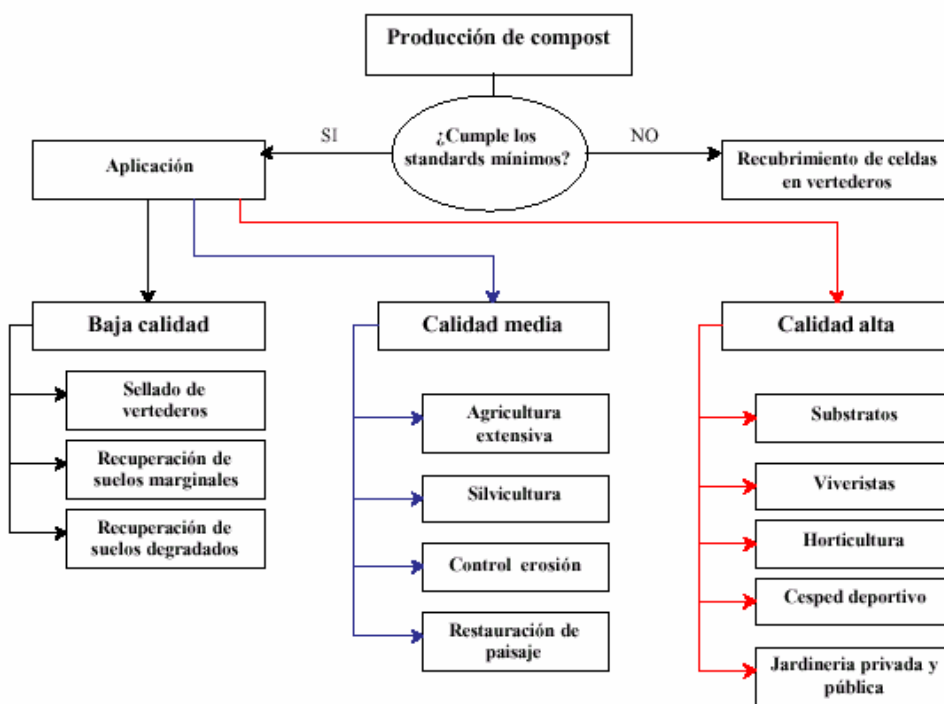


Figura 1: Posibilidades de aplicación del compost

Materiales compostados	pH	CE	MO	Est	Nutr	Cont	IG	Aspecto Olor	Aplicaciones
Estiércoles	R-I	R-I	B	B-R	B	B	R	B-R	A J C D E F H
Cortezas	B	B	B	B	I	B	B-R	B	J C G H
(RV) Restos Vegetales	B	B	B	B	R-I	B	B	B	J C D E F G H
Lodos+ RV	B-R	B	B	B	B-R	R-I	B	B-R	A J C D E F G H
RM en bruto	B-R	I	R-I	R-I	R-I	I	I	R-I	E F
FO de RM + RV	B-R	R	B	B	B-R	B-R	B-R	B	A J C D E F H

B: bien R: regular; I: inadecuado

CE: conductividad eléctrica; MO: materia orgánica; Est: estabilidad; Nutr: contenido en nutrientes;

Cont: contenido en contaminantes; IG: índice de germinación

A: Agrícola; J: Jardinería privada; C: Parques y jardines públicos; D: Restauración de paisaje; E: Recuperación de espacios degradados; F: Revegetación obra pública; G: Preparación substratos; H: Césped deportivo.

Tabla 1. Aproximación a usos más aconsejables para determinados tipos de composts y relación con los parámetros determinados (nos referimos siempre a materiales bien compostados).

¹ No obstante ha habido un cambio importante entre la del año 1970 y la actual

	Compost^a	Compost y B. digerido^b		B. estabilizado^b
		Clase 1	Clase 2	
Uso	<i>Agrícola para la producción alimentaria y no alime. Sin más detalles</i>	<i>Mejores practicas agronómicas, sin restricción alguna</i>	<i>Cantidad <30 Mg ms ha⁻¹ como promedio en 3 años</i>	<i>Componente de suelos artificiales o aplicaciones no destinadas a produc. de alimentos y forraje. Cantidad < 200 Mg ms ha⁻¹ y no repetir hasta pasados 10 años</i>
Cd	3-10	0,7	1,5	5
Cr	270-400	100	150	600
Cu	450-450	100	150	600
Hg	5-7	0,5	1	5
Ni	120-120	50	75	150
Pb	150-300	100	150	500
Zn	1.000-1.100	200	400	1.500

^a Orden de 28 de mayo de 1998,

^b European Commission. DG ENV. E3- 2001, Waste management. Working Document on Biological Treatment of Biowaste 2nd draft.

Tabla 2. Condiciones para el uso de compost (E)^a y residuos biodegradables (EC)^b y contenido máximo en metales (mg kg⁻¹ms en ^a y normalizados al 30% de MO en ^b).

3. Criterios de calidad que deben ser tenidos en cuenta al valorar el compost producido por una planta de tratamiento.

Puede hacerse un listado amplio de parámetros a determinar en muestras de compost, puede indicarse cuales se consideran más importantes y por qué, pero no para todos se puede dar un intervalo de valores adecuados o unos contenidos máximos o mínimos. El compost no es como un fertilizante mineral en que se pueden dar valores concretos para contenidos de N, P₂O₅ o K₂O. En cualquier caso, al escoger los parámetros que pueden interesar o dar más información ha de hacerse teniendo en cuenta la viabilidad de la aplicación y, no olvidando, que cualquier interpretación de la composición de un compost precisa unos conocimientos del tratamiento a partir del que se ha obtenido el producto. Deberemos preguntarnos si al controlar el producto final también estamos controlando el proceso.

En las tablas 3, 4 y 5 se hace un resumen de parámetros que pueden determinarse en muestras de compost y del tipo de información que pueden facilitar sobre su origen y posibilidad de uso. Podríamos hablar de otros parámetros como: determinación de sustancias húmicas, estudio de extractos acuosos, CIC, cromatografía, contenido en ácidos orgánicos volátiles, etc., pero se han escogido los que más se utilizan en nuestro centro. En cualquier caso, no todos deben determinarse, pero si escoger aquellos que den la información más necesaria. Interesa pocos parámetros y lo más sencillos posibles para favorecer que sean aplicados.

