



Utilización de biosólidos en la agricultura(*)

SUMARIO

Se pretende estudiar cómo afecta la aplicación de biosólidos a distintos cultivos de plantas, así como al suelo de dichos cultivos. Para ello se han utilizado lodos de una depuradora de aguas residuales de una industria agroalimentaria y de otra urbana. Las experiencias realizadas fueron aplicación de lodos a parcelas de trigo, cultivo de cereales (trigo y cebada) en macetas y cultivo en macetas de rye-grass y plantas ornamentales (amarantos y violetas). Los resultados obtenidos en estas experiencias resultaron ser en todo momento satisfactorios en cuanto al incremento de la producción y desarrollo de las plantas, no detectándose un mayor nivel de metales pesados en suelos o en distintas partes de las plantas que se analizaron.

Palabras clave: Depuración de aguas residuales, utilización de lodos, gestión de residuos, aprovechamiento agrícola.

M.^a FERNANDA ALLER, MARTA OTERO, ENRIQUE GARZÓN Y ANTONIO MORÁN

*Instituto de Recursos Naturales
(Universidad de León).*

En el presente artículo se trata de conocer las posibles repercusiones sobre el cultivo y a nivel edáfico que presenta la utilización de los lodos (biosólidos) procedentes de una depuradora de aguas residuales urbanas y de una industria agroalimentaria en un intento de acercamiento a la realidad práctica en la utilización agrícola del lodo procedente

(*) Este artículo es el resumen del trabajo presentado a la Fundación MAPFRE como resultado final de la investigación desarrollada durante el año 1998 a raíz de una beca concedida en la convocatoria Fundación MAPFRE-Universidad de León del año 1997-1998.

de una EDAR urbana y de otra agroalimentaria.

Como consecuencia de la depuración de las aguas residuales se produce un subproducto conocido como fangos, lodos de depuradora o biosólidos; éstos serán diferentes, dependiendo de qué parte del tratamiento del agua residual provengan, teniendo así:

– Fangos primarios. Se obtienen en los decantadores primarios tras la separación de las partículas sólidas en suspensión mediante un tamizado previo y una posterior decantación por gravedad. Estos lodos tienen, aproximadamente, un 95 por 100 de agua, y se descomponen con facilidad, produciendo mal olor.

– Fangos secundarios. Se consiguen después de otro proceso de decantación y suelen contener gran cantidad de microorganismos, por lo que parte de ellos son recirculados y el resto se mezcla con los lodos primarios. Tienen entre un 90 y un 98 por 100 de agua y un olor característico no desagradable si la depuración fue correcta.

Los fangos primarios más los secundarios constituyen los fangos mixtos, cuya composición aproximada sería: sustancias minerales, del 30 al 35 por 100 y materias volátiles, del 70 al 75 por 100.

Los lodos necesitan ser tratados; estos tratamientos tienen como objetivo principal mejorar su manejabilidad mediante un aumento de la estabilidad y, por tanto, reducir la producción de olores desagradables, así como disminuir el peso y volumen para facilitar así su transporte a su destino final. Los tratamientos que pueden recibir los lodos son: espesamiento, estabilización, acondicionamiento, deshidratación, etc.

La naturaleza de un lodo viene determinada por una serie de factores que intervienen en su obtención. Entre ellos cabe destacar:

– La naturaleza del efluente u origen de las aguas residuales que llegan a la estación de depuración.

– Los procedimientos utilizados para la depuración de tales aguas.

– Los tratamientos a que son sometidos los lodos modifican considerablemente su naturaleza y propiedades. Esta fase de la obtención es fundamental y ha de llevarse a cabo ineludiblemente, puesto que los fangos, tal y como son separados de las aguas residuales, no pueden ser vertidos directamente sobre el medio natural si tenemos en consideración unos mínimos de protección del medio ambiente y de la salud.

Desde el punto de vista del estudio de los lodos para su utilización agrícola, es fundamental conocer la naturaleza del efluente, puesto que la presencia de contaminantes impedirían esta opción.

Los lodos de depuradora, como residuos que son, deben someterse a un proceso de gestión de los mismos para asegurar unas buenas prácticas en su manejo y/o utilización. En este sentido, la UE ha establecido unos principios generales como marco para que los Estados miembros establezcan su estrategia relativa a los residuos de la manera más sostenible posible (Directiva 442/75/CEE y su enmienda 156/91 CEE), que establece un orden prioritario de gestión.

