

27/99

COMUNICACIONES I+D

# UTILIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES Y LODOS DE DEPURACIÓN EN AGRICULTURA



COMUNIDAD EUROPEA



Consejería de Agricultura y Pesca





**UTILIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES Y LODOS  
DE DEPURACIÓN EN AGRICULTURA:  
Aplicación de un trabajo de revisión  
bibliográfica a las condiciones  
del litoral andaluz.**

**© Edita:** JUNTA DE ANDALUCÍA. Consejería de Agricultura y Pesca  
**Publica:** DIRECCIÓN GENERAL DE INVESTIGACIÓN Y FORMACIÓN AGRARIA. Servicio de Publicaciones y Divulgación  
**Colección:** Comunicación I+D 27/99  
**Autores:** Leandro Olalla Mercadé y Miguel Díaz Díez  
**Fotografía e Ilustraciones:** Autores  
**I.S.B.N.:** 84-89802-74-2  
**Depósito Legal:** SE. 2.892 - 99  
**Fotocomposición e Impresión:** J. de Haro Artes Gráficas, S.L. Parque Ind. P.I.S.A. Mairena del Aljarafe • Sevilla

# **UTILIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES Y LODOS DE DEPURACIÓN EN AGRICULTURA:**

**Aplicación de un trabajo de revisión  
bibliográfica a las condiciones  
del litoral andaluz.**

**Leandro Olalla Mercadé(\*)**

*Dr. Ingeniero Agrónomo*

**Miguel Díaz Díez(\*)**

*Ingeniero Agrónomo*

(\*) Junta de Andalucía. Consejería de Agricultura y Pesca. D.G.I.F.A.  
*Centro de Investigación y Formación Agraria de Campanillas-Churriana. Málaga.*



## ÍNDICE

<b>1. ANTECEDENTES</b> .....	9
<b>2. CIRCUNSTANCIAS HISTÓRICAS</b> .....	9
<b>3. LA AGRICULTURA DEL LITORAL ANDALUZ</b> .....	10
3.1. Caracterización socioeconómica .....	10
3.2. El problema del agua .....	12
3.3. El problema del mantenimiento de los suelos .....	13
3.4. Cuantificación de los recursos .....	13
<b>4. LA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES</b> .....	14
4.1. Procesos .....	15
4.2. Características .....	15
<b>5. CARACTERIZACIÓN DE LODOS</b> .....	18
5.1. Fisicoquímica .....	18
5.2. Microbiológica .....	20
5.3. Nutrientes .....	24
<b>6. EL RIEGO CON AGUAS RESIDUALES DEPURADAS</b> .....	24
6.1. Consideraciones generales .....	24
6.2. Posibles problemas técnicos .....	26
6.3. Principales ventajas .....	27
6.4. Problemas económicos y administrativos .....	28
6.5. Normativa .....	29
<b>7. USO AGRÍCOLA DE LODOS</b> .....	31
7.1. Normativa vigente .....	31
7.2. Experiencias concretas .....	31
7.3. Aspectos técnicos y económicos .....	34
<b>8. CONCLUSIONES</b> .....	34
<b>9. PROPUESTAS</b> .....	35
<b>BIBLIOGRAFÍA REVISADA</b> .....	37





## 1. ANTECEDENTES

En 1995, en una reunión del grupo de trabajo I+D de fruticultura tropical Consejo Superior de Investigaciones Científicas-Consejería de Agricultura y Pesca, evaluando actividades y explorando necesidades futuras, surgió el tema de la utilización de aguas residuales para riego, y el hecho de que en el futuro habría una gran presión para usar estas aguas en la agricultura. Entonces no se sabía aún que se estaba en el último año de la gran sequía 1991-95, pero había una clara conciencia de la insuficiencia de los recursos hídricos para abastecer la demanda global, especialmente crítica en la mayor parte de las áreas de regadío intensivo del litoral oriental andaluz. Entre otras iniciativas, se propuso la convocatoria de una beca para iniciar un programa de trabajo al respecto, que esencialmente consistiría en la recopilación de la información bibliográfica disponible, y en la aplicación de esta información a nuestras condiciones. Los trabajos de esta beca comenzaron en 1996, y se han dado por terminados a los dos años.

Se ha reunido una gran cantidad de documentación, con la que ha sido posible obtener un cuadro coherente de lo que se podría llamar "condiciones de contorno" para la utilización de estos importantísimos recursos, favoreciendo su "eliminación", desde el punto de vista medioambiental, y facilitando al mismo tiempo la práctica de una agricultura rentable, no sujeta a los problemas derivados de los ciclos secos.

En este trabajo se pretende exponer en forma resumida las cuestiones más importantes, así como propuestas concretas para resolver posibles problemas inmediatos para esa agricultura, y para empezar a trabajar sobre otros que pudieran llegar a plantearse a medio o largo plazo.

## 2. CIRCUNSTANCIAS HISTÓRICAS.

La utilización de aguas residuales para riego ha sido una práctica habitual, a partir del momento en el que estas aguas están disponibles a la salida de redes de saneamiento. En todas o casi todas las vegas costeras, con núcleos urbanos colindantes, se ha dado esta conjunción de factores: cultivos de regadío y disponibilidad de las aguas. La experiencia práctica es, en general, positiva. Aparte del hecho de ser, en ocasiones, el único recurso disponible, estas aguas suelen favorecer el crecimiento de los cultivos, por el aporte de nutrientes y materia orgánica. Aunque ocasionalmente (Sepp,1971) hayan podido generar algún problema de tipo sanitario.

En estas condiciones que podrían calificarse en alguna medida como "primitivas", se trataba inicialmente de relativamente poca agua, poco contaminada en general, y repartida sobre una superficie relativamente grande. Se habla de núcleos urbanos en los que la existencia misma, y desde luego el uso, de instalaciones sanitarias domésticas era relativamente escasa. Como lo era también el uso de productos químicos adicionales, aparte del jabón.

Pero cuando los núcleos urbanos empiezan a masificarse, y al mismo tiempo se incorporan a la vida doméstica los adelantos de la civilización industrial (tuberías metálicas, pinturas, detergentes, productos de limpieza, pilas eléctricas, coches con sus garajes y talleres, insecticidas, etc) estas mismas aguas empiezan a tener otros componentes, cuyo efecto sobre el suelo agrícola y su productividad actual y futura debe ser evaluado cuidadosamente. No se trata solamente de salvar la posibilidad actual de mantener una actividad rentable, con sus puestos de trabajo, sino además, que esa actividad sea sostenible a largo plazo.

### **3. LA AGRICULTURA DEL LITORAL ORIENTAL ANDALUZ**

#### **3.1. Caracterización socioeconómica**

Es una agricultura de regadío, que, aprovechando una especial climatología, alcanza una elevada intensidad, tanto en el empleo de mano de obra como en las producciones que pueden obtenerse. Esta agricultura se realiza en un contexto especialmente dinámico, en el que los avances tecnológicos se incorporan con rapidez, a veces excesiva, al quehacer diario de sus gentes.

Una idea más concreta de esta intensidad puede verse en la tabla nº 1, con datos que, aunque se refieren a la provincia de Málaga, permite situar el marco de referencia socioeconómico, así como el tipo de cultivos del que se habla.

Esta agricultura representa una importante fuente de riqueza en el litoral andaluz, especialmente en algunas áreas del mismo en las que ha significado -caso de Almería- un despegue económico importante para la población. Y el que esta agricultura sea sostenible, es decir, que pueda seguir haciéndose en el futuro, depende de un sinnúmero de factores, entre ellos, la disponibilidad de agua. También depende probablemente de un mantenimiento de la fertilidad del suelo, tema que, como se verá, podría estar ligado a la depuración de aguas residuales.

Otro aspecto importante podría ser el de la productividad del agua utilizada para riego, en términos de pts. producidas por m<sup>3</sup> de agua utilizada. En la tabla nº 2 se recogen estas cifras, tomadas también de Álvarez y otros (1995).