	Parámetros	Informan e influyen en
Físicos	Densidad aparente	<i>Origen del material y tratamiento aplicado.</i> Transporte Manejo Aplicación
	Coloración	<i>Estabilidad</i> Aceptación
	Olor	<i>Estabilidad</i> <i>Funcionamiento del proceso</i> Aceptación Impacto ambiental
	Humedad	<i>Control del proceso</i> Transporte Manejo Salud laboral , seguridad
	Granulometria	<i>Sistemas de cribado y afinado</i> Manejo Salud laboral Aceptación Efectos sobre el suelo
	Capacidad de retención de agua	Efectos sobre el suelo Ahorro de agua
	Contaminantes/impropios	<i>Materiales tratados</i> <i>Sistemas de separación y afinado</i> Aceptación Impacto ambiental Seguridad
	Autocalentamiento	<i>Desarrollo y control del proceso</i> Estabilidad
	pH i CE(parámetros F-Q)	<i>Materiales iniciales</i> <i>Desarrollo y control del proceso</i> Posibles usos Efectos sobre el suelo Efectos sobre las aguas Efectos sobre los vegetales

Tabla 3. Determinaciones físicas que pueden ser utilizadas para valorar la calidad del compost

Biológicos	Patógenos <i>(diferenciar los que llegan con materiales iniciales de los que aparecen en determinadas etapas del proceso)</i>	<i>Desarrollo y control del proceso</i> <i>Estabilidad/higienización</i> Salud laboral Contaminación de suelos, aguas y vegetales Impacto ambiental
	Índice germinación	<i>Desarrollo y control del proceso</i> <i>Estabilidad</i> Fitotoxicidad Posibles aplicaciones
	Respirometrías	<i>Desarrollo y control del proceso</i> <i>Estabilidad</i> Actividad biológica Posibles aplicaciones
	Mineralización	<i>Desarrollo y control del proceso</i> <i>Estabilidad</i> Actividad biológica Posibles usos Dosificación Efectos sobre el suelo Efectos sobre las aguas Efectos sobre los vegetales
	Semillas de malas hierbas	<i>Origen materiales</i> <i>Desarrollo y control del proceso</i> <i>Estabilidad/higienización</i> Efectos sobre la producción

Tabla 4. Determinaciones biológicas que pueden ser utilizadas para valorar la calidad del compost

Químicos	Contenido en MOT y MOR (resistente)	<i>Materiales iniciales</i> <i>Desarrollo y control del proceso</i> <i>Estabilidad</i> Posibles usos Efectos sobre el suelo Efectos sobre los vegetales Aceptación
	Nitrógeno en forma mineral	<i>Materiales iniciales</i> <i>Desarrollo y control del proceso</i> Efectos sobre las dosis de fertilización Efectos sobre las aguas Efectos sobre los vegetales
	Nitrógeno orgánico total y resistente	<i>Materiales iniciales</i> <i>Desarrollo y control del proceso</i> <i>Estabilidad</i> Efectos sobre las dosis de fertilización Efectos sobre las aguas Efectos sobre los vegetales
	Fósforo y potasio	<i>Materiales iniciales</i> Efectos sobre las dosis de fertilización (Efectos sobre las aguas) Efectos sobre los vegetales
	Calcio y sodio	<i>Materiales iniciales</i> Riegos durante el tratamiento Efectos sobre el suelo Efectos sobre las aguas Efectos sobre los vegetales
	Carbonatos	<i>Materiales iniciales</i> <i>Transformación (estabilidad)</i> Efectos sobre el suelo Efectos sobre los vegetales
	Metales pesados <i>(incrementan relativamente a lo largo del proceso)</i>	<i>Materiales iniciales</i> Dosis de aplicación (?) Contaminación de suelos, aguas y vegetales Afectación cadena trófica Impacto ambiental
	Contaminantes orgánicos <i>(posible descomposición/transformación a lo largo del proceso)</i>	<i>Materiales iniciales</i> Dosis de aplicación (?) Contaminación de suelos, aguas y vegetales Afectación cadena trófica Impacto ambiental

(?) ¿tiene sentido aplicar dosis más bajas de compost si esta más contaminado?

Tabla 5. Determinaciones químicas que pueden ser utilizadas para valorar la calidad del compost.

4. Algunas consideraciones sobre los distintos parámetros

Humedad

Contenidos bajos favorecen el transporte, pero dificultan el manejo y la aplicación por el polvo que se origina, a la vez que puede esconder una baja estabilidad del compost. Además, probablemente una humedad muy baja puede haber provocado un incompleto desarrollo del proceso.

Granulometría

Está muy relacionada con el aspecto y la facilidad de manejo y puede condicionar su uso. Este parámetro es particularmente importante cuando el destino del material vaya a ser el de sustrato. En ciertos casos una granulometría muy fina, además de dar problemas en la utilización (exceso de polvo), puede ser debida a un tratamiento de molturación final para “esconder” cierto tipo de impurezas.

Cuantificación de los contaminantes físicos y tamaño

Al realizar la granulometría es importante ver y cuantificar las impurezas (plásticos, vidrios, partículas metálicas) que aparecen en las distintas fracciones. Informa de la mala calidad de los materiales iniciales (en el caso de RM y restos vegetales (RV) indica una incorrecta recogida selectiva en origen o una mala separación en planta). Afecta al aspecto (Figura 2) y a la aceptación. También, una gran cantidad de impropios en los materiales de entrada, provoca que las distintas zonas de la planta de tratamiento estén "sobrecapadas" por materiales sin ninguna utilidad. El contenido en determinados contaminantes físicos entraña peligros en su utilización.



