

# RESIDUOS ORGÁNICOS Y AGRICULTURA

Navarro Pedreño  
Moral Herrero  
Gómez Lucas  
Mataix Beneyto

UNIVERSIDAD DE ALICANTE

© 1995  
© Universidad de Alicante  
Secretariado de Publicaciones, 1995

Portada: Gabinete de Diseño  
Universidad de Alicante  
Fotocomposición y edición:  
Compobell, S.L. Murcia

I.S.B.N.: 84-7908-194-5  
Depósito Legal: A-246-1995

Impreso en España

Reservados todos los derechos. No se permite reproducir, almacenar en sistemas de recuperación de la información ni transmitir alguna parte de esta publicación, cualquiera que sea el medio empleado -electrónico, mecánico, fotocopia, grabación, etc.-, sin el permiso previo de los titulares de los derechos de la propiedad intelectual.

**Estos créditos pertenecen a la edición  
impresa de la obra.**

Edición electrónica:



Navarro Pedreño / Moral Herrero  
Gómez Lucas / Mataix Beneyto

**RESIDUOS ORGÁNICOS  
Y  
AGRICULTURA**

# Índice

---

## Portada

## Créditos

<b>I. Introducción</b> .....	6
I.1. Concepto de residuo .....	11
I.2. Clasificación .....	12
I.3. Actividades generadoras de residuos orgánicos .....	17
I.4. La materia orgánica en el sistema suelo-planta .....	18
<b>II. Aplicación de residuos</b> .....	27
II.1. Aplicación en la agricultura y recuperación de suelos .....	27
II.2. Aspectos energéticos y económicos relacionados con los residuos orgánicos .....	31
II.3. Metodología de estudio .....	38
II.4. Procesos de acondicionamiento .....	42
<b>III. Materiales residuales y su uso</b> .....	57
III.1. Residuos agrícolas, ganaderos y forestales .....	57
III.2. Residuos de industrias agroalimentarias y afines .....	80
III.3. Residuos de origen urbano .....	95

## Índice

---

<b>IV. Riesgos derivados del uso de los residuos</b> .....	112
IV.1. Metales pesados .....	117
IV.2. Sustancias tóxicas.....	122
IV.3. Demanda o exceso de nutrientes.....	130
IV.4. Salinidad.....	132
IV.5. Patógenos .....	133
IV.6. Otros Riesgos.....	137
<b>V. Conclusiones</b> .....	138
<b>VI. Bibliografía</b> .....	140

## I. Introducción

**A** lo largo de la historia de la Agricultura, el hombre ha aplicado toda clase de materias orgánicas a los suelos cultivados. Durante 150 años los fisiólogos mantuvieron la teoría húmica que indicaba que las plantas se nutrían directamente del humus del suelo y la presencia de este material marcaba su fertilidad. Sin embargo, la revolución agrícola promovida en el siglo pasado, cuando Justus von Liebig (1843) demostró con claridad que las plantas precisan de agua y sustancias inorgánicas para su nutrición, comenzó a poner en duda que el humus fuera el principio nutritivo de las plantas a la vez que fomentó el desarrollo de fertilizantes inorgánicos. Éstos son de 20 a 100 veces más concentrados en elementos básicos como N, P y K que los abonos orgánicos (Arens, 1983), lo que supuso un indudable efecto positivo en la agricultura, aumentando los rendimientos y provocando el abandono de muchas técnicas antiguas de cultivo, una de

## Residuos orgánicos y agricultura

---

las cuales fue el uso de residuos orgánicos como abono de los suelos.

Pero sin duda esta marginación y desplazamiento progresivo de los abonos orgánicos, motivada por la gran difusión de los fertilizantes químicos y las exigencias de los sistemas de cultivo modernos, ha provocado la aparición de otros problemas. Actualmente, uno de los que más inciden sobre nuestro sistema de vida y sobre el medio que nos rodea y al cual pertenecemos es:

### ¿QUÉ HACER CON LOS DESECHOS Y RESIDUOS ORGÁNICOS?

En numerosas ocasiones el destino final de estos materiales no permite un adecuado aprovechamiento, puesto que pueden contener un notable poder nutritivo, un considerable potencial energético y unas características, en cuanto a su composición, que los hacen idóneos para su empleo en el sector agrícola.

Prácticas, como la quema de rastrojos, imposibilitan la restitución al suelo de materia orgánica y elementos nutritivos, al tiempo que contaminan la atmósfera; las descargas incontroladas en parajes o zonas desprotegidas (e incluso en áreas de importancia social y ecológica notables) son una clara agre-

sión al entorno paisajístico e imposibilitan el control del potencial contaminante de los residuos acumulados; incluso el almacenamiento en vertederos (algunos de enorme tamaño), no es la forma idónea ni el mejor destino de estos materiales residuales.

Como idea fundamental, debemos insistir en que todos los materiales orgánicos siguen siendo susceptibles de ser aplicados a los suelos, ya que pueden ser fuente de vida nueva, aportando energía y renovación de materia orgánica y nutrientes.

El estudio de los sistemas agrícolas modernos y de su impacto en el medio ambiente ha abierto otra polémica que puede resultar beneficiosa para la recuperación del abonado orgánico de los suelos: los problemas de contaminación derivados del uso abusivo de fertilizantes minerales. En efecto, es sobradamente conocido un hecho tan importante como la lixiviación de nitratos (Anderson, 1988), que en provincias como la de Valencia tiene repercusiones importantes en cuanto a la contaminación de acuíferos, causa por la que en ocasiones tienen que dejar de abastecer a las poblaciones al no ser aptas para el consumo humano las aguas procedentes de los mismos. Tal vez sea menor el efecto negativo del uso



## Residuos orgánicos y agricultura

---

de residuos orgánicos que el debido al uso de fertilizantes inorgánicos, o tal vez no.

En esta dicotomía actual nos encontramos, entre el uso de fertilizantes químicos que aporten nutrientes solubles de forma fácil con un control mediante plaguicidas sintéticos o la recuperación de la tradicional fertilización con abonos orgánicos (Hodges, 1991). Sin duda, dado que actualmente la producción de materiales orgánicos es importante y tiende a crecer en un futuro, debemos plantearnos esta última posibilidad muy seriamente, buscando el mejor destino para los variados residuos orgánicos que se producen.

Pero debemos realizar estudios serios encaminados a concretar los efectos beneficiosos o perjudiciales de la adición a los suelos de los materiales residuales que se producen hoy día. Es evidente que estos, en su mayoría, no son los mismos, ni poseen las mismas características que los que se usaban hace bastantes décadas. Por tanto, no es extraño que la investigación en campos como los de la Agroquímica, la Agronomía, la Bioquímica y la Fisiología Vegetal, formule planes de trabajo encaminados a evaluar la afección que sobre el sistema suelo-planta tiene la incursión de nuestros residuos.

Este pensamiento es el que mueve y centra el motivo de este libro, que resulta breve para un tema tan extenso y apasionante. Se tratará de sintetizar las ideas fundamentales de este tema y exponer de una manera clara y sencilla las peculiaridades y posibilidades de uso de cada uno de los residuos aquí reseñados. Al final, no podemos obviar que no sólo se trata de hablar del uso sino de los riesgos que presentan estas sustancias y por ello dedicaremos un amplio apartado a este tema, indicando qué problemas se pueden plantear y en qué tipo de residuos debemos prestar mayor atención a dicho problema.

Aunque no es el tema del que trata este libro, queremos hacer constancia de la importancia que tiene la educación ambiental, materia olvidada en la que habrá que incidir especialmente (Pastor et al., 1990), pero que afortunadamente cada vez cobra un mayor interés. Parte de esa necesaria concienciación social sobre la gestión, utilización y reciclaje de residuos (recursos como son los materiales orgánicos) se debe crear a través de la educación de las nuevas generaciones, que probablemente sean herederas de una elevada cantidad de residuos a los que tendrán que hacer frente.

Es seguro que la agricultura y la gestión de los suelos son las actividades más importantes donde se pueden aprovechar

las grandes y múltiples posibilidades que ofrecen los residuos orgánicos. Se puede afirmar, sin caer en falsas expectativas, que en un futuro muy cercano se podrán ofrecer recursos derivados de los residuos «a la carta» para cada tipo de cultivo o suelo que queramos recuperar. En ello está la labor y el entusiasmo de muchos investigadores. Detrás de ella, posiblemente venga la voluntad social y política encaminadas a favorecer no sólo la investigación, sino el aprovechamiento al máximo de estos recursos.

Esperamos que esta revisión sobre la utilización agrícola de materiales orgánicos y aspectos relacionados con los mismos sirva de guía para tener un mayor conocimiento de las expectativas de uso de los diversos residuos que aquí hemos reseñado.

### **I.1. Concepto de residuo**

Para empezar podemos definir como residuo: «aquellas materias derivadas de actividades de producción y consumo que no han alcanzado ningún valor económico» según la legislación española (ley 42/75) y por otra parte la directiva de la CEE 75/ 442 lo define como «cualquier sustancia u objeto del cual se desprende su poseedor o tiene obligación de desprenderse». Estas definiciones son muy amplias y abarcan a

la totalidad de los productos residuales que origina nuestro sistema de vida.

Sin lugar a dudas, en los países desarrollados es donde existe el mayor índice de consumo y por tanto el de mayor producción de residuos. Estos pueden acarrear problemas importantes, sobre todo para el medio ambiente. A esta situación debemos unir el agotamiento de los recursos naturales no renovables, que puede conducir a una escasez de muchos de ellos a medio o corto plazo. Por tanto, deben ser estudiados, analizados y transformados, en la medida que sea posible, los residuos originados por nuestro modo de vida, lo que permitiría una disminución de los daños sobre el medio ambiente y su consideración como recursos. No olvidemos que en este empeño está también el mantenimiento de nuestra calidad de vida y nuestra salud.

## **I.2. Clasificación**

Los residuos se pueden clasificar en función del sector productivo que los origina, lo que nos permite establecer dos grandes grupos:

- Los derivados del sector primario, de actividades como la agricultura, ganadería, forestales y extractivas (canteras y minas).

## Residuos orgánicos y agricultura

---

- Los obtenidos del sector secundario y terciario, formado por residuos industriales y urbanos básicamente.

Dentro de estos grupos se incluyen una multitud de residuos de muy diversas características, inorgánicos, orgánicos y mezcla de ellos, tóxicos o inertes, líquidos o sólidos, etc. Podemos desglosar de forma más homogénea y siguiendo la catalogación ofrecida por la Dirección General de medio Ambiente (1989) en los siguientes grupos de residuos, en los que se indica alguna de sus características más significativas:

### Residuos agrícolas

- Residuos agrícolas: restos de cosechas y derivados, siendo los más abundantes y dispersos, de difícil control.

### Residuos de actividades ganaderas

- Residuos ganaderos de cría: excrementos, camas y lechos, y al igual que los anteriores presentan una gran dispersión.
- Residuos de mataderos (industrias cárnicas): huesos, sangre, pellejos, etc., que pueden ser más fácilmente controlados que los anteriores al tener una localización más detallada de los mataderos e industrias agroalimentarias.

### Residuos forestales

- Residuos forestales: restos de poda y de diversas labores de silvicultura, de dudoso control y de amplia difusión.

### Residuos industriales

- Residuos industriales inertes: materiales apagados, restos de industrias no peligrosas tales como chatarras, vidrios, cenizas, escorias, arenas, polvos de metales, abrasivos, etc. de mayor producción en las comunidades más industrializadas de España y por tanto con mayores efectos negativos en éstas.
- Residuos tóxicos y peligrosos: ácidos, residuos radiactivos, etc., en definitiva, materiales que contienen sustancias que presentan un riesgo para la salud humana.

#### Residuos de actividades extractivas

- Residuos mineros y de cantería: escombros de minas y metalurgia, que también se encuentran muy localizados en zonas concretas de España.

#### Residuos urbanos y asimilados

- Escombros de obras.
- Lodos de depuradoras de aguas residuales.
- Residuos domésticos: fundamentalmente basuras, con presencia de papel, cartón, plásticos, textiles, maderas, gomas, etc., y ocasionalmente enseres domésticos metálicos.

La producción y distribución de estos materiales en España depende de muchos factores, tales como la localización geográfica que determina el asentamiento de actividades industriales, mineras o la presencia de explotaciones agrícolas

## Residuos orgánicos y agricultura

---

y ganaderas. También es un factor importante la densidad de población y el modo como se asienta ésta (grandes, medianos o pequeños núcleos urbanos).

En general, podemos observar que la producción de residuos en nuestro país se puede estimar en las magnitudes que figuran en la tabla 1, correspondientes a datos emitidos por la Dirección General de Medio Ambiente en el año 1989 y que, con ligeras variaciones, deben ser similares a los datos de producción de residuos actuales. Es reseñable que los mayores porcentajes son debidos a sectores como la ganadería y afines, así como con las actividades mineras y de cantería, que por sí solos abarcan aproximadamente el 50 % de la producción total residual de nuestro país. Otro dato importante es que, a pesar de la importancia de la agricultura en España, la generación de residuos es menor que la correspondiente a los residuos urbanos y asimilados. Esta última, y sobre todo si persiste el aumento en el número de plantas de tratamiento de aguas residuales (esperemos que así sea), tenderá a aumentar de forma considerable la producción de lodos de depuradoras.

Generalmente, los destinos a los que se someten estos residuos son muy variados, pero podemos indicar cuatro grandes

grupos que de manera aproximada recogen todos los procesos individuales que se aplican a todos estos materiales:

- Vertido o almacenamiento controlado.
- Vertido incontrolado.
- Procesos de inactivación e incineración.
- Reciclaje y recuperación de materiales útiles.

En función de las características de cada uno de los residuos, su lugar y forma de producción, predominará uno de estos destinos sobre los otros. Nuestro interés se centra fundamentalmente en el uso de los residuos orgánicos como enmiendas en los suelos, y de manera especial las relaciones que se establecen con el sistema completo formado por el sustrato y la planta, que coincide básicamente con la labor investigadora que venimos desempeñando desde la formación de la División de Química Agrícola en la Universidad de Alicante.



## Residuos orgánicos y agricultura

Tabla 1  
Producción de residuos en España (1988). Dirección  
General de Medio Ambiente del MOPT (1989)

	<b>Actividad</b>	<b>Mtm/año</b>	<b>Porcentaje</b>
- Residuos Urbanos y Asimilados	Domésticos	11	4.06
	Lodos	10	3.69
	Escombros	22	8.12
	<b>Subtotal</b>	43	15.80
- Residuos Industriales	Inertes	12	4.43
	Tóxicos	1.8	0.55
	<b>Subtotal</b>	13.8	5.10
- Residuos de extracciones	Mineros y de cantería	70	22.85
	<b>Subtotal</b>	70	22.85
- Residuos forestales	Restos de poda, leña, etc	17	6.36
	<b>Subtotal</b>	17	6.36
- Residuos agrícolas	Restos de cosechas	35	12.92
	<b>Subtotal</b>	35	12.92
- Residuos Ganaderos	Cría	62	22.90
	Mataderos	30	11.07
	<b>Subtotal</b>	92	33.97
<b>TOTAL</b>		270.8	100

### I.3. Actividades generadoras de residuos orgánicos

De todos los grupos de residuos comentados con anterioridad, cerca del 60 % de ellos están formados por materiales que se pueden considerar como *residuos orgánicos*. Entendemos

como tal aquel cuyo origen es fundamentalmente biológico (la materia orgánica representa del 95 al 99 % del total de la materia seca de los seres vivos, Mustin, 1987) y participan mayoritariamente en su composición sustancias orgánicas (con elevada presencia de C, H y O, y en menor medida N, P y S así como otros elementos en menor concentración).

En general, se pueden considerar como materiales orgánicos aquellos procedentes de actividades como la agricultura, ganadería, mataderos, residuos forestales, domésticos, lodos de depuradoras de aguas residuales, englobando también a los originados en las industrias agroalimentarias y afines (carnitas, conserveras, etc.). Como se aprecia, el abanico de actividades que generan materiales con mayor o menor carácter orgánico es grande, lo que provocará que también sea amplia la variedad de residuos y las características que presentan.

#### **I.4. La materia orgánica en el sistema suelo-planta**

Para poder entender el porqué de la aplicación a los suelos de estos materiales como objeto prioritario de este libro, debemos tratar someramente la incidencia de la materia orgánica en el sistema suelo-planta.

## Residuos orgánicos y agricultura

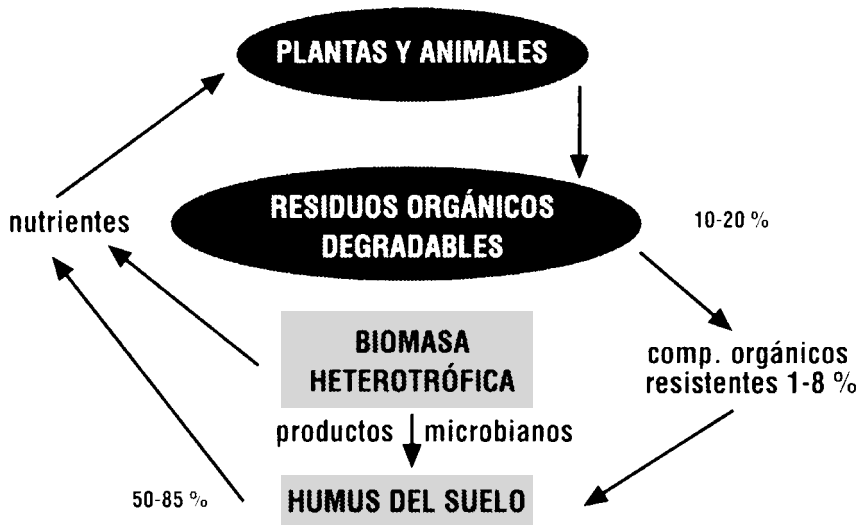
---

Entendemos por suelo aquel medio natural no consolidado, formado por materiales inorgánicos y orgánicos con una profundidad mínima de 10 cm y que se encuentra sobre la corteza terrestre con capacidad de mantener el desarrollo de las plantas (Environmental Protection Service de Canadá, 1984). Este está formado por tres fases o fracciones relacionadas entre sí, líquida, sólida y gaseosa. La relación que se considera favorable para el desarrollo de las plantas es que la proporción volumétrica entre fases sea del 50 % para la sólida (con un 5 % correspondiente a la fracción orgánica y el resto a la inorgánica), 25 % para la líquida (agua y sustancias disueltas) y 25 % para la gaseosa (aire en el medio poroso). Normalmente, estas proporciones están alteradas en los suelos cultivados.

Los cultivos intensivos, que tienden a ser los predominantes en la actualidad, unido al necesario aumento de las cosechas para satisfacer las demandas de la población y el uso abusivo de fertilizantes minerales, están provocando un notable desequilibrio en los suelos agrícolas.

A su vez debemos contemplar que el abandono de áreas cultivadas desequilibradas y la escasa cubierta vegetal existente en numerosas zonas favorece la acción de procesos erosivos. Todos estos hechos nos hacen plantearnos como

Figura 1  
Fracciones orgánicas y sus relaciones en el suelo



objetivo fundamental el estudio de los residuos orgánicos con fines a su aplicación en la agricultura y en la recuperación de suelos desequilibrados o degradados.

En algunas zonas de España, como es el caso de la provincia de Alicante, la presencia de materia orgánica en los suelos suele ser escasa, y son contadas las excepciones (coincidentes con cultivos hortícolas) en las que ésta se halla presente por encima del 2 %. Si a ello unimos la naturaleza caliza de

## Residuos orgánicos y agricultura

---

la mayor parte de nuestros suelos en ocasiones superior al 50 %, hecho que favorece las condiciones degradativas de la materia orgánica y por tanto su pérdida, nos daremos cuenta que somos un área con suelos deficitarios en fracción orgánica.

No cabe duda que el uso en sistemas agrícolas y en recuperación de suelos de los residuos está marcado como ya hemos indicado, por las funciones que ejerce la materia orgánica en los suelos, por ello, conviene realizar algunos comentarios al respecto.

La materia orgánica que forma los suelos tiene una composición compleja, no siendo menos la de los residuos orgánicos susceptibles de ser aplicados. Básicamente en los suelos está formada por lo siguiente:

Residuos de plantas y animales poco alterados o productos de la descomposición parcial de los mismos. Biomasa del suelo, formada por materia viva microbiana y otros seres vivos, que no suele superar el 5 % del total orgánico de los suelos (Jenkinson y Ladd, 1981). Sustancias orgánicas de composición definida (no húmicas), tales como proteínas, hidratos de carbono, aminoácidos y grasas.

Humus, compuesto por una mezcla de sustancias orgánicas complejas, estables y de naturaleza coloidal.

En los residuos orgánicos en general, participan en su composición sustancias orgánicas sencillas y de formulación definida, relacionadas directamente con su origen y otras de complejidad estructural grande formadas en muchas ocasiones en los procesos de tratamiento de los residuos por acción de los microorganismos que actúan sobre ellos.

La materia orgánica incorporada a los suelos está sujeta a una serie de transformaciones que nos relacionan las formas vivas y no vivas de ésta (Doran y Smith, 1987) como se indica en la *figura 1*.

El componente mayoritario y más estable en los suelos debe ser el humus, que tiene una gran influencia en las propiedades de los mismos. La cantidad de este componente en el suelo depende de muchos factores (Johnston, 1991) puesto que se halla en un estado dinámico constante, y marca en cierta medida el grado de estabilidad y la evolución de los suelos. Los factores de los que depende en mayor medida son los que se enumeran a continuación:

- La incorporación de restos orgánicos nuevos al suelo y su velocidad de oxidación (química y biológica).

## Residuos orgánicos y agricultura

---

- La velocidad de descomposición de la materia orgánica propia existente en el suelo.
- La textura del suelo, aireación y humedad.
- Los factores climáticos.

Pero en definitiva, el proceso fundamental que se desarrolla en el suelo y que influye sobre la disponibilidad de nutrientes para las plantas es denominado:

### *Mineralization ↔ Inmovilización*

Es decir, paso de formas orgánicas a inorgánicas y viceversa, dependiente de una manera muy especial de la actividad biológica del suelo.

Las funciones de la materia orgánica en el suelo rigen procesos importantes del sistema suelo-planta e incide en sus propiedades. Destacamos algunas de las más importantes en las que interviene:

- Propiedades físicas del suelo:
  - Formación de agregados y estabilidad estructural (García, 1992). Las sustancias húmicas al igual que los polisacáridos presentes en la materia orgánica juegan un papel importante en la estabilidad de los agregados de los suelos (Swift, 1991) y por ello en el mantenimiento de su estructura.

