

23/97

COMUNICACIÓN I+D

# USO AGRÍCOLA DE LODOS DE DEPURADORAS



Comunidad Europea



Consejería de Agricultura y Pesca

**USO AGRÍCOLA  
DE LODOS DE DEPURADORAS.**

**APLICACIÓN DE LOS LODOS  
PRODUCIDOS EN LA E.D.A.R.  
DE CÓRDOBA A LA ROTACIÓN  
TRIGO-GIRASOL**

**MARÍA JOSÉ POLO GÓMEZ**

Dpto. de Agronomía, ETSIAM, Universidad de Córdoba

**RAFAELA ORDÓÑEZ FERNÁNDEZ**

Centro de Investigación y Formación Agraria de Córdoba  
Dirección General de Investigación Agraria Junta de Andalucía

**JUAN VICENTE GIRÁLDEZ CERVERA**

Dpto. de Agronomía, ETSIAM, Universidad de Córdoba

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

**Publica:** Dirección General de Investigación y Formación Agraria.  
Servicio de Publicaciones y Divulgación

**Autores:** María José Polo Gómez  
Rafaela Ordóñez Fernández  
Juan Vicente Giráldez Cervera

**Fotografías e Ilustraciones:** Autores

**Depósito Legal:** SE-2693-97

**I.S.B.N.:** 84-89802-14-9

**Maquetación e Impresión:** A. G. Novograf, S. A. (Sevilla)

## ÍNDICE

I.	INTRODUCCIÓN .....	5
I.1.	Alternativas existentes para la eliminación de lodos de depuradora .....	7
I.2.	Generación de lodos en España y, en particular, Andalucía.....	8
II.	COMPOSICIÓN DE LOS LODOS DE DEPURADORA .....	11
II.1.	Características de los lodos de depuradora y su influencia sobre la aptitud agronómica de los mismos .....	13
II.2.	Aspectos legales referentes al uso agrícola de lodos de depuradora .....	17
III.	LOS LODOS PRODUCIDOS EN LA E.D.A.R. LA GOLONDRINA DE CÓRDOBA .....	19
III.1.	Caracterización agronómica de los lodos .....	22
III.2.	Contenido de metales de los lodos .....	24
III.3.	Evolución anual de los parámetros agronómicos de interés .....	25
IV.	APLICACIÓN DE LOS LODOS DE CÓRDOBA EN CAMPO. ROTACIÓN TRIGO-GIRASOL .....	27
IV.1.	Descripción de los ensayos .....	29
IV.2.	Efectos sobre la composición química del suelo .....	31
IV.3.	Efectos sobre los cultivos: Trigo .....	34
IV.4.	Efectos sobre los cultivos: Girasol .....	41
V.	APORTE DE METALES EFECTUADO.....	49

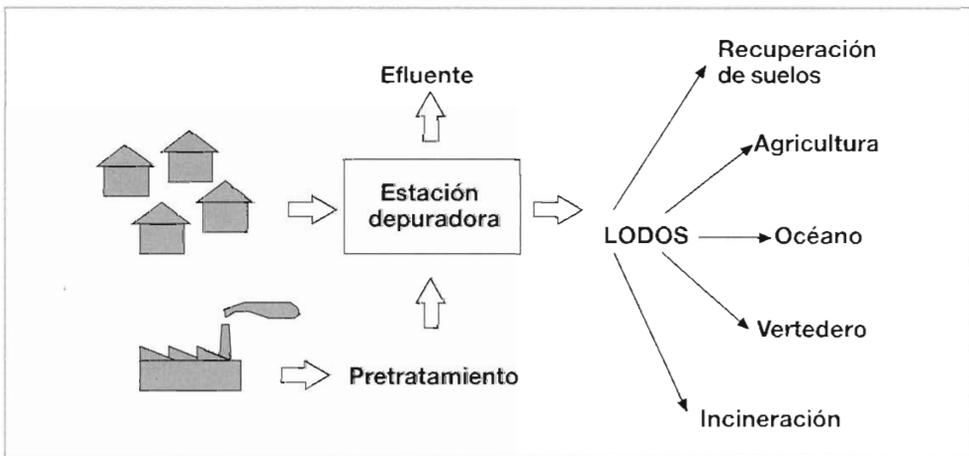


# I. INTRODUCCIÓN



## I. INTRODUCCIÓN.

La necesidad de depurar las aguas residuales, tanto de origen doméstico como industrial, está hoy día fuera de toda cuestión, por los problemas de contaminación producidos por su vertido incontrolado. Sin embargo, esta actividad genera unos residuos, los denominados lodos o fangos de depuradora, cuyo destino incide en igual o, incluso, mayor grado en la calidad del medio, ya que en ellos se concentran todos aquellos elementos que han sido retirados de las aguas. Las distintas opciones existentes para la eliminación de estos residuos aparecen en la figura 1, y se pueden resumir básicamente en tres: incineración, depósito en vertedero o aplicación a suelos, agrícolas o no, ya que el vertido al mar, realizado desde los inicios de las actividades de depuración de las aguas residuales y aún en práctica en numerosos lugares, queda prohibido en los países de la Unión Europea a partir del año 1998 por la Directiva 91/271/CEE (D.O.C.E. de 31 de Diciembre de 1991).



▲ Fig. 1 - Generación y destino final de lodos de depuradora

### I.1. ALTERNATIVAS EXISTENTES PARA LA ELIMINACIÓN DE LOS LODOS DE DEPURADORA.

El principal problema asociado al manejo y transporte de estos residuos es el elevado volumen que suponen, ya que al menos un 65% de su masa está constituido por agua. La incineración, si bien reduce el volumen de residuos generados, origina unas cenizas resultado de la combustión, que se depositan en vertederos, con lo cual el problema de eliminación del residuo simplemente se pospone, sin olvidar que en el proceso se producen emisiones a la atmósfera que deben controlarse. Además, esta alternativa conlleva un alto coste de inversión inicial, y aunque en teoría el proceso una vez iniciado se autoalimenta sin combustible adicional, aprovechando el alto poder calorífico de los lodos, en la práctica un pequeño aumento de la humedad con la que llegan estos residuos a la incineradora hace necesario el uso de otra fuente de energía, con lo que los costes de explotación se disparan.

En cuanto al depósito en vertedero, los principales inconvenientes son el gran espacio requerido por el volumen de estos residuos, la cada vez mayor producción de los mismos, los problemas operativos de la maquinaria usada en estas instalaciones cuando se añaden lodos a los residuos sólidos urbanos, y la posibilidad de aparición de bolsas de metano dentro del vertedero.

La aplicación de lodos a suelos agrícolas aparece como la alternativa más conveniente, ya que se eliminan estos residuos aprovechando los recursos fertilizantes presentes en los mismos, que son, fundamentalmente, una elevada proporción de materia orgánica, cantidades variables de nitrógeno y fósforo, y, en menor medida, ciertos microelementos. Las ventajas del mantenimiento de niveles estables de materia orgánica en el suelo son harto conocidas, entre ellas se encuentran una mejora de su estructura, mayor capacidad de retención de agua, la liberación lenta y continuada de nutrientes, el mantenimiento de una microflora y microfauna adecuadas, etc. Si se consideran los niveles excepcionalmente bajos de materia orgánica en la mayoría de los suelos españoles, y las toneladas de suelo perdidas cada año como consecuencia de la erosión, la intensificación de los sistemas de cultivo y el excesivo uso de maquinaria, no parece coherente desperdiciar un recurso como los lodos de depuradora que, además, va a proliferar a corto plazo cuando se cumplan las exigencias comunitarias de depurar las aguas residuales de numerosos municipios.

Este uso agrícola de los lodos de depuradora debe hacerse con un control adecuado, ya que a los componentes beneficiosos ya mencionados hay que unir la presencia en los mismos de microorganismos patógenos y de metales pesados. Por otra parte, la eliminación de estos residuos no debe acarrear un aporte excesivo de nitrógeno y fósforo al suelo, los cuales podrían contaminar por lixiviación y escorrentía aguas superficiales y profundas.

### **I.2. GENERACIÓN DE LODOS EN ESPAÑA Y, EN PARTICULAR, ANDALUCÍA.**

La producción de lodos de depuradora sigue una tendencia ascendente desde hace algunos años, debido a la cada vez más generalizada implantación de estaciones en núcleos urbanos y la mayor eficacia de los procesos de tratamiento en lo que a eliminación de contaminantes se refiere, sin olvidar la necesidad de cumplir la normativa vigente en esta materia recogida en la ya citada Directiva 91/271/CEE. En concreto, se marca el año 2005 como límite para la adopción de un tratamiento secundario de las aguas residuales originadas en poblaciones con más de 10.000 habitantes, que pasan a 2.000 si el vertido se realiza a aguas dulces o estuarios. Para las localidades con menor número de habitantes se exige un tratamiento adecuado de los vertidos (primario, fundamentalmente).

En España en el año 1989 la depuración de aguas residuales incluía a un 37% de la población, con una producción de lodos de 350.000 T. Datos provenientes del Registro Nacional de Lodos Agrícolas estimaban dicha cantidad a principios de 1997 entre 600 y 700 miles de toneladas. El incremento de este valor ha sido

notable, pues. El destino dado a estos residuos según el mencionado Registro aparece en la figura 2. El apartado "Otros" incluye opciones como el vertido al mar, recuperación de terrenos degradados por explotaciones mineras, canteras, etc., y aquellos casos en los que no se dispone del dato real. Por ello, el porcentaje depositado en vertedero podría resultar en la práctica algo superior, teniendo además en cuenta que este es el destino final de las cenizas resultado de la incineración de lodos.

Si se estudia el destino dado a estos residuos por Comunidades Autónomas cabe mencionar que no son pocas aquellas en las que más de un 50% de los mismos se depositan en vertedero; en Cantabria, C-La Mancha y Baleares, en concreto, no se contempla otra alternativa. Por el contrario, casos como el de Madrid y, sobre todo, Navarra, consiguen reutilizar en la agricultura más de un 80% de los lodos generados, a pesar de la fuerte presencia industrial que genera las cargas más contaminantes; esto constituye un ejemplo de cómo un adecuado pretratamiento de los vertidos industriales previo a su descarga a los colectores municipales posibilita, en la mayoría de los casos, la obtención de unos lodos aptos para la agricultura.

En Andalucía se generan alrededor de cuarenta mil toneladas de lodos (expresados como materia seca), de las cuales aproximadamente un tercio se aplican a suelos agrícolas (figura 2). El potencial de reutilización de estos residuos es por tanto alto.