Figura 2 . Aspecto (antes de afinar) de compost de lodos de depuradora (izquierda) y de FO de RM (derecha)

Densidad real y aparente

Parámetro de interés general para el transporte y manejo del compost y con interés particular para el cálculo de la porosidad y de su uso como sustrato. Puede estar relacionado con los materiales tratados y con la manera en que se ha desarrollado el proceso.

Test de autocalentamiento

El seguimiento de la temperatura a lo largo del compostaje es una de las mejores maneras de controlar el proceso, siempre que se sepan interpretar los cambios. Cuando finaliza la fase de maduración, se espera que la temperatura del material alcance niveles cercanos a los ambientales; si el material no está madurado completamente puede ser que no presente temperaturas elevadas, por distintas razones: humedad muy baja, poca cantidad de material. Si una pequeña cantidad de este material, no suficientemente estabilizado, se mantiene en condiciones de humedad adecuadas en un espacio aislado, como puede ser un vaso DEWAR, puede alcanzar cierta temperatura por autocalentamiento en un determinado intervalo de tiempo. Es un parámetro muy utilizado para medir el grado de estabilidad aunque está sometido a muchos errores debido a las distintas maneras de preparar y manejar las muestras; debe tenerse en cuenta la cantidad de muestra, su humedad y porosidad entre otros aspectos. Cuando se aplica a muestras inmaduras puede dar resultados muy erróneos ya que puede que la temperatura no aumente debido a que aparecen rápidamente condiciones anaeróbicas dentro del termo.

pH y Conductividad eléctrica (CE)

Comúnmente, estos parámetros reciben poca atención desde el punto de vista de aplicación, pero es importante tenerlos en cuenta desde el punto de vista de proceso a lo largo del cual sufren variaciones. pH's ácidos indicarán condiciones anaerobias y pH muy altos están relacionados con el contenido en nitrógeno amoniacal y carbonatos solubles. La CE es elevada en general en materiales compostados (excepto en el caso de haber compostado RV solo), pero también valores excesivamente elevados pueden relacionarse con un mal control del proceso, con materiales contaminados o con riegos excesivos con lixiviados o con aguas salinas.

Muestra	V1	V2	V3
pH	7,85	7,85	8,90
CE dS/m	0,98	0,61	15,98
%Humedad	54,46	62,47	31,41
ppm N-NH4 Soluble	nd	25	1259
%M.O.	47,68	53,35	45,66
% N org	1,11	1,04	1,64
%GE (MOR/MOT)	60,47	76,14	32,31
%P	0,28	0,15	1,07
%K	0,66	0,42	0,25
ppm Zn	101	76	1459
ppm Mn	189	185	191
ppm Cu	66	42	97
ppm Ni	89	47	36
ppm Cr	45	16	76
ppm Pb	39	38	52
ppm Cd	0,10	0,17	5,14

Tabla 4. Características de compost obtenido a partir de residuos de jardinería (V1 y V2) y de restos de cultivos hortícolas de invernadero muy contaminados (V3).

Materia orgánica total y resistente

Tiene sentido aplicar el compostaje a materiales con proporciones elevadas de MO. El contenido final será la consecuencia del valor inicial de MO, de su degradabilidad y de la transformación que haya sufrido durante el tratamiento. Resulta fundamental examinar, en un compostaje, los contenidos inicial y final de materia orgánica para tener idea de la transformación sufrida por el material (Figura 3). Es un parámetro importante en caso de aplicación en el suelo ya que: 1) incidirá, de forma global, sobre todas las propiedades del suelo (físicas, químicas y biológicas); y 2) favorecerá, al mismo tiempo, los ciclos geoquímicos. En caso de ser utilizado como sustrato, la M.O. influirá así mismo sobre sus propiedades físicas; indispensable conocer además su estabilidad.

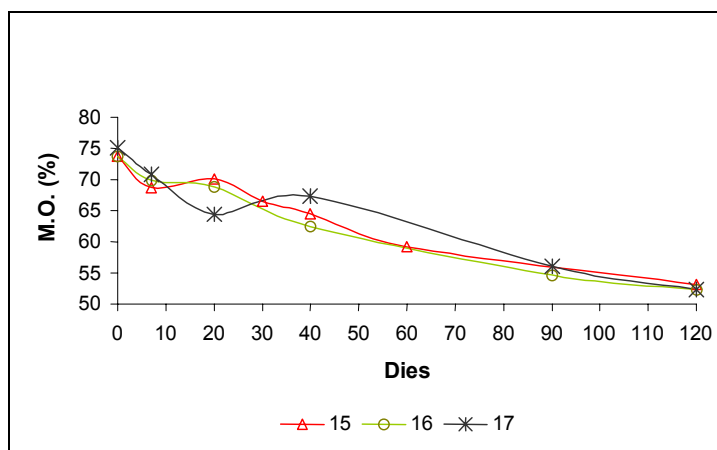


Figura 3. Variación del contenido en MO a lo largo de procesos de compostaje

Intentar valorar la estabilidad o la transformación sufrida por un residuo sólo por el contenido final de MO es totalmente inadecuado, si no se conocen los valores de partida

Materia orgánica resistente

Es un parámetro que fue inicialmente utilizado en la caracterización química de las turbas. Indica el porcentaje de materia orgánica resistente (MOR) a la hidrólisis ácida y se acostumbra a expresar respecto a la materia orgánica total, denominándose *Grado de estabilidad* (GE). Es de esperar que al avanzar el compostaje se eleve su contenido, ya que aumenta la cantidad de productos resistentes a la hidrólisis, por incremento relativo, en el caso de ligninas, y por formación de nuevas sustancias estables.

El valor que alcanza en los productos finales del compostaje da información muy valiosa sobre el comportamiento del compost al ser aplicado y por tanto de los usos más adecuados.

No olvidar que el uso de compost, desde el punto de vista de conservación del suelo, tiene como finalidad mejorar el contenido en MO (con todas las ventajas que lleva implícitas como evitar la erosión, incrementar la capacidad de retención de agua o contribuir a la mejor captación de CO₂) y esto se consigue si la MO que se aplica presenta una tasa de mineralización baja (es resistente). También un compost estable, difícil de degradar, liberará más lentamente los fitonutrientes, hecho que en el caso del N contribuirá a reducir el peligro de contaminación de aguas.

