

**APLICACIÓN DE LODOS DE DEPURADORA EN
CULTIVO DE OLIVAR: VENTAJAS,
INCONVENIENTES Y ALTERNATIVAS**



Francisco de Lasheras Merino

2018



UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE

Se autoriza al alumno **D. Francisco de Lasheras Merino**, a realizar el Trabajo Fin de Máster titulado: "Aplicación de lodos de depuradora en cultivo de olivar: ventajas, inconvenientes y alternativa", bajo la dirección de D^a. Engracia Madejón Rodríguez (Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla. IRNAS-CSIC), debiendo cumplir las normas establecidas para la redacción del mismo que están a su disposición en la página Web específica del Master.

Orihuela, 3 de septiembre de 2018

La Directora del Máster Universitario de Investigación en Gestión, Tratamiento y Valoración de Residuos Orgánicos

Miguel Hernández
CAMPUS DE ORIHUELA
DEPARTAMENTO DE
AGROQUÍMICA Y
MEDIO AMBIENTE

Fdo.: Concepción Paredes Gil

TRIBUNAL	
FECHA:	
PRESIDENTE:	FIRMA:
VOCAL:	FIRMA:
VOCAL:	FIRMA:

**APLICACIÓN DE LODOS DE DEPURADORA EN
CULTIVO DE OLIVAR: VENTAJAS, INCONVENIENTES
Y ALTERNATIVAS**



Vº Bº DIRECTOR



Dra. Madejón Rodríguez, Engracia

ALUMNO



De Lasheras Merino, Francisco

REFERENCIAS DEL TRABAJO FIN DE MASTER

IDENTIFICACIONES:

Autor: Francisco de Lasheras Merino

Título: Aplicación de lodos de depuradora en cultivo de olivar: ventajas, inconvenientes y alternativas

Title: Sewage sludge application in olive growing: advantages, disadvantages and alternatives

Director/es del TFM: Engracia Madejón Rodríguez

Año: 2018

Titulación: Máster Universitario de Investigación en Gestión, Tramamiento y Valorización de Residuos Orgánicos

Tipo de proyecto: Trabajos de revisión e investigación bibliográfica

Palabras claves: Compost, lodos de depuradora, aplicación agrícola, olivo

Keywords: Compost, sewage sludge, agricultural application, olive

Nº citas bibliográficas: 35

Nº de tablas: 5

Nº de fotos: 8

Nº de figuras: 2



RESUMEN:

Los biosólidos o lodos de depuradora son un tipo importante de residuos resultantes de diferentes procesos de tratamiento de aguas residuales. La obligación de recoger y tratar/depurar las aguas residuales, emanada de las diferentes normativas europeas, supone un importante coste económico por lo que la valorización de los subproductos obtenidos de estos procesos se convierte en una necesidad dentro del marco del desarrollo sostenible y la economía circular. Los lodos contienen materias suspendidas o disueltas, algunas de ellas con valor agronómico como la materia orgánica y distintos macronutrientes y micronutrientes. Por esta razón la aplicación a los suelos tiene un gran potencial y más especialmente en suelos deficientes en materia orgánica como aquellos que forman parte de nuestro entorno mediterráneo y en concreto los que soportan los suelos de olivar.

Existen numerosos trabajos como los que se exponen en la presente memoria, que muestran, independientemente de tipo de cultivo (herbáceos y la mayoría de leñosos) y en la mayoría de suelos y condiciones edafoclimáticas, como la tónica general de los resultados, es que la valorización agrícola de lodos de depuradora en cualquiera de sus tratamientos, produce más efectos beneficiosos que efectos negativos en las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos así como en el desarrollo y productividad de los cultivos.

Sin embargo en el cultivo del olivar, tanto en las experiencias personales comentadas en la memoria como las recogidas en la bibliografía, muestran reacciones negativas en el desarrollo y productividad de los olivos y en muy pocos casos los resultados de la aplicación han resultado positivos o incluso inocuos. Por este motivo se concluye que si se quieren usar los lodos de depuradora tratados en el cultivo del olivar, se necesita una investigación y seguimiento detallados que depuren las causas de los posibles efectos negativos y ofrezcan seguridad a los agricultores a la hora de valorizarlos o bien, descartar definitivamente su uso para este cultivo.

ABSTRACT:

Biosolids or sewage sludge are an important type of waste resulting from different wastewater treatment processes. The commitment to collect and treat wastewater, coming from the different European regulations, involves an important economic cost. Therefore the recycle of the byproducts obtained from these processes becomes a necessity within the framework of sustainable development and the circular economy. The biosolids contains suspended or dissolved materials, some of them with high agronomic value such as organic matter and different macronutrients and micronutrients. For this reason the application to soils has great potential and especially in soils with low organic matter content such as Mediterranean soil and in particular those that support olive groves.

There are numerous papers and reports such as those revised in the present document that show, regardless of the type of crop (herbaceous and most woody), and in most soils and soil and climatic conditions, that the agricultural use of sewage sludge in any of its treatments, produces more beneficial than negative effects on soil physical, chemical and biological properties and on the development and productivity of the crops.

However, in the cultivation of olive groves, both the personal experiences mentioned in the report and those included in the literature showed negative reactions in the development and productivity of the olive trees and in very few cases the results of the application have been positive or even innocuous. For this reason it is concluded that if there is an interest to use biosolids as amendments in olive grove, a detailed investigation and monitoring that depict the causes of the possible negative effects is needed. It is necessary to offer security to the farmers or if this safety is compromised the use of biosolid in this olive grove must be discarded.

AGRADECIMIENTOS:

Quería agradecer la disponibilidad, dedicación e inestimable ayuda prestada por la profesora titular de la presente titulación y directora del presente TFM, D^a Engracia Madejón Rodríguez, investigadora científica del Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla IRNAS-CSIC, con la cual he encontrado sinergias con las que acometer diferentes proyectos laborales tanto actuales como en un futuro próximo.

También agradezco al resto de profesores y en especial a la Directora de Máster Universitario de Investigación en Gestión, Tratamiento y Valorización de Residuos Orgánicos, Concepción Gil Paredes, por compartir su tiempo y conocimiento. Enhorabuena a todos por la elección del temario escogido, que ha hecho que seamos conscientes de la magnitud y diversidad del tema, así como de profundizar en las posibles alternativas de gestión. También a nivel personal y tras 20 años fuera de la facultad ha sido especialmente gratificante volverme a sentir universitario y recordar el hormigueo tras cualquier prueba (no llego a tiempo ni en broma, ¿aprobaré?, ¿no aprobaré?, a ver cuántas convocatorias hay,...).

Por otro lado, también he de tener un recuerdo para mis compañeros de trabajo y a la empresa Ambiental y Sostenible S.L., por asumir parte de mis responsabilidades cuando he necesitado dedicar tiempo a la realización del presente Máster, así como a mi familia, la cual ha soportado mis nuevos hábitos laborales, los cuales sin duda, volverán a cambiar cuando supere esta titulación.



INDICE:

1	INTRODUCCIÓN	1
1.1	Problemática de los lodos de depuradora	1
1.2	Uso agrícola de lodos de depuradora: ventajas y desventajas	7
1.3	Fertilización orgánica del cultivo del olivar	9
2	OBJETIVOS	12
3	ESTRUCTURACION DE LA REVISION	13
3.1	Aplicación de lodos de depuradora tratados y no tratados en cultivos Agrícolas	13
3.1.1	Aplicación a cultivos herbáceos	13
3.1.2	Aplicación a cultivos arbóreos	18
3.2	Aplicación de lodos de depuradora tratados y no tratados en el olivar	22
3.2.1	Experiencias con resultados negativos	23
3.2.2	Experiencias con resultados positivos	31
3.3	Comparación de las experiencias	34
4	DISCUSION GENERAL	41
5	CONCLUSIONES	43
6	BIBLIOGRAFÍA	44



1 INTRODUCCIÓN

1.1. Problemática de los lodos de depuradora

La población mundial crece a un ritmo muy alto y este hecho repercute directamente en la generación de grandes cantidades y en la diversidad de residuos sólidos y líquidos en todo el mundo. En esta era de globalización, la industrialización acelerada y el desarrollo urbano han llevado al uso imprudente de los recursos naturales y la consecuente producción de una gran cantidad de residuos de naturaleza compleja (Singh et al., 2014). Los residuos de las áreas urbanas provienen de una gran variedad de fuentes, como los sectores industrial, residencial y comercial, así como de los espacios personales y de recreo.

La historia de los residuos está íntimamente ligada a la historia de la humanidad. En el esquema siguiente se hace un resumen de la evolución histórica de los tipos de residuos que se generaban, así como de su producción y problemática.

APLICACIÓN DE LODOS DE DEPURADORA EN CULTIVO DE OLIVAR: VENTAJAS, INCONVENIENTES Y ALTERNATIVAS

Tabla 1. “Transcripción de Evolución histórica de la producción de residuos”. Axel Tecpatl Fuentes Martínez y Yunuen Flores Mejía (2015)

PREHISTORIA: Los residuos eran eminentemente orgánicos, siendo asumibles por el medio ambiente. Las poblaciones eran nómadas y abandonaban los campamentos con las basuras producidas: huesos, pieles, restos de sílex, conchas marfil, madera, astas, etc. Cuando se fue desarrollando la agricultura y la ganadería se establecieron los primeros asentamientos, depositándose los residuos en basureros fuera de los núcleos de población.

LA ANTIGÜEDAD Y LA EDAD MEDIA: Se establecen las primeras civilizaciones e imperios, con importantes avances tecnológicos para la época y nuevos tipos de residuos. En muchas ciudades las basuras se recogían en contenedores de arcilla o en fosas que se vaciaban y limpiaban periódicamente, en otras, las basuras se disponían a las afueras de las ciudades donde se quemaban y enterraban. En la Edad Media, muchas de los conocimientos tecnológicos y normas de higiene, se perdieron por lo que aparecieron las grandes epidemias que mermaron en un tercio la población europea. Fue ya en el siglo XV cuando se consideró de nuevo la necesidad de gestionar los residuos y las calles se comenzaron a limpiar y pavimentar.

La reutilización y el reciclaje eran parte normal de la vida cotidiana mediante la alimentación del ganado y el uso de los residuos como abono.

REVOLUCIÓN INDUSTRIAL: A final del siglo XVIII y principios del XIX tuvo lugar un gran desarrollo de la metalurgia y la producción industrial de bienes, como consecuencia se emitieron grandes cantidades de CO₂ a la atmósfera. Por otra parte las investigaciones, determinaron que los microorganismos eran los responsables de las enfermedades, o que supuso un importante avance en lo que a higiene y gestión de residuos se refiere. En la segunda mitad del s. XIX, se pusieron en marcha las primeras incineradoras, planes de gestión de residuos y tratamiento de aguas, aunque las enfermedades siguieron afectando a la población a causa de las aún precarias condiciones de salud.

Los “carroñeros” realizaban una labor de reciclaje mediante la comercialización de lo que podían encontrar en la basura. En Inglaterra incluso fueron clasificados por los residuos que recogían

LA ACTUALIDAD: Desde la segunda mitad del s. XX, los nuevos avances tecnológicos y el desarrollo de la sociedad de consumo, dieron lugar a la aparición de nuevos tipos de residuos, cuyo volumen y peligrosidad han obligado a instaurar nuevas técnicas de gestión con el fin de minimizar su impacto. Así la gestión integral implica la depuración y reutilización de aguas residuales, la creación de centros de reciclaje de RSU, la retirada selectiva de residuos tóxicos (pilas, aceites, etc.), gestión de residuos industriales, radiactivos, etc. así como la elaboración y aplicación de planes de protección ambiental como consecuencia de un cambio cultural en el que la protección de éste se presenta como uno de los desafíos prioritarios de nuestro tiempo.

Los biosólidos o lodos de depuradora son un tipo importante de residuos orgánicos (Singh et al., 2014). Estos lodos de aguas residuales o aguas residuales domésticas son los residuos biológicos insolubles o los residuos orgánicos resultantes de diferentes procesos de tratamiento de las aguas residuales (Usman et al., 2012) en plantas de tratamiento (Marguí et al., 2016). En el mundo actual con la disminución de los recursos naturales y la crisis energética, no se puede ignorar la importancia y la necesidad de desarrollar un enfoque sostenible hacia la gestión ambientalmente racional de los residuos (Pappu et al., 2007). La eliminación inadecuada los lodos de depuradora y otros residuos biológicos plantea una grave

**APLICACIÓN DE LODOS DE DEPURADORA EN CULTIVO DE OLIVAR: VENTAJAS,
INCONVENIENTES Y ALTERNATIVAS**

amenaza para la calidad del medio ambiente que conduce a problemas como la contaminación del agua subterránea, la degradación de la calidad del suelo, problemas relacionados con la salud humana, etc.

Los lodos de depuradora en origen, se caracterizan por ser un residuo extremadamente líquido (más de un 95% de agua). Su composición es variable dependiendo de la carga de contaminación del agua residual inicial y de las características técnicas de los tratamientos llevados a cabo en las aguas residuales. Estos tratamientos del agua, concentran la contaminación presente, y por tanto, los lodos contienen amplia diversidad de materias suspendidas o disueltas. Algunas de ellas con valor agronómico (materia orgánica, nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) y en menor cantidad calcio (Ca), magnesio (Mg) y otros micronutrientes esenciales para las plantas) y otras con potencial contaminante como los metales pesados, entre ellos cadmio (Cd), cromo (Cr), cobre (Cu), mercurio (Hg), níquel (Ni), plomo (Pb) y zinc (Zn), los patógenos, y los contaminantes orgánicos. La heterogeneidad de la composición de los lodos de depuradora se pone de manifiesto en la Tabla 2 en la que se muestran algunos parámetros interesantes medidos en estos materiales.

Tabla 2. Composición de fisicoquímica de lodos de depuradora de distintos países (Datos tomados de Sharma et al., 2017).