En el presente artículo se trata de conocer las posibles repercusiones sobre el cultivo y a nivel edáfico que presenta la utilización de los lodos (biosólidos) procedentes de una depuradora de aguas residuales urbanas y de una industria agroalimentaria en un intento de acercamiento a la realidad práctica en la utilización agrícola del lodo procedente de una EDAR urbana y de otra agroalimentaria.

Cabe señalar que los límites para su utilización agrícola derivan de los riesgos del contenido en metales pesados y de los posibles microorganismos patógenos que pudieran contener los lodos. Los microorganismos patógenos son eliminados en la digestión y el control será más exhaustivo sobre los metales pesados.

El destino que actualmente se está dando a los lodos es muy variado, esquemáticamente se podría hablar de varias opciones: vertido controlado, ver-

tido al mar, encapsulación, compostaje, incineración, rehabilitación y recuperación de terrenos, aplicación directa en la agricultura, etc. En este trabajo se ha optado por su aplicación directa en la agricultura.

Se van a utilizar lodos de dos depuradoras, como anteriormente se ha señalado, para aplicarlos a trigo en parcelas, *rye-grass*, cereales de invierno en invernadero y plantas ornamentales.

UTILIZACIÓN AGRÍCOLA DE LOS LODOS DE DEPURACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES

Interés de la aplicación de fangos al suelo

Dada la importancia del uso de los materiales orgánicos en la actividad agrícola, de cara a mantener la capacidad productiva de los suelos y actuar sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas de los mismos, es evidente la necesidad de su constante reposición y mantenimiento del ciclo de la materia orgánica en los agroecosistemas, lo cual ha estado ligado a la agricultura desde sus orígenes.

Frente a las vías tradicionales de técnicas de mantenimiento y aportes de materia orgánica, cuya disponibilidad es a veces limitada, se encuentran otras fuentes derivadas del uso de los lodos de depuración u otros residuos diversos.

Se pretende, pues, abordar la problemática de la reutilización de estas fuentes, en que aparece una «aparente» ventaja múltiple, como es la eliminación de residuos, por una parte, y el beneficio agronómico, por otra, contribuyendo así al logro de una agricultura sostenible.

Normativa sobre el uso de lodos en la agricultura

La legislación vigente que regula la utilización de los lodos de depuración, publicada en el B.O.E. con fecha 1 de noviembre de 1990, destaca la creciente producción de los mismos y los problemas que esto supone.

En el Real Decreto antes citado se da la definición de «lodos de depuración», «lodos tratados», así como las características que han de cumplir los lodos tratados para poder ser reutilizados en la agricultura. Entre las características que deben de cumplir se encuentran los valores límite de concentración de metales pesados en lodos destinados a su utilización agraria (Tabla 1). Por otro lado, se marcan los



Los fangos, lodos o biosólidos son un subproducto de la depuración de las aguas residuales cuya diferencia depende de qué parte del tratamiento del agua provengan.

TABLA 1. Valor límite de concentración de metales pesados en los lodos destinados a su utilización agraria (mg/kg de materia seca).

Parámetros	Suelos con pH menor de 7	Suelos con pH mayor de 7
Cadmio	20	40
Cobre	1.000	1.750
Níquel	300	400
Plomo	750	1.200
Zinc	2.500	4.000
Mercurio	16	25
Cromo	1.000	1.500

valores máximos de metales pesados que han de contener los suelos donde vayan a ser aplicados los lodos y los valores límite para las cantidades anuales de metales pesados que se podrán introducir en los suelos, basándose en un período de diez años.

CARACTERÍSTICAS DE LOS LODOS UTILIZADOS EN LAS DISTINTAS EXPERIENCIAS

Para este trabajo se han utilizado dos tipos de lodo: uno, procedente de una industria agroalimentaria, y otro, procedente de una estación depuradora de aguas residuales de una ciudad de 10.000 habitantes.

Lodos de industria agroalimentaria

Los lodos proceden de una industria de transformación de productos lácteos. Son utilizados tal y como salen del tanque de espesamiento y, por lo tanto, se transportan en estado líquido.