**Tabla nº1. Producción final y costes de mano de obra para cultivos de regadío en las comarcas de Vélez-Málaga y Guadalhorce(\*).**

Tipo de cultivo	VÉLEZ-MÁLAGA		GUADALHORCE	
	Producción final (millones pts/Ha)	Mano de obra (millones pts/Ha)	Producción final (millones pts/Ha)	Mano de obra (millones pts/Ha)
Caña de Azúcar	0,50	0,20	0,50	0,20
Cítricos	0,50	0,20	0,50	0,20
F.Tropicales	0,80	0,20	0,80	0,20
Hortícolas	2,00	1,00	4,00	2,00
Flores	12,00	5,00	12,00	5,00
Viveros	4,00	2,00	4,00	2,00

**Tabla nº 2. Productividad del agua de riego**

Grupos de Cultivos	Pts. producidas por m <sup>3</sup> de agua utilizada
Cereales	30
Leguminosas	30
Tubérculos	120
Caña de azúcar	42
Flores	1714
Forrajeros	10
Hortícolas	444
Cítricos	67
Frutales Tropicales	100
Otros frutales	53
Vid	50
Olivar	50
Viveros	571

### 3.2. El problema del agua

Es importante recalcar el permanente déficit hídrico real (Tabla nº 3) a nivel de cuencas en prácticamente toda Andalucía (salvo la del Guadiana), y muy especialmente en la cuenca Sur, en la que el déficit suponía en 1993 el 17,3% de la demanda, como media. Lo que quiere decir que en años secos, en una cuenca en la que hay también todavía caudales sin regulación (afuentes del Vélez, Genal, Grande, etc), el déficit real en años secos va a ser muy superior, planteando problemas serios en los cultivos permanentes. Por otra parte, algunas de las estimaciones realizadas en los planes de cuenca podrían estar minorando las demandas reales, tal y como se estima por ejemplo en Olalla (1997), para los regadíos de la comarca de la Axarquía en Málaga. En cualquier caso, la necesidad de disponer de todos los recursos hídricos posibles, y de hacer esta disponibilidad compatible con planteamientos sociales, económicos y medioambientales, parece algo obvio. En Andalucía no se tiene agua suficiente, con las regulaciones y recursos actuales, para mantener los sistemas productivos agrícolas de regadío.

**Tabla nº 3. Balances hídricos en las cuencas andaluzas(\*)**

Cuenca	Situación a 1993 (Hm <sup>3</sup> /año)			Horizonte 2012 (Hm <sup>3</sup> /año)		
	Demanda	Recursos	Superávit/ Déficit	Demanda	Recursos	Superávit/ Déficit
Guadalquivir	3.588	3.099	-489	3.675	3.747	+72
Guadalete- Barbate	345	273	-66	553	483	-70
Guadiana II	203	342	+139	389	870	+481
Sur	1.311	1.083	-228	1.444	1.221	-223
Guadiana I y Segura	7	0	-7	16	14	-2
<b>Total</b>	<b>5.454</b>	<b>4.803</b>	<b>-651</b>	<b>6.077</b>	<b>6.335</b>	<b>258</b>

(\*) Datos tomados de Corominas (1996), a su vez elaborados a partir de los Planes Hidrológicos de Cuenca. Recientemente se ha publicado en BOE (17/09/99) el Plan Hidrológico de la Cuenca del Sur, que retoca algo las cifras, sin modificar lo esencial de la situación.

### 3.3. El problema del mantenimiento de los suelos

La pérdida progresiva de la materia orgánica del suelo, a partir de una producción intensiva basada en abonos minerales, empieza a ser un fenómeno que preocupa en determinados ámbitos, especialmente cuando se adopta el enfoque de la "sostenibilidad" de la actividad agraria. Así como la agricultura tradicional se basaba en la fertilización orgánica, la actual se basa, por razones de coste principalmente, en la fertilización mineral. Nuestros suelos son, en general, pobres en materia orgánica, y como consecuencia, más fácilmente degradables, con menor capacidad de retención de agua, con mayor tendencia a la compactación y, en general, con peores propiedades agrícolas. No es fácil cifrar la importancia de este fenómeno, pero en algunos casos parece detectarse que ese "mantenimiento de la capacidad productiva" se está basando en un uso cada vez más intensivo de fertilizantes químicos. Este proceso puede haberse frenado en parte por las técnicas de fertirrigación, que permiten un uso racional del agua y los fertilizantes, disminuyendo sensiblemente ambos con relación a las técnicas tradicionales. Pero en cualquier caso parece claro que una apuesta por la "sostenibilidad" debería contemplar alguna forma de incorporación de materia orgánica al suelo. Estiércol de ganado, un manejo apropiado de la vegetación espontánea, cultivos para enterrar, u otras fuentes alternativas, como podrían ser los lodos de depuración, adecuadamente tratados.

### 3.4 Cuantificación de los recursos

Existe una población cercana a 1.800.000 habitantes estables afincada en los municipios costeros andaluces (Castillo y otros, 1990), más la población flotante derivada de la ocupación turística. A efectos de disponibilidad de aguas residuales, se podría hablar de un promedio de 300 l/hab./día, que habría que incrementar en un 25% para tener en cuenta el efecto de la población flotante durante el verano. Se obtiene una cifra de 197,1 Hm<sup>3</sup> (prácticamente la cifra estimada para el déficit hídrico andaluz, excluida la cuenca del Guadalquivir, en 1993), que podrían asegurar el riego de unas 33.000 ha en las condiciones de cultivo de la costa, con una producción bruta del orden de 100.000 millones de pts, y un pago de salarios del orden de la tercera parte de la cifra anterior. Tampoco se puede olvidar, a estos efectos, la existencia de 9.500 Ha. urbanizadas solamente en la Costa del Sol, con un 40% de ellas mantenidas como zonas verdes, además de 1.300 ha que ocupan los campos de golf.

En relación con los lodos, una estimación realizada a partir del dato básico de cálculo en una depuradora (60 g. DBO/hab/día) y una eliminación en planta del 80-90% de la carga orgánica, permiten aproximar una cifra de lodos totales (con 30% de materia seca) de entre 25 y 50.000 Tm. anuales, que permitirían un aporte significativo de materia orgánica y fertilizantes a los regadíos costeros, una vez que se conocieran todos los aspectos del problema. No debe olvidarse además que la eliminación de estos lodos plantea a su vez un problema medioambiental importante, en cuya solución deberían colaborar otros sectores de la sociedad, aparte del uso agrícola que aquí se plantea.

#### 4. LA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES

El tratamiento de las aguas residuales se justifica en principio para impedir que, con su vertido, se produzcan contaminaciones y alteraciones no deseadas en suelos y acuíferos. Esencialmente se trata de establecer una serie de tratamientos que aseguren que esos vertidos sean lo más parecidos posibles a las aguas originales, antes de su paso por los circuitos urbanos. Aparte de una lógica medioambiental de "sostenibilidad", hay una normativa muy rigurosa de la UE, que impone unas fechas tope para el funcionamiento de las instalaciones de depuración, en función del tamaño de los núcleos de población. (Tabla nº 4). A corto plazo pues, estas aguas van a estar disponibles bien para su vertido a cauces o al mar, o para plantear su segundo aprovechamiento.

**Tabla nº 4. Fechas tope para el establecimiento del tratamiento secundario de depuración.** (Real Decreto- Ley 11/1995, art. 5º)

Habitantes equivalentes	Fecha tope
> 15000	1/ Enero/2001
Entre 10000 y 15000	1/ Enero/2006
Entre 2000 y 10000 (y viertan en aguas continentales o estuarios)	1/ Enero/2006

#### 4.1. Procesos

En la tabla nº 5 se resume los diferentes procesos y sus principales características (prescindiendo de los aspectos de ingeniería, y centrándose más bien en los productos resultantes). Se recuerda aquí que es, o será en la fecha apropiada, obligación de los municipios llegar hasta el final del tratamiento secundario, para el vertido a cauces o directamente al mar. Uno de los problemas a resolver será pues decidir si con este tratamiento se puede utilizar para riego, y en qué condiciones, o si sería necesario el tratamiento terciario, con o sin desinfección. En este caso, parece que la responsabilidad de los tratamientos posteriores al secundario tendría que ser de los usuarios posteriores.