	INDIA	CHINA	AUSTRALIA	ESPAÑA
pH	6,16 -7,5	6,86-8,73	4,4-8,3	7,1-8,1
EC (mS cm⁻¹)	2,28-2,70	0,67-5,01	1,6-7,9	1,2-3,9
COT (%)	5,52-12,6			15-55*
N Total (%)	1,60-1,73	2,23-6,50	0,60-2,50	3,01-4,10
P Total (%)	0,49-1,30	1,06-2,18	0,28-0,83	2,00-3,60
K Total (%)	0,80-1,26	0,46-0,62	0,18-0,45	0,24-0,47
Fe (mg kg⁻¹)	60059-143900		13824-18026	31200
Ni (mg kg⁻¹)	47,2-60	52,5-200	166	25-71
Mn (mg kg⁻¹)	186-260	1-537	173	165-233
Zn (mg kg⁻¹)	161-2050	0,21-1350	210-3060	560-1100
Pb (mg kg⁻¹)	28,5-240	49,1-186	323	13-219
Cr (mg kg⁻¹)	35,5-60	52,8-288	308	1-210
Cd (mg kg⁻¹)	32,3-154	2,23-7,61	0,70-13,6	0,2-3
Cu (mg kg⁻¹)	186-330	0,27-975	92-1996	149-230

*Dato tomado de Vico (2015)

Como se puede comprobar, en la Tabla 2 la composición de los lodos de depuradoras en las distintas partes del mundo puede ser muy variable. En España, y según estos datos recogidos nos encontramos

**APLICACIÓN DE LODOS DE DEPURADORA EN CULTIVO DE OLIVAR: VENTAJAS,
INCONVENIENTES Y ALTERNATIVAS**

con lodos alcalinos, con una moderada salinidad y con contenidos bastante altos de N y P. En cualquier caso los lodos españoles presentan lógicamente, menos variabilidad que otros países con mayor extensión, como los otros tres citados en la tabla. Además las concentraciones en metales pesados en los lodos de España son en general más bajos que los registrados en otros lugares del mundo.

Según los datos del Registro Nacional de Lodos, en España se producen anualmente alrededor de 1.200.000 Mg de materia seca de lodos de depuradora (junio 2018). Las estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR) son productores de lodos y como tales productores de residuos, deben asegurar su correcta gestión, ya sea directamente o encargarla a gestores autorizados, todo ello conforme a lo que establece la Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados. La orientación de su gestión debe realizarse respetando los principios de la política de residuos relativos a la protección del medio ambiente y la salud humana y aplicando la jerarquía en las opciones de gestión, priorizando la prevención sobre el reciclado, otros tipos de valorización incluida la energética y quedando en último lugar el depósito en vertedero (Figura 1). En la actualidad las orientaciones sobre su gestión se recogen en el Plan Nacional Integrado de Residuos (PNIR).



Figura 1 “La pirámide de los residuos”(www.compostadores.com)

Con el tiempo, se han explorado diferentes enfoques de eliminación segura de lodos de depuradora, como la incineración, la aplicación al suelo agrícola, depósito en vertedero (Marguá et al., 2016) y vertido al mar (Sánchez Monedero et al., 2004).

El depósito en vertedero y el vertido al mar tienen sus propios inconvenientes debido a la escasez de zonas dedicadas a ello, a problemas de contaminación y a que tampoco contribuyen a la reutilización de

**APLICACIÓN DE LODOS DE DEPURADORA EN CULTIVO DE OLIVAR: VENTAJAS,
INCONVENIENTES Y ALTERNATIVAS**

los componentes beneficiosos de los lodos de depuración (Singh y Agrawal, 2008). Como resultado, en Estados Unidos y varios países europeos está prohibido el vertido de lodos de depuradora a los océanos desde 1991 y 1998 (USEPA, 1999).

Con carácter general los lodos se tratan en la propia depuradora (línea de fangos) con el fin de reducir su contenido en agua, en patógenos y asegurar la estabilidad de la materia orgánica.

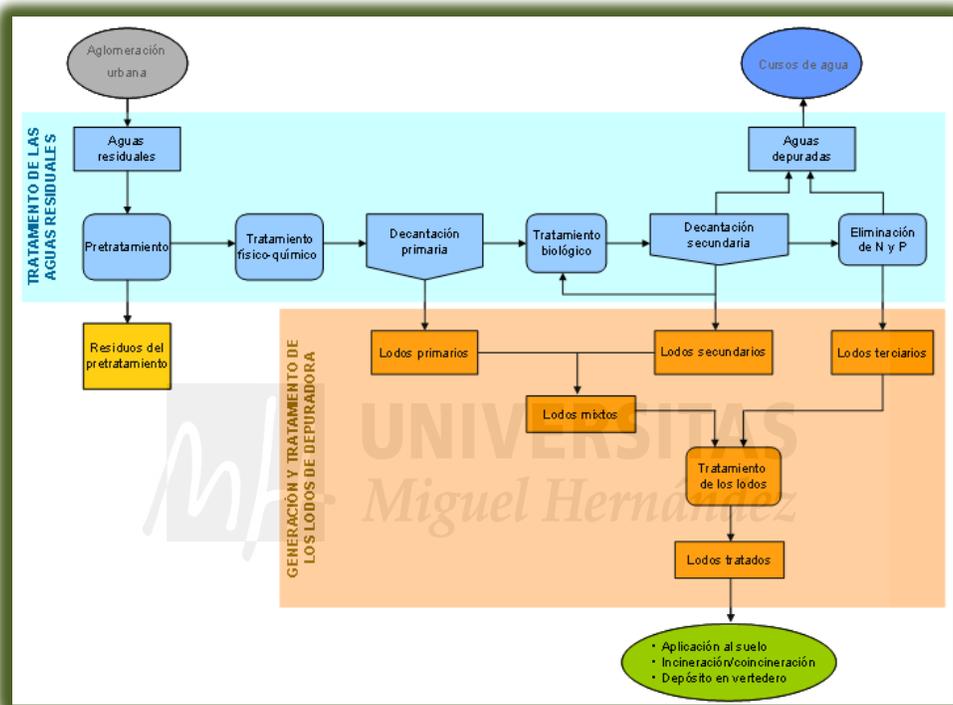


Figura2. Esquema de la generación y tratamiento de los lodos (fuente: MAGRAMA <http://www.magrama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/flujos/lodos-depuradora/>)

Respecto a los sistemas de tratamiento de los lodos, la normativa vigente tiende a establecer unos procesos cada vez más eficientes respecto a lo que concentración de carga microbiana y estabilidad se refiere. En este apartado, la comunidad autónoma de Andalucía acaba de aprobar la *Orden de 6 de agosto de 2018 por la que se regula la utilización de lodos tratados de depuradora en el sector agrario*, en el que en su Anexo II, se especifican los siguientes tratamientos posibles (Tabla 3)

**APLICACIÓN DE LODOS DE DEPURADORA EN CULTIVO DE OLIVAR: VENTAJAS,
INCONVENIENTES Y ALTERNATIVAS**

Tabla 3. Tratamientos autorizados a lodos previa a su valorización agrícola (BOJA 13/08/2018)

TRATAMIENTOS AUTORIZADOS A LOS LODOS

1. **Compostaje:** Este tratamiento corresponde a metodologías de manejo del lodo de depuradora que se basen en métodos controlados de transformación biológica aeróbica y termófila del lodo, sin que se alcancen en el producto final los estándares correspondientes a los tipos de abonos o enmiendas orgánicos, definidas en los grupos 2, 3 y 6 del Anexo I del Real Decreto 506/2013, de 28 de junio, sobre productos fertilizantes.

Se incluyen a continuación las metodologías de manejo del lodo para alcanzar un lodo tratado de depuradora por compostaje:

1.1. **Compostaje en pilas volteadas.** El método debe asegurar que se alcanza una temperatura en el interior de la masa que está siendo compostada de al menos 55 °C y que tal temperatura se mantiene a lo largo de un período no inferior a 4 horas entre cada volteo. Se harán como mínimo tres volteos de la masa que está siendo compostada, que irán seguidos de un período de maduración hasta completar el proceso de estabilización por compostaje.

1.2. **Compostaje en pilas estáticas ventiladas o en túneles.** El material que se pretende compostar se mantendrá a un mínimo de 40 °C durante, al menos, 5 días y por 4 horas durante este período, a un mínimo de 55 °C. Este será seguido por una fase de maduración hasta completar el proceso de estabilización por compostaje.

El lodo tratado mediante métodos de compostaje para que se pueda considerar como tal, deberá responder a los siguientes requisitos analíticos:

- Contenido mínimo de materia seca: 60%.
- Relación C/N < 20.
- Ausencia de Salmonella en 25 gramos de muestra.
- E. Coli < de 1.000 u.f.c./g.

2. **Otros tratamientos:** Se incluyen en este apartado distintas metodologías para el tratamiento de lodos, distintas del compostaje, que permiten obtener un lodo tratado mediante la reducción de su poder de fermentación y de su potencial para causar molestias y daños para la salud y el medio ambiente:

2.1. **Digestión anaerobia termófila,** a una temperatura mínima de 55 °C con un tiempo de retención media de 15 días, o bien a la temperatura mínima de 53° durante 24 horas en «batch», es decir, sin alimentación ni purgas del digester durante el método de tratamiento.

2.2 **Digestión anaerobia mesófila,** a una temperatura mínima de 35 °C, con un tiempo de retención medio de 12 días, siempre que a los lodos se les haya sometido a un tratamiento térmico inmediatamente anterior de, al menos, 70 °C durante 30 minutos.

2.3 **Estabilización aeróbica,** a una temperatura mínima de 20° y tiempo mínimo de retención, de toda la masa, de 50 días. El contenido final de humedad no podrá ser mayor del 40%.

2.4 **Estabilización con cal** hasta alcanzar un pH de 12 o más, siempre que se asegure una mezcla homogénea de lodo y cal y se mantenga tal mezcla en tal pH por un período no menor de 24 horas. Se podrá reducir este período de tiempo hasta un mínimo de 2 horas si se combina la adición de cal (hasta un pH>12) con un tratamiento térmico de mínimo 55 °C en el interior de la masa mezclada de lodo y cal.

2.5 **Secado térmico.** Toda la masa sometida a tratamiento deberá alcanzar una temperatura como mínimo de 80 °C, y permanecerá en tal temperatura durante un tiempo no menor de 10 minutos. Para tiempos de permanencia igual o superiores a 30 minutos, se admitirá que la temperatura alcance durante ese período como mínimo 70°. El contenido final de humedad no podrá ser mayor de un 10%.

En algunos casos, estos lodos son tratados fuera de las depuradoras en instalaciones específicas de tratamiento de residuos.

En España encontramos diferentes alternativas respecto al destino final. Sólo los lodos tratados pueden ser aplicados en los suelos agrícolas conforme a lo que establece el Real Decreto 1310/1990, de 29 de octubre, por el que se regula la utilización de los lodos de depuración en el sector agrario. También pueden ser incinerados en instalaciones de incineración de residuos o co-incinerados en cementeras conforme al Real Decreto 815/2013, de 18 de octubre, por el que se aprueba el Reglamento de emisiones industriales y de desarrollo de la Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación, y depositados en vertederos siempre que cumplan las condiciones que se establecen en el Real Decreto 1481/2001, de 27 de diciembre, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero.

La regulación relativa a la utilización de lodos de depuración en el sector agrario crea el Registro Nacional de Lodos que incluye la información que deben suministrar las instalaciones depuradoras, las instalaciones de tratamiento de lodos y los gestores que realizan la aplicación agrícola. La actualización de la información contenida en dicho Registro debe hacerse conforme a lo que establece la Orden AAA/1072/2013, de 7 de junio, sobre utilización de lodos de depuración en el sector agrario.

1.2. Uso agrícola de lodos de depuradora: ventajas y desventajas

La aplicación a los suelos de lodos de depuradora ha ganado popularidad a la vista de su potencial para reciclar compuestos de alto valor para los mismos, como la materia orgánica, el Nitrógeno (N), el Fósforo (P) y otros nutrientes para las plantas (Singh et al., 2011b) y más especialmente para suelos deficientes en materia orgánica como aquellos que forman parte de nuestro entorno mediterráneo, en los que los suelos apenas alcanzan el 1,5% debido a su alta tasa de mineralización (Koutroubas et al., 2014).

Además, el aporte de materia orgánica que se realiza con los lodos de depuradora cambia las propiedades fisicoquímicas y biológicas de los suelos.

Dentro de las propiedades físicas del suelo la materia orgánica tiene una gran influencia en la estructura, la porosidad, la capacidad de retención de agua y en la densidad aparente (Santos et al., 2014; Lloret et

**APLICACIÓN DE LODOS DE DEPURADORA EN CULTIVO DE OLIVAR: VENTAJAS,
INCONVENIENTES Y ALTERNATIVAS**

al., 2016). Las propiedades químicas como la conductividad eléctrica, la capacidad de intercambio catiónico y el contenido de ácidos húmicos, se modifican significativamente debido a la adición de la materia orgánica añadida a través de los lodos de depuradora (Pascual et al., 2009; Lloret et al., 2016). A su vez, los lodos de depuradora pueden aumentar la fertilidad del suelo aportando nutrientes beneficiosos para las plantas, lo que puede reducir el uso de fertilizantes minerales (Mehrotra et al., 2016).

Sin embargo, la aplicación imprudente de lodo puede alterar las propiedades del suelo debido a la presencia de niveles más altos de componentes tóxicos y metales (Singh et al., 2011b).

Tabla 4: Efectos generales de los lodos de depuradora sobre las distintas propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Pérez Cebrián, A (2016). TFG “Estudio bibliográfico del uso de lodos de depuradora en suelos agrícolas”. Universidad Politécnica de Valencia

Propiedad física	Efecto	Referencias
Estabilidad agregados del suelo	Aumenta	Guerrero y col. (2001), Ojeda y col. (2003)
Densidad del suelo	Disminuye	Nordcliff (1998), Ramulu (2002), Ojeda y col. (2003)
Capacidad de retención de agua	Aumenta	Nordcliff (1998), Epstein (1975), Ramulu (2002)
Porosidad	Aumenta	Ramulu (2002), Cuevas y col. (2006)
Erosión	Disminuye	Ojeda y col. (2003)

Propiedad química	Efecto	Referencias
CIC	Aumenta	Soon (1981), Canet y col., (1998), Ramulu, (2002), Abaunza (2014)
pH	Aumenta	Tsadilas y col. (1995), Neilsen y col. (1998)
	Disminuye	Epstein (1975), Neilsen y col. (1998), Beltrán y col. (2005), Abaunza (2014)
CE	Aumenta	Martinez y col. (2002), Ramulu (2002), Beltrán y col. (2005)
	Disminuye	Canet y col. (1998), Díaz y col. (2010)
Carbono orgánico del suelo	Aumenta	Kladivko y Nelson (1979)
N y P	Aumenta	Martinez y col. (2002), Sommers (1977), Walter y col. (2000)
Elementos tóxicos	Aumenta	Kulling y col. (2001), Lopez-Mosquera y col. (2000)
Contenido en humus	Aumenta	Kulling y col. (2001)

Propiedad microbiológica	Efecto	Referencias
Población de levaduras	Aumenta	Kulling y col. (2001)
Organismos patógenos	Aumenta	Kulling y col. (2001), Ramulu (2002), Gondim-Porto (2013)
Bacterias aerobias	Aumenta	Kulling y col. (2001), Ramulu (2002), Utria y col. (2008)

Según datos del Registro Nacional de Lodos se ha primado como destino final, su utilización agrícola (aproximadamente el 80% de los generados) de forma que se ha logrado reducir en gran medida el depósito en vertedero (aproximadamente el 8% actualmente) y por su parte, la incineración se encuentra en torno al 4% de total de la producción.

