

“LA BIOMETANIZACIÓN: VALORIZACIÓN DE LOS RESIDUOS A TRAVÉS DE LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS”

Madrid, 27 y 28 de junio de 2006



“LA VALORIZACIÓN DEL COMPOST”

Estrada de Luis, Inés Belén
bestrada@bpeninsular.com

Gómez Palacios, José María
jmgomez@bpeninsular.com



Biomasa Peninsular

“LA VALORIZACIÓN DEL COMPOST”

ÍNDICE

1. PERSPECTIVAS de producción y USO del COMPOST
2. MARCO LEGAL para la PRODUCCIÓN y USO del COMPOST (y los SUELOS)
 - 2.1. El marco legal y los estándares de calidad del compost
 - 2.2. Paralelismos y diferencias entre las matrices suelo y compost
3. ÍNDICES de CALIDAD del COMPOST (y los SUELOS)
 - 3.1. Índices de calidad del compost
 - 3.2. Índices de calidad de suelos
4. NUEVOS USOS del COMPOST y la MATERIA ORGÁNICA
5. ORGANIZACIÓN de la DISTRIBUCIÓN del COMPOST y DETERMINACIÓN de los PRECIOS DE VENTA

REFERENCIAS

1. PERSPECTIVAS de PRODUCCIÓN y USO del COMPOST

Se puede establecer una clasificación de los biorresiduos en función de sus características, vías preferentes de valorización, productos elaborados y sectores a los que van destinados, como la que se acompaña a continuación:

LÍNEA DE ACTIVIDAD	MATERIALES RECICLADOS	PRODUCTOS ELABORADOS
MARRÓN	<ul style="list-style-type: none"> - Lodos y biosólidos de EDAR, lodos de ETAP... - Fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos - Lodos y residuos orgánicos de bioindustrias (cerveza, leche, azúcar, vino...) - Lodos y residuos orgánicos de mataderos e industria pesquera - Lodos y residuos de industria de pulpa, papel y madera - Estiércol, purines... 	<p style="text-align: center;">COMPOST</p> <ul style="list-style-type: none"> - AGRICULTURA - RESTAURACIÓN
VERDE	<ul style="list-style-type: none"> - Césped, ramas y hojas de áreas verdes - Fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos - Lodos y residuos orgánicos de bioindustrias (cerveza, leche, azúcar, vino...) - Lodos y residuos orgánicos de mataderos e industria pesquera 	<p style="text-align: center;">COMPOST ABONOS ORGÁNICOS ABONOS ESPECIALES</p> <ul style="list-style-type: none"> - AGRICULTURA - JARDINERÍA - AGR ECOLÓGICA
NARANJA	<ul style="list-style-type: none"> - Lodos y residuos orgánicos de bioindustrias (cerveza, leche, azúcar, vino...) - Lodos y residuos orgánicos de mataderos e industria pesquera - Biomasa forestal, restos de cosecha, - Cenizas de centrales de biomasa y térmicas 	<p style="text-align: center;">BIOGAS</p> <p style="text-align: center;">COMBUSTIBLES DERIVADOS DE RESIDUOS-CDR</p> <p style="text-align: center;">BIOCOMBUSTIBLES SÓLIDOS</p> <p style="text-align: center;">ÁRIDOS PARA PRODUCCIÓN DE CLINKER</p>

Por lo tanto es posible que un mismo biorresiduo tenga distintas vías de valorización y de lugar a distintos productos elaborados para su uso como fertilizante, combustible o materia prima para la industria.

La producción de compost es el destino mayoritario y más común para la valorización de los biorresiduos, por medio de los típicos tratamientos biológicos de BIOMETANIZACIÓN y COMPOSTAJE.

Según un estudio elaborado por la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental del Ministerio de Medio Ambiente sobre "los Mercados del Compost", el compost como producto de consumo, está muy deficientemente regulado en España y en Europa. Esta situación induce a la confusión de los consumidores y que los potenciales compradores consideren más importante el precio que la calidad.

Los **principales problemas** en relación con la producción y el uso compost son los siguientes:

- Olor desagradable y falta de estabilidad, debido a fermentaciones incompletas o procesos inadecuados.
- Uso de materias primas o componentes de composición y calidad inadecuadas
- Falta de indicación de los ingredientes concretos que han servido de base a la producción del compost.

Estos problemas están ligados a la forma habitual de producción del compost **en masa** y su comercialización en forma de **granel**.

Los **principales sectores demandantes de compost** son:

- ⇒ Agricultura
- ⇒ Viveros y Centros de Jardinería y Paisajismo
- ⇒ Entidades públicas para mantenimiento de zonas verdes
- ⇒ Pequeños consumidores: viviendas unifamiliares ajardinadas.

Según el citado estudio del MIMAM la estadística de demanda potencial de consumo de compost a medio largo plazo queda expresada en la Tabla 1, datos que pueden compararse con la oferta actual estimada de producción de compost para el año 2006, expresada en la Tabla 2.

Como puede comprobarse la demanda potencial supera, prácticamente duplica la oferta actual, que deberá crecer aún de manera muy significativa en los próximos años debido a:

- la aplicación de la legislación sobre vertederos y la obligación progresiva de desviar la materia orgánica de los mismos
- la creciente implantación de las tecnologías industriales limpias que reducen el nivel de contaminación
- la aplicación generalizada de los programas de control de vertidos
- la adopción de programas de separación en origen de residuos verdes, forsu, etc

Sin embargo, también habrá que tener en cuenta las posibles vías alternativas de valorización que se examinaron al inicio de este apartado, principalmente la producción de biocombustibles y combustibles derivados de residuos (no confundir con la incineración de residuos), destino que puede crecer de forma espectacular en función de la aparición de una demanda emergente de grandes consumidores (cementeras, plantas de generación eléctrica con biomasa, industria cerámica y otras industrias...) impulsadas por el incremento del precio en los combustibles fósiles y las ventajas económicas derivadas del uso de combustibles recuperados (reducción de las emisiones de CO₂ según Kyoto y primas a la generación eléctrica).