**Tabla nº 5. Tipos de tratamientos de depuración de Aguas Residuales**

<b>Preliminar</b>	Desbaste, dislaceración, y eliminación de partículas con tamaño superior a 0,2 mm
<b>Primario</b>	Decantación y eliminación de la materia flotante (grasas y espumas). Se elimina un 25-50% de la DBO, un 50-70% de la materia en suspensión, un 65% de grasas y parte del N, P y metales pesados
<b>Secundario</b>	Eliminación hasta un 85-95% de la DBO y materia en suspensión, y de la mayor parte de los metales pesados
<b>Terciario</b>	Eliminación de otros componentes. Desinfección y eliminación de los patógenos presentes

#### 4.2. Características de las aguas residuales, con y sin depuración

No hay una estandarización de los tratamientos, especialmente en lo que se refiere al tiempo de permanencia en las instalaciones, y al mantenimiento de condiciones definidas (temperatura, agitación, inyección de aire, etc) en los procesos de decantación y/o microbiológicos. Por ello, si el aporte de contaminantes que supone el paso del agua potable por los circuitos urbanos puede ser más menos conocido, lo que finalmente quede en el agua tratada va a variar en función de los tratamientos que se den en la planta. Por ello, parece necesario una adecuada caracterización de estas aguas tratadas en todos los aspectos aquí citados (sólidos en suspensión, pH, conductividad eléctrica, macro y microcomponentes disueltos, etc). En la tabla nº 6 se dan los intervalos de variación para aguas residuales domésticas brutas. Un ejemplo concreto tomado con análisis puntuales (y por tanto no necesariamente representativos) de la EDAR



del Guadalhorce, en Málaga, se refleja en la tabla nº 7. En ella aparece la variación en las características químicas del agua tras su paso por el circuito urbano.

Desde el punto de vista medioambiental, son los componentes sólidos gruesos, la materia orgánica, y algunos elementos que son nutrientes para microorganismos (y alteran drásticamente los habitats en los que son vertidos), lo que habitualmente se considera como macroconstituyentes a eliminar. Para ello se establecen una serie de tratamientos sucesivos, cuyo esquema se ha sugerido en la tabla nº 4.

Supuesto que los sólidos disueltos y la materia orgánica son reducidos a límites aceptables, en función del sistema de riego, que los contenidos en nitrógeno y fósforo pueden ser incluso beneficiosos si se cuantifican previamente, y que no hay componentes orgánicos tóxicos que afecten a la microbiología del suelo, nos queda el problema de los metales disueltos. A título de ejemplo se exponen los cambios en la concentración de estos metales, a través de los tratamientos de depuración (tabla nº 8).

**Tabla nº 6. Composición típica de las aguas residuales domésticas no tratadas. (\*)**

Sólidos totales	350-1000 mg/l
Disueltos totales	150-850 "
DBOS a 20° C	110-400 "
Carbono orgánico total	80-290 "
DQO	250-1000 "
Nitrógeno (total como N)	20-85 "
Fosforo (total como P)	4-85 "
Clooruros (1)	30-100 "
Alcalinidad (como CaCO <sub>3</sub> ) (1)	50-200 "
Grasa	50-100 "
Coli. totales (NMP/100 ml) (2)	U.S. media 22x10 <sup>6</sup>
Coli. Fecales (NMP/100 ml) (2)	U.S. media 8 x 10 <sup>6</sup>
Virus (UFP/00 ml) (3)	U.S. media 3.6

Tomado de Mujeriego (1990), adaptado a su vez de varios autores

(1) Los valores deberan incrementarse en cantidad contenida en el agua de suministro.

(2) Número más probable de bacterias contenidas en 100 ml de agua.

(3) Unidades formadoras de placa.

**Tabla nº 7. Análisis de agua potable y aguas residuales brutas**

PARÁMETRO	AGUA POTABLE	AGUA RESIDUAL
pH	7.7	7.6
Conduct. 20 C $\mu$ mhos/cm	1071	(1) 3265
Fosfatos (mg/litro)	< 10	13.2
Amoniaco "	0.023	31
Nitratos "	10.66	< 3
Nitritos "	< 0.01	<0.01
Olor "	Sin olor	Sulfuroso
Nitrógeno total "	2.43	24.75
P "	0.01	4.30
Fe (microgramos/litro)	12	1360
Zn "	17	183
Pb "	1	218.5
Cu "	2.53	94
Ni "	1.23	179
Hg "	0.4	1.15
Cr "	1	23.3
Cd "	0.04	0.165

(1) Probable contaminación de origen marino

**Tabla nº 8. Cambios en las concentraciones de metales a través del proceso de depuración (1)**

Componente (mg/l)	Efluente primario	Efluente secundario	Criterio de calidad (largo plazo)
As	<0,005	>0,005	0,1
B	1,0	0,7	0,75
Cd	<0,02	<0,005	0,01
Cr	<0,05	0,02	0,10
Cu	0,10	0,04	0,20
Hg	0,0009	0,0005	-
Mo	0,008	0,007	0,01
Ni	0,1	0,004	0,2
Pb	0,2	0,008	5,0
Se	0,005	<0,005	0,02
Zn	0,12	0,04	2,0

(1) Según datos de Mujeriego (1990), tomados a su vez de Bouwer y Chaney (1974) y USEPA (1973). Los valores citados corresponden a promedios de diversas plantas de tratamiento.

Como subproducto del proceso, quedan los denominados lodos de depuración, que acumulan todos los materiales eliminados del agua bruta, salvo la parte de materia orgánica que, en el proceso de tratamiento biológico, se pierde a través de la respiración de los microorganismos en forma de anhídrido carbónico, metano, amoníaco, sulfídrico, etc.

## 5. CARACTERIZACIÓN DE LODOS DE DEPURACIÓN

Dependiendo del tipo de tratamiento de depuración, varían las características físico-químicas de los lodos resultantes. En este sentido, se propone en tabla nº 9 un resumen de estos tratamientos, fundamentalmente para definir una terminología de trabajo.

### 5.1. Caracterización físico-química

Dependiendo del tratamiento y de la metodología concreta con el que se realiza, existe una amplia variabilidad en la composición de estos lodos. En la tabla nº 10

(Sommers,1977) se exponen los rangos de variación, los valores medios y los más frecuentes. Un ejemplo concreto de una depuradora del litoral se expone, para los contenidos en metales, en la tabla nº 11.

**Tabla nº 9. Tipos de tratamientos de lodos de depuradora**

Por la vía de estabilización utilizada	Aerobia	Tratamiento en presencia de aire
	Anaerobia	Tratamiento en silo cerrado
	Química	Tratamiento con cal o polielectrolitos
Por el contenido de agua	Líquidos	Contenido de materia seca del 3-8%
	Normales	Id. del orden del 30%

**Tabla nº 10. Composición de lodos de depuradora**

ELEMENTO	INTERVALO	MEDIA	MEDIANA
Nitrogeno (%)	0,1-17,6	3,90	3,30
Fosforo (%)	0,1-14,3	2,50	2,30
Potasio (%)	0,02-2,64	0,40	0,30
Calcio (%)	0,1-25	4,90	3,90
Magnesio (%)	0,03-1,97	0,54	0,45
Sodio (%)	0,01-3,07	0,57	0,24
Azufre (%)	0,60-1,50	1,10	1,10
Hierro (ppm)	1000-153.000	13000	11.000
Cinc (ppm)	101-27.800	2.790	1.740
Manganeso (ppm)	18-7.100	380	260
Cobre (ppm)	84-10.400	1.210	850
Boro (ppm)	4-760	77	33
Molibdeno (ppm)	5-39	28	30
Arsenico (ppm)	6-230	43	10
Cobalto (ppm)	1-18	5	4
Mercurio (ppm)	0,5-10.600	733	5
Plomo (ppm)	13-19.700	1.360	500
Niquel (ppm)	2-3.520	320	82
Cadmio (ppm)	3-3.410	110	16
Cromo (ppm)	10-99.000	320	890

**Fuente:** Sommers, 1977. Los datos van siempre referidos a la materia seca del lodo.

**Tabla nº 11. Contenido de metales en lodos de la EDAR de Torrox (Málaga) con 80% de humedad**

METAL	ppm
Cadmio	1,26
Cobre	169
Níquel	22,92
Plomo	81,52
Zinc	457,7
Cromo	28,26
Mercurio	<1

## 5.2. Caracterización microbiológica

Los lodos de depuradora contienen microorganismos patógenos como bacterias, virus y protozoos y otros parásitos como los helmintos, que pueden suponer riesgos para los animales y el hombre. Un informe de la OMS (1981) sobre el riesgo de los microorganismos aplicados al suelo a través de los lodos identificó Salmonela y Taenia como los de mayor importancia. El número de parásitos y de patógenos en el lodo puede ser reducido significativamente antes de la aplicación al suelo mediante el tratamiento adecuado y el riesgo para la salud de animales y plantas puede ser reducido por las condiciones del clima, tipo de suelo, microorganismos del suelo, condiciones de pH del suelo, tiempo desde la aplicación, etc. En ciertos cultivos puede ser necesario introducir limitaciones temporales entre la aplicación y la recogida o el consumo del forraje por el ganado.