Otro destino de menor importancia cuantitativa es el uso de los lodos en suelos no agrícolas. Esta alternativa puede ser bastante interesante ya que existen muchos suelos contaminados y degradados con poca fertilidad, bajos contenidos de materia orgánica y en ocasiones pH muy ácidos. El establecimiento de una cubierta vegetal en este tipo de suelos resulta muy difícil a no ser que se le añadan enmiendas, ya sea de tipo orgánico o inorgánico (Madejón et al., 2009, García Izquierdo y Lobo Bedmar, 2007). Este tipo de residuos frescos pueden ser aplicados en suelos contaminados para su regeneración, siempre buscando la mejora de éstos, de manera que este proceso puede ser una alternativa al compostaje de los lodos de depuradora o cualquier otro tratamiento, cuando la normativa lo permita.

1.3. Fertilización orgánica del cultivo del olivar

Aunque el olivo puede desarrollarse en suelos marginales, su productividad se ve disminuida cuando es cultivado en esas condiciones. De aquí que los requerimientos de suelo son similares al resto de los frutales en lo que se refiere a la parte física, es decir, profundidad, textura y aireación fundamentalmente y a la parte química en lo que se refiere al aporte de nutrientes y materia orgánica. Cuando los suelos utilizados para el cultivo de olivos no cumplen con el perfil recomendado para la especie, es necesario realizar mejoras de los mismos para incrementar la fertilidad y consecuentemente la productividad. En Andalucía existe un problema añadido que afecta a gran parte de los suelos de extensas zonas del sur de Europa: la degradación del suelo debida fundamentalmente a acciones antrópicas agresivas y a la adversa climatología existente. Estas circunstancias nos llevan sin duda a disminución de la fertilidad natural de los suelos y a un deterioro de su biodiversidad. Una de las circunstancias que aceleran todos estos inconvenientes es la escasez materia orgánica especialmente en los suelos de nuestra Comunidad. En general, escasean las fuentes de materia orgánica tradicional (turbas y estiércoles) e interesa plantearse la posibilidad de aunar dos problemáticas (el reciclaje de residuos orgánicos y el aumento de la sostenibilidad de los suelos) con la finalidad de intentar resolver ambas. El uso de determinados

**APLICACIÓN DE LODOS DE DEPURADORA EN CULTIVO DE OLIVAR: VENTAJAS,
INCONVENIENTES Y ALTERNATIVAS**

residuos orgánicos (como los lodos de depuradora), conseguiría por una parte, mejorar la fertilidad de estos suelos y por otra, eliminar racionalmente los residuos mediante su reciclado en los mismos. Esta práctica encuadra perfectamente en las prácticas de economía circular, fundamental en la sostenibilidad económica de cualquier comunidad y en concreto en la nuestra. Por otra parte Andalucía no es ajena al problema que la agricultura crea en el cambio climático. Las enmiendas orgánicas consiguen aumentar la capacidad “sumidero de C” del suelo, contribuyendo así a la mitigación del efecto invernadero. Las enmiendas orgánicas además presentan una serie de beneficios agronómicos para los suelos; como mantener bajas poblaciones de nematodos, mejorar porosidad del suelo, incrementar retención de agua en el suelo y aportar nutrientes. Todos estos factores promueven un mejor arraigamiento de las plantas, lo que determina una productividad más estable de los cultivos en el tiempo.

La fertilización del olivar viene realizándose tradicionalmente de forma rutinaria, sin tener en cuenta las necesidades del cultivo ni el tipo de suelo en que se ubica nuestro olivar. En los años en que el olivar ha proporcionado buena rentabilidad, el agricultor ha tendido a incrementar las dosis de abono pensando en la producción aumentaría en igual medida. Sin embargo esto no es así, se ha puesto de manifiesto especialmente en los años de sequía. Se considera un buen programa de fertilización aquel respetuoso con el medio ambiente y que obtenga una rentabilidad máxima según el gasto.

Tradicionalmente, el abonado se ha realizado mediante el equilibrio entre la experiencia del agricultor, los intereses mercantiles del distribuidor de los fertilizantes y la rentabilidad económica del cultivo. A día de hoy, cada vez va tomando mayor relevancia un tipo de abonado acorde a la producción obtenida la campaña anterior y las expectativas de la siguiente. A modo de ejemplo, para suelos de la campiña cordobesa, para olivos en regadío con un marco de plantación de 7x7 m, entre 20 y 30 años de edad y con una producción de 8000 kg/ha de aceituna, los técnicos agrícolas recomiendan un abonado en torno a:

- Nitrógeno = 130 kg ha⁻¹
- Fósforo P₂O₅ = 35 kg ha⁻¹
- Potasio K₂O = 180 kg ha⁻¹

En el tema de la aplicación de residuos orgánicos y especialmente la aplicación de lodos de depuradora, habría que estar especialmente alerta con los problemas de salinidad, aunque el olivo es una de las

**APLICACIÓN DE LODOS DE DEPURADORA EN CULTIVO DE OLIVAR: VENTAJAS,
INCONVENIENTES Y ALTERNATIVAS**

especies de mayor tolerancia y en este sentido, es posible realizar plantaciones en sectores salinos en los que otros frutales ni siquiera sobrevivirían. Aun así, se han detectado algunos casos de toxicidad posiblemente causados por el incremento de sales en suelos enmendados con lodos de depuradora. En otras ocasiones, la producción se ve disminuida, pero incrementa el contenido de compuestos funcionales como son los antioxidantes naturales que posee el aceite de oliva.

El olivo crece bien en suelos de reacción que van de moderadamente ácidos a moderadamente alcalinos (pH entre 5,5 y 8,5), y dentro de este rango, son preferibles aquellos suelos de pH inferior a 7,5, ya que con pH superior es difícil para la planta absorber principalmente los micronutrientes, lo que obliga a suplementar con fertilizantes de alto costo.



2. OBJETIVOS:

A lo largo de mi vida profesional, he sido el técnico colaborador o el técnico responsable de la valorización agrícola de lodos de depuración en agricultura en diferentes empresas gestoras. Desde el año 1998 hasta el 2006 que constituí con otro socio Ambiental y Sostenible S.L. (AMBIENTAL), he intervenido directamente en la aplicación de más de 250.000 Mg de lodos en agricultura y es a partir de la constitución de mi propia empresa, cuando comenzamos con la ampliación de los tipos de residuos a valorizar, puesto que ya no se trata de aplicar a los suelos de cultivo lodos de EDAR sin más, si no de gestionar correctamente otros residuos “no convencionales” susceptibles de provocar un beneficio a los cultivos y suelos de nuestros agricultores. De este modo, AMBIENTAL, tras su acreditación ante la Administración, comienza a realizar formulaciones con diferentes residuos de origen orgánico para sus aplicaciones, mezclando lodos de EDAR urbana con otros de tipos de lodos industriales y cenizas procedentes de caldera de biomasa.

Cierto es que la gran mayoría de las aplicaciones agrícolas que he realizado, han sido en cultivos de cereales o herbáceos, en donde generalmente y, siempre respetando dosis, estados vegetativos y siguiendo las pautas de buenas praxis agronómicas, los resultados han sido positivos lo que queda demostrado por la demanda del propio agricultor a repetir la experiencia. Es en aplicaciones agrícolas de lodos en plantaciones de leñosos, donde los resultados han sido más dispares, siendo especialmente sensibles en el olivar.

Ya en mi período de universitario y becario en empresa de Gestión de Residuos Municipales, se me advirtió que la aplicación de lodos de depuradora en cualquiera de sus presentaciones, no iba bien con el cultivo de olivar (*Olea europea*) ni en adelfa (*Nerium oleander*), habiéndose detectado casos de incompatibilidad, con mayor o menor virulencia en plantaciones y autóvías. Por este motivo, los principales objetivos del presente trabajo serán profundizar en los estudios que han realizado un seguimiento de la aplicación de estos residuos en diferentes cultivos, destacando los realizados en el olivar, con el fin de intentar identificar y aislar los posibles causantes del daño según en qué condiciones se ha producido. Se pretende también buscar y discutir trabajos que ofrecen alternativas para optimizar el aprovechamiento de lodos de depuradora en agricultura.

3. ESTRUCTURACION DE LA REVISION:

3.1. Aplicación de lodos de depuradora tratados y no tratados en cultivos agrícolas

Como se ha comentado en el capítulo de la introducción, el uso agrícola de lodos de depuradora es una práctica bastante extendida como método de reciclaje de los mismos. En este apartado se van a comentar distintos experimentos diseñados por autores de todo el mundo que muestran las ventajas e inconvenientes de estas aplicaciones.

3.1.1 Aplicación a cultivos herbáceos



Foto 1. Preparación de suelo con lodos de EDAR en tierra calma para cultivos herbáceos. (fuente FdLM)

Comenzando con experiencias en aplicaciones a cultivos herbáceos (que podrían ser en principio más sensibles), ya desde los años 80's se tienen referencias de estudios de aplicación de lodos de depuradora en cultivos agrícolas. Webber et al. (1981) estudiaron tanto en lisímetros como en campo en Guelph, Ontario, Canadá, los efectos de lodos de depuradora sobre el rendimiento y la calidad de pastos en cultivos como maíz y trigo y en la calidad del agua subterránea. Estos autores comprobaron que los rendimientos de pasto, trigo y maíz fertilizados con lodos depuradora fueron comparables e incluso

**APLICACIÓN DE LODOS DE DEPURADORA EN CULTIVO DE OLIVAR: VENTAJAS,
INCONVENIENTES Y ALTERNATIVAS**

superiores a los obtenidos con fertilizantes minerales. No hubo evidencia de reducción del rendimiento incluso a partir de las dosis más altas de aplicación de lodo, que oscilaron hasta casi 500 Mg ha⁻¹. Los cultivos además mostraron contenidos de metales en sus partes aéreas similares con los cultivos testigo sin que se observaran problemas de fitotoxicidad. Sin embargo, a altas dosis los lodos mostraron un potencial alto riesgo de contaminación del agua subterránea por nitratos, achacable a una mayor aplicación de N a través del lodo del que es necesario para satisfacer las necesidades de nitrógeno del cultivo en crecimiento por lo que se registraron importantes pérdidas por lixiviación.

En Estados Unidos, autores que llevaban años intentando resolver si los lodos de depuradora eran adecuados para los cultivos de leguminosas (Angle et al., 1992) plantearon un estudio para evaluar el efecto de los lodos de depuradora en el crecimiento de la soja (*Glycine max* L. Merr.). Estos autores incorporaron dos lodos frescos (uno procedente de un área urbana y el otro procedente de un área rural) en el suelo a cuatro dosis (basadas en el requerimiento de N del cultivo, es decir, 0, 78, 156 y 312 kg de N ha⁻¹) y en dos localizaciones del país. Controlaron el crecimiento, la nodulación y la fijación de nitrógeno de la soja. Estos autores presentaron como resultado que, aunque la conductividad eléctrica (EC) del suelo, se incrementó inmediatamente después de la adición del lodo, no se observaron efectos adversos duraderos sobre el crecimiento de la planta. Además cuando se determinó la CE del suelo en el momento de la cosecha, se había reducido a niveles de fondo para todos los tratamientos. En lo que respecta a la simbiosis del N, aunque el microsimbionte de la soja (*Bradyrhizobium japonicum*) es relativamente sensible a los efectos tóxicos de las sales solubles, la nodulación no se vio afectada ni siquiera por la aplicación de la tasa más alta de lodo. Estos autores también mostraron que en el primer año, el lodo aumentó significativamente el contenido foliar de N del cultivo y la tasa de fijación de N se relacionó inversamente con la cantidad de N proveniente de lodo agregado al suelo. Cuando se midieron los mismos parámetros durante el segundo año, la aplicación de lodo no tuvo un efecto significativo en ninguno de los parámetros examinados. Estos resultados indican que la aplicación de lodos de depuradora al cultivo de soja en las condiciones de estudio (buenas condiciones de drenaje y abundantes precipitaciones) puede ser una práctica aceptable que no causa efectos negativos ni a la planta, ni al simbionte. Sin embargo estos autores no estudiaron la posible incidencia en las aguas subterráneas.

**APLICACIÓN DE LODOS DE DEPURADORA EN CULTIVO DE OLIVAR: VENTAJAS,
INCONVENIENTES Y ALTERNATIVAS**

Una tesis doctoral mucho más reciente (López Díaz M. L. 2004) presentó los resultados de un ensayo de fertilización y aplicación de lodos de depuradora urbana en un sistema silvopastoral establecido en una plantación de 5 años de pino de California (*Pinus radiata*) situada en Pol (Lugo), en la que se implantó una pradera compuesta por pasto ovino (*Dactylis glomerata*), vallico (*Lolium perenne*) y trébol blanco (*Trifolium repens*). Durante un periodo de tres años se realizó un seguimiento estacional de los parámetros de suelo y producción de pasto, y uno anual del crecimiento del arbolado. Se realizó una caracterización del lodo empleado y se estudiaron particularmente las concentraciones de metales pesados en suelo y pasto. En los 9 tratamientos ensayados se comparó el efecto del encalado, de distintas dosis de lodo y de la aplicación de abonado mineral tradicional para praderas en la zona. El estudio concluyó con un efecto de disminución de Al en el complejo de cambio, un aumento de la presencia de amonio en el suelo y un incremento del contenido en P por aplicación de los lodos. Se detectan asimismo efectos positivos sobre la producción de pasto como consecuencia de las aplicaciones de lodos, una evolución positiva de la composición botánica del pasto dependiente de la fertilidad del suelo y una calidad de pasto aceptable en los tratamientos con lodos

Ya en la última década se han publicado numerosos trabajos sobre el tema. Pilatti, et al. (2014) presentaron unos resultados de suma relevancia puesto que los ensayos se realizaron sobre un tipo de suelo denominado "Natracualf típico" de textura franco limosa, baja capacidad drenante y alto contenido en sales, lo que le provocan una muy deficiente capacidad productiva. Se evaluó el efecto de lodos de depuradora sobre la capacidad de productiva de los suelos de baja aptitud del centro-norte de Santa Fe (Argentina), y sobre la producción de sorgo y avena. Se estudiaron dosis entre 0 y 38,5 y entre 0 y 109 Mg de materia seca de lodo ha⁻¹, para sorgo y avena respectivamente, aplicadas previo a la siembra sobre un Natracualf típico. Se midió la respuesta en rendimiento y propiedades físicas y químicas del horizonte superficial. En ambos cultivos se observó respuesta positiva en comparación con el testigo. La salinidad moderada del lodo no afectó a los cultivos ya que las sales se lavaron con las precipitaciones ocurridas. Se observó efecto positivo sobre las propiedades químicas y físicas del horizonte superficial, destacándose fósforo extraíble, calcio y magnesio intercambiable, nitrógeno total y carbono orgánico, estabilidad de agregados, e intervalo hídrico óptimo. El pH del suelo sólo tendió a mejorar con altas dosis de lodos.