Nitrógeno Kjeldhal

Existe la posibilidad de determinarlo sobre muestra húmeda o seca, con lo que la información que facilita es distinta. Determinado sobre muestra húmeda indica, a la vez, el contenido en nitrógeno en forma orgánica y amoniacal; determinado sobre muestra seca informa mayoritariamente sobre el contenido en nitrógeno orgánico. Es un parámetro que se valora mucho al aplicar el compost en agricultura, desde diferentes puntos de vista: el económico, el energético y el ecológico. Es discutible si es un parámetro al que se le deba exigir un contenido mínimo ya que depende del tipo de materiales que se composten; pero si se están compostando materiales ricos en nitrógeno deberá controlarse a lo largo del proceso (figura 9) porque su pérdida indica un mal manejo del compostaje.

Nitrógeno no Hidrolizable

La determinación de la MOR permite determinar paralelamente el llamado NnH (nitrógeno orgánico resistente a la hidrólisis) que será difícilmente mineralizable. Se puede considerar un buen índice de la calidad del compost y además aporta información importante de cara a su aplicación. En un buen proceso de compostaje, sus niveles deben incrementarse. Puede expresarse como porcentaje del nitrógeno orgánico total (NnH/N_{org}).

Relación C/N

El valor numérico de esta relación se halla al dividir el contenido en C (MOT/2) por el contenido en nitrógeno orgánico. Es un parámetro ampliamente usado, pero debe ponderarse correctamente, teniendo siempre presentes otros aspectos del compost analizado. Equivocadamente se considera que el compost está maduro si el cociente C/N se acerca a 10; este valor es el que presenta la materia orgánica estabilizada de un suelo que no tiene porque corresponder al que presente la MO estabilizada de un compost. Es necesario conocer la relación C/N inicial en los residuos a compostar puesto que nos dará una idea de la velocidad del proceso y de la posibilidad de pérdidas de nitrógeno. En la figura 10 se muestra información al respecto y además se indica la relación C/P adecuada para procesos biológicos, aunque no acostumbra a presentar problemas.

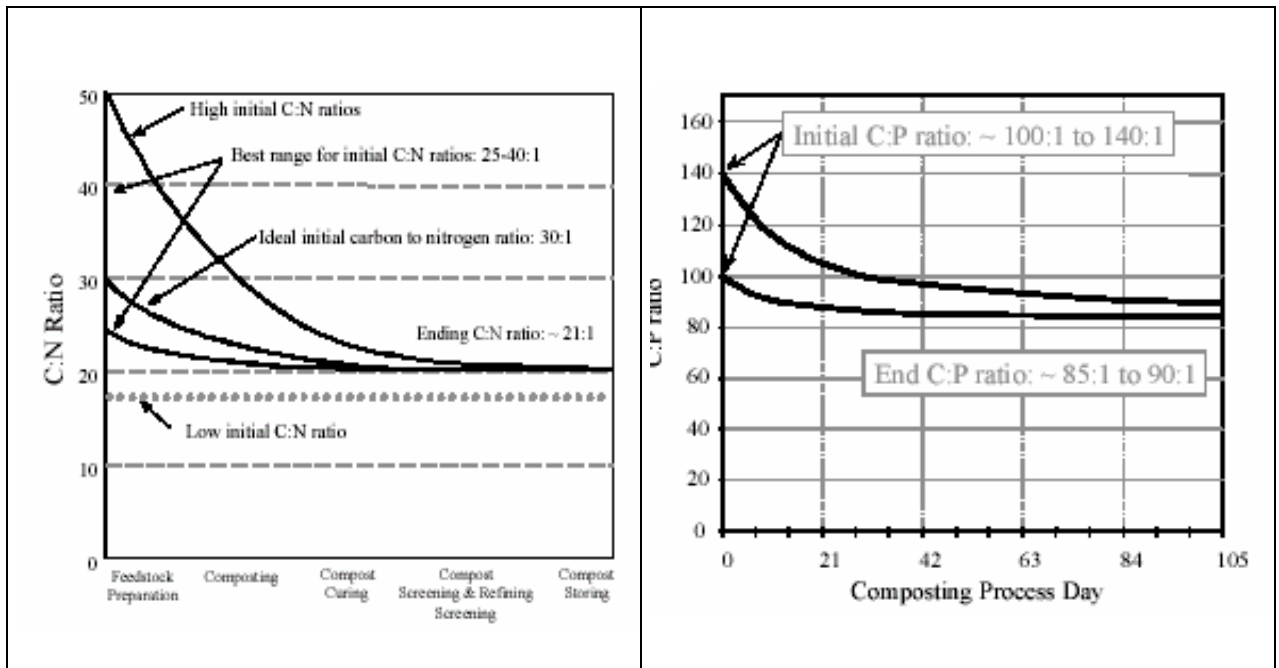


Figura 10. Rangos de las relaciones C/N y C/P a lo largo del compostaje según Test methods for the examination of Composting and Compost. US Composting Council

Contenidos en nitrógeno mineral (amoniaco y nítrico)

Es importante su evolución a lo largo del proceso y sus contenidos finales. El N-NH₄ puede ser alto al inicio, según los materiales tratados, e incrementar en parte de la fase termófila, (Figura 11); pero si la mezcla inicial y el desarrollo del proceso son correctos debe disminuir por diversas razones y, a su vez, incrementar el contenido en N-NO₃ durante la última fase de maduración, si se han mantenido las condiciones aerobias. Da información de cómo se ha realizado el compostaje y de las posibles pérdidas de N.

En la figura 12 se dan contenidos en NH₃ medidos en la atmósfera de dos plantas de compostaje. La planta M preparaba una mala mezcla inicial (relación C/N baja) y además no manejaban bien las condiciones de aireación. El compost obtenido en esta planta, además de estar poco estabilizado, presentaba contenidos bajos de Nitrógeno, hecho que concuerda con los contenidos de amoníaco en la nave.