El siguiente texto (Crook J.), en Mujeriego(1990), refleja muy bien la situación real del riesgo:

"La evidencia epidemiológica disponible muestra que la reutilización de agua residual, especialmente para el riego de cultivos comestibles, ha dado lugar a la transmisión de enfermedades (Sepp,1971; Melick,1917). La mayor parte de los brotes epidémicos documentados han sido provocados por contaminaciones bacteriana o parasitarias. Hay que indicar no obstante que la fuente de agua de riego era, en todos los casos, agua residual bruta sin desinfectar. Estos brotes epidémicos demuestran, por tanto, que el agua residual es un material peligroso, con un potencial significativo para transmitir enfermedades infecciosas. No obstante, no ha habido ningún brote epidémico confirmado en California provocado por el uso de agua residual regenerada.

A pesar de la escasa información disponible sobre la existencia de enfermedades virales provocadas por la reutilización del agua residual, la vía de transmisión hídrica, tal como el abastecimiento de agua potable, se ha visto involucrada en diversos brotes de hepatitis infecciosa y poliomielitis. El estudio de las enfermedades víricas de baja morbilidad o de carácter endémico asociadas con el consumo de agua ha sido virtualmente ignorado por varias razones: 1) Los métodos actuales de detección de virus no son suficientemente sensibles para detectar con exactitud bajas concentraciones de virus en grandes volúmenes de agua, 2) las infecciones virales entéricas no son con frecuencia aparentes, lo que hace difícil establecer el carácter endémico de tales infecciones, 3) el carácter aparentemente benigno de la mayoría de las infecciones virales entéricas hace que estas no sean notificadas por el paciente o por el médico, 4) el daño causado por las infecciones virales entéricas puede aparecer después de varios meses o años (Horstmann y cols., 1973) y 5) una vez que un virus entérico se ha introducido en una población, el contacto de persona a persona se convierte en una de las principales fuentes de transmisión, haciendo muy difícil la evaluación del papel que el agua puede tener en ésta."

Aun sabiendo que el suelo agrícola o forestal puede ser un buen depurador de aguas y lodos, incluso de los microorganismos patógenos, la realidad es que hay unas tasas de supervivencia establecidas, en algunos casos bastante largas en el tiempo. La tabla nº12 da una idea de estas tasas de supervivencia. Y sugiere claramente la necesidad de tomar el máximo de precauciones a la hora de manejar y aplicar en el suelo tanto los lodos como los productos derivados de ellos.

**Tabla 12. Tiempo de supervivencia, en distintos medios, de las principales organismos patógenos potenciales presentes en las aguas residuales urbanas brutas (\*).** (h, horas; d, días; s, semanas; m, meses; a, años)

AGENTE PATÓGENO	MEDIO ESTUDIADO	SUPERVIVENCIA
Enterovirus	Suelo	25-170 d (1)
	Suelo	<20-100 d (2)
	Agua	<60-120 d (4)
	Vegetales	4 d (1)
	Plantas	<15-60 d (2)
Polivirus	Suelo	32 d (1)
	Agua contaminada	20 d (1)

(Continúa página siguiente)

AGENTE PATÓGENO	MEDIO ESTUDIADO	SUPERVIVENCIA
Brucella abortus	Suelo	29-800 d (1)
Coliformes	Suelo	38 d (1)
	Trébol	12-14 d (1)
	Tomates	35 d (1)
Coliformes fecales	Suelo	<20-70 d (2)
	Agua	<30-60 d (4)
	Lodos	<30-60 d (4)
	Plantas	<15-30 d (2)
Estreptococos	Suelo	35-63 d (1)
Leptospira spp.	Agua del río	8 d (1)
	Aguas fecales	30 d (1)
	Aguas de drenaje	32 d (1)
Micobacterium	Suelo	2-6 m (1)
Tuberculosis	Agua	1-3 m (1)
	Hierba	10-14 d (1)
Salmonella spp.	Suelo	> 40 d (1)
	Suelo	<20-70 d(2)
	Suelo	15-100 d (3)
	Horizonte inf. suelo	70 d (1)
	Agua	<39-69 d (4)
	Lodos	<39-69 d (4)
	Lodo digerido y secado	> 17 s (1)
	Plantas	>15-30 d (2)
	Hortalizas	7-40 d (1)
	Cultivos poca altura	25-50 d (3)
	Cultivos con altura	5-20 d (3)
	Hierba	Un invierno (1)
	Trébol	12 d (1)
	Patata	> 40 d (1)
	Zanahoria	> 10 d (1)
Col de Bruselas	> 5 d (1)	
Salmonella typhi	Agua con humus	87-104 d (1)

(Continua página siguiente)

AGENTE PATÓGENO	MEDIO ESTUDIADO	SUPERVIVENCIA
Shigella spp.	Agua	<10-30 d (4)
	Hierba	6 s (1)
	Hortalizas	7 d (1)
	Cultivos	5-12 d (3)
	Cultivos	<5-10 d (4)
Vibrio cholerae	Suelo	<10-20 d (2)
	Agua	<10-30 d (4)
	Lodos	<10-30 d (4)
	plantas	<2-5 d (2)
	Cultivos	<2-5 d (3)
	Hortalizas y frutas	6 h-29 d (1)
Entamoeba histolytica (Quistes)	Verduras	3 d (1)
	Plantas	<2-10 d (2)
Ascaris (huevos)	Suelo	Hasta 400 d (4)
	Suelo	6 a (1)
	Suelo, agua, lodos	Muchos meses
	Plantas	25-60 d (3)
	Cultivos	27-35 d (1)
Ancylostoma (larvas)	Suelo	<30-90 d (2)
	Suelo	40-80 d (1)
	Plantas	<10-30 d (2)
Fasciola hepatica	Heno seco	Pocas semanas (1)
Schistosoma (huevos)	Tanques de digestión	3 m (1)
	Lodos secos	3 s (1)
	Tanques sépticos	2-3 s (1)
Taenia echinococcus	Heno mal secado	4 d (1)
Taenia saginata	Suelo	Muchos meses (2)
	Cultivos	25-60 d (3)
	Plantas	<30-60 d (2)
Trichuris trichiura	Suelo	Muchos meses (2)
	Plantas	30-60 d (2)

**Fuente:** Tomado de "Criterios para la evaluación sanitaria de proyectos de reutilización directa de aguas residuales urbanas depuradas" editado por la Junta de Andalucía. Esta obra se nutrió de datos de diversas fuentes, indicadas con un número entre paréntesis: (1) Sierra y Peñalver, 1989; (2) OMS, 1990; (3) Strauss, 1985; (4) EPA, 1992.



### 5.3. Contenido en nutrientes

En función del tipo de proceso de los lodos en la planta, se obtienen diferentes contenidos en macronutrientes. Algunos datos sobre estos se exponen en la tabla nº 13.