Las características de los lodos se pueden ver en las Tablas 2 y 3. A la vista de estas Tablas podemos apreciar la riqueza que presenta el lodo en elementos esenciales para las plantas, como nitrógeno o fósforo, así como en otros elementos secundarios (Tabla 2). La concentración de metales pesados (Tabla 3) está en niveles bajos, no suponiendo ningún proble-

ma, lo que hace que los lodos sean aptos para la agricultura.

Lodos de una EDAR urbana

Los lodos proceden de una EDAR urbana de La Bañeza (León) son secados en la depuradora en unas eras construidas a tal fin.

TABLA 2. Elementos nutritivos de los lodos procedentes de una industria agroalimentaria (mg/kg de materia seca).

Elementos	Lodo
% C	30
% N	7,2
C/N	4,1
Calcio	11.200
Magnesio	4.100
Sodio	32.600
Potasio	6.000
Fósforo	19.400

TABLA 3. Valor de los metales pesados en los lodos procedentes de la industria agroalimentaria (mg/kg de materia seca).

Parámetros	Metales pesados
Cadmio	0,1
Cobre	33,0
Níquel	9,0
Plomo	12,3
Zinc	139,0
Mercurio	1,2
Cromo	15,0

Las características de los lodos se pueden ver en las Tablas 4 y 5; en ellas se observa que los lodos poseen altos contenidos en elementos fertilizantes esenciales para las plantas y que la concentración de metales pesados en los lodos se encuentra en todo momento por debajo de los límites marcados por la legislación vigente, por lo que no existe ningún factor que limite la aportación de estos biosólidos al suelo.

TABLA 4. Elementos nutritivos de los lodos procedentes de la EDAR urbana (mg/kg de materia seca).

Elementos	Lodo
% N	3,3
Calcio	17.200
Magnesio	2.600
Sodio	486
Potasio	3.800
Fósforo	9.400

TABLA 5. Valor de los metales pesados en los lodos procedentes de la EDAR de La Bañeza (León) (mg/kg de materia seca).

Parámetros	Metales pesados
Cadmio	1,2
Cobre	365
Níquel	35
Plomo	163
Zinc	726
Mercurio	1,6
Cromo	52

EXPERIENCIA 1: APOORTE DE LODOS EN PARCELAS DESTINADAS AL CULTIVO DE TRIGO

Con esta experiencia se intentó ver cómo afectaba la aplicación de lodos al cultivo del trigo. El trigo es un cultivo muy extendido por todo el mundo y, al igual que en España, se suele sembrar en secano; acepta una gran variedad de climas, aunque las heladas influyen negativamente entre la nascencia y cuando tiene su tercera o cuarta hoja; las condiciones óptimas para un buen desarrollo del cultivo del trigo son pH del suelo entre 5,4 y 7,5; acepta una amplia variedad de texturas, siendo los mejores los de textura fina.

Se utilizaron lodos procedentes de la industria agroalimentaria, y las características de estos lodos han sido descritas en el apartado anterior.

Material y método

Las parcelas objeto de estudio se encuentran situadas en el campo de

FIGURA 1. Comparación entre el valor límite de concentración de metales pesados en los lodos destinados a su utilización agraria (mg/kg de materia seca) y los valores de metales de la industria agroalimentaria de la experiencia.

