

Utilización de Compost de Lodos de Depuradora en Olivar



Consejería de Agricultura y Pesca

UTILIZACIÓN DE COMPOST DE LODOS DE DEPURADORA EN OLIVAR

Autores:

Manuel Ángel Aguilar Torres.

Dpto. de Ingeniería Rural de la Universidad de Almería.

Rafaela Ordóñez Fernández.

*Dpto. de Suelos y Riegos del C.I.F.A. de Córdoba,
Dirección General de Investigación y Formación Agraria
Junta de Andalucía.*

Pedro González Fernández.

*Dpto. de Suelos y Riegos del C.I.F.A. de Córdoba,
Dirección General de Investigación y Formación Agraria
Junta de Andalucía.*

Título: *UTILIZACIÓN DE COMPOST DE LODOS DE DEPURADORA EN OLIVAR*

Edita: © JUNTA DE ANDALUCÍA. *Consejería de Agricultura y Pesca*

Publica: *Viceconsejería. Servicio de Publicaciones y Divulgación*

© Textos: *Aguilar Torres M.A., González Fernández P., Ordóñez Fernández R.*

Ilustraciones: *Autores.*

Colección: *Agricultura.*

Serie: *Olivicultura y Elaiotecnia.*

I.S.B.N.: *84-8474-110-9.*

Depósito Legal: *SE-3170-2003.*

Producción: *Monterreina, S.A. - Sevilla.*

ÍNDICE

RESUMEN.	9
CAPÍTULO I. Generación y gestión de lodos de depuradora.	11
1. El problema de los lodos	11
2. Alternativas para el destino final de lodos de depuradora	12
2.1. <i>Aplicación al suelo</i>	12
2.2. <i>Valoración energética</i>	14
2.3. <i>Depósito en vertederos controlados</i>	15
3. Situación actual en España	15
4. Compostaje de lodos de depuradora	18
4.1. <i>Descripción del proceso y de los sistemas de compostaje</i>	19
4.2. <i>Parámetros que influyen en el proceso de compostaje</i>	20
5. Utilización agrícola de lodos de depuradora	22
5.1. <i>Efectos sobre las propiedades físicas del suelo</i>	22
5.2. <i>Efectos sobre las propiedades químicas del suelo</i>	23
5.3. <i>Efectos sobre los cultivos</i>	23
5.4. <i>Efectos perjudiciales de la aplicación agrícola de lodos de depuradora</i>	24
CAPÍTULO II. Objetivos.	26
CAPÍTULO III. Composición del compost de lodo de depuradora de La Torrecilla. Aspectos legales	27
1. Introducción	27
2. Aspectos legales referentes al uso agrícola de lodos de depuradora	28
3. Características del lodo de depuradora compostado utilizado	32
4. Conclusiones	36

CAPÍTULO IV. Efectos de la aplicación de lodos de depuradora compostados sobre las propiedades químicas del suelo.	39
1. Introducción	39
2. Descripción de las parcelas de ensayo y diseño experimental	39
2.1. Características del suelo	43
2.2. Muestreos de suelo efectuados en las parcelas experimentales y análisis realizados	44
2.3. Precipitaciones registradas	46
2.4. Análisis estadístico de los resultados	46
3. Efectos de la aplicación de lodos de depuradora compostados sobre la composición química del suelo	47
3.1. Efectos sobre el pH	47
3.2. Efectos sobre la conductividad eléctrica	48
3.3. Efectos sobre la materia orgánica	49
3.4. Efectos sobre el contenido de nitrógeno orgánico	51
3.5. Efectos sobre el contenido de fósforo disponible	51
3.6. Efectos sobre el contenido de potasio disponible	52
3.7. Efectos sobre la capacidad de intercambio catiónico y bases de intercambio	52
3.8. Efectos sobre el nitrógeno inorgánico	55
3.9. Efectos sobre los metales pesados en el suelo	59
4. Conclusiones	64
CAPÍTULO V. Efectos de la aplicación de lodos de depuradora compostados sobre el olivo	65
1. Introducción	65
2. Metodología empleada para determinar los efectos de los lodos de depuradora compostados sobre los olivos en las parcelas de ensayo	65
2.1. Determinación del estado nutritivo del olivo mediante análisis foliar	66
2.2. Producción, rendimiento graso y calidad de aceite	66
3. Metodología empleada para determinar los efectos de los lodos de depuradora compostados sobre plantones de olivo en el ensayo en macetas	67
3.1. Descripción del ensayo con plantones de olivo	67
3.2. Estado nutritivo en hojas nuevas y viejas	67

4. Efectos sobre el olivo en ensayos de campo	68
4.1. <i>Estado nutritivo de los olivos</i>	68
4.2. <i>Producción, rendimiento graso y calidad de aceite</i>	74
5. Efectos sobre plantones de olivo en ensayos en macetas	78
6. Síntomas de fitotoxicidad encontrados en hojas de olivo	79
7. Conclusiones	83
CAPÍTULO VI. Conclusiones Generales.	85
CAPÍTULO VII. Referencias Bibliográficas.	87

RESUMEN

La gestión de los lodos de generados en las estaciones depuradoras de aguas residuales urbanas (E.D.A.R.) está adquiriendo una gran importancia en nuestros días, debido a la aparición de una legislación medioambiental cada vez más restrictiva y protectora del medio natural. Este hecho, unido a la disminución de materia orgánica que sufren gran parte de los suelos agrícolas del área mediterránea que provoca una disminución de su fertilidad y acentúa los riesgos de pérdidas de suelo por erosión, nos lleva a considerar el aprovechamiento agrícola de lodos de depuradora como una alternativa para su destino final.

En este trabajo se estudian los efectos de la aplicación de dosis de 10 y 20 Mg ha⁻¹ de lodos de depuradora compostados con una humedad del 20% aproximadamente, sobre las propiedades físico-químicas del suelo arcilloso, así como sobre el desarrollo, estado nutritivo y producción del olivo.

La aportación durante dos años consecutivos de dosis de 10 y 20 Mg ha⁻¹ de compost de lodos de depuradora a un suelo típico de olivares andaluces (vertisol), ha tenido como efectos más destacados sobre las propiedades químicas del suelo el aumento de la materia orgánica, del fósforo disponible y del nitrógeno inorgánico, fundamentalmente en forma nítrica, así como una pequeña elevación de la conductividad eléctrica. En lo referente a los metales pesados en el suelo receptor, sólo las concentraciones de Cu y Zn presentaron aumentos tras la aplicación del compost, aunque no siempre fueron estadísticamente significativas. En ningún caso los niveles de metales pesados en el suelo alcanzaron niveles peligrosos, manteniéndose siempre por debajo de los límites señalados por la Directiva 86/278/CEE.

La aplicación de lodos de depuradora compostados no influyó sobre el estado nutritivo de los árboles estimado mediante análisis foliar, producción de aceitunas ni calidad del aceite obtenido en los olivos adultos de las parcelas experimentales. Ni siquiera los aportes de fertili-

zantes minerales nitrogenados en forma de urea mejoraron los parámetros estudiados. Probablemente el buen estado inicial del olivar unido a la aceptable fertilidad del suelo en las parcelas de campo ha influido en estos resultados.

En los ensayos realizados con plantones de olivo se han registrado efectos positivos por aplicación de dosis crecientes de lodos compostados en el estado nutritivo de los mismos abonados con compost de lodo respecto al tratamiento testigo sin abonar.

Se observaron necrosis apicales en hojas viejas, tanto en los ensayos con olivos adultos en parcelas experimentales como con plantones en macetas, que estuvieron claramente relacionadas con las dosis de compost de lodo de depuradora aplicadas. Serían necesarios nuevos estudios que profundizaran en la causa de estos síntomas, y en los efectos a medio-largo plazo.

CAPÍTULO I. Generación y gestión de lodos de depuradora.

1. El problema de los lodos.

Con la Directiva Comunitaria 91/271/CEE (DOCE, 1991a) sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas, que nació con el claro propósito del respeto y cuidado de la naturaleza, empezó a acentuarse paradójicamente otro problema medioambiental como es la gestión futura de los lodos de depuradora.

La citada Directiva obliga a los Estados miembros a que sus aguas residuales urbanas sean objeto de un tratamiento de depuración secundario antes de su vertido a cauces naturales. Las fechas límite para la creación de las numerosas estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR) necesarias para tal fin, se encuentran escalonadas en el tiempo en función del número de habitantes equivalentes de cada población.

- Plazo máximo hasta el 31 de Diciembre de 2000 para todos las poblaciones con vertidos equivalentes a de más de 15.000 habitantes.
- Plazo máximo hasta el 31 de Diciembre de 2005 para vertidos producidos por poblaciones de entre 10.000 y 15.000 habitantes equivalentes.
- Plazo máximo hasta el 31 de Diciembre de 2005 para los vertidos en aguas dulces o estuarios que sean generados por poblaciones equivalentes de entre 2.000 y 10.000 habitantes.

Estos hechos provocaron que la producción de lodos de depuradora generados en España se duplicara desde las 350.000 toneladas de materia seca en al año 1989 (Cajigas, 1991) a las cerca de 700.000

toneladas en el año 1996 (MAPA, 1996). Teniendo en cuenta las nuevas depuradoras construidas o en construcción, su capacidad, población a la que sirven, y aplicando valores medios, se estima que a finales del año 2005 la cantidad de lodos secos generados oscilará entre 1.300.000 y 1.500.000 toneladas (BOE, 2001).

Estas cantidades tan importantes de lodos a gestionar, unido a los diversos problemas e inconvenientes que existen con las distintas alternativas disponibles en la actualidad para su destino final, como veremos a lo largo del presente capítulo, nos llevan a plantearnos la cuestión: "Y ahora... ¿qué hacemos con los lodos?", ya usada por Wildschut (1995) como título de uno de sus trabajos.

2. Alternativas para el destino final de lodos de depuradora.

Tres son las principales alternativas para el destino final de los lodos generados en los procesos de depuración, que se presentan a continuación precisamente en el orden de prioridad en el que se debe elegir su destino según la Ley 10/1998 de residuos (BOE, 1998a).

- La aplicación al suelo con fines de fertilización, enmienda orgánica y reciclaje de los nutrientes.
- La valorización energética en todas sus variantes, entre las que destacamos la incineración y la biometanización.
- Depósito en vertederos controlados.

El vertido de lodos al mar, que fue muy utilizado sobre todo en estaciones depuradoras costeras, alcanzando porcentajes del 14% según Cristóbal (1990), dejó de ser otra posible opción a partir de la prohibición progresiva impuesta por la Directiva 91/271/CEE (DOCE, 1991a) de verter lodos al mar después del 31 de Diciembre de 1998.

2.1. Aplicación al suelo.

Según se recoge en el Plan Nacional de Lodos de Depuradoras de Aguas Residuales-EDAR (2001-2006) (BOE, 2001), para los lodos de depuradora que cumplan con los requisitos legales (apartado 2 del capítulo III) en lo relativo a metales pesados, patógenos y siempre que exista la disposición de suelo apto para su aplicación, deberá considerarse que la opción más sostenible es el reciclaje de nutrientes y materia orgánica mediante su adición al suelo. Para que puedan ser utilizados en agricultura, es obligado someter los lodos a tratamientos

biológicos (aerobios o anaerobios), térmicos (secado o pasteurización), químicos (encalado) o almacenamientos prolongados (BOE, 1990).

También se recoge en el citado Plan Nacional de Lodos la necesidad de fomentar las líneas de tratamiento de lodos con el fin de obtener un residuo con la calidad suficiente para poder ser destinado a suelos agrícolas.

Este interés por, según cita textual, "la recuperación al máximo de la fracción orgánica contenida en los residuos urbanos para su uso como enmienda de suelos", es expresado en el Decreto 218/1999 por el que se aprueba el Plan Director de Gestión de Residuos Urbanos de Andalucía (BOJA, 1999)

El uso agrícola de lodos de depuradora es la alternativa de gestión que cuenta con mayor número de defensores (Mahamud et al., 1996), pues ello lleva consigo el concepto de reutilización, lo que implica la asignación de un valor económico al subproducto resultante de la depuración de las aguas residuales. Además existen otros dos hechos que refuerzan la adopción de la aplicación al suelo de los lodos de depuradora en Andalucía.

- Los suelos cultivados en Andalucía sufren una disminución de materia orgánica. Según un estudio realizado por el Centro de Edafología y Biología Aplicada de Sevilla, CSIC (1971), en la provincia de Córdoba un 62% de los suelos tienen un porcentaje de materia orgánica inferior al 2%.
- Las pérdidas de suelo debido a la erosión en el área Mediterránea, ligadas en muchas ocasiones a los bajos contenidos de materia orgánica de sus suelos, están entre las más altas de Europa (Lane et al., 2001). Las tasas de erosión son especialmente preocupantes en zonas de olivar, frecuentemente situadas en terrenos con fuertes pendientes y que presentan una gran superficie de suelo sin cobertura vegetal y por tanto, sin protección frente a los procesos erosivos (fotografía I.1). En Andalucía se estima una pérdida de suelo de $80 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ (Pastor y Castro, 1995), mientras que Laguna y Giráldez (1990) obtienen valores que oscilan entre 60 y $100 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ en olivares de Córdoba cultivados bajo laboreo convencional.



Fotografía I.1. Olivo descalzado como consecuencia de la erosión en el olivar andaluz de secano.

Dadas las importantes cantidades de lodos de depuradora que se podrían destinar como abono orgánico, no parece descabellado estudiar la posible aplicación de estos residuos al cultivo que más superficie agrícola ocupa en nuestra región. Donde de las 2.346.400 has de olivar censadas en España en el año 1998 (MAPA, 2000), más de 1.300.000 se encuentran en Andalucía (CAP, 2000).

Los problemas que pueden asociarse al uso agrícola de lodos de depuradora son el riesgo de contaminación de aguas superficiales y de percolación profunda, del perfil de suelo, de las cosechas cultivadas y la posibilidad de transmitir enfermedades al ganado y al hombre (Torrey, 1979). De todas formas, existe una falta de evidencias de aparición de brotes de enfermedades asociado al uso controlado de lodos (Loehr et al., 1979; Hammer, 1986). Los riesgos de contaminación se pueden minimizar limitando la cantidad de lodo aplicada al suelo en función tanto de la concentración de metales tóxicos en el residuo como de la del suelo receptor y su pH. Esto requiere un estricto control químico de los metales pesados, tanto en el suelo receptor como en el lodo, y de los contenidos de nitrógeno, fósforo y potasio entre otros.

2.2. Valorización energética.

La biometanización de los lodos consiste en la conversión total de la carga orgánica en gas, mediante una reacción de combustión a tem-

peraturas de unos 1000°C. Los compuestos resultantes son CO₂, H₂, CH₄, H₂O, N₂, que pueden ser aprovechados en conjuntos gasificadores/turbinas para producción de energía eléctrica y un residuo inerte.

La incineración convierte los lodos en cenizas inertes. Si los lodos tienen una humedad menor al 65% el proceso se autoalimenta sin adición de combustible excepto para el arranque inicial y el control de calor (McGuee, 1991). El inconveniente principal de las incineradoras son las restricciones en lo referente a emisiones a la atmósfera y las costosas medidas de control de funcionamiento que deben cumplir según la legislación comunitaria (DOCE, 1989a; DOCE 1989b).

2.3. Depósito en vertederos controlados.

El depósito en vertedero es la última opción y la menos satisfactoria para el destino final de residuos, según la Ley 10/1998 (BOE, 1998a). Con esta disposición se trata de impedir el vertido de materia orgánica, y de residuos que puedan ser revalorizados, o utilizados en suelos agrícolas.

Si bien la Directiva 1999/31/CE (DOCE, 1999), relativa al vertido de residuos, fija un objetivo más modesto, países como Alemania, Austria, Bélgica, Dinamarca, Francia, Holanda, Italia, Suecia, Finlandia y Reino Unido, están limitando de manera drástica el vertido de residuos con valores de materia orgánica superior al 5% (C.E.R., 2000).

3. Situación actual en España.

Como ya se vio en el apartado 1 de este capítulo, la producción de lodos de depuradora se ha disparado en los últimos tiempos, pasando de las 350.000 toneladas de materia seca estimadas por Cajigas en el año 1989 (Cajigas, 1991) a las 1.069.000 para el año 2000 (DGXI, UE).

Provincia	Toneladas de materia seca por año
Almería	20.000
Cádiz	46.750
Córdoba	25.000
Granada	31.250
Huelva	17.000
Jaén	31.250
Málaga	62.500
Sevilla	78.750
Total Andalucía	312.500

Tabla I.1. Estimaciones de la producción de lodos de depuradora en Andalucía a finales del año 2005. Fuente: Plan Director Territorial de Gestión de Residuos Urbanos de Andalucía (BOJA, 1999).

En la tabla I.1 se puede ver la distribución por provincias de la producción de lodos de depuradora en Andalucía en el año 2005.

En la figura I.1 se muestran las tendencias que han seguido las diferentes alternativas de gestión de los lodos de depuradora en la última década, así como las previsiones de futuro más inmediatas según el Plan Nacional de Lodos de Depuradora (BOE, 2001).

El porcentaje reciclado en suelos agrícolas o forestales sufre un aumento importante que lo sitúa en un 65% en el año 2005. Los lodos que se destinan a procesos de incineración también experimentan un considerable aumento, pese a que ésta es una solución que políticamente no está muy bien aceptada en España, y provoca bastante oposición en la población (Permuy, 2000). Por el contrario, los vertidos al mar desaparecerán completamente en el año 2005 y las cantidades de lodos de depuradora destinados a vertederos controlados se reducirán drásticamente (figura I.1).

Por otra parte el Plan Nacional de Lodos de Depuradora (2001-2006) (BOE, 2001) prevé una inversión de 68.515.379,89 de euros en la construcción de plantas de compostaje. Se calcula que harán falta unos 40 nuevos centros de compostaje de lodos de depuradora de capacidades comprendidas entre 5.000 y 25.000 toneladas de materia seca por año. En Andalucía se prevé la construcción de plantas para la recuperación y fabricación de abonos orgánicos capaces de

generar más de 50.000 Mg año⁻¹ de compost según el Plan Director Territorial de Gestión de Residuos Urbanos de Andalucía (BOJA, 1999).

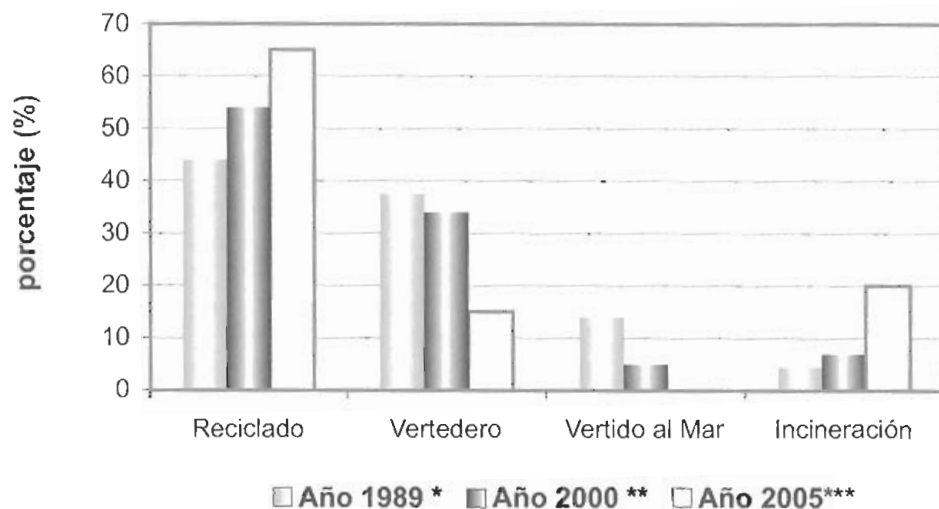


Figura I.1. Destino final de lodos de depuradora en España en los años 1989, 2000 y 2005. (*) Fuente: Cristóbal (1990). (**) Fuente: DGXI, UE. (***) Estimaciones del Plan Nacional de Lodos de Depuradora (2001-2006) (BOE, 2001).

Gestión/Usó	Cantidad (m.s.) (Mg año ⁻¹)	Porcentaje
Uso agrícola y conservación de suelos de lodos tratados no compostados.	553.244-619.190	40 %
Uso agrícola y conservación de suelos previo compostaje	345.778-386.994	25 %
Incineración con recuperación de energía	276.622-309.595	20 %
Vertedero	205.470-232.196	15 %

Tabla I.2. Gestión y usos previstos de los lodos de depuradora a final del año 2005 por el Plan Nacional de Lodos de Depuradora (2001-2006) (BOE, 2001). (m.s) materia seca.

En la tabla I.2 se presentan las previsiones detalladas de los destinos finales de los lodos generados en España para el año 2005. Se pretende que para esa fecha el 25% del total de lodos producidos sufran un proceso de compostaje como paso previo a su aportación a suelos agrícolas, suelos forestales o restauración de zonas degradadas.

4. Compostaje de lodos de depuradora.

De todo lo expuesto en el apartado anterior se deduce que la adopción de procesos de compostaje es una de las alternativas más atractivas y con mejores perspectivas de futuro. Ya desde mediados de los años setenta, el compostaje de lodos de depuradora ha venido recibiendo creciente atención como alternativa viable y ambientalmente segura para la estabilización y la evacuación final del lodo. En el período comprendido entre 1983 y 1988 se duplicaron las plantas de compostaje en funcionamiento en los Estados Unidos (Goldstein, 1988)

La Orden de 28 de Mayo de 1998 sobre Fertilizantes y Afines (BOE, 1998b), define al compost como "el producto obtenido por fermentación aeróbica de residuos orgánicos", estableciendo los valores límites y características físicas, químicas y biológicas que ha de cumplir este producto (tabla I.3).

Requisitos exigidos al Compost	Valores Límite
Materia Orgánica Total (s.m.s.)	>25 (%)
Humedad	<40 (%)
Porcentaje de partículas que pasan por una malla de 25 mm	>90 (%)
Tamaño de partículas inertes (plásticos, vidrio)	< 10 mm
Cadmio	<10 (mg kg ⁻¹)
Cobre	<450 (mg kg ⁻¹)
Níquel	<120 (mg kg ⁻¹)
Plomo	<300 (mg kg ⁻¹)
Zinc	<1.100 (mg kg ⁻¹)
Mercurio	<7 (mg kg ⁻¹)
Cromo	<400 (mg kg ⁻¹)

Tabla I.3. Requisitos exigidos al compost por la Orden sobre Fertilizantes y Afines (BOE, 1998b). (s.m.s.) sobre materia seca.

Zucconi y de Bertoldi (1987) sugieren una definición más completa del compostaje. Según estos autores el compostaje se define como "un proceso biooxidativo controlado en el que intervienen numerosos y variados microorganismos, que requiere una humedad adecuada y sustratos orgánicos heterogéneos en estado sólido. El proceso implica un paso por una etapa termofílica con producción temporal de fitotoxinas produciéndose de ella dióxido de carbono, agua y minerales como resultado de los procesos de degradación, así como una materia orgánica estabilizada, libre de fitotoxinas y patógenos, y dispuesta para su uso en agricultura, sin que ocasione fenómenos adversos".

Durante el proceso de compostaje se observan tres fases asociadas a intervalos diferentes de temperaturas: mesofílica, termofílica y enfriamiento. En la primera la temperatura de la pila de compost aumenta hasta unos 40°C actuando principalmente hongos y bacterias productoras de ácidos. De aquí pasamos a la fase termofílica con temperaturas que oscilan entre 40 y 70°C, siendo ésta la fase de máxima degradación y estabilización de la materia orgánica. Por último, en la fase de enfriamiento vuelven a descender las temperaturas y predominan reacciones de polimerización y condensación, similares al proceso de humificación que se da en el medio natural en condiciones mesofílicas (Iglesias, 1991).

4.1. Descripción del proceso y de los sistemas de compostaje.

En los procesos de compostaje de lodos de depuradora se suelen realizar las siguientes acciones (Metcalf y Eddy, 1995):

- Mezcla del lodo deshidratado con un material de enmienda o soporte.
- Aireación de la pila bien por introducción de aire forzado, por volteos mecánicos o mediante ambos sistemas.
- Maduración y almacenamiento.
- Evacuación final.

El material de enmienda o soporte, también llamado agente estructurante, suele ser un material orgánico de baja densidad que tiene la misión de aumentar la porosidad de la mezcla a compostar y, por tanto, su aireación. En el caso de los lodos, con un alto contenido en nitrógeno, también suelen actuar como fuente de carbono suplementaria para las reacciones biológicas. En bibliografía se han descrito algunos

agentes estructurantes para el compostaje de lodos de depuradora, como residuos sólidos urbanos (Sims y Kline, 1991; Ayuso et al., 1992a), residuos de algodón (García et al., 1994), restos de poda triturados (Molina y Soliva, 1995), serrín y astillas (Wu et al., 2000). Aunque también existen casos de generación de compost de lodos de depuradora sin la participación de agente estructurante alguno (Beltrán et al., 2000).

Los principales sistemas de compostaje utilizados son las pilas estáticas aireadas, las pilas volteadas, y los sistemas mecánicos cerrados (in.vessel).