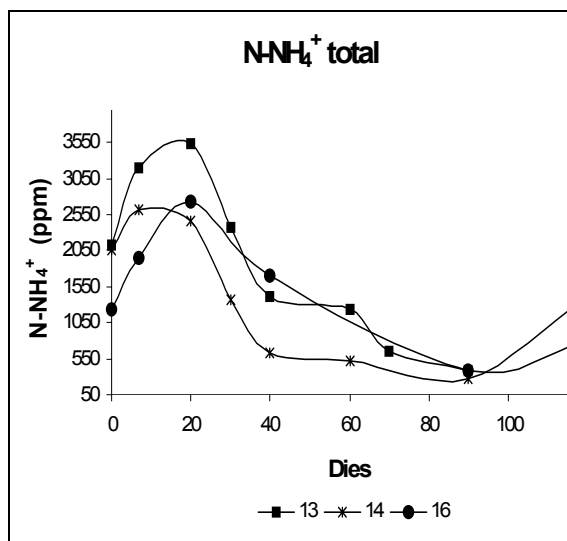


Figura 11. Variación del contenido en nitrógeno amoniacal total a lo largo de procesos de compostaje

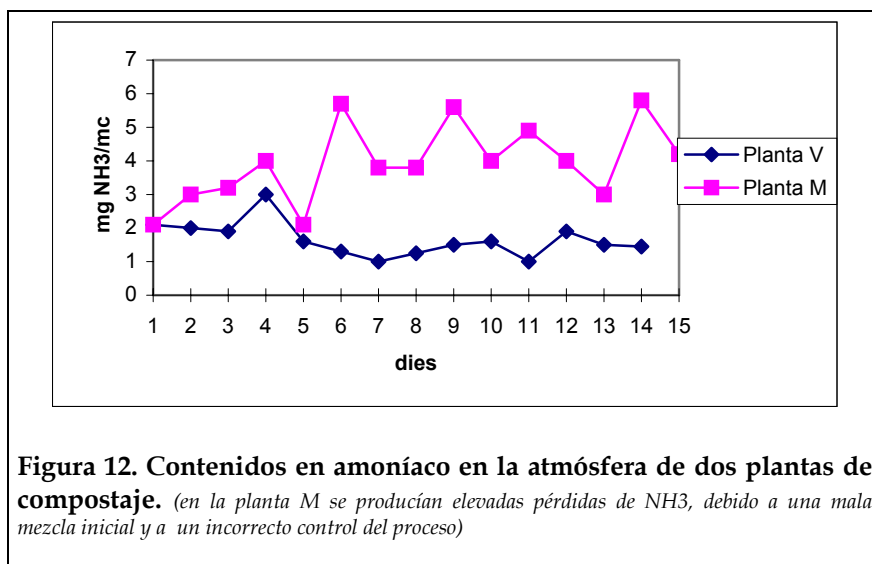


Figura 12. Contenidos en amoníaco en la atmósfera de dos plantas de compostaje. (en la planta M se producían elevadas pérdidas de NH₃, debido a una mala mezcla inicial y a un incorrecto control del proceso)

Contenido en nutrientes vegetales y asimilabilidad. Interesa conocer qué nutrientes contiene el compost, si están equilibrados y si son o no fácilmente asimilables. En general no se dan como exigencia de calidad, sino que corresponden a las determinaciones que han de facilitarse al usuario para poder hacer un uso correcto del producto.

La tabla puede servir para comparar las diferencias que se observan con los comentarios hechos para los distintos parámetros, aunque lo que interesa en este apartado es poner de manifiesto los distintos contenidos en fitonutrientes, las formas en que se presentan (N-NH₄, N-NO₃- N-org, NnH) y la relación que tienen con la estabilidad (MOR, GE).

Tabla 8. Contenido en nitratos (ppm) de muestras de suelo donde se han aplicado compost de distintas características

	N-NO3 PPM	N-NO3 PPM
S	21.09	
S	22.63	21.86
C	25.55	
C	26.87	26.21
L	68.22	
L	61.09	64.66
T	55.32	
T	52.18	53.75

En la Tabla 8 se muestran contenidos en nitratos de suelos tratados con los compost S, C y L (procurando aplicar dosis comparables en cuanto a nitrógeno); a lo largo del cultivo se hicieron distintos muestreos (de los que sólo se presenta resultados de uno) y siempre se observaron diferencias que se pueden atribuir a distintos grados de estabilidad. Aparecen fenómenos de mineralización del N muy lenta por estabilidad en el caso de C y problemas de inmovilización del N en el caso de S (ver Figuras 19 y 20) por ser poco estable.

Presencia de posibles contaminantes (inorgánicos y orgánicos)

Respecto a los contaminantes inorgánicos (metales pesados), existe mucha información bibliográfica (origen, fitotoxicidad, acumulación...) y, además, resultan más fáciles de determinar que los orgánicos.

La recogida conjunta de todos los componentes de la basura incrementa el contenido final de los metales pesados por dos vías: la directa por mezcla de pequeñas partículas que no son separadas durante la selección y el afinado realizados en las plantas; y la "disolución" provocada por las condiciones ácidas que se crean en determinadas condiciones de almacenaje, debido a las características de la fracción orgánica (tabla 6). Como el contenido en metales del compost de RM disminuye al aplicar la recogida selectiva consideramos que la mejor manera de evitar este tipo de contaminación, es fabricar compost de RM solamente en el caso de establecer y realizarse en condiciones correctas la recogida selectiva en origen (Figura 13).

En el caso de compostar lodos de depuradora sólo deberán aceptarse aquellos que contengan niveles muy bajos de metales (no olvidar que a lo largo del proceso se concentran relativamente). Es importante ser estricto en estos aspectos para obtener productos de mejor calidad y proteger el suelo, pero también para obligar a los generadores de aguas residuales, a controlar mucho los vertidos (Figura 17 y Tabla 5).