- Unión a las arcillas formando el complejo de cambio, estabilizando la estructura del suelo y su cohesión. Este complejo de cambio posee unas características químicas que le permiten actuar de reserva de nutrientes para la planta y los organismos del suelo.
  - Favorecimiento de la penetración del agua y su retención (Waters y Oades, 1991). Esta circunstancia conduce al aumento de la reserva hídrica del suelo, la disponibilidad para las plantas y la reducción de las pérdidas.
  - Disminución de la erosión (Gabrielis y Michiels, 1991). Consigue aumentar la resistencia de los suelos a los fenómenos hidrodinámicos, ayudado también porque favorece el desarrollo de la vida vegetal y de los organismos del suelo (Francis, 1990).
  - Favorece el intercambio gaseoso, la aireación y disponibilidad de oxígeno para raíces y microorganismos. La porosidad y respiración de los suelos se ven influenciadas positivamente por la presencia de materia orgánica en proporciones adecuadas.
- Propiedades químicas:
- Mantiene y aumenta el contenido de materia orgánica y nutrientes en el suelo. Este hecho se realiza tanto por aporte directo o de la mineralización de la materia orgánica, como



## Residuos orgánicos y agricultura

---

por la influencia en la solubilización y aumento de disponibilidad de nutrientes ya existentes en el propio suelo al cambiar las características reactivas del mismo (Environmental Protection Service de Canadá, 1984).

- Aumenta la capacidad de cambio y la reserva de nutrientes para la vida vegetal (Cegarra et al., 1983). La existencia de materia orgánica en el suelo promueve la formación del complejo arcillo-húmico incrementando los lugares de fijación iónica, siendo una auténtica reserva de nutrientes de los suelos.
  - Formación de compuestos solubles materia orgánica-metal favoreciendo la disponibilidad de determinados metales que son necesarios para el desarrollo de la cubierta vegetal y que en otras condiciones no podrían estar a disposición de la misma como Fe, Mn y Cu.
  - Incremento de la capacidad tampón de los suelos, evitando cambios bruscos de pH (White, 1987) y manteniendo unas condiciones de reactividad óptimas para la vida en los suelos.
- Propiedades biológicas:
- Favorece los procesos de mineralización, por lo tanto el aporte de nutrientes y energía para la vida microbiana.

- Favorece el desarrollo de la cubierta vegetal, derivado de las modificaciones físicas y químicas del suelo y la existencia de elementos esenciales y agua para el desarrollo.
- Facilita la reactividad y los mecanismos de absorción de sustancias peligrosas como plaguicidas y otros agentes tóxicos, ayudando a su degradación (Harcod et al., 1991).
- Puede estimular el crecimiento de las plantas por la presencia de sustancias que activen los mecanismos fisiológicos de las mismas y el control de enfermedades (Vaidyanathan y Eagle, 1991) y plagas, ya que ayuda a mantener un sistema ecológico equilibrado.

Como se aprecia, los efectos beneficiosos derivados de la materia orgánica sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo pueden ser muy importantes. No es menos cierto que los residuos orgánicos puedan ejercer estos mismos efectos si se aplican correctamente a los suelos. Esta aplicación debe ser estudiada rigurosamente para evitar que se produzcan efectos contrarios a los deseados, es decir, que se actúe negativamente sobre el medio ambiente.

## II. Aplicación de residuos

**E**n este apartado se indican algunas líneas básicas a las que se presta atención a la hora de realizar la aplicación de los materiales residuales. Se indica como más destacado la realización de procesos de acondicionamiento previos a la adición de cualquier tipo de residuo orgánico a los suelos.

### II.1. Aplicación en la agricultura y recuperación de suelos

Es indudable que, tanto desde el punto de vista agrícola como del de recuperación de suelos, hay tres conceptos básicos que incitan a la utilización de residuos orgánicos y derivados (Parc et al., 1983). Éstos son:

- Mejorar las propiedades del suelo, tanto físicas, como químicas y biológicas.

- Favorecer la vida, especialmente el desarrollo de la cubierta vegetal y el mantenimiento de la productividad de los suelos.
- Evitar la pérdida de recursos y energía.

La diferencia fundamental entre ambas aplicaciones (agricultura y recuperación de suelos) radica en que la agricultura tiene como objeto la obtención de producciones económicamente rentables a corto plazo, mientras que la recuperación de suelos presenta una connotación social más relevante (aunque los beneficios económicos y sociales pueden ser importantes a mayor plazo de tiempo).

Los residuos pueden ser utilizados como  *acondicionador*  de los suelos cuando son susceptibles de mejorar alguna o algunas propiedades de los mismos, o como  *fertilizante* , lo que implica como finalidad el aporte de nutrientes para el sostenimiento de la cubierta vegetal. La definición de fertilizante, dada por la Soil Conservation Society de América, es «cualquier material orgánico o inorgánico de origen natural o sintético que añadido al suelo aporta ciertos elementos esenciales para el crecimiento de las plantas» (Follet et al., 1987). El término acondicionador es más amplio, y engloba la acción sobre cualquiera de las propiedades del suelo que podamos considerar. Encontramos un término medio que en muchas

## Residuos orgánicos y agricultura

---

ocasiones define los dos comentados anteriormente, el de *enmendante* o enmienda para los suelos.

Además de estas dos opciones, que son las más importantes desde el punto de vista de la utilización de los residuos en suelos productivos, cabe la posibilidad de usarlos como *substratos* para el mantenimiento de los cultivos, entendiendo este término como el que corresponde a un material sólido, distinto del suelo, natural o sintético, mineral u orgánico, que colocado en un contenedor en forma pura o mezclado, permite el anclaje del sistema radicular, desempeñando el papel de soporte de la planta (Abad, 1991). Sin duda, en esta posibilidad entran numerosas clases de residuos que pueden participar en mayor o menor medida en la nutrición de la planta.

En función de la facilidad de manejo, de las propiedades físicas y químicas de la mayoría de los residuos orgánicos, prestaremos más atención a la finalidad de los mismos como acondicionadores y fertilizantes, aunque en algún caso haremos mención a la posibilidad de que sean utilizados como sostén de los cultivos.

La aplicación de materiales vegetales o de compost preparado con desechos urbanos e industriales puede contribuir a solucionar los graves problemas que surgen de la escasez de materia orgánica y su adición ayuda al mantenimiento de los

niveles nutritivos del suelo (Gatí, 1983). Estudios realizados en el Reino Unido en 286 parcelas de cultivo durante 1989-90, han puesto de manifiesto las escasas necesidades de aporte de nitrógeno en los suelos que han sido fertilizados con una gran variedad de materiales orgánicos, detectando que sólo el 14 % de ellos han requerido el aporte suplementario de 40 kg de N/ha con el fin de que hubiera suficiente cantidad para garantizar el aporte a las plantas y que se desarrollaran adecuadamente los procesos de mineralización en el suelo y el mantenimiento de los niveles nutritivos (Vaidyanathan et al., 1991). Este hecho es muy significativo y nos muestra claramente las posibilidades de ahorro en abonos químicos, en este caso de fertilizante nitrogenado que es el más empleado y demandado en todo el mundo (Anderson, 1988).

Paralelo a estos hechos indicados, hay que prestar atención a diversos puntos que van a favorecer una correcta aplicación de estas sustancias residuales tales como:

- Minimizar la introducción de elementos y sustancias tóxicas en el ecosistema.
- Evitar la pérdida por lavado del suelo de nutrientes y tóxicos.
- Desarrollar técnicas adecuadas para realizar el aporte de los residuos orgánicos.

### **II.2. Aspectos energéticos y económicos relacionados con los residuos orgánicos**

Hay dos aspectos que desde el punto de vista económico conviene contemplar a la hora de buscar una aplicación de los residuos orgánicos: su uso para la obtención de energía y su adición como acondicionador/fertilizante de suelos.

Del primero vamos a reseñar solamente algunos datos que pueden resultar de interés para investigadores y deben ser conocidos por el público en general, dado que es la segunda aplicación la que centra todos los apartados siguientes.

En primer lugar, indicaremos que para el uso de materiales orgánicos con fines energéticos, son preferibles los residuos forestales y agrícolas lignocelulósicos, los ganaderos y de mataderos, y de algunas industrias como bodegas de vino, almazaras de aceite, azucareras y conserveras. En España, se estimó por un informe del Ministerio de Industria y Energía (1986) que el uso de estos residuos podría suponer del 8-15 % del consumo energético total y que el potencial energético de la biomasa residual producida anualmente se estimaba en 9.7 Mt equivalentes de petróleo/año, correspondiéndose un 51 % a restos forestales, un 41 % de restos agrícolas leñosos y el 8 % en otros (Alcántara, 1993).

Otro dato significativo es el uso que se le da a determinados excedentes agrícolas en la CEE para la producción de alcohol, gastándose aproximadamente 10 Mt de grano, 4 Mt de remolacha y 1 MhL de vino, para obtener alcohol equivalente a noventa millones de toneladas de gasolina, es decir el 20 % del gasto anual en la CEE. La magnitud de las cifras ofrecidas nos puede orientar sobre la importancia que pueden adquirir en el ámbito energético los residuos y la productividad agrícola.

Para cerrar estas breves indicaciones sobre su posible aplicación relacionada con la obtención de energía y combustibles, señalaremos que en general, los problemas que plantea el uso de los materiales residuales son los del bajo poder calorífico, así como el transporte y acondicionamiento previo que requieren muchos de ellos. En la tabla siguiente, mostramos los datos de un informe del Ministerio de Economía y Hacienda (1987), relacionando los residuos y su equivalencia en gasto de petróleo.

Lo que sí debemos destacar es que aquellos más leñosos, ricos en celulosas y ligninas, son los que presentan mejores características para la producción energética, corroborado por la producción en peso anual y la relación con su correspondencia en millones de equivalentes de petróleo. Este hecho



## Residuos orgánicos y agricultura

---

Tabla 2  
Residuos y su equivalencia en petróleo

	Prod. Mt/año	Mt e.p./año	% import. petrol.
<i>R. forestales</i>	14.4	7.18	17.8
<i>R. Agrícolas</i>	25.6	9.06	22.5
<i>RSU</i>	12.3	1.69	4.2
<i>Lodos depuradora</i>	9.2	0.06	0.1
<i>Cría ganadera</i>	61.5	1.16	2.9
<i>Mataderos</i>	146.6	19.16	47.5

contrasta con las dificultades que manifiestan estos mismos materiales para su descomposición a corto plazo de tiempo por los microorganismos. Otros de más rápida descomposición biológica como los residuos sólidos urbanos (RSU) o los lodos de depuradora equivalen a muy poca energía. Es significativo que a estos se les aplica en cierta medida la incineración como destino pero presenta pocas posibilidades de recuperación energética.

Los materiales más fácilmente biodegradables, suelen ser los menos lignificados, y por tanto, los que podrían manifestar un uso como enmendantes orgánicos más eficaz. Esto nos lleva a establecer una relación entre los residuos según su degradabilidad esperada, compatibilizando estos dos destinos:

- Para la obtención de energía y combustibles: *materiales leñosos, excedentes y residuos ricos en azúcares y alcoholes.*
- Para su uso como acondicionadores y fertilizantes: *materiales fácilmente biodegradables y con composición en nutrientes importante.*

Además de esta consideración sobre el aprovechamiento para la producción de energía, podemos plantearnos otros puntos de interés. Por ejemplo, en EE. UU. se establece una clasificación de grupos de materiales favorecidos para su aplicación agrícola en base a que esta aplicación es barata, viable y necesaria para reducir los costos energéticos derivados de la fabricación de fertilizantes químicos y plaguicidas, a su vez reduce la acumulación de materiales residuales (beneficioso con la disminución de los vertederos) y además pueden aliviar en alguna medida la situación económica de los agricultores reduciendo gastos en la compra de fertilizantes inorgánicos que en la mayoría de las ocasiones pueden resultar más costosos (Payr et al., 1983). Para ello se indicaron siete grupos de materiales recomendados para su aplicación, y que como vemos, prácticamente son los comentados con anterioridad:

- Residuos ganaderos
- Residuos agrícolas.

## Residuos orgánicos y agricultura

---

- Lodos de depuradoras
- Residuos agroalimentarios
- Residuos orgánicos industriales
- Restos de madera
- Basuras urbanas

Comparado con otros fertilizantes, la sustitución de turbas tradicionales por estos residuos puede suponer una diferencia de 35 a 50 dólares por tonelada; además se ha comprobado que el uso de una tonelada de lodo de depuradora promueve el mismo rendimiento que el uso de 16 dólares de fertilizante mineral en cultivo de maíz (Barbanka et al., 1980).

El uso de estos residuos por los agricultores, desde el punto de vista económico va a depender del incremento que obtengan en sus cosechas, unido a la calidad de los frutos y resultando más barata su aplicación que la de fertilizantes minerales (Payr y Colacicco, 1987). En las explotaciones agrícolas, los ahorros que se produzcan desde el punto de vista energético al reducir la producción de fertilizantes minerales no van a ser significativos, mientras que sí lo serán si se consigue:

- Fertilizantes orgánicos más baratos que los inorgánicos sintéticos.
- Técnicas de aplicación y transporte de los residuos orgánicos baratas y eficaces.

- Un incremento de los rendimientos o mantenimiento de los mismos similar a los obtenidos con los enmendantes sintéticos.
- Mantenimiento de la calidad de las cosechas y de las garantías higiénicas y sanitarias de las producciones.

Es en este punto donde las instituciones pueden favorecer el aprovechamiento agrícola de los residuos por medio de ayudas a los agricultores o facilitarles el transporte o aplicación de los mismos. Si contemplamos que socialmente tenemos el beneficio de asegurar un uso adecuado y eliminación de residuos, que de otro modo se acumularían o podrían repercutir negativamente en áreas de interés ecológico, y que económicamente evitamos pérdidas de recursos y ahorramos energía en la producción de fertilizantes sintéticos (además de contemplar la posibilidad de la obtención de energía de todos estos residuos), podemos darnos perfecta cuenta que una subvención o ayuda para que se apliquen en el campo o sobre zonas ajardinadas o paisajísticas estos residuos es poco significativa frente a los beneficios que se obtienen.

Cada uno de ellos presenta problemas específicos, relacionados con la recogida, transporte, acondicionamiento previo a su incorporación a los suelos, técnicas de aplicación, dosificación y también el control de los efectos que producen.

## Residuos orgánicos y agricultura

---

Uno de los más competitivos es el lodo de depuradora, por la facilidad para su recogida, procesado y transporte, así como las numerosas técnicas existentes para su aplicación. Burrowes (1984) indica que la adición al suelo de lodo es una opción económicamente rentable sí se optiman las condiciones de transporte y los equipos empleados para su adición al suelo; sería interesante desde el punto de vista económico que la distancia entre la fuente productora y la zona de aplicación fuera corta y que además el mismo vehículo de recogida fuera el que también se emplee para la adición al suelo de este material.

Las basuras urbanas también ofrecen estas ventajas en cuanto a su localización pero presentan problemas derivados de la presencia de vidrio, plásticos y metales, lo que dificulta su utilización a menos que haya un proceso de recogida selectiva o de separación previa en la planta de tratamiento de basuras.

Los restos agrícolas muestran problemas dada la dispersión de su producción, pero cuentan con la gran ventaja de que se generan en el sitio donde pueden ser reutilizados.

Las maderas precisan de su conversión en serrín para que se utilicen adecuadamente como enmendantes o acondicionadores de suelo. Veremos en los ejemplos correspondientes a

cada residuo, la cantidad de elementos nutritivos, su disponibilidad y las características relacionadas con su aplicación.

Finalmente, como norma general a considerar en todos estos residuos es que se necesita medios de transporte y de aplicación idóneos, que sean económicamente rentables, de forma que permitan aportarlos en los lugares en que se necesiten, sin producir efectos negativos sobre las propiedades físicas de los suelos, como la compactación de los mismos ocasionada por la utilización de maquinaria pesada, que impide la aireación de los suelos minimizando parcialmente los efectos beneficiosos derivados de la incorporación de los materiales orgánicos.

### **II.3. Metodología de estudio**

Previamente a su aplicación en el sistema definido básicamente por el suelo y la planta, es necesario realizar una investigación científica detallada que permita valorar correctamente el residuo orgánico que se piense aplicar en la agricultura o la recuperación de suelos. Es esencial estudiar las pautas de comportamiento y las interacciones que se establecen entre los residuos y el suelo con el fin de utilizar con garantías de éxito estos materiales (Hue, 1988). Para ello, se suele seguir una metodología basada en la caracterización, estudio en sistemas controlados y estudio en sistemas diná-

## Residuos orgánicos y agricultura

---

micos abiertos. Indicamos a continuación una metodología encaminada a determinar el modo más correcto de aplicación de un residuo orgánico sobre los suelos siguiendo una serie de estudios que se reseñan:

1. *Valoración de sus características.* Se estudia la composición detallada del material, con especial atención al contenido en nutrientes, y la presencia de elementos y sustancias tóxicos para las plantas.
2. El segundo paso es el *estudio de los procesos de mineralización* controlados, *evaluando la disponibilidad de nutrientes*, la degradación que sufre la materia orgánica y la liberación de elementos tóxicos. Todo esto se estudia en medios de cultivo donde se prevé su posible aplicación. Se emplean métodos de incubación de suelos así como técnicas extractivas que permitan evaluar la disponibilidad de nutrientes y otros elementos no necesarios para la planta.
3. El tercer paso consiste en el *estudio de la dinámica y transformaciones de este material en experiencias controladas*, usando *el sistema completo suelo-planta*. Para estas evaluaciones se emplean plantas de cultivo que permitan realizar un adecuado seguimiento de su evolución y que además sean posible objeto de aplicación de los materiales residuales. De los estudios segundo y tercero, se puede

establecer un rango de aplicación preliminar, así como los niveles tolerables en función de las características del suelo y la planta cultivada.

4. El cuarto paso, es la *realización de experiencias en parcelas experimentales*, controlando la evolución del suelo, la planta y la producción. Este estudio también permite la evaluación ambiental a corto plazo, analizando los lixiviados y escorrentía superficial, que podrían afectar a otras partes del ecosistema en estrecha relación con la zona de cultivo.
5. El quinto paso son los estudios encaminados a *evaluar los efectos de sucesivas aplicaciones a largo plazo*. Estos persiguen los mismos objetivos del apartado anterior, pero con un mayor énfasis en el análisis de los efectos sobre el medio, su capacidad amortiguadora y dilución en el mismo de los posibles agentes tóxicos introducidos.

Todos estos estudios, nos llevan a establecer unas normas generales para su completo aprovechamiento, estando recogidas en ellas los datos de mayor interés como los indicados a continuación:

- Rango y modo de aplicación: cantidad de residuo a añadir en función de sus características nutricionales y contaminantes, técnicas más aconsejables para su aplicación y



## Residuos orgánicos y agricultura

---

época en la que conviene realizar la adición. Niveles nutritivos: aportes que se realizan de elementos necesarios para la planta, con indicación de las adiciones complementarias de otros elementos que se deben añadir.

- Niveles tóxicos: aportes de elementos y sustancias tóxicas, limitando la aplicabilidad del residuo a aquellas cantidades que no presenten un riesgo para la salud humana y para el desarrollo de la vida en el ecosistema considerado.
- Plantas tolerables: clasificación de las plantas que pueden ser cultivadas en función de los nutrientes y la tolerancia a elementos y sustancias potencialmente perjudiciales existentes en el residuo.
- Suelos aplicables: suelos aptos para su aplicación en función de las características del suelo y de las del residuo, con especial atención a la dinámica de mineralización de nutrientes y la presencia y formación de compuestos tóxicos no deseados.

A partir de aquí, se puede establecer y mejorar la legislación existente sobre aplicación de materiales orgánicos, especialmente aquella que se refiere a lodos de depuradoras de aguas residuales y a compost, recogiendo de forma racional la posible aplicación de los residuos y las restricciones en

función de los datos obtenidos y bien contrastados derivados de los resultados experimentales.

#### **II.4. Procesos de acondicionamiento**

La adición de los residuos orgánicos no suele realizarse tal cual son originados. Es indudable que el uso de residuos frescos aplicados directamente puede ser beneficioso en algún caso, pero siempre suele necesitar de períodos más o menos prolongados de tiempo para su saneamiento y preparación, para que se muestren los efectos positivos que conlleva su aplicación. El uso de materiales orgánicos requiere de unos procesos de estabilización, estando además limitado su uso a la capa superficial del suelo puesto que demandan oxígeno para su transformación.

Por ello, al menos la inmensa mayoría de los residuos aplicados sufren unos procesos de acondicionamiento. Estos consisten básicamente en una preparación del material para su posterior adición y adecuado manejo, afectando a alguna o la mayoría de sus propiedades físicas y químicas, así como también a las biológicas.

Estos procesos los podemos agrupar en:

- Variación de su composición hídrica, generalmente disminución por secado.

## Residuos orgánicos y agricultura

---

- Complementación o adecuación de sus características fertilizantes, incorporando otras sustancias o mezclando con otros residuos.
- Estabilización de la composición orgánica (formación de sustancias húmicas).
- Tratamientos higiénicos y sanitarios, disminución de microorganismos especialmente los patógenos.

Adaptación granulométrica o de su estado físico para su adecuada incorporación al suelo.

Estas técnicas son practicadas desde antiguo por los agricultores, permitiendo transformar los residuos y de ese modo que mejoren su valor fertilizante y se incremente con su incorporación la materia orgánica de los suelos (Willson et al., 1983). Estos procesos consiguen que:

- Los nutrientes estén más fácilmente disponibles para las plantas y microorganismos del suelo.
- Se destruyan los patógenos.
- Se eliminen los malos olores.

### **11.4.1. Compostaje**

De toda la metodología que se utiliza y que normalmente produce los efectos de estabilizar la materia orgánica, conversión del material en un producto sanitariamente permisible y

transformar a un estado físico que permita su aplicación, el compostaje es la más importante, por lo que comentaremos algunos detalles referentes a este proceso.

El compostaje lo podemos definir como una *fermentación controlada de los residuos orgánicos*, proceso biooxidativo de sustancias heterogéneas con el paso por una etapa termófila (de calentamiento), produciendo materia orgánica estabilizada. Es un proceso básicamente microbiológico que depende del crecimiento y la actividad de las poblaciones bacterianas y de hongos, que son fundamentalmente originarios de los propios residuos orgánicos. Los microorganismos obtienen de este modo nutrientes y energía para su actividad y convierten el material orgánico en un compost estabilizado (Willson et al., 1983). Se puede realizar en condiciones aerobias o anaerobias, es decir aireado en presencia de oxígeno o en ausencia de éste.

Los parámetros que se controlan durante el proceso y que a posteriori definen las características del material resultante son:

- Tamaño de las partículas que componen el material, prestando atención a que es más fácil la descomposición de materiales finos, pero que el exceso de estos puede compactar el residuo y perjudicar el proceso.