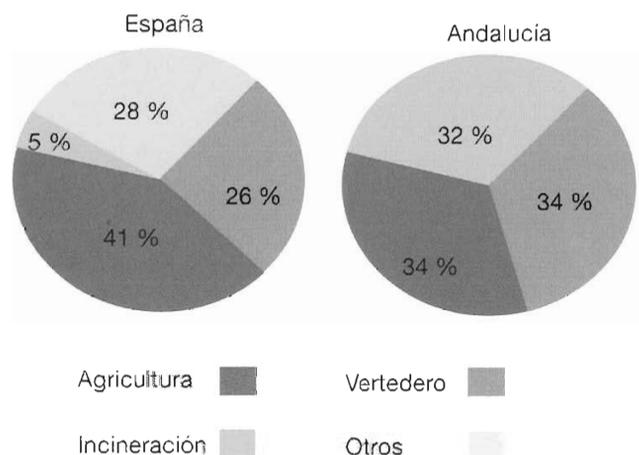


Fig. 2.- Destino de los lodos generados en España y Andalucía.



**II.**  
**COMPOSICIÓN DE LOS LODOS**  
**DE DEPURADORA**



## II. COMPOSICIÓN DE LOS LODOS DE DEPURADORA.

**II.1. CARACTERÍSTICAS DE LOS LODOS DE DEPURADORA Y SU INFLUENCIA SOBRE LA APTITUD AGRONÓMICA DE LOS MISMOS.** Entre un 90 y un 99% de la masa que compone los lodos de depuradora crudos, es decir, tal y como salen del tratamiento recibido por las aguas residuales, es agua; este valor desciende hasta un 60-85% en función del tratamiento recibido por los mismos en la línea de lodos de la estación depuradora. De los elementos sólidos, un 40 a un 70% es de naturaleza orgánica, siendo aquí donde reside el interés fundamental de estos residuos como enmienda de suelos, ya que pueden influir en sus propiedades físicas, químicas y biológicas, contribuyendo de forma global al mantenimiento y mejora de su capacidad productiva.

La porosidad, estado de agregación de las partículas y densidad, entre otras características, son mejoradas cuando se incorpora materia orgánica al horizonte superficial de un suelo y, de forma indirecta, la capacidad de retención de agua y transmisión de la misma a lo largo del perfil. Asimismo, la materia orgánica constituye una fuente y reserva importante de nutrientes, que se liberan de forma progresiva con la descomposición de la misma, asegurando un aporte continuo para la cubierta vegetal. Otras propiedades químicas que pueden verse modificadas por esto son pH, capacidad de intercambio catiónico y potencial rédox. Por último, no hay que olvidar el incremento de energía disponible para el mantenimiento de la microflora y fauna autóctonas, siendo ya sabido el gran papel que juegan en el equilibrio del suelo.

La mayoría de los lodos de depuradora que se usan en agricultura han sufrido algún proceso de estabilización previo, por lo que su tasa de descomposición en el suelo puede ser más lenta que la de otros residuos orgánicos (restos de cosecha, etc.), obteniéndose un incremento más duradero de la fracción orgánica de aquel.

Los nutrientes presentes en los lodos con más importancia para su uso agrícola están, pues, fundamentalmente ligados a la materia orgánica que estos contienen, y son nitrógeno, fósforo y, en menor medida, potasio.

El nitrógeno aparece en forma orgánica e inorgánica, predominando la primera, si bien en caso de que los lodos sufran un proceso de digestión, parte de la fracción orgánica se transforma, sobre todo, en nitrógeno amoniacal, el cual se pierde fácilmente por volatilización si los lodos no son incorporados al suelo de forma inmediata. Las transformaciones que este elemento aportado con los lodos sufre en el suelo cubren todo el ciclo del nitrógeno; la nitrificación es especialmente importante por el potencial de contaminación de acuíferos por lixiviación de nitratos. Por otra parte, el nitrógeno mineralizado a partir de la descomposición de la materia orgánica puede pasar a formas asimilables por la planta durante varios años tras la

aplicación del residuo. El fósforo se encuentra asimismo en ambas formas, siendo orgánico mayoritariamente y existiendo una gran variabilidad de la proporción entre ambas. El suelo puede fijar cantidades sustanciales de este elemento, limitando su movimiento vertical aun cuando se apliquen cantidades elevadas de lodos. Sin embargo, las condiciones del suelo pueden incrementar esta inmovilización hasta el punto de que la mayor parte del fósforo presente en los lodos permanezca, formando compuestos no disponibles para la planta; estos altos niveles de fósforo en el horizonte superficial podrían provocar la contaminación de las aguas de escorrentía por erosión y arrastre de sedimentos. En lo que respecta al potasio, el contenido del mismo en los lodos es relativamente pequeño, por lo que incluso dosis elevadas pueden resultar insuficientes a la hora de reponer las reservas de este elemento en el suelo.

Además, en los lodos aparecen cantidades apreciables de calcio, magnesio y sodio. Los dos primeros son nutrientes necesarios para las plantas y actúan sobre el equilibrio del pH del suelo. Esto es particularmente importante en suelos agrícolas ácidos y en terrenos que fueron antiguas explotaciones mineras. En cuanto al sodio, aunque su valor nutritivo es escaso, su importancia radica en su intervención en reacciones químicas que tienen lugar en el suelo. Este catión puede desplazar nutrientes para la planta en suelos ricos en arcilla y humus. Un exceso de sodio deteriora la estructura del suelo a la par que puede elevar la salinidad del medio, con el consiguiente riesgo para la flora y fauna del mismo. No obstante, las cantidades presentes en los lodos de depuradora no suelen limitar las dosis de aplicación en suelos, por lo que no son de esperar deterioros asociados a la presencia de este catión.

Por último, destacar la posible mejora de la capacidad de intercambio catiónico del suelo a partir de la incorporación de lodos de depuradora, por el incremento del potencial de retención de nutrientes que ello representa.

La tabla 1 muestra las concentraciones más usuales de los distintos componentes de los lodos de depuradora. Como se puede observar, la variabilidad de los valores encontrados es bastante elevada, lo cual da idea de la importancia de una correcta caracterización del residuo a la hora de plantear su uso agrícola, sin extrapolar resultados obtenidos con lodos de diferente procedencia.

El otro grupo de elementos importante a la hora de evaluar la aptitud agronómica de lodos de depuradora lo constituyen los metales pesados, debido a su posible acumulación, tanto en el suelo como en los tejidos vegetales de la planta, quedando así incluidos en la cadena trófica con el consiguiente riesgo para la salud humana. El término "metales pesados", que por definición engloba aquellos elementos cuya densidad es mayor de cinco, afecta a 38 elementos. No obstante, usualmente con él se hace referencia a

doce metales de uso mayoritariamente industrial, los cuales son: Cd, Cr, Co, Cu, Fe, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sn y Zn. Hay que señalar que todos se encuentran de forma natural en el medio, aunque en pequeñas concentraciones (con la excepción de yacimientos, etc.), por lo que todos los organismos han desarrollado a lo largo del proceso de evolución cierta tolerancia a los mismos e incluso, para algunos de estos elementos, la necesidad de su presencia para un correcto funcionamiento de su metabolismo. Es al verse superadas estas concentraciones cuando aparecen diversos tipos de trastornos funcionales que, según el elemento en cuestión y la cantidad en que se encuentre, revisten mayor o menor gravedad. Así pues, aunque todos estos metales son potencialmente tóxicos, su posible impacto difiere enormemente debido a numerosas circunstancias concurrentes: naturaleza de los mismos, umbrales tóxicos, presencia en los lodos, características del suelo receptor, etc.

Tabla 1. Composición química usual de lodos de depuradora.

Parámetro	Nº E.D.A.R. muestr.	Mínimo	Máximo	Mediana	Media	Coef. variabilidad (%)	
pH	61	5,3	11,7				
C org.	%	101	6,5	48,0	30,4	31,0	27
N	%	134	0,0	17,6	2,5	3,2	85
N-NH <sub>4</sub>	%	56	0,0	6,8	0,1	0,7	171
N-NO <sub>3</sub>	%	34	0,0	0,5	0,02	0,06	158
P	%	128	0,0	6,1	1,8	1,9	61
Fe	%	104	0,0	15,3	0,8	1,4	148
Al	%	83	0,1	3,5	0,4	0,5	119
Na	%	126	0,01	2,7	0,12	0,4	146
K	%	142	0,02	1,9	0,24	0,3	99
As	mg/kg	10	6,0	230	10	43	171
Mg	mg/kg	139	300	19700	4600	5414	75
B	mg/kg	60	4	757	28	109	162
Zn	mg/kg	134	101	27800	1800	2997	134
Cu	mg/kg	131	84	10400	850	1308	138
Ni	mg/kg	109	10	3515	190	440	162
Cr	mg/kg	119	17	99000	906	3280	309
Mn	mg/kg	82	18	7100	200	390	209
Cd	mg/kg	115	4	846	20	101	157
Pb	mg/kg	116	13	19730	652	1656	177
Hg	mg/kg	53	1	10600	6	1077	232
Co	mg/kg	15	1	18	4	5	83
Mo	mg/kg	29	5	39	30	28	26

Co, Cu, Fe, Mn, Mo y Zn son elementos esenciales en cantidades traza para las plantas y, para los animales, Cr, Ni y Sn de forma adicional. Por el contrario, Cd, Hg y Pb no son esenciales para ningún organismo. Las fuentes principales de todos estos metales en los lodos son aerosoles urbanos de origen industrial (combustibles urbanos e industriales, metalurgias, refinerías y otros procesos), residuos sólidos y líquidos procedentes de la actividad humana y de explotaciones granjeras, explotaciones mineras y productos químicos industriales y agrícolas.

De todos ellos, los elementos más tóxicos por sí mismos para la salud humana son cadmio, mercurio y plomo, por su acción acumulativa. En lo que al cadmio respecta, su entrada en la cadena alimentaria proviene del uso de fertilizantes fosforados. La principal fuente de mercurio en la dieta humana la constituye el consumo de pescado con niveles elevados, por la transformación que sufren sus compuestos en sistemas acuáticos convirtiéndose en formas asimilables. Las concentraciones usuales en la parte aérea de los cultivos son muy bajas aun cuando se hayan realizado aportes de mercurio al suelo, por lo que el riesgo de paso a la cadena trófica desde este medio es mucho menor que el relacionado con sistemas acuáticos. Por último, el aporte de plomo realizado por los lodos de depuradora no supone un gran riesgo de asimilación por la planta, debido a la presencia de fosfatos y materia orgánica, que retienen este elemento en el suelo, si bien esto es la causa de su acumulación en el horizonte superficial del mismo.

En general, el aporte de metales a un suelo presenta un potencial de paso a la cadena trófica mucho menor en suelos cuyo pH sea neutro o alcalino, ya que bajo estas condiciones la asimilación de estos elementos por la planta se ve drásticamente reducida. Sin embargo, la receptividad de un suelo no es ilimitada y una forma de prevenir su colmatación en lo que a elementos tóxicos se refiere es controlar los vertidos de estos a la red de saneamiento, estableciendo controles rigurosos en el origen y obligando a las industrias a realizar uno o varios pretratamientos de sus efluentes, para retirar aquellos compuestos que limitan la reutilización de los lodos de depuradora de la comunidad. En estos casos bien se pueden reciclar en la propia industria los elementos así retirados, bien se asegura su depósito bajo condiciones apropiadas.