En el caso del método de pila estática aireada, desarrollado por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos en Beltsville, Maryland, se pretendía mantener una masa de compostaje con niveles de oxígeno superiores al 18%, para lo que se introducía aire a través de tuberías perforadas que atravesaban la pila a compostar. Una variante de las pilas aireadas es el sistema Rutgers en el que se pone mayor énfasis en el control de la temperatura que en el de oxígeno. Cuando la entrada de aire en la pila se produce por succión, tenemos la posibilidad de realizar un filtrado del mismo con la consecuente eliminación de compuestos volátiles y malos olores.

En el sistema de pilas volteadas, las pilas que tienen una altura de entre 1 y 2 m se voltean periódicamente durante el tiempo de compostaje hasta que la temperatura del montón desciende de 55°C. Este período suele durar entre 4 y 6 semanas (Mahamud et al., 1996), sin contar el tiempo de maduración.

El compostaje en sistemas cerrados se realiza en depósitos cerrados, verdaderos reactores químicos (Harper et al., 1992), controlando todos los parámetros que influyen en el proceso y con unas necesidades de espacio mucho menores que los sistemas en pilas (Gies, 1995). Se pueden clasificar según que el flujo de residuos sea horizontal o vertical y el aporte continuo o discontinuo.

4.2. Parámetros que influyen en el proceso de compostaje.

Los parámetros operacionales de los procesos de compostaje sobre los que hay que incidir de forma especial antes del inicio del proceso y durante el mismo son:

- Temperatura. De éste parámetro dependerá el tipo de microorganismos (mesofílicos o termofílicos) que se encarguen de descomponer la materia orgánica del residuo produciendo desprendimiento de calor (McKinley et al., 1985) y por tanto una variación de la temperatura del montón de compost. La temperatura óptima para la estabilización biológica se sitúa en el intervalo de 45 a 55°C (Szanto et al., 1991). Para una correcta reducción de patógenos en el compost, la USEPA recomienda un mínimo de 15 días a 55°C (USEPA, 1979). La evolución de éste parámetro nos indica la situación y velocidad del proceso (McGregor et al., 1981).
- Humedad. Los valores óptimos se sitúan entre 50 y 60% (Poincelot, 1975; Cuadros, 1990). En el caso de los lodos de depuradora no es fácil alcanzar estas humedades, por lo que es habitual el acompañamiento de eras de secado u otro sistema de deshidratación previo al inicio del compostaje.
- El pH. Es un parámetro que nos ayuda a decidir las acciones a realizar durante el proceso de compostaje. Lo normal es que en la fase mesofílica inicial se produzca una reducción de pH por liberación de ácidos orgánicos. Al entrar en la fase termofílica se produce una alcalinización progresiva del medio debido a la liberación de amoníaco provocada por la descomposición de las proteínas. Descensos rápidos de pH pueden indicar la existencia de condiciones anaerobias en el proceso de compostaje (Nogales et al., 1982), que podrían estar provocadas por un exceso de humedad o por una falta de aireación de la pila.
- La porosidad y granulometría. Debe favorecer la aireación de la pila. La concentración de oxígeno no debe bajar del 50% de la inicial (Szanto et al., 1991), y nunca debe ser inferior al 5% (Costa et al., 1991).
- Relación carbono-nitrógeno (C/N) y carbono-fósforo (C/P). La relación C/N inicial debe situarse entre 25 y 35 en un proceso de compostaje ideal (Cuadros, 1990), mientras que la relación C/P óptima debe encontrarse entre 100 y 200 (Mathur, 1991). En el caso de una relación C/N inicial muy alta, el proceso de descomposición de los materiales tardaría mucho más tiempo y la temperatura del montón apenas subiría, mientras que con relaciones C/N iniciales bajas se producen malos olores y pérdidas de nitrógeno.

Si tenemos en cuenta que un lodo de depuradora medio puede tener una relación C/N de 10 y un relación C/P de 16 (McCalla et al., 1977), podremos entender la necesidad de un agente estructurante que mejore la aireación y realice un aporte adicional de carbono.

5. Utilización agrícola de lodos de depuradora.

La materia orgánica contenida por los lodos de depuradora compostados o frescos, que puede variar entre el 25 y el 70% sobre materia seca, es la responsable directa de las mejoras de las propiedades físico-químicas de los suelos sobre los que se aplican (Metzger y Yaron, 1987; Tester, 1990) además de producir una mejora de su fertilidad y productividad (Bauer y Black, 1994).

5.1. Efectos sobre las propiedades físicas del suelo.

La aportación de la materia orgánica al suelo provoca la disminución de su densidad aparente (Klute y Jacobs, 1949; Mays et al., 1973). Esta disminución es debida al aumento de la porosidad del suelo y a una redistribución del tamaño de poros (Gupta et al., 1977) , así como por la baja densidad que de por sí tiene la materia orgánica (Powers et al., 1975). El descenso de la densidad aparente provoca un aumento de la porosidad que afecta positivamente a la permeabilidad del suelo; aunque autores como Chang et al. (1983) y Wei et al. (1985), encuentran necesarias dosis muy altas de residuos orgánicos para encontrar diferencias significativas en la conductividad hidráulica saturada.

La capacidad de retención de agua se incrementa de forma directamente proporcional a la dosis de lodos de depuradora aplicada, aunque el agua disponible para las plantas no aumente significativamente en todos los casos, debido al aumento del punto de marchitez permanente (Lindsay y Logan, 1998). Las mejoras de la capacidad de retención de agua debido a la aplicación de lodos son más claras en suelos arenosos (Logan et al., 1996) que en suelos de textura fina (Aggelides y Londra, 2000).

La relación entre la mejora en la estabilidad estructural de los agregados y la materia orgánica ha quedado sobradamente demostrada en experimentos de campo, empleando distintos tipos de lodo de depuradora y compost, en distintos suelos y con diferente clima (Pagliai et al., 1981; Logan et al., 1996; Lindsay y Logan, 1998). Esta mejora en la agregación de las partículas debida a la materia orgánica influye en la disminución de la erodabilidad del suelo (Francis, 1990; Roberts y Lambert, 1990).

5.2. Efectos sobre las propiedades químicas del suelo.

Los nutrientes más importantes para el uso agrícola de los lodos de depuradora son el nitrógeno y el fósforo por encontrarse en unas cantidades importantes en éstos residuos.

Shepherd et al. (1996) encuentra una estrecha relación entre los contenidos de materia orgánica y los niveles de nitrógeno mineral en el suelo. Este nitrógeno se encuentra fundamentalmente en forma orgánica en los lodos, por lo que deberá mineralizarse para poder ser utilizado por el cultivo. De la rapidez con la que el nitrógeno orgánico del lodo se convierta en nitrógeno amoniacal o nítrico, asimilable por los cultivos, dependerá en parte, la dosis aportada a cada cultivo, así como la época del año en que se aplique. Este proceso es fundamental para no cometer excesos de abonado que pudieran ocasionar riesgos de contaminación de acuíferos por lixiviación de nitratos (Ordóñez et al., 1991). Para los lodos de depuradora compostados se describen tasas de mineralización anuales del orden del 6-17% (Parker y Sommers, 1983).

En cuanto al fósforo, el lodo de depuradora es considerado un buen sustitutivo del abono fosforado mineral, obteniéndose en ocasiones rendimientos superiores (Ayuso et al., 1992b). Además pueden paliar en cierta manera los problemas de insolubilización de este elemento en terrenos calizos, debido a su progresiva mineralización, actuando como un fertilizante de acción gradual.

El contenido de potasio en los lodos de depuradora es pequeño por lo que, en ocasiones, cuando se realiza una enmienda con éste residuo es conveniente el aporte de un suplemento de potasio en forma de abonado mineral.

Los lodos también tienen cantidades importantes de calcio, magnesio y sodio (Sommers, 1977). Los dos primeros elementos juegan un papel importante en la regulación del pH en el suelo. El sodio es un catión no deseable que deteriora la estructura del suelo y causa salinidad.

Por otro lado, se ha demostrado el aumento de la capacidad de intercambio catiónico de un suelo tras la aplicación de lodos compostados de depuradora, observándose una correlación positiva entre ese aumento y la fracción humificada de carbono en el suelo (Piccolo et al., 1992).

5.3. Efectos sobre los cultivos.

Las experiencias de aplicaciones de lodos de depuradora sin compostar en diversos cultivos son numerosas. En general las mejoras obtenidas

nidas con la aplicación de lodos son apreciables aunque hay una gran variabilidad de datos en función de tipos de suelo, características del residuo utilizado, dosis aplicada, cultivo y condiciones climáticas.

Bigeriego (1996) realizó una serie de ensayos con lodos compostados sin agente estructurante procedentes de Madrid sobre cultivos como maíz, tomate, pimiento y tabaco. Las dosis aplicadas variaron entre 8 y 15 Mg ha⁻¹ de compost de lodo expresada en materia seca con aplicaciones extra de fertilizantes inorgánicos en cobertera en algunos tratamientos. Los mejores resultados en cuanto a producción se produjeron con la aplicación de compost de lodos de depuradora sin aporte mineral alguno, excepto en el caso del maíz que necesitó un suplemento extra de nitrógeno en forma de urea en cobertera, seguramente debido a sus grandes necesidades de éste nutriente.

En olivar hay pocos trabajos realizados con residuos orgánicos en general, y con lodos de depuradora en particular. Aguilar (1997) empleó compost de residuos sólidos urbanos en olivar de secano obteniendo en general ligeros incrementos de producción que achacaba fundamentalmente a una mejora de la humedad en el perfil de suelo debida a la aportación de materia orgánica, y la consecuente mejora de las propiedades físicas. Sin embargo Beltrán et al. (2000) no observan aumentos en la producción de olivares abonados con 20 Mg ha⁻¹ de lodos de depuradora compostados sin agente estructurante.

5.4. Efectos perjudiciales de la aplicación agrícola de lodos de depuradora.

Entre los factores negativos a tener en cuenta cuando se realizan aplicaciones de lodos de depuradora compostados a suelos de uso agrícola podemos destacar los niveles elevados de conductividad eléctrica, metales pesados y contaminantes orgánicos, así como las acumulaciones y riesgos de lixiviación de nitratos.

La incorporación de lodos de depuradora compostados no parece ocasionar tantos problemas de aportación y acumulación de sales en el suelo como otros residuos orgánicos compostados, sobre todo si no se aplican en dosis excesivamente altas. Guidi et al. (1982) observaron ligeros aumentos de la conductividad eléctrica tras la aplicación de compost de lodos de depuradora, pero tras las lluvias invernales los niveles de las parcelas tratadas se situaron de nuevo en los valores iniciales.

En cuanto a los riesgos de lixiviación de nitratos, no se estiman superiores a los obtenidos con la fertilización mineral, siempre que las

dosis empleadas sean las adecuadas a las condiciones edafoclimáticas y al cultivo. Wong et al. (2000) encontraron que no existen problemas de lixiviación de nitratos en columnas de suelo enmendadas con lodos de depuradora anaerobios para dosis iguales o inferiores al 10% en volumen.

Seguramente, el mayor problema que presenta la aplicación de lodos de depuradora al suelo, independientemente del tratamiento previo que hayan sufrido, es su contenido en metales pesados. La legislación en éste sentido es cada día más restrictiva (apartado 2 del capítulo III) siendo cuantiosos los trabajos de investigación sobre el tema. Los metales pesados considerados como potenciales contaminantes de suelos en España son Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Zn, y Pb (BOE, 1990).

La absorción de Cd y Ni resultó elevada en cultivos de espinacas, trigo y raygrass abonados con compost de lodos de depuradora enriquecidos con cantidades escalonadas de estos dos elementos, que alcanzaron concentraciones de 10 mg kg⁻¹ de Cd y 200 mg kg⁻¹ de Ni en el suelo. La asimilación de estos metales fue muy diferente en cada especie y estuvo claramente relacionada con su concentración en el suelo (Walter et al., 1992).

En el caso del Cu, McBride (2001) observó efectos tóxicos en maíz cultivado en suelos con contenidos de éste metal de aproximadamente 270 mg kg⁻¹. Alva et al. (2000) encontraron una relación entre los contenidos de las formas solubles de Cu en el suelo y la fitotoxicidad encontrada en patrones de cítricos, poniendo de manifiesto que cuando el pH del suelo era menor, las formas de Cu solubles aumentaban frente a las precipitadas.

Efectos fitotóxicos fueron encontrados en coliflor por Chatterjee y Chatterjee (2000) debidos a excesos de Cr, Cu y Co. Se produjo una reducción de la producción de biomasa, de Fe y clorofila en hojas.

Además, debemos de considerar entre el conjunto de elementos potencialmente tóxicos contenidos en los lodos de depuradora, a los compuestos orgánicos persistentes, como es el caso de los hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH) y los PCBs (Policlorodibenzo-p-dioxinas y Policlorodibenzofuranos). El principal problema generado por estas sustancias no es el consumo por las plantas, sino el consumo directo por el ganado.

CAPÍTULO II. Objetivos.

Las cantidades de lodos de depuradora generados en las plantas de tratamiento de aguas residuales urbanas están aumentando a pasos agigantados debido a la normativa de depuración de aguas marcada por la UE en 1991.

Este hecho, unido a las políticas cada vez más restrictivas en el uso de vertederos para materiales con altos porcentajes de materia orgánica y a la poca aceptación social de las plantas incineradoras, además de sus elevados costes de funcionamiento e inversión, hacen cada vez más atractiva la idea de reciclar la materia orgánica, el nitrógeno, fósforo y demás nutrientes contenidos en los lodos de depuradora, utilizándolos en suelos agrícolas. Si tenemos en cuenta el bajo porcentaje de materia orgánica de los suelos andaluces y las altas tasas de erosión registradas en terrenos con baja cobertura vegetal y elevada pendiente, como ocurre con frecuencia en suelos de olivar, el uso agrícola de lodos de depuradora está más que justificado.

Por otra parte no debemos olvidar los preocupantes contenidos de metales pesados y otros contaminantes que suelen presentar estos residuos, así como los olores tan desagradables emitidos por el lodo fresco, que en ocasiones han causado serios problemas en poblaciones cercanas a la zona de aplicación.

Para evaluar las aptitudes agronómicas de los lodos compostados de depuradora se han marcado los siguientes objetivos en el estudio.

- 1.- Determinar la composición de los lodos compostados de depuradora de la planta de "La Torrecilla" en Madrid, así como su posibilidad de aplicación a suelos de olivar de una forma mecanizada y que no resulte molesta en los alrededores.
- 2.- Efectos producidos por la enmienda de lodos compostados sobre las propiedades químicas del suelo receptor.
- 3.- Efectos producidos en el olivo en lo referente al estado nutricional, producción y calidad de aceite.

CAPÍTULO III. Composición del compost de lodo de depuradora de la Torrecilla.

Aspectos generales.

1. Introducción.

Como paso previo al inicio de los ensayos de lodos compostados de depuradora en olivar, es necesario conocer la abundante legislación que afecta directa y específicamente a la aplicación de estos residuos en usos agrícolas.

Otro aspecto importante es el conocimiento de la composición del compost de lodo de depuradora que queremos aplicar en campo; tanto parámetros referentes a contenidos de nutrientes, que nos servirán para la elección de las dosis agronómicas acertadas para un determinado cultivo, como los elementos perjudiciales (sales, metales pesados) que, a determinados niveles, podrían ser prohibitivos para su aplicación agrícola.

Es deseable que los análisis del residuo den una visión global de sus características y dinámica, incluyendo los intervalos de variación producidos en los distintos parámetros durante un período reciente, pero lo suficientemente amplio para que nos permita obtener resultados fiables.

En el desarrollo de este capítulo haremos un repaso a los aspectos legales que afectan al uso agrícola de los lodos de depuradora, así como un análisis de las tendencias futuras. Nos centraremos en la composición del compost a ensayar, tomando como punto de partida las características de las materias primas empleadas para su elaboración y dando un trato especial a los contenidos de metales pesados.

2. Aspectos legales referentes al uso agrícola de lodos de depuradora.

La gestión de los lodos de las depuradoras de aguas residuales urbanas tiene la peculiaridad, frente a otro tipo de residuos, de contar con unas normas específicas referentes a ciertos usos y posibilidades de reciclaje. En este sentido, la Directiva 86/278/CEE (DOCE, 1986), relativa a la protección del medio ambiente y en particular de los suelos en la utilización de los lodos de depuradora con fines agrícolas, regula las condiciones en que podrán ser aplicados éstos en suelos cultivables, para evitar posibles efectos nocivos sobre las aguas, el suelo, la vegetación, los animales y los propios seres humanos.

La citada Directiva, que está actualmente en vigor, prohíbe el empleo de lodos en agricultura que no hayan sufrido un tratamiento previo que establezca la materia orgánica contenida en el residuo y disminuya los riesgos de contaminación por microorganismos. Los requisitos que debe cumplir este tratamiento previo quedan sin especificar, aunque los procesos de compostaje parecen ser los más adecuados. La Directiva indica que la utilización de lodos en agricultura debe hacerse teniendo en cuenta las necesidades de nutrientes de los cultivos. También se establecen límites máximos de las concentraciones de metales pesados, tanto en los lodos (tabla III.1), como en el suelo receptor, distinguiendo si este presenta un pH mayor o menor a 7, hecho que afecta a la disponibilidad de metales en el suelo (tabla III.2), así como los aportes máximos de metales que se pueden aportar a un suelo en un período de 10 años (tabla III.1). Además, la Directiva 86/278/CEE exige un seguimiento de los suelos tratados con estos residuos así como de los lodos aplicados, y un control estadístico de los lodos producidos, composición y destino final.

Esta Directiva fue transpuesta a la legislación española por el Real Decreto 1310/1990 (BOE, 1990), en el que designa al Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación y a las autoridades responsables de las Comunidades Autónomas en esta misma materia como los organismos responsables en la aplicación y control de la citada Directiva. Una Orden posterior, la de 26 de Octubre de 1993 (BOE, 1993), sobre utilización de lodos de depuradora en agricultura, añade algunos cambios relativos al control de estos residuos en su uso agrícola.

Concentración en los lodos (mg kg ⁻¹)			Aporte máximo (kg ha ⁻¹ año ⁻¹)*
Metal	pH del suelo <7	pH del suelo >7	
Cadmio	20	40	0.15
Cromo	1000	1500	3
Cobre	1000	1750	12
Plomo	750	1200	15
Mercurio	16	25	0.10
Niquel	300	400	3
Zinc	2500	4000	30

Tabla III.1. Niveles máximos de metales para el uso agrícola de los lodos según la legislación Comunitaria (Directiva 86/278/CEE). (*) Aporte máximo calculado para un período de aplicación de 10 años.

Concentración en el suelo receptor (mg kg ⁻¹)		
Metal	pH del suelo <7	pH del suelo >7
Cadmio	1	3
Cromo	100	150
Cobre	50	210
Plomo	50	300
Mercurio	1	1.5
Niquel	30	112
Zinc	150	450

Tabla III.2. Niveles máximos de metales permitidos en el suelo receptor, para el uso agrícola de los lodos según la legislación Comunitaria (Directiva 86/278/CEE).

En la tabla III.3 se muestran los contenidos máximos de metales pesados en lodos de depuradora de uso agrícola, y los aportes máximos a realizar en un período de 20 años según la legislación de Estados Unidos (USEPA, 1993). Esta ley resulta poco restrictiva según McBride (1995).

En la actualidad La Comisión Europea está trabajando en la elaboración de una nueva Directiva que sustituirá a la 86/278/CEE y que tenderá a hacerla más restrictiva, tanto desde el punto de vista del control de los lodos de depuradora antes de su aplicación, como desde el del seguimiento de su dinámica en el suelo una vez aplicados (BOE, 2001).

Metal	Concentración en los lodos (mg kg ⁻¹)	Aporte máximo (kg ha ⁻¹ año ⁻¹)*
Arsénico (ppm)	75	2
Cadmio	85	1.9
Cromo	3000	150
Cobre	4300	75
Plomo	840	15
Mercurio	57	0.85
Molibdeno	75	0.90
Níquel	420	21
Selenio	100	5
Zinc	7500	140

Tabla III.3. Niveles máximos de metales para el uso agrícola de los lodos según la USEPA (USEPA, 1993). (*) Aporte máximo calculado para un período de aplicación de 20 años.

Según este nuevo borrador de Directiva se establecerían dos clases de compost y de material digerido cuyas concentraciones de metales pesados, requisitos de higienización y restricciones en cuanto a impurezas se presentan en la tabla III.4. El compost clase 1 será usado de acuerdo a los códigos de buenas prácticas agrícolas sin restricciones específicas, mientras que el compost clase 2 no será usado en cantidades superiores a 30 Mg ha⁻¹ de materia seca durante un período de tres años. Los niveles que se barajan son difícilmente alcanzables en la actualidad por la mayoría de los compost de lodos de depuradoras o de cualquier otro residuo orgánico. Sólo los enmendantes de suelo que actualmente cumplan los criterios para la concesión de la etiqueta ecológica (DOCE, 1997), expuestos en la tabla III.5, estarían en condiciones de cumplir la futura Directiva.

La aplicación de lodos de depuradora o de cualquier otro residuo debe cumplir la Directiva 91/676/CEE (DOCE, 1991b) relativa a la protección de las aguas contra la contaminación producida por nitratos utilizados en la agricultura, que propició la Orden de 27 de Junio de 2001 en la legislación regional andaluza (BOJA, 2001). Fundamentalmente se detallan las zonas con un mayor riesgo de contaminación por nitratos en Andalucía (zonas vulnerables), además de dar unas pautas de actuación en la aplicación de fertilizantes nitrogenados en cultivos leñosos, tendentes a un uso más racional de los mismos. Entre ellas podemos destacar:

- Se suprimirá el abonado nitrogenado en plantaciones en las que el análisis foliar haya dado concentraciones excesivas en hoja.
- Las aplicaciones de fertilizantes se realizarán en primavera o a finales del invierno.

Parámetro	Clase 1	Clase 2
Cadmio (mg kg ⁻¹)	0.7	1.5
Cromo (mg kg ⁻¹)	100	150
Cobre (mg kg ⁻¹)	100	150
Plomo (mg kg ⁻¹)	100	150
Mercurio (mg kg ⁻¹)	0.5	1
Niquel (mg kg ⁻¹)	50	75
Zinc (mg kg ⁻¹)	200	400
Impurezas >2mm	< 0.5% en peso	< 0.5% en peso
Grava y piedras >5mm	< 5% en peso	< 5% en peso
Semillas	< 3 semillas germinativas por litro	
<i>Salmonella streptocochi</i>	Ausente en 50 gr de compost	
<i>Clostridium perfringens</i>	Ausente en 1 gr de compost	

Tabla III.4. Clases de calidad medioambiental del compost y material digerido justo después de la fase de tratamiento y previo a cualquier mezcla con otros materiales. Normalizado a un nivel de materia orgánica del 30% (C.E.R., 2001).

Parámetro	Etiqueta Ecológica
Cadmio (mg kg ⁻¹)	1
Cromo (mg kg ⁻¹)	100
Cobre (mg kg ⁻¹)	100
Plomo (mg kg ⁻¹)	100
Mercurio (mg kg ⁻¹)	1
Niquel (mg kg ⁻¹)	50
Zinc (mg kg ⁻¹)	300
Mo (mg kg ⁻¹)*	2
Se (mg kg ⁻¹)*	1.5
As (mg kg ⁻¹)*	10
F (mg kg ⁻¹)*	200

Tabla III.5. Criterios ecológicos necesarios en cuanto a concentraciones de metales pesados en enmendantes de suelos, para la concesión de la etiqueta ecológica. (*) Sólo para productos generados en procesos industriales y para residuos sólidos municipales (DOCE, 1997).

En el caso del olivar de mesa y almazara se restringe el uso de abonos orgánicos al inicio del Otoño, lo que podría provocar, en casos de residuos orgánicos muy fácilmente degradables como es nuestro caso, cuantiosas pérdidas del nitrógeno nítrico más rápidamente mineralizado por lavado, aprovechando las altas precipitaciones que se suelen producir en nuestra región, en esta época del año. También se da una cifra de aplicación máxima de fertilización nitrogenada por unidad de producción para los cultivos más frecuentes en Andalucía, que para el caso del olivo de secano resulta de 14 kg de N por tonelada de aceitunas producidas.

En este sentido, la Directiva 91/676/CEE (DOCE, 1991b) propone que la cantidad de abono orgánico que se aplique al terreno, no contenga más de 170 kg ha⁻¹ año⁻¹ de nitrógeno.

Con la entrada en vigor de la Directiva 1999/31/CE (DOCE, 1999), relativa al vertido de residuos, los Estados miembros deben elaborar una estrategia nacional para reducir los residuos biodegradables que acaban en los vertederos. Para ello se propone una cadena de priorización de las actuaciones relativas al manejo y tratamiento de residuos, que tiene como primer escalón el fomento de la separación en origen y el reciclado, en segundo lugar se situaría el tratamiento de la fracción orgánica de esos residuos (compostaje, biometanización), dejando como opción última el depósito final en vertedero. Para ello, los residuos que se pretendan ubicar en vertederos controlados deberán de contener unos niveles de materia orgánica inferiores al 5% y haber sufrido obligatoriamente un pretratamiento mecánico o biológico que los estabilicen. Algunas de estas restricciones ya son aplicadas en la mayoría de Estados miembros de la Unión Europea (C.E.R., 2000).