## Residuos orgánicos y agricultura

---

- La humedad, con un óptimo situado entre 40-60 %, aunque en condiciones anaerobias y según el reactor se puede llegar a necesitar una humedad del 90 %.
- La temperatura, en función de la presencia de organismos mesófilos, o termófilos (situados por encima de los 40°C), siendo el óptimo para una rápida descomposición a la temperatura entre 60-70°C con presencia de termófilos. En el caso de organismos metanogénicos de procesos anaerobios, resulta aconsejable mantener una temperatura situada alrededor de 30°C.
- El pH, con un intervalo óptimo de 6-7.5, en el que pueden desarrollar mejor su actividad los microorganismos.
- La aireación, que en el caso de procesos aerobios se recomienda el intervalo de 0.62-1.23 m<sup>3</sup> de aire/kg de volátiles formados. Por supuesto que en aquellos procesos anaerobios está totalmente restringida.
- La relación C/N, con un cociente que nos da conversiones rápidas si está situado en las proporciones de 25:1 a 35:1.

Las fases que componen este proceso en condiciones aerobias las podemos observar en la *figura 2* (García, 1990), destacando las diferentes etapas que nos determinarán el grado evolutivo del material compostado.

El producto así obtenido se denomina de forma genérica como compost, aunque este término parece haberse suscrito al material resultante de la conversión de basuras urbanas porque cerca del 20 % de estos residuos están siendo utilizados en procesos de obtención de material compostado.

Un ejemplo de *tratamiento aerobio* para el compostaje es la pila aireada que aparece en la *figura 3* (Sikora et al., 1983), que no precisa personal muy especializado para su funcionamiento. Algunos detalles interesantes es que a los 3 días de su funcionamiento a 55 °C, se eliminan los microorganismos patógenos. Para la instalación de estas pilas se debe seleccionar un área adecuada, situada sobre terrenos impermeables que impidan la filtración de lixiviados hacia capas interiores del suelo que pudieran estar en contacto con reservas de agua. Uno de los riesgos de contaminación de acuíferos puede deberse a la mala situación de plantas de compostaje así como de vertederos, que provocan fugas de líquidos con sustancias tóxicas hacia otras partes del ecosistema, corriendo el riesgo de ser contaminadas.

Los parámetros que normalmente se controlan durante esta operación son:

- Humedad: mensualmente.
- Temperatura: tres veces por semana.

## Residuos orgánicos y agricultura

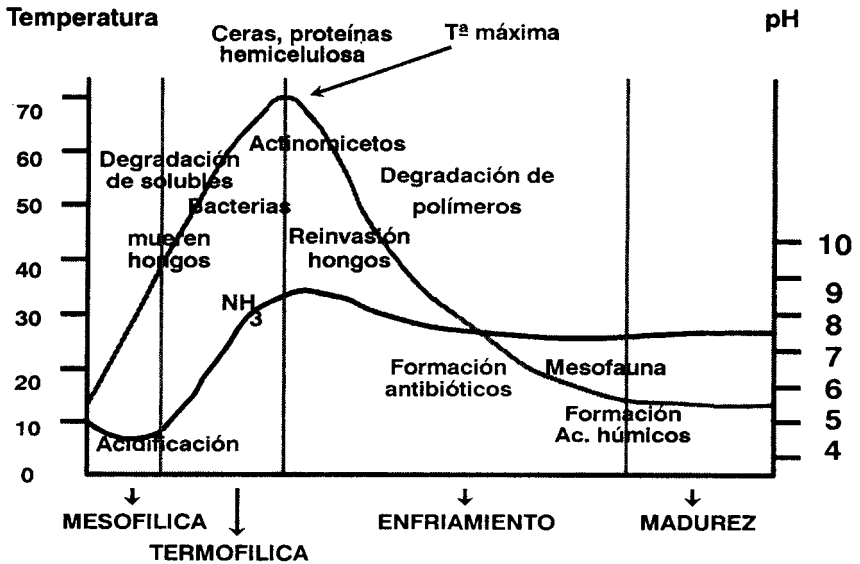
---

- Oxígeno: opcional.
- Patógenos, metales pesados y plaguicidas: según legislación vigente, aunque es aconsejable al menos un control cuando hayamos obtenido el compost deseado.
- Olores: diario.
- Impulsión de aire: diario.
- Cambios químicos del material: mensual.

El final del proceso depende del material a compostar, en definitiva se puede considerar finalizado cuando se alcanzan los parámetros establecidos en la legislación al respecto, cuando conseguimos una calidad adecuada y deseada para un modo de operación determinado, y como factor a considerar siempre es el de la seguridad de la eliminación de patógenos.

Un ejemplo de *tratamiento realizado en condiciones anaerobias* es el indicado a continuación, cuyo esquema simple corresponde con la *figura 4* (Werner, 1983). Este proceso se realiza en ausencia de aireación, en tanques cerrados. Tiene la posibilidad adicional de que permite la obtención de biogás del que haremos una breve reseña sobre su importancia. Para este tratamiento, se recomiendan el uso de materiales como residuos de animales (incluyendo los restos de las camas), desperdicios de cosechas (hierbas, rastrojo, pajas y forraje podrido), desperdicios de matadero, residuos

Figura 2  
Fases de un proceso de compostaje aerobio



de industrias agroalimentarias (bagazo de caña de azúcar, remolacheras, vinícolas, etc.), humus de bosques y restos de plantas acuáticas entre otros. Como podemos ver, casi la totalidad de residuos que se comentarán en siguientes apartados son susceptibles de ser empleados en procesos anaerobios de fermentación.

El *biogás* se produce durante la fermentación, y su comercialización comenzó alrededor de 1955 en China y la India



## Residuos orgánicos y agricultura

---

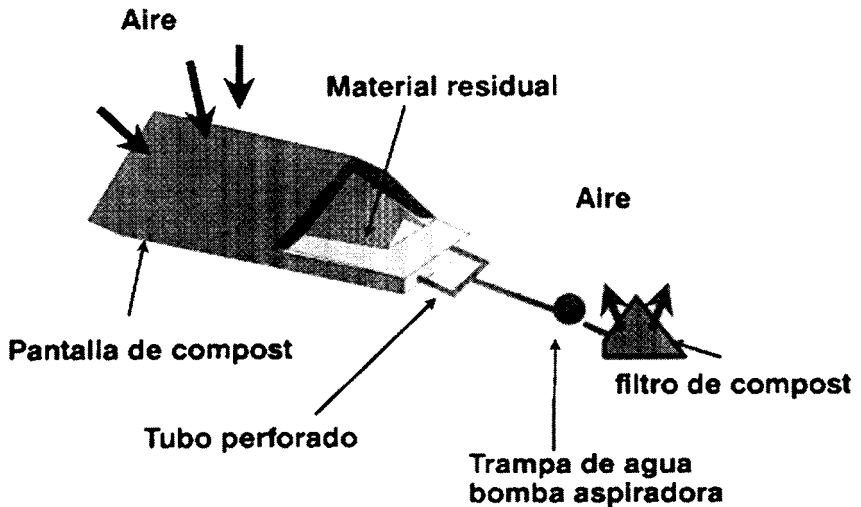
(Arens, 1983). Los procesos básicos que se producen en el interior del reactor anaerobio con producción de este fluido son:

- La descomposición de moléculas complejas en otras más simples.
- Uso de las sustancias simples por las bacterias metanogénicas dando lugar fundamentalmente a metano.

Los factores limitantes de este proceso están relacionados estrechamente con el mantenimiento de unas condiciones de vida óptimas para los organismos metanogénicos, especialmente bacterias (*Methanospirillum hungatei*, *Methanosarcina barker*, *Methanobacterium thermoautotrophicum* y *Methanobacterium formicicum*) y son los siguientes:

- La temperatura, siendo la adecuada de 30 a 35 °C.
- La ausencia de entradas de aire.
- La relación C/N de la materia prima que debe ser entre 20-25.
- La humedad, siendo adecuada el 90 %, de lo contrario si es menor se acidifica el medio más fácilmente y se detiene el proceso.
- El pH, con un límite entre 7-8.5.
- La presencia en niveles altos de sustancias que pueden determinar la detención o mal funcionamiento del proceso (Jarrell y Saulnier, 1987) como las siguientes:

Figura 4  
Digestor anaerobio



Sales (4%)

Sulfatos (0.5 %)

Cu (100 ppm)

Cr (200 ppm)

Ni (100 ppm)

Cianuros (25 ppm)

NH<sub>3</sub> (0.25 %).

Acidos grasos en exceso.

- Es aconsejable la mezcla de materias primas diversas porque conduce a mejores resultados.

## Residuos orgánicos y agricultura

---

El biogás está compuesto básicamente por metano y dióxido de carbono, aunque por supuesto la composición relativa de cada uno de ellos es variable en función de la materia compostada y la regulación de los factores que limitan el proceso, aunque siempre supera el 50% de su composición el metano. La tabla 3 refleja el porcentaje de cada una de las sustancias gaseosas que forman parte de este material combustible originado por la fermentación de residuos orgánicos.

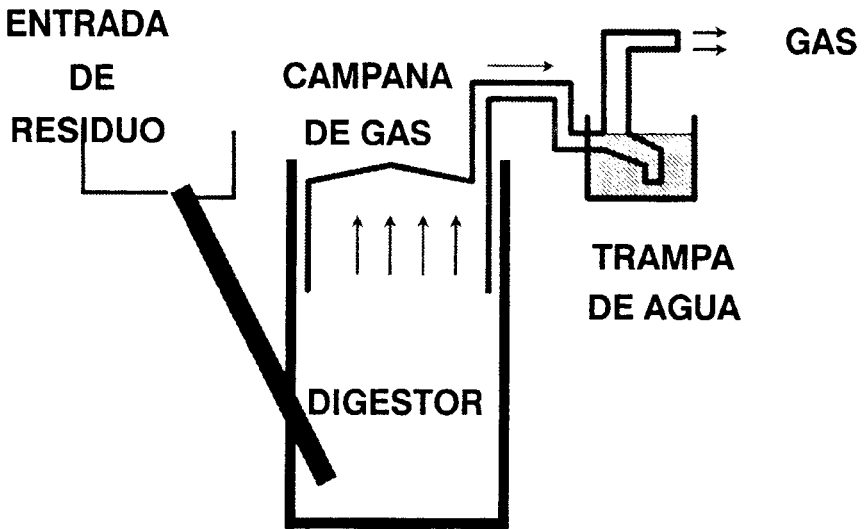
Tabla 3  
Composición del biogás en porcentaje

$CH_4$	50-65
$CO_2$	35-45
$N_2$	0-3
$H_2$	0-1
$H_2S$	0-1
$O_2$	0-1

Un metro cúbico de biogás pesa entre 1 y 1.1 kg y equivale aproximadamente a 1.25 Kwh ó 0.7 litros de petróleo. Podemos estimar la magnitud del biogás si tenemos en cuenta que de media, una persona consumiría para cocinar 0.2-0.4 m<sup>3</sup> y que para generar 1 Kwh de electricidad se gastaría aproximadamente 1m<sup>3</sup>.

Estos sistemas pueden ser instalados a pequeña y gran escala, originando dos recursos prácticos, una materia orgánica estabilizada y un combustible. En la tabla siguiente se indican algunos valores estimados de producción de biogás relacionados con el material originario.

Figura 4  
Digestor anaerobio



Digestor de biogás

## Residuos orgánicos y agricultura

---

Tabla 4  
Producción de biogas en función de la materia prima  
(Alcántara, 1993)

Estiércol de	Kg/día	% de agua	m <sup>3</sup> de gas/kg	m <sup>3</sup> gas/animal	m <sup>3</sup> gas/tm de m.s.
<i>Bovino</i>	10	83	0.037	0.368	250-280
<i>Porcino</i>	2.3	96	0.064	0.147	550-590.
<i>Gallina</i>	0.18	30	0.050	0.009	60-80
<i>Hombre</i>	0.4	80	0.071	0.028	100-150

Finalmente, indicaremos los requisitos necesarios para comercializar un material como compost, que suele cumplir las funciones de acondicionador de los suelos y no estrictamente como fertilizante (con la finalidad exclusiva de aporte de elementos nutritivos). Se debe cumplir la normativa española que define unas características concretas para los productos compostados, aplicable a todos ellos cualquiera que sea el material orgánico originario, que se indican a continuación:

Tabla 5  
Mínimos exigidos para un compost

<i>Materia orgánica mínima</i>	25 % m.s.
<i>N orgánico mínimo</i>	0.5 %, del cual el 80 % debe de ser insoluble
<i>Humedad máxima permitida</i>	40 %
<i>Granulometría</i>	90 % atraviesa malla de 25 mm

Tabla 6

Características medias del compost de RSU de la planta de Valdemingómez (Madrid) y composición en materia seca (Latorre y del Campo, 1993)

<i>Granulometría</i>	Inferior a 10 mm
<i>Humedad</i>	28 %
<i>Materia orgánica total (ms.)</i>	57 %
<i>Materia orgánica oxidable (ms.)</i>	31 %
<i>C/N</i>	12.5
<i>pH</i>	1.3
<i>Cao (en la muestra)</i>	4.5 %
<i>Capacidad de campo (retención H<sub>2</sub>O)</i>	185 %
<i>N total</i>	1.5%
<i>K<sub>2</sub>O</i>	1.3%
<i>P<sub>2</sub>O</i>	1.4 %
<i>Mg</i>	1.2%
<i>Fe</i>	1.5%
<i>Zn</i>	0.12%
<i>Cu</i>	0.02 %
<i>Acidos húmicos (ms.)</i>	6.1 %
<i>Acidos fúlvicos (m.s.)</i>	7.5 %
<i>Contenido en vidrio</i>	< 1 %

En este apartado también queremos mostrar la composición de un compost comercial de basuras urbanas producidos en la planta de compostaje de Valdemingómez (Madrid). Con ello podemos observar como se cumplen los requisitos que se indicaban anteriormente, exigidos para su contenido míni-

mo en materia orgánica, nitrógeno orgánico, humedad y para su estado físico al presentar una granulometría inferior a 10 mm. A la vez presentamos la composición fertilizante de este material dada por la concentración en elementos nutritivos.

### **11.4.2. Humus de lombriz**

Además de los procesos de acondicionamiento comentados con anterioridad, existe la posibilidad de usar la actividad de organismos no microscópicos como son las lombrices de tierra para transformar los residuos en un material orgánico estabilizado. Esta práctica comenzó en California (EE.UU.) y es llevada a cabo por la lombriz roja dando lugar al material conocido como humus de lombriz.

La función que realizan estos organismos es la de aprovechar las sustancias contenidas en el residuo para su nutrición produciéndose al mismo tiempo cambios en su composición y características físicas y químicas, formando un material orgánico más estabilizado. Este no es más que el conjunto de las deyecciones de estos animales y sustancias no digeridas por ellos, que conduce una materia fertilizante equilibrada en nitrógeno, fósforo y potasio, y que es capaz de estimular la vida microbiana del suelo a la vez de favorecer mejoras sobre el estado físico.

Las mayores dificultades de este procedimiento estriban en las exigencias para su buen desarrollo que precisa este organismo y sin las cuales no se produce una adecuada realización del proceso. Precisa como sustrato, materia orgánica cuyo contenido en agentes contaminantes sea bajo, así como una humedad y temperatura óptimas ya que no soporta exceso o deficiencia hídrica como tampoco tolera grandes cambios de temperatura en el medio donde vive.

En la siguiente tabla, mostramos como ejemplo un material obtenido con la acción de la lombriz roja y que nos sirve para apreciar las características principales del denominado humus de lombriz.

Tabla 7  
Composición de un humus de lombriz (Sempere, 1987)

<i>Humedad (%)</i>	13.4	<i>Cenizas (%)</i>	63	<i>Cond. elec. (mS/cm)</i>	0.86
<i>pH acuoso</i>	7.8	<i>Mat. orgánica (%)</i>	37	<i>C/N</i>	48
<i>Ac. húmicos (%)</i>	2.3	<i>Ac. fúlvicos</i>	1.3	<i>Ac. h./Ac. f.</i>	1.8
<i>Fósforo (%)</i>	1.0	<i>Potasio (%)</i>	1.4	<i>Sodio (%)</i>	0.3
<i>Calcio (%)</i>	6.4	<i>Magnesio (%)</i>	0.8	<i>Hierro (%)</i>	0.9
<i>Cobre (ppm)</i>	70	<i>Zinc (ppm)</i>	277	<i>Manganeso (ppm)</i>	357



### III. Materiales residuales y su uso

**A** continuación citaremos algunos ejemplos de materiales residuales, incidiendo más en aquellos que pueden presentar interés en cuanto a su aplicación agrícola como los restos de cosechas, basuras y lodos de depuradora.

#### III.1. Residuos agrícolas, ganaderos y forestales

Estos residuos han sido durante mucho tiempo los abonos tradicionales en los suelos de cultivo. A raíz de la revolución agrícola, que no olvidemos que ha permitido un incremento notable de la producción de alimentos vegetales y carnes de consumo, se ha llegado a la situación actual de un menor uso de estos residuos, aumentando el de fertilizantes inorgánicos. El equilibrio que existía entre las extracciones del suelo y la reincorporación de materia residual a este sustrato, está evidentemente roto con las nuevas técnicas agrícolas. No olvidemos que por cada litro de leche y kilo de carne se

producen 1.5 kg y 1.56 kg de estiércol húmedo respectivamente (Loehr, 1974), cantidad relativamente grande y que sería más que suficiente para abastecer las necesidades de algunos suelos pobres en nutrientes y materia orgánica.

En la actualidad, se obtienen cantidades importantes de residuos que no tienen una aplicación definida, y que por tanto no son devueltos al ciclo natural de reciclaje de materia orgánica. Es bien cierto que en función de las características de estos materiales y el ya bien conocido uso de muchos de ellos, resulta evidente y obvio que es factible y práctica su incorporación al suelo. El objetivo principal de los investigadores en este campo se centra en la optimización de su uso para alcanzar rendimientos adecuados y para la recuperación de suelos degradados sin provocar procesos de contaminación o cambios graves en el ecosistema que conduzcan a desequilibrios y a situaciones nutricionales y medioambientales no deseables. Comentaremos con brevedad algunos de los residuos útiles como recursos.

### ***III.1.1. Residuos ganaderos***

Están formados por la acumulación de deyecciones sólidas y líquidas producidas en las explotaciones ganaderas. El uso eficiente de estos residuos sin que se produzcan daños en el

## Residuos orgánicos y agricultura

---

medio, especialmente de los líquidos, es objetivo prioritario de muchos investigadores (Bernal y Roig, 1993).

Las características de estos materiales son función de: especie, raza, alimentación del ganado y época del año. Las cantidades que se producen dependen del tipo de explotación, puesto que no serán las mismas las originadas en un establo de vacas que en una granja de aves. Podemos reseñar algunos valores medios de producción de materia fresca según el animal explotado

Tabla 8

Producción de residuos frescos de explotaciones ganaderas

<b>Tipo de ganado</b>	<b>kg heces/día</b>
<i>Vacuno</i>	30-50
<i>Equino</i>	20-50
<i>Porcino</i>	4-8
<i>Ovino</i>	4-8
<i>Aves</i>	0.1-0.5

El destino de todos estos residuos puede ser variado. Novák (1983) propuso las siguientes posibilidades de utilización de estos materiales residuales generados por las explotaciones ganaderas:

- Vertido de los materiales frescos producidos sobre suelos de cultivo, áreas de arbolado o prados.

- Separación mecánica de las fracciones líquidas y sólidas procediendo después a:
  - Compostaje individual de las fracciones.
  - Combustión o pirólisis de la parte sólida.
  - Uso para el riego de la fracción líquida.
  - Depuración de la fracción líquida y obtención de agua reutilizable.
  - Reciclaje de la fracción líquida para efectuar nuevas limpiezas en los establos.
- Tratamiento anaeróbico con obtención de energía (biogás), consiguiendo un control de los olores y de los organismos patógenos, seguido de:
  - Vertido a los suelos del material fermentado.
  - Separación de las fracciones líquida y sólida para proceder posteriormente a su incorporación al suelo.
- Tratamiento aeróbico de fermentación seguido de:
  - Estabilización total de la materia orgánica.
  - Obtención de extractos proteicos para otros usos (preparados nutritivos, cosmética, etc.).
  - Obtención de energía concentrando la que se desprende durante el proceso aeróbico.
  - Obtención de suspensiones complejas que puedan servir de alimento a animales.

## Residuos orgánicos y agricultura

---

- Uso de los residuos en sistemas predador-presa, como estanques con presencia de peces que se alimenten del residuo y aves predatoras de los mismos.
- Preparación de sustancias que sirvan para la nutrición de animales siguiendo estos procedimientos:

Alimentación con los residuos frescos directamente.

Secado a alta temperatura y obtención de material libre de olores y gérmenes para la alimentación.

Hidrólisis ácida de los residuos, purificación y eliminación de microorganismos, con la finalidad de utilizarlo como medios para cultivos celulares en sistemas complejos de alta tecnología.

Estos materiales residuales de carácter sólido, mezclados normalmente con la cama del ganado produce un abono orgánico bien conocido: el **estiércol**. La clasificación de los estiércoles se puede realizar en función de su origen y temperatura de fermentación:

- Estiércoles calientes: caballo, oveja, cabra y aves de corral.
- Estiércoles fríos: vaca, cerdo.

En la tabla 9 figuran algunas características agronómicas de estos materiales, prestando atención a la materia seca y contenido en los nutrientes mayoritarios.

Tabla 9  
Composición nutritiva de estiércoles en materia fresca  
(Alcántara, 1993)

Origen del estiércol	m.s. (%)	N kg/t	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> kg/t	K <sub>2</sub> O kg/t	MgO kg/t	S kg/t
<i>Vacuno</i>	32	7	6	8	4	-
<i>Oveja</i>	35	14	5	12	3	0.9
<i>Cerdo</i>	25	5	3	5	1.3	1.4
<i>Gallinaza</i>	28	15	16	9	4.5	-
<i>Purines</i>	8	2	0.5	3	0.4	-

La práctica del estercolado a los suelos es función de múltiples factores, de los que destacamos a la especie cultivada, las características del suelo (evaluación de sus necesidades de abonado) y el tipo de estiércol que se use (puesto que como hemos visto hay ciertas diferencias entre ellos). Generalmente, los valores que se aplican sobre un suelo de cultivo son variables. Debemos considerar que el valor de referencia para evaluar la disponibilidad nutricional del suelo es la capa superficial de 30 cm de espesor, ya que es la zona donde se pueden producir con mayor facilidad los procesos degradativos de la materia orgánica como consecuencia de su incorporación y mezcla con el suelo, tras una posterior operación de arado o aireación del mismo.

Las aplicaciones de estiércol oscilan entre los 5000 kg/ha hasta los 50000 kg/ha, dependiendo de los factores antes

comentados y existen numerosas recomendaciones en los libros de agronomía sobre las cantidades que son aconsejables en función de la especie vegetal que se desee cultivar.

La aplicación de estiércol constituye un aporte importante de fósforo a los suelos, con la peculiaridad de su carácter predominantemente lábil, lo que contribuye a una buena asimilabilidad por la planta (Díez, 1987).