Por otra parte existe una demanda creciente de compost para su uso en agricultura debida a un reconocimiento de la necesidad de aportación de materia orgánica a los suelos cultivados, pero con una exigencia creciente en cuanto a la selectividad en los componentes, ausencia de contaminantes y calidad del compost.

Una posibilidad real para el incremento de la demanda de compost serían las nuevas aplicaciones y usos del mismo, que se analizan en un apartado posterior, pero no creemos en que adquieran un orden de magnitud significativo en el corto y medio plazo, porque el carácter de experimentación e innovación que comportan es un factor muy limitante para su desarrollo en España.

Tabla 1. Demanda potencial de compost a medio-largo plazo en España (000 t/año)

COMUNIDAD	AGRICULTURA	JARDINERÍA ESPACIOS VERDES	OTROS USOS
ANDALUCÍA	1.851	280	28
ARAGÓN	310	24	2
ASTURIAS	-	22	2
BALEARES	20	57	6
CANARIAS	27	120	12
CANTABRIA	1	10	1
CASTILLA-LA MANCHA	1.089	32	3
CASTILLA Y LEÓN	297	50	5
CATALUÑA	308	480	48
C. VALENCIANA.	377	320	32
EXTREMADURA	451	20	2
GALICIA	53	54	5
MADRID	52	400	40
MURCIA	156	80	8
NAVARRA	61	10	1
PAÍS VASCO	15	42	4
LARIOJA	61	10	1
CEUTA-MELILLA	-	-	-
TOTAL	5.129	2.011	200

Tabla 2. Oferta potencial de compost en España 2006 (000 t/año)

COMUNIDAD	de F.O.R.S.U.	de LODOS TRATADOS	de OTROS RESIDUOS
ANDALUCÍA	194	125	467
ARAGÓN	32	16	216
ASTURIAS	29	14	33
BALEARES	21	11	14
CANARIAS	43	22	13
CANTABRIA	14	6	30
CASTILLA-LA MANCHA	46	22	200
CASTILLA Y LEÓN	68	32	184
CATALUÑA	164	80	185
C. VALENCIANA	108	51	64
EXTREMADURA	29	14	99
GALICIA	74	37	122
MADRID	136	138	16
MURCIA	30	14	50
NAVARRA	14	5	38
PAÍS VASCO	56	26	30
LARIOJA	7	3	32
CEUTA-MELILLA	2	1	-
TOTAL	1.067	617	1.793

2. MARCO LEGAL de la PRODUCCIÓN y USO del COMPOST (y los SUELOS)

2.1. El marco legal y los estándares de calidad del compost

De la misma manera que se promovió la **Directiva Marco en el Sector del Agua (2000/60/CE)**, la Comisión Europea elaboró y publicó con fecha 16 de abril de 2002, una comunicación denominada **“Hacia una estrategia temática para la protección del suelo” COM(2002) 179 final**, con la intención de equiparar las políticas de protección del suelo con las existentes en el entorno del agua y la atmósfera.

El suelo y sus principales funciones quedan definidos en dicho documento como *“La capa superficial de la corteza terrestre que desempeña una serie de funciones clave, tanto medioambientales como sociales y económicas, para el desarrollo de la vida. La agricultura y la silvicultura dependen de los suelos para el suministro de agua y nutrientes, así como para su soporte físico. La capacidad de almacenamiento, filtración, retención y transformación convierten al suelo en uno de los principales elementos para la protección de las aguas y el intercambio de gases con la atmósfera. Además constituye un hábitat y una reserva genética, un elemento del paisaje y del patrimonio cultural así como una fuente de materias primas”*.

Los principales problemas y amenazas para el suelo identificados en dicho documento fueron:

- Erosión
- Descenso en los niveles de la materia orgánica y la biodiversidad
- Contaminación
- Salinización
- Compactación
- Inundaciones y deslizamientos de tierras
- Sellado (ocupación del suelo por actividades antrópicas: zonas urbanas, industriales, vías de comunicación, etc)

Las medidas más relevantes propugnadas en dicho documento en relación con la protección y uso sostenible del suelo son las siguientes:

- Revisar la Política Ambiental y la Política Agraria Común en la Unión Europea, además del resto de las políticas relacionadas, especialmente la forestal (tan difusa como escasa).
- Apoyar la propuesta de una legislación sobre vigilancia del suelo.
- Diversas medidas y comunicaciones para la protección del suelo, afrontando cada una de las amenazas y finalmente la publicación de una “Directiva Marco sobre el suelo”

Dicho documento fue la base para la creación en Febrero del 2003, de una serie de grupos de trabajo, integrados por representantes de la Comisión y los Estados Miembros, además de representantes del mundo académico, la investigación, los sectores productivos y las asociaciones relacionadas con el tema propuesto, en total más de 200 participantes. Los grupos de trabajo formados fueron los siguientes:

- Materia orgánica y biodiversidad (Organic matter and biodiversity)
- Erosión (Erosion)
- Contaminación (Contamination)
- Control analítico (Monitoring)
- Investigación (Research)

Los trabajos e informes elaborados por estos grupos, de gran interés y alto valor a juicio de los autores de esta ponencia, quedaron finalizados en Junio del 2004, pudiendo encontrarse en la siguiente dirección <http://forum.europa.eu.int/Public/irc/soil/library>

Determinadas iniciativas legislativas comunitarias pre-existentes a la iniciativa sobre *Estrategia temática de suelos*, quedaron encuadradas en dicho marco (lo que sin duda representa un avance vital en integración legislativa), a la vez que paralizadas en su tramitación. Nos referimos a los siguientes borradores de directiva en fase de elaboración:

- *Lodos de depuradora (2000)*
- *Tratamiento biológico de bio-residuos (2002)*
- *Residuos de minería (2003)*

El resto del marco legal conectado con la temática de suelos y compost queda configurado por las siguientes directivas:

- *Directiva sobre Vertederos 1999/31/CE*
- *Directiva sobre Incineración 2000/76/CE*
- *Directiva sobre Aplicación Agrícola de lodos de depuración 86/278/CE*
- *Reglamento 1774/2002 sobre Residuos y sub-productos animales y normas conexas*

Otras Directivas con una vinculación indirecta pero relevante con la temática de suelos y compost son:

- *Directiva 91/968 Depuración de aguas residuales*
- *DIR 96/61/CE IPPC*
- *Directiva 2001/77/CE sobre generación eléctrica con fuentes renovables*
- *Reglamento 2158/92 sobre protección de los bosques comunitarios contra los incendios (¡¡¡expirado el 31-12-2002!!!)*

Otro indicador positivo, producido durante el relevo de la Comisión en otoño del 2004, en la línea ya indicada de integración normativa y administrativa, ha sido la creación de la Unidad de "Agricultura y Suelo" dentro de la DG Medio Ambiente, reconociendo la importancia prioritaria por su extensión, de las prácticas agrarias en relación con la conservación y el uso sostenible del suelo.

En España, a la espera de la publicación y transposición y/o adaptación de estas normas y consecuente consolidación del marco legal sobre compost y suelos, el marco se reduce a:

- *R.D. 9/2005 de 14 de enero sobre actividades potencialmente contaminantes de suelos y estándares de suelos contaminados*
- *R.D. 824/2005 de 8 de julio sobre productos fertilizantes*

Resaltamos por su interés la realización en los años 2003 y 2004, coordinado entre los ministerios de Medio Ambiente, Educación y Ciencia y Agricultura, Pesca y Alimentación, de un trabajo denominado "*Metales pesados, materia orgánica y otros parámetros de la capa superficial de los suelos agrícolas y pastos de la España peninsular*", con la colaboración y edición del INIA, por ser el primero exhaustivo y global a nivel nacional, echándose de menos no obstante la inclusión de los territorios no peninsulares en el mismo.

En términos de vigilancia y establecimiento de límites de contaminación en suelos, y en relación con el uso de fertilizantes, abonos, compost y enmiendas, resulta interesante comprobar como en las normativas europeas más avanzadas y en los propios borradores de las directivas de lodos y bio-residuos, se establece como guía el “principio de conservación”, por el cual se pretende que no se incremente el contenido en elementos contaminantes (PTEs- “potentially toxic elements” o POPs- persistent organic pollutants) después de las aplicaciones de los mencionados productos a medio y largo plazo. Así que en estos términos, tendremos unos parámetros de calidad de compost muy parecidos a las calidades de suelos naturales no contaminados.

Las limitaciones para estos contaminantes se pueden ver en las Tablas 3, 4, 5 y las limitaciones de carácter microbiológico para el uso agrícola de orgánicos se pueden ver en la Tabla 6.

Tabla 3.- Limitaciones de PTEs en substratos orgánicos

PTEs (ppm)	BIOSÓLIDOS		COMPOST / OTROS 2 Draft Biowaste Management Dir			FERTILIZANTES R.D. 824/2005 de 8 de Julio		
	Dir 86/278/CE Lodos	3 Draft futura Dir Lodos	Compost Clase 1	Compost Clase 2	Residuo estabilizado	Clase A	Clase B	Clase C
Cd	20 a 40	10	0,7	1,5	5	0,7	2	3
Cu	1.000 a 1.750	1.000	100	150	600	70	300	400
Ni	300 a 400	300	50	75	150	25	90	100
Pb	750 a 1.200	750	100	150	500	45	150	200
Zn	2.500 a 4.000	2.500	200	400	1.500	200	500	1.000
Hg	16 a 25	10	0,5	1	5	0,4	1,5	2,5
Cr	-----	1.000	100	150	600	70	250	300
Cr (VI)	-	10	-	-	-	-	-	-

* Las respectivas clases de los fertilizantes (A, B y C), engloban aquellos productos fertilizantes cuyo contenido en metales pesados no supera ninguno de los valores indicados para la clase correspondiente.

Tabla 4.- Limitaciones de PTEs en suelos y dosis anuales de PTEs

PTEs	Directiva 86/278/CE Lodos		3 Draft futura Directiva Lodos 30.04.03			
	Límites	Límite dosis	Límites en suelos agrícolas (ppm)			
	ppm	Kg/ha/a	5<pH<6	Límite dosis Kg/ha/a	pH>7	Límite dosis Kg/ha/a
Cd	1 – 3	0,15	0,5	1	1,5	0,015
Cu	50 – 140	12	40	50	100	3
Ni	30 – 75	3	30	50	70	0,75
Pb	50 – 300	15	50	70	100	1,5
Zn	1.500 – 3.000	30	60	150	200	7,5
Hg	1 – 1,5	0,1	0,2	0,5	1	0,010
Cr	-----	-----	50	75	100	3
Cr (VI)	-	-	-	-	-	0,015

* Se admiten incrementos en las dosis de Cu y Zn en función de las necesidades agronómicas específicas para estos elementos.

* Se establecen así mismo limitaciones de 30 Kg/ha/a de LAS y 2,7 Kg/ha/a de NPE.