**APLICACIÓN DE LODOS DE DEPURADORA EN CULTIVO DE OLIVAR: VENTAJAS,
INCONVENIENTES Y ALTERNATIVAS**

En otro trabajo reciente (Soriano-Disla, et al. 2014) estudiaron las posibles implicaciones toxicológicas de los lodos a las plantas. El objetivo principal fue evaluar la transferencia de los Cd, Cr, Cu, Ni, Pb y Zn a cebada (*Hordeum vulgare*) cultivada en varios suelos enmendados con lodos de aguas residuales. El trabajo permitió evaluar la transferencia de metales pesados a raíces y brotes de cebada y la aparición de mecanismos de restricción en función del tipo de suelo. Se llevó a cabo en invernadero con cebada cultivada en 36 suelos agrícolas de diferentes partes de España, enmendados con una dosis única (equivalente a 50 Mg ha⁻¹ de peso seco) de dos lodos con niveles distintos de metales pesados (lodo común y enriquecido).

Los resultados mostraron que en los suelos enmendados con lodos, los metales pesados se transfirieron a las raíces en distinta medida. Los suelos restringieron débilmente la movilidad de los metales pesados a las raíces, la fisiología de las plantas restringió la transferencia de metales pesados de raíces a brotes, observando una mayor restricción a altas cargas de metales pesados. Sin embargo, los suelos con pH bajo, presentaron el mayor riesgo de transferencia de metales pesados y su uso debe realizarse con precaución.

También se aporta información del uso de lodos de depuradora en condiciones edafoclimáticas muy distintas a las condiciones mediterráneas. Por ejemplo, investigadores de la República Checa (Szymańska et al., 2016) evaluaron los efectos del uso agrícola de lodos de depuradora frescos en maíz (*Zea mays*), tanto en su año de aplicación directa como el efecto de residual de los mismos después de uno y dos años tras su aplicación. Las dosis de lodo de aguas residuales aplicadas se ajustaron con la Directiva del Ministerio del Medio Ambiente del país que permite la aplicación de 10 Mg ha⁻¹ de materia seca una vez cada cinco años. Como resultados más relevantes, estos autores obtuvieron que la fertilización con lodo no causó diferencias en el crecimiento y desarrollo de las plantas en comparación con aquellas abonadas con fertilizantes minerales y tampoco se observaron aumentos de los contenidos de metales pesados en las partes aéreas ni en el grano. Respecto al rendimiento industrial, el maíz cultivado con lodo de depuradora tuvo una mayor producción de grano que el fertilizado mineralmente, especialmente en condiciones de sequía extrema (como la del año 2006). El efecto beneficioso de los lodos de depuradora se mantuvo en los siguientes dos años después de la aplicación, siempre en comparación con las parcelas abonadas de forma tradicional con fertilizantes químicos.

En otro experimento con lodos de depuradora y aguas residuales llevado a cabo en Grecia, Ververis et al. (2016) se estudiaron los efectos en cultivos no comestibles. En este trabajo se evaluó en efecto de

**APLICACIÓN DE LODOS DE DEPURADORA EN CULTIVO DE OLIVAR: VENTAJAS,
INCONVENIENTES Y ALTERNATIVAS**

lodos de depuradora (secos y digeridos) a altas dosis (130 Mg ha^{-1}) junto con aguas residuales, en el cultivo de Kenaf (*Hibiscus cannabinus*), reemplazando la fertilización convencional (100 kg N ha^{-1} , $75 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ y $75 \text{ kg K}_2\text{O ha}^{-1}$) y el riego con aguas de red. Los autores determinaron que el uso de lodos de depuradora tuvo efectos similares en la producción de biomasa seca que la fertilización convencional. Además tampoco hubo diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos en las dimensiones de fibra y los valores derivados (índices de idoneidad para la fabricación de papel) ni en el contenido de celulosa y lignina. Los investigadores concluyen que los lodos de depuradora especialmente empleados en dosis tan altas, son muy adecuados para cultivos no comestibles y descartan problemas relacionados con la salud pública.

Otro trabajo muy reciente e interesante sobre el empleo agrícola de lodos de depuradora en herbáceos es el de Mohamed et al. (2018). El objetivo de este estudio fue determinar los efectos de lodos de depuradora deshidratados producidos en Marruecos, tanto en las propiedades del suelo (pH, conductividad eléctrica, nitrógeno mineral, fósforo y potasio disponible), así como sus efectos en el rendimiento agronómico en el cultivo de girasol (*Helianthus annuus* L.). Los autores realizaron un experimento utilizando seis tratamientos: sin fertilización, con fertilizante mineral (NPK) a dosis normales empleadas por los agricultores de la zona y con distintas dosis de lodos: 15, 30, 60 y 120 Mg ha^{-1} . Los resultados en suelo, mostraron que el pH del suelo se vio afectado significativamente por los lodos, con un descenso de la alcalinidad en los suelos tratados, mientras que la conductividad eléctrica aumentó significativamente cuando las dosis aplicadas fueron superiores a 30 Mg ha^{-1} . Se detectó un enriquecimiento significativo en N mineral y fósforo disponible en el suelo tratado con lodos de depuradora. Respecto al cultivo del cereal, el crecimiento del tallo de las plántulas de girasol que recibieron lodos de depuradora aumentó significativamente en comparación con los dos controles y tanto en la parte aérea como en la raíz, se observaron aumentos significativos en la acumulación de biomasa seca en comparación con las plantas no enmendadas. La asimilación neta de CO_2 aumentó también en el caso de los tratamientos con lodo, mientras que las tasas de transpiración disminuyeron en estos tratamientos al aumentar las dosis de lodos. La aplicación más baja de lodos presentó valores similares de los componentes del rendimiento en comparación con las plantas fertilizadas con los fertilizantes minerales. Sin embargo, se observó que el rendimiento de producción de grano (en kg/ha) fue 2, 4, 5 y 8 veces mayor en los tratamientos que recibieron lodos a dosis de 30, 60 y 120 Mg ha^{-1} .

**APLICACIÓN DE LODOS DE DEPURADORA EN CULTIVO DE OLIVAR: VENTAJAS,
INCONVENIENTES Y ALTERNATIVAS**

respectivamente, con lo que quedó puesto de manifiesto que las dosis altas no solamente no causaron problemas de toxicidad sino que fueron beneficiosas para el rendimiento del cultivo de girasol.

Numerosas experiencias personales con cultivos herbáceos (trigo) mostraron la bondad de los lodos de EDAR, en parcelas de suelos arenosos a la hora de la nascencia de la planta (Foto 2) y unos resultados agronómicos óptimos en la recolección. (Foto 3)



Foto 2. Detalle de nascencia en ensayo con cereal: parcela con lodo y testigo. (fuente FdLM)



Foto 3. Ensayo en cultivo cerealista: Espigado y recolección. (fuente FdLM)

3.1.2. Aplicación a cultivos arbóreos

En general existen menos trabajos en los que se documenten los efectos de lodos de depuradora tratados o frescos a cultivos arbóreos.

**APLICACIÓN DE LODOS DE DEPURADORA EN CULTIVO DE OLIVAR: VENTAJAS,
INCONVENIENTES Y ALTERNATIVAS**

En uno de estos trabajos, Pinamonti, et al. (1997) probaron un compost de lodo de aguas residuales y cortezas de álamo en 14 huertos de cultivo de manzano diferentes lugares en Italia. Durante 6 años, se monitoreó el contenido de metales pesados (Zn, Cu, Ni, Pb, Cd y Cr) en el suelo en las hojas y en los frutos de los árboles, tanto en forma "total" como en forma extraíble con EDTA. Los datos demostraron que el compost no causó un aumento significativo en los niveles de metales pesados ni en el suelo ni en las plantas, concluyendo que este compost se puede utilizar para fertilizar el suelo sin peligro a corto y medio plazo, al menos en lo que se refiere a la salud pública y en suelos de pH alcalino.

Siguiendo con cultivos arbóreos agrícolas Bravo-Martín-Consuegra et al. (2016) emplearon lodos de depuradora como fertilizante en Villarrubia de los Ojos (Ciudad Real) en viñedo durante 8 años. Se trató de un experimento realizado en un suelo arenoso en el que la aplicación de los lodos bajó ligeramente el pH y aumentó la conductividad eléctrica de los suelos. Aunque la aplicación de lodos de depuradora produjo un aumento de la materia orgánica y de la fertilidad del suelo, los análisis de los viñedos mostraron que la mayoría de los elementos contaminantes (metales pesados) se acumulan en niveles más altos que en otros suelos de viñedos calcáreos. Los autores concluyeron que la aplicación a largo plazo de lodo puede conducir a la contaminación del suelo y afectar a la calidad del vino. Además alertan que, la baja capacidad de retención del suelo arenoso podría provocar incluso contaminación de aguas subterráneas en áreas sensibles como las 'Tablas de Daimiel'.

Otro trabajo que aborda el uso de lodos de depuradora en cultivos arbóreos es el presentado por Ferreiro Domínguez (2011). En este trabajo se comenta que a pesar de que la UE promueve el uso de los lodos digeridos anaeróbicamente o compostados, estos productos poseen elevados contenidos en agua, por lo que es interesante evaluar otro tipo de productos como los estabilizados mediante procesos térmicos (lodos peletizados). El objetivo de la tesis doctoral fue el de evaluar el efecto de la aplicación de diferentes dosis de lodos de depuradora urbana estabilizados mediante digestión anaeróbica, compostaje y peletización en suelos agrícolas y forestales. Se hizo un estudio sobre los cambios más relevantes que se producen en las propiedades químicas del suelo, el crecimiento del arbolado, la producción, biodiversidad (de especies vegetales vasculares) y calidad del pasto y el posible riesgo ambiental provocado por el lavado de nitratos en comparación con los tratamientos de control (no fertilización y fertilización mineral). Se establecieron sistemas silvopastorales con pino radiata (*Pinus radiata* D. Don), fresno (*Fraxinus excelsior* L.) y roble americano (*Quercus rubra* L.) en Baltar (Lugo)

**APLICACIÓN DE LODOS DE DEPURADORA EN CULTIVO DE OLIVAR: VENTAJAS,
INCONVENIENTES Y ALTERNATIVAS**

después de una siembra con dactilo, raigrás y trébol antes de la plantación. En el ensayo con fresno se evaluó el efecto del lodo (320 kg N total ha⁻¹) sometido a diferentes tratamientos de estabilización (lodo anaeróbico, compostado y peletizado). En el caso de la experiencia con roble americano se estudió el efecto de tres dosis diferentes de lodo anaeróbico (100, 200 y 400 kg N total ha⁻¹). Con el pino radiata, se realizó un ensayo en macetas. Los resultados obtenidos permitieron concluir que la fertilización con lodos de depuradora permite el reciclaje de este residuo, a la vez que incrementa la producción de pasto y el crecimiento del arbolado. Las dosis de 200 y 400 kg de N total ha⁻¹ incrementaron de forma similar la producción de pasto y el crecimiento del arbolado por lo que desde un punto de vista económico y medioambiental sería suficiente con aplicar dosis de lodo que implicaran insumos de 200 kg de N total ha⁻¹. Además, debería promoverse el uso del lodo peletizado ya que mejora la productividad y, al tener un menor contenido en agua su aplicación al suelo es más sencilla y su transporte y almacenamiento son más baratos.

Como experiencia personal, y ya como técnico responsable en la empresa gestora de residuos AMBIENTAL en colaboración con el IFAPA de Córdoba, realicé un ensayo en una dehesa de encinas afectada por la seca en el Parque Natural Sierra de Aracena y Picos de Aroche. En diferente bibliografía se identifica que *Phytophthora cinnamomi*, causante de la enfermedad, se desarrolla con mayor velocidad en suelos ácidos y pobres en potasio (K). En el año 2010 se realizó un enmendado con lodos de depuradora junto a cenizas procedentes de una caldera de biomasa en la que el combustible principal era eucalipto. La formulación presentaba niveles medios de nutrientes y materia orgánica, sin embargo los valores de K y pH eran muy altos (12% y 10,4 respectivamente).

Tras la aplicación y debido a lenta repuesta de este tipo de árboles, hubo que esperar dos años para constatar que se había producido una ralentización en la progresión de la enfermedad, que no se habían afectado nuevos individuos y que los árboles originalmente sanos, presentaban un vigor superior a campañas anteriores.

**APLICACIÓN DE LODOS DE DEPURADORA EN CULTIVO DE OLIVAR: VENTAJAS,
INCONVENIENTES Y ALTERNATIVAS**



Foto 4. Ensayo en dehesa afectada por la seca de la encina. (fuente FdLM)

Se han realizado también experiencias de aplicación de estos productos en suelos degradados de baja fertilidad. Madejón et al. (2016) estudiaron el efecto del compost de lodo de depuradora en dos suelos degradados en términos de bajo contenido de carbono orgánico y bajo pH en el suroeste de España en la provincia de Huelva: La Rábida (RA) y Villablanca (VI). En La Rábida, la mitad de las parcelas se sembraron con álamo negro canadiense (*Populus x canadensis* "I-214") y la otra mitad se sembró con eucalipto (*Eucalyptus globulus*). En Villablanca, la mitad de las parcelas se plantaron con paulonia (*Paulownia fortunei*), y las otras parcelas se plantaron nuevamente con eucalipto (*Eucalyptus globulus*). Para cada árbol y sitio, se establecieron tratamientos (dos composts orgánicos y un control sin compost), con cuatro repeticiones por tratamiento. Las enmiendas orgánicas fueron compost "alperujo", y compost compuesto por lodos de depuradora. Durante los tres años de experimentación, se analizaron muestras de suelos y plantas para estudiar las propiedades químicas y bioquímicas del suelo, el crecimiento de las plantas, el estado nutricional de las plantas y la producción de biomasa. Como resultado, los composts aumentaron el carbono orgánico total, el carbono soluble en agua, los nutrientes y el pH del suelo sólo en el suelo más ácido. La calidad bioquímica del suelo se calculó con la media geométrica de las actividades enzimáticas (actividades deshidrogenasa, β -glucosidasa, fosfatasa y ureasa) determinadas en los suelos. Los resultados mostraron una mejora beneficiosa en comparación con los suelos sin compost. Sin embargo, los mejores resultados se encontraron en el crecimiento y la producción de biomasa de los árboles estudiados, especialmente en *Eucalyptus*. Los niveles nutricionales de las hojas de los árboles estuvieron, en general, en el rango normal establecido para cada especie, aunque no se observó un efecto claro de los composts. Los resultados de este estudio justifican la adición de compost para garantizar una

**APLICACIÓN DE LODOS DE DEPURADORA EN CULTIVO DE OLIVAR: VENTAJAS,
INCONVENIENTES Y ALTERNATIVAS**

buena producción de biomasa y mantener o mejorar el manejo del suelo en suelos degradados, especialmente en suelos ácidos.