Estudios realizados en laboratorio sobre la capacidad de retención iónica de este material, han puesto de manifiesto que estiércol como el de vaca puede llegar a retener las 4/5 partes del Na y Ca de una disolución salina añadida como agua de riego (Shokohifard, 1989). Este hecho nos indica que existe la posibilidad de que la aplicación de estos materiales en suelos degradados por agentes salinos pueda resultar beneficiosa para reducir los efectos negativos de la salinidad y promover el desarrollo de la cubierta vegetal (Navarro, 1992).

### *III.1.1.1. Gallinaza*

De todos estos residuos, los avícolas merecen una cierta atención por sus especiales características. Están compuestos por deyecciones de aves de corral junto con el material usado en las camas y cal en pequeña proporción (sí ésta es

utilizada sobre el piso para mantener unas condiciones sanitarias permisibles en los corrales).

Cada ave, proporciona heces diarias aproximadamente correspondientes al 5 % de su peso corporal (Ramírez, 1983). Como dato indicativo de la importante producción de residuos avícolas, indicaremos que en la Comunidad Autónoma Vasca, con un censo de 1315000 gallinas, se producen anualmente 124500 toneladas de este residuo (Echaendia y Meño, 1990).

Las gallinazas suelen ser relativamente ricas en nitrógeno y tener una buena relación C/N y C/P. En el caso de no usar cal sobre el suelo de los corrales, o explotaciones avícolas, su pH suele ser ácido. En la tabla 10 se señalan las características generales de una gallinaza.

Tabla 10  
Características de una gallinaza (Ramírez, 1983)

<i>materia seca %</i>	79.5
<i>peso específico g/cm<sup>3</sup></i>	0.5
<i>pH (H<sub>2</sub>O)</i>	5.0-8.0
<i>materia orgánica %</i>	80.0
<i>N orgánico %</i>	3.00
<i>C/N</i>	15.5
<i>P total %</i>	1.82
<i>C/P</i>	25.5



## Residuos orgánicos y agricultura

---

En la tabla 11 se muestra la composición y solubilidad de nutrientes procedentes de las gallinazas, y de todos ellos destaca el elevado porcentaje de N, P y K que es capaz de pasar a disolución acuosa.

Este material conviene que sea compostado para mejorar la relación C/N, así como la disponibilidad de nutrientes como el p o el K. Un proceso de compostaje es el indicado por Echaendia y Menoyo (1990), desarrollado en un reactor rectangular de 60 m de largo, 6 m de ancho y 0.8 m de alto. Se introduce la gallinaza mezclada con restos de corteza de pino y se remueve el material. El material avanza hacia la salida conforme se produce el proceso de compostación, con un tiempo medio de residencia de 40 días. Con ello se consigue una reducción importante de la humedad (47 %), aumento de la relación C/N así como del pH.

Además debemos indicar que este material posee un elevado potencial de generación de energía si se fermenta en condiciones anaerobias con producción de biogás como así lo indican Echaendia y Menoyo (1990).

### *III.1.1.2. Purines y lisieres*

De los residuos líquidos destacamos los purines (orina de los animales) y los lisieres, que están formados por la unión

de los excrementos sólidos y líquidos diluidos en el agua de lavado de los establos. La aplicación de estos residuos líquidos suele ir acompañada de procesos previos de compostaje para mejorar sus condiciones agronómicas. Son fermentados de forma aerobia, añadiendo en ocasiones materiales como paja fina triturada, serrín o compost, consiguiendo aumentar la relación C/N a 10 puesto que por lo general suele ser menor de ese valor. El orden de aplicación sobre un suelo de estos materiales fermentados es de 10-50 m<sup>3</sup>/ha para el purín y de 10-30 m<sup>3</sup>/ha para el lisier.

Tabla 11  
Composición y solubilidad de nutrientes en gallinaza

		<b>Contenido (%)</b>	<b>Solubilidad (% del total)</b>
<i>Extracto en agua</i>	N	3.00	30-34
	K	1.27	31-50
<i>Extracto con KCl 1 N</i>	Ca	1.55	5-17
	Mg	0.57	5-12
<i>Extracto con NaHCO 0.5N+EDTA 0.01 N</i>	P	1.82	20-30
		<b>Contenido (ppm)</b>	
	Fe	2830	0.006
	Mn	196	11-23
	Cu	32	12-50
	Zn	135	11-12

## Residuos orgánicos y agricultura

---

Los lísieres más usados son los porcinos, cuya composición nitrogenada es elevada y considerable. Sus características en función del tipo de explotación se reflejan en la siguiente tabla. De todos ellos, los de engorde muestran un elevado contenido de N y materia orgánica, destacando notablemente sobre los demás. En general, ambos líquidos (purines y lísieres), dado su contenido en nitrógeno presente en formas orgánicas e inorgánicas, podría ser considerado como fertilizante nitrogenado (Bernal y Roíg, 1993).

Tabla 12  
Composición de lísieres porcinos

<b>Tipo de explotación</b>	<b>M.O. %</b>	<b>N kg/m<sup>3</sup></b>	<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> kg/m<sup>3</sup></b>	<b>K<sub>2</sub>O kg/m<sup>3</sup></b>	<b>MgO kg/m<sup>3</sup></b>
<i>Engorde</i>	84.9	6.0	5.3	3.6	1.3
<i>Ciclo cerrado</i>	52.0	4.3	3.2	2.8	0.9
<i>Maternidad</i>	32.4	3.4	1.8	2.3	0.5

Sobre la disponibilidad de nitrógeno derivada de estos residuos podemos destacar que los procesos de amonificación y nitrificación están muy influenciados fundamentalmente por la temperatura. A temperaturas elevadas, se producen pérdidas de amoniaco gaseoso intensas, superiores incluso a las que se producen en un suelo fertilizado con urea (González et al., 1990).

En suelos en los que se mantenga una humedad adecuada (10-20 %), así como una temperatura por encima de los 15°C, se puede conseguir un importante grado de nitrificación del compost procedente de este material, lo que permite mantener nitrógeno inorgánico para la nutrición de la planta durante periodos superiores a 90 días.

La disponibilidad de estiércoles suele ser en ocasiones escasa, siendo este material el preferido tradicionalmente por los agricultores; por contra, otros tipos de subproductos como los que citaremos a continuación, no tienen una demanda tan notoria, aun siendo susceptibles de aplicarse al suelo como enmiendas orgánicas.

### ***III.1.2. Abonado verde***

Este abonado consiste básicamente en la adición de restos de plantas frescas o de la totalidad de ellas tras la recolección de la cosecha al suelo. El empleo de esta técnica se desarrolla fundamentalmente con leguminosas que son capaces de enriquecer el medio en nitrógeno, pudiendo servir de abono una vez mezcladas con él. Se estima que se pueden producir de 300 a 700 kg de humus/ha de cultivo.

El empleo de leguminosas se manifiesta en dos ejemplos claros en nuestro ámbito mediterráneo, el uso de habas y gui-

## Residuos orgánicos y agricultura

---

santes como cultivos intermedios entre otras producciones que requieren de abonado nitrogenado, mientras que estos no lo necesitan tanto. Estas plantas son capaces de incrementar el contenido nutritivo de los suelos a la par que ofrecen producciones comerciales. Las entradas de N al suelo debidas a estas especies se indican en la tabla 13, observando que es mucho más importante la procedente de los cultivares de habas que la de los guisantes.

Tabla 13  
Incorporación de N en kg/ha con dos especies de leguminosas, habas (*Vicia faba*) y guisantes (*Pisum sativum*)

	<b>Media</b>	<b>Rango</b>
<i>Vicia faba</i>	210	45-552
<i>Pisum sativum</i>	65	52-77

Se ha demostrado que el uso de abonado verde de especies como el girasol, influye favorablemente en la disponibilidad de nutrientes como N, P y K, aumentando significativamente la cantidad de estos en suelos arenosos (Gatí, 1983).

También se puede usar como técnica para incrementar el contenido en nitrógeno la inoculación a los suelos de bacterias fijadoras de nitrógeno (materia orgánica viva, en definitiva) como las del genero *Azotobacter*, que como observamos en

la tabla siguiente han producido efectos beneficiosos sobre el rendimiento de algunos cultivos desarrollados en la antigua URSS. En definitiva, este sistema persigue el mismo objetivo que el uso del abonado verde con plantas leguminosas y por ello incluimos esta breve reseña en el apartado de abonado verde.

Tabla 14  
Inoculación de *Azotobacter* e incrementos de rendimiento en distintos cultivos (Hamdi, 1983)

<b>Cultivo</b>	<b>% incremento</b>
<i>Trigo</i>	5-12
<i>Patata</i>	7-32
<i>Col</i>	18-24
<i>Cebada</i>	11-22

Hay muchos factores que influyen en esta fijación, tales como la temperatura, la luz, el oxígeno, el anhídrido carbónico, la humedad, la salinidad, los nutrientes y los plaguicidas. De ellos depende en buena medida la eficacia de la fijación simbiótica de nitrógeno por inoculación.

El uso de otro tipo de plantas no fijadoras de nitrógeno trae como consecuencia unas demandas de este elemento para que se produzcan los procesos de humificación, y por tanto precisan de aportes extras en este sentido. Una combinación

con bacterias fijadoras podría solventar en buena medida esta carencia.

### ***III.1.3. Restos de cosechas***

La producción de residuos vegetales derivados de la propia actividad agrícola es considerable. Una práctica que podría contribuir a paliar el déficit húmico de nuestros suelos es la incorporación de estos subproductos, que podrían aumentar el nivel de materia orgánica del suelo y su fertilidad (Cegarra et al., 1983).

Los residuos verdes de plantas no leguminosas, como las hortícolas, son susceptibles de ser empleados de forma casi inmediata como abono. Deben ser triturados y secados previamente, lo que facilita su fermentación rápida y posterior aplicación. En el caso de usarlos en la modalidad de abonado verde, nos podemos encontrar con problemas de carencia de nutrientes como se había indicado anteriormente. Debemos tener en cuenta que la horticultura intensiva produce una considerable cantidad de biomasa que debe ser aprovechada. En la tabla 15 podemos apreciar la composición nutritiva de algunos residuos de cosechas, especialmente de cereales y de hortícolas.

Tabla 15  
Composición media en NPK de restos de cosechas en porcentaje sobre peso seco (Parr y Colacicco, 1987)

<b>Material</b>	<b>C/N</b>	<b>N</b>	<b>P</b>	<b>K</b>
<i>Trigo</i>	105	0.49	0.11	1.06
<i>Arroz</i>	105	0.58	0.10	1.38
<i>Maíz</i>	55	0.59	0.31	1.31
<i>Algodón</i>	-	0.88	0.15	1.45
<i>Patata</i>	27	1.6	-	-
<i>Lechuga</i>	-	3.7	-	-
<i>Cebolla</i>	15	2.6	-	-
<i>Tomate</i>	12	2.1	0.3	0.20

Destaca de manera notable que los restos de cereales presentan una mayor relación C/N, lo que podemos interpretar como que precisarán nitrógeno extra para su mineralización; en cambio debemos resaltar que los residuos de hortícolas suelen presentar una relación más baja corroborando este hecho que, después de un secado y triturado, su aplicación a los suelos pueda realizarse de forma inmediata.

Resulta pues incongruente la quema de rastrojos, tanto desde la perspectiva de mantener los equilibrios en los ecosistemas terrestres, como con la mira en el medio ambiente y también atendiendo a importantes razones de índole económica como son:



## Residuos orgánicos y agricultura

---

- La pérdida de recursos y nutrientes presentes en el propio material, lo que hace necesario utilizar otras enmiendas orgánico-minerales con la finalidad de mantener el estado nutricional del suelo.
- El grave deterioro de la vida microbiana de los suelos sobre los que se realiza la quema. Este hecho trae como consecuencia el bloqueo de procesos tan importantes como la nitrificación, la humificación y cualquier otro en los que intervienen los microorganismos, provocando la pérdida de potencial nutricional del suelo y la consiguiente reducción de la productividad.

Los residuos de cosechas pueden aportar, tras un proceso adecuado de humificación, es decir, de descomposición y formación de sustancias húmicas, una cantidad importante de humus beneficioso para el suelo (Rule et al., 1991). En la tabla siguiente se recogen los valores medios de humus formado por restos de cosechas, destacando las cantidades originadas por restos de cereales como los de trigo y maíz; éstos son objeto muchas veces de quema en vez de ser empleados como abono, enterrándolos de nuevo en el medio de cultivo.

Tabla 16  
 Cantidad de humus formada por residuos de diversas cosechas (Alcántara, 1993)

Origen del residuo de cosecha	kg humus/ ha de cultivo
<i>Rastrojo y raíces de trigo</i>	300-600
<i>Raíces y paja enterrada de trigo</i>	600-1200
<i>Rastrojo y raíces de cebada</i>	200-500
<i>Raíces y paja enterrada de cebada</i>	400-1000
<i>Raíces y rastrojo de maíz</i>	400-800
<i>Raíces, hojas y cañas enterradas de maíz</i>	800-1200
<i>Hojas y cuellos de remolacha</i>	500-800
<i>Raíces de patatas</i>	50-150

Los procesos de mineralización y humificación que dan lugar a la degradación de estos residuos están influenciados por factores tales como:

- *La naturaleza del material adicionado.* Por ejemplo, es muy distinta la velocidad de mineralización de materiales como la paja de maíz que la de soja, comprobándose que la primera se mineraliza dos veces más rápido que la segunda.
- *El tipo de suelo que se utiliza,* influyendo sus características estructurales y el contenido en nutrientes como el N que ayuda en la mayoría de los casos a acelerar los procesos microbiológicos.
- *La temperatura y humedad del medio,* así como la época en que se aplican estos materiales. Es más fácil la mine-

## Residuos orgánicos y agricultura

---

realización en épocas de mayor temperatura que en otras más frías.

La composición de los restos de cereales (paja y raíces) es variable, pero presenta como característica importante una relación C/N frecuentemente elevada como apreciamos en los ejemplos de la tabla 17. Este hecho es el que produce que, si el suelo es deficitario en N, sea necesario añadir fertilizantes nitrogenados, como puede ser el nitrato amónico, para que ayude a que se produzcan los procesos de mineralización de forma más rápida y se acelere el establecimiento de una relación C/N adecuada para el suelo (Gatí, 1983) que permita cultivar en menor plazo de tiempo.

Tabla 17

Relación C/N de materiales orgánicos y evolución en un suelo franco arenoso al que se le ha añadido un 10 % de residuo (Gatí, 1983)

<b>Material orgánico añadido</b>	<b>C/N</b>	<b>a los 105 días</b>	<b>a los 328 días</b>	<b>a los 580 días</b>	<b>a los 833 días</b>
<i>Paja de avena</i>	29	31.4	16.0	13.8	12.4
<i>Tallos de soja</i>	62	47.8	14.3	14.1	13.4

Se ha puesto de manifiesto que la incorporación de estos materiales al suelo influye favorablemente en los rendimientos de la cosecha (Hernández et al., 1983). Experiencias rea-

lizadas con paja de trigo nos muestran que las condiciones favorables de humedad en el suelo (20-30 %) y presencia de nitrógeno inorgánico (240-400 mg/kg), conducen a una duración de estos procesos que puede ser de unos 80 días (Bhardwaj y Novák, 1978), llegando a una estabilización óptima de la materia orgánica. En general, el gran problema que pueden plantear estos residuos es su elevada relación C/N, que como vemos puede ser en parte paliada si se complementa con la presencia de N inorgánico.

Se ha comprobado que la adición de estos residuos, produce efectos beneficiosos sobre otras propiedades del suelo como la capacidad de retención hídrica y de intercambio catiónico. Ambas son favorecidas por este tipo de práctica (abonado con restos de cosechas), destacando la disminución del riego realizado en posteriores etapas de cultivo y consiguiente ahorro de agua (Cegarra et al., 1983). Curiosamente, en zonas donde se padecen situaciones de deficiencia hídrica, se poseen suelos con bajos contenidos en materia orgánica como el sureste de España.

En definitiva, debemos resaltar que de las plantas aprovechamos una parte comercial a la que se le saca rentabilidad económica, pero que nos queda un fracción de biomasa residual importante, rica en elementos nutritivos y que puede ser

alterada, mineralizada y humificada, enriqueciendo nuestros suelos y por ello puede llegar a tener efectos positivos sobre nuestra propia economía.

### ***III.1.4. Restos forestales***

Los restos forestales están compuestos fundamentalmente por materiales leñosos y de lenta mineralización, originados de forma natural y artificial en su mayor parte. Son obtenidos por procesos de poda y aclaren, como de otras labores que se practican en silvicultura. Además, a estos residuos, podemos asociar los derivados de las actividades de la industria de la madera, con características comunes a los restos de podas forestales en su mayor parte.

Su conversión en humus puede ser viable atendiendo a los plazos biológicos de formación de suelos en bosques, sin importar que para ello se precise el transcurso de muchos años. Sin embargo, con el fin de aprovechar su potencial como acondicionador del suelo, se suele proceder a la producción de materiales compostados y materiales finos como el serrín. Este material es utilizado normalmente como mezcla con otros productos para los procesos de fermentación.

La transformación en serrín de residuos de madera es interesante para múltiples usos. A continuación se indican algunas

de las características del serrín de pino, el más común en la mayor parte en España.

Tabla 18  
Composición (%) y poder absorbente del serrín de pino

	<b>N</b>	<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	<b>K<sub>2</sub>O</b>	<b>CaO</b>	<b>Absorción de agua</b>
<i>Serrín</i>	0.18	0.3	0.7	1	420

Es escaso el contenido de nutrientes de este material, comparado con otros residuos comentados anteriormente; pero sí es importante su capacidad acondicionadora en cuanto a la facilidad que tiene para absorber agua. Es sugerente, en este sentido, que el serrín pueda ser empleado como sustrato de cultivos, con poca intervención en la nutrición de la planta pero con una interesante capacidad de retención hídrica.

Además de su uso en función del poder absorbente del material, podemos destacar los buenos resultados que su compost proporciona en cultivos bajo cubierta. Pudelski (1985) indica la importancia del uso de restos forestales como medio de crecimiento de vegetales en invernadero, especialmente en los meses de verano o empleando técnicas de calentamiento del sustrato. Con ello se consigue incrementar considerablemente el nivel de CO<sub>2</sub> de la atmósfera e intensificar

## Residuos orgánicos y agricultura

---

la fotosíntesis. Todo ello se traduce en un incremento notable de biomasa.

### ***III.1.5. Residuos de plantas acuáticas***

Mencionamos en este apartado la posibilidad de uso de residuos de plantas acuáticas puesto que éstas en definitiva, siguen siendo materia orgánica conteniendo importantes cantidades de nutrientes que pudieran ser aprovechables si se incluyen como enmendantes en el sistema suelo-planta.

Comentaremos brevemente algunos datos sobre las algas marinas. Son susceptibles de ser empleadas como abonos orgánicos de los suelos si se procede a un proceso de secado apropiado; además suelen descomponerse con relativa rapidez. Su composición en agua es elevada así como el contenido en sales. Si nos referimos a la concentración media de N, P y K, podemos apreciar de los datos recogidos en la tabla siguiente que su contenido en nitrógeno no es nada desdeñable.

Tabla 19

Rango de composición en porcentaje de peso seco de algas  
(Payr y Colacicco, 1987)

	<b>N</b>	<b>P</b>	<b>K</b>
<i>Algas</i>	1.34-3.60	0.08-0.17	0.06-0.69

### **III.2. Residuos de industrias agroalimentarias y afines**

Las industrias relacionadas con la agricultura y la ganadería, son en muchas ocasiones las que dan lugar a residuos de gran interés desde el punto de vista agronómico.

Así, son muy variados los subproductos que se pueden obtener de actividades relacionadas con la alimentación, tales como los de mataderos industriales o locales, los orujos procedentes de la obtención de vino y aceite, entre otros muchos.

#### ***III.2.1. Mataderos industriales***

Estas instalaciones generan dos tipos de residuos con carga orgánica importante. Unos sólidos provenientes básicamente del despiece de los animales y formado por los restos no comerciales de los mismos, y otros líquidos que proceden fundamentalmente del lavado de los animales y las instalaciones. Como conjunto, en base a su origen biológico y su carga orgánica, puede existir la posibilidad de su empleo como enmendantes orgánicos de los suelos.

Al igual que con otros residuos, cada vez es más negativo tanto desde el punto de vista social y como del económico, el vertido y descarga de residuos orgánicos en aguas continentales así como en vertederos incontrolados.



## Residuos orgánicos y agricultura

---

Para hacernos una idea de la magnitud de estos residuos, podemos analizar la producción de Nueva Zelanda, donde la industria cárnica es una de las más importantes, contribuyendo con el 19.3 % del total de las exportaciones del país y procesando cerca de 45 millones de animales anualmente. Los residuos líquidos generados en el procesado de estos animales equivalen a la contaminación aportada por una ciudad de 100000 hab. durante un año (Balks y Allbrook, 1991).

La composición de algunos de estos subproductos la podemos observar en la siguiente tabla, considerándose su composición en nitrógeno y en fósforo, con vistas a su posible uso como enmendantes en suelos agrícolas. Se muestran los residuos derivados de mataderos, destacando que los mayores aportes corresponderían a elementos como el N en todos ellos y el P en restos de huesos, sin embargo, es irrelevante el aporte de K que pueden ofrecer todos ellos por lo que no aparece recogido en la tabla 20.

Estudios realizados en el aprovechamiento de los efluentes de industrias cárnicas indican que el vertido sobre los suelos de estos residuos los enriquecen en nutrientes, mejoran su fertilidad y sobre todo las propiedades físicas (Balks y Allbrook, 1991). Además de ello, no se han apreciado efectos negativos a largo plazo, y se ha observado en lugares de

Tabla 20  
Residuos de matadero utilizados como abonos  
(Alcántara, 1993)

<b>Tipo de abono</b>	<b>N (%)</b>	<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (%)</b>
<i>Sangre en polvo</i>	10-14	-
<i>Cuernos y pezuñas</i>	12-15	-
<i>Cueros en polvo</i>	7-9	-
<i>Huesos en polvo</i>	2-3	16-20

descarga un incremento de la población y actividad de organismos como las lombrices de tierra. Este sistema de descarga de estos residuos sobre terrenos de pasto o para la recuperación de suelos puede resultar interesante en algunas partes de nuestro país en las que además se conjuga la falta de efluentes para riego, pero conviene realizar estudios detallados evaluando las características de nuestros suelos y del ecosistema donde se piense realizar la aplicación, determinando todas las relaciones con el entorno, especialmente si pueden tener efectos negativos sobre acuíferos.

### ***III.2.2. Industrias conserveras, envasadoras, textiles y papeleras***

En la industria alimentaria y de envasado de frutos y vegetales, alrededor del 10 % del producto bruto se convierte en residuo a lo largo de su tratamiento (Fiestas et al., 1981).