De todo lo expuesto, parece que las tendencias a seguir en un futuro próximo por las plantas productoras de lodos de depuradora serán las de llevar a cabo las acciones necesarias para una producción más limpia de lodos, con el fin de que puedan ser objeto de un proceso de compostaje que de lugar a un producto de alta calidad, susceptible de ser empleado en suelos agrícolas.

3. Características del lodo de depuradora compostado utilizado.

El lodo compostado empleado en los ensayos procede de la mezcla de lodos producidos por seis depuradoras dependientes del Ayuntamiento de Madrid (Sur, Sur Oriental, Valdevas, Rejas, Butarque y La China) y pertenecientes al Plan de Saneamiento Integral de Madrid (PSIM).

Los lodos deshidratados procedentes de las depuradoras del PSIM, ya en la planta de tratamiento de "La Torrecilla", se disponían en eras de secado de unos 25 cm de espesor para conseguir una reducción de la humedad hasta situarla en valores comprendidos entre el 40 y el 60%. Cuando estos valores eran alcanzados, se iniciaba el proceso de compostaje aerobio bajo el sistema de pilas volteadas al aire libre y sin agente estructurante. Este proceso tenía una duración media de tres meses, realizándose volteos cada 15 días aproximadamente. Por último el compost pasaba por un proceso de maduración antes de su salida definitiva.

En la tabla III.6 se presentan los datos medios anuales de 37 análisis realizados por la empresa Beta Nutror S.A. al compost de lodo de depuradora durante el período de ensayo. En el año 1998 los análisis se realizaron cada dos meses, mientras que desde Enero de 1999 a Julio de 2001 las muestras se llevaron al laboratorio mensualmente. En lo que a metales pesados en el compost se refiere, los valores medios anuales están siempre por debajo de los requisitos legales establecidos incluso cuando se prevé el uso en suelos ácidos (BOE, 1990).

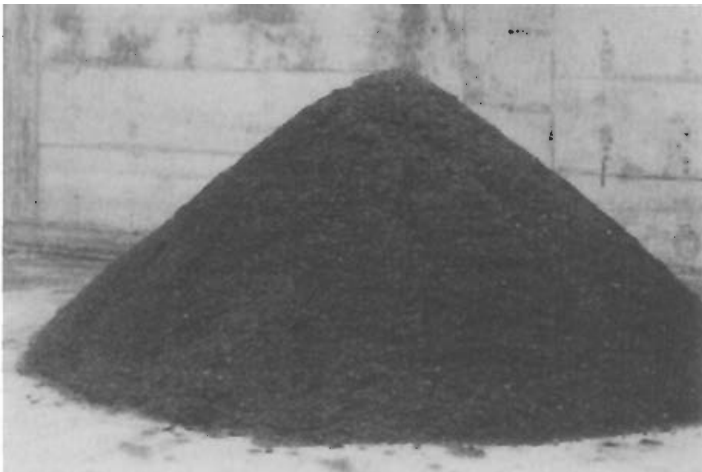
	1998	1999	2000	2001
Materia Seca (%)	79.2	81.0	81.5	83.2
M. O. (%)	38.8	34.3	35.9	32.4
PH	7.95	7.55	7.44	7.62
N org. (%)	2.63	2.26	1.87	1.95
P (P ₂ O ₅) (%)	1.97	1.85	4.81	2.05
K (K ₂ O) (%)	0.28	0.60	0.77	0.35
Ca (CaO) (%)	5.2	6.8		
Cd (mg kg⁻¹)	3.00	2.88	5.52	4.00
Cu (mg kg ⁻¹)	373	394	397	438
Ni (mg kg ⁻¹)	43.7	66.2	82.7	77.8
Pb (mg kg ⁻¹)	177	309	368	403
Zn (mg kg ⁻¹)	1214	1331	1679	1490
Hg (mg kg ⁻¹)		3.61	4.56	3.17
Cr (mg kg ⁻¹)	356	452	540	438

Tabla III.6. Caracterización de los lodos compostados de la planta "La Torrecilla". Valores medios correspondientes a análisis mensuales desde Enero de 1999 a Julio de 2001. En el año 1998 los análisis del compost de lodo se realizaron cada dos meses. Datos facilitados por la empresa BETA NUTROR S.A. Todos los valores están referidos a producto seco excepto la materia seca.

En cuanto a los parámetros agronómicos analizados en el lodo compostado (tabla III.6), observamos como hay una fuerte reducción de la humedad que los hacen más manejables y que les confieren una reducción de volumen importante respecto al lodo deshidratado. Las diferencias visuales entre un lodo fresco y uno compostado se pueden observar en las fotografías III.1 y III.2



Fotografía III.1. Lodos de depuradora frescos en proceso de deshidratación en una era de secado.



Fotografía III.2. Lodos de depuradora compostados con un aspecto parecido al de los estiércoles tradicionales.

En la tabla III.7 podemos apreciar los rangos de variación de los distintos elementos analizados en el lodo compostado de "La Torrecilla" durante el período de ensayo. Los parámetros agronómicos que mayor coeficiente de variación presentan son el fósforo y el potasio, mientras que la variabilidad de los metales pesados desciende según el siguiente orden: Cd>Hg>Cr>Pb>Ni>Cu>Zn.

En la tabla III.8 se presentan los datos analíticos de los compost de lodo de depuradora aplicados en los distintos tratamientos llevados a cabo durante los años 1998, 1999 y 2000 en olivar. Podemos observar como las concentraciones de los distintos elementos se ajustan bastante bien a los encontrados en las series mensuales recibidas de Beta Nutror S.A.

	V. Máximo	V. Mínimo	V. Medio	Mediana	C.V.
Materia Seca (%)	94.7	71.0	81.2	81.4	7.8
M. O. (%)	58.9	24.0	35.3	34.1	19.0
PH	8.50	6.30	7.59	7.70	6.98
N org. (%)	4.70	1.29	2.17	2.09	31.56
P (P ₂ O ₅) (%)	7.82	0.09	2.92	2.30	63.58
K (K ₂ O) (%)	2.80	0.10	0.48	0.37	115.80
Ca (CaO) (%)	8.4	3.5	5.7	5.6	32.0
Cd (mg kg ⁻¹)	11.90	0.26	3.97	3.33	62.46
Cu (mg kg ⁻¹)	760	141	399	409	29
Ni (mg kg ⁻¹)	124.0	22.0	69.9	71.0	32.1
Pb (mg kg ⁻¹)	665	86	321	330	40
Zn (mg kg ⁻¹)	2375	360	1454	1490	27
Hg (mg kg ⁻¹)	9.31	1.70	3.94	2.86	56.33
Cr (mg kg ⁻¹)	1310	104	463	405	54

Tabla III.7. Variaciones en la composición del lodo compostado de "La Torrecilla". Los parámetros estadísticos (valor máximo, valor mínimo, valor medio, mediana y coeficiente de variación) están calculados a partir de datos correspondientes al análisis de 37 muestras de compost de lodos de depuradora muestreados a lo largo del período de ensayos (1998-2001). Datos de BETA NUTROR S.A.

	1998	1999	2000
Materia Seca (%)	79.9	82.7	76.9
M.O. (%)	33.7	30.1	32.8
pH (1:2.5)	6.8	6.4	7.1
N org. (%)	2.3	2.2	2
C/N	8.6	8	9.6
C.E (dS/m)	5.85	6.48	4.85
P (P ₂ O ₅) (%)	4.2	2.5	3.7
K (K ₂ O) (%)	0.35	0.54	0.32
Ca (CaO) (%)	6.1	5.1	5.7
Mg (MgO) (%)	1.1	1.2	1.2
Na (%)	0.07	0.15	0.38
Fe (%)	1.4	1.5	1.4
Mn (mg kg ⁻¹)	115	190	181
Cd (mg kg ⁻¹)	6.73	1.28	3.42
Cu (mg kg ⁻¹)	165	362	277
Ni (mg kg ⁻¹)	47	53	67
Pb (mg kg ⁻¹)	353	454	477
Zn (mg kg ⁻¹)	1185	1130	1060
Hg (mg kg ⁻¹)	8.15	2.93	2.76
Cr (mg kg ⁻¹)	241	275	297

Tabla III.8. Características del compost de lodo de depuradora de "La Torrecilla" empleado en cada uno de los años de ensayos sobre olivar en Córdoba. Datos sobre materia seca excepto la materia seca.

4. Conclusiones.

El compost de lodos de depuradora de la planta de "La Torrecilla" en Madrid presenta unos contenidos de materia orgánica, nitrógeno y fósforo principalmente además de otros elementos esenciales para las plantas, que lo habilitan como mejorante de las propiedades físico-químicas del suelo. La baja humedad del residuo así como la ausencia de olores desagradables son otros factores que favorecen su aplicación agrícola.

Por el contrario, los niveles de metales pesados son relativamente altos en comparación con otros compost de lodos de origen doméstico. De hecho los contenidos medios de Pb, Cr y Zn superan ligeramente los límites propuestos por la Orden sobre Fertilizantes y Afines para los compost (BOE, 1998b). Sin embargo, el compost de "La Torrecilla" cumple los requisitos legales vigentes en cuanto a los niveles de metales pesados para su uso agrícola, incluso en suelos con pH inferior a 7.

CAPÍTULO IV. Efectos de la aplicación de lodos de depuradora compostados sobre las propiedades químicas del suelo.

1. Introducción.

En este capítulo se estudian los efectos de la aplicación de lodos de depuradora compostados sobre las propiedades químicas de un suelo típico de los olivares andaluces.

Los ensayos se centraron fundamentalmente en las parcelas experimentales de olivar en campo. También se realizó un seguimiento de los contenidos totales de metales pesados en suelo durante las campañas de ensayo para comprobar su dinámica en nuestras condiciones edafoclimáticas y de cultivo.

2. Descripción de las parcelas de ensayo y diseño experimental.

Los ensayos de campo fueron establecidos en dos parcelas experimentales (Visos I y Visos II) situadas en una finca de olivar de campiña del cv. Picual, ubicada al sureste de la ciudad de Córdoba y muy cercana a la misma (fotografía IV.1). Las coordenadas UTM de dicha finca son $X=342.979$ m, $Y=4.190.119$ m y una altura ortométrica media de 150 m. La extensión del olivar, que fue establecido en 1950, es de unas 65 has, siendo su marco de plantación de 12×12 m a dos pies (70 olivos ha^{-1}).

Los tratamientos ensayados en este estudio fueron:

UREA: 1 kg N árbol⁻¹ en forma de urea (46% de riqueza) incorporados en los 15 primeros cm de suelo con una labor de grada de discos. Este tratamiento representa al abonado tradicional del olivar. Aplicaciones de 1 kg N árbol⁻¹ han resultado satisfactorias en

olivar para mantener el nivel de este nutriente en hojas (Fernández-Escobar, 1997).

LODOS: 16 Mg ha⁻¹ (materia seca) de lodos de depuradora compostados incorporados en los 15 primeros cm de suelo. La dosis de 16 Mg ha⁻¹ de lodos compostados aporta una cantidad de N equivalente al abonado tradicional, si tenemos en cuenta el porcentaje de N total en el lodo y considerando una mineralización neta del 20% en el primer año (USEPA, 1983).

MIXTO: El nitrógeno se aportó en forma orgánica (lodos de depuradora) y mineral (urea). Se añadieron 8 Mg ha⁻¹ (materia seca) de lodos de depuradora compostados, más 0.5 kg N árbol⁻¹ en forma de urea incorporados en los 15 primeros cm de suelo.

CONTROL: Actuó como testigo sin abonar.



Fotografía IV.1. Fotografía aérea de la parcela de Los Visos en Córdoba (ICA, 1996) y situación de las parcelas experimentales Visos I y Visos II.

La caracterización de los lodos de depuradora compostados suministrados por la empresa Beta Nutror S.A., y empleados en los ensayos, se puede observar en el apartado 3 del capítulo III.

Parcela Experimental VISOS I

Equidistancia Curvas Nivel: 2 m

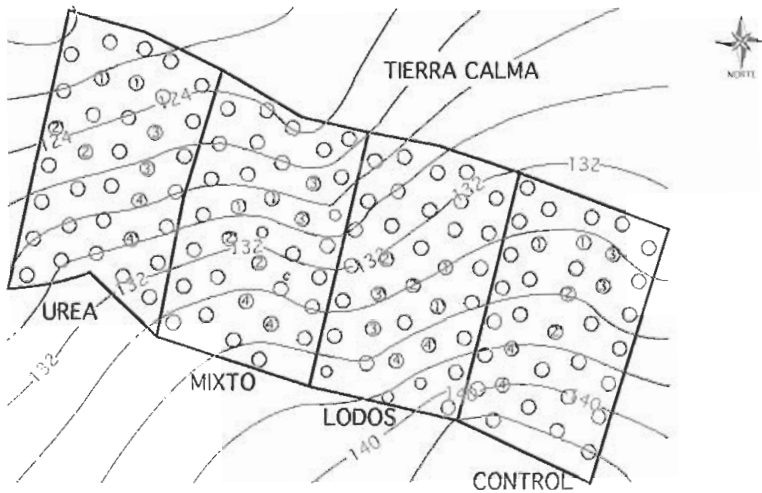


Figura IV.1. Esquema de la parcela experimental Visos I con subparcelas de 0.5 has y cuatro parejas de olivos controlados por subparcela (1-1', 2-2', 3-3' y 4-4').

La parcela experimental denominada Visos I se estableció en 1998 y consistió en la elección de cuatro subparcelas adyacentes de 0.5 has cada una (35 olivos). A cada una de ellas se le aplicó uno de los tratamientos, eligiéndose como parcelas elementales de estudio, 4 repeticiones de parejas de olivos por subparcela (figura IV.1). En Marzo de 1998 se realizó la primera aplicación de los tratamientos descritos anteriormente. El tamaño relativamente grande de las subparcelas nos permitió emplear una abonadora centrífuga de gran capacidad para la aplicación del compost de lodos de depuradora, mientras que la urea se aportó manualmente a los olivos pertenecientes a las distintas parejas controladas. La pendiente media de esta parcela fue del 14%. En Febrero de 1999 se realizó la segunda aplicación de los mismos tratamientos, aplicándose en esta ocasión los lodos compostados con un remolque estercolador (fotografía IV.2), ya que la abonadora centrífuga dio numerosos problemas de atascos con terrones de lodos el año anterior. Por su parte, con el remolque estercolador la distribución en campo fue más heterogénea, debido a la variación del lodo expulsado con la velocidad del tractor y con la cantidad de lodo remanente en el carro. En el año 2000 no se aplicaron los tratamientos anteriores, y los campos se utilizaron para estudiar los efectos residuales de la aplicación de lodos de depuradora compostados.



Fotografía IV.2. Remolque estercolador en plena aplicación de lodos de depuradora compostados en la parcela Visos I en el año 1999.

Parcela Experimental VISOS II

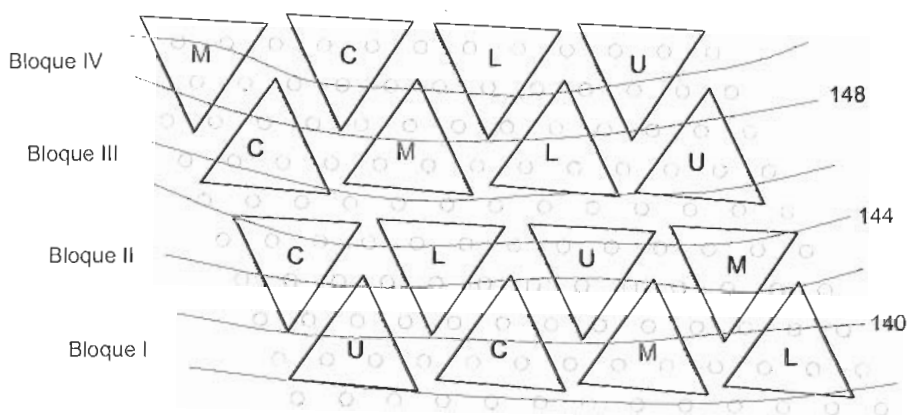


Figura IV.2. Esquema de la parcela experimental Visos II con parcelas elementales de 3 olivos. Bloques al azar con 4 tratamientos y 4 repeticiones por tratamiento.

En 1999 se estableció una segunda parcela experimental que denominamos Visos II, dentro de la misma finca de olivar (fotografía IV.1), con una pendiente homogénea del 15%. En esta segunda parcela se aplicaron los mismos 4 tratamientos ensayados en Visos I (LODOS, CONTROL, MIXTO, UREA), en Febrero de 1999 y 2000. El diseño experimental de esta parcela fue de bloques al azar, con 4 repeticiones por tratamiento,

estando la parcela elemental formada por tres olivos y dejando filas guarda entre las distintas parcelas elementales (figura IV.2). Tanto los lodos de depuradora compostados como la urea, se aplicaron de forma manual en los dos años de aplicación, debido al menor tamaño de las parcelas experimentales, siendo incorporados en los primeros 15 cm de suelo mediante un pase de grada de discos.

Las labores culturales en ambas parcelas experimentales consistieron en un pase de grada de discos de unos 15 cm de profundidad en Marzo, 2 pases de grada entre Abril y Junio y otra labor de grada de discos en Septiembre. A continuación, se dio un pase de grada de púas seguido de otro de rulo para preparar el suelo para la recolección. En Septiembre, después de acondicionar el terreno, se aplican herbicidas de preemergencia (simazina), que son complementados con aplicaciones posteriores de herbicidas de postemergencia (glifosato) según la vegetación. Todos los años se realizaron dos tratamientos foliares (primavera y principios de otoño) a base de fungicidas contra el repilo (*Spilocea oleagina*) e insecticidas. Las parcelas experimentales se podaron sólo en 1998.

2.1. Características del suelo.

El suelo de la finca de olivar donde se han llevado a cabo los ensayos, es un típico vertisol, desarrollado sobre margas del Mioceno, muy homogéneo. Se ha clasificado como Chromic Haploxererts (Soil Taxonomy, 1999). Por su posición y manejo sufre unos procesos erosivos intensos y sus principales características químicas se presentan en la tabla IV.1 para tres profundidades, que son válidas para las parcelas experimentales de Visos I y Visos II. Los valores de la columna marcada en la tabla IV.1, representan las concentraciones límite de metales pesados permitida en el suelo receptor, para un suelo de $\text{pH} > 7$ (Directiva 86/278/CEE).

	0-15	15-30	30-45	Límites suelo (*)
pH 1/2.5 en agua	8.40	8.39	8.42	
Arcilla (%)	48.3	48.6	49.2	
Arena (%)	17.2	16.7	15.9	
Limo (%)	34.5	34.7	34.9	
CIC (mmol kg ⁻¹)	2.59	2.60	2.58	
CO ₃ (% p/p)	31.37	32.06	32.46	
MO (% p/p)	1.02	0.83	0.71	
N Orgánico (%)	0.07	0.05	0.05	

	0-15	15-30	30-45	Límites suelo (*)
P disponible (mg kg ⁻¹)	5.2	2.3	1.9	
K disponible (mg kg ⁻¹)	419	286	241	
Ca disponible (mg kg ⁻¹)	1102	1093	1087	
Mg disponible (mg kg ⁻¹)	818	831	837	
salinidad (dS/m)	0.16	0.18	0.18	
Mn (mg kg ⁻¹)	271	263	253	
Cd (mg kg ⁻¹)	0.04	0.04	0.04	3
Cu (mg kg ⁻¹)	18.2	12.1	10.2	210
Cr (mg kg ⁻¹)	29.1	28.3	27.3	150
Hg (mg kg ⁻¹)	0.07	0.08	0.07	1.5
Ni (mg kg ⁻¹)	29.1	29.0	28.8	112
Zn (mg kg ⁻¹)	55	53	50	450
Pb (mg kg ⁻¹)	33.6	33.7	27.4	300

Tabla IV.1. Características químicas del suelo de las parcelas de experimentación (Visos I y Visos II) a tres profundidades (0-15, 15-30, 30-45 cm). (*) Límite de metales pesados máximo para la aplicación de lodos en suelos con pH > 7, Directiva 86/278/CEE (DOCE, 1986).

Debemos destacar el bajo contenido en materia orgánica que apenas supera el 1% en el horizonte superficial y la abundancia de carbonato cálcico. El pH básico del suelo nos permite unos márgenes de aplicación de metales pesados más amplios. Podemos observar como el contenido de los distintos metales pesados en el suelo es muy pequeño, lo que lo hace apto para la aplicación de lodos de depuradora. En cuanto a la fertilidad de estos suelos ambos presentan un buen nivel de potasio asimilable en el horizonte superficial, siendo deficientes tanto su contenido en fósforo disponible como su porcentaje en nitrógeno orgánico.

2.2. Muestras de suelo efectuados en las parcelas experimentales y análisis realizados.

Los muestreos de suelo se realizaron a tres profundidades (0-15, 15-30 y 30-45 cm) con una barrena Viechmeyer o con un martillo percutor con tomamuestras (fotografía IV.3), dependiendo de la dureza del terreno. Se tomaron muestras compuestas (al menos 3 puntos al azar) de cada unidad experimental en ambas parcelas, se introdujeron en bolsas de plástico y se trasladaron al laboratorio. En los muestreos realizados al final de cada cosecha (tabla IV.2), el suelo se secó al aire y se tamizó con un tamiz de 2 mm procediéndose a la determinación química del pH, capacidad de intercambio catiónico, Ca, Mg,

Na y K intercambiables, materia orgánica, nitrógeno orgánico, fósforo y potasio disponibles, conductividad eléctrica, Mn, Cd, Cu, Hg, Zn y Pb totales. También se realizaron muestreos específicos para la determinación del nitrógeno inorgánico (NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+) en distintas fechas (tabla IV.2).



Fotografía IV.3. Recogida de muestras de suelo con un martillo percutor con toma-muestras adaptado.

Fecha	Visos I	Visos II
Enero-98	caracterización inicial *	
Enero-99	final 1ª cosecha * N- al final de la 1ª aplicación de lodos **	caracterización inicial *
Mayo-99	N- tras 2ª aplicación de lodos **	
Enero-00	final 2ª cosecha *	final 1ª cosecha *
Febrero-00	N- al final de la 2ª aplicación de lodos **	
Enero-01	final 3ª cosecha *	final 2ª cosecha *
Marzo-01	N- residual al final del ensayo **	N- residual al final del ensayo **

Tabla IV.2. Fechas de los muestreos de suelo efectuados. (*) Muestreos para análisis de suelos al finalizar la cosecha. (**) Muestreos para análisis de nitrógeno inorgánico.

2.3. Precipitaciones registradas.

Las precipitaciones mensuales registradas en Córdoba durante el seguimiento de los ensayos se presentan en la tabla IV.3.

año	mes	Precipitaciones (mm)	año	mes	Precipitaciones (mm)
1998	ene-98	42	2000	ene-00	24.1
	feb-98	77.4		feb-00	0.2
	mar-98	25.9		mar-00	35
	abr-98	38.2		abr-00	136.6
	may-98	111		may-00	40.6
	jun-98	11.1		jun-00	0.5
	jul-98	0.2		jul-00	0.1
	ago-98	0		ago-00	0
	sep-98	48.4		sep-00	6.6
	oct-98	6.6		oct-00	40.8
	nov-98	30.3		nov-00	77.7
	dic-98	18.6		dic-00	169.7
1999	ene-99	30.4	2001	feb-01	27.7
	ene-01	135.5		mar-01	197.1
	feb-99	14.9		abr-01	15.5
	mar-99	28.5		may-01	50.6
	abr-99	38.9		jun-01	0.9
	may-99	6.9		jul-01	0.4
	jun-99	0.3			
	jul-99	0			
	ago-99	1.8			
	sep-99	64.1			
	oct-99	194.5			
	nov-99	37.1			
dic-99	48.9				

Tabla IV.3 Precipitaciones registradas. Fuente: Instituto Nacional de Meteorología, Centro Territorial de Andalucía Occidental y Ceuta. Estación del Aeropuerto (Córdoba).

2.4. Análisis estadístico de los resultados.

Para la evaluación estadística de los resultados de las propiedades químicas del suelo, se empleó el análisis general de la varianza, adaptándonos a cada diseño experimental (diseño completamente aleato-

rio en Visos I y bloques completos al azar en Visos II) y con un nivel de significación inferior al 5% ($p < 0.05$). Para la separación de medias se usó la prueba de rango múltiple de Duncan (Little y Hills, 1972). El análisis estadístico descrito fue empleado en el resto de resultados obtenidos en este estudio.