También se han realizado diferentes experiencias que he seguido personalmente sobre cultivos de almendros en la provincia de Huelva. Se trata de suelos generalmente pobres y almendros casi en abandono por su baja productividad. En todos los casos se ha producido un incremento en el desarrollo del árbol y en la producción de almendras. Este tipo de aplicaciones se han venido realizando desde el año 2010 hasta el fin del contrato con la empresa productora en 2017.



Foto 5. Detalle de esparcimiento en plantación de almendros (foto FdLM)

3.2. Aplicación de lodos de depuradora tratados y no tratados en el olivar

Existen pocos trabajos específicos sobre el uso de lodos de depuradoras tratados y no tratados en el cultivo de olivar y la mayoría de encontrados no revelan resultados positivos. Pasamos a detallar algunas de estas experiencias encontradas en la bibliografía.



Foto 6. Ensayo en olivar (fuente FdLM)

3.2.1 Experiencias con resultados negativos

González Fernández (2002) realizaron un ensayo en cinco plantaciones de olivar, de las cuales tres se ubicaron en Madrid (variedad Cornicabra) y dos en Córdoba (variedad Picual). Los suelos estaban desarrollados sobre terrazas fluviales en Aranjuez y La Rinconada en Córdoba y sobre materiales del Mioceno de muy distinta composición en el resto de las plantaciones (yesos sarmatienses en Seseña y Margas azules en Los Visos, Córdoba). En el proyecto se diseñaron unas parcelas elementales de grandes dimensiones (0,5 ha) para poder realizar el ensayo en las condiciones más parecidas posibles a las que se dan en una explotación agrícola. Dentro de cada parcela se eligieron cuatro pares de árboles de similar porte para el seguimiento más detallado de algunos de los efectos de los tratamientos. En estos ensayos se comparó el comportamiento de los lodos con la fertilización mineral mediante los siguientes tratamientos: Urea (1 Kg. de N/árbol), Mixto (0,5 Kg de N en forma de urea/árbol + 8 Mg de lodos (s.m.s.)/ha., Lodos (16 Mg s.m.s/ha compostados) y Control o Testigo (sin abono). Destacar que los autores indican que los lodos compostados aportados presentaban escasa madurez.

Estos autores obtuvieron los siguientes efectos:

Efectos sobre el suelo. Los lodos aplicados en los olivares presentaron unos niveles de metales pesados inferiores a los límites máximos autorizados por normativa, aun así, los niveles de Pb y Zn y en menor medida el Cr fueron bastante altos. Sin embargo, los incrementos de metales pesados en el suelo no fueron lo suficientemente importantes como para ser detectados en los análisis de suelo. Solo, en alguna ocasión, los incrementos de Cu y Zn fueron significativamente mayores que los encontrados en el suelo testigo.

El efecto más destacado en todos los suelos de olivar fue el aumento de la materia orgánica lo cual es bastante importante en nuestros suelos. En las localizaciones de Córdoba se detectaron también incrementos significativos del N inorgánico en parcelas con lodos en contradicción con algunos valores observados en Madrid, donde los mayores valores se encontraban en las parcelas tratadas con urea.

Este estudio también recoge la repercusión de la aportación de lodos de depuradora compostados en las propiedades físicas del suelo que más afectan a la infiltración y en las que influyen directa o indirectamente en su resistencia a la erosión. En la mayoría de los casos, los cambios en densidad aparente, agrietamientos, mediciones directas de la infiltración, capacidad de retención de agua, porcentaje de agua útil y medidas de erosión con simulador, no fueron lo suficientemente intensos para ser detectados estadísticamente

Efectos sobre los olivos. La respuesta del olivo a los distintos tratamientos con lodos o urea se intentó estimar mediante la medición del crecimiento de brotes de un año en uno de los experimentos de Córdoba en 1999 y 2000. Las grandes fluctuaciones observadas en los crecimientos entre tratamientos y años, debidos quizás al insuficiente número de brotes controlados, impidieron detectar diferencia estadística alguna. Por lo contrario las mediciones efectuadas en otro experimento de Córdoba mostraron un crecimiento significativamente mayor en las parcelas con los lodos con respecto al resto de parcelas. En Seseña y Aranjuez se observó un mayor crecimiento en los olivos tratados solo con lodos y lodos más urea. No se detectaron en estos olivares diferencias entre los tratamientos testigo y con urea. En Córdoba las respuestas positivas al tratamiento con lodos, sólo se detectaron el mismo año en que se aportaron, mientras que en Seseña el mayor crecimiento se observó al segundo año de la aplicación. Otro procedimiento seguido para estimar los efectos de los tratamientos en el crecimiento de los olivos

**APLICACIÓN DE LODOS DE DEPURADORA EN CULTIVO DE OLIVAR: VENTAJAS,
INCONVENIENTES Y ALTERNATIVAS**

consistió en medir las variaciones del volumen de copa. No se encontraron diferencias significativas y tan solo en uno de los experimentos de Córdoba en el año 2000 detectó un incremento medio de 2 m³ entre Febrero y Agosto de 2000.

El estado nutricional del olivar reflejado por los análisis foliares fue objeto de un seguimiento detallado. En general los niveles son los adecuados para el cultivo con la excepción del K que se encuentra en niveles algo inferiores a estos valores adecuados. Sólo se manifiestan valores más altos al control en el contenido de Mn, en olivos tratados con lodos con respecto al testigo. En los ensayos de Madrid se detectó un diferente comportamiento del lodo como fuente de N en los suelos más pobres, produciéndose un incremento en el N en hojas mientras que en los suelos más fértiles no influyó en los niveles de este nutriente en hoja. En el olivar de la zona de Madrid se observó un mayor contenido de los metales pesados Pb, Cr, Zn, Cd y Ni y Cu en los olivos tratados con lodos que en los olivos testigo.

Los efectos de los lodos y urea sobre las producciones de aceitunas y aceites constituyen uno de los parámetros de mayor interés a la hora de valorar la idoneidad de estos tratamientos con lodos en el cultivo de olivar. Se observó cómo el año 1999 constituyó un año de descarga (vecería). En Córdoba solo se detectaron diferencias significativas en 1998, en detrimento del tratamiento mixto. En Aranjuez ese año también se midieron las producciones más bajas en este tratamiento mixto. Es de destacar que a pesar de las bajas precipitaciones de 1999 que restringieron el crecimiento vegetativo, al año siguiente la cosecha fue muy importante y satisfactoria en todos los tratamientos.

La producción de aceite por árbol, al igual que el rendimiento graso y la calidad, y también la humedad del fruto no se vieron afectados por los tratamientos en Córdoba; confirmando la dificultad y lentitud de los olivos de secano para dar una respuesta positiva a la fertilización. Los niveles de metales pesados (Cr, Ni, Cd, Hg y Pb) medidos en el aceite procedente de las parcelas de uno de los ensayos de Córdoba en 2000 no llegaron al límite de detección en ninguno de los elementos antes descritos, confirmando la nula transferencia de metales pesados observada por otros investigadores (Beltran et al. 2001).

La aparición de unas llamativas necrosis apicales en las hojas viejas de los olivos enmendados con lodos (foto 7) se ha demostrado que está claramente relacionado con las dosis y con el tipo de suelo. Después de observar estos síntomas los autores apuntan que, en ciertos casos, se produjo una defoliación más o

**APLICACIÓN DE LODOS DE DEPURADORA EN CULTIVO DE OLIVAR: VENTAJAS,
INCONVENIENTES Y ALTERNATIVAS**

menos intensa que aparentemente no tuvo consecuencias negativas en la producción. Por su posible trascendencia se prosiguió el estudio para intentar investigar el agente causal y su posible remedio.



Foto 7. Detalle de necrosis apical en ensayo de lodos en olivar

En general los resultados del uso de lodos o de lodos compostados no fueron positivos ni desde el punto de vista agronómico (producción de cosecha) ni teniendo en cuenta la respuesta de los olivos. Este efecto no pareció estar tan relacionado con los contenidos de metales pesados presentes en los materiales y sí en la falta de madurez en los lodos “compostados”. De hecho, los autores estiman que gran parte de la fitotoxicidad observada en estos ensayos es posible que se deba a la escasa madurez del lodo, reflejada en algunos de los parámetros medidos. Otro aspecto desconocido, es el nivel de contaminantes orgánicos presentes en los lodos de depuradora empleados en los ensayos. También se ha contemplado la posibilidad de que los lodos aporten algún compuesto orgánico de efecto fitotóxico, en especial en los compost inmaduros. Sin embargo, estos efectos se muestran raramente en los cultivos herbáceos como se ha visto en el apartado anterior.

Los lodos incrementan la materia orgánica y el fósforo del suelo a la vez que mejoran algunos parámetros físicos en los primeros 10 centímetros de suelo. Sin embargo, estas mejoras de las propiedades físico-químicas del suelo no se traducen, a corto plazo, en un aumento del estado nutritivo de los olivos ni en un incremento de sus producciones. Las cantidades aportadas han sido relativamente modestas y apenas si han modificado los contenidos en metales de la biomasa ni del suelo.

**APLICACIÓN DE LODOS DE DEPURADORA EN CULTIVO DE OLIVAR: VENTAJAS,
INCONVENIENTES Y ALTERNATIVAS**

Se ha confirmado que los lodos de depuradora constituyen una valiosa fuente de nitrógeno y fósforo orgánico amén de otros nutrientes. No obstante, la aparición de unos llamativos síntomas de fitotoxicidad, -más intensos en los olivares de Madrid que en los de Córdoba- que no causaron efectos negativos aparentes sobre las producciones, obliga a proseguir el estudio del origen de estos daños; cuya incidencia a largo plazo se desconoce y que invalidan en la actualidad la utilización de los lodos como enmiendas de suelos de olivar.

Siguiendo con los estudios realizados en el olivar, en el transcurso del proyecto “Utilización de lodos de depuradoras en la conservación del suelo de los olivares y como enmienda orgánica” liderado por Miralles de Imperial Hornedo (2002) se observaron unos daños asintomáticos en las hojas de los olivos de variable intensidad según zonas y suelos, con aparición de necrosis apicales en hojas viejas. Los objetivos de este trabajo fueron: evaluar la idoneidad del aprovechamiento del compost de lodos de depuradoras como fertilizante órgano-mineral del olivar y reproducir los síntomas de fitotoxicidad observados en campo. Se realizaron tres estudios a distinta escala paralelamente en olivar, plantones y estaquillas de olivo (*Olea europaea*) cv. Cornicabra. Se trata de un ensayo complementario al del profesor González Fernández, comentado anteriormente, por lo que las plantaciones se situaron en Seseña (Toledo) y Aranjuez (Madrid) y las dosis de aplicación fueron: compost de lodo (16 Mg ha^{-1}), mixto ($0,5 \text{ kg de N urea/árbol} + 8 \text{ Mg ha}^{-1}$ de lodo), urea (1 kg de N/árbol) y testigo (sin fertilización). Los plantones de olivo se cultivaron en contenedores de PVC de 10 l utilizando suelo de Aranjuez. En invernadero se realizaron ensayos en vasos con estaquillas enraizadas con cuatro tipos de lodo.

La aparición de necrosis apicales en hojas viejas de olivos adultos estuvo claramente relacionada con la aplicación de lodos de depuradora compostados. Aunque no tuvieron efectos perjudiciales sobre el desarrollo de las plantas, los autores indican que los síntomas visuales podrían alarmar a los olivareros. En el ensayo con plantones y tratamientos con cuatro tipos de lodos, se reprodujeron los síntomas observados en campo para las dosis más altas y el primer año de cultivo, pero no les afectó al crecimiento y al no volver a aplicar el lodo en los siguientes años de cultivo, el árbol se recuperó y no volvió a aparecer dicho síntoma. En estaquillas con lodo compostado y dosis altas también apareció el síntoma aumentando el número de individuos secos con el lodo secado térmicamente. Otro resultado de este estudio es que en plantones la dosis que se podría considerar no perjudicial para las hojas de olivo es de 10 t/ha , pero esta dosis no produce mejoras apreciables en otros parámetros como el crecimiento o

el estado nutricional de la planta. Además los autores también indican que la aplicación de lodos de depuradora en ensayos con estaquillas mostraron un posible efecto de toxicidad de los lodos o sus dosis que se reflejan en varios parámetros de crecimiento, nutrición y senescencia (Miralles de Imperial et al. 2002, 2003a). Para las dosis de 10 y 20 Mg ha⁻¹ los efectos negativos fueron mínimos. El análisis de los sustratos, después de extraer las estaquillas, mostró que el contenido de nitrógeno y materia orgánica con los cuatro tipos de lodo aumentó en función de la dosis.

Los autores concluyen que según los resultados obtenidos no es recomendable la aplicación de lodo compostado al suelo del olivar porque provoca daños en las hojas del olivo y el incremento de materia orgánica, fósforo y nitrógeno obtenidos en nuestros ensayos con árboles adultos (Beltrán et al. 2003), plantones y estaquillas (Miralles de Imperial et al. 2003), no pueden compensar el daño observado.

En un trabajo más reciente, Gascó y Lobo (2007) estudiaron los efectos de la aplicación de lodos de depuradora sobre el suelo y olivos (*Olea europaea* L., variedad cornicabra). Las plantas se cultivaron en macetas de 8,5 L y se sometieron a los siguientes tratamientos con dosis crecientes de lodo de depuradora correspondiente a: 0, 4, 8, 16, 32, 64 y 128 Mg ha⁻¹ de lodo. La aplicación del lodo en las dosis de 64 y 128 Mg ha⁻¹ produjo la quema de la punta de la hoja y la caída de la hoja después de 120 días, aunque las tasas acumuladas de carga de contaminantes metálicos estuvieron por debajo de las regulaciones de la USEPA y de las regulaciones europeas. Los autores atribuyeron este síntoma de toxicidad, a los altos niveles de sodio en las hojas (más del 0,19%), lo que puede dañar el desarrollo del olivo. Los contenidos de Na en las hojas estuvieron bien correlacionados con el contenido de Na en el suelo. En general, al aumentar las dosis de lodos, aumentaron significativamente el nivel de Cr, Ni, Cu, Zn, Cd y Pb en el suelo y las plantas, pero estas concentraciones se encontraban dentro de los rangos normales, excepto en la concentración de Zn, que superaba el contenido crítico del suelo para las dosis altas. Los resultados sugirieron que las reglamentaciones sobre la utilización de lodo de depuradora en suelos agrícolas deberían considerar los valores límite para la salinidad, y no solo para los metales.