## Residuos orgánicos y agricultura

---

La amplia variedad de industrias origina a su vez una gran diversidad de productos residuales que difieren en su composición; no son iguales los residuos de una planta cervecera, una fábrica de azúcar, un envasadora de pescado o vegetales o una panificadora, por poner algunos ejemplos. Todo ello dificulta enormemente el estudio de estos residuos como conjunto homogéneo, y también su aplicación en sistemas de producción agrícola o de recuperación de suelos. Unido a esta dificultad, está el hecho de que estas empresas presentan una cierta dispersión o sus vertidos son en muchas ocasiones incluidos dentro de los urbanos.

Así mismo, las industrias papeleras y de cartonaje, y algunas industrias textiles que trabajan las materias primas como el algodón o la lana, originan residuos con alta carga orgánica que en ocasiones no son adecuadamente tratados y vertidos en buenas condiciones, con el riesgo ambiental que ello puede originar puesto que muchos de estos residuos acaban teniendo como destino el suelo o cauces de aguas (Tedaldi y Loehr, 1991) con un grave riesgo contaminante.

Sin duda, los residuos de todas estas industrias comentadas también pueden tener una aplicación a los suelos, especialmente los de las industrias conserveras. Para ello deben evaluarse las características de los residuos (tanto los líquidos

como los sólidos) porque éstas dependen en gran medida de:

- Material originario para el procesado.
- Tipo de empresa y tamaño.
- Sistema de trabajo de la factoría, mecanización, lavado, etc.
- Cantidad de agua gastada, aditivos, conservantes, etc..
- Sistemas de depuración y tratamiento (si los tiene).

Con todo ello, y el análisis detallado de los residuos puede llegar a conocerse con bastante exactitud su viabilidad de uso en los suelos. Sea éste el destino o no de estos materiales, es importante que se sometan a los procesos de digestión anaerobios o aerobios, o de depuración si son aguas residuales, que permiten la reducción de la carga orgánica así como la variación en la composición y adaptación de sus propiedades físicas y químicas (Urbano et al., 1990). Si después de estos procesos no fuera posible su aplicación y aprovechamiento en ningún sentido, sólo queda recurrir a los procesos de incineración que reducen al mínimo su volumen (a ser posible con recuperación de energía) y vertido controlado. Si el destino final es el vertido, la determinación de sus características (después de procesos de fermentación y depuración) nos dará las pautas más adecuadas para que éste se realice

## Residuos orgánicos y agricultura

---

sin el menor perjuicio para el medio aunque esta opción debe quedar en último lugar para evitar la pérdida de recursos.

Tabla 21  
Composición NPK de algunos residuos industriales

	N (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	K <sub>2</sub> O (%)
<i>Harina de pescado</i>	4-10	3-6	1-2
<i>Tortas de algodón</i>	3-7	2-3	1-2
<i>Residuos de lana</i>	3-9	-	-

### ***III.2.3. Bagazo de la caña de azúcar, orujos de industrias vinícolas y remolacheras***

El bagazo de la caña de azúcar son los restos derivados de las industrias azucareras y constituye un residuo con un gran potencial energético. De hecho, tradicionalmente se ha usado como combustible o para obtener alcohol (Figuerola, 1983).

Su aplicación agrícola como enmendante de los suelos está en parte limitada por esta circunstancia, si bien se están realizando estudios encaminados a diseñar sistemas biológicos de compostaje que permitan la obtención de un producto que pueda ser aplicado en el campo. Existen experiencias de este tipo adicionando el residuo sobre los propios campos de cultivo de caña de azúcar en Brasil (Aloisi, 1992).

Esta misma situación es la que ocurre con los orujos de bodegas de vino. Estos residuos pueden ser perfectamente empleados en la obtención de productos importantes como tartratos, alcoholes y para la obtención de energía. Los residuos líquidos de las destilerías de vino también suelen tener una elevada carga orgánica (40 g de COD/litro) que al igual que ocurre con ejemplos que comentaremos posteriormente, podrían ser empleados para su uso sobre suelos. El principal problema es la presencia de compuestos fenólicos que pueden incidir negativamente sobre el medio e incluso dificultar procesos de tratamiento como los señalados en el apartado de compostaje (Borja et al., 1993).

La situación de las remolacheras es similar, si bien existen algunos estudios realizados con la intención de aplicar a los suelos residuos líquidos (vinazas) de estas industrias, aportando humedad y nutrientes para el desarrollo de cultivos. Así, López et al. (1992) muestran los efectos positivos sobre el cultivo de rábano de la aplicación de vinaza concentrada a la que se le ha efectuado una corrección con fósforo por ser el nutriente que se encuentra deficitario en este material. Las características de este producto se indican en la siguiente tabla:

## Residuos orgánicos y agricultura

---

Tabla 22  
Análisis del concentrado de vinaza de remolacha  
(López et al., 1993)

<b>M. seca (%)</b>	54	<b>pH</b>	5	<b>K (%)</b>	3.5
<b>M. org. total (%)</b>	40	<b>C/N</b>	3.8	<b>Ca (%)</b>	0.3
<b>M. org. oxidable (%)</b>	22	<b>N (%)</b>	3.3	<b>Mg (%)</b>	1.0
<b>Densidad (g/cm<sup>3</sup>)</b>	1.3	<b>P (%)</b>	0.02	<b>Na (%)</b>	2.0

### III.2.4. Piñota

La piñota es un subproducto derivado de la extracción de los piñones. Resulta del troceado de las piñas, y en el se pueden distinguir componentes de diferentes tamaños, los mayores (3-5 cm) son brácteas sueltas o unidas a tronchos de piña; la fracción más fina es un polvo de aspecto similar al serrín, y la fracción intermedia está formada por brácteas pequeñas y cáscaras rotas de piñones.

Este material tiene un elevado contenido orgánico (96 %), formado por compuestos muy estables de alto grado de lignificación. Posee las características que se precisan para su uso como sustrato de cultivo, bien solo o mezclado con otras sustancias. Su baja densidad aparente (material ligero), su capacidad para contener, o permitir el intercambio gaseoso, su retención hídrica y su estabilidad en el tiempo así lo indican (Altarriba et al., 1990).

### **III.2.5. Piel de almendra**

La piel de almendra, “colfa” de almendra, es el pellejo verde que se desprende del fruto, formado por el epicarpio y mesocarpio. Los residuos de almendra tienen en España una producción anual cercana a las 100000 t, evidentemente derivada de que nuestro país es el segundo productor mundial de almendra con una cosecha superior a las 200000 t/año.

La utilidad de este producto como alimento de ganado o como camas para el mismo está relativamente bien difundida (Sant et al., 1985). Sin embargo, evaluando las cualidades del mismo observamos que en función de su composición en nutrientes podemos utilizarlo como enmendante agrícola ya que no difiere excesivamente de la de otros abonos orgánicos, aunque predomina un carácter marcadamente potásico (Gómez et al., 1983). Es decir, puede ser probablemente empleado como fertilizante potásico natural. En la tabla observamos la composición de este residuo y la solubilización de algunos nutrientes importantes; la asimilabilidad está determinada para el caso del p en extracto Burriel-Hernando, K, Na, Ca y Mg con acetato amónico 1 N y los micronutrientes con disolución extractora Lindsay-Norwell.

Esta tabla muestra las importantes posibilidades de este residuo de cara a su uso como acondicionador o enmendante



## Residuos orgánicos y agricultura

---

de suelos agrícolas, especialmente en aquellos faltos en un elemento tan trascendental para la nutrición vegetal como es el potasio (Gómez et al., 1987). Sin duda, el problema que plantea es la relación C/N elevada, que nos indica un necesario complemento nitrogenado para su adecuada transformación.

Tabla 23  
Características y solubilización de algunos nutrientes de la piel de almendra (Navarro, 1992)

<b>Característica</b>		<b>% en H<sub>2</sub>O</b>	<b>% asimilable</b>
<i>Cond. eles. mS/cm</i>	7.13		
<i>pH (:5)</i>	8.9		
<i>Mat. org. g/kg</i>	830		
<i>N Kjeldahl g/kg</i>	10.3	0.45	1.13
<i>C/N</i>	47		
<i>P g/kg</i>	2.3	4.13	4.30
<i>K g/kg</i>	42.5	30.82	56.24
<i>Nag/kg</i>	3.7	29.73	43.20
<i>Ca g/kg</i>	42.6	0.70	4.69
<i>Mg g/kg</i>	4.4	4.55	20.45
<i>Fe ppm</i>	995	1.40	2.36
<i>Mn ppm</i>	86	0.23	2.90
<i>Cu ppm</i>	96	3.13	4.72
<i>Zn ppm</i>	31	1.59	9.55
<i>B ppm</i>	33	1.23	-

Experiencias realizadas con suelos de variadas características de toda España usando dosis bajas de residuo (2g/kg de

suelo), han puesto de manifiesto que este material es capaz de aumentar la fertilidad potásica de los mismos, aumentando la fracción cambiante de potasio de 20 a 30 veces transcurridos cuatro meses desde la adición, lo que sin duda demuestra el potencial fertilizante en K de este residuo.

La ventaja de este residuo es su elevada producción en España, siendo la provincia de Alicante la primera productora, lo que nos sugiere una probabilidad alta para su reutilización agrícola.

### ***III.2.6. Pulpa de café***

Aunque no es muy importante este producto en España, podemos hacer mención a este residuo procedente de las primeras operaciones que se ejecutan al cosechar el fruto del café. Este residuo es al igual que la piel de almendra, la parte exterior formada por el epicarpio (película roja que cubre el grano). Algunas de las características de este residuo se indican a continuación.

## Residuos orgánicos y agricultura

---

Tabla 24  
Composición de la pulpa de café (Suárez de Castro, 1983)

Características	Porcentaje
Humedad	74-78
Materia orgánica	90-92
Nitrógeno	1.4-1.9
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.30-0.35
K <sub>2</sub> O	3.5-3.7

Observamos, que al igual que la cubierta de la almendra, presenta una concentración importante en potasio. Como datos destacados derivados de la aplicación de este residuo a los suelos, Suárez de Castro (1983) indica que se producen mejoras en los rendimientos en plantaciones de café de Sudamérica, y destaca también la reducción en las enfermedades parasitarias que acompaña la incorporación de este residuo.

Esta aplicación ayuda a evitar graves daños sobre el medio en Iberoamérica, donde se producen 3.3 millones de toneladas anuales de residuo que podrían crear problemas de contaminación, sobre todo en los ríos.

### **III.2.7. Residuos de almazara**

De los procesos de obtención del aceite, como observamos en la *figura 5*, se obtienen unos residuos líquidos y sólidos que poseen un alto contenido orgánico. La gran ventaja de

estos residuos, al igual que sucede con los lodos de depuradora, es su localización. Esta permite una recogida y almacenamiento eficaz.

Tabla 25  
Características del orujo y alpechín

<b>ORUJO</b>	<b>%</b>	<b>ALPECHÍN</b>	<b>%</b>
<i>Agua</i>	25.0	<i>Agua</i>	83.2
<i>Compuestos</i>		<i>Constituyentes</i>	
<i>Nitrogenados</i>	4.4	<i>inorgánicos</i>	1.8
<i>C.extraíbles</i>		<i>Constituyentes</i>	%
<i>nitrogenados</i>	20.0	<i>orgánicos:</i>	15.0
<i>Celulosa</i>	40.0	<i>Lípidos</i>	1.0
<i>Sales minerales</i>	6.6	<i>C. Nitrogen.</i>	2.0
<i>Otros</i>	4.0	<i>Azúcares</i>	7.5
		<i>Ac. org.</i>	1.5
		<i>Polialcoholes</i>	1.5
		<i>Pentosas,</i>	1.5
		<i>taninos</i>	
		<i>Glicósidos</i>	trazas
<i>pH</i>	5.0	<i>pH</i>	4.8
<i>Cond. elec.</i>	3.75	<i>Cond. elec.</i>	7.14
<i>(mS/cm)</i>		<i>(mS/cm)</i>	
		<i>DBO<sub>5</sub> (g/L)</i>	18

Del residuo líquido, denominado alpechín o aguas de vegetación, se obtiene alrededor de 1 litro por kilo de aceituna molida. Está formado por el agua que contiene la aceituna, el agua añadida durante el proceso y sustancias solubilizadas

## Residuos orgánicos y agricultura

---

durante el mismo. El residuo sólido está formado por fragmentos de piel, pulpa y hueso de la aceituna.

Las características generales de ambos las podemos observar en la tabla anterior (Carola, 1985).

El análisis de la composición elemental de dos residuos obtenidos de almazara del norte de la provincia de Alicante nos muestra los resultados que se indican a continuación.

Tabla 26

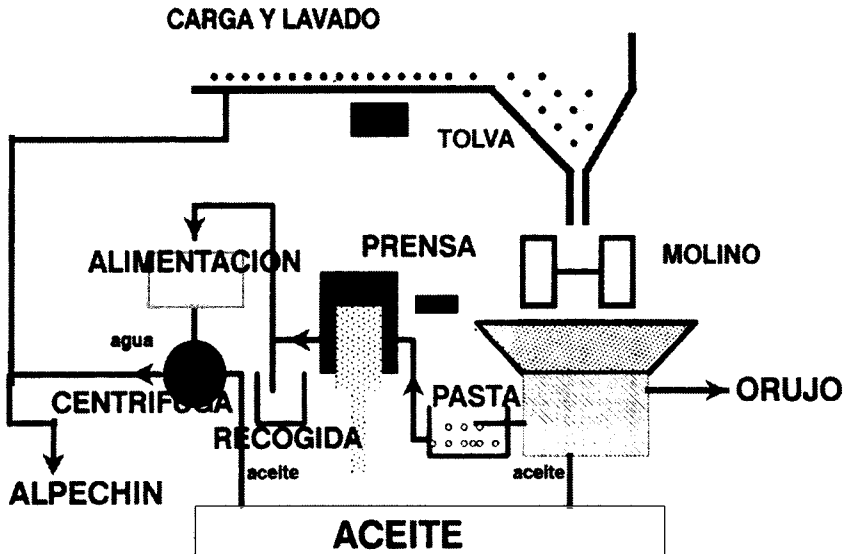
Composición elemental de residuos de almazara del norte de la provincia de Alicante (Navarro et al., 1993)

Elemento (g/kg)	ALPECHÍN	ORUJO
N Kjeldahl	1.3	4.7
P	0.13	0.15
K	4.70	5.70
Na	0.11	0.09
Ca	2.60	3.10
Mg	0.21	0.25
(mg/kg)		
Fe	24.1	50.1
Mn	9.0	13.6
Cu	1.1	5.7
Zn	19.7	30.2

En el caso de ambos residuos (líquido y sólido), observamos que no destaca ningún elemento especialmente sobre los

otros, a excepción del K. Sin embargo, la cantidad presente no es tan elevada como sucedía en el residuo de piel de almendra. Por tanto, la mejora sobre la fertilidad de los suelos puede no deberse en este caso al aporte de nutrientes. Según se refleja de los trabajos de investigación realizados, las sustancias orgánicas que componen estos residuos pueden en ocasiones actuar como activadores biológicos en el suelo (azúcares, celulosa), aportando energía y nutrientes a los

Figura 5  
Proceso de obtención de aceite



microorganismos; por otro lado, la presencia de polialcoholes y en especial la existencia de polifenoles favorece la solubilidad y capacidad quelante de estos residuos (Martín et al., 1990).

Este último aspecto, el de la presencia de compuestos fenólicos queremos destacarlo puesto que se han determinado estos compuestos tanto en la pulpa de la aceituna como en el alpechín (Vázquez et al., 1974). Este residuo líquido es probablemente el principal problema medioambiental de Andalucía (Maestro et al., 1991), y por ello resulta muy importante conseguir un tratamiento adecuado del mismo. Pero la presencia de los compuestos fenólicos dificulta la aplicación de procesos como los anaerobios puesto que resultan negativos para la actividad microbiana (Borja et al., 1990). Por ello, para este residuo se está investigando sobre un método de compostaje que comprenda una etapa aeróbica que permita la degradación de los fenoles (Borja et al., 1993) seguida de una anaerobia que reduce notablemente la carga orgánica del residuo con un menor tiempo de permanencia en el reactor.

### **III.3. Residuos de origen urbano**

Los residuos generados en las ciudades son diversos, pero los podemos asociar con dos grupos principales: las basuras

(residuos sólidos urbanos) y los lodos de la depuración de las aguas.

### ***III.3.1. Residuos sólidos urbanos (RSU)***

Los residuos sólidos urbanos constituyen uno de los más serios e importantes problemas que tienen las autoridades locales, tanto corporaciones municipales como diputaciones, encargados de la recogida y tratamiento de los mismos. Una mala gestión de estos puede generar problemas de contaminación en los suelos, las aguas y la atmósfera (Actis et al., 1981). Se entiende por RSU todo desecho producido o generado por núcleos urbanos o centros domiciliarios. Los lugares que dan origen a estos residuos son:

- Domicilios.
- Comercios y servicios.
- Hospitales, clínicas y ambulatorios. Limpieza viaria.
- Muebles, vehículos y otros enseres abandonados.
- Residuos de pequeñas industrias, construcción y otros.

Un estudio detallado de la composición de las basuras en el distrito de Brasilia (Brasil), nos muestra la gran variedad de elementos que componen los residuos sólidos urbanos.



## Residuos orgánicos y agricultura

---

Tabla 27  
Composición de la basura en Brasilia (Vaz et al., 1983)

<b>Material</b>	<b>(%)</b>
<i>Papel</i>	23.04
<i>Cartón</i>	4.13
<i>Madera</i>	2.50
<i>Ropa</i>	3.61
<i>Cuero</i>	0.35
<i>Gomas</i>	0.24
<i>Plástico duro</i>	0.48
<i>Plástico blando</i>	1.84
<i>Vidrio</i>	2.83
<i>Latas</i>	2.89
<i>Loza</i>	0.24
<i>Hierro</i>	0.18
<i>Aluminio</i>	0.01
<i>Otros metales</i>	0.12
<i>Huesos</i>	0.50
<i>Verduras y frutas</i>	14.57
<i>Hojas y flores</i>	4.19
<i>Restos alimentos</i>	0.98
<i>Otros materiales</i>	0.09
<i>Diversos y tierra</i>	33.37
<i>Pérdidas por evaporación y fermentación</i>	3.70

Datos correspondientes al año 1990 de la CEE, EE.UU. y España, agrupados de forma homogénea nos indican la composición general de las basuras (tabla 28).

Estos datos ponen de manifiesto que en España, sigue siendo relevante la composición residual orgánica en las basuras, fruto de nuestros «hábitos hogareños y buena cocina», lo que supone que haya unos intervalos del 35-50 % de materia orgánica, del 25-35 % de materias combustibles, 35-55 % de humedad y 10-15 % de inertes.

Tabla 28  
Composición de RSU (%) en la CEE, EE.UU. y España  
(año 1990)

	<b>España</b>	<b>CEE</b>	<b>EE.UU.</b>
<i>Papel y cartón</i>	15	30	36
<i>Vidrio</i>	7.5	8.5	8.5
<i>Plásticos</i>	9	6	7.5
<i>Caucho</i>	1	1.5	2
<i>Metales</i>	3.5	5	9
<i>Textiles</i>	2	-	3
<i>Mat. orgánica</i>	52	32	20
<i>Otros</i>	10	14	14

La composición en España es similar a la de otro país mediterráneo como Italia, en donde se producen anualmente más de 15 Mt. La composición media de los residuos sólidos urbanos en este país comunitario queda reflejada en la tabla 29, donde destaca claramente la participación de materiales degradables.

## Residuos orgánicos y agricultura

---

En España se producen unas 12 Mt al año de RSU. En producción por habitante al año, la Comunidad Valenciana se sitúa en segundo lugar nacional, detrás de las Baleares y se estima que se producen del orden de 400 kg de basura/hab. año (Generalitat Valenciana, 1991). Para darnos cuenta de la magnitud y haciendo un cálculo estimativo, esto significa que una ciudad como Alicante produce aproximadamente 120 millones de kilos de basura, o Elche entre 80 y 100 millones; es decir, entre los dos núcleos de población más importantes de la provincia se producen 200000 t de basuras.

Es indudable que los métodos tradicionales aplicados a estos materiales, es decir su acumulación en vertederos, no es una solución adecuada para las necesidades de las grandes ciudades uniendo a ello el grave riesgo de contaminación ambiental que conlleva tales instalaciones, sin embargo, el destino de los RSU en España sigue siendo fundamentalmente el vertido controlado e incontrolado. Se está incrementando el uso de la incineración como medio aplicado a estos materiales, pero por evidentes razones económicas y ambientales este método no resulta adecuado. Este implica la destrucción de sustancias tales como el papel, plásticos y materia orgánica en general, que podrían ser perfectamente aprovechables. Unido a ello los costos de mantenimiento de una planta de

este tipo son elevados, y produce contaminación atmosférica por la emisión de humos y cenizas. El destino de los RSU en nuestro país se presenta en la tabla 30.

Tabla 29  
Composición en peso de los RSU en Italia  
(Actis et al., 1981)

<b>Composición</b>	<b>Porcentaje en peso</b>
<i>Papel y otros materiales celulósicos</i>	43
<i>Sustancias orgánicas</i>	21
<i>Metales</i>	9
<i>Vidrio</i>	8
<i>Plásticos</i>	5
<i>Otros no combustibles</i>	14

Tabla 30  
Destino de los RSU en España (1988)

<i>Vertido controlado</i>	44.5 %
<i>Vertido incontrolado</i>	32.7 %
<i>Incineración sin recuperación de energía</i>	3.6 %
<i>Incineración con recuperación de energía</i>	2.7 %
<i>Compostaje</i>	16.4 %

## Residuos orgánicos y agricultura

---

Cabe destacar que hay una fracción importante que se dedica al compostaje. Este método unido a una buena recuperación de otros materiales de los residuos sólidos urbanos es sin duda la mejor alternativa que se puede aplicar a las basuras. Dentro de este apartado, podemos establecer una clasificación de las mismas en función del grado de evolución de su materia orgánica:

- Materia fresca.
- Compost urbano fresco, cuando han transcurrido unos días de fermentación pero no ha finalizado la etapa termofílica.
- Compost urbano semimaduro, una vez transcurrida la etapa termófila pero con maduración incompleta.
- Compost urbano maduro, el que ha completado las fases del compostaje y nos conduce a un material prácticamente humificado.