Si un compost contiene metales pesados, aunque una buena parte no sea asimilable por la planta rápidamente, quedarán en el suelo acumulados y cuando varíen las condiciones (pH, presencia de sustancias complejantes, CIC,...) pueden pasar a disposición de las plantas .

Un aspecto a tener en cuenta también es la manera de expresar los resultados (Figura 14); en la Tabla 2 se ve que en la propuesta de la UE los contenidos en metales se expresan normalizados a contenidos del 30% de MO.

En la figura 15 se muestran los contenidos en muestras de compost analizadas en nuestro laboratorio entre 1996 y 2001 (Huerta y Soliva, 2002), comparando con los límites de las normativas actuales y propuestas; en todos los casos los valores más elevados corresponden a muestras de compost de lodos o de RM sin recogida selectiva

COMPOST	C	S	L	B
pH	6.90	7.80	7.10	8,60
CE dS/m	7.70	11.40	7.43	5,52
%HUMEDAD	26.68	18.41	28.09	31,17
ppm N-NH₄ Soluble	1354	1772	6477	1351
ppm N-NO₃	105	29	12	<5
%M.O.T	58.96	50.26	64.29	29,07
% Norg	1.80	1.55	3.39	1,38
C/N	16.37	16.13	9.48	10,5
% MOR	32.81	15.52	28.79	11,91
%GE (MOR/MOT)	55.64	30.87	44.78	40,89
%NnH (Nresistent)	1.3	0.71	1.39	0,72
%NnH/Norg	72.22	45.47	41.03	51,40
%P	0.38	0.40	2.50	0,62
%K	1.23	0.64	0.41	1,01
%Ca	5.99	5.64	5.84	18,28
%Mg	0.53	0.41	0.76	1,48

%Na	0.59	0.83	0.17	0,75
%Fe	1.00	1.06	1.71	1,44
ppm Zn	179	452	813	165
ppm Mn	177	238	184	180
ppm Cu	89	238	288	73
ppm Ni	88	72	32	22
ppm Cr	22	28	10	23
ppm Pb	59	169	16	59
ppm Cd	0.36	0.61	0.79	0,17

Tabla 9. Características de compost de distintos orígenes

Contaminantes orgánicos.

Este es el aspecto menos estudiado en composts debido tanto a la gran diversidad de compuestos orgánicos con posibilidad de encontrarse en los materiales iniciales (RM, lodos, RV ...), como a la dificultad y coste de los métodos analíticos a emplear. En la bibliografía se encuentra información sobre contenidos y sobre la posibilidad de que sean transformados y degradados por distintas vías durante el tratamiento. (figura 16)

Incubaciones/respirometrías/estudios de mineralización

Son pruebas biológicas que pueden realizarse sobre el producto aislado, mezclado con un "diluyente" inerte (figura 19) o con suelo (figura 20a), dependiendo del tipo de información que se pretenda obtener: grado de estabilidad, toxicidad, velocidad de mineralización. Las pruebas realizadas con mezclas de suelos pueden facilitar una información más completa y sobre distintos aspectos, pero presenta la problemática de la falta de repetitividad y reproducibilidad (al variar el tipo de suelo con que se mezcla).

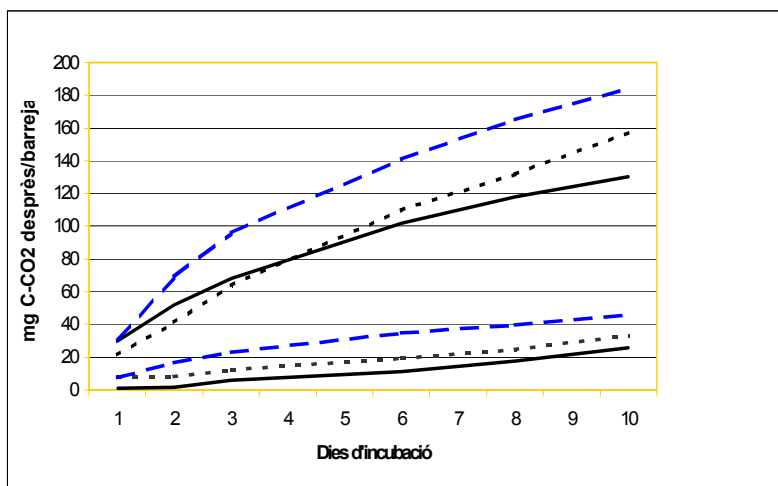


Figura 19. Resultados de una incubación (corta, 10 días) realizada con mezclas de compost y arena. Las tres gráficas superiores indican la actividad biológica de compost sin madurar y las tres inferiores, los mismos composts madurados.

En las Figuras 20 a y b se dan los resultados de la mineralización de mezclas de suelo con compost de RM (con distintos grados de estabilidad), a dosis distintas (alta y baja); se observa que a dosis altas se incrementa el desprendimiento de CO_2 (la actividad biológica aumenta), sobre todo si el compost es poco maduro (FA); el testimonio, que corresponde a tierra sola (blanc), es el que respira menos. Pero, paralelamente, se observa un comportamiento, en cierto modo anómalo, para la mineralización del nitrógeno; inicialmente es el testimonio el tratamiento en el que se detecta mayor contenido en nitrógeno nítrico, y los valores más bajos para las dosis más altas (principalmente en el caso de compost menos estabilizado). Nos encontramos ante un caso claro de inmovilización del nitrógeno, debido al exceso de actividad biológica y un relativamente bajo contenido de nitrógeno. En esta experiencia se utilizó un compost procedente de una planta de tratamiento que, además de no tratar FO procedente de recogida selectiva, no controlaba bien el proceso.