Por último, es preciso hacer hincapié en la presencia en estos residuos de diversos organismos patógenos (bacterias, virus, protozoos, helmintos, etc.) que conviven formando una población de carácter complejo. La aparición de brotes de enfermedades asociados al uso agrícola de lodos de depuradora puede atribuirse a alguna o varias de las siguientes causas: uso de lodos sin tratar, manejo inadecuado de los mismos o falta de higiene en la preparación de alimentos. Por otra parte, es difícil afirmar que algún proceso de tratamiento elimine el 100% de los patógenos presentes en los lodos, por lo que a la hora de plantear su aplicación a un suelo existe la posibilidad de su supervivencia en este medio, movimiento a través de él y contaminación de cosechas. A pesar de esto, las barreras que deben superar estos organismos para llegar a transmitir una enfermedad a partir de su presencia en el suelo son numerosas. Por un lado, las condiciones naturales del medio receptor no

favorecen la supervivencia de estos patógenos, menos adaptados que los microorganismos nativos que compiten con ellos por nutrientes y espacio vital. Por otro, las dosis infecciosas en caso de que sobrevivan y contaminen la cubierta vegetal suelen ser relativamente elevadas, aunque muy variables de una especie a otra, y deben además superar el procesado de la cosecha para la obtención de alimentos y las técnicas de cocinado.

La mayoría de las bacterias patógenas no se pueden reproducir bajo las condiciones existentes en el suelo. La posibilidad de supervivencia se ve disminuida con valores bajos de pH en el suelo, altas temperaturas, escasa humedad, exposición a la radiación solar y antagonismo con la microflora y fauna natural del medio. De todo ello se deduce que en verano, en nuestras latitudes, la persistencia de estos patógenos en la superficie del suelo se ve drásticamente disminuida. En caso de contaminación de la cubierta vegetal los períodos de supervivencia son menores que en el suelo debido a la falta de protección frente a la radiación ultravioleta, desecación y altas temperaturas, aunque pueden persistir durante uno o dos meses si se adhieren al envés de las hojas o nudos de los tallos, donde se resguardan de la luz solar directa.

La supervivencia de virus en el suelo y en las plantas es mucho más variable y la información disponible sobre la materia es menor, con resultados, a veces, contradictorios procedentes de distintas experiencias. Los factores mencionados para bacterias son también limitantes en este caso, particularmente la temperatura y la exposición a la radiación solar.

**II.2. ASPECTOS LEGALES REFERENTES AL USO AGRÍCOLA DE LODOS DE DEPURADORA.** La legislación en materia de residuos se encuentra sometida a revisión de forma continua en los países desarrollados, en función de los estudios ambientales en curso y los avances científicos. En la actualidad, la mayoría de los países en los que la utilización agrícola de lodos de depuradora está regulada, supedita este aprovechamiento, además de a otros requisitos, al mantenimiento de los niveles de metales pesados en el suelo receptor por debajo de unos umbrales máximos considerados de riesgo. Para ello, se limitan alguno o varios de los siguientes parámetros: cantidad de lodos aplicada al suelo, concentración de metales pesados en los residuos y concentración de metales pesados en el suelo receptor. Además, se establecen las condiciones de utilización de estos residuos de forma que se mantengan las suficientes garantías sanitarias para la población.

En la Unión Europea esta materia está regulada por la Directiva 86/278/CEE (Diario Oficial de las Comunidades Europeas de 4 de Julio de 1986), transpuesta a la legislación española en el R.D. 1310/1990 (B.O.E. de 1 de Noviembre de 1990), que establece los aportes máximos de cada metal a realizar, así como las concentraciones límite permitidas tanto en los lodos como en el suelo receptor, distinguiendo si este presenta un valor de pH inferior o superior a 7 (este hecho afecta a la disponibilidad de los metales en el suelo). Las tablas 2 y 3 recogen esta normativa.

Tabla 2. Niveles máximos de metales para el uso agrícola de lodos según la legislación española (I).

Metal	Concentración en los lodos (mg/kg)		Aporte máximo (kg/ha/año)*
	pH suelo < 7	pH suelo > 7	
Cadmio	20	40	0,15
Cromo	1000	1500	3
Cobre	1000	1750	12
Plomo	750	1200	15
Mercurio	16	25	0,10
Níquel	300	400	3
Zinc	2500	4000	30

\* Calculado para un período de aplicación de 10 años.

Tabla 3. Niveles máximos de metales para el uso agrícola de lodos según la legislación española (II).

Metal	Conc. en el suelo receptor (mg/kg)	
	pH suelo < 7	pH suelo > 7
Cadmio	1	3
Cromo	100	150
Cobre	50	210
Plomo	50	300
Mercurio	1	1,5
Níquel	30	112
Zinc	150	450

La citada Directiva comunitaria y la legislación española exigen que "...los lodos hayan sido sometidos a un tratamiento previo por vía biológica, química o térmica, mediante almacenamiento a largo plazo o por cualquier otro procedimiento apropiado, de manera que se reduzcan de forma significativa su poder de fermentación y los inconvenientes sanitarios de su utilización". La legislación comunitaria deja a discreción de los estados miembros el uso de lodos no tratados si estos se inyectan o entierran en el suelo; no ocurre así con la normativa española, que exige que todo lodo destinado a la agricultura sea previamente tratado de alguna forma, con independencia de la técnica empleada en su aplicación.

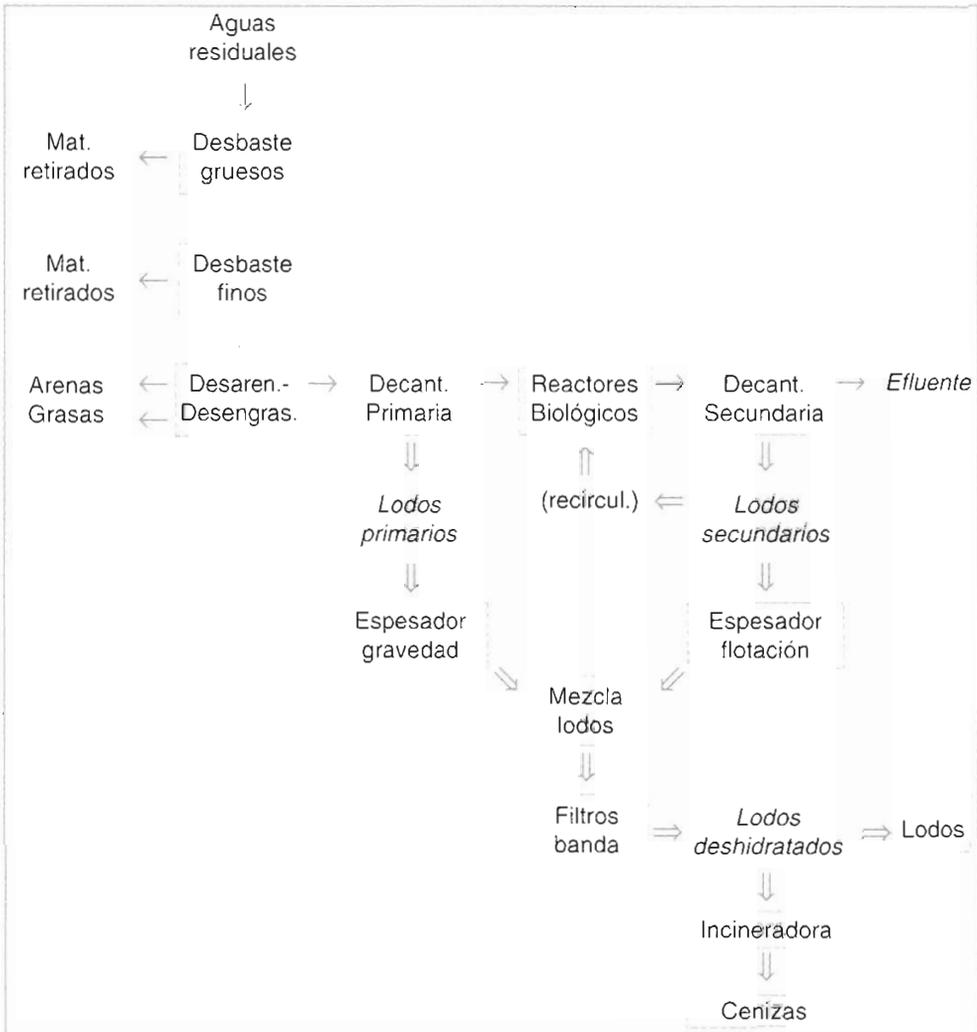
**III.**  
**LOS LODOS PRODUCIDOS**  
**EN LA E.D.A.R.**  
**“LA GOLONDRINA” DE CÓRDOBA**



### III. LOS LODOS PRODUCIDOS EN LA E.D.A.R. "LA GOLONDRINA" DE CÓRDOBA.

La explotación de la E.D.A.R. "La Golondrina" de Córdoba, situada en la margen izquierda de la carretera a Almodóvar del Río, se halla a cargo de la Empresa Municipal de Aguas de Córdoba (E.M.A.C.S.A.). En la planta se tratan diariamente entre 80 y 85.000 m<sup>3</sup> de aguas residuales producidas en Córdoba capital, y se generan alrededor de 30 T de materia seca al día, en forma de lodos deshidratados.

El proceso de tratamiento sufrido por el agua a su paso por la E.D.A.R. queda esquematizado en la figura 3, y refleja un sistema de depuración convencional por fangos activados.



▲ Fig. 3 - Esquema del proceso de tratamiento del agua residual en la E.D.A.R. de Córdoba.

En la actualidad, la deshidratación de los lodos se realiza mediante una centrífuga; sin embargo todas las muestras de lodos analizadas para este trabajo, así como las partidas empleadas en campo proceden del sistema de filtros banda original. En cuanto a la incineradora, si bien está en condiciones de funcionamiento, no se usa en este momento debido al valor del poder calorífico de los lodos producidos, insuficiente para autoabastecer el proceso de combustión, por lo que el destino práctico de estos residuos es el vertedero municipal de R.S.U. de la ciudad.

La empresa E.M.A.C.S.A. facilitó los resultados de algunos análisis realizados a los lodos deshidratados producidos, lo cual permitió el planteamiento de la alternativa agrícola para los mismos, ya que dichos valores se encontraban por debajo de los límites exigidos por la legislación vigente.