**Tabla 13. Concentraciones típicas de nutrientes en lodos de aguas domésticas de desecho**

Lodo	Nitrógeno N %	Fósforo P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	Potasio K <sub>2</sub> O %	Tomado de
Primario crudo	2,4	1,1	—	Burd (1968)
Primario crudo	2,9	1,6	—	Burd (1968)
Filtro percolador	2,9	2,8	—	Anderson (1959)
Activado	5,6	7	0,56	Anderson (1959)
Activado	3,5	2,8	—	Burd (1968)
Activado	3,0	3,6	—	Burd (1968)
Digerido mixto	5,9	3,5	—	Burd (1968)
Digerido mixto	2,0	1,4	0,14	Burd (1968)
Digerido mixto	2,5	1,2	0,2	Burd (1968)
Digerido mixto	4,6	1,4	0,38	Jansson (1972)
Digerido mixto	1,8	3,5	0,18	Lynam (1972) y col.
Digerido mixto	2,5	3,3	0,40	Anderson (1959)

## 6. UTILIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES PARA RIEGO

### 6.1. Consideraciones generales

El uso de aguas residuales para riego está ampliamente extendido en numerosos países del mundo (Cohen 1995, Hontoria, 1996, Pescod 1992). En algunos, se dispone incluso de información a partir de un seguimiento en la aplicación, por ejemplo en Florida sobre cítricos (Zekri et al., 1989, 1990 y 1994). La aparición de problemas a largo plazo (metales pesados) o a corto (salinidad, microorganismos patógenos, exceso de cloro, sodio o boro, permeabilidad, exceso de fósforo o nitrógeno) depende de multitud de factores (Haam y Visser, Ed., 1996, Ayers y Westcot 1976). Todos los datos revisados apuntan a que este tipo de agua puede ser utilizada en agricultura, pero que debido a esta multitud de factores es conveniente realizar un seguimiento (Polo 1996, Ramos 1989).

En España se han realizado experiencias al menos en Valencia, Cataluña, Vitoria, Granada, Almería y Canarias (Ramos et al., 1989; Mujeriego, 1990.; Castillo, 1994;). En ellas se muestran la necesidad de realizar la caracterización de los lodos y aguas a aplicar, y un seguimiento que incluya el estudio de todos los elementos - incluidos los metales pesados- en los suelos.

En cambio, en nuestra zona, con un retraso considerable en la disponibilidad de este tipo de recursos, empiezan ahora a aparecer las primeras instalaciones en las que el nivel de tratamiento permite el uso de estas aguas, en el tipo de cultivos predominante. No hay aun estudios sistemáticos de aguas y lodos que permitan garantizar que, en las condiciones concretas de la zona, no se puedan dar problemas de tipo agronómico, especialmente si consideramos el medio/largo plazo.

El primer punto a considerar sería el contexto global en el que se decide o puede decidirse la utilización de estas aguas. Hay una serie de circunstancias que, en sí mismas, podrían llegar a ser variables en el proyecto, como las que se recogen en la tabla nº 14

**Tabla nº 14. Factores a considerar para la utilización de aguas residuales para riego**

Características del agua	Sistema de riego	Tipo de cultivo
*Efluente primario	*Por gravedad	*Consumo humano (frutos, hojas, tallos, raíces)
*Efluente secundario	*Aspersión	*Industrial
*Efluente terciario	*Localizado	*Ornamental
*Id. Con desinfección		*Paisajístico, (con acceso público o no)

Caben en principio todas las combinaciones posibles, escogiendo un punto de cada una de las tres columnas de la tabla, y todas tendrán ventajas e inconvenientes. Algunas de ellas podrían ser simplemente ilegales o fuera de norma. En cualquier caso, la solución final tendría que considerar lo siguiente:

- Coste económico (inversión más mantenimiento)
- Riesgo sanitario

- Rentabilidad económica-social
- Impacto medioambiental

## 6.2. Posibles problemas técnicos

Son principalmente, y excluidos los derivados de contaminantes específicos tóxicos (pesticidas, etc) los que se exponen cuando se habla de la calidad de las aguas de riego. Podrían enumerarse así:

*Sales totales:* Depende fundamentalmente del agua de entrada en la población. Solamente serían un problema si aquella tiene un contenido cercano a los límites, ya que el paso por el circuito urbano podría subir la concentración de sales entre 100 y 200 mg/l.

*M. Orgánica:* Puede provocar crecimientos de películas orgánicas en paredes interiores de tuberías y emisores (en riegos localizados), y obturaciones de éstos.

*Microorganismos patógenos:* Su presencia en el agua de riego plantearía un problema sanitario potencialmente grave, especialmente en áreas turísticas o de gran densidad de población.

*N y P en exceso:* podrían darse problemas de calidad en algunos cultivos, alteraciones importantes en la dinámica del suelo y, eventualmente, arrastre de nitratos a las capas profundas.

*Toxicidad por Cloro, Sodio, Boro:* Especialmente preocupante esta última debido al uso de detergentes con boratos. Algunos cultivos, como el limonero, son muy sensibles al Boro en exceso, y otros, como el aguacate, al cloro

*Aporte de partículas finas de suelo:* Colmatación de poros e impermeabilización de suelos.

*Contaminaciones lentas de suelo y planta (metales pesados, contaminantes orgánicos):* no tóxicas en forma inmediata, con posibles efectos graves a largo plazo

### 6.3. Principales ventajas

La más importante de todas es la regularidad en el suministro. El último lugar donde faltaría el agua en nuestra sociedad actual, incluso por ley, sería en los núcleos urbanos. En ellos el consumo de agua, y por tanto el efluente de aguas residuales, es muy estable a lo largo del año, aunque haya cierta variación estacional entre el invierno y el verano. Alguna vez se ha dicho que una ciudad es el mejor embalse, el más seguro, desde el punto de vista de la cantidad de agua.

Tampoco se puede olvidar el aporte de nutrientes especialmente nitrogenados, con las salvedades expuestas en el apartado anterior. En la tabla nº 15 se propone un balance de nutrientes en una plantación citrícola del valle del Guadalhorce, utilizando los datos analíticos expuestos de la depuradora del mismo nombre. Estos datos deben ser correctamente interpretados, ya que nunca se debería usar un agua sin depurar para regar naranjos. El agua depurada ha perdido probablemente cantidades importantes de nitrógeno y fósforo, además de la mayor parte de los metales pesados. Quedarían el boro, cloro, sodio, y quizás parte del cadmio, es decir, los más solubles. Pero aun

**Tabla Nº 15. Un posible balance de nutrientes, regando con agua residual bruta (\*)**

Elemento	Extracción (kg/ha/año)	Aportación(8.000 m <sup>3</sup> de AR) kg/ha/año	Diferencia kg/ha/año
N	242	198	-44
P	24	34	10
Fe	1	10,9	10
Zn	0,15-2	1,46	1,31 a -0,54
Pb	0,001- 0,01	1,75	1,75 a 1,65
Cu	0,02-0,15	0,75	0,73 a 0,60
Ni	0,01- 0,1	1,43	1,42 a 1,32
Hg	0,0002	0,0092	0,09
Cr	0,002 -0,01	0,19	0,18
Cd	0,002-0,008	0,0013	-0,00068 a -0,0067

(\*) Basado en datos analíticos de la depuradora del Guadalhorce y las extracciones anuales de una plantación de Cítricos.

manteniendo los niveles de aporte de metales pesados sugeridos, en la tabla nº 16 se exponen los resultados del cálculo del número de años necesario para alcanzar las concentraciones máximas de éstos en el suelo. Puede verse que hay un margen de maniobra muy razonable, aunque se debería establecer un sistema de vigilancia, controlando los contenidos en las aguas y en el suelo en forma periódica.

**Tabla nº 16. Cálculo del número de años necesario para alcanzar los valores límites en suelo con metales pesados (riegos de 8.000m<sup>3</sup>/ha/año)**

Elemento	Cd	Cu	Ni	Zn	Pb
Concentración (µg/l)	0,165	94	179	183	218,5
Aporte metales,kg/ha/año	0,0013	0,75	1,43	1,46	1,75
Aporte sugerido kg/ha con CIC(*)<5	5	125	125	250	500
5-15	10	250	250	500	1000
>15	20	500	500	1000	2000
Años para alcanzar ese aporte con CIC<5	3846	166	87	170	286
5-15	7692	332	174	341	572
>15	15384	664	349	683	1144

(\*) CIC, Capacidad de Intercambio Catiónico

#### 6.4. Problemas económicos y administrativos

Suponiendo que los municipios correspondientes asuman los costes hasta la depuración secundaria, y hablando de las áreas agrícolas costeras, los usuarios (y los posibles beneficiarios globales de la "dejación de uso" de las aguas tradicionales), deberían abordar los siguientes costes:

- Coste de depuración terciaria y desinfección en su caso
- Coste de rebombes a cotas de riego
- Mantenimiento de infraestructuras
- Costes de gestión

Además, y en el caso de grandes áreas con Comunidades de Regantes, derechos preestablecidos, tarifas existentes por normativas vigentes, intervención de diferentes administraciones, etc, la gestión podría llegar a ser muy compleja.