Tabla 5.- Limitaciones de contaminantes orgánicos persistentes en productos orgánicos para uso agrícola

CONTAMINANTES ORGANICOS en BIOSÓLIDOS y ORGÁNICOS TRATADOS		Previsión Legislación UE 3 Draft Directiva Lodos	Previsión Legislación UE 2 Draft Directive Biological Waste Management		
			Compost Clase 1	Compost Clase 2	Residuo estabilizado
LAS	Alquilbencensulfonatos lineales	5.000 mg/kg			
NPEs	Nonilfenol y nonilfenoletoxilatos (con 1 ó 2 grupos etoxi)	450 mg/kg			
PAHs	Suma de todos los hidrocarburos policíclicos aromáticos*	6 mg/kg	Ausencia	Ausencia	3 mg/kg
PCBs	Bifenilos policlorados (suma de los congéneres 52,101,118,138,153 y180)	0,8 mg/kg	Ausencia	Ausencia	0,4 mg/kg
PCDDs y PCDFs	Policlorodibenzodioxinas y dibenzofuranos	100 ng ITEQ/kg			

* PHAs: acenafteno, fenantreno, fluoreno, fluorantreno, pireno, benzo(b+j+k)pireno, benzo(a)pireno, benzo (ghi)perileno, indeno(1,2,3-c,d) pireno

Tabla 6.- Limitaciones microbiológicas para el uso agrícola de orgánicos

	Legislación EEUU BIOSÓLIDOS EPA 40 CFR Part 503		ECOETIQUETA UE Decisión Comisión 94/923/CE 14 Nov (*1, *2)	FERTILIZANTES R.D. 824/2005 de 8 de Julio	UE 3 Draft D. lodos (*3)	UE 2 Draft D. Biolog Waste Management
	CLASE B	CLASE A (*1)			Lodos tratamiento avanzado	
SALMONELLA	-	3 UFC/4 g	Ausencia en 25 g	Ausencia en 25 g	Ausencia en 50 g	Ausencia en 50 g
C. FECALES	2 X 10 ⁶ UFC/g	< 1.000 UFC/g	-	-	-	-
E. COLI	-	-	< 1.000 UFC/g	< 1.000 NMP	< 1x10 ³ UFC/g	-
CL.PERFRINGENS	-	-	-	-	< 3x10 ³ UFC/g	Ausencia en 1 g

(*1) Productos con clasificación de calidad excepcional EQ(sin limitación de uso)

(*2) Modificada por la Decisión de la Comisión 98/488/CE que prohíbe expresamente la concesión de Ecoetiqueta a productos que contengan lodos de depuración en su composición

(*3) Se establecen distintas exigencias y restricciones de uso para tratamientos avanzados y convencionales

2.2. Paralelismos y diferencias entre las matrices suelo y compost

Existe un **paralelismo natural entre las matrices suelo y compost**, aunque también existen diferencias evidentes entre las mismas en cuanto a su origen, formación y funcionalidad.

Un paralelismo de gran interés es, que en términos generales se utiliza para ambas matrices la misma metodología para las determinaciones analíticas de los parámetros físicos, químicos y biológicos, salvo en los muestreos por razones que resultan evidentes.

Desde la perspectiva agronómica mas simple, el suelo es el medio sobre el que se desarrollan las especies vegetales cultivadas y silvestres, mientras que el compost, que muchas veces se define como similar a la capa superior del suelo o "topsoil" ("like humus or like soil material"), es un abono o enmienda que se aporta habitualmente en cantidades entre 5 y 30 t/ha y año, incorporando distintos factores de mejora al suelo y los cultivos en él implantados, de tipo físico, químico, biológico e incluso ecológico.

Las **diferencias** más relevantes entre las matrices suelo y compost se exponen en dos líneas:

a) Origen

- a₁) **Origen del suelo**, de tipo principalmente edáfico, evolucionado a partir de la roca madre y distintos aportes de materia orgánica fresca y nutrientes procedentes de los ciclos naturales y las actividades antrópicas, evolucionados a lo largo de largos periodos de tiempo (en términos incluso geológicos), con alta estabilidad, resiliencia y riqueza de micro y mesoflora y fauna (biodiversidad).
- a₂) **Origen del compost**, procedente de materias orgánicas frescas de origen humano, animal o vegetal, elaborado de forma forzada en instalaciones industriales, con objetivos operativos (reducción de humedad, olor, fermentabilidad y contenido en patógenos, etc) y de calidad o funcionalidad final (ausencia de contaminantes e impropios, contenido en nutrientes y humus o materiales humificables y propiedades biológicas y ecológicas para mejora de los suelos y/o los cultivos).

b) Características

- b₁) **Características del suelo**, matriz "natural", oligotrófica, con predominio de componentes minerales y función compleja (estructural, física, química y biológica).
- b₂) **Características del compost**, que es una matriz "artificial", eutrófica (rica en nutrientes), con predominio de materia orgánica casi fresca y solo parcialmente estabilizada y función mejorante, con riqueza limitada en micro y mesoflora y fauna, condicionada principalmente por los substratos originales.

Entrando ya de lleno en el foco de atención de la ponencia, es necesario resaltar la **relación directa existente entre contenido en materia orgánica, biodiversidad y fertilidad de los suelos**. También es posible extender esta relación al compost, en cuanto al tipo original y evolución de la materia orgánica, biodiversidad y calidad o resultado agronómico del mismo.

Resulta quizá necesario, recordar la definición de biodiversidad proporcionada por la Convención sobre Diversidad Biológica (CBD) que la define como *"la variabilidad entre los organismos vivos de todos los reinos incluyendo, inter alia, los organismos terrestres, marinos y de otros ecosistemas acuáticos y entre los sistemas complejos de los cuales forman parte; esto incluye la diversidad dentro de las especies, entre especies y de los ecosistemas"*.

La **biodiversidad tiene dos facetas** que son como la cara y cruz de una moneda (Breure, A.M. 2004):

- 1) La ***diversidad biológica***, que es función del número total de especies presentes (riqueza específica); de la diversidad genética específica, de la diversidad de los ecosistemas (naturales, agro-ecosistemas, etc) y de la distribución o número de individuos pertenecientes a cada especie.
- 2) La ***diversidad funcional***, que describe los distintos roles o funciones biológicas de las especies o grupos de especies en el seno de un ecosistema.

Así que, *sensu lato*, **la biodiversidad puede definirse como el capital ecológico en el suelo.**

3. ÍNDICES de CALIDAD del COMPOST y los SUELOS

3.1. Índices de calidad del compost

El compost es uno de los productos universalmente reconocidos para su uso en agricultura y jardinería. Ha sido tradicionalmente contemplado como una **fuerza de materia orgánica, nutrientes y oligoelementos de liberación lenta.**

Tradicionalmente se han usado los parámetros **físicos y físico-químicos junto con los microbiológicos como índices o requerimientos de calidad del compost.** Posteriormente se introdujeron los índices de madurez y estabilidad. Los índices bioquímicos se usan como elementos técnico-científicos en programas de ensayos e investigación, desarrollándose en los últimos años algunos "kits" de uso comercial.