3. Efectos de la aplicación de lodos de depuradora compostados sobre la composición química del suelo.

3.1. Efectos sobre el pH.

Parece claro que las enmiendas orgánicas tienden a elevar el pH de los suelos receptores cuando se aplican a suelos ácidos (Scanlon et al., 1973; He et al., 1992; Cavallaro et al., 1993; Quinteiro et al., 1998). Cuando el suelo receptor es básico o ligeramente calcáreo, hay autores que no observan cambios en el pH debido a la aplicación de enmiendas orgánicas (Gupta et al., 1975; King et al., 1977; Murillo et al., 1989) mientras que otros obtienen disminuciones del pH (Tester, 1990; Al-Wabel et al., 1998).

Fecha	Horizonte cm	Parcela Visos I				Parcela Visos II			
		U	M	L	C	U	M	L	C
ene-99	0-15	8.37	8.33	8.23	8.42				
	15-30	8.49	8.40	8.30	8.56				
	30-45	8.57	8.53	8.38	8.25				
ene-00	0-15	8.37	8.31	8.29	8.53	8.45	8.34	8.37	8.44
	15-30	8.36	8.29	8.31	8.50	8.32	8.32	8.25	8.41
	30-45	8.38	8.37	8.31	8.51	8.29	8.37	8.29	8.29
ene-01	0-15	8.47	8.40	8.37	8.42	8.36	8.24	8.27	8.33
	15-30	8.47	8.42	8.38	8.40	8.39	8.32	8.28	8.20
	30-45	8.54	8.51	8.50	8.40	8.37	8.34	8.32	8.30

Tabla IV.4. Análisis de pH (extracto 1:2.5 en H₂O) en suelo de Visos I en 1999, 2000 y 2001, y Visos II en 2000 y 2001, a tres profundidades (0-15, 15-30 y 30-45 cm). C-Control, U-Urea, M-Mixto, L-Lodos.

En nuestro caso se han registrado disminuciones de los valores de pH en todos los muestreos de suelo realizados en las parcelas Visos I y Visos II en el horizonte más superficial (0-15 cm) en los tratamientos en los que se aplicaron lodos compostados (LODOS y MIXTO), aunque no son diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) (tabla IV.4). La ligera acidificación del medio está justificada por la

mineralización de la materia orgánica con liberación de CO₂ y ácidos orgánicos, y por los procesos de nitrificación del amonio con liberación de hidrogeniones (Díaz-Burgos, 1990; Beloso, 1991)

3.2. Efectos sobre la conductividad eléctrica.

La incorporación de residuos orgánicos al suelo ocasiona aumentos en la conductividad eléctrica (CE) del mismo, especialmente cuando se utilizan dosis altas (Gallardo-Lara y Nogales, 1987; Genevini et al., 1991; Bernal et al., 1992; Hernández et al., 1992; Climent et al., 1996). La acumulación de sales aportadas por los lodos de depuradora puede tener un especial interés en zonas semiáridas donde el efecto de lavado por lluvias sea escaso.

En la tabla IV.5 podemos observar como hay mayores niveles de CE en los tratamientos en los que se aportan lodos compostados. En la parcela Visos I en el año 1999, la acumulación de sales se produjo en los horizontes superficiales (0-15 y 15-30 cm) encontrándose diferencias significativas ($p < 0.05$) debido a que en el Otoño de 1998 las precipitaciones registradas fueron escasas (ver tabla IV.3).

Fecha	Horizonte	Parcela Visos I				Parcela Visos II			
		cm	U	M	L	C	U	M	L
ene-99	0-15	0.16 bc	0.18 b	0.24 a	0.14 c				
	15-30	0.15 c	0.19 b	0.23 a	0.15 c				
	30-45	0.15	0.19	0.21	0.15				
ene-00	0-15	0.16	0.21	0.20	0.16	0.15	0.19	0.21	0.16
	15-30	0.21	0.24	0.21	0.18	0.23	0.26	0.24	0.19
	30-45	0.21	0.27	0.24	0.20	0.20 ab*	0.25 a*	0.25 a*	0.18 b*
ene-01	0-15	0.14	0.14	0.14	0.15	0.15	0.17	0.18	0.14
	15-30	0.14	0.16	0.15	0.15	0.17 b	0.21 ab	0.24 a	0.15 b
	30-45	0.16	0.21	0.22	0.16	0.19 ab	0.23 ab	0.26 a	0.17 b

Tabla IV.5. Análisis de la CE (dS m⁻¹) en el extracto de saturación del suelo de Visos I en 1999, 2000 y 2001, y Visos II en 2000 y 2001, a tres profundidades. Valores seguidos de letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos al nivel $p < 0.05$. (*) Indica que las diferencias son significativas al nivel $p < 0.10$. C-Control, U-Urea, M-Mixto, L-Lodos.

En los años 2000 y 2001 los valores más altos de CE se observaron en el horizonte más profundo (30-45 cm) tanto en la parcela Visos I como en Visos II, encontrándose en esta última parcela diferencias significativas en el año 2000 ($p < 0.10$) y en el 2001 ($p < 0.05$). La acumulación de sales en este último horizonte muestreado ha sido debida a un

proceso de lavado ya descrito por otros autores (Al-Wabel *et al.*, 1998). En el año 2001 en la parcela Visos I, año de estudio de los efectos residuales producidos por las dos enmiendas de lodos de depuradora compostados aportadas en 1998 y 1999, se observa una reducción de CE en todo el perfil de suelo, aunque más acentuada en los dos horizontes más superficiales (tabla IV.5).

Los valores de CE alcanzados son bastante moderados, sobre todo si tenemos en cuenta la relativa tolerancia del olivo a la salinidad. Por ejemplo, se estima que para valores de CE de 4 dS m⁻¹, sólo se producen reducciones del 10% en producción (Freeman *et al.*, 1994).

3.3. Efectos sobre la materia orgánica.

El uso de residuos orgánicos en agricultura mantiene unos niveles de materia orgánica mayores que la fertilización inorgánica (Burgos *et al.*, 2001). Este hecho es especialmente importante en Andalucía donde los niveles de materia orgánica en suelos agrícolas son normalmente inferiores al 1% (Costa *et al.*, 1991).

La tabla IV.6 muestra los resultados de los análisis de materia orgánica oxidable realizados en las parcelas de ensayo a lo largo de tres horizontes. En el horizonte superficial (0-15 cm) los contenidos en materia orgánica son siempre muy superiores en el tratamiento LODOS, seguido del MIXTO. Por otra parte, no hay diferencias en el contenido de materia orgánica entre el tratamiento CONTROL y los suelos tratados con fertilizantes químicos (UREA), hecho éste que ya fue comprobado por otros autores (Díaz-Marcote, 1994; Hayes *et al.*, 1994).

Fecha	Horizonte	Parcela Visos I				Parcela Visos II			
		U	M	L	C	U	M	L	C
ene-99	0-15	1.09 c	1.25 b	1.45 a	1.12 c				
	15-30	0.92	0.92	1.03	0.94				
	30-45	0.82	0.78	0.86	0.85				
ene-00	0-15	1.07 c	1.53 b	1.93 a	1.10 c	1.05 c	1.56 b	2.05 a	1.12 c
	15-30	0.97	0.79	0.97	0.91	0.91	0.79	0.96	0.83
	30-45	0.72	0.69	0.83	0.77	0.86	0.73	0.84	0.85
ene-01	0-15	1.10 c	1.45 b	1.91 a	1.05 c	1.04 c	1.93 b	2.57 a	1.02 c
	15-30	0.90	0.99	1.03	0.85	0.73	0.97	1.05	0.81
	30-45	0.80	0.67	0.69	0.81	0.63	0.80	0.70	0.73

Tabla IV.6. Análisis de Materia Orgánica (%) en suelo de Visos I en 1999, 2000 y 2001, y Visos II en 2000 y 2001, a tres profundidades. Valores seguidos de letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos al nivel $p < 0.05$. C-Control, U-Urea, M-Mixto, L-Lodos.

En horizontes más profundos (15-30 y 30-45 cm) los contenidos de materia orgánica en el suelo no presentan diferencias significativas, aunque se pueden observar pequeños aumentos de este elemento en el horizonte de 15 a 30 cm debidos a procesos de migración de materia orgánica a horizontes inferiores (Hernández, 1989) o simplemente a labores de grada de discos demasiado profundas.

En un suelo con una densidad aparente de $1,2 \text{ Mg m}^{-3}$ y en el que no hubiese mineralización, podríamos obtener aumentos de materia orgánica anuales de 0,27% con la simple incorporación de 20 Mg ha^{-1} , en los 15 cm superficiales, de un lodo compostado con un contenido medio del 30% de materia orgánica.

Evidentemente los aumentos en materia orgánica obtenidos en las parcelas debidos al aporte de lodos de depuradora compostados son excesivos, y se podrían explicar por una mala distribución en cada parcela experimental del residuo orgánico, que se acumuló en las zonas donde se iba a realizar el seguimiento químico. Esta acumulación es especialmente acusada en la parcela Visos II, en la que se descargaban los lodos en montones en el centro de las parcelas experimentales (zona de muestreo) para posteriormente distribuirlos a mano.

Fecha	Horizonte cm	Parcela Visos I				Parcela Visos II			
		U	M	L	C	U	M	L	C
ene-99	0-15	0.07	0.07	0.08	0.07				
	15-30	0.06	0.05	0.06	0.06				
	30-45	0.05	0.05	0.05	0.05				
Ene-00	0-15	0.07	0.07	0.08	0.07	0.06	0.07	0.08	0.07
	15-30	0.04	0.05	0.06	0.04	0.05	0.05	0.05	0.07
	30-45	0.05	0.05	0.05	0.04	0.05	0.06	0.05	0.06
Ene-01	0-15	0.06 a	0.07 a	0.09 b	0.07 a	0.06 c	0.08 ab	0.09 a	0.07 bc
	15-30	0.05	0.05	0.06	0.06	0.05	0.05	0.05	0.05
	30-45	0.04	0.04	0.05	0.05	0.04	0.04	0.05	0.05

Tabla IV.7. Análisis de Nitrógeno Orgánico (%) en suelo de Visos I en 1999, 2000 y 2001, y Visos II en 2000 y 2001, a tres profundidades. Valores seguidos de letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos al nivel $p < 0.05$. C-Control, U-Urea, M-Mixto, L-Lodos.

La aplicación de residuos orgánicos al suelo por lo general hace aumentar los niveles de materia orgánica (Sierra *et al.*, 1994; Madejón, 1996). Hay numerosos trabajos en los que se obtienen aumentos de materia orgánica en el suelo tras la aplicación de compost de residuos

sólidos urbanos (Lax *et al.*, 1990; Climent *et al.*, 1994a; Aguilar y González, 1998; Burgos *et al.*, 2001). Con lodos de depuradora sin compostar Polo (1997) y Quinteiro *et al.* (1998) obtienen aumentos significativos. Delgado *et al.* (2001) obtuvieron aumentos del 0.19% tras la aplicación de 8 Mg ha⁻¹ de compost de lodos de depuradora.

3.4. Efectos sobre el contenido de nitrógeno orgánico.

En la tabla IV.7 podemos ver los resultados de los análisis de suelo correspondientes a nitrógeno orgánico en las parcelas de ensayo. Los contenidos de nitrógeno orgánico presentan un comportamiento similar al mostrado por la materia orgánica (tabla IV.6), aunque en esta ocasión sólo se han obtenido diferencias significativas ($p < 0.05$) en el año 2001, en el horizonte de 0 a 15 cm y para las parcelas Visos I y Visos II.

3.5. Efectos sobre el contenido de fósforo disponible.

Las posibilidades de los lodos de depuradora como fertilizantes fosforados han sido comprobadas en diversos estudios (Coker *et al.*, 1982; Pomares *et al.*, 1987; Verdú *et al.*, 1992; Ayuso *et al.*, 1992b; Canet *et al.*, 1996; Coutinho *et al.*, 1997). Entre el 65 y el 85% del fósforo aportado por los lodos compostados de depuradora se encuentra en formas inorgánicas (Sommers y Sotton, 1980) adsorbido en óxidos e hidróxidos de hierro, aluminio o calcio o formando fosfatos insolubles de metales pesados. El resto del fósforo contenido en el residuo está en forma orgánica, por tanto debe sufrir un proceso de mineralización antes de pasar a formas asimilables por los cultivos. Se considera que este fósforo orgánico se mineraliza a concentraciones superiores al 0.3% (Dalal, 1977) y a relaciones carbono-fósforo (C/P) inferiores a 200 (Stevenson, 1985), aspectos ambos que cumplen los lodos de depuradora compostados utilizados en los ensayos.

Los contenidos de fósforo disponible (método Olsen) registrados en las parcelas de ensayo (tabla IV.8) han sido siempre significativamente superiores ($p < 0.05$) en el tratamiento LODOS seguido por el MIXTO. Los contenidos más bajos se dieron en los tratamientos UREA y CONTROL. La diferencia en el contenido de este parámetro es especialmente notable en la capa superficial, donde el suelo pasó de unos niveles francamente deficientes ($< 6.5 \text{ mg kg}^{-1}$) a valores que superaron los 20 mg kg⁻¹.

En los horizontes más profundos (15-30 y 30-45 cm) los contenidos de fósforo disponible arrojan diferencias mucho menores entre los distintos tratamientos ensayados, aunque en la parcela Visos I los incre-

mentos de fósforo siguen siendo significativos en el horizonte de 15 a 30 cm, excepto en el año de estudio de efectos residuales (año 2001). La escasa movilidad de los iones fosfato en el suelo, comprobada por Ordóñez *et al.* (1996) para residuos de naturaleza orgánica, podría ser la causa de que las diferencias no fueran tan acusadas en profundidad.

Fecha	Horizonte	Parcela Visos I				Parcela Visos II			
		U	M	L	C	U	M	L	C
Ene-99	0-15	6.6 c	14.1 b	24.3 a	7.7 c				
	15-30	3.4 b	3.4 b	8.2 a	3.9 b				
	30-45	1.2	1.9	2.8	2.9				
Ene-00	0-15	6.1 b	12.1 ab	19.8 a	4.8 b	3.4 c	11.4 b	18.9 a	2.7 c
	15-30	2.7 b	2.9 b	5.5 a	2.1 b	1.8	2.1	4.0	1.4
	30-45	2.3 b	2.1 b	3.4 a	1.6 b	1.2	1.7	2.3	1.5
Ene-01	0-15	4.9 b	22.9 a	33.7 a	4.8 b	4.1 b	31.5 a	36.8 a	5.3 b
	15-30	1.5	3.2	4.0	2.0	1.4	2.6	3.6	1.7
	30-45	1.3	1.8	2.1	1.6	1.2	1.88	1.4	1.2

Tabla IV.8. Análisis de fósforo disponible (Olsen) (mg kg^{-1}) en suelo de Visos I en 1999, 2000 y 2001, y Visos II en 2000 y 2001, a tres profundidades. Valores seguidos de letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos al nivel $p < 0.05$. C-Control, U-Urea, M-Mixto, L-Lodos.

Los contenidos de fósforo disponible encontrados por Polo *et al.*, (1997) en el perfil de suelo tras aplicar dosis de 40 y 80 Mg ha^{-1} de lodos deshidratados de depuradora a un suelo franco en Córdoba, presentan unas tendencias muy similares a los resultados de nuestros ensayos.

3.6. Efectos sobre el contenido de potasio disponible.

La cantidad de potasio aportado por el lodo no es muy importante. Si a esto le unimos que se encuentra asociado a formas orgánicas, se justifica que el aumento observado en las parcelas tratadas no sea estadísticamente significativo con respecto al CONTROL o a la parcela sometida a fertilización inorgánica (UREA) (datos no presentados). Este hecho ha sido ya puesto de manifiesto por otros autores que emplearon lodos de depuradora como enmienda orgánica (Canet *et al.*, 1996; Polo, 1997).

3.7. Efectos sobre la capacidad de intercambio catiónico y bases de intercambio.

La relación entre la materia orgánica y la capacidad de intercambio catiónico ha sido contrastada por Cegarra *et al.* (1983); Roig *et al.*

(1988); Leimweber *et al.* (1993); Climent *et al.* (1994b) y Madejón (1996). El aumento de la capacidad de intercambio catiónico está relacionado, además de con la cantidad, con la calidad de la materia orgánica del suelo (Harada e Inoko, 1975; Duchaufour, 1984). Piccolo *et al.* (1992) notaron incrementos en la capacidad de intercambio catiónico de un suelo tras la aplicación de lodos compostados de depuradora, observando una correlación positiva entre ese aumento y la fracción humificada de carbono en el suelo.

No hay diferencias entre los distintos tratamientos durante el período de ensayos en ninguna de las parcelas, ni en ninguna de las profundidades muestreadas (datos no presentados). La alta capacidad de intercambio catiónico del suelo arcilloso original unida a las dosis relativamente pequeñas de lodos de depuradora compostados aportados podrían ser la clave de la ausencia de resultados en cuanto a la mejora de este parámetro indicador de la fertilidad del suelo agrícola.

En este sentido Hortenstine y Rothwell (1968), citados por Gallardo-Lara y Nogales (1987), obtuvieron aumentos apreciables de la capacidad de intercambio catiónico en un suelo arenoso con dosis de residuos sólidos urbanos compostados muy altas (entre 128 y 512 Mg ha⁻¹), mientras que a dosis menores (entre 8 y 32 Mg ha⁻¹) no registraron diferencias. Polo (1997) observó aumentos en la capacidad de intercambio catiónico de un suelo franco enmendado con lodos deshidratados de depuradora únicamente con la dosis más alta de 80 Mg ha⁻¹.

Por otra parte, pese a los altos contenidos de magnesio y sobre todo de calcio contenidos en el residuo orgánico aportado al suelo de olivar, no hay una tendencia clara al aumento de estos cationes en el complejo de cambio en los tratamientos LODOS y MIXTO, ni siquiera, en el horizonte más superficial (datos no presentados). Seguramente los altos contenidos iniciales de calcio y magnesio intercambiables han provocado la ausencia de diferencias entre tratamientos, cosa que ya le sucedió a Madejón (1996) trabajando con distintos compost de vinaza de remolacha.

En el caso del potasio intercambiable (tabla IV.9), tampoco se observan diferencias achacables a la aplicación de lodos de depuradora entre los tratamientos. Los contenidos de este nutriente en los lodos de depuradora son muy pequeños, aunque como en todos los residuos orgánicos compostados está fácilmente disponible (Mustin, 1987; Hernando *et al.*, 1989). Las diferencias significativas encontradas en el año 2001 en la parcela Visos I podrían ser debidas más a la

ubicación de las parcelas experimentales que a los propios tratamientos ensayados, por lo que no se tendrán en cuenta.

Al igual que en caso del calcio y magnesio, los contenidos iniciales muy altos de potasio en el suelo han podido propiciar la ausencia de incrementos de los contenidos de potasio intercambiable en los tratamientos con aplicación de lodos compostados.

Fecha	Horizonte	Parcela Visos I				Parcela Visos II			
		cm	U	M	L	C	U	M	L
ene-99	0-15	0.12	0.12	0.118	0.10				
	15-30	0.09	0.09	0.08	0.06				
	30-45	0.07	0.08	0.06	0.05				
ene-00	0-15	0.12	0.10	0.10	0.10	0.09	0.09	0.10	0.09
	15-30	0.09	0.07	0.07	0.06	0.06	0.06	0.07	0.07
	30-45	0.08	0.07	0.06	0.05	0.06	0.06	0.05	0.06
ene-01	0-15	0.12 a	0.12 a	0.11 ab	0.09 b	0.09	0.10	0.09	0.11
	15-30	0.099 a	0.08 ab	0.06 bc	0.06 c	0.06	0.06	0.06	0.07
	30-45	0.07 a	0.07 a	0.05 b	0.05 b	0.05	0.05	0.05	0.06

Tabla IV.9. Análisis del potasio intercambiable (mmol kg^{-1}) en suelo de Visos I en 1999, 2000 y 2001, y Visos II en 2000 y 2001, a tres profundidades. Valores seguidos de letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos al nivel $p < 0.05$. C-Control, U-Urea, M-Mixto, L-Lodos.

Fecha	Horizonte	Parcela Visos I				Parcela Visos II			
		cm	U	M	L	C	U	M	L
ene-99	0-15	0.04	0.05	0.03	0.02				
	15-30	0.04	0.06	0.04	0.03				
	30-45	0.06	0.07	0.04	0.04				
ene-00	0-15	0.03	0.04	0.03	0.03	0.03	0.04	0.03	0.03
	15-30	0.05	0.07	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04
	30-45	0.06	0.07	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
ene-01	0-15	0.04	0.03	0.03	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03
	15-30	0.05 ab	0.07 a	0.04 b	0.03 b	0.04	0.04	0.04	0.03
	30-45	0.09	0.10	0.05	0.04	0.05	0.04	0.04	0.04

Tabla IV.10. Análisis del sodio intercambiable (mmol kg^{-1}) en suelo de Visos I en 1999, 2000 y 2001, y Visos II en 2000 y 2001, a tres profundidades (0-15, 15-30 y 30-45 cm). Valores seguidos de letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos al nivel $p < 0.05$. C-Control, U-Urea, M-Mixto, L-Lodos.

En el caso del sodio de intercambio (tabla IV.10) tampoco existen diferencias debidas a los distintos tratamientos empleados, resultados que coinciden con los obtenidos por Canet *et al.* (1996). El porcentaje de sodio sobre el total de la suma de bases cambiables nunca superó el 4%, por lo que el riesgo de salinización del suelo por aporte de lodos compostados de depuradora resulta bastante improbable en nuestro caso.

Las diferencias estadísticamente significativas del contenido de sodio intercambiable encontradas en la parcela Visos I en el año 2001, pueden ser debidas, como en el caso de potasio de intercambio, a la ubicación de las parcelas y no a los tratamientos. En cualquier caso, las concentraciones de sodio de intercambio en el suelo no son preocupantes.

La falta de diferencias en calcio, magnesio, potasio y sodio entre las parcelas tratadas con lodos de depuradora compostados fueron observadas anteriormente por Gómez *et al.* (1994) en un ensayo en macetas con aportaciones de lodos de depuradora anaerobios y secados en eras de 20, 60 y 100 Mg ha⁻¹.

3.8. Efectos sobre el nitrógeno inorgánico.

La figura IV.3 representa el contenido de nitrógeno nítrico y amoniacal en el perfil del suelo en la parcela Visos I para los distintos tratamientos objeto del estudio, a lo largo de las tres campañas agrícolas. Los muestreos se realizaron al final de cada campaña, introduciendo uno adicional en la primavera de 1999 (Enero 1999, Mayo 1999, Febrero 2000 y Marzo de 2001). En los muestreos de Mayo de 1999 y Febrero de 2000 sólo disponemos de los datos de nitrógeno inorgánico correspondientes a la parcela testigo (CONTROL) y la enmendada con 20 Mg ha⁻¹ de lodos compostados de depuradora (LODOS).

En Enero de 1999, tras una aplicación de los distintos tratamientos en Marzo de 1998, se observa un incremento significativo ($p < 0.05$) en la concentración de nitrógeno nítrico en todo el perfil de suelo en las parcelas abonadas con el residuo. Los contenidos en el perfil están directamente relacionados con la dosis de lodos aplicada, siendo el tratamiento LODOS el que alcanza niveles más altos (hasta 45 mg kg⁻¹), mientras el MIXTO llega a contenidos de 24 mg kg⁻¹. No hubo diferencias entre los tratamientos UREA y CONTROL, donde se registraron los menores contenidos de este anión. Los escasos contenidos de nitrógeno inorgánico en el tratamiento UREA se debe a que la aplicación del fertilizante se realizaba alrededor del olivo, lo que quedaba fuera de la zona de muestreo.

El análisis de Mayo de 1999 se realizó tras la segunda aplicación (Febrero de 1999) de lodos compostados en la parcela de los Visos I. Las diferencias entre el tratamiento LODOS y CONTROL siguen siendo significativas en todos los horizontes muestreados ($p < 0.05$), disminuyendo la concentración de nitrógeno nítrico en el tratamiento lodos con la profundidad. Esta dinámica coincide con la registrada por Polo *et al.* (1998) en un suelo aluvial al que durante dos años consecutivos se le estuvo aplicando lodos de depuradora deshidratados.

En Febrero de 2000 el contenido de nitratos desciende drásticamente en los horizontes superficiales, aumentando su concentración en el horizonte más profundo. Esto indica que ha existido un acusado proceso de lavado de este anión, debido a las cuantiosas lluvias registradas en el Otoño e Invierno de 1999, que alcanzaron los 370 mm (ver tabla IV.3). Los niveles de nitrógeno nítrico en el horizonte de 30 a 45 cm fueron aproximadamente el doble de los registrados en Mayo de 1999. En este muestreo sólo se observaron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre LODOS y CONTROL en los horizontes más profundos (15-30 y 30-45 cm). Cabe recordar que en el año 2000 no se aportó tratamiento alguno a las parcelas experimentales, dedicándose al estudio de los efectos residuales tras dos enmiendas orgánicas anuales consecutivas.

El último análisis de nitrógeno nítrico en la parcela Visos I se realizó en Marzo de 2001 para los 4 tratamientos, no obteniéndose diferencias entre ellos en el perfil de suelo. Hay un acusado descenso de los niveles de nitratos en el suelo, debido al cese de los aportes de nitrógeno mediante los distintos tratamientos y a los procesos de lixiviación. Hay que tener en cuenta que este mes fue especialmente lluvioso con cerca de 200 mm de lluvia (ver tabla IV.3).