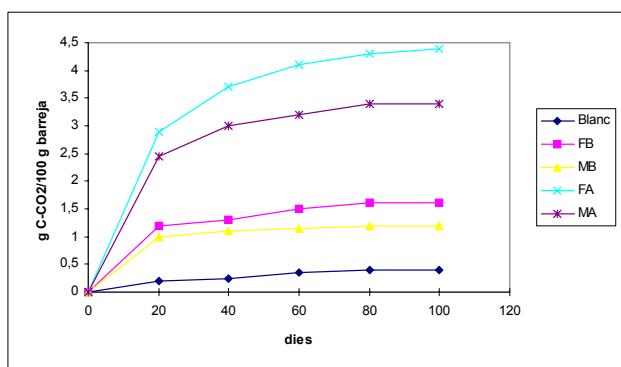


Figura 20a. Resultados de la incubación compost/suelo
Crecimiento vegetal

Este tipo de pruebas, muy interesantes y apropiadas para realizar en las mismas plantas de compostaje, pueden tener distintos objetivos:

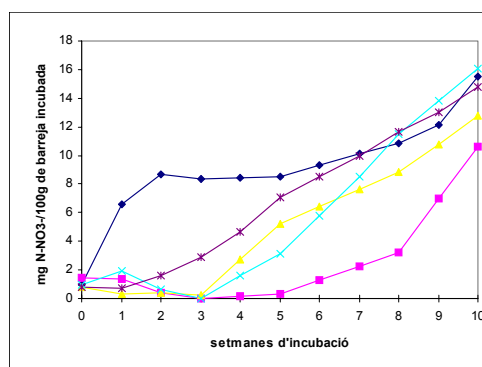


Figura 20b. Mineralización del N en la incubación de la figura

- mostrar posibles problemas de toxicidad
- mostrar problemas de falta de estabilidad y de inmovilización de nitrógeno
- servir de prueba demostrativa para los posibles usuarios

Deben definirse bien las condiciones de trabajo (posibles mezclas del compost, riego, temperatura, iluminación..) para comparar resultados en el tiempo y permitir establecer valores límite en las producciones. También es interesante escoger adecuadamente el tipo de material vegetal a usar.

Control de patógenos

El compost debe ser también examinado en los aspectos relacionados con la salud de las personas, animales y vegetales

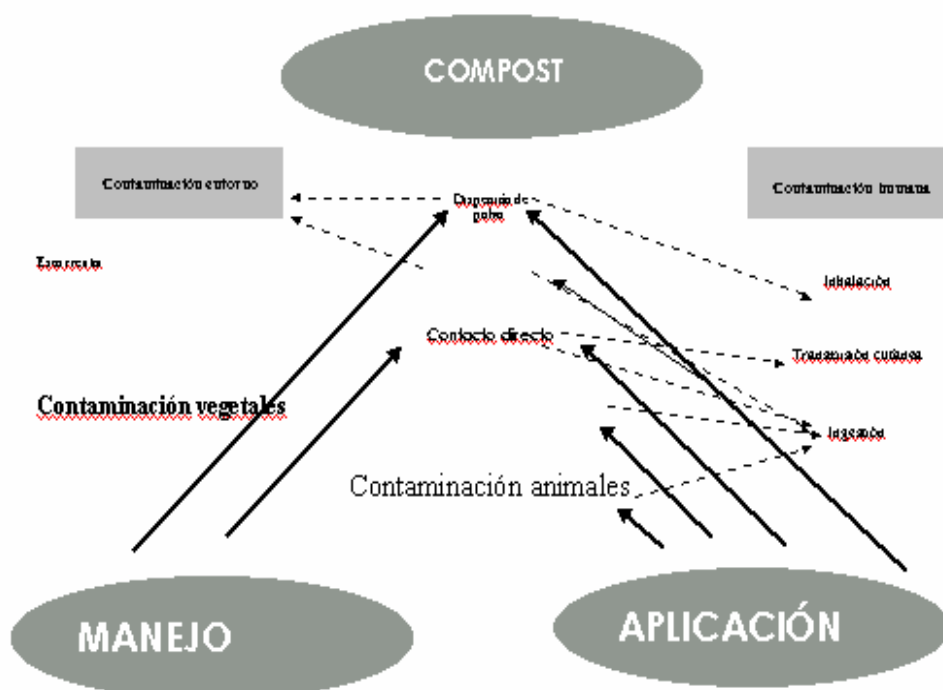


Figura 18. Riesgos en la aplicación de compost

Durante el compostaje se alcanzan temperaturas elevadas que prácticamente pueden asegurar la desaparición de patógenos animales y vegetales, siempre que se asegure que toda la masa ha alcanzado estas temperaturas. En la bibliografía y en las normativas se hallan referencias a la necesidad de que se hayan alcanzado temperaturas de 55°C durante un cierto tiempo.

Aunque prácticamente se tenga la seguridad de la higienización es muy aconsejable realizar determinaciones de organismos indicadores como pueden ser la *Salmonella* y el *Escherichia coli*.

El mayor riesgo detectado en plantas de compostaje está relacionado con la aspiración de “polvo orgánico” que afecta principalmente a personas con problemas respiratorios o bajas defensas. Para controlarlo es importante mantener siempre la humedad adecuada en el material que se voltea, criba o aplica, y tomar las precauciones adecuadas.

Comentarios finales

Se han expuesto diversos parámetros para caracterizar muestras de compost y podría ampliarse el abanico, pero seguramente no es la cantidad de parámetros analizados lo que va a dar una buena información, sino la manera en que se relacionen e interpreten.