La composición de todos ellos es variable puesto que los más maduros tienen un grado de humificación superior a los frescos, traducida en una mayor complejidad estructural de sus compuestos orgánicos. En la siguiente tabla mostramos la correspondiente a un RSU fresco y maduro:

Tabla 31  
Composición de RSU fresco (García, 1992) y compostado  
maduro (Hernando, 1987)

Fresco		Maduro	
% agua	45.4	pH	7.4
pH (1:10)	7.9	Inertes (%)	17.4
CE (1:10)		Cond. eléctrica	
(mS/cm)	3.8	(mS/cm)	10
Cenizas (%)	40.7	Cenizas (%)	45.1
materia orgánica (%)	39.6	materia orgánica (%)	37.4
C/N	19.2	C/N	13
N total (%)	1.2	N(%)	1.7
P Total (%)	0.6	Celulosa (%)	21.6
Hidratos de carbono (%)	13.0	Lignina (%)	7.1

Observamos que su composición orgánica se sitúa cerca del 40 %, y que al igual que sucedía con los residuos de almazara de aceite, las sustancias orgánicas presentes pueden activar la vida microbiana de los suelos y en ello radica gran parte de los beneficios culturales derivados de su uso.

En relación con su uso como fertilizante o acondicionador que aporte nutrientes podemos señalar como dato anecdótico, retomando el ejemplo de las basuras urbanas de Alicante y Elche que, su contenido en N y P se puede estimar en 1000 t y 500 t respectivamente; por tanto, la no reincorporación de estos materiales a los suelos supone una pérdida en nu-

## Residuos orgánicos y agricultura

---

trientes considerable. Se ha comprobado que la adición de basuras urbanas compostadas aumenta la materia orgánica de los suelos, la capacidad de intercambio catiónico de los mismos y la disponibilidad de N y P, teniendo una menor repercusión sobre otros elementos como el K y el Na (Murillo et al., 1989).

Experiencias realizadas sobre suelos áridos de Murcia, demuestran que la aplicación de este residuo favorece una recuperación de la vegetación (García, 1992), por tanto en zonas que muestren similares características de aridez podría resultar práctica la adición de estos residuos y la recuperación de las mismas.

Además de estos nutrientes indicados (N y P), cabe destacar como propiedades estrechamente relacionadas con la nutrición vegetal y que pueden ser favorecidas por la presencia de compuestos orgánicos en el compost de basuras urbanas tales como pectinas, polifenoles y otros polímeros orgánicos, la capacidad de quelación del hierro y calcio, estando más disponibles para la planta a la vez que favorecen la no precipitación de compuestos fosfóricos con estos elementos, beneficiándose indirectamente de este hecho este otro nutriente (Actis et al., 1981).

En experiencias realizadas con planta de maíz usando compost de RSU, se ha observado que aplicaciones de 100, 300 y 900 kg/ha junto con fertilización inorgánica complementaria NPK para cubrir las necesidades nutritivas, han conseguido resultados positivos comparando este mismo cultivo con aquel al que no se le ha añadido fertilización orgánica. Businelli et al. (1990) indican como resultados según la cantidad de RSU compostado adicionada los siguientes:

Tabla 32  
Incremento (%) de la producción de maíz debida a RSU

<b>Características</b>	<b>100 kg/ha</b>	<b>300 kg/ha</b>	<b>900 kg/ha</b>
<i>Peso de la planta</i>	50	74	100
<i>Altura</i>	14	14	24
<i>Longitud de la espiga</i>	23	24	26
<i>Rendimiento de grano</i>	41	46	65

Análogamente, en experiencias realizadas adicionando compost de RSU de Valencia (dosis de 18 y 36 t/ha), cuya riqueza en materia orgánica era del 55 % y con una corrección de su relación C/N mediante la adición de fertilizante nitrogenado mineral, se han encontrado rendimientos en cultivo de patatas con incrementos superiores al 25 % respecto del tratamiento control (Climent et al., 1990).



También se ha estudiado el empleo de RSU como parte de sustratos para germinación y desarrollo de plantas, formando bloques de material mezclando al 50 % el residuo urbano y otros materiales como turba, o haciendo mezclas de tres residuos orgánicos (Reneau y Riviere, 1981). Se ha puesto de manifiesto las buenas características físicas de este material para la elaboración de lechos de germinación.

Finalmente, comentaremos el ejemplo de un digestor de basuras (Keeling et al., 1991), en el que se producen las etapas mesófila y termófila de compostaje, manteniendo un 60 % de humedad en silos de 18 m de altura y 10(X) m?, con una temperatura de 70 °C y buena aireación; estos autores indican que se produce la eliminación de olores a los 10-20 días de su funcionamiento, dato importante desde el punto de vista social. El producto final que obtienen mejora su calidad con un secado posterior y adaptación granulométrica.

### ***III.3.2. Lodo de depuradora***

La necesaria depuración de las aguas residuales, motivada por la protección del medio, y muy especialmente en nuestra región, por la necesidad de reutilización de las aguas, hace que se produzcan en los procesos de tratamiento de estas aguas residuales, unos materiales sólidos heterogéneos

cuya composición está determinada por el efluente a tratar y la tecnología empleada en su tratamiento.

La utilización agrícola de estos materiales alcanza valores importantes en países como Reino Unido donde cerca del 40 % del total producido es empleado con ese fin. Con ello han conseguido en los últimos 30 años maximizar los beneficios de los agricultores y ganaderos a la vez que establecen un control sobre posibles problemas tan graves como el vertido incontrolado de estos residuos, la contaminación de las aguas, transmisión de patógenos o contaminación del suelo (Davis, 1989).

Los procesos básicos que se desarrollan en la depuración de las aguas residuales tienen como finalidad la eliminación de sólidos, componentes orgánicos e inorgánicos, y patógenos. El tratamiento más aplicado hoy día es el de tipo biológico, pudiendo intervenir procesos físico-químicos que mejoren la efectividad del tratamiento. En la *figura 6* se muestra un esquema general de tratamiento de las aguas y la producción de fangos; a su vez se indica un proceso de tratamiento de estos residuos sólidos basado fundamentalmente en el secado. La composición química de los lodos en muestra seca presenta las características que se recogen en la tabla siguiente.

## Residuos orgánicos y agricultura

---

Tabla 33  
Composición química de lodos en muestra seca  
(Juárez et al., 1987)

	<b>Valor medio</b>	<b>Rango</b>
pH	-	6-12
Conductividad (mS/cm)	2.9	0.8-11
Materia orgánica (%)	48.5	24-67
Ac. húmicos (%)	1.9	0-4.8
Ac. fúlvicos (%)	2.0	0.1-3.6
C/N	-	5-8
<b>Conc. en ppm:</b>		
As	10	1.1-230
Be	0.6	-
B	40	1-3400
Cd	43.7	15-70
Ca	70000	20000-100000
Zn	2194	101-49000
Cr	785	10-90000
Co	14	11-2490
Cu	909	48-17000
Sn	14	2.6-329
F	260	80-33500
P	26000	5000-140000
Fe	17000	100-150000
Mg	7000	2000-20000
Mn	380	18-7100
Hg	4.6	0.6-56
Mo	8	0.1-214
N	39000	10000-200000

En países como el Reino Unido, anualmente se emplean cerca de 600000 t de lodos en agricultura (Burrowes, 1984).

Desde el punto de vista de su aplicación como fertilizante destaca el contenido en materia orgánica, nitrógeno y fósforo, además de poseer una amplia serie de elementos que pueden resultar beneficiosos para las plantas.

La aplicación de lodos compostados o frescos, afecta a las propiedades físicas mejorando la estructura y estabilidad de los agregados, aumentando la permeabilidad y la retención hídrica. Favorece la capacidad de cambio catiónico y afecta al pH del suelo. A su vez, se introducen sustancias orgánicas que pueden activar la vida microbiana.

De los nutrientes, son N y P los presentes en mayor proporción, aunque dependiendo del origen y tratamiento de las aguas, otros como Ca y Mg y los micronutrientes Fe, Mn, Cu, Zn y Mo pueden estar en cantidades apreciables. El K tal vez es el que podemos encontrar en menores concentraciones de todos ellos.

El origen del efluente va a condicionar mucho las características del lodo de depuradora, tanto desde el punto de vista fertilizante como de la presencia de elementos y sustancias tóxicos. También el tratamiento que reciben las aguas es muy

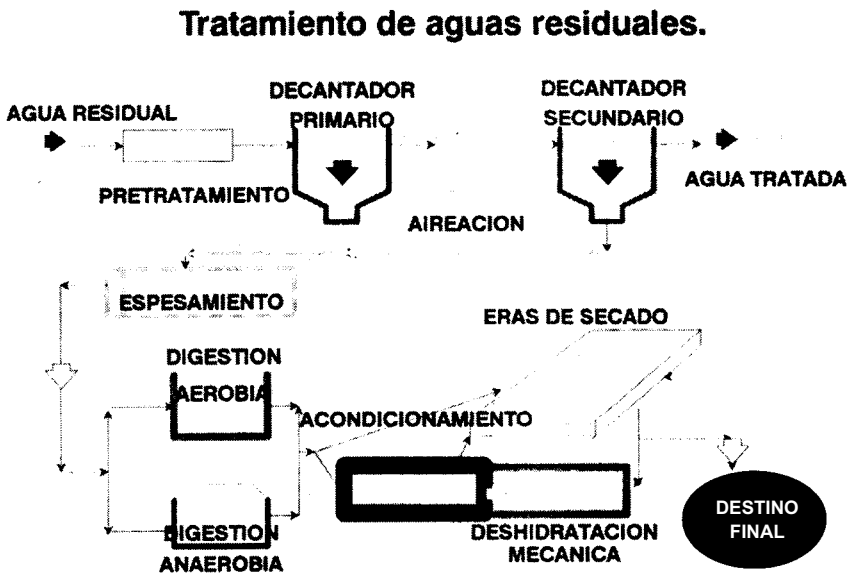
importante porque durante el mismo se puede enriquecer en determinados compuestos, como sales de hierro o aluminio añadidas para favorecer los procesos de floculación.

Un ejemplo de lodo de depuradora obtenido de una planta de tratamiento de aguas residuales de la provincia de Alicante es el que se muestra en la tabla 34, indicándose la solubilidad en extracto acuoso (1:10) de nutrientes importantes para las plantas.

Es indudable que su aplicación agrícola conduce a buenos resultados (Navarro, 1992). Muestra de ello son los parámetros relacionados con el rendimiento que se muestran a continuación (tabla 35) respecto de la producción obtenida con este enmendante en una experiencia con cultivo de tomate, sobre suelo calizo sin tratar y tratado con 0.5 kg de lodo por metro cuadrado. La producción en el suelo tratado con este residuo, sometido antes de su adición a los suelos a un proceso de secado y estabilización de unos cinco meses, fue casi tres veces superior a la normal.

La adición, sobre suelos de pasto, de lodos a los que se les ha aplicado un tratamiento anaerobio ha mostrado efectos muy positivos sobre el crecimiento de las plantas forrajeras. Yamada et al. (1988) mostraron que con adiciones del orden de 20 % de lodo a los suelos, se produjo un efecto estimu-

Figura 6  
Proceso de depuración de aguas residuales y obtención de lodos



lativo del crecimiento y la producción de biomasa, tanto si la época de aplicación era invierno como si esta se hacía en verano.

## Residuos orgánicos y agricultura

Tabla 34  
Composición de lodo de la depuradora de Benidorm  
(Navarro, 1992)

Propiedad	Concentración	Extracto acuoso (mg/kg)
<i>Conductividad eléctrica (mS/cm)</i>	6.35	-
<i>pH (1:5)</i>	5.5	-
<i>Materia orgánica (g/kg)</i>	566	-
<i>Extracto húmico (g/kg)</i>	259	-
<i>N Kjeldahl (g/kg)</i>	29.9	406.1
<i>C/N</i>	11	-
<i>P (g/kg)</i>	17.9	4600
<i>K (g/kg)</i>	2.6	800
<i>Na (g/kg)</i>	0.7	3 00
<i>Ca (g/kg)</i>	49.4	5900
<i>Mg (g/kg)</i>	5.6	1200
<i>Fe (g/kg)</i>	9.7	56.3
<i>Mn (mg/kg)</i>	115.3	2.5
<i>Cu (mg/kg)</i>	272.3	4.4
<i>Zn (mg/kg)</i>	905.4	11.7
<i>B (mg/kg)</i>	79.6	18.3

Tabla 35  
Rendimientos obtenidos en tomate con y sin aplicación de lodo

Tratamiento	número de frutos/ planta	Rendimiento kg/ planta
<i>Sin tratar</i>	10	1.3
<i>Tratado</i>	23	3.5

## IV. Riesgos derivados del uso de los residuos

**C**uando se habla del tema de riesgos para el medio ambiente, queremos situarnos en la concreción limitada en nuestro sistema, subsuelo, suelo y plantas, así como los efectos que pueden llegar al hombre. El suelo es un componente de los ecosistemas relativamente frágil, de difícil y larga recuperación así como de extensión limitada. Por ello, a pesar de presentar una gran capacidad depuradora (que parece estar en contraposición con lo expresado anteriormente), una vez degradado resulta muy complejo establecer su reconstitución. Es un recurso no renovable a corto plazo y por ello cualquier adición de residuos (al igual que otro tipo de acciones sobre él) debe ser bien estudiada antes de realizarla.

El tema de contaminación es amplio y extenso. Sin embargo, trataremos de presentar y sintetizar algunas situaciones más comunes de contaminación, al mismo tiempo que quere-



## Residuos orgánicos y agricultura

---

mos indicar los rasgos fundamentales de cada tipo de agente contaminante y el material residual donde preferiblemente pueden aparecer.

Los agentes que inducen a mayores problemas de contaminación son generalmente:

- La presencia de metales pesados.
- La presencia de sustancias tóxicas.
- La existencia de microorganismos patógenos.
- El exceso de nutrientes o la deficiencia o demanda de los mismos.
- Presencia de materiales no biodegradables.
- Salinidad.
- Otros riesgos.

Para evaluar todos estos grupos capaces de modificar negativamente el medio debemos recurrir al uso de una serie de criterios, algunos establecidos y recogidos en la legislación y otros que surgen de la investigación que se realiza en este campo, que nos relacionan básicamente a las sustancias u organismos que están íntimamente relacionados con la contaminación y su nivel de riesgo. Podemos asociarlos con las características que se recogen en la tabla 36.

Como orientación sobre este tema indicaremos los factores a los que mayor atención debe prestarse en cada uno de

los residuos comentados (tabla 37). Es importante mencionar que aquellos residuos derivados de procesos de transformación de productos agrícolas y ganaderos, así como los residuos urbanos (basuras y lodos), son los materiales a los que en general, se debe mostrar una mayor atención por la posible presencia de agentes contaminantes y componentes no biodegradables.

Tabla 36  
Criterios de riesgo de agentes contaminantes de origen químico (Felipó, 1992)

<b>Criterio</b>	<b>Nivel de riesgo</b>		
	<b>Alto</b>	<b>Medio</b>	<b>Bajo</b>
1. Toxicidad (LD-50 ppm)	< 200	200-1000	> 1000
2. Persistencia en el suelo (meses)	> 12	6-12	< 6
3. Carga crítica en suelos (mg Kg <sup>-1</sup> )	< 0.2	0.2-0.5	> 0.5
4. Movilidad	muy móvil	móvil	inmóvil
5. Persistencia en plantas (meses)	> 3	1-3	< 1
6. Influencia en la calidad alimenticia	alta	media	ninguna

## Residuos orgánicos y agricultura

---

Tabla 37  
Riesgos que debemos cuestionar relacionados con los  
residuos orgánicos

	<b>Metales pesados</b>	<b>Sus-tancias tóxicas</b>	<b>Pató-genos</b>	<b>Exc/dem. de nutrientes</b>	<b>Materias no biodegrad.</b>
Residuos ganaderos			¿	¿	
Abonado verde				¿	
Residuos de cosechas		¿		¿	
Agroindustriales	¿	¿	¿	¿	¿
Basuras urbanas	¿	¿	¿	¿	¿
Lodos de depuradora	¿	¿	¿	¿	¿

De un modo general, también podemos realizar una clasificación de los riesgos que un determinado material residual puede ejercer si se aplica sobre un suelo concreto. En este sentido, se pueden diseñar tablas que nos señalen el peligro potencial más relevante que un residuo, como el caso de los lodos de depuradoras, puede generar sobre una clase de suelo. Una de estas la podemos observar en la tabla dada por Gumuzzio (1993).

**Tabla 38**  
**Problemas potenciales derivados del uso de lodos sobre**  
**suelos (claves descriptivas de la FAO)**

<b>Unidad</b>	<b>símbolo</b>	<b>Prop. destacada</b>	<b>Problema</b>
Fluvisoles	FL	Aluviales	Contaminación de acuíferos
Gleysoles	GL	Sat. agua. Medio reductor	Medio reductor, mal drenaje
Regosoles	RG	Mat. no consolidados	Erosión
Leptosoles	LP	Escasa prof. efectiva	Profundidad efectiva
Arenosoles	AR	Mat. arenoso	Alta infiltración
Andisoles	AN	Mat. volcánico	
Vertisoles	VR	Mat. arcilloso	Muy arcillosos
Cambisoles	B	S. estructurados	
Calcisoles	CL	Acumulación carbonatos	Erosión
Gypsisoles	GY	Acumulación yesos	Erosión, drenaje
Solonetz	SN	Suelos sódicos	pH muy elevado
Solontchak	SO	Suelos salinos	Alto cont. en sales solubles
Acrisoles	AC	Suelos muy ácidos	pH muy bajo
Alisoles	AL	Suelos con alto contenido de A1	Saturación muy baja
Histosoles	HS	Suelos orgánicos	Drenaje y descomp. lenta de m.o.
Greyzems	GR	S. cuarzosos	
Livisoles	LV	S. acumulación de arcilla	
Planosoles	PL	S. con sat. agua temporal	Drenaje deficiente
Podsolumvisoles	PD	Procesos de eluviación	
Podsoles	PZ	Procesos de queluviación	Sust. org. agresivas y pH ac.

## Residuos orgánicos y agricultura

---

Lixisoles	LX	S. acumulación de arcillas	Saturación baja
Antrosoles	AC	S. artificiales	Acumulación de residuos

De los datos de la anterior tabla podemos apreciar que la problemática generada por la aplicación de un residuo orgánico puede ser muy diferente en función de un factor tan importante como es el tipo de suelo. Por ello, resulta necesario realizar estudios del impacto de todas y cada una de las sustancias que pensemos aplicar sobre los suelos, única forma de predecir adecuadamente los efectos ambientales que dicha adición origina.

### IV.1. Metales pesados

Los metales pesados al igual que otros elementos que en muchas ocasiones, aun no siendo metales pesados se incluyen en este grupo como el As, son elementos tóxicos y peligrosos por su incidencia en procesos bioquímicamente activos en los organismos vivos. Por ello es importante el estudio de todos ellos. Aunque centraremos este apartado en los metales que en mayor concentración o potencial contaminante podemos encontrar en los residuos orgánicos aquí comentados, no podemos dejar de indicar un aspecto muy importante de los elementos traza que está relacionado con la calidad ambiental como es la movilidad de los mismos en los suelos donde se encuentran.

Tabla 39  
Movilidad de elementos traza activos bioquímicamente  
(Felipó, 1992)

<b>Asociaciones geoquímicas en suelos</b>	<b>Prácticamente inmóviles</b>	<b>Moderadamente móviles</b>	<b>Fácilmente móviles</b>
<i>Acido (pH &lt; 5.5)</i>	Mo <sup>4+</sup>	Pb <sup>2+</sup> , Cr <sup>3-6+</sup> , Ni <sup>2-3+</sup> , V <sup>5+</sup> As <sup>3+</sup> , Se <sup>3+</sup> , Co <sup>2-3+</sup>	Sr, Ba, Cu, Zn, Cd, Hg, S <sup>6+</sup>
<i>Neutro o levemente ácido (pH: 5.5-7.5)</i>	Pb	Sr, Ba, Cu, Cd, Cr <sup>3-6+</sup> , Ni <sup>2-3+</sup> , Co <sup>2-3+</sup> , Mo <sup>4+</sup>	Zn, V <sup>5+</sup> , As <sup>5+</sup> , S <sup>6+</sup>
<i>Alcalino o fuertemente alcalino (pH: 7.5-9.5)</i>	Pb, Ba, Co	Zn, Ag, Sr, Cu, Cd	Mo <sup>6+</sup> , V <sup>5+</sup> , As <sup>5+</sup> , S <sup>6+</sup>

La presencia de metales pesados en un compost de RSU la podemos apreciar en la siguiente tabla, que nos muestra la baja solubilidad de agentes perjudiciales como Cd, Cr, Ni y Pb; además, experiencias realizadas con maíz y aplicaciones de 900 kg/ha de este residuo, han puesto de manifiesto que la parte aérea de la planta toma de cualquiera de los metales antes mencionados cantidades que se encuentran por debajo del límite de detección del método empleado (0.1 ppm) por Businelli et al. (1990).

## Residuos orgánicos y agricultura

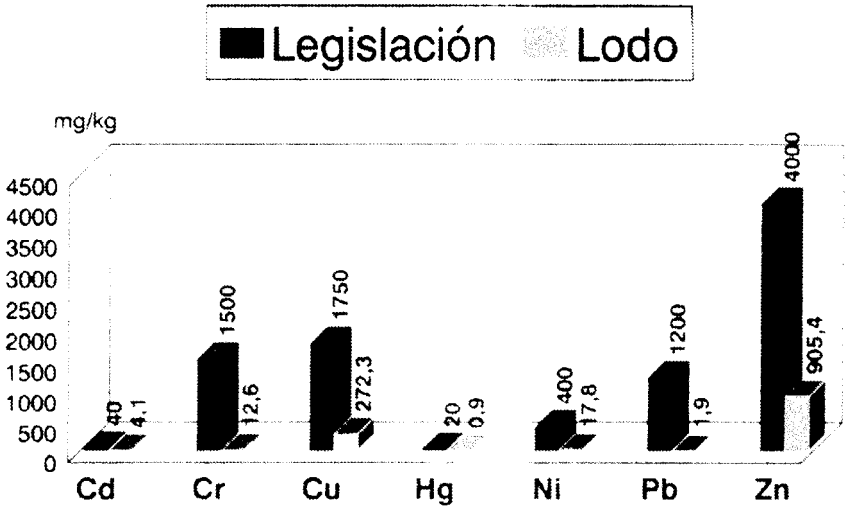
---

Tabla 40  
Contenido (ppm) en metales pesados de RSU compostado  
(Businelli et al., 1990)

<b>Elemento</b>	<b>Total</b>	<b>Asimilable</b>	<b>Hidrosoluble</b>
<i>Fe</i>	12367	1652	115
<i>Mn</i>	640	480	37
<i>Cu</i>	484	175	35
<i>Zn</i>	560	349	22
<i>Cd</i>	5	2	<0.02
<i>Cr</i>	75	9	4
<i>Ni</i>	38	11	6
<i>Pb</i>	714	682	11

La movilidad de metales pesados derivada del uso de este residuo, tanto de los aportados como de los presentes en el suelo, ha sido también objeto de estudio de muchos investigadores. Podemos indicar que ésta dependerá de las condiciones ambientales, especialmente de las características del suelo, humedad y temperatura. Businelli et al. (1991), indicaron que esta movilidad a lo largo del perfil del suelo era más acentuada en los períodos de lluvia, y con mayor incidencia en Zn, Cu, Cr y Mn, resultando extremadamente poco móviles Ni y Pb. Otras experiencias desarrolladas durante seis años en Sevilla, pusieron de manifiesto que en general, se aumentaba de modo significativo la solubilidad de metales pesados exceptuando el Co (Murillo et al., 1989).