## 6.5. Normativa para la utilización de aguas residuales urbanas

La legislación de normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas en España esta constituida por el Real Decreto-Ley 11/1995 y su desarrollo por el Real Decreto 509/1996. Esta legislación es básica en esta materia en virtud del artículo 149.1.23 de la Constitución Española. La ejecución corresponde a las Comunidades Autónomas en virtud de sus estatutos o a la Administración General del Estado cuando las aguas de la Confederación Hidrográfica discurren por más de una Comunidad Autónoma.

En el ya citado BOE de 17/09/1999, en el Plan Hidrológico de la Cuenca Sur aparece una normativa específica. En el Cuadro nº 10 de este Plan se establecen, según su calidad, cuatro tipos de agua, en función de los contenidos de oxígeno disuelto, DBO, materia en suspensión, amoníaco, nitratos, fosfatos, clorofila, índice biótico, cloruros, conductividad, hierro, sustancias extraíbles al cloroformo, coliformes totales y fecales, estreptococos fecales, color, pH, temperatura, y espumas residuos flotantes. Y en el siguiente cuadro aparece una clasificación de usos y recomendaciones, en función de la calidad microbiológica.

Desde nuestro punto de vista, hay unas ausencias claras, como por ejemplo, la del boro, y ninguna alusión a los contenidos en metales pesados, salvo que se utilice el hierro como una especie de indicador global (lo cual no siempre funciona bien). Y en ninguna parte se habla de la necesidad o conveniencia de un tratamiento de desinfección, al menos en determinados usos y circunstancias. En relación con los metales, se da una orientación de calidad en las tablas nº 17 y 18, respectivamente para los contenidos en agua de riego y suelo.

No obstante, se puede aportar una precisión. Como ha sido recogido ya por muchos autores, no hay una normativa oficial para la digestión previa de los suelos, que es necesaria para proceder a la determinación de metales. La existente habla de digestión en ácido fuerte, sin especificar, mientras que en la bibliografía se cita, p.e., con ácido nítrico, con agua regia e incluso con ácido fluorídrico, obteniéndose valores crecientes, como es lógico. En la tabla nº 19 se exponen algunos resultados al respecto. Parece claro que se debería ser mucho más preciso con la metodología, sobre todo cuando se puede hablar de límites y problemas legales.

**Tabla 17. Concentraciones máximas recomendadas de oligoelementos en el agua de riego (Pescod,1992)**

ELEMENTO	CONCENTRACIÓN mg/l	ELEMENTO	CONCENTRACIÓN mg/l
Aluminio	5	Litio	2,5
Arsenio	0,1	Manganeso	0,2
Berilio	0,1	Molibdeno	0,01
Cadmio	0,01	Níquel	0,2
Cobalto	0,05	Plomo	5
Cromo	0,1	Selenio	0,02
Cobre	0,2	Vanadio	0,1
Flúor	1	Cinc	2
Hierro	5		

**Tabla 18. Estándar de calidad de las aguas de riego de la E.P.A. de EE.UU. en cuanto al contenido en elementos traza (cantidades dadas en mg/l).**

Elemento	Suelo de textura gruesa	Suelo de textura fina
Boro	0,75	2,00
Cadmio	0,01	0,05
Cinc	2,00	10,00
Cromo	0,10	20,00
Cobre	0,20	5,00
Molibdeno	0,01	0,05
Níquel	0,20	2,00

**Tabla nº 19. Diferencias en contenido de metales en suelo, según método de digestión (promedio y d.t. de 12 muestras)**

<b>Metal</b>	<b>Digestión ac. nítrico (cerrada, microondas)</b>	<b>Digestión agua regia (con refrigeración y reflujo)</b>
Arsénico (ppm)	9±2	13±5
Cadmio (ppm)	0,29±0,22	0,74±0,31
Cinc (ppm)	101±25	122±35
Cobre (ppm)	22±8	32±9
Hierro (%)	3,0±0,7	3,5±0,8
Manganeso (ppm)	520±163	614±204
Mercurio (ppm)	1,26±0.31	0,29±0,20
Plomo (ppm)	27±15	87±27

## 7. USO AGRÍCOLA DE LODOS DE DEPURADORA

### 7.1. Normativa vigente

Estos lodos aportan como se ha visto materia orgánica y nutrientes, de acuerdo con las características apuntadas en el apartado nº 6. En principio se trata pues de una enmienda más, de tipo orgánico, salvo por las connotaciones sanitarias expuestas, y los contenidos generalmente altos en metales pesados. Hay una normativa que, esencialmente, intenta limitar la aportación de estos metales al suelo. En la tabla nº 20 aparecen los valores límites de concentración de metales en suelos y lodos cuando estos van a ser utilizados en la agricultura. La muestra debe ser representativa según lo dispuesto por el Real Decreto 1310/1990.

Por otra parte, y como referencia informativa, se expone en la tabla nº 21 los contenidos usuales de algunos microelementos, tanto en suelo como en planta, y sus posibles efectos tóxicos. Esta tabla se ha tomado de Mujeriego (1990).

### 7.2. Experiencias concretas.

En los últimos años han proliferado multitud de ensayos agronómicos en los que se evalúa la aplicación de lodos (directos, compostados, secados, mezclados, etc)



sobre diferentes clases de suelos y cultivos. Sin pretender hacer una revisión exhaustiva, hay algunos trabajos recientes y cercanos que pueden aportar datos interesantes.

**Tabla nº 20. Valores límites de metales en suelos y lodos y carga anual (Real Decreto 1310/1990).**

Elemento	SUELOS (mg/Kg)		LODOS (mg/Kg)		CARGA ANUAL (Kg/Ha/año)
	pH < 7	pH > 7	pH < 7	pH > 7	media 10 años
Cd	1	3	20	40	0,15
Cu	50	210	1000	1750	12
Ni	30	112	300	400	3
Pb	50	300	750	1200	15
Zn	150	450	2500	4000	30
Hg	1	1,5	16	25	0,1
Cr	100	150	1000	1500	3

Polo y col(1997) estudiaron y ensayaron en campo lodos de depuradora, en trigo y girasol, con buenos resultados agronómicos, y constataron que solamente en el caso de Cu y Zn se produjeron aumentos de su contenido en suelo, para dosis altas de aplicación, que no llegaron a reflejarse en incrementos de concentración significativos en los tejidos. Benítez y col(1999) detectaron disminuciones de cosecha con aplicaciones muy masivas de 200T/Ha en trigo, y mayor absorción de Cu y Zn. Con los otros metales no hubo cambios en los tejidos vegetales. García-Orenes y col.(1999) controlaron aplicaciones de lodos de 70 Tm./Ha, vinedo que mejoraban la nutrición nitrogenada y fosfórica. Gómez Lucas y col.(1999) aplicaron un compost de lodo y turba a la implantación de un cultivo de césped, con buenos resultados.