Table 05.02-G4. Maturity indicator thresholds.			
Group B (<i>Maturity Indicator</i>)	Rating		
	<i>Very Mature</i>	<i>Mature</i>	<i>Immature</i>
Ammonium, (mg kg ⁻¹ dw)	< 75	75 - 500	> 500
Ammonium:Nitrate Ratio ³ , (unitless ratio)	< 0.5	0.5 - 3.0	> 3.0
Seedling Emergence, (% of control), AND	> 90	80 - 90	< 80
Seedling Vigor, (% of control)	> 95	85 - 95	< 85
In-Vitro Germination and Root Elongation, (% of control)	> 90	80 - 90	< 80
Earthworm Bioassay: The Minnesota "Z"-Test (% weight gain)	< 20	20 - 40	> 40
Ammonia, (color-code for Solvita NH ₃)	5	4	3 - 1
Volatile Fatty Acids, (mmoles g ⁻¹ dw)	< 200	200 - 1,000	> 1,000

Table 05.02-G3. Stability indicator thresholds using respirometry.			
Group A (<i>Stability</i>)	Rating		
	<i>Very Stable</i>	<i>Stable</i>	<i>Unstable</i>
Specific Oxygen Uptake Rate (mg O ₂ per g OM per d)	< 3	3 - 10	> 10
Carbon Dioxide Evolution Rate (mg CO ₂ -C per g OM per d)	< 2	2 - 4	> 4
Dewar Self-Heating Test (Dewar Index)	V		< V
Headspace Carbon Dioxide (color-code for Solvita CO ₂)	7 - 8	5 - 6	1 - 4
Biologically Available Carbon (mg CO ₂ -C per g OC per d)	< 2	2 - 4	> 4

ADAPTED FROM—TMECC Table 05.08-1 Compost stability index.

Tabla 10. Test methods for the examination of Composting and Compost. U.S Composting Council

En la tabla 10 se da información facilitada por U.S. Composting Council, en la que aparecen algunos de los parámetros comentados y los valores que deberían alcanzar, pero sobre todo vale la pena destacar la aparición de dos conceptos que a veces se usan de una manera confusa: madurez y estabilidad. El primero se refiere al grado de transformación del material y a la posible presencia de ciertas sustancias fitotóxicas y/o con olor desagradable. En cambio la estabilidad está relacionada con la actividad biológica del compost y su transformación al ser aplicado al suelo.

Es importante diferenciar los dos conceptos y determinar el grado de exigencia de cada uno según el uso que se pretenda dar al compost. Por ejemplo, si un compost está maduro pero no estable no tiene porque presentar problemas en una aplicación a cultivos extensivos; por el contrario, si un compost se quiere usar como sustrato se necesitará máxima madurez y estabilidad.

El problema de la caracterización y valorización del compost está en uniformizar los criterios de productores, comerciales y usuarios, y en poder aplicar parámetros muy simples y económicos.

Una vez el aspecto del compost es aceptado (color, olor, granulometría, humedad, ausencia de contaminantes físicos) y estemos todos convencidos de que no se deben compostar materiales con determinados contenidos en contaminantes, pueden escogerse unos pocos parámetros fáciles de realizar en la misma planta o en la mayoría de laboratorios de análisis de suelos.

- ✓ Los tratamientos biológicos de residuos orgánicos deben hacerse desde la base de que son un proceso industrial como cualquier otro: controlar materias primas, proceso, productos, rendimientos y consumos.
- ✓ La valoración de la calidad de los productos debe hacerse desde el entendimiento del proceso y del conocimiento de sus posibles aplicaciones.
- ✓ Es prácticamente imposible opinar de la calidad de un compost si no se tiene en cuenta su origen y un conjunto de parámetros.
- ✓ En general, los suelos mediterráneos, tengan el uso que tengan, tienen necesidad de que se les aplique periódicamente materia orgánica, pero de una determinada calidad. Esto significa como mínimo ausencia de contaminantes y presentar una buena estabilidad.
- ✓ Aplicar compost o residuos orgánicos de mala calidad, no mejorara los problemas de las zonas mediterráneas (tanto en lo que se refiere a gestión de residuos como a la gestión del suelo) y favorecerá la dispersión de contaminantes.
- ✓ Si se apuesta por utilizar el suelo para la gestión de los RO debe hacerse correctamente, tomando decisiones interdisciplinarias, consensuadas y responsables, aunque inicialmente no sean políticamente rentables.

Bibliografía

CEE. 2001. *Working document: Biological treatment of biowaste. 2nd Draft. pp 22*

European Commission. DG ENV. E3-2000. Waste management. *Working Document on Sludge. 3rd draft.* http://europa.eu.int/comm/environment/waste/facts_en.htm

EEA. 2001. *Down to earth: Soil degradation and sustainable development in Europe. A challenge for the 21st century.* EEA& UNEP, (Copenhague: European Environmental Agency, 2000. <http://www.eea.eu.int> (28/11/01).

European Commission 2001a. *The Soil Protection Communication – DG ENV. 2001. Draft 26 October 2001.* <http://www.europa.eu.int/comm/environment/agriculture/studies.htm> (5/12/01).

Giró, F. 2001. *El compostatge a Catalunya i marc legislatiu.* 4^a jornada tècnica sobre la gestió de residus municipals. El compostatge. UPC-EMMA BARCELONA, 19 de desembre de 2000

Haug, R.T. 1993. *The practical handbook of compost engineering.* Lewis publishers. ISBN 0-87371-373-7. pp717

Huerta, O., Soliva, M., 2002. base de datos de compost. ESAB & Servei del Medi Ambient de la Diputació de Barcelona.

Martínez, F.X. 1995. *Posibles usos de los residuos urbanos en agricultura: abono, enmienda orgánica y sustrato de cultivo.* pp15-26. En el libro: *Gestión y utilización de residuos orgánicos para la agricultura.* ISBN 84-7664-503-1 Fundación La Caixa/AEDOS

REAL DECRETO 261/1996, de 16 de febrero, sobre protección de las aguas contra la contaminación producida por los nitratos procedentes de fuentes agrarias.

Soliva, M., 2001a. *Anàlisi global de la estratègia de la fracció orgànica dels residus.* pp 97-136. En "Primera Jornada Tècnica sobre la Gestió de Residus Municipals". UPC.

Soliva, M., 2001b. *Compostatge i Gestió de Residus Orgànics*. Estudis i monografies nº 21. 111 pp. Diputació de Barcelona. Àrea de Medi Ambient. Barcelona.

Soliva, M., y Felipó, M.T. 2002. *Organic Wastes as a resource for Mediterranean Soils*. Presentado en "Workshop on Biological Treatment of Biodegradable Wastes - Technical aspects". DG Environment & JRC. Bruselas (en prensa).

US Composting Council. 2002. Test methods for the examination of Composting and Compost.