Otra experiencia a comentar es la de Sastre Conde et al. (2005). Se trata de una experiencia de invernadero con plantones de olivo se han utilizado dos tipos de lodos que sufrieron diferentes post-tratamientos (secado térmico, ST y lodo compostado con restos de residuos vegetales, CP). Se utilizaron tres dosis de residuos (16, 32 y 64 Mg ha⁻¹) como enmienda, en comparación con un suelo control sin

**APLICACIÓN DE LODOS DE DEPURADORA EN CULTIVO DE OLIVAR: VENTAJAS,
INCONVENIENTES Y ALTERNATIVAS**

aplicación (S). Tras un año de crecimiento de los plantones de olivo se llevaron a cabo muestreos de suelo y hojas.

El análisis de los suelos enmendados con lodos tratados después de un año de crecimiento de los plantones de olivo reflejó un incremento de la conductividad eléctrica de los suelos, sobre todo en los tratamientos bajo ST, así como aumento de los contenidos en materia orgánica y nutrientes, fundamentalmente fósforo en función de la dosis de enmienda aplicada. No se observaron diferencias significativas en los contenidos en otros macroelementos debido a la aportación de los residuos. El pH disminuyó ligeramente en los suelos, sobre todo en las dosis altas.

El análisis foliar mostró incrementos significativos en los valores de nitrógeno en los plantones cultivados en los suelos enmendados con los lodos tratados, siendo tratamiento ST el que mayor porcentaje de nitrógeno foliar mostraba. Asimismo en las hojas de las plantas de los tratamientos ST se encontraron los mayores valores de Ca, Mg y Na. En el caso del potasio foliar, no se produjo efecto en las plantas por la aplicación de las enmiendas. El análisis de metales pesados en hoja, mostró incrementos en los contenidos de Pb y Cu y en menor concentración de Cr y Ni, en función de la dosis aplicada. No se observaron modificaciones en las concentraciones a nivel foliar de Cd y Zn. El contenido de los metales pesados analizados (Pb, Cd, Cu, Ni, Zn, y Cr), en los suelos aumentó en general sin sobrepasar los valores límites permitidos por la legislación (Real Decreto 1310/1990). Los mayores porcentajes se encontraron en los valores de Zn en suelos tratados, con incrementos de más del 100% con respecto al suelo control.

A los tres meses de crecimiento de los plantones de olivo con el compost CP aparecieron síntomas de necrosis en los ápices de las hojas (foto 8). En principio, aparecieron en las plantas cultivadas en suelos tratados con la dosis más alta (64 Mg ha⁻¹). Al poco tiempo los síntomas aparecían en la dosis de 16 y 32 Mg ha⁻¹. Al cabo de un



Foto 8. Necrosis apical incipiente (foto: Espacio Agrogeológico de la Subbética)

**APLICACIÓN DE LODOS DE DEPURADORA EN CULTIVO DE OLIVAR: VENTAJAS,
INCONVENIENTES Y ALTERNATIVAS**

año de crecimiento los síntomas se observaron en todas las plantas cultivadas en los suelos enmendados con el tratamiento CP, Los síntomas de fitotoxicidad consistían en un amarillamiento del ápice de la hoja, que produce una necrosis y posterior defoliación. La sintomatología coincidía con la observada por los autores en ensayos de campo con aplicación de lodos residuales compostados y en principio podría responder a problemas de salinidad en un análisis de visu. Sin embargo no se correlaciona con los mayores valores de Na en hoja, ni con los valores más altos de conductividad eléctrica en suelo, pues estos corresponden a los suelos enmendados con el tratamiento ST. Si se corresponde con los mayores valores de Na en los suelos enmendados con el tratamiento CP. En los plantones cultivados con el tratamiento ST no se observó la sintomatología, apreciándose además un mayor crecimiento en altura, porte y vigor que los plantones con CP.

Estos autores hipotetizan basándose en estudios anteriores, que el movimiento de cationes divalentes en el suelo y la entrada de metales pesados también divalentes, provoca efecto de antagonismo y sinergismo en el cultivo de olivo que se asocian a problemas de fitotoxicidad (de Andrés Cantero, 2001). Por otro lado el aumento del Na como ocurre en los suelos con CP podría provocar una competencia osmótica en la entrada de K, que resulta esencial en la vida de todas las plantas (Maathuis y Amtmann, 1999). Sin embargo, los valores de K foliar en los plantones no presenta diferencias con respecto al control en ninguno de los tratamientos ensayados. El análisis de correlación entre los metales pesados en hojas y las relaciones entre los cationes, mostró que el contenido de Pb se correlacionaba significativamente ($P < 0.05$) con la relación K/Na en hoja, así como con el Zn, aunque con una R menor. A su vez el Pb se correlacionaba con otros metales en hoja como el Cu y Cr. En ocasiones, relaciones inadecuadas entre macroelementos conducen a la menor tolerancia a metales pesados por parte de la planta (Lombini y col. 2003).

La aplicación de los lodos residuales tratados por secado térmico ha conducido a mejores efectos tanto sobre la planta como en las características químicas del suelo que los lodos tratados por técnicas de compostaje. Aportan mayor cantidad de nutrientes al suelo y a la planta, que a nivel fisiológico se corresponde un mayor porte y crecimiento de la planta, así como un mayor verdor de las hojas. Las plantas de olivo cultivadas en los suelos tratados con lodo compostado con restos de poda presentaron una necrosis apical que parece una respuesta a un desequilibrio iónico en el suelo que afecta especialmente a dicho cultivo. No existen problemas de toxicidad por metales pesados en los suelos

tratados. Las relaciones entre macro y microelementos tanto en suelo como en hoja, podrían ser los responsables de los efectos producidos en la planta directamente, o indirectamente a través de provocar una menor tolerancia a los metales pesados.

En general, debido a los estudios previos y a los presentados en este artículo no parece apropiada la utilización de lodos residuales compostados ni los compostados con restos de poda a suelos de olivar. En cuanto a la aplicación de lodos tratados por secado térmico, debido a los escasos estudios que existen en la actualidad sobre estos productos, es necesario llevar a cabo aplicaciones de larga duración y sobre todo en ensayos de campo a fin de poder establecer su valorización como enmienda orgánica para suelos de olivar. En la actualidad el grupo de trabajo, está llevando a cabo estudios sobre estos productos (Lobo y col., 2004), así como evaluando sus resultados en aplicaciones en campo y en ensayos controlados de larga duración con plantones.

3.2.2. Experiencias con resultados positivos

Tras una profunda búsqueda de ensayos con resultados positivos a través de consultas en bases de datos de publicaciones, tesis doctorales y trabajos de todo tipo, no se han encontrado referencias con estos resultados. Tan sólo, podemos tomar como experiencias positivas algunos de los ensayos anteriormente reflejados en este trabajo, no sin antes calificarlos en el mejor de los casos como de resultados “agridulces”.

Es a través de experiencias personales y entrevistas con protagonistas directos, donde podemos encontrar algunos ensayos con resultados que sin ser negativos, por lo general, distan mucho de lo que se entiende por óptimos.

A lo largo del año 2000, como técnico responsable en una empresa gestora de residuos, realicé una aplicación de lodos de EDAR sin digerir en finca los Duranes (provincia de Córdoba). Se trataba, si cabe, de un suelo atípico para el cultivo tradicional de olivar puesto que presentaba un pH de 4,5 lo que podría identificarlo como suelo bastante ácido. Con el asesoramiento de técnicos del IFAPA, se realizó una aplicación con dosis muy bajas respecto a las tradicionalmente efectuadas en tierra calma (entre 8 y 10 Mg ha⁻¹ s.m.s.) en plantones de 2 años. El propietario, que además de agricultor es Dr. Ingeniero

**APLICACIÓN DE LODOS DE DEPURADORA EN CULTIVO DE OLIVAR: VENTAJAS,
INCONVENIENTES Y ALTERNATIVAS**

Agrónomo y miembro del colectivo investigador de la Junta de Andalucía, transmitió a la Empresa que en la campaña posterior se produjo un aumento en la tasa de crecimiento de los olivos, de hecho, se repitió la experiencia durante los dos años posteriores. Sin embargo, aunque el crecimiento de la plantación es generalizado, los olivos cercanos a los sitios de descarga de los camiones presentaron la mencionada necrosis apical, seguidos de una patente defoliación de éstos.

En el año 2010, tras diferentes entrevistas con algunos agricultores de la provincia de Granada, los cuales, las aplicaciones de compost de lodos de depuración, las enriquecen con sulfato de hierro en una proporción de 5:1, afronto un nuevo ensayo en la finca familiar “Cortijo Viejo” (Córdoba). En este caso se trata de suelos de regadío óptimos para el cultivo del olivo y de carácter básico. Realicé un enmendado con lodos de EDAR procedentes de la industria láctea, con muy alto contenido en MO y N (>8%) y muy bajos niveles de metales pesados junto con el mencionado sulfato de hierro, residuo procedente de la factoría de TIOXIDE Huelva (hoy Huntsman Tioxide) y en la proporción recomendada por los agricultores. Se hizo una aplicación a baja dosis en calles salteadas de los olivos. El resultado fue una gran frondosidad de hierbas en las calles sobre las que se realizó la valorización agrícola de los lodos y junto con un aparente aumento de la copa de los árboles. Respecto a la producción de aceituna, no se percibió un gran incremento, quedando los efectos en un importante aumento de la masa vegetal de la parcela.

Año 2013 se realizaron pruebas con lodos procedentes de la industria papelera, con una carga orgánica media y alta relación C/N (muy ricos en celulosa) alto contenido en K y valores de Cd al límite de lo admitido por la normativa. Sobre suelos ácidos y diferentes olivares, los resultados son satisfactorios con incremento en la riqueza media de la concentración de aceite (la riqueza media de la zona es en torno a 14% y pasa a 18%). Es de resaltar el hecho de que el ensayo se realizó con lodo no procedente de EDAR urbana.

En un estudio comenzado en febrero de 2018 bajo el marco del proyecto “Fertilización orgánica en suelos bajo cultivo de olivar: evaluación del flujo sostenido de servicios eco sistémicos” llevada a cabo por los Investigadores E. Madejón y E. Benítez del CSIC se han aplicado compost procedentes de lodos de depuradora y residuos de poda en olivos (de aceituna de mesa) de más de 40 años de edad localizados en una parcela de Coria del Río (Sevilla). Las dosis han sido 17 y 27 Kg/árbol. Hasta la fecha, y después de 6 meses de la aplicación alrededor del árbol a 70-100 cm de la base del tronco no se observan

**APLICACIÓN DE LODOS DE DEPURADORA EN CULTIVO DE OLIVAR: VENTAJAS,
INCONVENIENTES Y ALTERNATIVAS**

síntomas foliares negativos ni principios de defoliación. En cualquier caso las dimensiones del ensayo permitirán evaluar los efectos de los compost a la hora de la cosecha, que tendrá lugar a finales de septiembre de este mismo año.

Mención especial se merece una aplicación de lodos realizada nuevamente en olivar en la comarca de Baena. En esta ocasión mi actuación ha sido de mero técnico ocasionalmente consultado y las decisiones finales han sido tomadas por la propiedad y la empresa gestora. Se trata de un olivar de regadío con árboles de la variedad albequina y picual sobre suelos calizos de carácter básico. Se realizó la aplicación de lodos de EDAR urbana sin digerir o mínimamente digeridos mediante un esparcidor y posteriormente se procedió al incorporando y enterrando de la enmienda en medio de las calles a una dosis de 28 Mg ha⁻¹. Los resultados de este ensayo sorprenden puesto que tras la aplicación, se detecta un gran aumento en el desarrollo de los árboles junto con un gran vigor, reflejado en la masa foliar y color de la misma. Sin embargo es a la quinta campaña, tras la incorporación de los lodos de EDAR, cuando se aprecia una inesperada necrosis apical que se complica con, en este caso, una severa defoliación que llega a afectar al 80% de las hojas. El interés por este ensayo o aplicación se basa en que el agricultor, tras realizar análisis de suelo y foliares así como al consultar con expertos y bibliografía, realiza una serie de hipótesis sobre la reacción del olivo frente al lodo:

En primer lugar baraja la opción de que se trate de una reacción a un componente orgánico puesto que la carga microbiana de unos lodos poco digeridos es muy alta. Por ello realiza un tratamiento bactericida cuyo resultado no ha sido el esperado por lo que se descarta al menos ese tipo de contaminante orgánico.

Una vez descartada la reacción ante microorganismos, propiedad y asesores técnicos realizan nuevos análisis que detectan por un lado, un aumento de la conductividad eléctrica con concentraciones de Na normales para la zona y muy altos índices de K en la hoja. Por otro, unos sorprendentes bajos índices de P en suelo y hojas.

Otra circunstancia observada en este olivar, fue el hecho de que tras la mencionada defoliación, el árbol se recuperó y produjo una cosecha media, tras la cual, nuevamente apareció la necrosis apical y una nueva defoliación, siendo el actual estado en que se encuentra.

**APLICACIÓN DE LODOS DE DEPURADORA EN CULTIVO DE OLIVAR: VENTAJAS,
INCONVENIENTES Y ALTERNATIVAS**

Tras la interpretación de los análisis y el nuevo decaimiento del cultivo, se ha tomado la determinación de realizar un enmendado con estiércol de oveja enriquecido con P (concretamente con fertilizante superfosfato 0-46-0) a fin de resolver las carencias observadas.