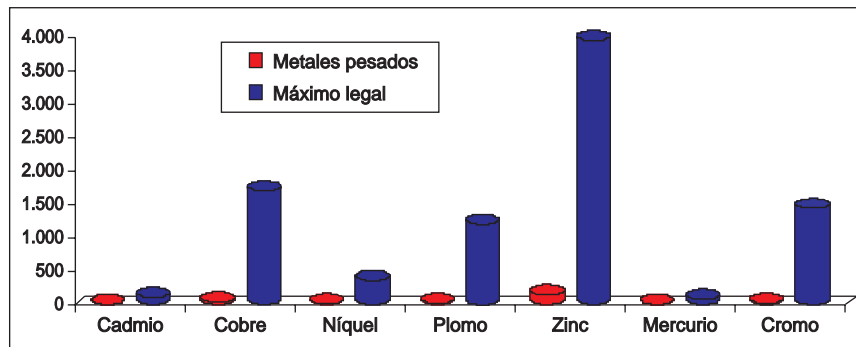
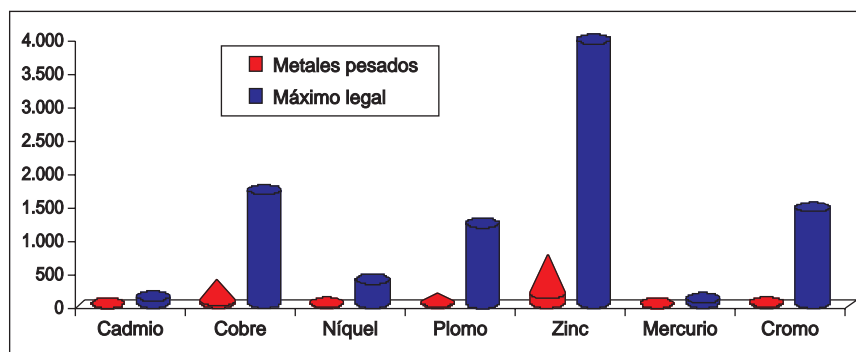


FIGURA 2. Comparación entre el valor límite de concentración de metales pesados en los lodos destinados a su utilización agraria (mg/kg de materia seca) y los valores de metales de la EDAR de La Bañeza (León).



prácticas de la Escuela Superior y Técnica de Ingeniería Agraria de León. Se marcaron tres parcelas:

- «Parcela blanco» (PB), en la que nunca se habían aportado lodos.
- «Parcela lodos» (PL), en la que se aplicaron lodos este año.
- «Parcela lodos 2» (PL2), en la que se han aplicado lodos durante dos años consecutivos.

Antes de aplicar los lodos se realizaron una serie de análisis del suelo, donde se obtuvieron los resultados que se muestran en las Tablas 6 y 7.

Donde:

pH: (1/2,5 suelo/agua).

Ce: Conductividad eléctrica, en μs .

MO: Materia orgánica, en % (Método Walkley-Black).

Ca: Calcio, en meq/100 g (Método del Acetato Amónico).

Mg: Magnesio, en meq/100 g (Método del Acetato Amónico).

K: Potasio, en meq/100 g (Método del Acetato Amónico).

P: Fósforo, en ppm (Método de Olsen).

TABLA 6. Parámetros determinados en el suelo en la «parcela blanco» y «parcela lodos».

Fecha	pH	Ce	MO	Ca	Mg	K	P
Agosto 97	7,38	155	3,72	19,6	2,6	0,18	14

TABLA 7. Parámetros determinados en el suelo en la «parcela lodos 2».

Fecha	pH	Ce	MO	Ca	Mg	K	P
Agosto 97	6,9	260	4,12	19,7	2,7	0,16	17,4

Cabe añadir a estos resultados que las parcelas objeto de estudio poseen una textura franca, según determinación de la USDA, y son de secano.

- pH: Neutro, ambos valores están comprendidos en el intervalo (6,5-7,5).
- Salinidad: Viene determinada por la conductividad eléctrica. El efecto de las sales sobre el cultivo es despreciable.

- Materia orgánica: En ambos casos los valores son superiores a 3,6 por 100, lo que implica que la materia orgánica es elevada en el suelo.

- Fósforo: Para el suelo de estudio, de textura franca y de secano, tenemos unos valores normales, ya que se encuentran comprendidos entre 13-18 ppm.

- Calcio: Los valores del calcio son altos en ambos casos (valores comprendidos entre 14-20 meq/100 g).

- Magnesio: Valores en ambos casos en el rango de normal a alto.

- Potasio: Los valores de potasio para un suelo franco y de secano son muy bajos.

- Relación Ca/Mg: Para la parcela blanco tiene un valor de 7,56, y para la parcela de lodos del año pasado, un valor de 7,29; en ambos casos son valores medios y próximos a uno.

- Relación K/Mg: La parcela blanco tiene un valor de 0,07, y para la parcela de lodos del año pasado, su valor es de 0,06; ambos valores son muy bajos, lo que indica que hay una carencia de potasio en el suelo.

Después de esparcir los lodos se sembró el trigo, marcándose las parcelas; dichas parcelas, además del correspondiente aporte de nitrógeno a partir de los lodos, recibieron a la salida del invierno (mes de marzo) un abonado «extra» de 200 kg/ha de Ca_2NO_3 .