Pero el compost también puede ser considerado como un **"alimento" para la cadena trófica del suelo**, como una "siembra" promotora de la actividad biológica de los microorganismos del suelo, como un sustrato con propiedades de "control de enfermedades" de las plantas cultivadas. En suma el compost puede constituir un excelente factor de producción para los agro-ecosistemas y un excelente factor de protección y conservación de los suelos. (Fernández, R.M.; Gómez, J.M., 2004).

La calidad de los composts está inicialmente determinada por el material original (composición y naturaleza de los materiales, grado de digestión, contenido original de nutrientes, etc.) y por el sistema de compostaje.

Aparte de los conocidos factores de humedad, oxígeno, relación C/N y estructura y porosidad de la pila de compost en proceso, existen teorías y desarrollos del proceso de compostaje que prestan una atención especial al **mantenimiento de las condiciones aerobias de las pilas, mediante la reducción de su tamaño y el incremento de la frecuencia de volteo** (Luebke, CMC o Controlled Microbial Composting). El objetivo sería lograr una "bioaumentación" o crecimiento incrementado de las poblaciones y actividad biológica de los microorganismos que realizan el proceso de compostaje, y la adecuada sucesión de las mismas a lo largo del proceso. Estas técnicas producirían **un tipo de compost con óptima calidad en términos ecológicos y máximos efectos sobre el suelo y los cultivos a dosis reducidas.**

a) Índices químicos y físico-químicos

Los análisis químicos y físico-químicos más comunes incluyen pH, conductividad eléctrica, amonio, C y N total o solubles en agua, capacidad de intercambio catiónico y ácidos grasos volátiles. Con excepción de estos últimos, son análisis más sencillos y económicos, que pueden ser efectuados en laboratorios estándar de suelos, aguas o tejido vegetal. Uno de los índices más utilizados ha sido (y es) la relación C total/N total, estableciéndose, en general, que en un compost maduro esta relación debe ser < 20. Sin embargo, este índice es muy afectado por el

material original, así por ej., en el caso de biosólidos esta relación es muy inferior a 20 en el material sin compostar y tiende a aumentar durante el proceso de compostaje.

Por otra parte, el índice más sencillo aplicable a estos materiales, es la relación C soluble en agua/ N total, que debe ser (0,7) (Hue, N.V. and Liu, J. 1995). El C soluble en agua es un indicador de la cantidad de material fácilmente biodegradable y su reducción durante el proceso de compostaje en relación al contenido de N total, indica el grado de estabilización de la materia orgánica.

Por otra parte también se incluyen habitualmente en este apartado los elementos contaminantes:

- PTEs - elementos potencialmente tóxicos (metales pesados). (Tabla 3)
- POPs – o contaminantes orgánicos persistentes. (Tabla 5)
- Granulometría
- Contaminantes físicos o impropios (plásticos, vidrio, partículas metálicas, etc)

b) Índices microbiológicos

Son utilizados en los textos legislativos como medida de garantía higiénica y sanitaria para el uso del compost y en menor medida como chequeo de la eficiencia del proceso de compostaje.

Se basan en la elección de una serie de microorganismos con carácter de “indicador” y “test”, habiéndose determinado con carácter previo una correlación entre la presencia y concentración de los mismos con el conjunto o la mayoría de las especies patógenas. (Fernández R.M. *et al.*, 2004).

Para ser considerados indicadores, los microorganismos tienen que satisfacer algunos criterios:

- Tener características de crecimiento (temperatura, pH, etc) similares a las de los patógenos cuya detección y cuantificación resulta difícil o a veces imposible.
- Ser susceptibles de determinación por técnicas analíticas sencillas, fiables, precisas y que no sean caras.
- Presentar resistencia a los tratamientos similar o mayor que los patógenos.
- La concentración y la evolución de los microorganismos indicadores tiene que tener una correlación con las de la población patógena.
- Capacidad de soportar los desinfectantes y el estrés ambiental al mismo nivel que los patógenos potencialmente presentes.

Como un único microorganismo indicador no predice la presencia de todos los patógenos, es mejor tener varios microorganismos indicadores. Patógenos como helmintos y protozoos no se encuentran siempre en residuos; el cultivo de virus no es demasiado sencillo, por tanto el mejor tipo de microorganismo indicador parecen ser las bacterias.

En la mayoría de los países europeos, los microorganismos indicadores que se han seleccionado son:

- Coliformes (totales y fecales)
- *E. coli*
- *Enterococcus*
- *Clostridium*
- Enterobacterias

Un microorganismo test es un microorganismo no endógeno introducido en el sustrato estudiado y usado para validar la higienización en los procesos de tratamiento. Se dosifican en las muestras antes del tratamiento y se mide su concentración después del tratamiento.

Deben reunir algunas características:

- Ser resistentes a las condiciones físicas y químicas del tratamiento.

- Tener condiciones de aislamiento y cultivo sencillas.
- Tener bajo potencial de transmisión y bajo riesgo sanitario
- Bajo coste de los análisis.

Los microorganismos test se eligen con algunas características de crecimiento específicas, normalmente resistencia a altas temperaturas. Las bacterias del género *Clostridium* son las más resistentes entre las bacterias generalmente presentes en los bio-residuos y el compost, debido a su capacidad para formar esporas de resistencia, pero son demasiado resistentes para ser utilizadas como microorganismos test debido a que su tasa de inactivación no es suficientemente importante.

c) Índices de madurez y estabilidad

Ambos, aunque sean conceptualmente diferentes, definen el grado de descomposición de la materia orgánica durante el proceso de compostaje. La estabilidad indica el nivel de actividad de la biomasa microbiana, y la madurez el grado de descomposición de los compuestos fitotóxicos producidos durante la fase inicial del compostaje. Por tanto, estas dos propiedades normalmente, aunque no siempre, avanzan juntas (Jiménez, E. y García, V. 1989).