3.3. Comparación de las experiencias

En este punto se hace un resumen a modo de tabla especificando los diferentes ensayos anteriormente expuestos de modo que se facilite la evaluación de los mismos:

Tabla 5. “Comparación de las experiencias”. Fuente FdLM

CULTIVO/TIPO DE SUELO	ENMIENDA	DOSIS/EFFECTOS/CONCLUSION DEL ENSAYO (“”)
Pastos, maíz y trigo	Lodos EDAR	500 Mg ha ⁻¹ - Sin reducción en la producción - Sin aumento en las concentraciones de metales pesados en el cultivo “sustituto o complemento de abonado tradicional Riesgo potencial de contaminación de aguas subterráneas por nitratos”
Soja	Lodos EDAR Urbana Lodos EDAR Rural	0, 78, 156, 312 Kg N/ha - Sin efectos negativos sobre microsimbionte - No se aprecia aumento de la salinidad - Aumento del contenido foliar de N (1er año) “la aplicación de lodos en soja es una práctica aceptable puesto que no afecta negativamente a la planta ni al simbiote. Recomiendan estudiar la incidencia de los lodos en las aguas subterráneas”
Pino de California sobre pasto, vallico y trébol blanco	Lodos EDAR Urbana	Sin especificar - Reducción de Al intercambiable - Aumento de la concentración de amonio y P en el suelo - Aumento en la producción de pasto - Ligero aumento en la calidad del pasto
Sorgo y avena sobre Natracualf típico	Lodos de EDAR	38,5 y 109 Mg ha ⁻¹ m.s. - Incremento en la salinidad que reduce a niveles normales al año siguiente (lavado)

**APLICACIÓN DE LODOS DE DEPURADORA EN CULTIVO DE OLIVAR: VENTAJAS,
INCONVENIENTES Y ALTERNATIVAS**

		<ul style="list-style-type: none"> - Aumento generalizado de fósforo extraíble, calcio y magnesio intercambiable, nitrógeno total y carbono orgánico, estabilidad de agregados, e intervalo hídrico óptimo - El pH del suelo sólo tendió a mejorar con altas dosis <p>“Enmienda muy recomendada en suelos degradados y pobres”</p>
Cebada (36 suelos distintos)	Lodo de EDAR Lodo de EDAR enriquecido en metales pesados	<p style="text-align: right;">50 Mg ha⁻¹s.m.s.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Es estudia la trasferencia de los metales pesados al cultivo <p>“suelos con pH bajos presentan mayor facilidad de transferir los metales a las plantas”</p>
Maíz	Lodos EDAR frescos	<p style="text-align: right;">10 Mg ha⁻¹m.s.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Mismo desarrollo que las plantas con abonado mineral (parcela testigo) - Sin aumento de concentración de metales pesados en partes aéreas de la planta - Mayor cantidad de grano que parcela testigo <p>“los efectos beneficiosos frente a la parcela testigo se mantienen, al menos, dos años tras la aplicación de los lodos”.</p>
Kenaf	Lodos de EDAR digeridos Lodos de EDAR secos	<p style="text-align: right;">130 Mg ha⁻¹+ riego con aguas residuales</p> <ul style="list-style-type: none"> - Misma producción de biomasa frente a abonado tradicional - Misma calidad de la fibra y concentración de celulosa y lignina para la fabricación de pasta de papel <p>“muy recomendable para cultivos no comestibles”</p>
Girasol	Lodos de EDAR deshidratados	<p style="text-align: right;">Abonado tradicional, 15, 30, 60 120 Mg ha⁻¹</p> <ul style="list-style-type: none"> - En suelos con pH alto, tiende a disminuir - A partir de dosis superiores a 30 Mg ha⁻¹ aumenta la conductividad eléctrica - Aumento de la cantidad de Nitrógeno y Fósforo Asimilable - Aumento en el crecimiento y asimilación de CO₂ de la planta - A dosis de 15 Mg ha⁻¹ la producción es la misma que con abonado tradicional - A las dosis siguientes se multiplica la producción 2,4, 5 y 8 veces <p>“El resultado en cuanto a la producción, es muy favorable a la valorización de lodos en este cultivo”</p>
Manzano (14 huertos de suelo alcalino)	Lodo de EDAR compostado con	<p style="text-align: right;">Sin especificar</p> <ul style="list-style-type: none"> - No se aprecia aumento en la concentración de metales pesados en el

**APLICACIÓN DE LODOS DE DEPURADORA EN CULTIVO DE OLIVAR: VENTAJAS,
INCONVENIENTES Y ALTERNATIVAS**

	corteza de álamo	suelo - No se aprecia aumento en la concentración de los metales en las plantas “los autores encuentran el compost de lodo ideal como sustituto del abonado tradicional”
Viñedo (suelo arenoso)	Lodos de EDAR	Sin especificar - Ligeramente descenso del pH del suelo - Aumento de la conductividad eléctrica - Aumento de la Materia Orgánica y fertilidad - Ligeramente aumento de los niveles de metales pesados en la planta de suelos ácidos “Se advierte del potencial riesgo de contaminación de H ₂ O subterráneas por la baja capacidad de retención de los suelos arenosos”
Pino radiata, fresno y roble americano sobre pasto de dátilo, raigrás y trébol	Lodos compostados, lodos digeridos anaeróbicamente y lodos peletizados	Pino radiata: los tres tipos de lodos en maceta Fresno: 320 Kg N/ha de los tres tipos de lodo Roble americano: 100, 200 y 400 Kg N/ha lodo digestión anaerobia - Aumento significativo en la producción de pasto - Aumento en la tasa de crecimiento en todos los ensayos en árboles “El ensayo da como dosis óptima 200 Kg N/ha desde el punto de vista de eficiencia económica y medio ambiental. Se recomienda el lodo peletizado para rebajar aún más los gastos de manipulación y transporte”
Encinas en dehesa (suelo ácido)	Lodos de EDAR industrial (papelera) con cenizas de caldera de biomasa	50 Mg ha ⁻¹ en proporción 1:1 s.m.s - Aumento significativo del pH y de la conductividad eléctrica - Aumento en la concentración de Potasio asimilable - Sin variación en los niveles de Materia Orgánica y Nitrógeno “Aumento en el vigor de las encinas sanas. Ralentización en la progresión de la enfermedad (seca de la encina). No se han detectado nuevos árboles afectados”
Alamo negro canadiense, paulonia y eucalipto en suelos ácidos degradados	Compost de lodo EDAR y compost de alperujo	Sin especificar - Aumento del Carbono Orgánico total, el Carbono soluble en agua, los nutrientes en todos los suelos y el pH del suelo sólo en los originalmente más ácidos - Aumento de la calidad bioquímica del suelo (por el estudio de las

**APLICACIÓN DE LODOS DE DEPURADORA EN CULTIVO DE OLIVAR: VENTAJAS,
INCONVENIENTES Y ALTERNATIVAS**

		<p>actividades encimáticas)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Aumento significativo en las tasas de crecimiento de todos los tipos de biomasa, especialmente en la del eucalipto <p>“Se recomienda la aplicación de compost de cualquiera de los orígenes al suelo degradado, especialmente a los más ácidos”</p>
Almendo en suelos ligeramente ácidos. (Varias aplicaciones)	Lodo de EDAR	<p style="text-align: right;">Desde 75 a 150 Mg ha⁻¹</p> <ul style="list-style-type: none"> - Aumento en la velocidad de desarrollo de la planta. - Aumento en la productividad <p>“la aplicación de lodos en almendros en todos los casos ha dado unos resultados óptimos y ha sustituido al abonado tradicional”</p>
Olivar (cinco plantaciones en diversos tipos de suelo)	Lodos de EDAR y lodos compostados	<p>1 kg N/árbol, 0,5 kg N/árbol + 8 Mg/ha de lodo y 16 Mg/ha compost</p> <ul style="list-style-type: none"> - Sin variación relevante en la concentración de metales pesados en suelo - Incremento de la Materia Orgánica y Nitrógeno en suelo - densidad aparente, agrietamientos, mediciones directas de la infiltración, capacidad de retención de agua, porcentaje de agua útil y medidas de erosión con simulador, no fueron lo suficientemente intensos para ser detectados estadísticamente - En algún ensayo, no se aprecia incremento relevante en el crecimiento de los brotes controlados sin embargo en otros, se detecta incremento, sobre todo con lodos compostados y lodos + urea. - Respecto a los nutrientes, no se pueden resultados concluyentes puesto que varían según ensayo. - Mayores concentraciones de metales pesados en parcelas con lodo que en las testigo, sin llegar en ningún caso a afectar al aceite. - Tampoco se aprecia variación en la producción ni en la calidad del aceite. - Necrosis apical y ligera defoliación del olivo <p>“Lo autores barajan la posibilidad de que los síntomas pueden ser debidos al grado de estabilidad del lodo o incluso a una intoxicación microbiana.</p> <p>Se desaconseja el uso de lodos de depuración en el cultivo del olivo”</p>
Olivar, estacas y plantones de olivo var. Cornicabra (tres ensayos)	Diferentes Lodos de EDAR tratados y lodos compostados	<p>1 kg N/árbol, 0,5 kg N/árbol + 8 Mg ha⁻¹ de lodo y 16 Mg ha⁻¹ compost</p> <p style="text-align: right;">Estacas y plantones 10 y 20 Mg ha⁻¹</p> <ul style="list-style-type: none"> - Necrosis apical en olivos adultos a los que se les ha añadido

**APLICACIÓN DE LODOS DE DEPURADORA EN CULTIVO DE OLIVAR: VENTAJAS,
INCONVENIENTES Y ALTERNATIVAS**

		<p>compost</p> <ul style="list-style-type: none"> - A dosis altas, se produce afección en plantones, aunque no afecta al crecimiento. - El índice de estacas secas aumenta con los lodos secados térmicamente <p>“según los resultados obtenidos no es recomendable la aplicación de cualquier tipo de lodo de EDAR al olivar, puesto que las mejoras en materia orgánica, N y P no compensan los daños observados”</p>
Macetas de 8,5L de olivar (var. Cornicabra)		<p style="text-align: right;">0, 4, 8, 16, 32, 64 y 128 Mg ha⁻¹ de lodo</p> <ul style="list-style-type: none"> - Dosis de 64 y 128 Mg ha⁻¹ presenta necrosis y caída de la hoja a los 120 días - Aumento en la concentración de Na en hoja - Aumento en la concentración de metales pesados <p>“Se cree que la fitotoxicidad es debida a la concentración de Na. Los autores sugieren que las reglamentaciones sobre la utilización de lodo de depuradora en suelos agrícolas deberían considerar los valores límite para la salinidad, y no solo para los metales”</p>
Plantones de olivo	Lodos compostado y lodo con secado térmico	<p style="text-align: right;">0, 16, 32 y 64 Mg ha⁻¹</p> <ul style="list-style-type: none"> - Aumento de la conductividad eléctrica - Aumento de los contenidos en materia orgánica y nutrientes (P principalmente). - Reducción del pH a dosis altas. - Aumento general de N, Ca, Mg y Na en análisis foliares. K sin variación - Aumento en la concentración de algún metal pesado en hoja (Pb y Cu) sin sobrepasar la normativa - Necrosis apical con todas las dosis a partir de los tres meses de la aplicación con compost sin embargo no se observa la sintomatología en aplicaciones con lodos secados térmicamente. - Los lodos secados térmicamente producen mayor tasa de crecimiento y verdor en la planta <p>“Los autores hipotizan que el movimiento de cationes divalentes en el suelo y la entrada de metales pesados también divalentes, provoca efecto de antagonismo y sinergismo en el cultivo de olivo que se asocian a problemas de fitotoxicidad.</p> <p>El aumento del Na como ocurre en los suelos con compost, podría</p>

**APLICACIÓN DE LODOS DE DEPURADORA EN CULTIVO DE OLIVAR: VENTAJAS,
INCONVENIENTES Y ALTERNATIVAS**

		<p>provocar una competencia osmótica en la entrada de K, que resulta esencial en la vida de todas las plantas.</p> <p>Concluyen con que en ocasiones, relaciones inadecuadas entre macroelementos conducen a la menor tolerancia a metales pesados por parte de la planta”</p>
Olivar (var. Arbequino y Picual)	Lodos de EDAR poco digerido	<p style="text-align: right;">28 Mg ha⁻¹</p> <ul style="list-style-type: none"> - Aumento inmediato de la frondosidad y desarrollo del árbol - A los 5 años aparece necrosis apical y defoliación de hasta el 80% de la carga foliar - dos o tres campañas después la plantación se recupera y produce una cosecha media - Nuevo decaimiento generalizado de la plantación <p>“En un primer lugar se realizan hipótesis acerca de una fitotoxicidad provocada por bacterias.</p> <p>Descartada la primera hipótesis se realizan correcciones con superfosfato por si se ha producido el bloqueo del nutriente”</p>
Olivar joven en suelo muy ácido (pH 4,5)	Lodos de EDAR	<p style="text-align: right;">8 a 10 Mg ha⁻¹ s.m.s.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Aumento inmediato de la frondosidad y desarrollo del árbol - Necrosis apical sólo en los olivos junto a los que el camión ha descargado el lodo <p>“El propietario, ante la duda, llega a la conclusión que los beneficios no compensan los posibles efectos negativos”</p>
Olivar de regadío var. Marteño (pH 8)	Lodos de EDAR de empresa láctea + Sulfato de hierro (5:1)	<p style="text-align: right;">50 Mg ha⁻¹ de la mezcla en calles alternas</p> <ul style="list-style-type: none"> - Gran frondosidad de hierba en las calles aplicadas - Gran vigor del árbol - Sin aumento representativo en la producción de aceituna <p>“La inversión económica no justifica la aplicación ni los riesgos”</p>
Olivar de regadío suelos ácidos	Lodos de EDAR de industria papelera	<p style="text-align: right;">Sin especificar</p> <ul style="list-style-type: none"> - Aumento en el rendimiento graso de la aceituna por la riqueza en K del lodo <p>“ El agricultor siguió realizando aplicaciones mientras duró el contrato de gestión de dichos lodos”</p>
Olivar para aceituna de mesa	Compost de lodo de EDAR y residuo de poda	<p style="text-align: right;">17 Kg/árbol y 27 Kg/árbol</p> <ul style="list-style-type: none"> - Hasta el momento sin reacciones aparentes - Ensayo en proceso a la espera de resultados

**APLICACIÓN DE LODOS DE DEPURADORA EN CULTIVO DE OLIVAR: VENTAJAS,
INCONVENIENTES Y ALTERNATIVAS**

<p>Olivar regadío var. Alberquino y picual en suelos pH 8</p>	<p>Lodos de EDAR poco digerido</p>	<p style="text-align: right;">28 Mg/ha</p> <ul style="list-style-type: none"> - Reacción inmediata con aumento de la tasa de crecimiento, frondosidad de la planta y gran vigor. - tras 5 campañas aparece necrosis apical de la hoja y desfoliación de gran virulencia. - 2 campañas después, los olivos se recuperan y dan cosecha media - Tras la recolección se produce nuevo decaimiento de la planta. - Se realizan múltiples análisis <p style="text-align: right;">Tratamiento con antibiótico</p> <ul style="list-style-type: none"> - Sin reacción <p style="text-align: right;">Estiércol de oveja + (0-46-0)</p> <ul style="list-style-type: none"> - A la espera de recuperación <p>“Propiedad y comunidad científica no encuentran explicación ni a la reacción y a la forma en que se ha producido”</p>
---------------------------------------------------------------	------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------



4. DISCUSION GENERAL

En diferentes artículos, independientemente de tipo de cultivo (diversidad de herbáceos junto con la mayoría de leñosos) y siempre excluyendo el olivo, la tónica general de los resultados expuestos por los investigadores y técnicos es que la valorización agrícola de lodos de depuración, en cualquiera de sus tratamientos, produce más efectos beneficiosos físicos, químicos y orgánicos en los suelos y cultivos que efectos negativos.