Teniendo en cuenta las extracciones del trigo, así como las aportaciones de elementos fertilizantes realizados, podemos realizar la Tabla 8.

TABLA 8. Elementos fertilizantes aplicados al cultivo del trigo. El signo más que aparece en la tabla significa que el elemento ha sido aplicado en exceso y el signo menos que ha sido aplicado de menos.

Elemento	Necesidad	Aplicación de lodos	Aplicación de abono	Balance
N	33	111,5	54	+129,51
P_2O_5	16,5	68,92	-	+52,42
K_2O	38,5	12,08	-	-26,42

Resultados

La nascencia del cultivo ha sido irregular en todas las parcelas, pero la menor se ha producido en la «parcela lodos 2», es decir en la que recibió lodos por segundo año consecutivo.

El desarrollo del cultivo fue extremadamente lento, especialmente en aquellas parcelas con aporte de lo-

dos. Por otro lado, cabe destacar la cantidad de malas hierbas que nacieron, impidiendo el normal desarrollo del cultivo.

El ahijado del cultivo también fue menor, sobre todo en aquellas parcelas con aporte de lodos.

Se compararon las parcelas con lodos con la parcela testigo, observando que esta última tenía un número mayor de hijos por planta, las plantas de trigo eran de mayor tamaño y había

menor cantidad de malas hierbas que en las parcelas con lodos. Sin embargo, la longitud de la espiga, así como el número de granos por espiga y el tamaño de ésta eran iguales en todas las parcelas.

El cultivo no se vio afectado por ninguna plaga o enfermedad que hiciera necesario su tratamiento.

Se cosechó durante la primera quincena de agosto, obteniéndose unos rendimientos aproximados de 2.000 kg/ha en cada una de las tres parcelas, aunque este rendimiento es bajo y viene condicionado por un mal año para el trigo en esta provincia; si bien se han realizado otras experiencias con cereales, obteniendo rendimientos más altos en parcelas donde se han utilizado lodos.

Se tomaron muestras de tierra y hojas de plantas de trigo de las tres parcelas el 9-VI-1998, y se realizaron análisis de metales pesados, recogiendo los resultados en las tablas siguientes:

Análisis del suelo del cultivo

Se analizaron los metales pesados del suelo para ver si su concentración había sido modificada por la adición de lodos (Tabla 9).

Análisis foliar del trigo

Se comprobó los metales pesados en hojas, y los elementos nutritivos,



El destino que actualmente se está dando a los lodos es muy variado. En este trabajo se ha optado por su aplicación directa en la agricultura.

y a partir de estos datos se obtuvieron las relaciones entre elementos (Tablas 10, 11 y 12).

A la vista de la Tabla 10 observamos que no existen diferencias entre elementos nutritivos entre las parcelas con fangos y la parcela blanco, incluso algunos de estos elementos poseen valores más altos en la parcela blanco que en aquellas donde se han aplicado lodos.

Las relaciones entre elementos no sufren variaciones significativas entre las parcelas con lodos y la parcela blanco, encontrándose todas dentro del mismo rango de valores; son las relaciones K/Mg y K/Ca las que presentan mayores diferencias, y se dan en la parcela de fangos del primer (PL) año más baja, posiblemente por la deficiencia de potasio que presenta el suelo.

En la concentración de metales pesados en hojas podemos observar que las parcelas con lodos no presentan valores mayores que la parcela blanco, encontrándose todas las parcelas dentro del mismo rango de valores.

EXPERIENCIA 2: CEREALES DE INVIERNO EN INVERNADERO

Con esta experiencia se intenta ver cómo afecta la aplicación de lodos al cultivo de trigo y cebada, pero, a diferencia con la experiencia anterior, en ésta se ha intentado controlar todos los parámetros posibles.

Las variedades de cereal utilizadas en esta experiencia son el trigo «Rinconada» y la variedad «Kym» para la cebada. El primero se caracteriza por tener un ciclo corto o precoz, estando indicado para siembras tardías en zonas templadas. La cebada «Kym» es de primavera, con ciclo corto, precoz a semiprecoz. Apta para siembras medias en zonas templadas.