La madurez es un parámetro muy a tener en cuenta en la producción del compost, ya que un compost inmaduro puede ser inestable y fitotóxico para el desarrollo de las plantas (Wu, L. *et al.*, 2000).

Algunos de los índices de estabilidad más conocidos son los siguientes:

- Test respirométricos (O_2 , CO_2)
- Demanda de oxígeno
- Test de autocalentamiento

En cuanto a los índices de madurez más usados se encuentran los siguientes:

- Concentración de amonio
- Ácidos orgánicos volátiles
- Test de germinación

Actualmente existe una amplia gama de métodos para evaluar el grado de maduración de los compost, pero ninguno de ellos puede ser aplicado universalmente debido a la gran variabilidad existente en torno a los materiales de partida empleados en el compostaje, por otra parte, a pesar de la importancia del tema y de la numerosa bibliografía al respecto, no existen normas internacionales que regulen este tipo de índices (Gies, G. 1997, Cooperband, L. 2000).

d) Índices bioquímicos

Los análisis bioquímicos son laboriosos y caros, lo que limita su utilización, por ejemplo, mineralización de N, tasa de respiración (consumo de O_2 o liberación de CO_2), actividad enzimática (fosfatasas, dehidrogenasas, etc), contenido de ATP, etc. Los índices bioquímicos son una medida de la actividad metabólica de la biomasa microbiana.

e) Índices eco-biológicos

Aunque se trata de un campo en desarrollo y por tanto no regulado ni asimilado por la ortodoxia académica, y al igual que se indicará en el apartado 3.2, correspondiente a los suelos, existen metodologías analíticas para la medición de índices eco-biológicos y know-how para su interpretación y aplicación en términos prácticos.

Es posible utilizar el mismo conjunto de determinaciones aplicables a los suelos (biomasas bacteriana y fúngica total y activa, Protozoos, Nemátodos-por grupos-, y Microartrópodos), y determinados ratios o correlaciones entre los mismos, para determinar la estructura trófica o eco-biológica del compost y su calidad o aptitudes de uso para suelos y cultivos específicos.

Así se podrá hablar de compost con predominancia fúngica (de mejores resultados para cultivos leñosos o fresas) o bacteriana (más adecuados para hortalizas de hoja) y determinar su compatibilidad con determinados tipos de suelos y cultivos.

3.2. Índices de calidad de suelos

Calidad del suelo es la capacidad de éste para funcionar con respecto a un clima, paisaje, ecosistema y manejo determinados; para producir manteniendo la calidad medioambiental, promoviendo la salud tanto de plantas y animales como de los seres humanos (Brussaard *et al.*, 2004). No existe un único parámetro que pueda cuantificar la calidad del suelo, pero existen determinadas propiedades que se consideran buenos indicadores (Diack y Scott, 2001).

Alonso *et al.*, (2004), presentan un índice de calidad de suelos basado en tres tipos de indicadores, que se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 7. Índices de calidad de suelos

Indicadores bioquímicos biológicos	<ul style="list-style-type: none"> ⇒ Lombrices ⇒ Carbono de biomasa microbiana ⇒ Respiración del suelo ⇒ Actividades enzimáticas, ATP
Indicadores físicos	<ul style="list-style-type: none"> ⇒ Textura ⇒ Estructura ⇒ Densidad aparente ⇒ Infiltración ⇒ Capacidad de retención de agua ⇒ Humedad ⇒ Temperatura del suelo ⇒ Profundidad del suelo ⇒ Pendiente ⇒ Enraizamiento
Indicadores químicos	<ul style="list-style-type: none"> ⇒ pH ⇒ Conductividad eléctrica ⇒ Carbono orgánico total ⇒ Contenido en N-P-K ⇒ Materia orgánica

Por otra parte, y siguiendo un enfoque centrado en los aspectos eco-biológicos, Breure, A.M. (2004), pone de relieve la importancia de la actividad biológica y la biodiversidad en la capacidad funcional de los suelos:

La actividad biológica está principalmente concentrada en la capa superficial del suelo. Los componentes biológicos de la misma ocupan una fracción mínima (el 0,5% en volumen) del suelo y un 10% de la fracción materia orgánica. Los microorganismos del suelo son responsables de la mayor parte de la actividad biológica asociada a los procesos de regulación de los ciclos de los nutrientes y descomposición de los residuos orgánicos, entre el 60 y el 80%. Las lombrices representan la mayor parte de la fauna del suelo. Los otros grupos de micro y mesofauna son los Nematodos, Bacterias, Hongos, Nematodos, Protozoos y Algas.

Las funciones e interacciones de los distintos grupos y especies son enormemente complejas, pudiendo resumirse dentro de la expresión "Soil Food web" o cadena trófica del suelo. (Ver Diagrama 1 al final del texto).

Partiendo de estos fundamentos, existe una línea de trabajo que trata de **"medir" o cuantificar** factores como **la biodiversidad, la capacidad funcional y la salud o equilibrio de los suelos**, partiendo de la medición directa de las poblaciones de las distintas especies. Existen para ello serias limitaciones, por ejemplo:

- el escaso número de especies identificadas (en las bacterias 3.500 entre 30.000 especies presuntamente existentes; en los hongos 35.000 entre 1.500.000; en los nematodos 5.000 entre 500.000, etc...) (García Álvarez, A. Bello. A. 2004)
- la falta de disponibilidad, la complejidad y el alto coste de los métodos moleculares, únicos capaces de medir con garantías esta abrumadora diversidad

Por tanto y como en otros campos, se toman como referencias **métodos más simples ya disponibles de tipo indicador, representativo o indirecto**, además de los métodos bioquímicos citados con anterioridad:

- **Organismos indicadores (lombrices, nematodos, bacterias hongos, etc...)**
- **Mediciones de la biomasa total y activa de distintos grupos de especies (bacterias, hongos, protozoos)**
- **Ratios o equilibrios entre los distintos grupos de especies (Bacterias/Hongos, etc)**

Dado el carácter "sensible y cambiante" de los parámetros a determinar, habrá que tomar cuidados y consideraciones especiales, relacionadas con la profundidad y técnica de muestreo, estación climática y frecuencia del muestreo, técnicas estadísticas para interpretación de los resultados, consideración del cultivo implantado en ese suelo e historial del uso del mismo, etc, etc.