Figura 7  
Metales pesados en lodo y cantidades recogidas en la legislación



Los lodos de depuradora, son otro material residual en el que los metales pesados centran el interés de su poder contaminante. Este no se debe solamente a la presencia de agentes que pueden solubilizar los metales propios del suelo, sino que en la composición del lodo de depuradora pueden encontrarse en cantidades que resulten perjudiciales para el sistema suelo-planta. Debemos además añadir el riesgo potencial que supone la presencia de metales como el Cd en las partes comestibles de las plantas cultivadas.



## Residuos orgánicos y agricultura

---

Podemos encontrar lodos de muy diversa composición en metales pesados, desde los que poseen concentraciones bajas hasta los que tienen cantidades relativamente altas. Este hecho se debe principalmente a factores propios de las aguas residuales tratadas en las plantas depuradoras; los vertidos que se realizan y el origen de los mismos influye en la mayor o menor presencia de metales pesados en los lodos. Así mismo, determinados tratamientos desarrollados en plantas de depuración de aguas, como los citados con anterioridad, pueden conducir a un incremento de alguno o varios de los metales. En *la figura 7*, se presenta el análisis de agentes contaminantes del lodo de depuradora comentado anteriormente, procedente de Benidorm, ciudad cuyo aporte de metales pesados a las aguas residuales es bajo. Establecemos una comparación entre la legislación española del año 1990 (BOE nº 262), que es reflejo de la establecida en la CEE, y los niveles de concentración obtenidos, siendo extremadamente bajos comparados con los niveles máximos permitidos tal y como también podemos apreciar en *la figura 7*. Este hecho nos muestra sin duda que sus características permiten la aplicación de este material residual como fertilizante.

Un caso negativo sería el de lodos procedentes de estaciones depuradoras cuyas aguas recogen vertidos de zonas o polígonos industriales (con presencia de industrias de laca-

dos, cromados, niquelados, metalurgia en general, etc.); en estos casos los lodos suelen contener concentraciones de uno o varios metales pesados en mayores concentraciones, que restringen o imposibilitan su uso agrícola.

## **IV.2. Sustancias tóxicas**

Cuando hablamos de sustancias tóxicas pensamos mayoritariamente en compuestos orgánicos tales como plaguicidas (organoclorados y organofosforados principalmente), y otros con mayor o menor persistencia a la degradación biológica como agentes tensioactivos y derivados fenólicos. Son numerosos los compuestos a los que debemos prestar atención, pero podemos reseñar como los más importantes los agrupados en la siguiente lista (Juárez et al., 1987):

Derivados halogenados de uno o dos átomos de carbono.

Parafinas doradas.

Agentes tensioactivos.

Nitrosamines.

Esteres ftálicos.

Compuestos aromáticos halogenados.

Compuestos aromáticos halogenados con oxígeno.

Amines aromáticas.

Hidrocarburos poliaromáticos.

Plaguicidas y sus derivados.

## Residuos orgánicos y agricultura

---

Estas moléculas orgánicas están sujetas en los suelos a una serie de procesos que modifican su presencia en los mismos y originan el movimiento de estos compuestos a través del medio:

- Absorción y retención por las raíces o residuos de plantas.
- Movimiento con el agua mediante escorrentía superficial.
- Absorción o desorción a la materia orgánica del suelo.
- Difusión como vapor pasando a la fase gaseosa.
- Transporte hidrodinámico en sentido vertical.

Los parámetros que debemos estudiar en los mismos, además de las causas que originan que sean compuestos tóxicos, bien directamente sobre el hombre o bien que influyan negativamente en nuestros suelos, son los siguientes:

- Solubilidad en agua, que indica la cantidad de compuesto químico que puede ser disuelto en una cantidad conocida de agua (expresado normalmente en mg por litro).
- Factores de bioconcentración, definidos como la concentración de sustancia interna media en un ser vivo dividida por la concentración externa media de esta misma sustancia (BFC).
- Tiempo de vida media, que nos indica el tiempo transcurrido para que un determinado contaminante haya sido transfor-

mado y degradado en el medio en que se encuentra reduciendo su concentración a la mitad.

Tabla 41  
Sustancias orgánicas en lodo de depuradora (Wild y Jones, 1992)

Sustancia orgánica	Rango	Concentración (mg/kg)	Tiempo de vida media (días)
<b>Aromáticos polinuc.:</b>			
Naftaleno	0-5.8	1	< 125
Fenantreno	2.1-8.3	4.3	25 días-5.7 años
Fluoranteno	2.2-28.5	9.1	44-322
Pireno	1.2-36.8	4.9	229
<b>Esteres ftálicos:</b>			
Butilbencilftalato	0.52-210	15	< 7 años
Di-n-butilftalato	0.2-430	10	10-50
<b>Surfactantes:</b>			
LAS	800-14300	10700	< 3.6-22
<b>Bifenilos policlorados:</b>			
Aroclor 1016	0.2-75	1.2	4 años
Aroclor 1260	0.02-0.46	0.15	730 días-4 años
<b>Arom. monocíclicos:</b>			
Benceno	0.053-11.3	0.32	2-1.2
Tolueno	0-0-137	0-033	2-1
Xileno	0-0-164	0.025	< 10

## Residuos orgánicos y agricultura

<b>Clorobencenos:</b>			
Clorobenceno	2.06-846	10.2	75
Diclorobenceno	0.0402-633	2.02	>50
Hexaclorobenceno	0.000188-26.2	0.018	1530
<b>Halogenuros alifáticos de cadena corta:</b>			
Cloroformo	< 0.1-2.2	1	> 7
Tetracloroetano	< 0.1-5.0	< 0.1	10-50
Cloruro de vinilo	3-110	5.1	< 1
<b>Fenoles:</b>			
Clorofenol	0.0271-93.3	3.28	< 1-50
Fenol	0.0166-288	2	2-5
<b>Plaguicidas:</b>			
Aldrin	0.05-0.64	0.08	1231
Dieldrin	0.01-53	0.13	868-1237
Lindano	< 0.01-70	0.18	266
DDT	0.06-0.14	0.09	1657-3837
2,4-D	0.00554-1.34	0.122	< 15

Con estos valores, podemos relacionar para cada situación el compuesto orgánico con su potencial toxicidad sobre el medio al que se adiciona. Estos agentes tóxicos podemos encontrarlos en muchos residuos en mayor o menor proporción, además de los que se añaden por las prácticas culturales como los plaguicidas. Un material donde podemos hallar una amplia variedad de estos son los lodos de depuradora. En la anterior tabla podemos observar el contenido de estos

agentes en lodo de depuradora, su rango de concentración, la media y el tiempo de vida media de estos compuestos.

Las posibilidades de reacción que tienen estos compuestos, y por lo tanto de degradación son fundamentalmente tres (Weber y Miller, 1989):

- Degradación biológica (biodegradación), que puede durar mucho tiempo y a muy largo plazo estas sustancias pueden descomponerse y llegar a dar constituyentes inorgánicos.
- Degradación química en suelos donde hay ausencia de actividad biológica, dándose lugar algunos procesos hidrolíticos y oxidativos.
- Degradación fotoquímica que requiere energía radiante del sol; se lleva a cabo en presencia de microorganismos o en ausencia de estos.

Se ha constatado que, en condiciones de anaerobiosis, puede producirse la degradación de plaguicidas halogenados en un suelo mediante microorganismos anaerobios. Existen muchos casos recogidos sobre la biodegradación de estos compuestos en ausencia de aireación, reflejadas muchas de ellas por Kuhn y Suflita (1989).

Uno de los surfactantes que también ha sido objeto de estudio es el nonilfenol. El estudio de su persistencia y biotoxicidad se ha realizado en suelo y con test de biotoxicidad usando

## Residuos orgánicos y agricultura

---

*Daphnia magna* (Trocmé et al., 1988). Estos estudios indican que son muchos los factores que en un suelo influyen sobre la persistencia y degradabilidad de esta sustancia orgánica, aunque autores señalan tiempos de vida media que oscilan entre 10 y 60 días (Wild y Jones, 1992). Pero destaca su biotoxicidad, que ha demostrado ser mayor que la del Cd (metal pesado considerado como muy peligroso), siendo para la sustancia orgánica  $EC_{50} = 0.18$  mg/L mientras que para el metal es de  $EC_{50} = 0.35$  mg/L. Este ejemplo nos ilustra sobre la importancia de los agentes químicos sobre el medio.

Además de las posibilidades degradativas comentadas, está la posibilidad de fijación en los suelos, con lo cual puede desaparecer del medio y de este modo paliarse los efectos

Tabla 42  
Clasificación del grado de sorción de los plaguicidas al suelo (Felipó, 1992)

Grado	Propiedades del suelo			
	Humus (%)	pH	CEC	Arcilla (%)
<i>Extremadamente alto</i>	> 8	5.0-6.0	> 60	45-40
<i>Alto</i>	6-8	6.0-6.5	40-60	40-30
<i>Medio</i>	4-6	6.5-7.0	20-40	30-20
<i>Bajo</i>	2-4	7.0-7.5	10-20	20-15
<i>Extramadamente bajo</i>	1-2	>7.5	<10	15-10

negativos que pudieran surgir de su presencia en los suelos. En este sentido, podemos mostrar el grado de «sorción» (entendiendo este como la probabilidad de fijarse a la materia orgánica o las arcillas). Este paso puede ser el desencadenante de procesos degradativos de estos materiales.

En relación con el riesgo de contaminación de aguas subterráneas, debemos destacar los compuestos orgánicos no polares, que por acción del lavado de los suelos y al no poder fijarse por carecer de cargas o polaridad, pueden ser desplazados hacia el subsuelo y llegar a estar presentes en las aguas con el consiguiente riesgo sobre el medio ambiente (Steenhuis y Naylor, 1987). Tal es el caso de algunos plaguicidas como atrazina y aldicarb, o compuestos orgánicos presentes en los lodos y basuras urbanas como tolueno, cloroformo o compuestos orgánicos refractarios (como PCB).

No sólo existen agentes contaminantes derivados de la presencia de los compuestos mencionados anteriormente, sino que también con residuos de origen animal o vegetal podemos encontrar situaciones de toxicidad por presencia de sustancias nocivas para las plantas o la vida del suelo. Por ejemplo, la adición de lisieres porcinos a suelos, si no están bien



## Residuos orgánicos y agricultura

---

compostados, pueden ocasionar acumulaciones temporales de nitritos que resultan fitotóxicos (Esteban et al., 1980).

Se pueden producir riesgos debidos a la incompatibilidad de los residuos adicionados con la especie que se piensa cultivar posteriormente. Este es el caso de los efectos negativos de los residuos de alfalfa sobre la germinación y crecimiento de plantas de pepino (Ells y McSay, 1991); se ha puesto de manifiesto que los residuos de raíces de alfalfa resultan perjudiciales e inhiben el desarrollo de semillas de pepino, con el consiguiente perjuicio económico que ello puede conllevar.

También, la aplicación de residuos orgánicos en condiciones anaerobias del suelo, puede dar lugar a la formación de ácidos alifáticos que resultan perjudiciales para la germinación y desarrollo de plantas (Rule et al., 1991).

Para finalizar, debemos considerar los problemas que aparecen en procesos de compostaje por la existencia de sustancias orgánicas tóxicas para los microorganismos encargados de éste. Tal es el caso de las sustancias fenólicas presentes en alpechines, que son capaces de dificultar la digestión anaerobia de este residuo (Borja et al., 1990).

### **IV.3. Demanda o exceso de nutrientes**

Los residuos vegetales, cuando son adicionados a los suelos pueden precisar de aporte suplementario de N para que se desarrollen adecuadamente los procesos de mineralización del material (Cegarra et al., 1983). Esto sucede como consecuencia de la elevada relación C/N que posee el residuo. Por ello, un riesgo que se puede plantear es la demanda inicial de nutrientes para activar los procesos biológicos que actúan sobre los restos de cosechas adicionados. Es importante no realizar la siembra durante el período de mineralización más acentuado, con el fin de evitar que se produzcan necesidades de nitrógeno para la planta debido a la competencia estrecha por éste entre los microorganismos y el vegetal cultivado (Hernández et al., 1983).

En las etapas iniciales de humificación del material, se produce un efecto depresivo de la producción, manteniendo la relación C/N del suelo en valores elevados hasta que se produce la mineralización de parte del material residual añadido. Este efecto negativo se puede corregir y prevenir si se efectúa un proceso de compostaje del material residual antes de su adición a los suelos al mismo tiempo que se le complementa nutricionalmente con nitrógeno, siempre que nuestro

suelo no tenga la suficiente cantidad de este elemento para producir la mineralización y humificación del residuo.

Otro material que presenta una relación C/N inadecuada es la piel de almendra, pudiendo precisar aportes suplementarios de nitrógeno. Sin embargo, esta relación así como la relación N/P puede ser adecuada para su transformación en compost o su inclusión en procesos de compostaje con otros residuos que complementen sus características (Gómez et al., 1987).

El caso contrario es el que puede presentar la gallinaza. Este material puede presentar una relación CIN inferior a 10, que es la deseada para un coneccto proceso degradativo microbiano, con lo cual se precisa la adición de materiales ricos en C para aumentarla. Tal es el caso de la incorporación de corteza de pino a la gallinaza fresca indicado por Echaendia y Menoyo (1990).

Otra demanda de elementos que puede derivarse del vertido o uso inadecuado de estos residuos es la deficiencia de oxígeno. Materiales frescos y con alto contenido orgánico, si son enterrados a mayor profundidad que la meramente superficial, tienen dificultades para mineralizarse formando compuestos tóxicos por falta de oxigenación. Residuos frescos como el alpechín o la pulpa de café, vertidos a cauces de ríos y en zonas de aguas embalsadas, pueden provocar

situaciones de deficiencia de oxígeno que se traduzcan en procesos de eutrofización y deterioro de la vida.

#### **IV.4. Salinidad**

Aunque podría estar englobado en el apartado correspondiente al exceso o demanda de nutrientes por lo que representa de exceso de alguna sal concreta en la que se encuentre o no algún elemento nutritivo, queremos destacar este apartado porque en ocasiones esta salinidad está marcada por exceso de NaCl o por un conjunto de sales donde no predomina alguna especialmente. Materiales tales como los residuos urbanos compostados, pueden en ocasiones presentar inconvenientes por la presencia de sales que en ocasiones no los hacen aptos para determinadas prácticas culturales (Reneaume y Riviere, 1981).

Este mismo hecho puede suceder en el caso de los lodos de depuradora o los residuos como la piel de almendra, que pudieran solubilizar algún elemento o conjunto de sales en exceso (Navarro, 1992), siendo negativo para el desarrollo de la planta.

Un material al que se debe indicar como favorecedor del aumento del contenido salino son las algas marinas. El uso de éstas sobre suelos que presenten problemas de salinidad

unido al aporte que puede realizar este residuo es un dato que se debe de evaluar antes de realizar un aporte al suelo. En estos casos suele ser el exceso de Na y Cl los que marcan los efectos salinos de este residuo.

### IV.5. Patógenos

La existencia de patógenos que puedan afectar al hombre es uno de los problemas más importantes que pueden darse en algunos materiales residuales frescos. Por ello resulta importante realizar procesos de acondicionamiento que permitan controlar y eliminar este riesgo.

Uno de los materiales orgánicos donde podemos encontrar una presencia importante de microorganismos es el lodo de depuradora. La siguiente tabla muestra algunos de ellos encontrados en análisis efectuados a lodos de depuradora y aguas residuales de Canadá.

Todos estos son capaces de generar enfermedades como hepatitis (virus Hepatitis), gastroenteritis (*Escherichia coli*), leptospirosis (*Leptospira*), tuberculosis (*Mycobacterium*), meningitis (Enterovirus), ascaridiasis (*Ascaris lumbricoides*), etc. Para que el uso de lodos de depuradora o aguas residuales no derive en riesgo de contagio de enfermedades se

**Tabla 43**  
**Microorganismos presentes en aguas residuales y lodos de depuradora**

<b>Bacterias</b>	<b>Virus</b>	<b>Protozoos</b>	<b>Otros</b>
Salmonella	Poliovirus	Balantidium coli	Ascaris lumbricoides
Shigella	Coxsackievirus	Entamoeba histolytica	Ancylostoma duodenale
Escherichia colí	Hepatitis A	Giardia lamblia	Necator americanus
Clostridium	Rotavirus		Ancylostoma
Leptospira	Reovirus		Toxocara
Mycobacterium	Parvovirus		Enterobius vermicularis
Pseudomonas			Trichuris trichiura
Yersinia enterocolitica			Taenia saginata
			Taenia solium
			Echinococcus

deben aplicar procesos de desinfección. Para las aguas una cloración u ozonización puede resultar eficaz.

Para los residuos sólidos, diversos procesos pueden ser utilizados para proceder a la eliminación de microorganismos patógenos como los antes mencionados. En la siguiente tabla indicamos la efectividad de algunos de estos procedimientos que se aplican a los fangos procedentes de las depuradoras

## Residuos orgánicos y agricultura

---

de aguas residuales (Environmental Protection Service de Canadá, 1984).

Tabla 44  
Desactivación de patógenos mediante procesos de estabilización de lodos

<b>Proceso</b>	<b>Desinfección</b>	<b>Putrefacción</b>	<b>Control de olores</b>
<i>Digestión anaeróbica</i>	Regular	Buena	Bueno
<i>Digestión aeróbica</i>	Regular	Buena	Bueno
<i>Encalado</i>	Buena	Regular	Bueno
<i>Pasteurización (70°C)</i>	Excelente	Pobre	Pobre
<i>Radiaciones</i>	Buena	Pobre	Pobre
<i>Tratamiento térmico (195°C)</i>	Excelente	Pobre	Pobre
<i>Compostaje (60°C)</i>	Buena	Buena	Buena
<i>Lagunaje a largo plazo</i>	Buena	-	-

Es importante destacar que el proceso de compostaje es el que reúne mejores condiciones en general para el tratamiento de este residuo produciendo eliminación de patógenos y olores, a la vez que una buena evolución de la materia orgánica.

Como indicación de lo que debe constituir un lodo sanitariamente permisible, recogemos los criterios en el marco de la legislación alemana:

- El número de microorganismos propios del material residual debe ser reducido al menos cuatro potencias de diez.
- La presencia de ascaris no debe representar riesgo de infección.

Pero con la actual tecnología, tanto de digestiones aerobias como de compostaje se puede llegar a garantizar unas desinfecciones que nos lleven a los siguientes márgenes (Strauch, 1987):

- No presencia de Salmonellas por gramo de materia tratada.
- Concentración de menos de 1000 enterobacterial por gramo de material.

La aplicación de lodos frescos como materiales enmendantes en suelos ha sido estudiada desde el punto de vista de la persistencia de microorganismos patógenos en el medio, su efecto sobre el subsuelo así como la persistencia de contaminación en partes comestibles de la planta. Se ha encontrado una correlación entre la cantidad de residuo fresco aplicado y la presencia de bacterias indicadores (*Streptococcus faecalis* y coliformes totales) en hojas de maíz y tomate. En cambio, los resultados para el suelo sugieren que la mayor incidencia y relación se establece en los primeros 15 centímetros superficiales (Ibiebele e Inyang, 1986).



### IV.6. Otros Riesgos

Este otro conjunto de riesgos no recogidos en los anteriores apartados pueden deberse a muchas causas, como la técnica con la que se aplican estas sustancias. Por ejemplo, la introducción de maquinaria pesada en los suelos implica en muchas ocasiones la compactación de los mismos; ésta impide la buena aireación al igual que dificulta el desarrollo de los cultivos porque las raíces tienen dificultades para su penetración.

La existencia de semillas de vegetales (malas hierbas) no deseables puede ser otro riesgo añadido en el uso de los residuos de plantas (Rule et al., 1991). Podemos encontrarnos materiales orgánicos que aplicados sobre nuestros suelos puedan introducir especies de plantas no deseables.

También debemos indicar que la mala aplicación puede llevar a que se produzcan pérdidas por lixiviación de nutrientes o de sustancias tóxicas que ocasionen problemas de contaminación de acuíferos, además de las pérdidas para la planta de elementos básicos en su nutrición. Glendining y Powlson (1991) indican que una aplicación incorrecta en otoño de residuos orgánicos puede derivar en procesos de mineralización rápidos con producción de lavado de nitratos y pérdida de los mismos para la nutrición del cultivo.

## V. Conclusiones

**C**omo conclusiones de carácter general podemos reseñar que una gran mayoría de residuos orgánicos son aprovechables, tal y como son obtenidos o tras un sencillo proceso de estabilización y acondicionamiento, atendiendo a su potencial valor energético y nutricional.

Así, parte de ellos, de entre los que destacan los residuos leñosos y los que presentan un alto contenido en azúcares, pueden ser utilizados para la obtención de energía (incineración) y materias combustibles (alcoholes).

Otra parte muy importante de subproductos, como las basuras urbanas y los lodos de depuradora, podrían ser empleados en la obtención de materia combustible (biogás) y material compostado para su aplicación a los suelos.

Finalmente, por su producción *in situ* unido a su bajo rendimiento para otros fines, hay residuos que pueden ser aplicados directamente sobre el suelo agrícola o tras un proceso de

## Residuos orgánicos y agricultura

---

acondicionamiento previo simple, tales como los residuos de cosechas y estiércoles de ganado.

La gran diversidad de residuos orgánicos existentes, en cuanto a su procedencia y características, aconseja la adecuada valoración de los mismos con el fin de obtener o lograr su idóneo aprovechamiento. En la actualidad se han realizado diversos trabajos a cerca de la utilización, tanto agrícola como industrial, de numerosos subproductos; sin embargo, la heterogeneidad de los mismos y sus amplias posibilidades de empleo justifican la realización de nuevos estudios para optimizar su aprovechamiento, evitando así, en muchos casos, su mera acumulación sin ningún destino práctico. Esta labor se debe realizar inevitablemente para alcanzar un desarrollo sostenible y equilibrado con el medio ambiente. Nuestra mentalidad debe de cambiar, rechazando el concepto de residuo y aplicando el de *recurso* para todo este tipo de materiales.

