

II CONGRESO SOBRE RESIDUOS BIODEGRADABLES Y COMPOST

El reto de fomentar el consumo de los productos finales

Sevilla, 20 y 21 de octubre de 2005



*"ÍNDICES DE CALIDAD DE SUELOS Y COMPOST
DESDE LA PERSPECTIVA AGRO-ECOLÓGICA"*

Gómez Palacios, José María

Estrada de Luis, Inés Belén



Biomasa Peninsular

***“ÍNDICES DE CALIDAD DE SUELOS Y COMPOST
DESDE LA PERSPECTIVA AGRO-ECOLÓGICA”***

Gómez Palacios, José María jmgomez@bpeninsular.com

Estrada de Luis, Inés Belén bestrada@bpeninsular.com

ÍNDICE

1. MARCO LEGAL SOBRE SUELOS Y COMPOST
2. PARALELISMOS Y DIFERENCIAS ENTRE LAS MATRICES SUELO Y COMPOST
3. ÍNDICES DE CALIDAD DE LOS SUELOS
4. ÍNDICES DE CALIDAD DEI COMPOST
 - 4.1. ÍNDICES QUÍMICOS Y FÍSICO-QUÍMICOS
 - 4.2. ÍNDICES MICROBIOLÓGICOS
 - 4.3. ÍNDICES DE MADUREZ Y ESTABILIDAD
 - 4.4. ÍNDICES BIOQUÍMICOS
 - 4.5. ÍNDICES ECO-BIOLÓGICOS
5. INTERÉS Y UTILIDAD DEL USO DE ÍNDICES DE CALIDAD DE SUELOS Y COMPOST EN CLAVE AGRO-ECOLÓGICA

1. MARCO LEGAL SOBRE SUELOS Y 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 los 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 el pasado 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 trasposición 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.

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.

Por ejemplo 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 mas avanzadas y en los propios borradores de las directivas de lodos y bio-residuos, se establece como guía el **“principio de conservación”**, por el cuál 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 en el 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 1, 2, 3 y las limitaciones de carácter microbiológico para el uso agrícola de orgánicos se pueden ver en la Tabla 4.

Tabla 1.- 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

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 2.- Limitaciones de PTEs en suelos

PTEs	Directiva 86/278/CE Lodos		3 Draft Futura Directiva Lodos		
	Límites	Límite dosis	Límites en suelos (ppm)		
	ppm	Kg/ha/a	5<pH<6	6<pH<7	pH>7
Cd	1 – 3	0,15	0,5	1	1,5
Cu	50 – 140	12	20	50	100
Ni	30 – 75	3	15	50	70
Pb	50 – 300	15	70	70	100
Zn	1.500 – 3.000	30	60	150	200
Hg	1 – 1,5	0,1	0,1	0,5	1
Cr	-----	-----	30	60	100

Tabla 3.- 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
AOXs	Suma de los compuestos orgánicos halogenados adsorbibles	500 mg/kg			
LAS	Alquilbencensulfonatos lineales	2.600 mg/kg			
DEHP	Di(2-etilhexil)ftalato	100 mg/kg			
NPEs	Nonilfenol y nonilfenoletoxilatos (con 1 ó 2 grupos etoxi)	50 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 TE/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 4.- 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	< 500 UFC/g	-
CL.PERFRINGENS	-	-	-	-	-	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

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 más 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):

- i). 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.
- i). 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 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 5. Índices de calidad de suelos

<i>Indicadores bioquímicos biológicos</i>	<ul style="list-style-type: none"> ⇒ Lombrices ⇒ Carbono de biomasa microbiana ⇒ Respiración del suelo ⇒ Actividades enzimáticas, ATP
<i>Indicadores físicos</i>	<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
<i>Indicadores químicos</i>	<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. 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 **fuentes 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 substrato 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 eco-biológicos y máximos efectos sobre el suelo y los cultivos a dosis reducidas**.

4.1. 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 1)
- POPs – o contaminantes orgánicos persistentes. (Tabla 3)
- Granulometría
- Contaminantes físicos o impropios (plásticos, vidrio, partículas metálicas, etc)

4.2. 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.

4.3. 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 (O₂, CO₂)
- 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).

4.4. Índices bioquímicos

Los análisis bioquímicos son laboriosos y caros, lo que limita su utilización, por ejemplo, mineralización de N, tasa de respiración (consumo de O₂ o liberación de CO₂), actividad enzimática (fosfatasas, dehidrogenasas, etc), contenido de ATP, etc. Los índices bioquímicos son una medida de la actividad metabólica de la biomasa microbiana.

4.5. 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 indicó en el apartado 3., 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.

5. INTERÉS Y UTILIDAD DEL USO DE ÍNDICES DE CALIDAD DE SUELOS Y COMPOST EN CLAVE AGRO-ECOLÓGICA

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 de 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**.

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. Schjøning, 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.

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>

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.

(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.