En cuanto a las garantías sanitarias del uso agrícola de estos residuos, en la estación depuradora no se realiza ningún proceso de estabilización de los mismos por lo que previo a su incorporación al suelo se planteó su disposición en eras de secado a la intemperie. Hay que puntualizar que, si bien el volumen de lodos generados en la E.D.A.R. de Córdoba hace imposible la adopción de este sistema de estabilización en origen para toda la producción, por la superficie requerida para ello, sí podría ser una alternativa viable en destino. Por otra parte, las características concretas de estos residuos permiten la extrapolación de los resultados obtenidos a futuras estaciones depuradoras en municipios de la zona, con producciones de lodos menores.

**III.1. CARACTERIZACIÓN AGRONÓMICA DE LOS LODOS.** El ya citado R.D. 1310/1990 de 29 de Octubre, que regula el uso de lodos de depuradora en la agricultura, establece que la frecuencia de análisis de los mismos deberá ser semestral en la fase de producción, pudiendo pasar a ser anual si durante el período de un año los resultados no variasen de forma significativa. No obstante, advierte que esta frecuencia aumentará si surgen cambios en la calidad de las aguas tratadas.

Para proceder a la caracterización de los lodos se analizaron muestras tomadas de forma mensual a lo largo de un año (Agosto de 1993 a Julio de 1994). Los valores medios de estos resultados se recogen en la tabla 4.

Tabla 4. Caracterización agronómica de los lodos de la E.D.A.R. de Córdoba\*.

Parámetro		Máx.	Mín.	Media	Desv. típica	C.V. (%)
pH (1:10)		6,9	6,2	6,6	0,19	2,79
Humedad	%	76,5	63,0	72,4	3,50	4,83
C orgánico	%	42,74	26,88	34,02	4,52	13,29
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/kg	27,3	-	10,2	9,05	88,47
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	mg/kg	160,5	3,1	56,6	53,74	94,96
N orgánico	%	4,54	2,21	3,36	0,76	22,64
M.O.%		72,65	45,70	57,83	7,68	13,27
C/N		17,6	6,7	10,7	3,34	31,07
Fósforo	%	2,13	1,04	1,54	0,34	22,18
Sodio	%	0,09	0,05	0,07	0,01	18,27
Potasio	%	0,18	0,11	0,15	0,02	14,04
Calcio	%	4,82	3,16	3,84	0,48	12,57
Magnesio	%	0,38	0,28	0,32	0,03	9,20

\* Todos los valores están referidos a m.s. excepto la humedad.

En cuanto al valor fertilizante de estos residuos, su contenido de materia orgánica es similar o superior al de otros productos de naturaleza orgánica empleados tradicionalmente como enmiendas de suelos agrícolas (estiércol animal, turbas, etc.) y compost de residuos sólidos urbanos (R.S.U.); en el caso del nitrógeno y el fósforo, su concentración es superior en la mayoría de los casos si se compara con los valores dados por la tabla 5.

Tabla 5. Composición de otros productos usados como enmiendas orgánicas de suelos.

Producto	pH	M.O.	N org.	P	K
			%		
Estiércol					
caprino	7,6	44,4	1,7	0,2	3,3
equino			6,7	1,0	6,0
vacuno			3,4	0,6	2,9
porcino			4,5	0,9	5,0
ovino			8,2	0,9	7,0
Gallinaza		20,0	1,6	0,7	0,7
Palomina		30,8	1,8	0,8	0,8
Humus de lombriz		31,0	1,3	1,0	1,3
Turbas			0,9-2,0	0,01-0,04	0,02
Compost alpechín	7,6	21,0	0,8	0,2	1,8
Compost R.S.U.	6,1-7,5	12-68	1,3-1,8	0,32-0,60	0,5-0,9
Vinaza	5,0	40,0	3,3	0,02	3,45

**III.2. CONTENIDO DE METALES DE LOS LODOS.** El contenido de metales de los lodos aparece en la tabla 6. De estos valores se puede comprobar el origen fundamentalmente doméstico de las aguas residuales de la ciudad de Córdoba, dada la escasa presencia de actividad industrial, destacando por ello los bajos niveles encontrados de metales pesados a pesar de la variabilidad de los valores resultantes, y cumpliendo las especificaciones en esta materia establecidas por la ley vigente.

Tabla 6. Contenido de metales de los lodos de la E.D.A.R. de Córdoba.

Parámetro		Máx.	Mín.	Media	Límite legal	Desv. típica	C.V. (%)
Hierro	mg/kg	<b>3833</b>	1870	2370	no hay	572	24,13
Manganeso	mg/kg	<b>537</b>	154	291	no hay	118	40,49
Cobre	mg/kg	<b>401</b>	97	224	1750	107	47,52
Zinc	mg/kg	<b>631</b>	307	449	4000	103	22,95
Níquel	mg/kg	<b>43,2</b>	8,5	18,4	400	10,2	55,36
Cromo	mg/kg	<b>54,6</b>	10,0	22,6	1500	13,5	59,82
Cadmio	mg/kg	<b>5,2</b>	2,4	3,8	40	0,73	19,33
Plomo	mg/kg	<b>120</b>	43	86	1200	24	27,42
Mercurio	mg/kg	<b>1,3</b>	0,9	1,1	25	0,2	18,18

La dosis de aplicación máxima anual permitida de estos lodos en campo, calculada a partir de las cantidades límite de cada metal a introducir en el suelo receptor para un período medio de diez años (tabla 2), se muestra en la tabla 7 para cada metal, resultando el cadmio el elemento más restrictivo en cualquier caso, y para concentraciones medias y máximas de metales, el cobre y el zinc a continuación, por ser los más abundantes en estos lodos.

Tabla 7. Dosis máxima de aplicación permitida de los lodos de la E.D.A.R. de Córdoba, calculada a partir de los valores de las tablas 2 y 6.

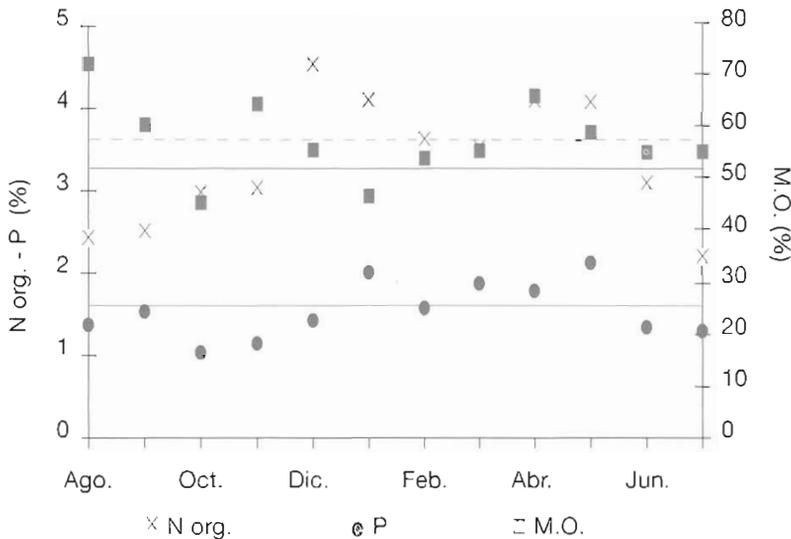
Conc. metal*	T lodos (m.s.)/ha/año (plazo de 10 años)						
	Cu	Zn	Ni	Cr	Cd	Pb	Hg
Media	53,6	66,8	163,3	133,0	39,9	174,4	90,9
Máxima	29,9	47,5	69,4	54,9	28,8	125,0	76,9
Mínima	123,6	97,7	353,4	299,7	62,5	349,7	111,1

\*Según valores medios, máximos y mínimos dados en la tabla 6.

### III.3. EVOLUCIÓN ANUAL DE LOS PARÁMETROS AGRONÓMICOS DE INTERÉS.

El gráfico 1 muestra la evolución del contenido de materia orgánica, nitrógeno orgánico y fósforo a lo largo del período de caracterización. Los porcentajes de variación son similares para estos tres parámetros, con un valor algo menor para el correspondiente al contenido de materia orgánica. Las líneas marcan los niveles medios para cada uno de ellos. A partir de los resultados obtenidos se puede afirmar que las fluctuaciones encontradas no obedecen a variaciones estacionales.

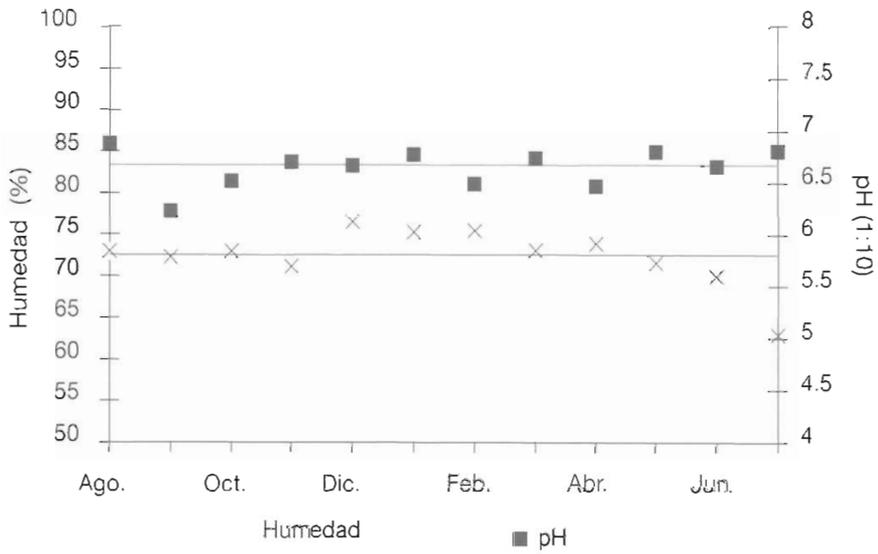
Gráfico 1. Evolución del contenido de M.O., N orgánico y P en los lodos.



Los valores de pH y humedad de los lodos a lo largo del período de caracterización aparecen en el gráfico 2, destacando su estabilidad durante el año, algo menor en el caso de la humedad. Este es el único parámetro en el que los cambios observados son estacionales, disminuyendo la humedad de salida de los filtros banda en los lodos durante el período estival, como, por otra parte, era de esperar.

La variabilidad de las concentraciones de los distintos metales presentes en los lodos se puede comprobar a partir de los datos de la tabla 4. Dichos cambios no siguen un patrón estacional ni se ha encontrado relación entre los mismos y la variación de otros parámetros como el contenido de materia orgánica. En cualquier caso, los valores encontrados permiten afirmar que estos lodos presentan niveles bajos de contaminación que los hace particularmente aptos para su uso agrícola.