La tónica general de estos ensayos es que **no hay** problemas a corto plazo -el plazo de los ensayos- aunque no se respete **totalmente** la normativa vigente. Habitualmente crece el contenido de materia orgánica en la proporción correspondiente, al menos en el primer año, el suelo mejora su capacidad agronómica, y se **liberan** nutrientes para la planta. El resultado, salvo excepciones derivadas **habitualmente** de aplicaciones masivas, es siempre bueno. El problema está básicamente en que se

**Tabla 21. Concentraciones habituales de microelementos**

Micro-elemento	Concentración en el suelo $\mu\text{g}$ (a)		Concentración en el tejido vegetal $\mu\text{g}$	Efecto sobre el crecimiento de las plantas (b)
	Intervalo	Típica	Intervalo	
As	0,1-400	6	0,1-5	No necesario
B	2-200	10	5-30	Necesario; diferencias entre especies
Be	1-40	6	—	No necesario; tóxico
Bi	—	—	—	No necesario; tóxico
Cd	0,01-7	0,06	0,2-0,8	No necesario; tóxico
Cr	5-3000	100	0,2-1	No necesario; toxicidad baja
Co	1-40	8	0,05-0,15	Necesario para leguminosas a 0,2 ppm
Cu	2-100	20	2-15	Neces. de 2 a 4 ppm; tóxico a >20 ppm
Pb	2-200	10	0,1-10	No neces.; toxicidad baja
Mn	100-400	850	15-100	Necesario; toxicidad según Fe/Mn
Mo	0,2-5	2	1-100	Necesario a < 0,1 ppm; toxicidad baja
Ni	10-1000	40	1-10	No necesario; tóxico a >50 ppm
Se	0,1-2	0,5	0,02-2	No necesario; tóxico a >50 ppm
V	20-500	100	0,1-10	Tóxico a >10 ppm
Zn	10-300	50	—185	Necesario; tóxico a >200 ppm

a) Deducido a partir de Bowen (1979), Allaway (1968), Lisk (1972) Page(1974) y Chapman(1965).

b) Concentración referida a peso seco del tejido vegetal, obtenido a 70°C.

está aportando al suelo más de lo que extraen las plantas, los excesos se acumulan o se lixivian, y podría haber consecuencias a medio/largo plazo tanto en el propio suelo como en los acuíferos afectados.

### 7.3. Aspectos técnicos y económicos

El primer problema que plantea el lodo directo de depuradora es el de su manejabilidad. Se trata de una materia húmeda y viscosa, cuya distribución directa al suelo no se mecaniza fácilmente, además del riesgo sanitario y de los olores repulsivos que pueden llegar a desprenderse en la operación. Es pues necesario algún tipo de transformación previa.

Por otro lado, se está hablando de no hacer aplicaciones masivas, y esto supone repartir los lodos en un radio amplio alrededor de la depuradora. El coste del transporte podría llegar a ser decisivo, teniendo en cuenta que el lodo fresco tiene un 70-80% de agua.

La mejor solución es seguramente la de un compostaje -mezcla del lodo con materia orgánica rica en carbono y maduración en montones- con un secado posterior. En el litoral andaluz no es fácil encontrar fuentes de materia orgánica, salvo en las plantas de tratamiento de basuras urbanas que, para nuestra suerte, no suelen estar lejos de las depuradoras. La mezcla de ambos residuos podría dar lugar a un buen compost relativamente seco, para su aplicación directa a los suelos agrícolas. La pregunta aquí es si el agricultor estaría dispuesto a pagar los costes de esta operación, y/o si la sociedad estaría dispuesta a aportar una parte de los costes, pagando así la eliminación de residuos contaminantes.

## 8. CONCLUSIONES

1) Existe un recurso hídrico importante con buenas posibilidades para ser usado en el riego agrícola, garantizando el suministro incluso en años de fuertes sequías y reservas hidráulicas bajas.

2) Dados los cambios posibles en la calidad de las aguas residuales depuradas, con relación a los parámetros de calidad normalmente admitidos para el agua de riego, un control de esa calidad parece necesario. Debería incluir los siguientes parámetros:

- muestreo constante y análisis diario: cond. Eléctrica, pH
- cada 2 semanas: cloruros, nitratos, materia orgánica
- cada mes: sodio, Ca, B

- cada 3 meses: metales pesados
- cada seis meses, prueba de actividad biológica

Sobre el control microbiológico, la metodología concreta y la frecuencia dependerían del tipo de cultivo. Para los usuales en el litoral andaluz, en el que se mezclan los cultivos frutícolas con los de huerta, para consumo en fresco, se deberían establecer controles diarios en planta de Coli, siembras en placa mensuales para otros patógenos (Salmonella, p.e.), y controles bimensuales de Coli a nivel de final de red de distribución.

La idea que debería presidir estos controles sería la de conocer con la suficiente precisión que se está aportando al suelo y en qué cantidades. En algún caso podría llegar a ser necesario el control de la evolución de algunos parámetros físicos, químicos y biológicos del suelo, aunque esto sería una consecuencia a medio plazo de la valoración de los análisis de aguas antes citados.

3) La aplicación de lodos, interesante desde el punto de vista de la materia orgánica y los fertilizantes que posee, debería estar sujeta al mismo tipo de controles. Por ley (V.Normativa) debe conocerse la caracterización de los lodos, y la del suelo donde se va a aplicar. Pero el problema real está en la dificultad, y el peligro, de hacer uso del lodo fresco. La primera por la consistencia del lodo que dificulta una aplicación homogénea, y la segunda, por el riesgo sanitario que lleva aparejado. El ideal sería establecer sistemas de compostaje, que permitieran una reducción o eliminación de los microorganismos patógenos. En este sentido, la posibilidad de mezclar residuos urbanos sólidos clasificados (excluidos plásticos, vidrios, metal, ...) con los lodos, parece una idea muy interesante para fabricar abonos orgánicos, que por supuesto deberían estar caracterizados en cuanto a su composición química y bacteriológica.

## 9. PROPUESTAS DE ACTUACIÓN

Para la utilización de aguas residuales depuradas y lodos de depuración en agricultura, se detectan una serie de carencias que, en sí mismas, constituyen una lista de líneas de actuación a abordar desde diferentes instituciones y/o colectivos del sector:

1) La metodología analítica no está claramente definida en muchos casos, y sobre todo, los criterios de límites máximos o recomendables no están ligados a metodologías concretas. Especialmente en el caso de metales pesados, si se llega a la apli-

cación masiva de lodos, hay un importante trabajo por hacer en el sentido de ligar formas de extracción de los metales presentes en el suelo, con la situación del suelo mismo, y con el trasvase de estos metales a las partes comestibles de las plantas.

2) Se debería poner a punto una metodología sistemática de caracterización de lodos y aguas residuales depuradas a partir del momento en el que empiezen a funcionar todas las depuradoras que, en cumplimiento de la normativa vigente, se están construyendo. Y sería muy importante establecer una normativa oficial de análisis

3) Siendo costosas las obras necesarias para el tratamiento terciario, desinfección, y elevación hasta cotas de riego, y no siendo siempre posible por parte del agricultor asumir al 100% estos costes, parece muy importante un encuentro entre todas las partes implicadas, en el que no deje de tenerse en cuenta que el agricultor que utiliza aguas residuales y lodos está finalmente haciendo de "limpiador" medioambiental, con beneficios para toda la sociedad.

4) La pregunta de si una determinada agricultura consumidora de agua debe ser mantenida, subvencionando el uso de recursos hídricos alternativos más caros, para que ese agua quede liberada para otros usos, debería ser planteada y respondida. O, con un planteamiento contrario, si solo se va a disponer de agua para hacer las agriculturas que puedan pagar su coste real. Lo que no parece razonable es mantener zonas de regadío con árboles frutales u otras inversiones permanentes, en las que, periódicamente, se produzcan situaciones graves de falta de agua.

En este sentido, y a partir de disponibilidades concretas de aguas y lodos, se deberían constituir mesas de encuentro entre posibles usuarios, las diferentes administraciones implicadas, y algunos expertos, para elaborar propuestas razonables y concretas que pudieran ser asumidas por quien o quienes deban tomar decisiones al respecto.