A falta de una teoría científica completa y sólida al respecto y a pesar del ingente trabajo que queda pendiente aún por desarrollar, lo que puede afirmarse es que ya es posible realizar en la actualidad un **diagnóstico de la capacidad funcional y salud de un suelo, así como su seguimiento y mejora** mediante determinaciones eco-biológicas, lo que podría denominarse como la **estructura de la cadena trófica del suelo** (ver Diagrama 2 al final del texto).

Este enfoque eco-biológico de diagnóstico y estimación de la calidad de los suelos, sería altamente compatible con las claves de la agroecología y el enfoque de los campos de cultivo como agro-ecosistemas, donde la aplicación de materia orgánica y compost de calidad junto con las prácticas agrícolas adecuadas, jugarían un papel necesario y muy relevante, en contraste con la situación de la llamada agricultura "química" o "industrial".

4. NUEVOS USOS del COMPOST y la MATERIA ORGÁNICA

- **El compost y la materia orgánica en la agroecología**

Existe una línea ya tradicional de investigación que considera los **campos cultivados como agro-ecosistemas** (Ebertseider, T. and Gutser, R. 2001). Desde esta perspectiva, se trata de comprender la dinámica de las poblaciones y las distintas comunidades que integran los mismos. Estas dinámicas obedecen a las relaciones e interacciones de la cadena trófica del suelo. También **es posible ampliar este enfoque eco-biológico a los distintos substratos orgánicos y al compost**. Así puede quedar establecido un marco común para el análisis agro-ecológico de los substratos orgánicos, el compost y los suelos, incluyendo su

influencia sobre los cultivos (estado sanitario, productividad y calidad de los productos cosechados).

Existe por tanto conocimientos de base científica con posibilidades de ser aplicados de forma práctica en los campos de la agricultura, la jardinería, la reforestación y la restauración de suelos, para una **gestión agroecológica de los suelos y los cultivos**. El compost puede ser un factor auxiliar con un gran potencial. El **desarrollo y uso de indicadores y/ índices de calidad eco-biológicos comunes para suelos y compost** puede resultar la herramienta clave para lograr este objetivo, con innumerables beneficios derivados para la **salud del suelo, la protección del medio ambiente y la producción de alimentos de calidad**.

- **La biofumigación**

La biofumigación es una técnica basada en utilizar la acción fumigante de los compuestos volátiles liberados durante el proceso de degradación biológica de la materia orgánica para el control de organismos fitopatógenos de suelo (*Bello, A, Piedra Buena, A. et al, 2006*). Una de sus características es que **los materiales orgánicos utilizados como biofumigantes se aplican en fresco**, lo cual reduce los costes de gestión pero limita las distancias de transporte debido al alto contenido en humedad del residuo fresco.

En España se cuenta con el **Dpto. de Agroecología del CCMA** como pionero y referente en cuanto a investigaciones realizadas para ajustar la biofumigación a diferentes ambientes y cultivos. Los principales problemas de esta práctica consisten en la variable composición y efectividad de los materiales orgánicos ensayados, así como en la posibilidad de que puedan provocar acumulación de compuestos fitotóxicos o aumentar el inóculo de patógenos. Por ello, es necesario seleccionar los materiales y establecer la dosis adecuada según el tipo de suelo, el cultivo y la disponibilidad local de materiales orgánicos.

- **Control y supresión de enfermedades vegetales**

El compost es habitualmente usado por sus propiedades fertilizantes o mejoradoras del suelo, pero también posee capacidad para el control y la supresión de enfermedades de las plantas.

Los suelos con bajo contenido en material orgánica y actividad biológica tienden a presentar buenas condiciones para la difusión de las enfermedades radicales de las plantas (*Hoitink et al, 2.004*). Los patógenos encuentran un medio favourable para su supervivencia y el ataque a las plantas huésped.

Desafortunadamente, la práctica de desinfección de suelos con bromuro de metilo es muy habitual en las zonas de cultivos intensivos. España, como país firmante del protocolo de Montreal y perteneciente a la Unión Europea está obligado a reducir dicha práctica hasta su total eliminación.

El uso regular y controlado del compost y la materia orgánica (como antes se vio en la biofumigación) pueden permitir la reducción y en muchos casos eliminación de los pesticidas y desinfectantes del suelo.

Aunque las causas de los efectos control y supresión sobre las enfermedades aún están siendo elucidados, se conoce la influencia de factores de competencia, antibiosis, inducción de la resistencia, además de otros factores de tipo químico o fisiológico nutricional que probablemente también intervienen.

Los efectos supresivos del compost pueden ser mejorados mediante la inoculación de cepas específicas de agentes de control biológico específicos (*Trillas et al, 2004*).

- **El te de compost**

El te de compost se produce mediante la mezcla de compost con agua, sometida a una periódica agitación, y el cultivo de la mezcla por un período de tiempo determinado (entre 2 y 6 días), habitualmente incluyendo la aireación y la incorporación de aditivos cuya finalidad es aumentar la densidad de las poblaciones microbianas durante la fase de cultivo (*Scheurell, Mahaffee et al, 2002*). También se denomina "extracto de compost" (*Weltzien et al 1.991*)

Pueden añadirse antes de su aplicación, sustancias nutrientes, coadyuvantes y ligantes. La aplicación a los suelos y las plantas se realiza preferentemente con equipos tradicionales de fumigación-nebulización y sistemas de riego localizado. Según el sistema de aplicación existirán unos requerimientos mayores o menores de filtración previa.