Gráfico 2. Evolución del pH y humedad de los lodos



**IV.  
APLICACIÓN DE LOS LODOS  
DE CÓRDOBA EN CAMPO.  
ROTACIÓN TRIGO-GIRASOL**



## IV. APLICACIÓN DE LOS LODOS DE CÓRDOBA EN CAMPO. ROTACIÓN TRIGO-GIRASOL.

Una vez determinada la composición de estos residuos, y corroborado su bajo contenido de metales pesados, se establecieron tras pruebas de laboratorio las dosis de aplicación en campo que, a la vez que permitían el aprovechamiento de las propiedades fertilizantes de los lodos, no suponían un riesgo de deterioro del suelo receptor.

Las experiencias se llevaron a cabo desde 1994 a 1996 en las parcelas del Centro de Investigación y Formación Agraria de Córdoba, y estuvieron dirigidas a evaluar dicha acción fertilizante de los residuos, estudiando los cambios producidos en el suelo, los rendimientos obtenidos para los cultivos implantados y las concentraciones de nutrientes en los distintos tejidos vegetales.

**IV.1. DESCRIPCIÓN DE LOS ENSAYOS.** Las parcelas pertenecen a la finca "Alameda del Obispo" de Córdoba, situada en una terraza del río Guadalquivir a su paso por esta ciudad. Se eligió la rotación trigo-girasol completándose dos ciclos de cultivo para cada especie.

La aplicación de lodos fue anual, equiparándose a un abonado de fondo. Se adoptaron tres dosis de estos residuos, 0 (testigo), 40 y 80 T/ha (peso húmedo, con un 65% de humedad), dosis T, A y B, respectivamente. Para asegurar una estabilización suficiente de los residuos, estos se extendieron sobre la superficie de las parcelas, como se puede ver en la foto 1, y se dejaron a la intemperie durante el período de verano. La primera aplicación se realizó a mediados de Julio de 1994, y la segunda en Agosto de 1995 tras la recogida de la cosecha de girasol. La incorporación al horizonte superficial del suelo se realizó mediante un pase de grada de disco en el mes de Septiembre en ambas ocasiones.



▲ Foto 1 - Aplicación de los lodos sobre la superficie de las parcelas.

La pauta consistió en la práctica de un laboreo mínimo para alterar lo menos posible el estado del suelo y evitar en lo posible pérdidas de materia orgánica. Por otra parte, no se realizó ningún abonado inorgánico adicional con el fin de no enmascarar los resultados imputables a la acción del residuo. Los cultivos se desarrollaron bajo condiciones de secano, si bien fue necesario efectuar algunos riegos de auxilio para asegurar la obtención de cosecha, al acusar las plantas la falta de agua, sobre todo durante la primavera y verano de 1995 por la escasa pluviometría registrada.

Las características del horizonte superficial del suelo de las parcelas aparece en la tabla 8, destacando un contenido bajo de materia orgánica y un valor de pH alrededor de 8, lo cual hacía esperar que los metales aportados por los lodos quedasen retenidos en el suelo en formas no disponibles para la planta.

Tabla 8. Características del suelo de las parcelas.

	Profund. (cm):	0-30
Dens. ap.	kg/m <sup>3</sup>	1130
pH		8,1
Textura		franca
Arena	%	44,6
Limo	%	41,1
Arcilla	%	14,2
M.O.	%	1,10
N. org.	%	0,061
CO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	%	19,8
P asimilable	mg/kg	7,7
C.I.C.	mmol <sub>c</sub> /kg	105,1
K asimilable	mg/kg	172,5
Na asimilable	mg/kg	50,4
Ca asimilable	mg/kg	5406
Mg asimilable	mg/kg	211,3

En cuanto a la composición de los lodos utilizados cada año, se muestra en la tabla 9. Los valores encontrados quedan dentro de los márgenes obtenidos durante el período de caracterización previo, corroborando la estabilidad de producción de estos residuos, y son además similares para las muestras de ambos años.

Los cultivos implantados fueron:

<b>Año 1º:</b>	Trigo duro variedad Vitrón	Girasol variedad Olé
<b>Año 2º:</b>	Trigo blando variedad Yécora	Girasol variedad Conti 1000

Tabla 9. Características de los lodos aplicados en campo.

Aplicación:		Julio 94	Agosto 95
Humedad*	%	63	66
pH (1:10)		6,8	6,7
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/kg	ip.	ip.
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	mg/kg	10,0	35,6
N orgánico	%	3,1	3,9
M.O.	%	55,6	65,5
C/N		10,6	9,9
Fósforo	%	1,3	1,6
Sodio	%	0,03	0,04
Potasio	%	0,11	0,13
Calcio	%	4,32	3,95
Magnesio	%	0,30	0,33
Hierro	mg/kg	2215	2589
Manganeso	mg/kg	199	268
Cobre	mg/kg	401	360
Zinc	mg/kg	631	520
Níquel	mg/kg	10,4	11,3
Cromo	mg/kg	21,1	18,5
Cadmio	mg/kg	2,5	3,1
Plomo	mg/kg	91	78
Mercurio	mg/kg	1,1	0,8

\* Todos los valores referidos a m.s. excepto la humedad

ip., inapreciable

#### IV.2. EFECTOS SOBRE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL SUELO.

Los principales efectos observados en la composición química del suelo están relacionados con la naturaleza orgánica del residuo que se ha aportado al mismo.

Así, los niveles de materia orgánica y nitrógeno orgánico aumentaron en el horizonte superficial de las parcelas, existiendo diferencias significativas entre los tratamientos en todos los muestreos efectuados, como se puede observar en los gráficos 3 y 4.

Asimismo aumentaron los niveles de nitratos en las parcelas tratadas con lodos, siendo los incrementos con respecto al testigo variables según el momento del muestreo. El gráfico 5 muestra los perfiles de nitrógeno en forma de nitratos tras la segunda cosecha para las tres dosis estudiadas, observándose diferencias no sólo en superficie sino en profundidad en el caso de la segunda cosecha de girasol.

Gráfico 3. Niveles de materia orgánica en el horizonte superficial de las parcelas.

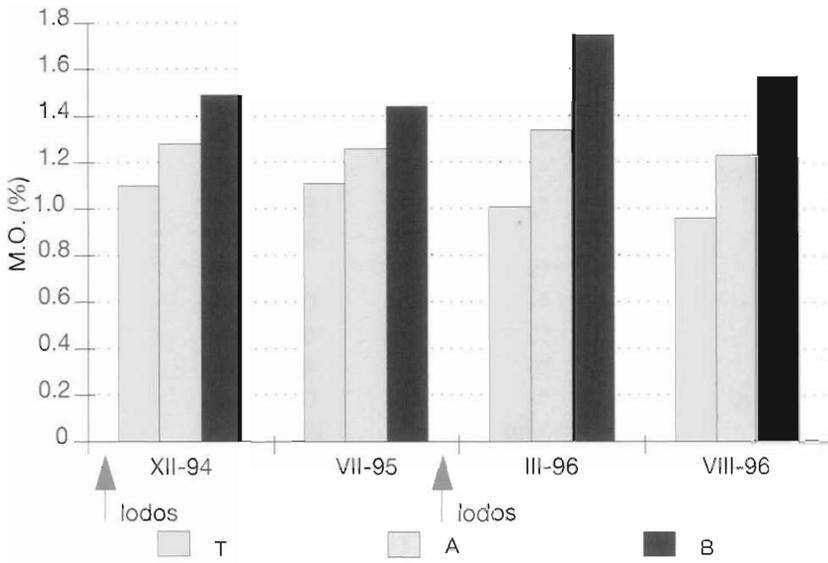


Gráfico 4. Niveles de N orgánico del horizonte superficial de las parcelas

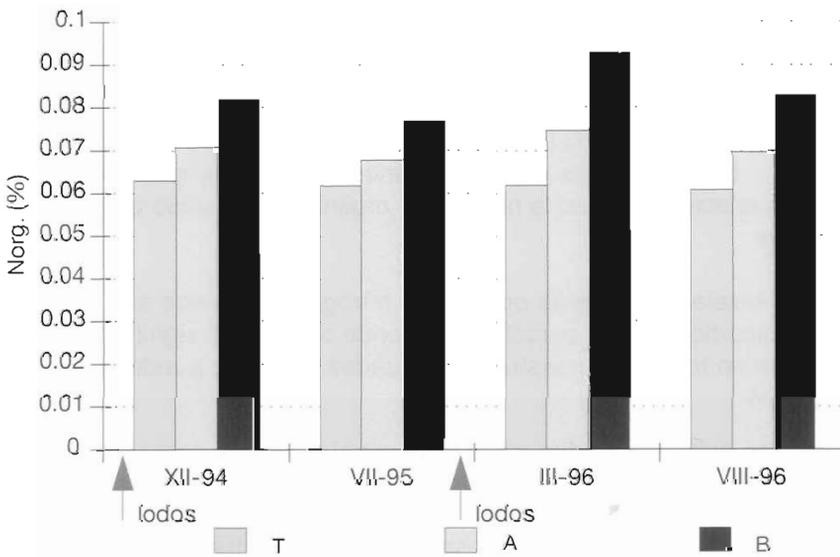


Tabla 5. Perfiles de  $N.NO_3^-$  tras la segunda cosecha

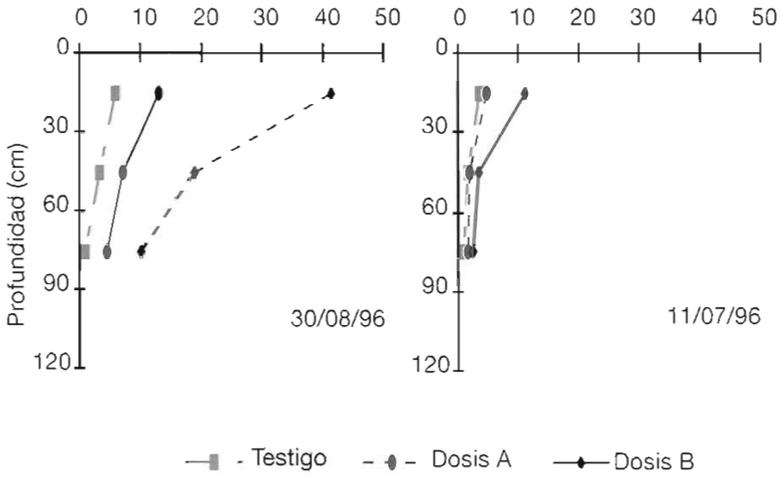
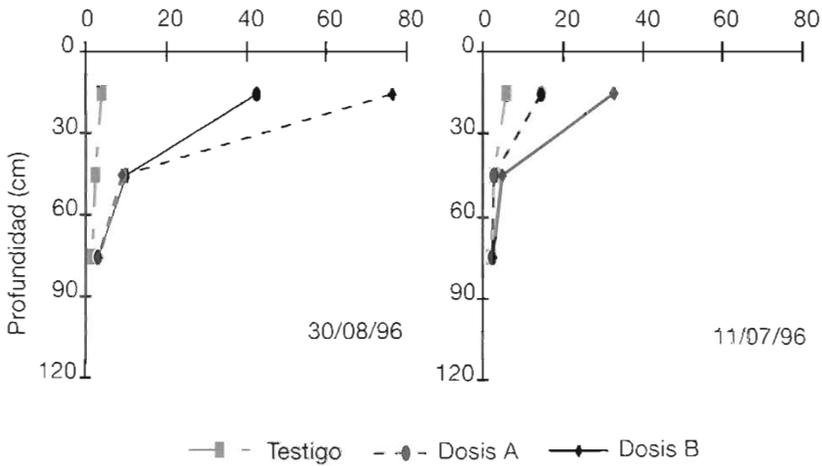


Tabla 6. Perfiles de P disponible tras la segunda cosecha.