En lo que se refiere al nitrógeno amoniacal en la parcela Visos I (figura IV.3), no se aprecian diferencias significativas en la concentración de este catión para los muestreos de Enero de 1999 y Febrero de 2000, siendo los valores de este parámetro sensiblemente menores a los estimados para el nitrógeno nítrico. Las condiciones de humedad y temperatura del suelo a lo largo del ensayo y la buena aireación del terreno en los horizontes superficiales debido a las continuas labores realizadas, han podido provocar pérdidas de amoníaco por volatilización y por oxidación a nitrógeno nítrico.

La escasa movilidad de este elemento en el perfil, ya observada por Polo *et al.* (1994) en un ensayo de lixiviación en columnas, queda patente en los resultados de Mayo de 1999 donde se aprecia un incre-

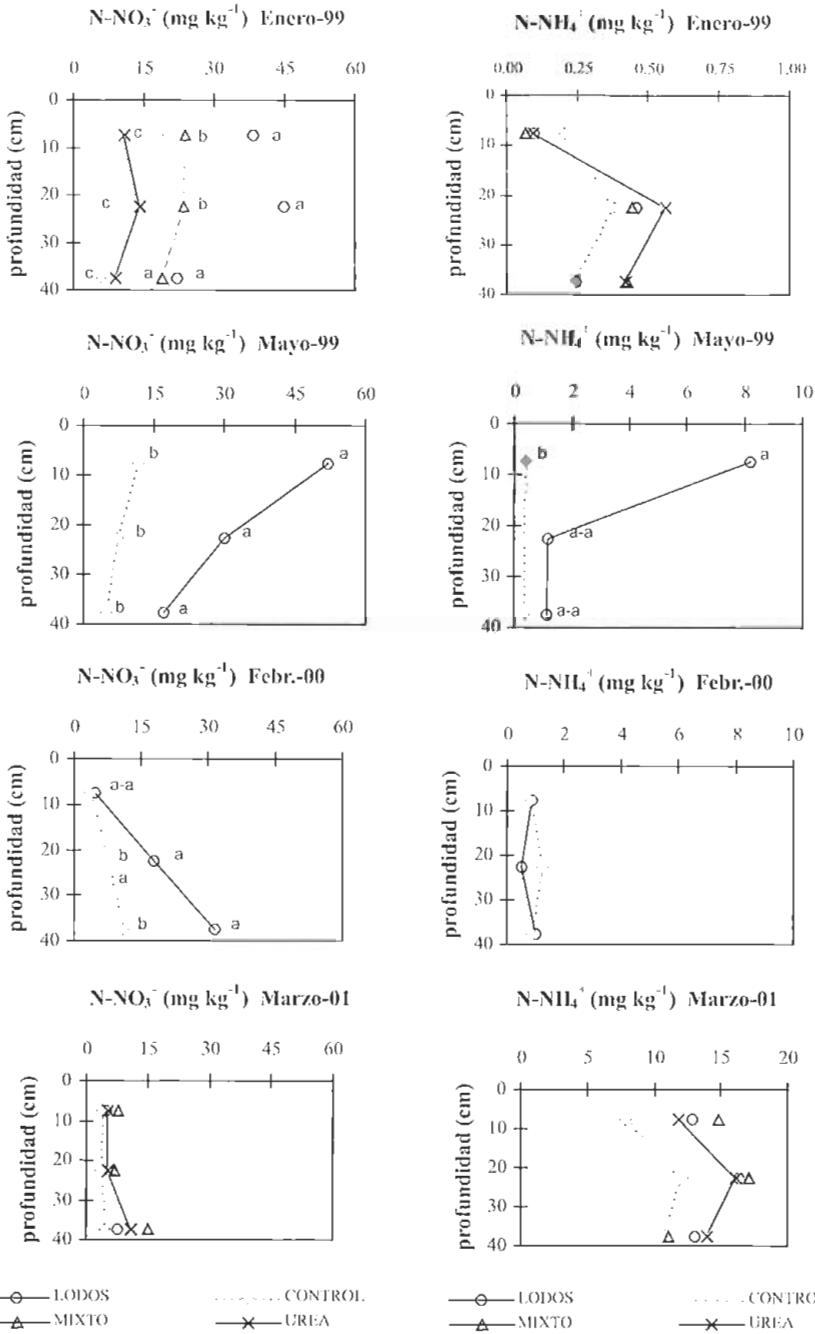


Figura IV.3. Contenido de nitrógeno nítrico y amoniaco a lo largo del período de ensayo en el perfil de suelo de la parcela Visos I. Valores de un mismo horizonte marcados con letras diferentes indican diferencias significativas al nivel $p < 0.05$.

mento importante en el horizonte superficial en el tratamiento LODOS, debido al aporte de la segunda dosis de 20 Mg ha⁻¹ en Febrero de 1999. Este muestreo fue el único que arrojó diferencias significativas (p<0.05) en nitrógeno amoniacal en el horizonte de 0 a 15 cm.

En Mayo de 2001 los contenidos en nitrógeno amoniacal aumentan espectacularmente en todos los tratamientos respecto a muestreos anteriores. Las condiciones reductoras ocasionadas por las abundantes lluvias registradas antes del muestreo, ya comentadas anteriormente, parecen ser las causantes de este aumento. Sin embargo no se registran diferencias significativas.

En la figura IV.4 se observan los contenidos de nitrógeno inorgánico (N-NO₃⁻ y N-NH₄⁺) en la parcela Visos II en Marzo de 2001 en el perfil de suelo. En cuanto a nitrógeno nítrico se aprecian tendencias similares a las comentadas anteriormente para el muestreo de Febrero en Visos I. Las acumulaciones de nitratos ocasionadas por lavado en el horizonte más profundo están próximas a los 100 mg Kg⁻¹ para el tratamiento LODOS. En la parcela Visos II el tratamiento UREA se distribuyó en el centro de las unidades experimentales y no sólo alrededor de los olivos como en Visos I, siendo este el motivo de que los contenidos de nitratos en este tratamiento arrojen diferencias significativas, en el horizonte de 30 a 45 cm, respecto de los encontrados en el CONTROL.

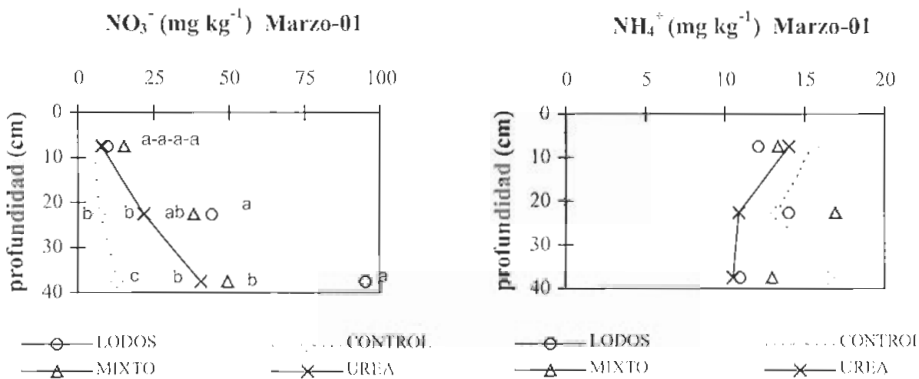


Figura IV.4. Contenido de nitrógeno nítrico y amoniacal en el año 2001 en el perfil de suelo de la parcela Visos II. Valores de un mismo horizonte marcados con letras diferentes indican diferencias significativas al nivel p<0.05.

El nitrógeno amoniacal en Marzo de 2001 en Visos II tiene un comportamiento similar al observado en Visos I en el mismo muestreo.

El nitrógeno en forma de nitritos no sufrió variaciones significativas con los tratamientos en ninguno de los muestreos efectuados en Visos I y Visos II, permaneciendo sus valores bastante estables, oscilando entre 0.07 y 0.6 mg kg⁻¹. Un comportamiento muy similar fue descrito por Polo (1997) con aportaciones de 40 Mg ha⁻¹ y 80 Mg ha⁻¹ de lodos de depuradora deshidratados.

En general, la evolución del nitrógeno inorgánico del suelo para los dos tratamientos considerados es similar a la experimentada por su forma nítrica ya que la fracción correspondiente al nitrógeno amoniacal y de nitritos representa, en condiciones normales, un porcentaje muy bajo con respecto a la concentración de nitratos en el perfil.

El nitrógeno orgánico de los lodos de depuradora se mineraliza rápidamente (Epstein *et al.*, 1978), por ello algunos autores proponen compostarlo para prolongar sus efectos en el tiempo (Mays *et al.*, 1973) y reducir los riesgos de lixiviación (Li *et al.*, 1997; Alva *et al.*, 1999). Por otro lado, autores como Pastor (1984), Sahrawat (1985) y Verdú *et al.* (1992), encontraron una relación positiva entre el fósforo y la mineralización del nitrógeno.

3.9. Efectos sobre los metales pesados en el suelo.

El término "metal pesado" suele definirse como metales cuyo peso específico supera los 5 g cm⁻³ o que tienen un número atómico por encima de 20 (Barceló y Poschenrieder, 1990; Breckle, 1991). De entre los considerados metales pesados hay algunos que son nutrientes esenciales en las plantas (Fe, Mn, Zn, Cu, Mo, Ni), otros que son beneficiosos en determinadas circunstancias (Cr, V, Ti) y otros que no se considera que tengan funciones en los seres vivos (Cd, Hg, Pb) (Barceló y Poschenrieder, 1989).

En la tabla IV.11 se presentan los resultados de los análisis de manganeso en los que no se aprecian diferencias entre los distintos tratamientos en ninguna de las parcelas de ensayo, ni tampoco en ninguno de los muestreos efectuados.

En el caso del cobre (tabla IV.12) se aprecian diferencias significativas ($p < 0.05$) en los muestreos de Enero de 2000 en Visos II y Enero de 2001 en Visos I, solamente en el horizonte más superficial.

El zinc (tabla IV.13) muestra un comportamiento similar al comentado para el cobre con anterioridad. En los muestreos de Enero de 2001 hubo diferencias significativas ($p < 0.05$) en los contenidos de este

elemento en el horizonte superficial en ambas parcelas de ensayo. Además en el muestreo de Enero de 2000 en la parcela Visos I se detectaron diferencias estadísticamente significativas en el horizonte de 30 a 45 cm, producto de un proceso de lavado por la alta pluviometría registrada. Según Kabata-Pendias y Pendias (1984) el zinc es el metal pesado más móvil y se encuentra asociado a formas orgánicas e inorgánicas en suelos tratados con lodos, sin mostrar preferencia por enlazarse con la materia orgánica (Alloway y Jackson, 1991).

Fecha	Horizonte cm	Parcela Visos I				Parcela Visos II			
		U	M	L	C	U	M	L	C
ene-99	0-15	296	250	243	225				
	15-30	294	240	241	215				
	30-45	286	242	227	210				
ene-00	0-15	309	315	296	289	291	288	288	288
	15-30	309	325	294	279	280	285	283	281
	30-45	299	307	306	257	283	275	283	274
ene-01	0-15	356	352	329	329	312	302	325	264
	15-30	337	347	316	313	290	300	306	261
	30-45	343	328	312	326	290	302	307	251

Tabla IV.11. Análisis del contenido de manganeso ($mg\ kg^{-1}$) en suelo de Visos I en 1999, 2000 y 2001, y Visos II en 2000 y 2001, a tres profundidades. C-Control, U-Urea, M-Mixto, L-Lodos.

Fecha	Horizonte cm	Parcela Visos I				Parcela Visos II			
		U	M	L	C	U	M	L	C
ene-99	0-15	23	24	26	20				
	15-30	18	19	19	18				
	30-45	15	18	15	14				
ene-00	0-15	18	14	13	15	16 b	18 ab	21 a	16 b
	15-30	11	10	11	11	11	11	10	11
	30-45	11	9	7	8	9	9	9	10
ene-01	0-15	20 b	27 a	26 a	19 b	20	29	31	22
	15-30	18	17	14	13	14	15	14	15
	30-45	12	13	12	12	13	13	14	14

Tabla IV.12. Análisis del contenido de cobre ($mg\ kg^{-1}$) en suelo de Visos I en 1999, 2000 y 2001, y Visos II en 2000 y 2001, a tres profundidades. Valores seguidos de letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos al nivel $p < 0.05$. C-Control, U-Urea, M-Mixto, L-Lodos.

Las concentraciones de cobre y zinc parecen las más afectadas por las aplicaciones de residuos orgánicos al suelo. Benítez *et al.* (2000) obtuvieron aumentos significativos de los contenidos totales de cobre y zinc en un experimento de incubación con lodos frescos y compostados. Comparativamente los aumentos en estos metales fueron mayores cuando el residuo se aplicó sin compostar. Polo (1997) registró acumulaciones de estos metales en ensayos con lodos deshidratados, mientras que Aguilar (1997) halló diferencias en los contenidos de ambos tras la aportación de residuos sólidos urbanos compostados en olivar. Díaz-Marcote (1994) aprecia incrementos importantes de zinc y cobre tras la aplicación de tres dosis consecutivas de 80 Mg ha⁻¹ de compost de residuos sólidos urbanos. Quinteiro *et al.* (1998) también observó incrementos significativos de los contenidos totales de cobre a partir de dosis de 40 Mg ha⁻¹ de lodos crudos deshidratados y los de zinc a partir de la dosis de 20 Mg ha⁻¹.

Fecha Horizonte	cm	Parcela Visos I				Parcela Visos II			
		U	M	L	C	U	M	L	C
ene-99	0-15	63	60	64	50				
	15-30	60	56	55	48				
	30-45	58	55	52	46				
ene-00	0-15	60	66	87	68	59	55	59	51
	15-30	68	67	62	68	51	52	50	50
	30-45	56 b	53 b	76 a	57 b	52	51	50	48
ene-01	0-15	42 b	61 a	65 a	47 b	46 a	63 a	74 a	33 b
	15-30	38	50	46	46	40	37	37	30
	30-45	40	48	43	47	41	41	35	25

Tabla IV.13. Análisis del contenido de zinc (mg kg⁻¹) en suelo de Visos I en 1999, 2000 y 2001, y Visos II en 2000 y 2001, a tres profundidades. Valores seguidos de letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos al nivel $p < 0.05$. C-Control, U-Urea, M-Mixto, L-Lodos.

Fecha Horizonte		Parcela Visos I				Parcela Visos II			
	cm	U	M	L	C	U	M	L	C
ene-99	0-15	22	23	25	23				
	15-30	25	22	23	22				
	30-45	16	18	17	21				
ene-00	0-15	22	20	17	24	21	22	19	19
	15-30	30	19	30	26	8	22	16	23
	30-45	11	14	14	21	9	18	16	12
ene-01	0-15	17	18	21	17	13	9	12	12
	15-30	16	14	17	14	11	6	10	12
	30-45	14	12	15	13	7	6	6	7

Tabla IV.14. Análisis del contenido de plomo (mg kg^{-1}) en suelo de Visos I en 1999, 2000 y 2001, y Visos II en 2000 y 2001, a tres profundidades. C-Control, U-Urea, M-Mixto, L-Lodos.

McBride (2001) relaciona las altas concentraciones de cobre en suelo con clorosis en hojas de maíz, provocadas por una exclusión del hierro que dan lugar a reducciones del crecimiento.

Fecha Horizonte		Parcela Visos I				Parcela Visos II			
	cm	U	M	L	C	U	M	L	C
ene-99	0-15	0.04	0.07	0.05	0.02				
	15-30	0.03	0.06	0.04	0.02				
	30-45	0.03	0.05	0.04	0.02				
ene-00	0-15	0.06 ab	0.07 a	0.08 a	0.04 b	0.04	0.06	0.07	0.05
	15-30	0.05	0.06	0.06	0.05	0.04	0.04	0.05	0.05
	30-45	0.05	0.05	0.06	0.05	0.04	0.05	0.05	0.04
ene-01	0-15	0.03	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04	0.07	0.04
	15-30	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
	30-45	0.02	0.02	0.03	0.03	0.04	0.03	0.02	0.03

Tabla IV.15. Análisis del contenido de cadmio (mg kg^{-1}) en suelo de Visos I en 1999, 2000 y 2001, y Visos II en 2000 y 2001, a tres profundidades. Valores seguidos de letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos al nivel $p < 0.05$. C-Control, U-Urea, M-Mixto, L-Lodos.

Fecha Horizonte		Parcela Visos I				Parcela Visos II			
	cm	U	M	L	C	U	M	L	C
Ene-99	0-15	0.09	0.08	0.12	0.13				
	15-30	0.12	0.03	0.14	0.14				
	30-45	0.08	0.05	0.12	0.11				
Ene-00	0-15	0.08	0.17	0.07	0.04	0.04 b	0.06 a	0.06 a	0.03 b
	15-30	0.15	0.06	0.06	0.06	0.03	0.03	0.03	0.03
	30-45	0.16	0.04	0.07	0.02	0.05	0.05	0.04	0.05
Ene-01	0-15	0.12	0.17	0.12	0.11	0.03	0.06	0.05	0.04
	15-30	0.07	0.13	0.11	0.09	0.03	0.04	0.03	0.03
	30-45	0.09	0.13	0.09	0.11	0.05	0.04	0.05	0.04

Tabla IV.16. Análisis del contenido de mercurio (mg kg^{-1}) en suelo de Visos I en 1999, 2000 y 2001, y Visos II en 2000 y 2001, a tres profundidades. Valores seguidos de letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos al nivel $p < 0.05$. C-Control, U-Urea, M-Mixto, L-Lodos.

Los comportamientos del plomo, el cadmio y el mercurio (tablas IV.14, IV.15 y IV.16) son muy similares. En la mayoría de los muestreos efectuados se observan tendencias al aumento de estos metales en el horizonte más superficial en los tratamientos con aportes de lodos compostados. Estas diferencias llegan a ser significativas ($p < 0.05$) en el caso del cadmio en Enero de 2000 en la parcela Visos I y en el del mercurio en el muestreo de Enero de 2000 en Visos II. Los niveles alcanzados no resultan preocupantes y son ampliamente superados por los metales contenidos en otros suelos de cultivos frutales, especialmente cuando éstos se encuentran cerca de carreteras (Andrades *et al.*, 2000). Por su parte Canet *et al.* (1996) obtuvieron aumentos en los contenidos totales de cadmio, cobre, plomo y zinc tras la aplicación de lodos aerobios y anaerobios, aunque estos incrementos sólo resultaron estadísticamente significativos a partir de dosis superiores a 80 Mg ha^{-1} .

En suelos como los de nuestras parcelas de olivar con altos porcentajes de arcilla y alta capacidad de intercambio catiónico, en los que se ha elevado considerablemente el contenido de materia orgánica por la aplicación de lodos compostados, es donde el cadmio y el zinc se fijan con más fuerza (Estévez *et al.*, 1998), quedando menos disponibles para las plantas.

4. Conclusiones.

La aportación de lodos de depuradora compostados a un suelo de olivar andaluz (vertisol típico) ha tenido como efectos más destacados sobre las propiedades químicas del suelo el aumento de la materia orgánica, del fósforo disponible y del nitrógeno inorgánico, fundamentalmente en forma nítrica.

La materia orgánica aumentó de forma espectacular, pasando en Visos I de valores del 1.05% en CONTROL y UREA a valores cercanos al 2% con la adición de una enmienda de 16 Mg ha⁻¹ (expresados como materia seca) de lodos de depuradora compostados (LODOS). En Visos II se llegaron a valores de materia orgánica del 2.57%. Estos aumentos se produjeron tras la adición de dos dosis anuales consecutivas y están muy influenciados por la mala distribución del residuo.

El fósforo disponible en el horizonte superficial (0-15 cm) pasó de valores de 6 mg kg⁻¹ en el tratamiento CONTROL a valores de 25 mg kg⁻¹ en el tratamiento LODOS.

Los valores de N-NO₃⁻ en las parcelas abonadas con compost de lodos oscilaron entre 25 y 60 mg kg⁻¹, mientras que la concentración en el tratamiento CONTROL rondó los 10 mg kg⁻¹. Se han observado niveles muy altos de N-NO₃⁻ en horizontes profundos tras períodos de lluvias abundantes debido a procesos de lavado.

Hubo cambios menos significativos en el pH con ligeros descensos, mientras que el nitrógeno orgánico se situó en niveles algo mayores con la aportación de la enmienda. La conductividad eléctrica experimentó aumentos significativos ($p < 0.05$) en horizontes profundos generalmente, aunque los niveles alcanzados son muy bajos.

El potasio disponible, la capacidad de intercambio catiónico, las bases de intercambio (Ca, Mg, Na y K) y el manganeso no experimentaron ningún cambio con la adición del residuo. En cuanto a los metales pesados sólo el cobre y el zinc presentaron aumentos claros tras la aplicación del compost, aunque no siempre fueron estadísticamente significativos. Los contenidos de cadmio, plomo y mercurio presentaron aumentos muy pequeños. En ningún caso los niveles de metales pesados en el suelo alcanzaron niveles considerados peligrosos, manteniéndose siempre por debajo de los señalados por la Directiva 86/278/CEE.

CAPÍTULO V. Efectos de la aplicación de lodos de depuradora compostados sobre el olivo.

1. Introducción.

En este apartado se estudian los efectos sobre el árbol de las mejoras en las propiedades del suelo conseguidas con la aplicación de compost de lodos de depuradora a un olivar recogidas en el capítulo IV.

Los efectos que la enmienda ejerce sobre el estado nutritivo se estiman mediante análisis foliar, producción de aceitunas y calidad del aceite obtenido, en un olivar adulto en condiciones de campo.

También se han realizado ensayos de aplicación del residuo sobre plantones de olivo en macetas con el objeto de acentuar los efectos que en campo pudieran quedar enmascarados. Estos, además, nos han permitido ensayar dosis de lodos de depuradora extremas (de hasta 120 Mg ha⁻¹) que quedarían lejos de cualquier dosis agronómica utilizable en campo.

Se presta un especial interés a la asimilación de los metales pesados aportados por los lodos de depuradora en distintos órganos del olivo.

2. Metodología empleada para determinar los efectos de los lodos de depuradora compostados sobre el olivo en las parcelas de campo.

Los ensayos de campo fueron realizados en las parcelas experimentales Visos I y Visos II. Su situación, características y diseño experimental, se muestran en el apartado 2 del capítulo IV, así como el análisis estadístico de los resultados, y la descripción de los cuatro tratamientos estudiados, LODOS, MIXTO, UREA y CONTROL.

2.1. Determinación del estado nutritivo del olivo mediante análisis foliar.

El análisis foliar es el método que mejor define el estado nutritivo del árbol, ya que las hojas son las principales responsables del metabolismo de la planta y por tanto los cambios en la aportación de nutrientes se reflejan en la composición química en hoja (Bould, 1966, citado por Fernández-Escobar, 1997).

Las muestras de hojas de los distintos tratamientos en los ensayos de campo se recogieron en la segunda decena de Julio; concretamente en los años 1998, 1999 y 2000 en la parcela Visos I, y en los años 1999, 2000 y 2001 en la parcela Visos II. Las muestras de cada parcela experimental, formada por dos árboles en Visos I y por tres en Visos II, estaban compuestas por unas 100-150 hojas totalmente expandidas, peciolo incluido, de la zona media de los brotes del año, tomadas a la altura del observador y alrededor de todo el árbol (Freeman *et al.*, 1994). En Abril de 2000 se tomaron muestras de hojas situadas en brotes del año anterior en la parcela Visos I para los tratamientos CONTROL y LODOS. En Julio de 2000 y 2001 también se recogieron muestras de hojas viejas de olivo, correspondientes a los tratamientos CONTROL y LODOS en la parcela Visos II.

Las hojas procedentes de estos muestreos se lavaron con agua desionizada y se secaron a 80°C durante 48 horas, se trituraron y se procedió a su análisis químico por los métodos oficiales del Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación MAPA (1993). Se determinaron las concentraciones en hoja de N, P, K, Na, Mg, Ca, B, Zn, Mn, Fe y Cu en todas las muestras. El contenido en hoja de Cd, Hg y Pb se analizó en todas las muestras recogidas excepto en el muestreo de Julio de 2000 en la parcela Visos I y en el de Julio de 2001 en Visos II. En los muestreos de hoja efectuados en el año 2000 se analizó también Ni y Cr menos en el mes de Julio en la parcela Visos I.

2.2. Producción, rendimiento graso y calidad de aceite.

La producción de aceitunas se controló en la parcela Visos I durante los años 1998, 1999 y 2000, y en Visos II en los años 1999 y 2000. Se pesó la producción en cada uno de los olivos que formaban parte de cada parcela elemental. La recogida se efectuó generalmente en el mes de Diciembre con la ayuda de vibrador.