La mayoría de estos estudios, recomiendan como destino final óptimo, la aplicación de los lodos de EDAR en agricultura, siempre bajo algún tipo de regulación legislativa, en aras de mejorar las características de suelos deteriorados o empobrecidos o buscando la reducción del uso de fertilizantes químicos.

Analizando la presentación del lodo a valorizar, parece que la tendencia es a su uso tras un tratamiento previo principalmente por los reparos a la alta carga microbiana presente en los lodos frescos. Dentro de los tratamientos, el elegido como de mayor eficiencia, por la reducción de esta carga microbiana y estabilización del producto respecto al coste económico, es el compostaje aeróbico. Otro tratamiento sugerido en algunos estudios es el secado térmico y la peletización ya que facilita en gran medida el proceso de esparcimiento en el campo junto con el ahorro de costes de transporte y manipulación (no del tratamiento en si). En cualquier caso a día de hoy, en la bibliografía consultada como en publicaciones y otras búsquedas, no se ha constatado la presencia de *Salmonella* sp o coliformes en alimentos destinados al consumo humano o ganadero, fertilizados con lodos de EDAR.

El cultivo del olivar y la producción de aceites de oliva, resulta ser de gran relevancia en nuestro país y concretamente en Andalucía, donde sin duda es un motor fundamental de la economía. Una buena fertilización orgánica, que a su vez contribuya al fomento de la economía circular, es de gran interés para el sector. Con la valorización agrícola de lodos de EDAR en olivar, numerosos resultados no han sido positivos tanto en su respuesta a nivel foliar como en algunos casos en las reducciones de cosecha. Los ensayos muestran necrosis de la zona apical de las hojas de los olivos afectados y su posterior defoliación con mayor o menor virulencia. Es en trabajos posteriores donde algunos autores presentan diferentes hipótesis del porqué de esos efectos, vinculándolos a las dosis aportadas, al bloqueo de algún

**APLICACIÓN DE LODOS DE DEPURADORA EN CULTIVO DE OLIVAR: VENTAJAS,
INCONVENIENTES Y ALTERNATIVAS**

nutriente, a una contaminación microbiana, al aumento de la salinidad, a la falta de madurez de los compost, etc. sin que se hayan documentado resultados concluyentes.

El planteamiento inicial del presente TFM, perseguía dar respuesta a esas preguntas, de manera que ante la falta de resultados y análisis concluyentes, en aras de una gestión eficiente de los residuos (concretamente de los lodos de EDAR) y por el gran interés económico y social del cultivo de olivar en nuestra comunidad, animo a los entes vinculados con la investigación, a invertir en ensayos, tesis y estudios dirigidos a aislar los factores que provocan las reacciones negativas en el árbol, así como a proponer las soluciones.



5. CONCLUSIONES

- Tras la amplia bibliografía consultada, y las experiencias llevadas a cabo como técnico de distintas empresas a nivel personal, la principal conclusión del presente Trabajo Fin de Master, constata que una vez más, las entidades responsables de la investigación, no encuentran en la valorización agrícola de los lodos en olivar, una solución de interés para el sector.
- Tras numerosos ensayos, tesis doctorales e investigaciones, sobre la movilidad de los metales pesados, incrementos de nutrientes, cambios de pH, etc., para constatar la bondad de la valorización de lodos en este cultivo, se llega a conclusiones similares a las que ya se conocían en el siglo pasado. Sin embargo parece que no resulta fácil para el colectivo investigador, el diagnóstico del problema que ocasionalmente aparece y en consecuencia encontrar una solución para el mismo. A estas alturas el desconocimiento es tal, que la necrosis apical y la defoliación que generalmente se produce tras la aplicación de lodos de EDAR en el cultivo del olivar, no se conoce si es debida a una intoxicación microbiana, una reacción a sales minerales, al bloqueo de algún nutriente o a cualquier otra causa.
- Si la valorización de los lodos de depuradora tratados correctamente, se enfoca al cultivo del olivar, se requieren más ensayos dirigidos al aislamiento del problema y a la búsqueda de una solución viable, o por el contrario se ha de descartar su uso en olivar, al que por otro lado, puede aplicársele como fertilización orgánica sus propios residuos (alpechines, alperujos, orujos) que ya han demostrado comportarse como excelentes enmiendas. De esta manera, los lodos de depuradora pueden emplearse en otros cultivos agrícolas (especialmente herbáceos) siguiendo las pautas de seguridad y control pertinentes.

6. BIBLIOGRAFÍA

Angle, J.S., Madariaga, G.M., Heger, E.A. (1992) Sewage sludge effects on growth and nitrogen fixation of soybean Agriculture, Ecosystems & Environment. 41 (3–4), pp 231-239.

Bravo-Martín-Consuegra, S., García-Navarro, F.J., Amorós-Ortíz-Villajos, J.A., Pérez-de-los-Reyes, C., Higuera, P.L. (2016) Effect of the addition of sewage sludge as a fertilizer on a sandy vineyard soil Journal of Soils and Sediments 16 (4), pp 1360–1365.

Consejería de Agricultura, Pesca y Medio Ambiente de la Junta de Andalucía. “Pobredumbre radical de encinas y alcornoques en la dehesa”. (2009). Publicación de la Secretaría General Técnica, Servicio de Publicaciones y Divulgación. DL: SE 6278-2009.

Ferreiro Domínguez, N. (2011). Tesis Doctoral: Efectos sobre la producción y el medio ambiente de la fertilización con lodos de depuradora urbana en sistemas silvopastorales establecidos con *Fraxinus excelsior* L., *Pinus radiata* D. Don y *Quercus rubra* L. Universidad de Santiago de Compostela. 161 pp.

Gascó, G. and Lobo, M.C. (2007) Composition of a Spanish sewage sludge and effects on treated soil and olive trees. Waste Management 27, (11), pp 1494-1500.

González, P., Ordóñez R., Giráldez, J. V., Aguilar, M.A., Miralles de Imperial, R., Delgado, M., Porcel, M.A., Beltrán, E.M., Lobo, C., Vicente, M.A. y Gascó, G. (2002). Utilización de lodos de depuradoras en la conservación del suelo de los olivares y como enmienda orgánica. CIFA-Alameda del Obispo. Córdoba, INIA. Madrid, IMIA. Madrid, Laboratorio Agroalimentario. Córdoba

Koutroubas, S.D., Antoniadis, V., Fotiadis, S., Damalas, C.A. (2014). Growth, grain yield and nitrogen use efficiency of Mediterranean wheat in soils amended with municipal sewage sludge. Nutrient Cycling Agroecosystems. 100 (2), pp 227–243.

Lloret, E., Pascual, J.A., Brodie, E.L., Bouskill, N.J., Insam, H., Juárez, M.F.D., Goberna, M., (2016). Sewage sludge addition modifies soil microbial communities and plant performance depending on the sludge stabilization process. Applied Soil Ecology 101, pp 37–46.

López Díaz M. L. (2004). Tesis Doctoral: Fertilización con lodos de depuradora urbana en sistemas silvopastorales. Universidad Santiago de Compostela.

- Madejón, E., Madejón, P., Burgos, P., Pérez de Mora, A., Cabrera, F. (2009). Trace elements, pH and organic matter evolution in contaminated soils under assisted natural remediation: A 4-year field study. *Journal of Hazardous Materials* 162 (2-3), pp. 931-938.
- Madejón, P., Alaejos, J., García-Álbala, J., Fernández, M., Madejón, E. (2016) Three-year study of fast-growing trees in degraded soils amended with composts: Effects on soil fertility and productivity *Journal of Environmental Management*. 169, pp 18-26
- Marguí, E., Iglesias, M., Camps, F., Sala, L., Hidalgo, M., (2016). Long-term use of biosolids as organic fertilizers in agricultural soils: potentially toxic elements occurrence and mobility. *Environmental Science Pollution Research* 23 (5), pp 4454–4464.
- Mehrotra, A., Kundu, K., Sreekrishnan, T.R., (2016). Decontamination of heavy metal in sewage sludge with simultaneous solids reduction using thermophilic sulfur and ferrous oxidizing species. *Journal Environmental Management* 167, pp 228–235.
- Miralles de Imperial, R., Beltrán, E.M., Porcel, M.A., Beringola, M.L., Valero, J., Delgado, M. (2002) Estudio de los factores que pueden limitar la aplicación de lodos de depuradora en el olivar. Recomendaciones para su correcto aprovechamiento como fertilizante. INIA Dpto. Medio Ambiente. Madrid.
- Mohamed, B., Mounia, K., Aziz, A., Ahmed, H., Rachid, B., Lotfi, M. (2018) A Sewage sludge used as organic manure in Moroccan sunflower culture: Effects on certain soil properties, growth and yield components *Science of the Total Environment* 627, pp 681-688.
- Nieto Peña, E (2015). Trabajo Fin de Máster: Efecto de la aplicación de lodos de depuradora tratados en el desarrollo de plantas de *ligustrum vulgare* en un suelo calizo. Madrid. Máster Universitario en Restauración de Ecosistemas. Universidad Complutense de Madrid, Universidad de Alcalá, Universidad Rey Juan Carlos, Universidad Politécnica de Madrid.
- Pappu, A., Saxena, M., Asolekar, S.R., (2007). Solid wastes generation in India and their recycling potential in building materials. *Building and Environment* 42, pp 2311– 2320.

**APLICACIÓN DE LODOS DE DEPURADORA EN CULTIVO DE OLIVAR: VENTAJAS,
INCONVENIENTES Y ALTERNATIVAS**

Pascual, I., Azcona, I., Morales, F., Aguirreolea, J., Sanchez-Diaz, M., (2009). Growth, yield and physiology of *Verticillium*-inoculated pepper plants treated with ATAD and composted sewage sludge. *Plant Soil* 319 (1–2), pp 291–306.

Pérez Cebrián, A (2016). Trabajo Fin de Grado. “Estudio bibliográfico del uso de lodos de depuradora en suelos agrícolas”. Escuela Politécnica superior de Gandía. Universidad de Gandía

Pilatti M.A., Alesso A., Felli O., Gasparotti E. (2014). Uso de lodos de depuradora sobre suelos de baja productividad en Santa Fe (Argentina). Cátedra de Edafología, Fac. de Ciencias Agrarias. Esperanza, Santa Fe (Argentina). FAVE. Secc. Cienc. Agrar. [online]. vol.13, n.1, pp.63-80. ISSN 1666-7719.

Pinamonti, F., Stringari G., Gasperi F., and Gianni Z (1997) Heavy metal levels in apple orchards after the application of two composts. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 28:15-16, pp 1403-1419,

Sanchez Monedero, M.A., Mondini, C., Nobili, M.De., Leita, L., Roig, A., (2004). Land applications of biosolids. Soil response to different stabilization degree or treated organic matter. *Waste Management* 24, pp 325–332.

Santos, J.L., Araujo, A.S.F., Nunes, L.A.P.L., Oliveira, M.L.J., Melo, W.J., (2014). Chromium, cadmium, nickel and lead in a tropical soil after three years of consecutive applications of composted tannery sludge. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 45(12), pp. 1658-1666.

Sastre Conde, I., Ríos Leal, E., Cabezas, G., Pinilla, P., Guerrero, A., Yebenes, I., Vicente, M.A., Martínez Iñigo, M.J., Alonso, J. y Lobo, M.C. (2005) Respuesta de plantones de olivo a la aplicación como enmienda de lodos residuales tratados. Instituto Madrileño de Investigación y Desarrollo Rural Agrario. IMIGRA, Conselleria de Agricultura i Pesca del Govern de Illes Balears. Cinvestav-IPN México.

Sharma, B, Sarkar,A, Singh P, Pratap P, Singh R. (2017). Agricultural utilization of biosolids: A review on potential effects on soil and plant grown. *Waste Management* 64 (2017) 117–132.

Singh, R.P., Agrawal, M., (2008). Potential benefits and risks of land application of sewage sludge. *Waste Management* 28, pp 347–358.

- Singh, R.P., Sharma, B., Sarkar, A., Sengupta, C., Singh, P., Ibrahim, M.H., (2014). Biological responses of agricultural soils to fly ash amendments. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology* 232, pp 45–60.
- Singh, R.P., Singh, P., Araujo, A.S.F., Ibrahim, M.H., Sulaiman, O., (2011a). Management of urban solid waste: Vermicomposting a sustainable option. *Resources, Conservation and Recycling* 55, pp 719–729.
- Singh, R.P., Singh, P., Ibrahim, M.H., Hashim, R., (2011b). Land Application of sewage sludge: Physicochemical and Microbial response. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology* 214, pp 41–61.
- Soriano-Disla, J.M., Gómez, I., Navarro-Pedreño, J., Jordán, M.M (2014) The transfer of heavy metals to barley plants from soils amended with sewage sludge with different heavy metal burdens. *Journal of Soils and Sediments* 14(4), pp. 687-696
- Szymańska, G., Sulewska, H., Śmiatacz, K. (2016) Response of maize (*Zea mays* L.) grown for grain after the application of sewage sludge. *Journal of Central European Agriculture* 17, (1) pp 139-153
- Tecpatl Fuentes Martínez, A y Flores Mejía, Y. (2015). Presentación: “Transcripción de Evolución histórica de la producción de residuos”. <https://prezi.com/pakjyjb4eayu/evolucion-historica-de-la-produccion-de-residuos/>
- Usman, K., Khan, S., Ghulam, S., Khan, M.U., Khan, N., Khan, M.A., Khalil, S.K., (2012). Sewage sludge: an important biological resource for sustainable agriculture and its environmental implications. *American Journal of Plant Sciences* 3, pp 1708–1721.
- Ververis, C., Christodoulakis, N.S., Santas, R., Santas, P., Georghiou, K. (2016) Effects of municipal sludge and treated waste water on biomass yield and fiber properties of kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.). *Industrial Crops and Products* 84, pp. 7-12.
- Webber, M.D., Soon, Y.K., Bates, T.E. (1981) Lysimeter and field studies on land application of wastewater sludges. *Water Science and Technology* 13, (2), pp 905-917