Los lodos que se utilizaron son los procedentes de la EDAR urbana de La Bañeza (León), descritos anteriormente.

Material y método

Las macetas utilizadas tienen las siguientes características:

- Diámetro = 25 cm (0,05 m² de superficie).
- Altura = 20 cm.
- Cuatro orificios interiores.

Se aportaron 234,2 g de lodo por maceta, lo que supone 4.684 g de lodo por m²; los elementos fertilizantes

TABLA 9. Metales pesados en suelo una vez levantado el cultivo de trigo (ppm).

Parcela	Cromo	Zinc	Níquel	Cobre	Plomo	Cadmio	Mercurio
PB	33,3	82,7	26,3	20,4	15,6	0,2	0,09
PL	17,5	59,9	18,7	15,4	15,8	0,2	0,1
PL2	32,8	82,1	25,4	19,7	13,9	0,2	0,02

TABLA 10. Elementos nutritivos en hojas. Los resultados son en % de materia seca para fósforo, calcio, magnesio, potasio, el resto de los elementos van en ppm.

Parcela	Fósforo	Calcio	Magnesio	Potasio	Hierro	Cobre	Zinc	Boro	Sodio
PB	0,21	1,08	0,27	0,82	131,1	7,5	24,0	14,3	823
PL	0,21	1,30	0,36	0,83	131,4	7,7	20,0	13,6	1.388
PL2	0,21	0,97	0,28	0,82	100,0	8,0	21,0	11,5	1.460

TABLA 11. Elementos nutritivos en hojas. Los resultados son en % de materia seca para fósforo, calcio, magnesio y potasio; el resto de los elementos van en ppm.

Relaciones	PB	PL	PL2
K + Ca + Mg	2,17	2,49	2,07
K/Ca	0,76	0,64	0,85
K/(Ca + Mg)	0,61	0,50	0,66
K/Mg	3,04	2,39	2,93

TABLA 12. Metales pesados en hojas de trigo. Los resultados están expresados ppm.

Parcela	Cromo	Níquel	Plomo	Cadmio	Mercurio
PB	2,5	<10	12,6	0,07	0,03
PL	5,1	<10	11,6	0,08	0,06
PL2	<10	<10	11,1	0,07	0,02

TABLA 13. Elementos fertilizantes aportados a las macetas.

Elemento fertilizante	Contenido del lodo en elemento fertilizante (%)	Aporte de elemento por los lodos (g/maceta)
Nitrógeno (N)	3,35	5,27
Fósforo (P ₂ O ₅)	0,95	1,49
Potasio (K ₂ O)	3,85	6,04
Calcio (CaO)	1,72	2,70
Magnesio (MgO)	0,26	0,41

aportados son los que se especifican en la Tabla 13.

El aporte de lodos se realizó de dos formas diferentes:

- Superficial.
- Mezclando los lodos con tierra en los 10-15 cm superiores.

Por cada cereal, dosis y modo de aplicación se prepararon dos macetas:

- TB1 y TB2: Blancos de trigo.
- CB1 y CB2: Blancos de cebada.
- TS1 y TS2: Aplicación de lodos en superficie para el trigo.



La naturaleza de un lodo viene determinada por una serie de factores que intervienen en su obtención, entre los que cabe destacar: el origen de las aguas residuales, los procedimientos utilizados para su depuración y los tratamientos a los que son sometidos.

– CS1 y CS2: Aplicación de lodos en superficie para la cebada.

– TM1 y TM2: Aplicación de lodos mezclándolos con tierra a 10-15 cm para el trigo.

– CM1 y CM2: Aplicación de lodos mezclándolos con tierra a 10-15 cm para la cebada.

La tierra que se utilizó para las macetas se recogió en el campo de prácticas de la Escuela Superior y Técnica de Ingeniería Agraria, dicha tierra se mezcló con una pequeña cantidad de turba y perlita para darle una mayor esponjosidad.

Se colocaron cuatro semillas por maceta que se cubrieron ligeramente con turba.

Resultados

La nascencia del cultivo fue buena, naciendo todas las semillas que se habían sembrado; su desarrollo como cultivo fue normal; se necesitó dar un tratamiento contra el pulgón blanco, quitándose de forma manual todas las malas hierbas que fueron saliendo.