De igual forma se obtuvieron mayores niveles de fósforo disponible en las parcelas que habían recibido lodos. El gráfico 6 presenta los valores correspondientes a los muestreos tras la segunda cosecha. De nuevo en las parcelas de girasol las diferencias se mantienen en profundidad aunque en menor medida que para el nitrógeno nítrico; puesto que el fósforo es un elemento con escasa movilidad en profundidad este hecho es indicativo del intenso lavado al que se vieron sometidos los suelos durante el año 1996, con una pluviometría muy por encima de la normal en esta zona.

Por último, cabe destacar que únicamente en el caso de la dosis B se obtuvieron incrementos en el valor de la capacidad de intercambio catiónico (C.I.C.) del horizonte superficial de las parcelas. Todo parece indicar que, en este suelo, la dosis A actúa como una simple adición de elementos fertilizantes (aunque otros efectos derivados del incremento de materia orgánica sí se observaron), mientras que la dosis B además cambia la naturaleza del suelo mejorando su dinámica de adsorción de nutrientes. Los valores encontrados se muestran en la tabla 10.

Tabla 10. C.I.C. del horizonte superficial de suelo.

Trat.	Jul. 95	Mar. 96 mmol <sub>c</sub> /kg	Ago. 96
T	107 a	109 a	108 a
A	109 a	110 a	109 a
B	124 b	138 b	131 b

**IV.3. EFECTOS SOBRE LOS CULTIVOS: TRIGO.** En general, se observaron diferencias en el estado del cultivo a lo largo de su ciclo de crecimiento. En las parcelas tratadas con lodos el desarrollo foliar y la altura de planta eran mayores, así como el color verde, más intenso, denotaba una mayor asimilación de nitrógeno.

Asimismo, el número de espigas por unidad de superficie en el momento de la cosecha aumentó con el aporte de lodos, siendo el efecto más significativo el segundo año, probablemente por una mejor mineralización del residuo, mayor aporte de agua y la acción residual del año anterior.

Tabla 11. Densidad media de espigas

Tratamiento	Cosecha 95 nº espigas/m <sup>2</sup>	Cosecha 96
T	211 a	214 a
A	250 ab	281 b
B	279 b	354 c



▲ Foto 2 - *Densidad de planta en el cultivo de trigo, caso testigo*

También se observaron diferencias en el tamaño de espigas, que fue mayor a medida que aumentó la dosis de lodos aplicada.



▲ Foto 3 - *Densidad de planta en el cultivo de trigo, dosis A.*



▲ Foto 4 - Densidad de planta en el cultivo de trigo, dosis B.

En cuanto a los niveles de nutrientes en la cosecha, los efectos más marcados corresponden al nitrógeno, encontrándose diferencias tanto en la paja como en el grano, como se aprecia en los gráficos 7 y 8.

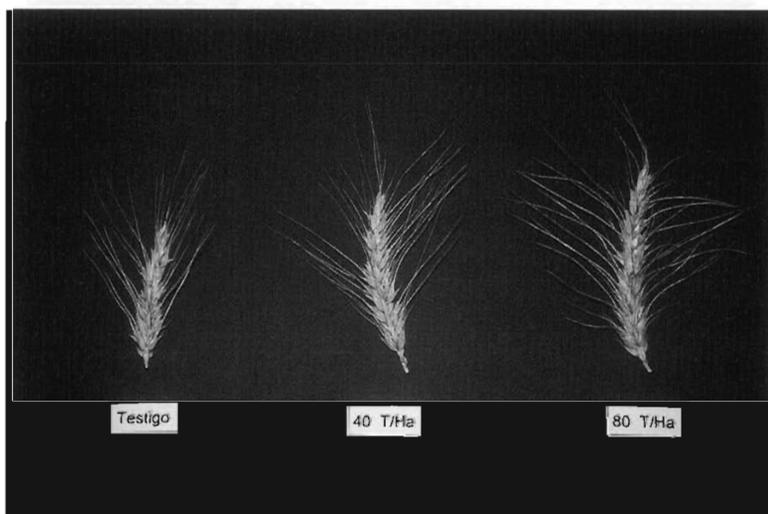
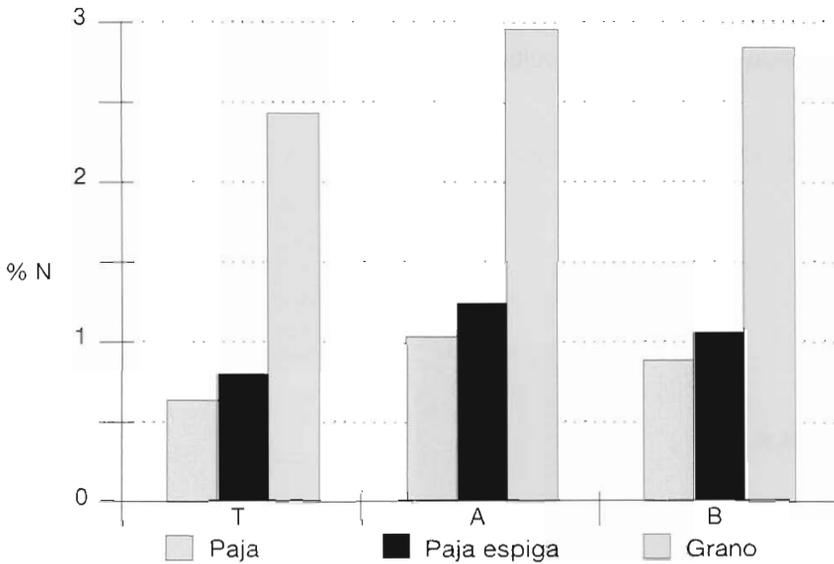


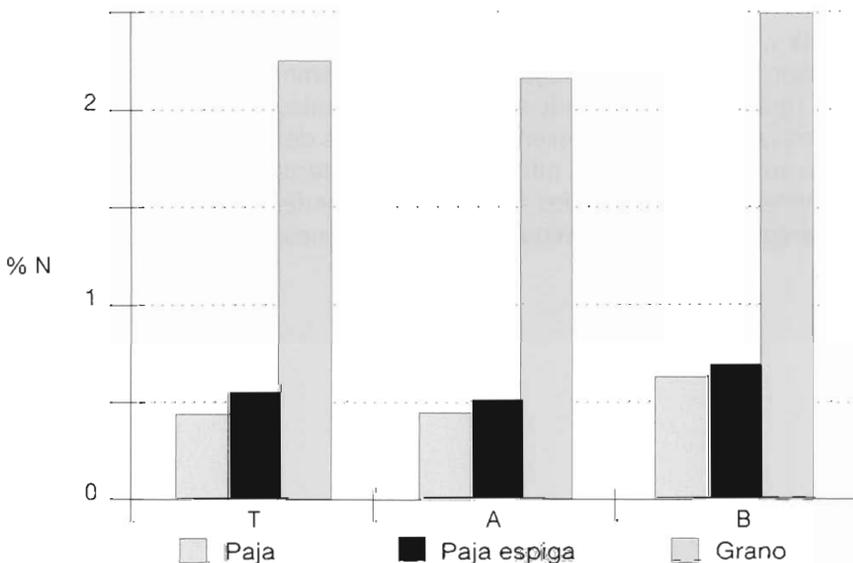
Foto 5 - Tamaño de espigas en la cosecha de trigo de 1996

Gráfico 7. Niveles de N en la cosecha de trigo de 1995.



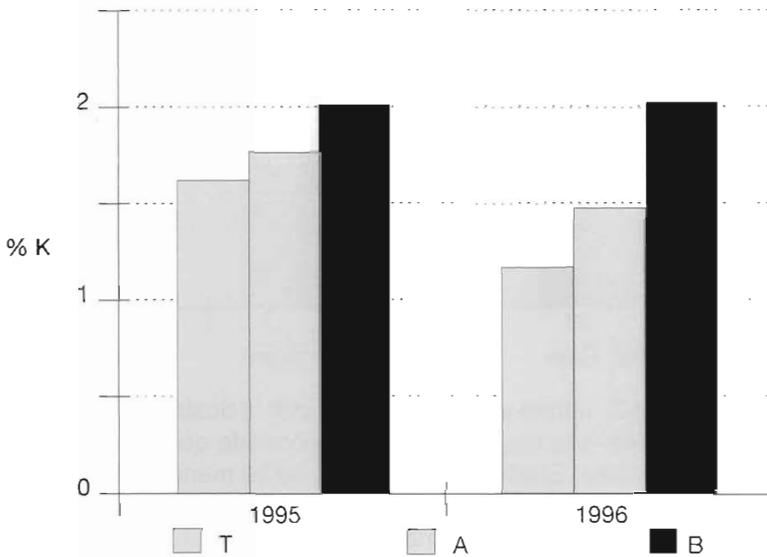
Este año la dosis B obtuvo valores menores que la dosis A. Esto se debe, como se verá más adelante, a la mayor producción obtenida que provocó un efecto de dilución de los nutrientes. El año 1996, como ya se ha mencionado, se produjo una mayor mineralización del residuo, lo cual, unido al efecto residual del año anterior permitió una mejor asimilación de nutrientes.

Gráfico 8. Niveles de N en la cosecha de trigo de 1996.



Los niveles de potasio en la paja aumentaron cuando se aportaron lodos al suelo, como se puede ver en el gráfico 9. Este incremento no es debido al aporte de este elemento realizado por el residuo sino que más bien hay que atribuirlo al mejor estado y desarrollo del cultivo en las parcelas tratadas.

Gráfico 9. Niveles de K en la cosecha de trigo.



En cuanto a las producciones, el primer año el aporte de lodos aumentó la producción de materia seca, pero a costa de incrementar la cantidad de paja producida y, en el caso de la dosis mayor, la cantidad de grano con respecto al caso testigo (gráfico 10). El segundo año, las diferencias entre producciones son notables (gráfico 11), sobre todo si se tiene en cuenta que los lodos fueron el único aporte fertilizante realizado, mientras que cultivos de trigo de la zona este mismo año acusaron carencias de nitrógeno por el intenso lavado que sufrieron los suelos, necesiéndose repetidos abonados de cobertera en algunos casos (con los subsiguientes costes) para asegurar las producciones.