Antes de la recogida, se tomaron aproximadamente 1.5 Kg de aceitunas representativas de cada parcela experimental. Se intentó que fueran siempre aceitunas recogidas directamente del árbol. Estas aceitu-

nas se trasladaron al laboratorio donde se determinó el rendimiento graso y la humedad relativa del fruto. En 1998 y 1999 en la parcela Visos I y en 1999 en la parcela Visos II también se determinó el grado de acidez del aceite, índice de peróxidos, adsorción ultravioleta K_{270} y K_{232} .

En el año 2000 y en la parcela Visos II se realizaron determinaciones de metales pesados (Cr, Ni, Cd, Hg y Pb) en aceituna.

Los métodos empleados para su análisis fueron los oficiales del Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación, MAPA (1993).

3. Metodología empleada para determinar los efectos de los lodos de depuradora compostados sobre plantones de olivo en el ensayo en macetas.

3.1. Descripción del ensayo con plantones de olivo.

En Febrero de 2000 se trasplantaron 60 plantones de olivo de cv. Picual y de un año de edad, a macetas de 25 cm de diámetro y 30 cm de altura, rellenándose con una mezcla de arena y limo. A estos plantones se les aplicaron dosis crecientes de lodos de depuradora compostados (0, 10, 20, 40, 80 y 120 Mg ha⁻¹ expresados sobre materia húmeda), obteniéndose un ensayo con 6 tratamientos y 10 repeticiones por tratamiento. Los lodos pertenecientes a la partida del año 2000, fueron incorporados en las macetas en los primeros 10 cm de suelo, de manera análoga al ensayo de campo, permaneciendo el tratamiento testigo (0 Mg ha⁻¹) sin abonar.

Las macetas se colocaron en las instalaciones de CIFA de Córdoba, en un jaulón de tela metálica y a la intemperie. Los plantones se regaron por goteo durante todo el año según sus necesidades, intentando evitar la pérdida de lixiviados.

Para el análisis estadístico de los resultados obtenidos en este ensayo se empleó el análisis general de la varianza (prueba F). La diferencia de medias se realizó con la prueba de Duncan.

3.2. Estado nutritivo en hojas nuevas y viejas.

En la segunda decena del mes de Julio de 2000, se recogieron muestras de hojas del año de los plantones de olivo para las dosis de 0, 20, 40, 120 Mg ha⁻¹. Los tratamientos con dosis de 10 y 80 Mg ha⁻¹ no se muestrearon con el objeto de reducir el trabajo de laboratorio. Debido

a la escasez de hojas nuevas producidas por cada plantón de olivo, se decidió recoger una muestra por cada dos plantas (5 repeticiones por tratamiento). En la misma fecha también se recogieron muestras de hojas viejas en los tratamientos testigo (0 Mg ha^{-1}) y en la dosis más alta (120 Mg ha^{-1}).

Las hojas procedentes de estos muestreos se sometieron al proceso de lavado, secado y triturado descrito en el apartado 2.2 de este capítulo, procediéndose después a su análisis, químico utilizando los métodos oficiales (MAPA, 1993), para la determinación de las concentraciones en hoja de N, P, K, Na, Mg, Ca, B, Zn, Mn, Fe, Cu, Cd, Hg, Pb, Ni y Cr.

4. Efectos sobre el olivo en ensayos de campo.

4.1. Estado nutritivo de los olivos.

El análisis foliar de Julio de 1998, en la parcela Visos I (tabla V.1), muestra un buen estado nutritivo del olivar en todos los elementos, exceptuando el K que se encuentra en niveles ligeramente inferiores a los considerados adecuados para este elemento según Freeman *et al.* (1994) (tabla V.1). Mención especial merece la concentración de Mn en este muestreo, ya que se encuentra muy por debajo de los niveles adecuados en todos los tratamientos, excepto en los olivos enmendados con 20 Mg ha^{-1} de lodos compostados de depuradora, donde se obtuvieron valores adecuados.

Los contenidos en hoja de Cu y Fe fueron, junto con los de Mn, los únicos en los que se obtuvieron diferencias significativas ($p < 0.05$) debidas a los tratamientos. La concentración de Cu en hoja es muy variable, aunque no se conocen casos de deficiencia en este nutriente debido al uso de fungicidas que contienen este elemento, en el control de repilo (*Spilocea oleagina*) en olivar (Fernández-Escobar, 1997). Los valores de la concentración de Fe en hojas se ven afectados por una gran variabilidad entre tratamientos, aunque para el diagnóstico del estado nutricional del olivo en este elemento no se suele emplear el análisis foliar. De hecho, ni siquiera están establecidos unos valores recomendados, siendo el examen visual de los árboles el mejor método para este diagnóstico (Fernández-Escobar *et al.*, 1993).

En el invierno de 1999 se detectaron necrosis apicales en hojas viejas de los olivos tratados con lodos de depuradora compostados en la parcela Visos I, observándose estos mismos síntomas poco después en la parcela Visos II (punto 6 de este capítulo). Los síntomas aparecieron

en clara relación con las dosis de lodos aportados en los tratamientos LODOS (20 Mg ha⁻¹) y MIXTO (10 Mg ha⁻¹).

En el análisis foliar de la parcela Visos I en Julio de 1999 (tabla V.2), sólo se registran diferencias significativas ($p < 0.05$) en Ca. Los olivos que recibieron lodos de depuradora (LODOS y MIXTO) presentan menores contenidos en Ca. La concentración de Mn en hojas se ha situado en valores adecuados para todos los tratamientos, no encontrándose en este año diferencias significativas.

	Hojas del año (Julio 1998)				Valores adecuados*
	C	U	M	L	
N (%)	1.68	1.58	1.63	1.69	1.5-2
P (%)	0.14	0.13	0.14	0.14	0.1-0.3
K (%)	0.66	0.59	0.70	0.66	>0.8
Ca (%)	1.44	1.62	1.35	1.40	>1
Mg (%)	0.18	0.21	0.19	0.17	>0.1
Mn (ppm)	6.6 a	5.5 a	6.3 a	22.1 b	>20
Zn (ppm)	12.4	13.6	13.9	17.2	>10
Cu (ppm)	23.4 b	42.9 a	27.5 b	29.1 b	>4
B (ppm)	42.8	42.8	44.3	40.5	19-150
Na (ppm)	87	107	96	86	
Fe (ppm)	87.5 b	138.7 a	76.3 b	44.9 b	
Cd (ppm)	0.05	0.02	0.04	0.03	
Hg (ppm)	0.02	0.04	0.02	0.03	
Pb (ppm)	0.65	0.68	0.96	0.88	

Tabla V.1. Análisis foliares efectuados en hojas del año en la parcela Visos I en Julio de 1998. Valores seguidos de letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos al nivel $p < 0.05$. C-Control, U-Urea, M-Mixto, L-Lodos. (*) Freeman et al. (1994).

Hojas del año (Julio 1999)				
	C	U	M	L
N (%)	1.38	1.44	1.48	1.44
P (%)	0.10	0.09	0.11	0.09
K (%)	0.56	0.55	0.53	0.55
Ca (%)	2.15 a	2.11 a	1.59 b	1.82 ab
Mg (%)	0.27	0.28	0.27	0.27
Mn (ppm)	25.5	29.4	27.3	25.9
Zn (ppm)	10.6	11.3	10.4	10.6
Cu (ppm)	70.6	69.7	97.9	75.4
B (ppm)	29.0	27.5	23.6	25.5
Na (ppm)	152	176	161	142
Fe (ppm)	37.0	40.2	48.8	33.1
Cd (ppm)	0.04	0.06	0.03	0.05
Hg (ppm)	0.05	0.02	0.03	0.04
Pb (ppm)	0.73	0.86	0.65	0.80

Tabla V.2. Análisis foliares efectuados en hojas del año en la parcela Visos I en Julio de 1999. Valores seguidos de letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos al nivel $p < 0.05$. C-Control, U-Urea, M-Mixto, L-Lodos.

En la tabla V.3 se presentan los resultados del análisis foliar de Julio y Abril de 2000 en la parcela Visos I. En Abril se realizaron por primera vez análisis foliares a hojas viejas de olivo en los tratamientos CONTROL (hojas normales) y LODOS (hojas con necrosis apicales bastante generalizadas), obteniéndose un decremento significativo ($p < 0.05$) en la concentración de N en el tratamiento LODOS respecto del CONTROL. Los contenidos de K en hoja también fueron menores en el tratamiento LODOS, aunque el nivel de significación descendió al 10%. Los metales pesados en hoja no arrojaron diferencias entre tratamientos en ninguno de los muestreos efectuados en la parcela Visos I. Las concentraciones de Mn en hoja en Julio de 2000, descendieron respecto al año anterior, siendo los tratamientos LODOS y MIXTO los que presentaron los valores más bajos.

	Hojas del Año (Julio 2000)				Hojas viejas (Abril 2000)	
	C	U	M	L	C	L
N (%)	1.70	1.60	1.64	1.69	1,15 a	0,99 b
P (%)	0.10	0.09	0.10	0.11	0.07	0.07
K (%)	0.77	0.77	0.79	0.77	0,45 a*	0,39 b*
Ca (%)	1.41	1.42	1.31	1.39	2.70	2.46
Mg (%)	0.19	0.19	0.19	0.19	0.30	0.28
Mn (ppm)	23.4 a	21.2 a	17.4 b	18.2 ab	31.8	35.0
Zn (ppm)	9.3	9.4	9.6	9.7	14.3	14.7
Cu (ppm)	22.1	17.9	23.0	18.8	43.7	47.4
B (ppm)	50.1	52.4	51.8	47.5	40.1	40.0
Na (ppm)	78	97	79	71	158	161
Fe (ppm)	31.9	28.2	32.2	29.0	44.6	39.4
Cd (ppm)	-	-	-	-	0.07	0.09
Hg (ppm)	-	-	-	-	0.11	0.09
Pb (ppm)	-	-	-	-	0.65	0.47
Cr (ppm)	-	-	-	-	0.64	0.79
Ni (ppm)	-	-	-	-	0.89	0.97

Tabla V.3. Análisis foliares efectuados en hojas del año en la parcela Visos I en Julio de 2000 y en hojas viejas en Abril de 2000. Valores seguidos de letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos al nivel $p < 0.05$. (*) Indica que las diferencias son significativas al nivel $p < 0.10$. C-Control, U-Urea, M-Mixto, L-Lodos.

	Hojas del año (Julio 1999)			
	C	U	M	L
N (%)	1.43	1.47	1.41	1.40
P (%)	0.07	0.07	0.07	0.07
K (%)	0.57	0.59	0.63	0.65
Ca (%)	1.81	1.80	1.72	1.73
Mg (%)	0.28	0.33	0.30	0.29
Mn (ppm)	29.0	28.1	26.1	27.4
Zn (ppm)	12.45	11.78	11.95	13.53
Cu (ppm)	52.2	51.4	44.5	51.3
B (ppm)	34.7	35.7	34.0	32.0
Na (ppm)	149.0	171.5	168.8	180.8
Fe (ppm)	34.3	36.8	35.0	39.5
Cd (ppm)	0.07	0.06	0.08	0.05
Hg (ppm)	0.05	0.04	0.04	0.6
Pb (ppm)	0.51	0.32	0.22	0.44

Tabla V.4. Análisis foliares efectuados en hojas del año en la parcela Visos II en Julio de 1999. No hay diferencias significativas entre tratamientos al nivel $p < 0.05$. C-Control, U-Urea, M-Mixto, L-Lodos.

	Hojas del año (Julio 2000)				Hojas viejas (Julio 2000)	
	C	U	M	L	C	L
N (%)	1.66	1.61	1.69	1.64	0.98	1.02
P (%)	0.11	0.09	0.11	0.10	0.07	0.08
K (%)	0.74	0.74	0.76	0.80	0.41	0.46
Ca (%)	1.46	1.38	1.47	1.38	2.39	2.18
Mg (%)	0.19	0.21	0.20	0.19	0.28	0.27
Mn (ppm)	23.7	23.4	22.9	23.7	35.5	33.1
Zn (ppm)	10.8	11.7	11.4	11.8	9.4	9.9
Cu (ppm)	25.4	25.1	22.9	23.2	36.1 a	55.3 b
B (ppm)	47.1	57.5	48.7	54.1	34.0 a*	40.7 b*
Na (ppm)	68	102	81	112	81	82
Fe (ppm)	33.0	30.9	33.9	33.2	36.6 a	44.9 b
Cd (ppm)	0.12	0.11	0.06	0.08	0,06 a	0,28 b
Hg (ppm)	0.03	0.04	0.04	0.05	0,06 a	0,14 b
Pb (ppm)	0.30	0.24	0.22	0.17	0,33 a	0,59 b
Cr (ppm)	0.52	0.64	0.25	0.24	0.81 a*	1.36 b*
Ni (ppm)	0.78	0.73	0.66	0.57	1.02 a*	0.81 b*

Tabla V.5. Análisis foliares efectuados en hojas del año y en hojas viejas en la parcela Visos II en Julio de 2000. Valores seguidos de letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos al nivel $p < 0.05$. (*) Indica que las diferencias son significativas al nivel $p < 0.10$. C-Control, U-Urea, M-Mixto, L-Lodos.

En la parcela Visos II no se obtuvieron diferencias significativas en ninguno de los elementos analizados en Julio de 1999 (tabla V.4). Los valores de nutrientes en hoja son ligeramente inferiores a los valores adecuados referidos por Freeman *et al.* (1994) para N, P y K.

Los resultados del análisis foliar de Julio de 2000 realizado en hojas del año y en hojas viejas de la parcela Visos II se muestran en la tabla V.5. El contenido nutritivo de las hojas nuevas resultó adecuado para todos los elementos analizados, habiéndose incrementado los niveles de N, P y K con respecto al año 1999, no encontrándose diferencias significativas. Sin embargo, en el análisis foliar de hojas viejas de olivo recogidas en Julio de 2000 para los tratamientos CONTROL y LODOS, podemos observar como las hojas de los olivos que habían sido enmendados con una dosis de 20 Mg ha⁻¹ durante dos años consecutivos, y que presentaban claros síntomas de necrosis apicales, tenían unos niveles de Fe, Cu, Cd, Hg y Pb significativamente superiores ($p < 0.05$) a los olivos testigo. La concentración de B y Cr también resultó mayor en las hojas con necrosis, aunque el nivel de significación descendió ($p < 0.10$). El contenido de Ni resultó mayor en las hojas testigo que en las necróticas ($p < 0.10$). Se puede

apreciar una acumulación de estos elementos en hojas viejas, excepto en B.

Las concentraciones de N, P, K y B en hojas del año fueron mayores que en hojas viejas, mientras que los contenidos en Ca, Mg, Mn y Cu fueron inferiores en hojas nuevas. Esto coincide con las relaciones entre contenidos en nutrientes de hojas nuevas y viejas encontradas por Fernández-Escobar *et al.* (1999).

Los análisis foliares realizados en Julio de 2001 en la parcela Visos II, tanto en hojas del año como en hojas viejas, sólo arrojaron diferencias significativas en las concentraciones de B en hojas viejas (tabla V.6). Los valores nutricionales descienden y se igualan a los encontrados en Julio de 1999.

	Hojas del Año (Julio 2001)				Hojas viejas (Julio 2001)	
	C	U	M	L	C	L
N (%)	1.31	1.37	1.44	1.48	1.38	1.42
P (%)	0.09	0.08	0.08	0.09	0.09	0.08
K (%)	0.47	0.49	0.54	0.55	0.52	0.45
Ca (%)	2.08	1.91	1.75	1.77	2.03	2.06
Mg (%)	0.25	0.31	0.28	0.27	0.28	0.31
Mn (ppm)	23.8	22.3	24.2	25.0	24.9	23.8
Zn (ppm)	14.0	13.8	14.9	14.2	19.4	18.7
Cu (ppm)	21.2	23.8	24.4	20.2	21.8	21.8
B (ppm)	50.5	53.6	56.9	55.5	44.6 a	53.3 b
Na (ppm)	159	224	208	232	169	228
Fe (ppm)	37.9	41.8	35.4	33.3	41.0	39.6

Tabla V.6. Análisis foliares efectuados en hojas del año y en hojas viejas en la parcela Visos II en Julio de 2001. Valores seguidos de letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos al nivel $p < 0.05$. (*) Indica que las diferencias son significativas al nivel $p < 0.10$. C-Control, U-Urea, M-Mixto, L-Lodos.

Las concentraciones de N, P, K y B presentan un mínimo en 1999 para las dos parcelas (Visos I y Visos II), seguramente debido a la falta de humedad en el perfil de suelo, ya que desde Enero de 1999 a Julio de ese mismo año sólo se recogieron 125 mm de lluvia. La escasez de lluvias durante este año provocó aumentos en las concentraciones de Mn y sobre todo de Na en hojas, aunque nunca se aproximó a niveles de 3900 ppm a partir de los cuales se producen daños en el árbol, según Klein *et al.* (1994). Se observa como los contenidos de Ca y Mg en hoja descienden cuando aumenta la concentración de K.

Esta resistencia al cambio de los niveles de nutrientes en hoja coincide con la encontrada por Jordão *et al.* (1994), que aplicó fertilizantes minerales (macro y micronutrientes) a un olivar durante un período de 4 años y sólo obtuvo diferencias con el tratamiento control (sin abonar) en el contenido de nitrógeno en hoja.

Aguilar y González (1998) siguieron el estado nutritivo durante tres años de cinco olivares de la provincia de Córdoba donde habían aplicado compost de residuos sólidos urbanos (RSU). Obtuvieron incrementos ocasionales en N, Ca, Na, K y Mn con la enmienda orgánica en algunos olivares, aunque los resultados fueron bastante variables y poco concluyentes.

4.2. Producción, rendimiento graso y calidad de aceite.

En la tabla V.7 podemos ver los resultados medios de producción de aceituna, rendimiento graso, producción de aceite y de los distintos parámetros de calidad de aceite determinados en la parcela Visos I durante los tres años de ensayo (1998, 1999 y 2000). La tabla V.8 presenta estos mismos resultados para la parcela Visos II en los años 1999 y 2000.

En producción de aceitunas en la parcela Visos I (tabla V.7), observamos como los años 1998 y 2000 fueron años de carga y el año 1999 de descarga. Sólo se detectaron diferencias entre tratamientos en 1999 y 2000, años en los que los olivos del tratamiento MIXTO (urea + lodos) presentaron unas producciones significativamente menores ($p < 0.05$) que el resto de tratamientos. Tanto es así, que en el año 1999 no se pudo conseguir la muestra necesaria de aceitunas para realizar las determinaciones de calidad de aceite. Esta reducción de la producción en este tratamiento en la parcela Visos I es debida, como se comentó en el apartado 3.1. de este capítulo, a la cercanía a una cárcava de algunos olivos de control, que presentaban un desarrollo inferior al resto de árboles en esta parcela de ensayo.

En la parcela Visos II (tabla V.8) no se obtuvieron diferencias significativas en producción de aceitunas entre tratamientos, ni en el año de descarga (1999) ni en el de carga (2000). En el año 2000 el tratamiento CONTROL, que no había recibido ningún tipo de abonado, tuvo mayores producciones. La parcela Visos II presentó mayor productividad que la parcela Visos I en estos dos años.

Año	Parámetro	Unidades	CONTROL	UREA	MIXTO	LODOS
1998	Producción aceitunas	(kg/árbol)	52.7	58.5	47.1	52.8
	Rendimiento Graso	(%)	18.6	19.5	21.8	20.6
	Aceite	(kg/árbol)	9.6	10.8	10.1	10.2
	Humedad del fruto	(%)	50.6	48.8	46.0	50.1
	Índice de peróxidos	(meq O ₂ /kg)	4.1	3.3	2.6	3.2
	Absorción ultrav. (K ₂₇₀)		0.09	0.10	0.10	0.07
	Acidez de la grasa	(%)	0.13	0.18	0.18	0.19
1999	Producción aceitunas	(kg/árbol)	4.5 a	3.2 a	0.3 b	5.3 a
	Rendimiento Graso	(%)	23.5	23.6	-	22.9
	Aceite	(kg/árbol)	1.1	0.8	-	1.2
	Humedad del fruto	(%)	50.1	50.3	-	51.8
	Índice de peróxidos	(meq O ₂ /kg)	2.1	1.8	-	2.8
	Absorción ultrav. (K ₂₇₀)		0.07	0.07	-	0.07
	Absorción ultrav. (K ₂₃₂)		1.42	1.33	-	1.34
Acidez de la grasa	(%)	0.47	0.72	-	0.72	
2000	Producción aceitunas	(kg/árbol)	59.2 a	60.8 a	35.5 b	57.4 a
	Rendimiento Graso	(%)	21.6	18.3	16.1	20.4
	Aceite	(kg/árbol)	12.8 a	11.1 a	5.7 b	11.7 a
	Humedad del fruto	(%)	45.9	44.6	41.5	43.9

Tabla V.7. Resultados medios de producción de aceituna, aceite, rendimiento graso, y parámetros de calidad de aceite en la parcela Visos I para las cosechas de 1998, 1999 y 2000. Letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas entre tratamientos al nivel $p < 0.05$. Se ha normalizado la producción a una humedad del 50 %. El contorno aparente se ha introducido como covariable en el análisis estadístico de la producción.

En cuanto al rendimiento graso, no se registraron diferencias entre tratamientos en ninguna de las parcelas experimentales para ninguno de los años de ensayo. Lo que si se observó en ambas parcelas fue una variación muy grande en este parámetro, obteniéndose un coeficiente de variación en los datos recogidos para un mismo tratamiento dentro de una misma parcela que varió entre un 10 y un 16% en Visos II y entre un 10 y un 27% en Visos I. El rendimiento graso del fruto disminuye con el aumento de la producción (Tombesi *et al.*, 1996). Así, se puede observar como en ambas parcelas el rendimiento graso en el año de descarga (1999) fue mayor que en los años de carga.

Año	Parámetro	Unidades	CONTROL	UREA	MIXTO	LODOS
1999	Producción aceitunas	(kg/árbol)	4.5	6.7	7.2	6.9
	Rendimiento Graso	(%)	22.7	23.0	23.9	23.2
	Aceite	(kg/árbol)	1.0	1.5	1.7	1.6
	Humedad del fruto	(%)	55.0	55.5	53.8	54.1
	Índice de peróxidos	(meq O ₂ /kg)	2.3	3.6	3.0	3.2
	Absorción ultrav. (K ₂₇₀)		0.07	0.08	0.07	0.07
	Absorción ultrav. (K ₂₃₂)		1.30	1.34	1.34	1.30
	Acidez de la grasa	(%)	0.86	0.79	0.92	0.96
2000	Producción aceitunas	(kg/árbol)	108.2	80.8	77.5	81.4
	Rendimiento Graso	(%)	16.3	17.2	17.1	17.5
	Aceite	(kg/árbol)	17.6	13.9	13.3	14.2
	Humedad del fruto	(%)	42.1	42.2	42.3	41.2

Tabla V.8. Resultados medios de producción de aceituna, aceite, rendimiento graso, y parámetros de calidad de aceite en la parcela Visos II para las cosechas de 1999 y 2000. Se ha normalizado la producción a una humedad del 50 %.

Ni la producción de aceite por árbol, ni la humedad del fruto se vieron afectadas por los tratamientos en ninguna de las parcelas, en los ensayos realizados.

La ausencia de diferencias significativas debidas a los distintos tratamientos en producción de aceitunas, rendimiento graso y producción de aceite, en los tres años de ensayos de campo, coincide con los resultados obtenidos por Aguilar (1997) en un olivar de alta capacidad productiva, situado en suelo arcilloso y fértil, que había recibido compost de RSU a dosis de 116 y 232 kg árbol⁻¹. Sió *et al.* (2000), aplicó dosis crecientes de purines de cerdo a olivos de cv. Arbequina, en los que se redujo la producción para las dosis más altas, atribuyendo esta disminución a un exceso de fertilización (Weinbaum *et al.*, 1992; Fernández-Escobar, 2001). Otros autores emplearon distintas dosis de abonado en ensayos de fertirrigación en olivos de cv. Picual sin obtener respuesta positiva tanto en producción de aceitunas, rendimiento graso y aceite por árbol (Sánchez *et al.*, 1997), como sobre la calidad de aceite, volumen de copa y estado nutritivo del árbol (Troncoso, 2001).

En el olivar de secano mediterráneo, el agua es el principal factor limitante de la producción y es la causa de que, en muchas ocasiones, los abonos no ofrezcan los resultados esperados (Ferreira *et al.*, 1986). En quince años de ensayos en olivar, Ortega Nieto (1964) no obtuvo aumentos de producción debidos al abonado en años en los que las

precipitaciones no superaron los 500 mm. Por otra parte, el buen estado nutricional de una plantación retrasa los posibles efectos positivos o negativos que pudiera ocasionar un determinado tratamiento. En California, Hartman *et al.* (1986) no observaron respuesta productiva al abonado nitrogenado en olivos cuyo contenido de N en hoja estaba en niveles adecuados.

Categoría	Acidez (%)	I. Peróxidos (meq O ₂ /kg)	K ₂₃₂	K ₂₇₀
Virgen Extra	< 1.0	< 20	< 2.50	< 0.20
Oliva Virgen	< 2.0	< 20	< 2.60	< 0.25
Oliva Virgen Corriente	< 3.3	< 20	< 2.60	< 0.25

Tabla V.9. Parámetros de calidad del aceite de oliva según su categoría. Reglamento CE nº 2568/91. Última modificación CE nº 656/95.