A principios del mes de agosto se recogió el trigo y la cebada de las macetas.

Se comprobó que los cereales a los que se había aportado lodos las plantas tenían:

- Mayor desarrollo radicular.

- Crecimiento y desarrollo más rápidos, tonalidades más intensas en hojas, pero altura final similar.
- Mayor desarrollo, con adelanto en la emergencia de aristas.
- Adelanto de la floración.
- Comienzo prematuro del envejecimiento de la planta.
- Adelanto de la madurez.
- Mismo nivel de metales pesados en granos que en los blancos, tanto para trigo como para cebada (Tablas 14 y 15).

EXPERIENCIA 3: APORTE DE LODOS EN CULTIVO DE RYE-GRASS EN INVERNADERO

En esta experiencia se intentó analizar cómo afecta la aportación de lodos al rye-grass, cultivo que se utiliza en jardines, campos deportivos, etc.

La variedad utilizada fue rye-grass italiano (*Lolium multiflorum*), que posee las características de crecimiento rápido y poco exigente en sus condiciones. Este tipo de cultivo está clasi-

TABLA 14. Metales pesados en los granos de trigo (ppm).

Elemento	Maceta TB1	Maceta TB2	Maceta TS1	Maceta TS2	Maceta TM1	Maceta TM2
Cadmio	45×10^{-3}	59×10^{-3}	24×10^{-3}	$<20 \times 10^{-3}$	$<20 \times 10^{-3}$	58×10^{-3}
Cobre	9	9	9	8	6	8
Níquel	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Plomo	$<200 \times 10^{-3}$	$<200 \times 10^{-3}$	$<200 \times 10^{-3}$	$<200 \times 10^{-3}$	$<200 \times 10^{-3}$	$<200 \times 10^{-3}$
Zinc	63	50	71	64	64	63
Mercurio	$<20 \times 10^{-3}$	$<20 \times 10^{-3}$	$<20 \times 10^{-3}$	$<20 \times 10^{-3}$	$<20 \times 10^{-3}$	$<20 \times 10^{-3}$
Cromo	<10	<10	<10	<10	<10	<10

TABLA 15. Metales pesados en los granos de cebada (ppm).

Elemento	Maceta CB1	Maceta CB2	Maceta CS1	Maceta CS2	Maceta CM1	Maceta CM2
Cadmio	$<20 \times 10^{-3}$	$<20 \times 10^{-3}$	–	$<20 \times 10^{-3}$	$<20 \times 10^{-3}$	34×10^{-3}
Cobre	4	4	–	5	6	6
Níquel	13	<10	–	<10	<10	<10
Plomo	$<200 \times 10^{-3}$	$<200 \times 10^{-3}$	–	$<200 \times 10^{-3}$	$<200 \times 10^{-3}$	$<200 \times 10^{-3}$
Zinc	68	57	–	67	81	74
Mercurio	$<20 \times 10^{-3}$	$<20 \times 10^{-3}$	–	$<20 \times 10^{-3}$	$<20 \times 10^{-3}$	$<20 \times 10^{-3}$
Cromo	<10	<10	<10	<10	<10	<10

• Mayor número de hijuelos por planta y mayor desarrollo, acompañando de una tonalidad verde más acusada.

ficado como sensible en cuanto a su tolerancia a los metales pesados.

Se aplicó lodo procedente de la EDAR urbana de La Bañeza.

Material y método

Las macetas donde se sembró el cultivo eran cuadradas, con una superficie de 1.681 cm² (41 × 41 cm) y una altura útil de 29 cm.

Se pusieron tres macetas: una, con una dosis B, que llevaba 420 g de lodos; otra, con una dosis A, que contenía 280 g de lodo, y una maceta blanco, que carecía de lodos.

La tierra se tomó del campo de prácticas de la Escuela Superior y Técnica de Ingeniería Agraria de León.

Se colocó la tierra en las macetas y se aplicaron los lodos, de forma superficial; posteriormente se añadieron 20 g de *rye-grass* por maceta. Las macetas se mantuvieron en invernadero durante toda la experiencia, pero las condiciones no eran controladas dentro del mismo. Cada dos o tres días se llevaba a cabo un riego.