## VI. Bibliografía

- Abad, M. 1991. Los substratos hortícolas: características y Manejo. Actas II Congreso Nacional de Fertinigación, 1-15. Ed. FIAPA, Almería.
- Actis, G.; Luzzatí, A.; Marchesni, A. y Sircusa, S. 1981. Compost derived from bioconversion of urban wastes contents. *Studies on Environmental Science* 9, 163-191.
- Alcántara, A.F. 1993. Residuos agrícolas, forestales, ganaderos e industriales. Ed. Instituto de Investigaciones Ecológicas. Málaga.
- Aloísi, R. 1992. Tratamiento y aprovechamiento agrícola de residuos agroindustriales. Seminario «Contaminación, protección y saneamiento de suelos». UIMP, Valencia.
- Altarriba, A.; Gimeno, E.; Jiménez de Rídder, P.; Soliva, M. y Alvarez, X. 1990. Utilización de residuos como substratos alternativos en agricultura. Actas 1<sup>er</sup> Congreso Internacional de Química de la AN-QUE 2, 457-465. Tenerife.
- Anderson, J. L. 1988. Movement of nitrogen fertilizer to the groundwater. Proc. of the International Interactive Workshop on Soil Re-

## Residuos orgánicos y agricultura

---

sources: their Inventory, Analysis and Interpretation for Use in the 1990's, 194-201. Minneapolis (Estados Unidos de Norteamérica).

Arens, P.L. 1983. La importancia actual del reciclaje de los residuos orgánicos para la agricultura. En «El reciclaje de materias orgánicas en la agricultura de América latina», 1-2. Ed. FAO, Roma (Italia).

Arens, P.L. 1983. Algunos datos sobre producción y utilización del biogás. En «El reciclaje de materias orgánicas en la agricultura de América latina», 118-120. Ed. FAO, Roma (Italia).

Balks, M.R. y Allbrook, R.F. 1991. Land disposal of meat processing plant effluent. En «Advances in soil organic matter research: the impact on agriculture and the environment», 375-379. Ed. The Royal Society of Chemistry, Cambridge (Reino Unido).

Barbarika, A.; Colacicco, D. y Bellows, W.J. 1980. The value and use of organic wastes. Maryland Agri-economic, 5 pag. Ed. cooperative Extension Service of the University of Maryland, Maryland (Estados Unidos de Norteamérica).

Bernal, M.P. y Roig, A. 1993. Nitrogen transformations in calcareous soils amended with pig slurry under aerobic incubation. J. Agric. Sci. 120, 89-97.

Bhardjaw, K.K.R. y Novák, B. 1978. Effect of moisture and nitrogen levels on the decomposition of wheat straw in soil. Zbl. Bakt. II. Abt., Bd. 133, 477-482.

Borja, R.; Martín, A.; Fiestas, J.A. y Maestro, R. 1990. Efecto de inhibición en el proceso de biometanización del alpechín en biorreac-

tores con microorganismos inmovilizados en diversos tipos de soportes. *Grasas y Aceites* 41 (6), 397-403.

Borja, R.; Martín, A.; Maestro, R.; Alba, J. y Fiestas, J.A. 1991. Cinética del proceso de depuración anaerobia de alpechín previamente biotratado vía aerobio. *Grasas y Aceites* 42 (3), 194-201.

Borja, R.; Martín, A.; Durán, M. y Maestro, R. 1992. Estudio cinético comparativo del proceso de digestión anaerobia del alpechín en los intervalos mesofílico y termofílico de temperatura. *Grasas y Aceites* 43 (6), 341-346.

Borja, R.; Martín, A.; Maestro, R.; Luque, M. y Durán, M.M. 1993. Enhancement of the anaerobic digestion of wine distillery wastewater by the removal of phenolic inhibitors. *Bioresource Technology* 43, 1-6.

Borja, R.; Martín, A.; Maestro, R.; Luque, M. y Durán, M.M. 1993. Improvement of the kinetics of anaerobic digestion of molasses by removal of phenolic compounds. *Biotechnology Letters* 15 (3), 311-316.

Burrowes, LS. 1984. Practical experiences and problems of sludge transport and landspreading. Ed. Severn-Trent Water Authority, Bristol (Reino Unido).

Businelli, M.; Gigliotti, G. y Giusquiani P.L. 1990. Applicazione del compost da RSU in agricoltura. I: effetto sulla produttività del mais e destino dei nutrienti e dei metalli pesanti nel vegetale. *Agrochimica* 34 (5-6), 454-466.

## Residuos orgánicos y agricultura

---

- Businelli, M.; Gigliotti, G. y Giusquiani, P.L. 1991. Applicazione del compost da RSU. II: destino dei nutrienti e dei metalli pesanti nel terreno. *Agrochimica* 35 (1-2-3), 13-25.
- Cegarra, J.; Hernández, M.T.; Lax, A. y Costa, F. 1983. Adición de residuos vegetales a suelos calizos. II. Influencia sobre la capacidad de retención hídrica y las propiedades de intercambio iónico. *An. Edafol. Agrobiol.* 42 (1-2), 235-244.
- Cegarra, J., Hernández, T. y Costa, F. 1983. Adición de residuos vegetales a suelos calizos. V. Influencia sobre el desarrollo vegetal. *An. Edafol. Agrobiol.* 42 (3-4), 545-552.
- Climent, M.D., Aragón, P.; Abad, M. y Roselló M.V. 1990. Utilización del compost de residuos sólidos urbanos como enmienda orgánica en agricultura. *Actas ICR Congreso Internacional de Química de la ANQUE 1*, 171-180. Tenerife.
- Davis, R.D. 1989. Utilisation of sewage sludge in agriculture. *Agricultural Progress* 64, 72-80.
- Díez, J.A. 1987. Dinámica del P en el suelo afectada por la aplicación de diferentes fertilizantes orgánicos. *An. Edafol. Agrobiol.* 46 (3-4), 499-510.
- Doran, J.W. y Smith M.S. 1987. Organic matter management and utilization of soil and fertilizer nutrients. En «Soil fertility and organic matter as critical components of production systems». Ed. SSSA ° 19, Madison (Estados Unidos de Norteamérica).

- Echaendia A. y Menoyo A. 1990. Compostaje de Gallinaza en un sistema dinámico abierto. Actas 1<sup>er</sup> Congreso Internacional de Química de la ANQUE 2, 431-438. Tenerife.
- Ells, J.E. y McSay, A.E. 1991. Allelopathic effects of alfalfa plant residues on emergence and growth of cucumber seedlings. HortScience 26 (4), 368-370.
- Environmental Protection Service of Canada, 1984. Manual of land application of treated municipal wastewater and sludge. Ed. Ministry of Supply and Services, Burlington (Canadá).
- Esteban, P.; More, A.; Ortega, M. y Sainz, A.M. 1980. Estudio de la nitrificación de un lisier de cerdo sobre un suelo agrícola. Anales (Serie Agrícola) INIA n° 13. Ed. M.A.P.A., Madrid.
- Felipó, M.T. 1992. Contaminación del suelo e impacto ambiental. Seminario «Contaminación, protección y saneamiento de suelos». UIMP, Valencia.
- Fiestas, J.A.; León, R.; García, R.; Fernández, A. y Sainz, J. 1981. Aplicación de los procesos de anaerobiosis en la depuración de las aguas residuales industriales de alta carga inorgánica. Ingeniería Química 147, 85-89.
- Figuroa, B. 1983. Experiencias con el uso de residuos orgánicos en la agricultura de México. En «El reciclaje de materias orgánicas en la agricultura de América latina», 210-214. Ed. FAO, Roma (Italia).
- Follet, R.F.; Gupta, S.C. y Hunt, P.G. 1987. Conservation practices: relation to the management of plant nutrients for crop production.



## Residuos orgánicos y agricultura

---

En «Soil fertility and organic matter as critical components of production systems» cap. 3, 19-51. Ed. SSSA n° 19, Madison (Estados Unidos de Norteamérica).

Francis, C. 1990. Soil erosion and organic matter losses on fallow land: a case study from south-east Spain. En «Soil erosion on agricultural land» cap. 21, 331-338. Ed. John Wiley and Sons Ltd, Nueva York (Estados Unidos de Norteamérica).

Gabriels, D. y Michiels, P. 1991. Soil organic matter and water erosion processes. En «Advances in soil organic matter research: the impact on agriculture and the environment», 141152. Ed. The Royal Society of Chemistry, Cambridge (Reino Unido).

García, C.J. 1990. Estudio del compostaje de residuos orgánicos. Valoración agrícola. Tesis doctoral CEBAS-CSIC. Murcia.

García, F. 1992. Estudio sobre estabilidad de agregados en suelos, aspectos químicos y microbiológicos. Tesis de Licenciatura de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad de Murcia. Murcia.

Gatí, F. 1983. La materia orgánica del suelo, su importancia formas de mantenerla. En «El reciclaje de materias orgánicas en la agricultura de América latina», 126-152. Ed. FAO, Roma (Italia).

cas en la agricultura de América latina», 126-152. Ed. FAO, Roma (Italia).

Generalitat Valenciana, Conselleria de Medio Ambiente 1991. Atlas de la gestión del medio ambiente en la Comunidad Valenciana.

- Glendining, M.J. y Powlson, D.S. 1991. The effect of long-term applications of inorganic nitrogen fertilizer on soil organic nitrogen. En «Advances in soil organic matter research: the impact on agriculture and the environment», 329-338. Ed. The Royal Society of Chemistry, Cambridge (Reino Unido).
- Gómez, B.; Burló, F.; Gómez, I. y Mataix, J. 1983. Nota previa. Contenido mineral del subproducto agrícola constituido por el conjunto mesocarpio-epicarpio del fruto del almendro (*Prunus amygdales* L.). Rev. Agroquim. Tecnol. Aliment. 23 (3), 439-442.
- Gómez, I.; Burló, F.; Mataix, J. y Gómez, B. 1987. Contenido en oligoelementos y disponibilidad de K, Na, Ca y Mg en el residuo vegetal constituido por el mesocarpio-epicarpio del fruto del almendro (*Prunus amygdales*). Rev. Agroquim. tecnol. Aliment. 27 (1 ), 131-138.
- Gómez, I.; Gómez, B. y Mataix, J. 1989. Evaluación mediante un sistema E.U.F. de la fertilidad potásica de un suelo compostado con piel de almendra. Agrochimica 33, 458-467.
- González, J.L.; Benítez, I.C. y Medina M. 1990. Influencia de la temperatura del suelo en la nitrificación de un compost obtenido a partir de lisier de cerdo. Actas i<sup>er</sup> Congreso Internacional de Química de la ANQUE 2, 135-143. Tenerife.
- Gumuzzio, J. 1993. Criterios de aplicación de lodos e impacto ambiental. «Curso sobre tratamiento de residuos urbanos CSIC y UAM, Madrid.

## Residuos orgánicos y agricultura

---

- Hamdi, Y.A. 1983. La utilización de la fijación simbiótica del nitrógeno y el uso de abonos verdes. En «El reciclaje de materias orgánicas en la agricultura de América latina», 1831. Ed. FAO, Roma (Italia).
- Harrod, T.R.; Carter, A.D. y Hollis, J.M. 1991. The role of soil organic matter in pesticide movement via run-off, soil erosion and leaching. En «Advances in soil organic matter research: the impact on agriculture and the environment», 127138. Ed. The Royal Society of Chemistry, Cambridge (Reino Unido).
- Hernández, M.T.; Cegarra, J. y Costa, F. 1983. Adición de residuos vegetales a suelos calizos. III. Estudio de su mineralización. An. Edafol. Agrobiol. 42 (1-2), 245-256.
- Hernández, T.; Cegarra, A.; Lax, A. y Costa, F. 1983. Adición de residuos vegetales a suelos calizos. VI. Influencia sobre la dinámica del manganeso en el suelo y respuesta de cultivos. An. Edafol. Agrobiol. 42 (3-4), 553-564.
- Hernando, S. 1987. Aprovechamiento de residuos sólidos urbanos como fuente de materia orgánica y sus efectos sobre las propiedades físicas y químicas del suelo. Tesis doctoral de la Universidad Autónoma de Madrid. Madrid.
- Hodges, R.D. 1991. Soil organic matter: its central position in organic farming. En «Advances in soil organic matter research: the impact on agriculture and the environment», 355364. Ed. The Royal Society of Chemistry, Cambridge (Reino Unido).

- Hue, N.V. 1988. A possible mechanism for manganese phytotoxicity in Hawaii soils amended with a low-manganese sewage sludge. *J. Environ. Qual.* 17 (3), 473-479.
- Ibiedebele, D.D. e Inyang, A.D. 1986. Environmental movement of indicator bacteria from soil amended with undigested sewage sludge. *Environmental Pollution (Series A)* 40, 53-62.
- Jarrell, K.F. y Saulnier, M. 1987. Inhibition of methanogenesis in pure cultures by ammonia, fatty acids, and heavy metals, and protection against heavy metal toxicity by sewage sludge. *Can. J. Microbiol.* 33, 551-554.
- Jenkinson, D.S. y Ladd, J.N. 1981. *Soil biochemistry*. Vol. 5. Ed. Dekler Inc., Nueva York (Estados Unidos de Norteamérica).
- Johnston, A.E. 1991. Soil fertility and soil organic matter. En «Advances in soil organic matter research: the impact on agriculture and the environment», 299-314. Ed. The Royal Society of Chemistry, Cambridge (Reino Unido).
- Juárez, M.; Sánchez-Andréu, J. y Mataix, J. 1987. Interés agrícola de lodos de depuradora de aguas residuales. *An. Edafol. Agrobiol.* 46 (1-2), 211-228.
- Keeling, A.A.; Mullet, J.A.J.; Paton, J.K.; Bragg, N.; Cambers, B.J.; Harvey, P.J. y Manasse, R.S. 1991. Refuse-derived humus: a plant growth medium. En «Advances in soil organic matter research: the impact in agriculture and the environment», 365-373. Ed. The Royal Society of Chemistry, Cambridge (Reino Unido).

## Residuos orgánicos y agricultura

---

- Kuhn, E.P. y Suflita, J.M. 1989. Dehalogenation of pesticides by anaerobic microorganisms in soils and ground-water - A review. En «Reactions and movement of organic chemicals in soils», cap. 6, 111-180. Ed SSSA n° 82, Madison (Estados Unidos de Norteamérica).
- Latorre, F. y del Campo, M. 1993. Compostaje de RSU. Planta de Valdemingómez. Curso sobre tratamiento de residuos urbanos, CSIC y UAM, Madrid.
- Loehr, R.C. 1974. Agricultural waste management, 576 p. Ed. Academic Press, Nueva York (Estados Unidos de Norteamérica).
- López, R.; Cabrera, F. y Murillo, J.M. 1992. Effect of beet vinasse on radish seedling emergence and fresh weight production. *Acta Horticulturae* 335, 115-119.
- Maestro, R.; Borja, R.; Martín, A.; Fiestas, J.A. y Alba, J. 1991. Biodegradación de los compuestos fenólicos presentes en el alpechín. *Grasas y Aceites* 42 (4), 271-276.
- Martín, A.; Borja, R.; Maestro R.; Alba, J. y Fiestas, J.A. 1990. Influencia de la concentración de polifenoles sobre la cinética del proceso de depuración anaerobia del alpechín. *Actas Ier Congreso Internacional de Química de la ANQUE 1. Tomo II*, 263-272.
- Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, Dirección General de Medio Ambiente, 1989. Medio Ambiente en España.

- Murillo, J.M.; Hernández, J.M.; Barroso, M. y Gómez, E. 1989. Successive applications of composted municipal refuse. II. Effect on selected soil characteristics. *Agr. Med.* 119, 236245.
- Mustin, M. 1987. *Le compost*. 954 p. Ed. François Dubusc, París (Francia).
- Navarro Pedreño, J. 1992. Estudio de los efectos de la salinidad y de la adición al suelo de residuos orgánicos en plantas de tomate. tesis doctoral, Facultad de Ciencias. Universidad de Alicante. Alicante.
- Navarro Pedreño, J.; Sierra, B.; Gómez, I. y Mataix, J. 1993. Modificación de las propiedades químicas de un suelo por la adición de residuos de almazara. *Actas V Reunión Nacional de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio*, 403407. Murcia.
- Novák, B. 1983. Recycling of animal manure. 4th Consultation FAO, 1-17. Budapest (Hungría).
- Parr, J.F. y Colacicco, D. 1987. Organic materials as alternative nutrient sources. En «Energy in plant nutrition and pest control» cap. 4, 81-99.
- Parr, J.F.; Willson, G.B.; Sikora, L.J. y Taylor, J.M. 1983. Utilization of organic wastes as resources for improving soil productivity. En «El reciclaje de materias orgánicas en la agricultura de América latina», 69-78. Ed. FAO, Roma (Italia).
- Pastor, J.; Adarve, M.J.; Urcelag, A. y Hernández, A. 1990. Aproximación al estudio del impacto de los residuos urbanos sobre el medio

## Residuos orgánicos y agricultura

---

natural y social. Actas Ier Congreso Internacional de Química de la ANQUE 1, 57-64.

Pudelski, T. 1985. Woodwaste composts as growing media for vegetables under protection. *Acta Horticulturae* 172, 67-74.

Ramírez, G. 1983. Compostaje y uso de residuos orgánicos en Costa Rica. En «El reciclaje de materias orgánicas en la agricultura de América latina», 200-205. Ed. FAO, Roma (Italia).

Renaume, M. y Riviere, L.M., 1981. The use of town refuse as a component of blocking composts. *Acta Horticulturae* 126, 113-122.

Rule, J.S.; Turley, D.B y Vaidyanathan, L.V. 1991. Straw incorporation into soils compared with burning during successive seasons-Impact of crop husbandry and soil nitrogen supply. En «Advances in soil organic matter research: the impact on agriculture and the environment», 339-354. Ed. The Royal Society of Chemistry, Cambridge (Reino Unido).

Sanz, R.; Escandón, V. y Fonollá, J. 1985. Utilización de subproductos agrícolas-industriales en la alimentación de animales herbívoros. III. Cáscara de almendra (exocarpio y mesocarpio del *Amygdales prunes*). *A.Y.M.A.* 26 (3), 251-257.

Sawhney, B.L. 1989. Movement of organic chemicals through landfill and hazardous waste disposal sites. En «reaction and movement of organic chemicals in soils», cap 18, 447-474. Ed. SSSA n° 82, Madison (Estados Unidos de Norteamérica).

- Sempere, A. 1987. Mineralización del nitrógeno de diferentes substratos orgánicos en suelos calizos. Influencia del potasio. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, Universidad de Alicante. Alicante.
- Shokohifard, G. 1989. A comparative study on ion holding capacity of amending materials. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 20 (7-8), 817-835.
- Sikora, L.J.; Willson, G.B. y Parr, J.F. 1983. Adaptation of the Beltsville areated pile method of composting for use in developing countries. En «El reciclaje de materias orgánicas en la agricultura de América latina», 80-88. Ed. FAO, Roma (Italia).
- Steenhuis, T.S. y Naylor, L.M. 1987. A screening method for preliminary assessment of risk to groundwater from landapplied chemicals. *J. Contara. Hydrol.* 1, 395-406.
- Strauch, D. 1987. Progress report for the Federal Republic of Germany. Proc. of a Workshop of working-party 3 Higienic aspects related to treatment and use of organic sludge, 1324. Ed. Commission of the European Communities, Dublín (Irlanda).
- Suárez de Castro, F. 1983. La pulpa de café como abono. En «El reciclaje de la materia orgánica en la agricultura de América latina», 89-91. Ed. FAO, Roma (Italia).
- Swift, R.S. 1991. Effects of humic substances and polysaccharides on soil aggregation. En «Advances in organic matter research: the impact on agriculture and the environment», 153-162. Ed. The Royal Society of Chemistry, Cambridge (Reino Unido).



## Residuos orgánicos y agricultura

---

- Tedaldi, D.J. y Loehr, R.C. 1991. Industrial-waste land treatment practices. *J. Environ. Eng.* 117 (6), 846-851.
- Trocmé, M.; Tarradellas, J. y Védy, J.C. 1988. Biototoxicity and persistence of nonylphenol during incubation in a compostsandstone mixture. *Biol. Fertil. Soils* 5, 299-303.
- Urbano, C.; Díaz, M. y Romero, F. 1990. Influencia del cambio en la composición del sustrato en la digestión anaerobia de residuos agroalimentarios. *Actas I<sup>er</sup> Congreso Internacional de Química de la ANQUE 2*, 145-154. Tenerife.
- Vaidyanathan, L.V. y Eagle, D.J. 1991. The influence of organic matter and clay on adsorption of atrazine by top soils. En «*Advances in organic matter research: the impact on agriculture and the environment*», 381-391. Ed. The Royal Society of Chemistry, Cambridge (Reino Unido).
- Vaidyanathan, L.V.; Shepherd, M.A. y Chambers, B.J. 1991. Mineral nitrogen arising from soil organic matter and organic manures related to winter wheat production. En «*Advances in organic matter research: the impact on agriculture and the environment*», 315-327. Ed. The Royal Society of Chemistry, Cambridge (Reino Unido).
- Vaz, G.A.; Lobato, E.; Pereira, G. y Pereira, J. 1983. Reciclaje de la materia orgánica en la agricultura brasileña. En «*El reciclaje de materias orgánicas en la agricultura de América latina*», 168-193. Ed. FAO, Roma (Italia).

- Vázquez, A.; Graciani, E. y Maestro, R. 1974. Componentes fenólicos de la aceituna. I. polifenoles de la pulpa. *Grasas y Aceites* 25 (5), 269-279.
- Vázquez, A.; Maestro, R. y Graciani, E. 1974. Componentes fenólicos de la aceituna. II. Polifenoles del alpechín. *Grasas y Aceites* 25 (6), 341-345.
- Waters, A.G. y Oades, J.M. 1991. Organic matter in waterstable aggregates. En «Advances in soil organic matter research: the impact on agriculture and the environment», 299314. Ed. The Royal Society of Chemistry, Cambridge (Reino Unido).
- Weber, J.B. y Miller, C.T. 1989. Organic chemical movement over and through soil. En «Reactions and movements of organic chemicals in soils» cap. 12, 304-334. Ed. SSSA n° 82, Madison (Estados Unidos de Norteamérica).
- Werner, E. 1983. Bioconversión: producción de energía utilizando desperdicios agrícolas. En «El reciclaje de materias orgánicas en la agricultura de América latina», 118-123. Ed. FAO, Roma (Italia).
- White, R.E. 1987. Introduction to the principles and practice of soil science. Ed. Blackwell Scientific Publications, Oxford (Reino Unido).
- Wild, S.R. y Jones, K.C. 1992. Organic chemicals entering agricultural soils in sewage sludges: screening for their potential to transfer to crop plants and livestock. *The Science of the Total Environment* 119, 85-119.

## Residuos orgánicos y agricultura

---

- Wilson, G.B.; Parr, J.F. y Sikora, L.J. 1983. Experiences with organic waste composting in developing countries. En «El reciclaje de materias orgánicas en la agricultura de América latina», 60-68. Ed. FAO, Roma (Italia).
- Yamada, S.O.H.; Ohta, H. y Tanigawa, H. 1988. Drying of sewage sludge by aerobic solid state cultivation. En « Alternative waste treatment systems», 142-152. Ed. Elsevier Applied Science, Londres (Reino Unido).