Las dosis aplicadas son sorprendentemente bajas para los efectos producidos. Con 10 kg de compost pueden producirse 150 l. de te de compost, suficiente para una aplicación en 1 ha de cultivo. Son habituales varias repeticiones de la aplicación (de 4 a 8 durante un cultivo, con intervalos de aplicación de 2 a 4 semanas).

En las últimas décadas, la mayoría de los estudios publicados revelan los efectos de supresión de enfermedades foliares, radicales e incrementos de producción.

- **Utilización en Ingeniería ambiental**

Existen numerosos campos y aplicaciones del compost en ingeniería ambiental. Citaremos a continuación algunos de ellos:

- Restauración de suelos
- Fijación de taludes
- Mulching
- Biofiltros
- Compostaje gris
- Tejados o cubiertas verdes

5. ORGANIZACIÓN de la DISTRIBUCIÓN del COMPOST y DETERMINACIÓN de los PRECIOS DE VENTA

- **Economía de producción y distribución del compost**

- Importancia de la escala de actividad: economías de escala.
- Conveniencia de la integración de funciones:
 - * Gestión del contrato
 - * Explotación
 - * Distribución comercial
 - * Información, Relaciones Públicas
- Un programa "exitoso" de reciclado no siempre produce beneficio comercial.
- A cánones de tratamiento más altos, menor importancia relativa de los ingresos por ventas de compost:
 - * Biosólidos 4-8% ingresos sobre ingresos totales
 - * R.S.U. 2 - 3% ingresos sobre ingresos totales

- Precios en origen planta
 - * Compost de biosólidos: 4 a 18 €/t
 - * Compost de rsu: 4 a 12 €/t
 - * Compost de rsu con recogida selectiva: 12 a 20 €/t
 - * Compost y abonos orgánicos envasados: 48 a 100 €/t
- Precio final pagado por el usuario es del orden de 2 ó 3 veces mayor que el precio en origen. (incluye transporte, distribución y margen comercial).

▪ Estrategias de distribución comercial del compost

- El compost en España se destina fundamentalmente a los mercados de granel: enmienda y abonado orgánico en cultivos extensivos, secanos y regadíos.
- Existen otros mercados al por menor o “dollar markets”, interesantes para los comercializadores por su potencial económico, pero no son relevantes por su limitado volumen.
- Organización del suministro y red de distribución
 - * Servicio completo, todo incluido: asesoramiento y especificaciones de uso, suministro, transporte y aplicación al suelo.
 - * Necesidad de basarse en redes comerciales y distribuidores existentes

REFERENCIAS

Alonso Moya, M.J., Pérez Sarmentero, J., Lantinga, E.A. (2004). Método para evaluar la calidad del suelo: estudio de cuatro praderas asturianas. VI Congreso de SEAE y II Congreso Iberoamericano de Agroecología, Almería. Aceptado. Pendiente de publicación.

Breure, A.M. (2004). Soil Biodiversity: Measurements, indicators, threats and soil functions. I International Conference Soil and Compost Eco-biology, pp. 83-96.

Brussaard, L., Kuiper, T.W., Didden, W.A.M., De Goede, R.G.M., Bloem, J. (2004). Soil Quality from Biomass to Biodiversity – Importance and Resilience to Management Stress and Disturbance. Schjønning, P., Christensen, B.T., Elmont, S. (Eds) Managing Soil Quality-Challenges in Modern Agriculture. CAB International, Wallingford, UK.

Cooperband, L. (2000). Sustainable use of by-products in land management. En: Land Application of Agricultural, Industrial, and Municipal By-Products. (Ed) Bartels, J.M. & W.A. Dick. SSSA Book Series N° 6, Madison, WI. USA. pp. 215-235.

Diack, M., Scott, D.E. (2001). Development of a Soil Quality Index for the Chalmers Silty Clay Loam from the Midwest USA. En: Scott D.E., Mohtar, R.H., Steinhardt, G.C. (Eds)... The Global Farm.

Directiva Marco en el Sector del Agua, Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de Octubre de 2000, (Diario Oficial L 327 de 22/12/2000).

Ebertseider, T. and Gutser, R. (2001). Nutritional potential of biowaste compost. In: “Applying compost, benefits and needs”. Seminar Proceeding. Brussels.

- Fernández, R.M., Gómez, J.M., Estrada, I.B. (2004). Compost legislation: Sanitation vs. Biological quality. I International Conference Soil and Compost Eco-biology, pp. 167-183.
- García Alvarez, A.; Bello. A. (2004). Diversidad de los organismos del suelo y transformaciones de la materia orgánica. I International Conference Soil and Compost Eco-biology, pp. 211-212.
- Gies, G. (1997). Developing compost standards in Europe. *BioCycle* 38 (10), pp. 82-83.
- Hoitink, H.A.J. (2004). Disease suppression with compost: History, principles and future. I International Conference Soil and Compost Eco-biology, pp. 185-198.
- Hue, N.V. and Liu, J. 1995. Predicting compost stability. *Compost Sci. & Util.* 3, pp. 8-15.
- Jiménez, E., García, V. (1989) Evaluation of city refuse compost maturity: a review. *Biological Wastes* 27, pp. 115-142.
- Mazzarino, M.J., Laos, F., Satti, P., Roselli, L., Moyano, S., Tognetti, C. y V. Labud. Aprovechamiento integral de residuos orgánicos en el N.O. de Patagonia. <http://www.ecosur.net/visitantes/res-org-patag.html>
- Ministerio de Medio Ambiente, Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental. "Estudio de los Mercados del Compost".
- Pascual, J.A., Bernal, A., Ros, M. (2004). Control biológico de enfermedades de cultivos mediante el adecuado manejo de composts. I International Conference Soil and Compost Eco-biology, pp. 223-224.
- Wu, L., Ma, L.Q., Martinez, G.A. (2000). Comparison of methods for evaluating stability and maturity of biosolids compost. *J. Environ. Qual.* 29, pp. 424-429.