La composición analítica y sensorial del aceite de oliva virgen depende de la variedad (Uceda y Hermoso, 1994), las técnicas de cultivo (Civantos *et al.*, 1992; Humanes y Civantos, 1993), la época de recolección, el transporte y almacenamiento, sistema de extracción y el riego (Salas *et al.*, 1997; Berenguer, *et al.*, 2001). La calidad del aceite de oliva viene regulada por el reglamento nº 2568/91 de la CE (DOCE, 1991c), modificado por el CE nº 656/95 de 25 de Marzo de 1995 (DOCE, 1995), que se recoge en la tabla V.9 en lo que se refiere a los parámetros de calidad analizados. Todas las determinaciones realizadas (acidez de la grasa, índice de peróxidos, absorbancia en el ultravioleta K₂₃₂ y K₂₇₀) durante el periodo de ensayo, en las dos parcelas de ensayo, para todos los tratamientos, situaron al aceite obtenido dentro de la categoría de "Virgen Extra", no habiéndose encontrado diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los distintos tratamientos.

En la cosecha del 2000 se midieron metales pesados (Cr, Ni, Cd, Hg y Pb) en la aceituna de la parcela Visos II, no llegándose al límite de detección de los métodos analíticos empleados en ninguno de los elementos. Existe una disminución del contenido de metales pesados muy acusada entre las hojas y los frutos, como ya comprobaron Pinamonti *et al.* (1997), Pinamonti *et al.* (1999) y Sawidis *et al.* (2001) en manzanos, viña y otros frutales. Beltrán *et al.* (2001) no encontraron aumentos en el contenido de metales pesados en el aceite procedente de olivos que habían sido fertilizados con lodos de depuradora compostados durante dos años consecutivos.

5. Efectos sobre plantones de olivo en ensayos en macetas.

En la tabla V.10 se presentan los resultados de los análisis foliares efectuados en los plantones de olivo en Julio de 2000, tanto para hojas del año, como para hojas viejas, siendo estos últimos los órganos donde se manifiestan los síntomas de necrosis apicales.

Las concentraciones de N y Zn en hojas nuevas estuvieron directamente relacionadas con la dosis de lodos de depuradora compostados empleada, de manera que a mayor cantidad de lodos, más elevadas fueron las concentraciones en dicho órgano. P, K, Mg y B siguieron tendencias similares, presentando todos ellos niveles en hoja menores en los olivos testigo (0 Mg ha⁻¹) que en los tratamientos con lodos (20, 40 y 120 Mg ha⁻¹), aunque no están influenciados por la dosis. Los niveles de Cu y Pb en hoja se elevan ligeramente a partir de la dosis de 40 Mg ha⁻¹ de lodos de depuradora, aunque en el caso del Pb las diferencias fueron significativas al nivel $p < 0.10$.

	Hojas del año (Julio 2000)				Hojas viejas (Julio 2000)	
	Tratamientos (Mg ha ⁻¹)				Tratamientos (Mg ha ⁻¹)	
	0	20	40	120	0	120
N (%)	0.80 a	1.08 b	1.19 c	1.46 d	0.88 a	1.29 b
P (%)	0.11 a	0.13 b	0.13 b	0.15 b	0.09 a*	0.12 b*
K (%)	0.88 a	1.01 b	1.01 b	1.00 b	0.80 a	0.70 b
Ca (%)	0.46	0.46	0.48	0.47	1.17	1.25
Mg (%)	0.07 a	0.08 b	0.09 b	0.08 b	0.12	0.13
Mn (ppm)	17.1	18.6	18.4	19.9	24.4	28.5
Zn (ppm)	10.6 a	13.1 b	15.1 c	17.1 d	15.9	16.1
Cu (ppm)	9.3 a	8.6 a	11.9 b	12.8 b	46.8	50.8
B (ppm)	43.6 a	52.8 b	51.2 b	47.6 ab	34.7	33.8
Na (ppm)	100	111	98	94	147	147
Fe (ppm)	30.1	24.7	30.1	31.2	55.3	44.4
Cd (ppm)	0.07	0.04	0.04	0.05	0.06	0.07
Hg (ppm)	0.08	0.03	0.04	0.04	0.10	0.12
Pb (ppm)	0.15 a*	0.18 ab*	0.21 b*	0.21 b*	0.46	0.41
Cr (ppm)	0.52	0.38	0.55	0.42	0.41	0.57
Ni (ppm)	0.45	0.59	0.48	0.50	0.39	0.58

Tabla V.10. Análisis foliares efectuados en hojas del año y en hojas viejas en los plantones de olivo en Julio de 2000. Valores seguidos de letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos al nivel $p < 0.05$. (*) Indica que las diferencias son significativas al nivel $p < 0.10$. 0-Control, 20-20 Mg ha⁻¹, 40-40 Mg ha⁻¹, 120-120 Mg ha⁻¹.

En el análisis de hojas viejas se observa un aumento significativo ($p < 0.05$) de la concentración de N en los plantones de olivo con la dosis más alta de lodos de depuradora (120 Mg ha^{-1}) frente a los testigos. También obtuvimos un aumento significativo ($p < 0.10$) en los contenidos de P debidos a la aplicación de lodos, así como un descenso en los niveles de K ($p < 0.05$) en las hojas viejas de los olivos tratados con 120 Mg ha^{-1} de lodos compostados. En el análisis de hojas viejas, no se detectaron diferencias significativas en Mg, Zn, Cu, B y Pb, a diferencia del análisis de hojas del año.

Las concentraciones de Ca, Mn, Na, Fe, Cd, Hg, Cr y Ni no acusaron cambios debidos a la adición de lodos compostados de depuradora, ni en hojas del año, ni en hojas viejas.

Los resultados de estado nutricional de los plantones de olivo en hojas viejas difieren bastante de los obtenidos en los ensayos de campo de la parcela Visos II en Julio de 2000 (tabla V.5), donde sí se obtuvieron diferencias significativas en Fe, Cu, Cd, Hg, B, Pb, Cr y Ni. En el análisis de hojas viejas efectuado en la parcela Visos I en Abril de 2000 (tabla V.3) se detectaron diferencias significativas sólo en N y K. La variabilidad de resultados obtenidos entre las parcelas de campo y en los ensayos con plantones podría deberse a numerosos factores como el número de años consecutivos de aplicación de lodo de depuradora, la diferencia en la edad de las plantas de olivo, el tipo de suelo, y sobre todo a la variabilidad del compost empleado cada año.

6. Síntomas de fitotoxicidad encontrados en hojas de olivo.

Las necrosis en las puntas de las hojas del año anterior (fotografías V.1 y V.2) que se apreciaron por primera vez en el invierno de 1999 en la parcela Visos I, aparecieron en olivos sometidos a aplicaciones de lodos de depuradora compostados. La intensidad de la afectación estaba claramente relacionada con la dosis de lodos aplicada, de modo que los olivos del tratamiento LODOS presentaban mayor número de hojas necrosadas que los sometidos al tratamiento denominado MIXTO.

Las necrosis estaban compuestas por manchas apicales de color marrón que iban aumentando de tamaño con el tiempo hasta ocupar casi la mitad de la hoja, momento en el que las hojas amarilleaban y caían al suelo. Entre la mancha marrón y el resto de la hoja sin afectar normalmente se distingue una pequeña franja de color marrón oscuro perpendicular a la nervadura de la hoja tras la que se aprecian

una segunda banda de grosor variable y con tonos amarillos que enlazan con la hoja no necrosada. Estos síntomas se han observado también en años en los que no se aplicaron lodos (años 2000 y 2001 en Visos I, y año 2001 en plantones) tanto en olivos adultos como en plantones, aunque es cierto que los daños son cada vez menos acusados.

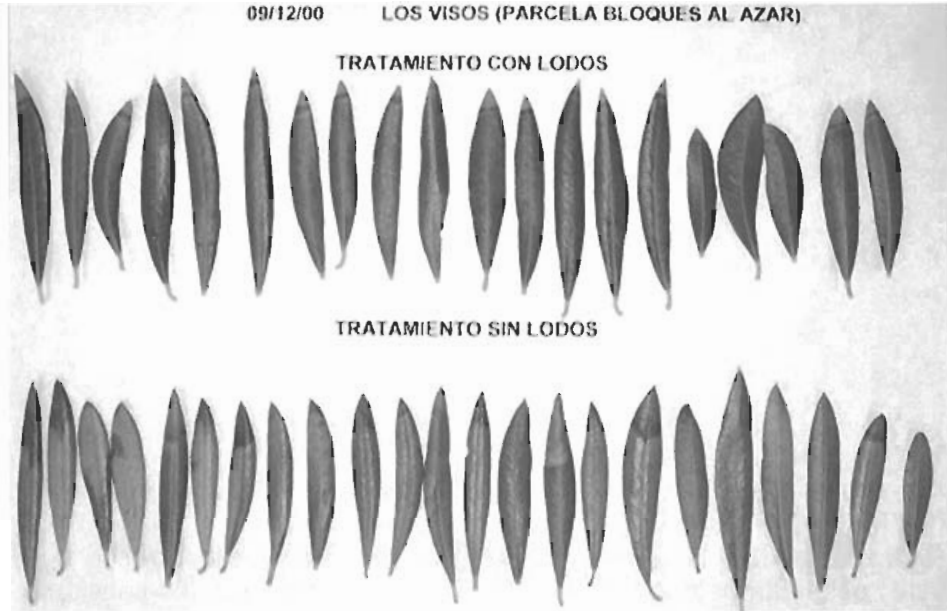
Los síntomas son parecidos a los ocasionados por la falta de K e incluso se podría confundir con una deficiencia de B. Ninguna de estas deficiencias se han corroborado en los numerosos análisis foliares llevados a cabo tanto en hojas nuevas del año como en hojas viejas, de olivos adultos y plantones.

Tras una adición puntual de lodos de depuradora compostados, el olivo sigue mostrando estas necrosis apicales en las hojas del año anterior durante al menos dos años más. Estos mismos síntomas se han presentado en olivares de Aranjuez, Toledo y Madrid sometidos a aplicaciones de lodos de depuradora compostados. Estos olivares están siendo motivo de ensayo por el Dpto de Uso Sostenible del Medio Natural (INIA) y por el Instituto Madrileño de Investigación Agraria y Alimentaria (IMIA) ambos de Madrid (Miralles de Imperial Hornedo, R. y Lobo Bedmar, M.C., comunicación personal). También se han detectado este tipo de necrosis apicales en olivares de Alicante que habían sido abonados con lodos frescos deshidratados (Gómez Lucas, I., comunicación personal).

Durante el año 2001 se realizaron ensayos con estaquillas de olivo en cultivo hidropónico encaminados a detectar la posible causa de los síntomas encontrados en los ensayos de campo. Se estudiaron varias hipótesis entre las que destacan los altos contenidos de N-NO_3^- y N-NO_2^- encontrados en el suelo tras una rápida mineralización del residuo. Se ensayaron también, soluciones nutritivas con metales pesados, y se estudió la posibilidad de que el causante fuese un desequilibrio nutricional por una deficiencia de K frente a un exceso de P y N en suelo. En ninguno de los tratamientos ensayados se consiguió reproducir los síntomas de las necrosis apicales en hojas viejas de las estaquillas de olivo, quedándose las distintas hipótesis de partida sin confirmación.

Alonso *et al.* (2000) obtuvieron una alta mortalidad de plantones de *Quercus ilex* debido a los altos niveles de nitratos en suelo. Troncoso y Cerda (1986), en un ensayo con estaquillas de olivo de cv. Manzanilla, observaron que con altos suplementos de nitrógeno aportados en el agua de riego (600 ppm en la disolución) provocaban un

efecto salino tóxico y el desarrollo de la planta sufría una disminución manifiesta. Por otra parte existe algunas experiencias en las que el empleo de residuos orgánicos han producido fenómenos adversos en cosechas como consecuencia de sustancias fitotóxicas que pueden incorporar (Iglesias y Pérez, 1989).



Fotografía V.1. Comparación visual entre las hojas de los tratamientos CONTROL (sin lodos) y LODOS (20 Mg ha^{-1}) tras una campaña de fuerte carga.

En la fotografía V.1 se comparan visualmente las hojas de los olivos correspondientes a los tratamientos LODOS (arriba) y CONTROL (abajo) en la parcela Visos II en Diciembre de 2000, tras una fuerte cosecha. Podemos observar como a pesar de las necrosis apicales, las hojas del tratamiento LODOS tienen un color verde más intenso que las del tratamiento CONTROL, que parecen haber acusado las grandes extracciones de nutrientes producidas por la cosecha.

En la fotografía V.2 podemos ver como las necrosis apicales causadas por el lodo de depuradora compostado sólo se manifiestan en hojas viejas.

Los metales pesados aportados por los lodos de depuradora al suelo y su asimilación por el olivo es algo que se ha tratado con especial interés. Si comparamos las concentraciones máximas de estos elementos traza obtenidas en los análisis foliares de olivar adulto y de plantones

**NECROSIS APICALES EN HOJAS VIEJAS POR APLICACIÓN DE LODOS DE
DEPURADORA COMPOSTADOS**
19-6-2001



Fotografía V.2. Localización de las necrosis apicales sólo en hojas del año anterior. No hay síntomas en las hojas del año.

(apartados 4.1 y 5 de este capítulo) con los presentados en la Tabla V.11, observamos que sólo el cobre se sitúa en el intervalo considerado tóxico para las plantas. Ya se comentó anteriormente la relación entre los altos niveles de Cu y los tratamientos contra el repilo. Valores de hasta 102 ppm de Cu fueron obtenidos por Aguilar y González (1998) en un ensayo de aplicación de Residuos Sólidos Urbanos en olivar. Los niveles de Cd, Cr y Ni superan ligeramente los valores normales, aunque quedan muy lejos de los considerados tóxicos.

Elemento	Deficiente	Normal	Tóxico
Cu (ppm)	2-5	5-30	20-100
Mn (ppm)	15-25	20-300	300-500
Cd (ppm)	-	0.05-0.2	5-30
Hg (ppm)	-	-	1-3
B (ppm)	5-30	10-200	50-200
Pb (ppm)	-	5-10	30-300
Zn (ppm)	10-20	27-150	100-400
Cr (ppm)	-	0.1-0.5	5-30
Ni (ppm)	-	0.1-0.5	10-100

Tabla V.11. Concentración aproximada de elementos traza en tejidos de hojas maduras para varias especies (Kabata-Pendias y Pendias, 1984).

7. Conclusiones.

Las mejoras en las propiedades químicas del suelo tras la enmienda con lodos de depuradora compostados no se han trasladado a los olivos adultos de las parcelas experimentales. No se han obtenido diferencias significativas entre los distintos tratamientos ensayados en producción de aceitunas. Por otro lado, la aplicación de lodos compostados de depuradora no afectó a la calidad del aceite obtenido y los niveles de metales pesados en aceitunas fueron inferiores a los límites de detección de los métodos analíticos empleados.

En lo referente al estado nutritivo de los olivos adultos no se han detectado diferencias consistentes en los análisis de hojas del año, aunque en hojas del año anterior se han detectado pequeños aumentos de los contenidos en hoja de algunos elementos traza que no se han visto confirmados en los análisis de hojas viejas recogidas en plantones de olivo.

Por otro lado, en los ensayos con plantones de olivo se han registrado efectos positivos por aplicación de dosis crecientes de lodos compostados en el estado nutritivo.

La aparición de necrosis apicales en hojas viejas, tanto en los ensayos con olivos adultos en parcelas experimentales como con plantones en macetas, estuvieron claramente relacionadas con la aplicación de lodos de depuradora compostados, aunque no tuvieron efectos perjudiciales aparentes sobre el desarrollo de las plantas.

CAPÍTULO VI. Conclusiones generales.

El lodo de depuradora compostado producido en la planta de "La Torrecilla", en Madrid, cumple todos los requisitos de la normativa legal vigente para su aplicación a suelos agrícolas.

La aportación durante dos años consecutivos de dosis de 10 y 20 Mg ha⁻¹ de lodos de depuradora compostados con una humedad del 20 % a un suelo típico de olivares andaluces (vertisol típico), ha tenido como efectos más destacados sobre las propiedades químicas del suelo el aumento de la materia orgánica, del fósforo disponible y del nitrógeno inorgánico, fundamentalmente en forma nítrica, así como una elevación de la conductividad eléctrica.

Sin embargo, las mejoras en las propiedades químicas del suelo tras la enmienda con lodos de depuradora compostados no se han trasladado a los olivos adultos de las parcelas experimentales, que no presentaron diferencias el estado nutritivo (análisis foliar), ni en producción de aceitunas. Ni siquiera los aportes de fertilizantes minerales nitrogenados en forma de urea mejoraron los parámetros estudiados. Probablemente el buen estado inicial del olivar unido a la aceptable fertilidad del suelo en las parcelas de campo ha tenido que ver mucho con estos resultados.

En cambio, en los ensayos realizados con plantones de olivo se han registrado efectos positivos por aplicación de dosis crecientes de lodos compostados en el estado nutritivo de los plantones de olivo abonados con compost de lodo respecto al tratamiento testigo sin abonar. Las concentraciones de N y Zn en hojas nuevas estuvieron directamente relacionadas con la dosis de compost empleada.

En cuanto a la acumulación de metales pesados en el suelo receptor, sólo Cu y Zn presentaron aumentos claros tras la aplicación del compost, aunque no siempre fueron estadísticamente significativos, mientras que los contenidos de Cd, Pb y Hg presentaron aumentos muy

pequeños. Los niveles de metales pesados en el suelo se mantuvieron siempre por debajo de los señalados por la Directiva 86/278/CEE.

En las hojas nuevas de olivo, sólo se han detectado diferencias en la asimilación de metales pesados en los plántones para Cu y Pb a partir de la dosis de 40 Mg ha^{-1} de compost de lodos de depuradora. En olivos adultos y en hojas del año anterior se han detectado pequeños aumentos de los contenidos en hoja de Cu, Cd, Hg, Pb y Cr, aunque no se han visto confirmados en los análisis de hojas viejas recogidas en plántones de olivo.

Por su parte, los niveles de metales pesados en aceitunas fueron inferiores a los límites de detección de los métodos analíticos empleados. La aplicación de lodos de depuradora compostados a las dosis ensayadas en campo, no ha influido negativamente en la calidad del aceite obtenido.

La aplicación en campo de lodos compostados se pudo realizar correctamente con los medios mecánicos existentes para aportación de abonos orgánicos tradicionales (remolque estercolador y abonadora centrífuga), aunque sería conveniente un cribado de los elementos excesivamente grandes. No ocasionó problemas de olores y permitió una buena incorporación al suelo.

La aparición de necrosis apicales en hojas viejas, tanto en los ensayos con olivos adultos en parcelas experimentales como con plántones en macetas, estuvieron claramente relacionadas con la aplicación de lodos de depuradora compostados. Aunque no tuvieron efectos perjudiciales sobre el desarrollo de las plantas, los síntomas visuales podrían alarmar a los olivareros.

Serían necesarios nuevos estudios que profundizaran en la causa de estos síntomas, y en los efectos a medio-largo plazo. Igualmente, convendría mantener las parcelas experimentales empleadas para comprobar los efectos de la aplicación de lodos de depuradora compostados a largo plazo en nuestras condiciones edafoclimáticas.

CAPÍTULO VII. Referencias bibliográficas.

Aggelides, S.M. y Londra, P.A., 2000. Effect of compost produced from town wastes and sewage sludge on the physical properties of a loamy and clay soil. *Bioresource Technol.* 71: 253-259.

Aguilar, F.J., 1997. Utilización agrícola de residuos sólidos urbanos como modelo alternativo de gestión. Implantación en la ciudad de Córdoba. Tesis Doctoral, Dpto. Agronomía, Universidad de Córdoba.

Aguilar, F.J. y González, P., 1998. Utilización agrícola de compost de residuos sólidos urbanos en cultivos leñosos de la provincia de Córdoba. Comunicación I+D 26/98. Junta de Andalucía, Consejería de Agricultura y Pesca.

Alloway, B.J. y Jackson, A.P., 1991. The behaviour of heavy metals in sewage sludge-amended soils. *Sci. Total Environ.* 100: 151-176.

Alonso, F.J.; Viladrich, O.; Serrasoles, I. Oliveira, G., 2000. Use of sewage sludge for restoration of degraded lands. III Congreso Internacional de la European Society for Soil Conservation. Valencia. Actas del Congreso.

Alva, A.K.; Prakash, O.; Paramasivam, S., 1999. Leaching of nitrogen forms, cations and metals as influenced by compost amendment to a Candler fine sand. *J. Environ. Sci. Health, Part A* 34: 1473-1483.

Alva, A.K.; Huang, B.; Paramasivam, S., 2000. Soil pH affects Cooper fractionation and phytotoxicity. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64(3): 955-962.

Andrades, M.; Carral, P.; Martínez, E.; Álvarez, A.; Alonso, J.I., 2000. Contenido en metales pesados y calidad de suelos en cultivos frutales de La Rioja (España). *Edafología* 7(3): 313-318.

Ayuso, M.; Hernández, T.; Costa, F.; García, C.; Pascual, J.A., 1992a. Influencia del grado de madurez de un residuo urbano sobre la germinación y disponibilidad de nitrógeno. *Suelo y Planta* 2: 517-527.

Ayuso, M.; Hernández, T.; García, C.; Costa, F., 1992b. Utilización de un lodo aerobio como sustitutivo de fertilizantes fosforados inorgánicos. *Suelo y Planta* 2: 271-280.

Barceló, J. y Poschenrieder, CH., 1989. Estrés vegetal inducido por metales pesados. *Investigación y Ciencia* 154: 54-63.

Barceló, J. y Poschenrieder, CH., 1990. Plant water relation as affected by metal stress: a review. *J. Plant Nutr.* 13: 1-37.

- Bauer, A. y Black, A.L., 1994.** Quantification of the effect of soil organic matter content on soil productivity. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58: 185-193.
- Beloso, M.C., 1991.** Estudio de la gallinaza como fertilizante agrícola. Tesis Doctoral. Facultad de Biología. Universidad de Santiago de Compostela.
- Beltrán, E.; Miralles de Imperial, R.; Porcel, M.A.; Delgado, M.; Bellido, N.; del Moral, R.; Bigeriego, M., 2000.** Fertilización del olivar con lodos de depuradora. *Vida Rural* 100: 45-47.
- Beltrán, E.; Miralles de Imperial, R.; Delgado, M.; Porcel, M.A.; García, J.; Bigeriego, M., 2001.** Effect on harvest of olive trees fertilized with sewage sludge compost. 8th International Controlled Atmosphere Research Conference. Rotterdam, The Netherlands.
- Benítez, E.; Romero, E.; Gallardo-Lara, F.; Nogales, R., 2000.** Asimilabilidad de metales pesados en un suelo enmendado con diferentes biosólidos residuales urbanos. *Edafología* 7(2): 157-164.
- Berenguer, M^a.J.; Faci, J.M^a; Gracia, M^a.S.; Espada, J.L., 2001.** Efecto del riego en la producción y la calidad del aceite de cv. Arbequina (*Olea Europaea* L.) en Aragón. Comunicación OLI-08. En: "X Simposium Internacional del Aceite de Oliva (Expoliva 2001)". Jaén.
- Bernal, M.P.; Roig, A.; Madrid, R.; Navarro, A.F., 1992.** Salinity risk on calcareous soil following pig slurry applications. *Soil Use Manage* 8: 125-130.
- Bigeriego, M. 1996.** Disposición final de fangos II. Aplicación en agricultura y sistemas de compostaje. XIV Curso sobre tratamiento de aguas residuales y explotación de estaciones depuradoras. Ministerio de Fomento (CEDEX) y Ministerio de Medio Ambiente, Madrid.
- BOE, 1990.** Real Decreto 1310/1990 de 29 de Octubre por el que se regula la utilización de los lodos de depuración en el sector agrario. Nº 262, Madrid.
- BOE, 1993.** Orden de 26 de Octubre de 1993 sobre la utilización de lodos de depuración en el sector agrario. Nº 265, Madrid.
- BOE, 1998a.** Ley 10/1998, de 21 de Abril, de Residuos. Nº 96, Madrid.
- BOE, 1998b.** Orden de 28 de Mayo de 1998 sobre fertilizantes y afines. Nº 131, Madrid.
- BOE, 2001.** Resolución de 14 de Junio de 2001, de la Secretaría General de Medio Ambiente, por la que se dispone la publicación del Acuerdo de Consejo de Ministros, de 1 de Junio de 2001, por el que se aprueba el Plan Nacional de Lodos de Depuradoras de Aguas Residuales 2001-2006. Nº 166, Madrid.
- BOJA, 1999.** Decreto 218/1999 de 26 de Octubre de 1999, por el que se aprueba el Plan Director Territorial de Gestión de Residuos Urbanos de Andalucía. Nº 134, Sevilla.
- BOJA, 2001.** Orden de 27 de Junio de 2001, conjunta de las Consejerías de Medio Ambiente y de Agricultura y Pesca, por la que se aprueba el Programa de Actuación aplicable en las zonas vulnerables a la contaminación por nitratos procedentes de fuentes agrarias designadas en Andalucía. Nº 75, Sevilla.
- Bould, C., 1966.** Leaf analysis of deciduous fruits. En: N.F. Childers (Ed.) "Fruits nutrition". Horticultural Publications. New Jersey.