Gráfico 10. Producción del cultivo de trigo en 1995.

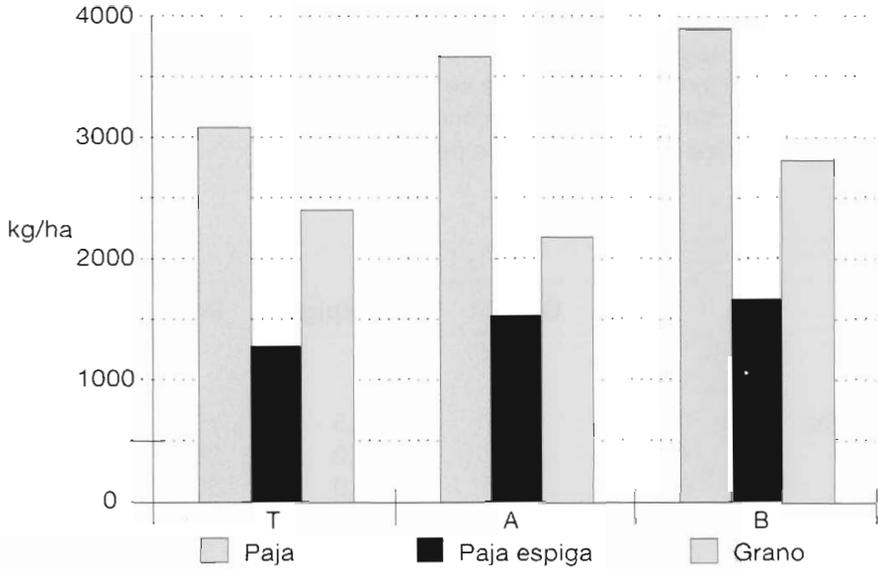
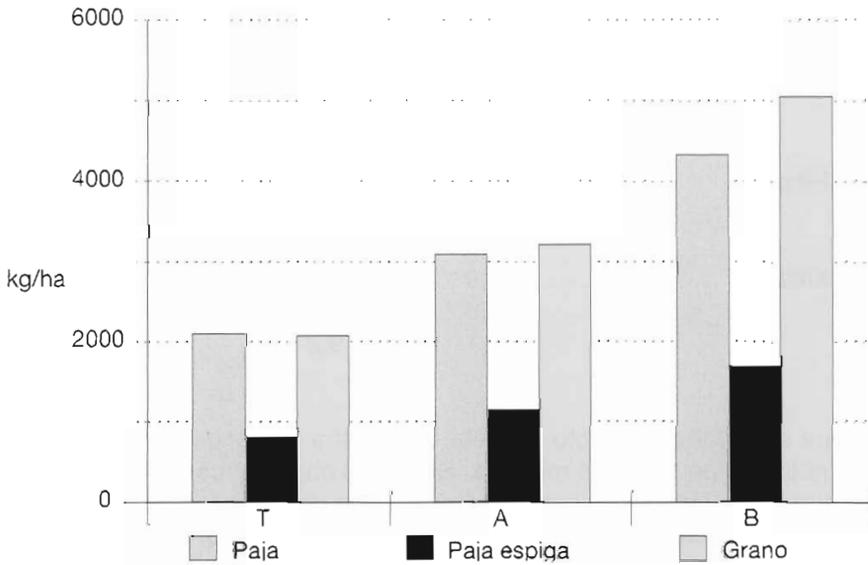


Gráfico 11. Producción del cultivo de trigo en 1996.



La tabla 12 recoge las extracciones NPK realizadas por el cultivo ambos años. En valor absoluto, la extracción de nitrógeno superó en 1995 los niveles alcanzados en 1996 para todas las dosis, y las extracciones de fósforo y potasio ese año fueron asimismo mayores en el caso testigo. Esto se explica por las diferencias fisiológicas existentes entre las variedades de trigo duro, que se sembró en 1995, y trigo blando, que se sembró en 1996. Las primeras son más rústicas y presentan, a igualdad de condiciones de cultivo, un índice de cosecha menor con una producción elevada de paja.

Tabla 12. Extracciones NPK efectuadas por el cultivo de trigo.

		Grano	Paja espiga	Paja	Total
<b>1995</b>					
kg N/ha	T	58,3	10,5	19,7	88,5
	A	64,2	19,0	38,8	122,0
	B	79,8	18,0	35,5	133,3
kg P/ha	T	3,2	1,7	2,3	7,2
	A	3,1	2,2	4,5	9,8
	B	4,1	2,4	3,8	10,3
kg K/ha	T	11,1	9,5	50,7	71,3
	A	11,3	12,5	66,4	90,2
	B	13,2	13,4	80,2	106,8
<b>1996</b>					
kg N/ha	T	47,3	4,6	9,5	61,4
	A	70,0	5,9	14,1	90,0
	B	126,4	11,9	27,8	166,1
kg P/ha	T	2,7	1,4	2,8	6,9
	A	4,0	1,8	5,3	11,1
	B	6,5	2,8	7,8	17,1
kg K/ha	T	8,9	2,9	25,0	36,8
	A	13,9	4,6	45,8	64,3
	B	22,1	9,2	88,9	120,2

Para soslayar este efecto, la tabla 13 muestra los rendimientos de cada año y cada nutriente en términos relativos. Se puede observar cómo el segundo año no sólo aumenta el índice de cosecha (I.C.) con la dosis de lodos aplicada, sino que este incremento se consigue con un menor aumento del consumo por cada unidad de masa seca producida.

Tabla 13. Rendimientos relativos del cultivo de trigo.

	1995			1996		
	T	A	B	T	A	B
I.C.	0,36	0,30	0,34	0,42	0,43	0,46
kg/N/T masa seca	13,1	16,4	15,8	12,2	12,0	14,9
kg N/T grano	36,8	55,3	47,0	29,3	27,8	32,7
kg P/T masa seca	1,0	1,3	1,2	1,4	1,5	1,5
kg P/T grano	2,9	4,4	3,7	3,3	3,5	3,4
kg K/T masa seca	10,4	12,1	12,6	7,3	8,6	10,8
kg K/T grano	29,4	40,9	37,7	17,6	19,9	23,6

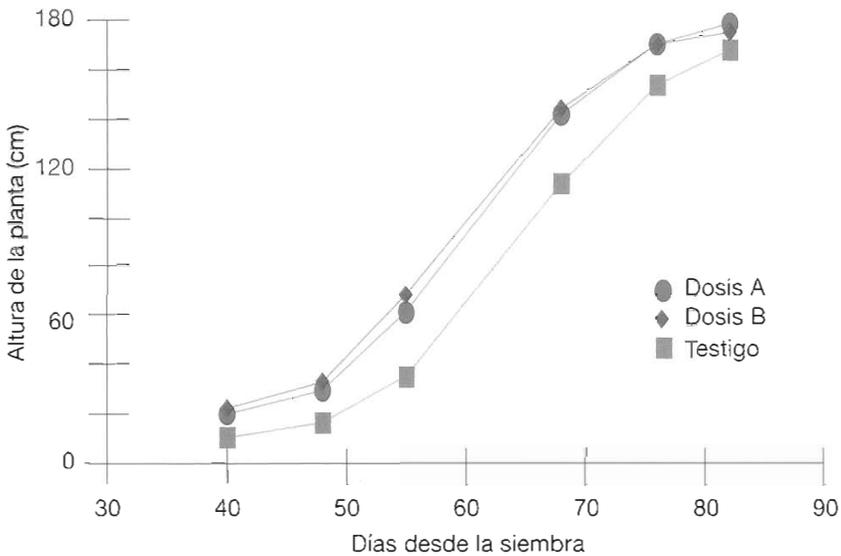
**IV.4. EFECTOS SOBRE LOS CULTIVOS: GIRASOL.** Durante el primer año se apreciaron diferencias en la altura de las plantas, mayor en las parcelas tratadas con lodos, sin que se produjeran desfases en la fecha de nascencia. Asimismo la densidad foliar era mayor a medida que aumentó la dosis de lodos.



▲ Foto 6 - En primer término, parcela de girasol testigo; al fondo, parcela correspondiente a la dosis B.

El segundo año se realizó un control de las curvas de crecimiento para cada dosis (gráfico 12), encontrándose valores similares para las dosis A y B. que superaban los correspondientes al caso testigo.

Gráfico 12. Curvas de crecimiento del cultivo de girasol en 1996.



Asimismo, la apertura de capítulos se produjo antes en las parcelas tratadas con lodos, como se puede observar en las fotografías 7, 8 y 9, que muestran las parcelas correspondientes a cada dosis en una misma fecha.

La cosecha de 1995 fue imposible de evaluar por sufrir algunas parcelas el ataque continuado de pájaros, a pesar del dispositivo de protección utilizado. A esto hay que unir la presencia de numerosas plantas multiflora, lo cual desvirtuó tanto los datos de producción como los referentes al diámetro de los capítulos. Por ello, el siguiente año se utilizó semilla diferente y se encapucharon las plantas, consiguiéndose resultados fiables. Así, se comprobó que los capítulos de las plantas de las parcelas tratadas con lodos presentaban diámetros mayores que los correspondientes a las testigo; en concreto, los valores medios fueron 13.5 cm para T, y 15.6 y 15.4 para A y B, respectivamente, sin que la diferencia entre estos dos últimos fuese significativa ( $p < 0.05$ ).



▲ Foto 7 - Cultivo de girasol en parcela testigo (1996).



▲ Foto 8 - Cultivo de girasol en parcela tratada con la dosis A (1996).



▲ Foto 9 - Cultivo de girasol en parcela tratada con la dosis B (1996).

En cuanto a los nutrientes, las diferencias más destacables se producen en los niveles de nitrógeno, siendo mayores los correspondientes a 1996. En este cultivo no se producen diferencias significativas entre las dosis A y B, como se puede apreciar en los gráficos 13 y 14. El primer año, debido a la continuada sequía, la masa foliar quedó en el suelo mucho antes de la recogida por lo que no aparecen reflejados los datos correspondientes.

Gráfico 13. Niveles de nitrógeno en la cosecha de girasol de 1995.