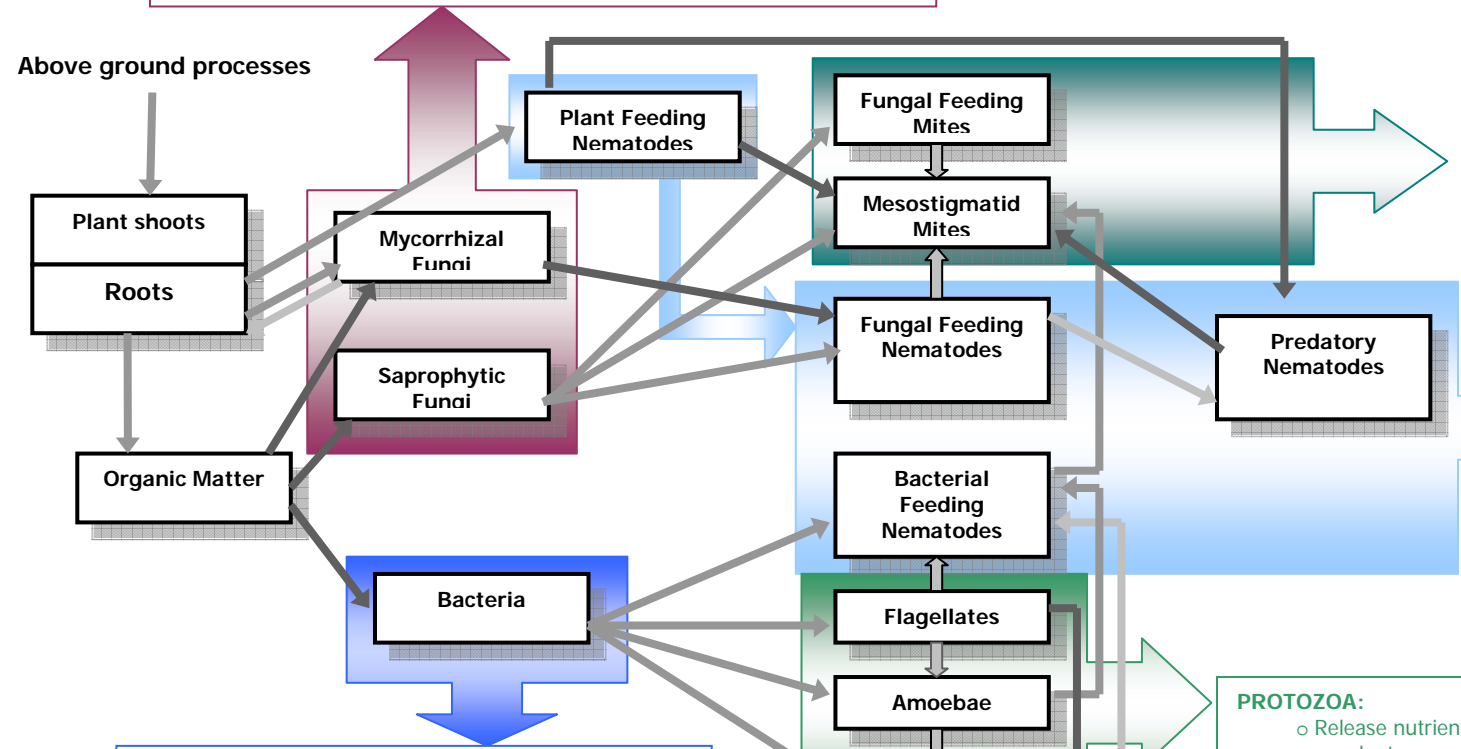
Diagrama 1. Cadena Trófica del Suelo o SOIL FOODWEB

- FUNGI:**
- Decompose complex carbon compounds
 - Improve acumulation of organic matter
 - Retain nutrients in fungal biomass, reduing leaching of nutrients out of the root zone
 - Physially bind soil particles into aggregates.
 - Are an important food source for other organisms in the food web
 - Improve plant growth when mycorrhizal fungi beome associated with the roots of some plants
 - Compete with plant pathogens
 - Decompose ertain types of pollutants

- ARTHROPODS:**
- Improve soil structure through burrowing and the creation of fecal pellets
 - Control disease-causing organisms
 - Stimulate microbial activity
 - Enhance deomposition through shredding of large plant litter and mixing of the soil
 - Regulate healthy soil food web populations

- NEMATODES:**
- Regulate the population of other soil organisms
 - Mineralize nutrients into plant-available forms
 - Provide a food source for other soil organisms that influene soil structure
 - Consume disease-causing organisms

- PROTOZOA:**
- Release nutrients stored in mirobial biomass for plant use
 - Increase decomposition rates and soil aggregation by stimulating bacterial activity
 - Prevent some pathogens from establishing on plants
 - Provide prey for larger soil organisms, such as nematodes



- BACTERIA:**
- Feed other members of the food web
 - Decompose organic matter
 - Help keep nutrients in the rooting zone and out of surface and groundwater
 - Enhance soil structure, improving the flow of water and reducing erosion
 - Compete with disease-causing organisms
 - Filter and degrade pollutants as water flows through soil

Diagrama 2. Historial, seguimiento y mejora del estado de un suelo, mediante su monitoreo eco-biológico