Breckle, S., 1991. Growth under stress: heavy metals. In: "Plant Roots: the Hidden Half". Y. Waisel, A. Eshel & U. Kafkafi (Eds.) pp. 351-373, Marcel Dekker, Inc., New York.

Burgos, P.; Madejón, M.E.; Murillo, J.M.; Cabrera, F., 2001. Agricultural use of three organic residues: Effect on orange crop and on chemical properties of a soil of the comarca Costa de Huelva (SW Spain). Proceedings at ORBIT 2001, pp. 115-120. Sevilla.

Cajigas, A., 1991. Directiva Comunitaria sobre tratamientos de aguas residuales municipales. Ingeniería Química, Julio 1991: 147-152.

Canet, R.; Pomares, F.; Estela, R.; Tarazona, F., 1996a. Efecto de los lodos de depuradora en la producción de hortalizas y las propiedades químicas del suelo. Invest. Agr.: Prod. Veg. Vol 11(1), 83-99.

C.A.P., 2000. Boletín de información agraria y pesquera. Nº 147. Noviembre-Diciembre de 2000. Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía.

Caron, J.; Espíndola, D.A.; Angers, D.A., 1996. Soil structural stability during rapid wetting: Influence of land use on some aggregate properties. Soil Sci. Soc. Am. J. 60: 901-908.

Cavallaro, N; Padilla, N.; Villarrubia, J., 1993. Sewage sludge effects on chemical properties of acid soils. Soil Sci. 156: 63-70.

Cegarra, J.; Hernández, M.T.; Lax, A.; Costa, F., 1983. Adición de residuos vegetales a suelos calizos II. Influencia sobre la capacidad de retención hídrica y las propiedades de intercambio catiónico. An. Edafol. Agrobiol. 42: 235-244.

Centro de Edafología y Biología Aplicada de Sevilla, 1971. Estudio agrobiológico de la provincia de Córdoba. Centro Superior de Investigaciones Científicas, Madrid.

Chang, A.C.; Page, A.L.; Varneke, J.E., 1983. Soil conditioning effects of municipal sludge compost. J. Environ. Eng. 109: 574-583.

Chatterjee, J. y Chatterjee, C., 2000. Phytotoxicity of cobalt, chromium and copper in cauliflower. Environ. Pollut. 109(1): 69-74.

Civantos, M.; Contreras, R.; Grana, R.M., 1992. Obtención del aceite de oliva virgen. Ed. Agrícola Española, S.A. pp. 47-56.

Climent, M.D.; Fenech, G.; Martínez, A.; Aragón, P., 1994a. Influencia del empleo del compost sobre las propiedades físico-químicas del suelo. Actas III Cong. Int. de Química de la ANQUE. Volumen I, pp. 219-228. Puerto de La Cruz, Tenerife.

Climent, M.D.; Martínez, A.; Fenech, G.; Aragón, P., 1994b. Mejora de la capacidad de intercambio catiónico del suelo mediante la adición de compost de residuos sólidos urbanos. Modelo experimental. Actas III Cong. Int. de Química de la ANQUE. Volumen I, pp. 219-234. Puerto de La Cruz, Tenerife.

Climent, M.D.; Abad, M.; Aragón, P., 1996. El compost de residuos sólidos urbanos (RSU). Sus características y aprovechamientos en agricultura. Ed. Ediciones y Promociones LAV, Diputación de Valencia y Universidad Politécnica de Valencia.

Club Español de Residuos, 2000. Situación presente y futura de los vertederos en la Unión Europea. Noviembre de 2000. www.clubresiduos.org

Club Español de Residuos, 2001. Aprovechamiento de biorresiduos. El compost como producto. Cuadernos del CER nº 2, Febrero de 2001. www.clubresiduos.org

Coker, E.; Davis, R.D.; Hall, J.E.; Carlton-Smith, C.H., 1982. Field experiments on the use consolidated sewage sludge for land reclamation: effects on crop yield and composition and soil condition. Water Research Center TR 183, pp. 1976-1981.

Costa, F.; García, C.; Hernández, T.; Polo, A., 1991. Residuos orgánicos urbanos. Manejo y utilización. Ed. C.S.I.C., Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura, Murcia.

Coutinho, J.; Arrobas, M.; Rodrigues, O., 1997. Effect of composted sewage sludge amendment on soil nitrogen and phosphorus availability. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 28(19-20): 1845-1857.

Cristóbal, F., 1990. Visión general sobre la gestión del fango en España. Revista Técnica de Medio Ambiente 2: 57-70.

Cuadros, S., 1990. Compostaje. Curso sobre gestión de residuos urbanos. C.I.E.M.A.T., Madrid.

Dalal, R.C., 1977. Soil organic phosphorus. Adv. Agron. 29: 82-117.

Delgado, M.; Miralles de Imperial, R.; Porcel, M.A.; Beltrán, E.; García, J.; Bigeriego, M.; Polo, A., 2001. Characterization of forest soil after application of different organic matters. En: L. García-Torres, J. Benites, A. Martínez-Vilela (Eds.) "I World Congress on Conservation Agriculture", vol. II, pp. 227-230. Madrid.

DGXI, UE. Comisión de Medioambiente de la Unión Europea. [http// europa.eu.int](http://europa.eu.int).

Díaz-Burgos, M.A., 1990. Compostaje de lodos residuales: aplicación agronómica y criterios de madurez. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias. Universidad Autónoma. Madrid.

Díaz-Marcote, I., 1994. Aprovechamiento del compost de los residuos sólidos urbanos: estudio de su capacidad fertilizante y del efecto sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Tesis Doctoral. Dpto. de Química y Análisis Agrícola, Universidad Politécnica de Madrid.

DOCE, 1986. Directiva del Consejo 86/278/CEE de 12 de Junio de 1986, relativa a la protección del medio ambiente y, en particular, de los suelos, en la utilización de los lodos de depuradora en agricultura. Nº L 181, 4 de Julio de 1986.

DOCE, 1989a. Directiva del Consejo 89/369/CEE de 8 de Junio de 1989, relativa a la prevención de la contaminación atmosférica procedente de nuevas instalaciones de incineración de residuos municipales. Nº L 163, 14 de Junio de 1989.

DOCE, 1989b. Directiva del Consejo 89/429/CEE de 21 de Junio de 1989, relativa a la reducción de la contaminación atmosférica procedente de instalaciones existentes de incineración de residuos municipales. Nº L 203, 15 de Julio de 1989.

DOCE, 1991a. Directiva del Consejo 91/271/CEE de 21 de Mayo de 1991, sobre el tratamiento de aguas residuales urbanas. Nº L 135, 30 de Mayo de 1991.

DOCE, 1991b. Directiva del Consejo 91/676/CEE de 12 de Diciembre de 1991, relativa a la protección de las aguas contra la contaminación producida por nitratos utilizados en la agricultura. Nº L 375, 31 de Diciembre de 1991.

DOCE, 1991c. Reglamento (CEE) nº 2568/91 de la Comisión del 11 de Julio de 1991, relativo a las características de los aceites de oliva y de los aceites de orujo de oliva y sobre sus métodos de análisis. DOCE nº L248. Anexos II y III.

DOCE, 1995. Reglamento (CEE) nº 656/95 de la Comisión, de 28 de Marzo de 1995, por el que se modifica el Reglamento (CEE) nº 2568/91 relativo a las características de los aceites de oliva y de los aceites de orujo de oliva y sobre sus métodos de análisis. DOCE nº L 69.

DOCE, 1997. Reglamento (CE) nº 1488/97 de la Comisión de 29 de Julio de 1997 por el que se modifica el Reglamento (CEE) nº 2092/91 del Consejo sobre la producción agrícola ecológica y su indicación en los productos agrarios y alimenticios. Nº L 202, 30 de Julio de 1997.

DOCE, 1999. Directiva del Consejo 1999/31/CE de 26 de Abril de 1999, relativa al vertido de residuos. Nº L 182, 16 de Julio de 1999.

Duchaufour, P., 1984. Edafología. I: Edafogénesis y Clasificación. II: Constituyentes y Propiedades del Suelo. (Ed.) Masson. Barcelona.

Epstein, E; Keen, D.B.; Meisinger, J.J. y Legg, J.O., 1978. Mineralization of nitrogen from sewage sludge and sludge compost. J. Environ. Qual. 7: 217-221.

Estévez, J.I.; Andrade, L.; Marcet, P.; Montero, M.J., 1998. Influencia de las propiedades del suelo en la fijación y movilidad de Zn y Cd. Edafología 5: 19-27.

Fernández-Escobar, R., 1997. Fertilización. En: D. Barranco, R. Fernández-Escobar, L. Rallo (Ed.) "El Cultivo del Olivo". Pp. 231-249. Ed. Mundi-Prensa y Junta de Andalucía, Consejería de Agricultura y Pesca.

Fernández-Escobar, 2001. Fertilización racional en olivar. En: "X Simposium Internacional del Aceite de Oliva (Expoliva 2001)". Jaén.

Fernández-Escobar, R.; Barranco, D.; Benlloch, M., 1993. Overcoming iron chlorosis in olive and peach trees using a low-pressure trunk-injection method. Scientia Horticulturae 28, pp. 192-194.

Fernández-Escobar, R.; Moreno, R.; García-Creus. M., 1999. Seasonal changes of mineral nutrients in olive leaves during the alternate-bearing cycle. Scientia Horticulturae 82, pp. 25-45.

Ferreira, J.; García-Ortiz, A.; Frías, L. y Fernández, A., 1986. Los nutrientes N, P, K en la fertilización del olivar. Olea 17: 141-152.

Francis, C., 1990. Soil erosion and organic matter losses on fallow land: a case study from South-East Spain. In: J. Boardman, I.D.L. Foster, J.A. Dearing. "Soil erosion on agricultural land". pp 331-338. Wiley, Chichester.

Freeman, K.; Uriu, K.; Hartman, T., 1994. Diagnosing and correcting nutrient problems. In: "Olive production manual". Ed. University of California, Publication 3353.

Gallardo-Lara, F. y Nogales, R., 1987. Effect of the application of town refuse compost on the soil-plant system: A review. Biological Wastes 19: 35-62.

García, D.; Bernal, M.P.; Moreno, J.F.; Roig, A; Cegarra, J., 1994. Utilización de compost y ácidos húmicos en el cultivo de ray-grass. Actas III Cong. Int. de Química de la ANQUE. Volumen I, pp. 409-418. Puerto de La Cruz, Tenerife.

Genevini, P.L.; Tano, F.; Bocchis, P.; Zaccheo, P., 1991. Effetto di due matrici organiche sulla fertilità chimica del terreno e sulla disponibilità dei metalli pesanti. *Agrochimica* 35: 190-199.

Gies, G., 1995. Beneficial use of biosolids expands in Canada. *Biocycle* 36(3): 79-82.

Goldstein, N., 1988. Steady growth for sludge composting. *Biocycle* 29(10): 33-38.

Gómez, I.; García, F.; Navarro, J.; Moral, R.; Mataix, J., 1994. Efecto de la incorporación de un lodo de depuradora sobre los contenidos de N, P, K, Na, Ca, Mg, materia orgánica y azúcares de un suelo degradado. Actas III Cong. Int. de Química de la ANQUE. Volumen I, pp. 49-58. Puerto de La Cruz, Tenerife.

Guidi, G.; Pagliai, M.; Giachetti, M., 1982. Modifications of some physical and chemical soil properties following sludge and compost applications. In: G. Catroux, P. L'Hermitte & E. Suess (Eds.) "The influence of sewage sludge applications on physical and biological properties of soils", pp. 122-130. Dordrecht, The Netherlands.

Gupta, S.K.; Akmal, M.; Sinha, J.P., 1975. Study of the manurial value of supercompost reinforced with single superphosphate. *Proc. Nat. Acad. Sci. India* 45: 281-286.

Gupta, U.C.; Dowdy R.H.; Larson W.E., 1977. Hydraulic and thermal properties of a sandy soil as influenced by incorporation of sewage sludge. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56:601-605.

Hammer, M.J., 1986. Water and wastewater technology. Prentice-Hall, Inc. New Jersey.

Harada, Y. e Inoko, A., 1975. Cation-exchange properties of soil organic matter. I. Effects of conditions for the measurement on cation-exchange capacity values of humic acid preparations. *Soil Sci. Plant Nutr.* 21: 361-369.

Harmant, H.T.; Opitz, K.W.; Beutel, J., 1986. La producción oleícola en California. *Olivae* 11: 24-26.

Harper, E.; Miller, F.C.; Macauley, B.J., 1992. Physical management and interpretation of an environmentally controlled composting ecosystem. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 32: 657-667.

Hayes, T.M.; Clapp, C.E.; Du Bois, M.M.; Hayes, M.H.; Dowdy, R.H., 1994. Characterization of humic acids isolated from agricultural soil. In: N. Senesi y T.M. Miano (Eds.) "Humic Substances in the Global Environment and Implications on Human Health". Proc. 6th Int. Meeting of the IHSS, Monopoli, Bari, pp. 299-304.. Elsevier Applied Science Publisher, Amsterdam.

He, X.T.; Traina, S.J.; Logan, T.J., 1992. Chemical properties of municipal solid waste compost. *J. Environ. Qual.* 21: 318-329.

Hernández, J.M., 1989. Estudio de la acción de residuos sólidos de la ciudad de Sevilla (compost urbano) sobre el suelo y diversas especies vegetales. Tesis Doctoral. Dpto. de cristalografía, mineralogía y química agrícola, Universidad de Sevilla.

Hernández, T.; García, C.; Costa, F.; Valero, J.A.; Ayuso, M., 1992. Utilización de residuos urbanos como fertilizantes orgánicos. *Suelo y Planta* 2: 373-383.

Hernando, S.; Lobo, M.C.; Polo, A., 1989. Effect of application of a municipal refuse compost on the physical and chemical properties of a soil. *The Sci. Total Environ.* 81/82: 589-596.

Hortenstine, C.C. y Rothwell, D.F., 1968. Garbage compost as a source of plant nutrients for oats and radishes. *Compost Sci.* 9(2): 23-25.

Humanes, J. y Civantos, M., 1993. Producción del aceite de oliva de calidad. Influencia del cultivo. Apuntes 21/92. Ed. D. G. de Investigación, Tecnología y Formación Agroalimentaria y Pesquera de la Junta de Andalucía.

Iglesias, E. y Pérez, V., 1989. Evaluation of city refuse compost maturity: A review. *Biological Waste* 27: 115-143.

Iglesias, E., 1991. Estudio del compostaje termófilo y aerobio de los residuos sólidos urbanos de Tenerife. Poder fertilizante del compost y dinámica de los nutrientes aportados en un sistema suelo-planta. Tesis Doctoral. Ed. Secretariado de Publicaciones, Universidad de La Laguna, Tenerife.

Instituto de Cartografía de Andalucía, 1996. Vuelo fotogramétrico a escala 1:60.000 de Andalucía. Junta de Andalucía. Consejería de Obras Públicas y Transportes.

Jordão, P.V.; Dias, J.C.S.; Calouro, F.; Duarte, M.L., 1994. Effect of fertilization on leaf macronutrient concentration of olive tree. *Acta Horticulturae* 356: 197-201.

Kabata-Pendias, A. y Pendias, H., 1984. Trace elements in soils and plants. Ed. CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida.

King, L.D.; Leyshon, A.J.; Webber, L.R., 1977. Application of municipal refuse and liquid sewage sludge to agricultural land. II. Lysimeter study. *J. Environ. Qual.* 6(1): 67-71.

Klein, I.; Ben-Tal, Y.; Lavee, S., 1994. Saline irrigation of Cv. Manzanillo and Uovo de Piccione trees. *Acta Horticulturae* 356: 176-180.

Klute, A. y Jacob W.C. 1949. Physical properties of Sassafras silt loam as affected by long-term organic matter additions. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 14: 24-18.

Laguna, A. y Giráldez, J.V., 1990. Soil erosion under conventional management systems of olive tree culture. In: A.G. Ferreira, M.A. Coutinho and P.P. Tomás (Eds.) "Proceeding of the seminar on interaction between agricultural systems and soil conservation in the Mediterranean belt". European Society for Soil Conservation. Oeiras.

Lane, M.; Jones, C.; Greener, M., 2001. Soil erosion assesment and soil conservation methods in Spanish olives. En: L. García-Torres, J. Benites, A. Martínez-Vilela (Eds.) "I World Congress on Conservation Agriculture", vol. II, pp. 231. Madrid.

Lax, A.; Alvadalejo, J.; Díaz, F.; Roldán, A., 1990. Utilización de residuos sólidos urbanos para la recuperación de suelos degradados. Actas del I Congreso Internacional de la ANQE. Volumen I, pp. 249-258. Tenerife.

Li, Y.C.; Stoffella, P.J.; Alva, A.K.; Calvert, D.V.; Graetz, A., 1997. Leaching of nitrate, ammonium and phosphate from compost amended soil columns. *Compost Sci. Utilization* 5: 63-67.

Lindsay, B.J. y Logan, T.J., 1998. Field response of soil physical properties to sewage sludge. *J. Environ. Qual.* 27: 534-542.

Little, T.M. y Hills, F.J., 1972. Statistical methods in agricultural research. Agricultural Extension University of California, California.

Loehr, R.C.; Jewell, W.J.; Novak, J.D.; Clarkson, W.W.; Friedman, G.S., 1979. Land application of wastes. Van Nostrand Reinhold, New York.

Logan, T.J.; Harrison, B.J.; McAvoy, D.C.; Greff, J.A., 1996. Effects of olestra in sewage sludge on soil physical properties. *J. Environ. Qual.* 25: 153-161.

Madejón, E., 1996. Aprovechamiento agronómico de composts de vinaza: efectos en suelos, cultivos y aguas de drenaje. Tesis Doctoral, Dpto. de Sostenibilidad del Sistema Suelo-Planta-Atmósfera, Universidad de Sevilla.

Mahamud, L.; Gutiérrez, A.; Sastre, H., 1996. Biosólidos generados en la depuración de aguas (I): Planteamiento del problema. *Ingeniería del Agua* 3: 47-62.

M.A.P.A., 1993. Métodos oficiales de análisis. Ed. Secretaría General Técnica del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid.

M.A.P.A., 1996. Datos procedentes del Registro Nacional de Lodos Agrícolas, en comunicación de Diciembre de 1996.

M.A.P.A., 2000. Boletín mensual de estadística. Diciembre de 2000.

Mathur, S.P., 1991. Composting processes. In: *Bioconversion of waste materials to industrial products*. Ed. Elsevier, London.

Mays, D. A.; Terman G.L.; Dugan J.C., 1973. Municipal compost: Effects on crop yields and soil properties. *J. Environ. Qual.* 24: 5-18.

McBride, M.B., 1995. Toxic metal accumulations from agricultural use of sludge: Are USEPA regulations protective?. *J. Environ. Qual.* 24: 5-18.

McBride, M.B., 2001. Cupric ion activity in peat soil as a toxicity indicator for maize. *J. Environ. Qual.* 30: 78-84.

McCalla, T.M.; Peterson, J.R.; Lue-Hing, C., 1977. Properties of agricultural and municipal wastes. En: *Soils for Management of Organic Wastes and Wastewaters*. SSAA, Madison.

McGregor, S.T.; Miller, F.C.; Psarianos, K.M.; Finstein, S., 1981. Composting process control based on interaction between microbial heat output and temperature. *Appl. Environ. Microbiol.* 41: 1321-1330.

- McGuee, T.J., 1991.** Water supply and sewerage. McGraw-Hill. Singapore.
- McKinley, V.L.; Vestal, J.R.; Eralp, A.E., 1985.** Microbial activity in composting (I). *Biocycle* September: 39-43.
- Metcalfe y Eddy, 1995.** Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización. McGraw-Hill. Madrid.
- Metzger, L. y Yaron, B., 1987.** Influence of sludge organic matter on soil physical properties. *Adv. Soil Sci.* 7: 161-169.
- Molina, N. y Soliva, M., 1995.** Compostaje de residuos. Obtención de un nuevo sustrato a partir del compostaje de lodos de depuradora y restos de poda. *Horticultura* 103: 52-55.
- Murillo, J.M.; Hernández, J.M.; Barroso, M; López, R., 1989.** Producción frente a contaminación en la utilización agrícola de compost urbanos. *An. Edaf. Agrobiol.* 48: 143-160.
- Mustin, M., 1987.** Le Compost: Gestion de la matière organique. (Ed) Dubusc F. Paris.
- Nogales, R.; Gallardo-Lara, F.; Delgado, M., 1982.** Aspectos físico-químicos y microbiológicos del compostaje de basuras urbanas. *An. Edafol. Agrobiol.* 41: 1159-1174.
- Ordóñez, R.; González, P.; Giráldez, J.V., 1991.** La contaminación nitrogenada en la Vega del Córdoba. *Actas III Simposio sobre el agua en Andalucía, Córdoba.* pp. 451-462. Córdoba.
- Ordóñez, R.; González, P.; Giráldez, J.V.; Beltrán, G., 1996.** Evolución temporal de determinados parámetros químicos en un suelo cultivado regado con alpechín. *Ingeniería del Agua.* Vol. 3, 1, 53-58.
- Ortega Nieto, J.M., 1964.** Valor fertilizante del nitrógeno mineral y orgánico, y sus relaciones con el agua, en el olivo. Ministerio de Agricultura. Madrid.
- Pagliai, M.; Guidi, G.; La Marca, M.; Giacheti, M.; Lucamante, G., 1981.** Effects of sewage sludges and compost on soil porosity and aggregation. *J. Environ. Qual.* 10: 556-561.
- Parker, C.F. y Sommers, L.E., 1983.** Mineralization of nitrogen in sewage sludge. *J. Environ. Qual.* 12: 150-156.
- Pastor, J., 1984.** Aboveground production and N and P cycling along a N mineralization gradient on Blackhawk Island. *Wisconsin. Commun. In Ecology* 65: 256-277.
- Pastor, M y Castro, J., 1995.** Soil management systems and erosion. *Olivae* 59: 64-74.
- Permy, D., 2000.** El destino final de los lodos de depuradora. *Residuos* 53: 66-71.
- Piccolo, A.; Zaccheo, P.; Genevini, P.G., 1992.** Chemical characterization of humic substances extracted from organic-waste-amended soils. *Bioresour. Technol.* 40: 275-282.
- Pinamonti, F.; Stringari, G.; Gasperi, F.; Zorzi, G., 1997.** Heavy metal levels in apple orchards after the application of two composts. *Commun. Soil. Sci. Plant. Anal.* 28(15-16): 1403-1419.

- Verdú, I.; Gómez, I.; Burló, F.; Mataix, S., 1992.** Incidencia del fósforo en la mineralización del nitrógeno orgánico de un lodo de depuradora en dos suelos calizos. Extracción mediante EUF. *Suelo y Planta*, 1: 151-161.
- Walter, I.; Miralles de Imperial, R.; Bigeriego, M., 1992.** Efecto de un compost de lodo residual sobre el rendimiento y contenido de Cd y Ni en diversos cultivos. *Suelo y Planta* 2(4): 675-683.
- Wei, Q.F.; Lowery, B.; Peterson, A.E., 1985.** Effect of sludge application on physical properties of a silty clay loam soil. *J. Environ. Qual.* 14: 178-180.
- Weinbaum, S.A.; Johnson, R.C.; DeJong, T.M., 1992.** Causes and consequences of overfertilization in orchards. *Hort. Technology* 2(1): 112-121.
- Wildschut, L.R., 1995.** Y ahora... ¿qué hacemos con los lodos?. *Residuos* 25: 60-64.
- Wong, J.W.C.; Cheung, K.C.; Wong, M.H., 2000.** Environmental implication of soils amended with anaerobically digested sewage sludge in Hong Kong. *Water Air Soil Pollut.* 124: 23-36.
- Wu, L.; Ma, L.Q.; Martínez, G.A., 2000.** Comparison of methods for evaluating stability and maturity of biosolids compost. *J. Environ. Qual.* 29: 424-429.
- Zucconi, F. y de Bertoldi, M., 1987.** Compost specifications for the production and characterization of compost from municipal solids waste. En: M. de Bertoldi, M.P. Ferranti, P. L'Hermitte y F. Zucconi (Eds.) "Compost Productions, Quality and Use". Elsevier Applied Science Publisher, pp. 276-295. Londres.

AGRICULTURA

GANADERÍA

PESCA Y ACUICULTURA

POLÍTICA, ECONOMÍA Y SOCIOLOGÍA AGRARIA

FORMACIÓN AGRARIA

CONGRESOS Y JORNADAS

R.A.E.A.

ISBN 84-8474-110-9



9 798484 741106

R.V.P.: 7 €



JUNTA DE ANDALUCÍA

Consejería de Agricultura y Pesca