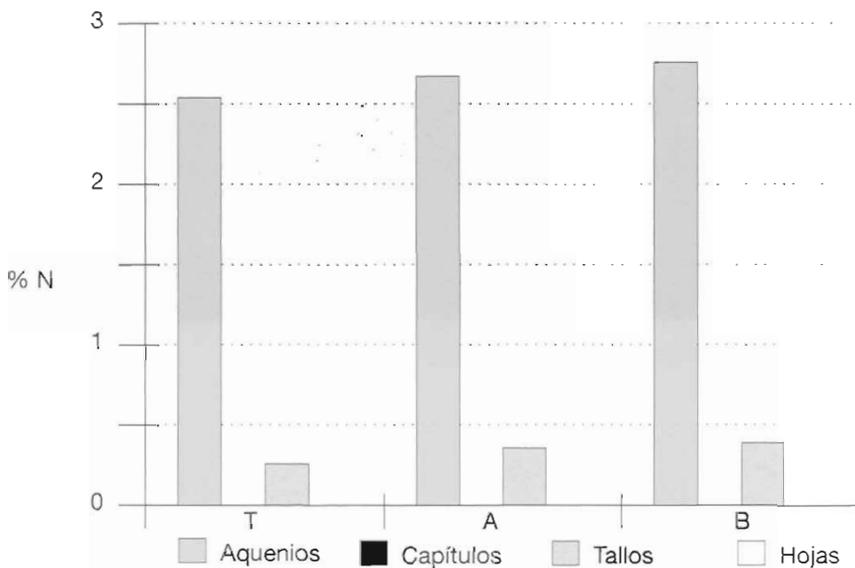
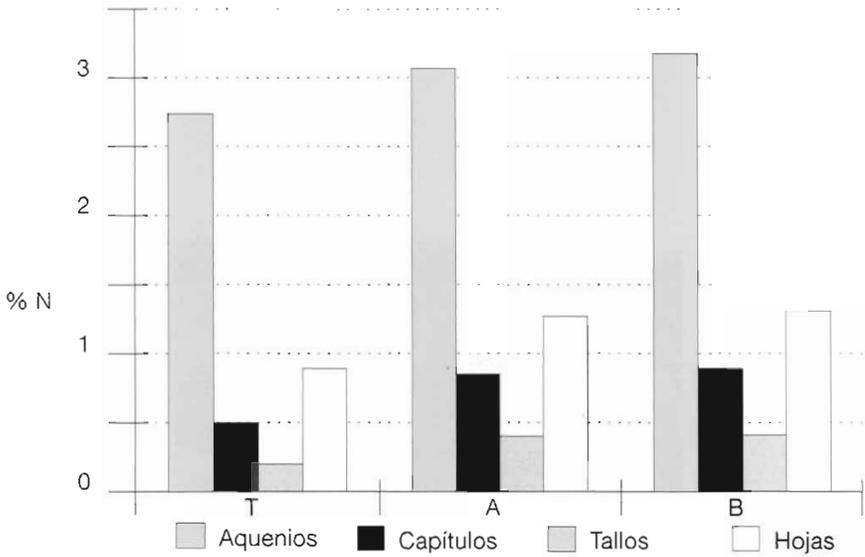


Gráfico 14. Niveles de nitrógeno en la cosecha de girasol de 1996.



Como ya se ha indicado el primer año fue imposible evaluar la producción del cultivo de girasol. No obstante, los datos obtenidos apuntaban hacia un mayor rendimiento en las parcelas tratadas con lodos, siendo los incrementos de la cosecha mayores para la dosis A que para la B. Numerosos trabajos realizados sobre este cultivo han puesto de manifiesto cómo aportes elevados de nitrógeno no redundan en mejoras de la producción obtenida, probablemente debido a un excesivo desarrollo vegetativo que produce un sombreado de la planta y, por ello, una menor superficie activa a la hora de captar la radiación solar. Esto se puede apreciar comparando las fotografías 10 y 11, correspondientes al cultivo de girasol en el caso testigo y para la dosis B, respectivamente.



▲ Foto 10 - Desarrollo foliar del cultivo de girasol en el caso testigo.

En el gráfico 15 aparecen las producciones obtenidas para cada caso en el año 1996. Como se puede comprobar, en efecto la dosis B no consigue incrementar la cosecha correspondiente a la dosis A, siendo incluso los rendimientos algo menores, aunque estas diferencias no son significativas. La tabla 14 recoge las extracciones NPK efectuadas por el cultivo en 1996.

Gráfico 15. Producción del cultivo de girasol en 1996.

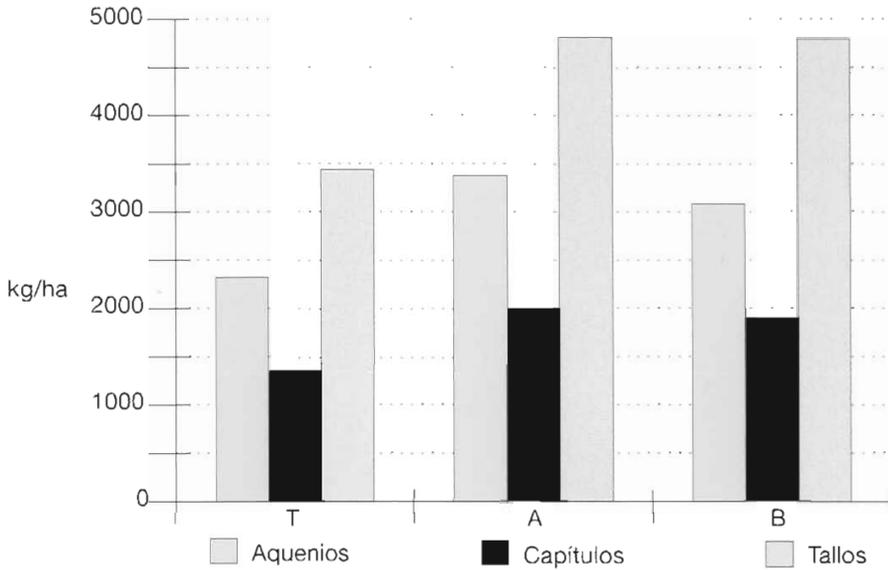


Tabla 14. Extracciones NPK efectuadas por el cultivo de girasol en 1996.

		Tallos	Capítulos	Aqueños	Total
kg N/ha	T	6,9	6,8	63,7	77,4
	A	19,4	17,0	103,4	139,8
	B	19,6	16,9	98,0	134,5
kg P/ha	T	0,6	0,6	7,4	8,6
	A	1,1	1,0	10,8	12,9
	B	1,1	1,0	9,2	11,3
kg K/ha	T	102,6	31,2	17,4	151,2
	A	141,0	49,7	26,6	217,3
	B	138,6	46,8	22,9	208,3



**V.**  
**APORTE DE METALES EFECTUADO**



## V. APORTE DE METALES EFECTUADO.

Las cantidades anuales de cada metal aportadas al horizonte superficial de las parcelas de experimentación aparecen en la tabla 15, así como la fracción que representan sobre el máximo permitido por la legislación española al respecto.

Tabla 15. Aporte anual de metales realizado por los lodos.

Metal	Año	Aporte kg/ha		Fracción sobre máximo %	
		A	B	A	B
Cu	1	5,9	11,9		
	2	4,8	9,5		
	Acum.	10,7	21,4	44,6	89,2
Zn	1	9,3	18,7		
	2	6,9	13,7		
	Acum.	16,2	32,4	27,0	54,0
Ni	1	0,15	0,30		
	2	0,15	0,30		
	Acum.	0,30	0,60	5,0	10,0
Cd	1	0,04	0,08		
	2	0,04	0,08		
	Acum.	0,08	0,16	26,7	53,3
Cr	1	0,31	0,62		
	2	0,24	0,48		
	Acum.	0,55	1,10	9,2	18,3
Pb	1	1,3	2,7		
	2	1,0	2,0		
	Acum.	2,3	4,7	7,7	15,7

A partir de estos valores se puede observar cómo los únicos aportes significativos cuantitativamente corresponden a cobre y zinc. Las cantidades añadidas del resto de metales no conllevan, en principio, incrementos apreciables del contenido de los mismos en el horizonte comprendido entre 0 y 30 centímetros de profundidad. No cabe esperar, por ello, diferencias en las concentraciones de los distintos tejidos vegetales analizados.

Las bajas concentraciones de metales de estos lodos han permitido usar dosis altas de aplicación. No obstante, hay que señalar que para la dosis B la cantidad de cobre añadida al suelo es cercana al 90 % del máximo permitido. A pesar de ello, no se produjo asimilación de estos metales por los cultivos, ni siquiera de cobre que es, además, micronutriente para las plantas. Las únicas diferencias

apreciadas en las concentraciones en los tejidos vegetales corresponden al zinc, el cual es también un micronutriente esencial. La tabla 16 recoge las concentraciones de metales en las distintas fracciones muestreadas de los cultivos de trigo y girasol. Sólo aparecen los valores correspondientes a cobre y zinc, puesto que níquel, cadmio, cromo y plomo no fueron detectados a niveles apreciables en los análisis.

Tabla 16. Concentraciones de metales en los cultivos.

		Trigo				Girasol			
		P	PE	G	H	Ta	C	Aq	
Año		mg/kg							
Cu	1	T	3,0 a	4,1 a	7,4 a		6,6 a		6,6 a
		A	5,0 a	3,7 a	8,0 a		6,9 a		6,9 a
		B	4,5 a	3,7 a	8,3 a		6,5 a		6,5 a
	2	T	2,6 a	4,2 a	7,0 a	8,1 a	2,9 a	8,1 a	14,7 a
		A	3,1 a	4,0 a	8,1 a	8,9 a	3,0 a	8,9 a	14,6 a
		B	3,8 a	4,1 a	7,8 a	8,7 a	3,3 a	8,7 a	15,1 a
Zn	1	T	10,2 a	18,5 a	31,5 a		12,1 a		46,2 a
		A	17,3 a	20,6 a	38,7 b		16,2 b		52,9 b
		B	12,5 a	17,2 a	35,1 ab		17,8 b		52,4 b
	2	T	9,1 a	17,6 a	36,1 a	22,0 a	22,2 a	21,9 a	46,6 a
		A	12,7 ab	22,9 b	35,7 a	18,0 b	16,8 b	17,5 b	47,0 a
		B	15,5 b	25,4 b	37,9 a	19,3 b	15,6 b	16,9 b	46,3 a
Ni	Todas las muestras por debajo de 0,8 mg/kg								
Cd	Todas las muestras por debajo de 0,1 mg/kg								
Cr	Todas las muestras por debajo de 0,5 mg/kg								
Pb	Todas las muestras por debajo de 0,6 mg/kg								

Sólo se producen incrementos significativos en la parte cosechable de la planta en el año 1995, sin alcanzar niveles anormales como elemento micronutriente, desapareciendo en 1996 por las mayores producciones obtenidas. Además, en 1996 aumentan los niveles de zinc en la paja del trigo en las parcelas tratadas, y disminuye en la parte vegetativa del girasol debido a dilución. Como se puede comprobar, pues, la aplicación controlada de estos lodos de depuradora en este suelo no entraña un riesgo de paso de metales a la planta.