**BIBLIOGRAFÍA REVISADA**

- ALVÁREZ M., CAMACHO J., CARRERA J.A., ESCOLANO A., LINARES L., MACHUCA L., OLALLA L., OLMEDO M., RODRÍGUEZ J.A., y SÁNCHEZ F. 1995.** Informe sobre la sequía y la gestión de los recursos hídricos en la provincia de Málaga. Bol. Soc. Malagueña de Ciencias, 7 Epoca, n 3.
- ANÓNIMO. 1984.** Manual EPS 6-EP-84-1. Manual of land application of treated municipal wastewater and sludge. Environmental Protection Service. Canadá.
- ANÓNIMO. 1984.** Manual EPS 6-EP-84-1. Manual of land application of treated municipal wastewater and sludge. Environmental Protection Service. Canadá.
- ANÓNIMO. 1985.** 25 page summary of the standards for the use or disposal of sewage sludge. 40CFR PART 503 (58FR 32:9248-9415). Municipal Technology Branch.EPA
- ASANO, T., CHANG, A.C. & PAGE, A.L. (1995):** "Developing human health-related chemical guidelines for reclaimed wastewater and sewage sludge applications in agriculture". W.H.O. (World Health Organization), Geneva.
- AYERS, WESCOTT.1976.** Calidad del agua para la agricultura. Est. FAO, Riegos y Drenajes
- BENÍTEZ E., NOGALES R., GÓMEZ M. y GALLARDO-LARA F. 1999.** Utilización agrícola de lodos residuales y cenizas de lodos:efectos comparativos sobre la dinámica de metales pesados en el sistema suelo planta. Cong. Fisiolog. Vegetal, Sevilla.
- CABRERA, C. 1994.** Evaluación de la contaminación medioambiental por plomo y cadmio en la costa Granadina (Motril). T. D. Univ. Granada.
- CABRERA C., ORTEGA E., GALLEGU C., LÓPEZ M.C., LORENZO M.L., y ASENSI C. 1994.** Cadmium Concentrations in Farmlands in Southern Spain: possible sources of contamination. J. Sci. Total Envir. 153:262-265
- CABRERA C., LÓPEZ M.C., GALLEGU C., LORENZO M.L. y LILLO E. 1995.** Lead Contamination Levels in Potable, Irrigation and Waste Waters from an Industrial Area in Southern Spain. J. Sci. Total Envir. 159:17-21
- CASTILLO A., INCERTI C. y PICAZO J. 1986.** Los vertidos de aguas residuales urbanas en Andalucía. Serv. Andaluz de Salud, Junta de Andalucía
- CASTILLO, A. 1994.** Reutilización de aguas residuales. Criterios para la evaluación sanitaria de proyectos de reutilización directa de aguas residuales urbanas depuradas. Junta de Andalucía.
- CHANG, WARNEKE, PAGE and LUND. 1984.** Accumulation of heavy metals in sewage sludge-treated soils. J. Environ. Qual. 13:87:91

- COHEN, M. 1995.** Xerojardinería. Calidad de las aguas de riego y utilización de aguas residuales. Jornadas Técnicas de Xerojardinería. Junta de Andalucía. 21/11/95.
- COROMINAS J. 1996.** El regadío en el umbral del siglo XXI: Plan Nacional de Regadíos y Plan de Regadíos de Andalucía. XIV Cong. Nac. de Riegos. Aguadulce (Almería)
- GARCÍA ORENES F.; MARTÍNEZ MURO J.L; GÓMEZ LUCAS I. y MATAIX BENEYTO J. 1999.** Evolución foliar de macronutrientes (N,P,K,Ca, Mg y Na) en olivos fertilizados con lodos de depuradora. Cong.Fisiolog. Vegetal, Sevilla.
- GÓMEZ LUCAS I., MARTÍNEZ MARTÍNEZ M., MATAIX SOLERA J. y NAVARRO PEDREÑO J. 1999.** Aplicación de un compost de lodo a un cultivo de césped: efecto sobre el crecimiento y evolución de los niveles de N,P y K. Cong. Fisiolog. Vegetal, Sevilla.
- HAAN F.A.M. AND VISSER-REYNEVELD (Edtrs) 1996.** Soil Pollution and Soil Protection. Wageningen Agric. Univ., Int. Training Center
- HONTORIA E. 1996.** El uso de aguas depuradas para riegos. XIV Cong. Nac. Riegos, Almería, Jun.
- MADRID J. y PARRA J. 1995.** El agua: punto de encuentro entre ecología y desarrollo (del libro Informe Anual del Sector Agrario de Andalucía, 1994. Unicaja, pgs. 305-340.
- McBRIDE, A. 1995.** "Toxic metal accumulation from agricultural use of sludge: Are USEPA regulations protective?". Journ. Of Environ. Quality.
- McGRATH, CHANG, PAGE & WITTER (1993).** Land application of sewage sludge: scientific perspectives of heavy metal loading limits in Europe and the United States. Environ. Rev. Vol 2.
- McGRATH, S.P., GILLER, K.E. & CHAUDRI, A.M. (1994).** Long-term effects of land application of sewage sludge:soils, microorganism and plants. 15th World Congress of Soil Science.
- MUJERIEGO, R. 1990.** Riego con agua residual municipal regenerada. Manual práctico. Universidad Politécnica de Cataluña.
- MUJERIEGO, R. 1994.** Reutilizació dels fangs en l'agricultura: Situació actual i perspectives de futur a la Costa brava. Nov.
- OLALLA L. 1997.** Agricultura sostenible en la comarca de la Axarquía. (Del libro "Axarquía viva: Historia natural de la comarca, desarrollo y medioambiente, ed. Fernández-Llebres P. Pgs. 101-124, Studia Malacitana, Univ. De Málaga)
- POLO M.J., ORDÓÑEZ R., GIRÁLDEZ J. V. 1996.** Efecto del aporte de lodos de depuradora en diferentes tipos de suelo. XIV Congreso Nacional de Riegos. Almería.

- PESCOD, M.B. 1992.** Boletín de riegos y drenajes de la FAO, n 47, Wastewater treatment and use in agriculture".
- POLO M.J., ORDÓÑEZ R., GIRÁLDEZ J.V y GONZÁLEZ P. 1996.** Estudio de la calidad de un agua residual depurada en su uso para riego. XIV Congreso Nacional de Riegos. Almería.
- POLO M.J., ORDÓÑEZ R., GIRÁLDEZ J.V. 1997.** Uso agrícola de lodos de depuradora. Aplicación de los lodos producidos en la EDAR de Córdoba a la rotación trigo-girasol. Comunicaciones I+D 23/97. Cons. Agric. y Pesca. Junta de Andalucía.
- POMARES, F. 1990.** Datos no publicados. "Contaminación del suelo por metales pesados. Curso sobre tecnología y medio ambiente". IVIA. Valencia.
- POMARES F., TARAZONA y ROCA. 1987.** Crop response to sewage sludges and mineral fertilizer as nitrogen sources. Proc. of the 4th Int. CIEC Symp. Agric. Waste Manag. and Envir. Protection
- POMARES, F. 1990.** Datos no publicados. "Contaminación del suelo por metales pesados. Curso sobre tecnología y medio ambiente". IVIA. Valencia.
- RAMOS C., GÓMEZ DE BARREDA D., OLIVER J., y LORENZO, E. 1989.** "Aguas residuales para riego. Un ejemplo de aplicación en uva de mesa", en "El agua en la Comunidad Valenciana". Generalitat Valenciana.
- RAMOS, C., GÓMEZ DE BARREDA D., OLIVER, J., LORENZO, E. & CU AT, J.J. 1989.** El riego de uva de mesa con aguas residuales. Viticultura/Enología Profesional octubre/diciembre 1989.
- RIETZ, E., SAURBECK, D.and LÜBBEN, S. 1991.** Metal uptake and crop growth on sewage sludge field trials with heavy metal contents near the recommended limit values, en "Treatment and use of sewage sludge and liquid agricultural wastes". P. L Hermite.
- SEPP E. 1971.** The use of sewage water for irrigation-a literature review. California Departement of Public health, Bureau of sanitary Engineering, Berkeley, California
- ZEKRI M. and KOO R.C.J. 1989.** Citrus irrigation with reclaimed municipal wastewater" Proc. Fla. State Hort. Soc. 102:51-56.
- ZEKRI M. y KOO R.C.J. 1990.** Effects of reclaimed wastewater on leaf and soil mineral composition and fruit quality of citrus. Proc. Fla. State Hort. Soc. 103:38-41.
- ZEKRI, M. & KOO, R.C.J. 1994.** Treated municipal wastewater for citrus irrigation. Journal of Plant Nutrition, 17 (5), 693-708.