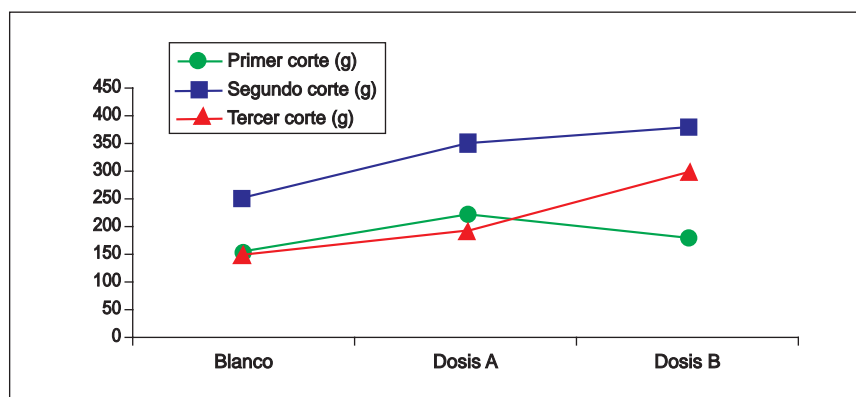
Al *rye-grass* se le dieron tres cortes, separados cada uno un mes.

Resultados

En cada corte se pesó la producción, hallando el peso fresco, peso seco y % de materia seca (Tablas 16 y 17 y Fig. 3), observándose que la maceta con una dosis de lodos mayor es la que muestra un incremento de peso más significativo.

También se analizó para ver la cantidad de metales pesados que contenían las hojas (Tablas 18, 19 y 20), donde se pudo comprobar que éstos no presentan variación de un corte a otro ni de unas macetas a otras, estando cada elemento dentro del mismo rango de valores; destacar que la concentración de zinc aumenta en el tercer corte en las tres macetas de manera signifi-

FIGURA 3. Evolución del peso fresco en los cortes de *rye-grass*.



Cultivo del *rye-grass* en macetas. Se puede observar el mayor desarrollo de las macetas con lodos (dosis 1 y 2) frente a la maceta blanco.

cativa, aumento que no guarda relación con la aplicación de lodos.

En la foto se puede observar el mayor desarrollo de las macetas con lodos (dosis 1 y 2) frente a la maceta blanco.

TABLA 16. Evolución del peso fresco en cada corte.

Maceta	Primer corte (g)	Segundo corte (g)	Tercer corte (g)
Blanco	150,7	250,8	152,4
Dosis A	221,2	348,1	192,1
Dosis B	185,5	381,8	305,5

TABLA 17. Evolución del peso seco en cada corte.

Maceta	Primer corte (g)	Segundo corte (g)	Tercer corte (g)
Blanco	12,8	25,9	19,8
Dosis A	17,2	39,5	22,4
Dosis B	15,6	42,6	38,0

EXPERIENCIA 4: APOORTE DE LODOS EN CULTIVO EN INVERNADERO DE PLANTAS ORNAMENTALES

Se pretende con esta experiencia de aplicación de lodos en plantas ornamentales conocer las posibilidades de su probable utilización en agricultura.

Para esta experiencia se han utilizado violetas y amarantos ornamentales; estas plantas no precisan mucho abono, ya que el exceso de nitrógeno puede quemarlas.

Se emplearon lodos procedentes de la EDAR de La Bañeza (León).

TABLA 18. Evolución de los metales pesados en las hojas de *rye-grass* de la maceta blanco (ppm).

Metales pesados	Primer corte (g)	Segundo corte (g)	Tercer corte (g)
Cromo	8,62	<10	<10
Zinc	54,21	36,11	73,73
Níquel	<10	<10	<10
Cobre	15,28	9,81	11,11
Plomo	0,45	0,15	0,75
Mercurio	0,10	0,09	0,05
Cadmio	0,11	0,13	0,21

TABLA 19. Evolución de los metales pesados en las hojas de *rye-grass* de la maceta dosis A (ppm).

Metales pesados	Primer corte (g)	Segundo corte (g)	Tercer corte (g)
Cromo	<10	<10	<10
Zinc	58,53	46,89	71,46
Níquel	<10	<10	<10
Cobre	18,89	14,02	10,67
Plomo	0,49	0,19	0,38
Mercurio	0,11	0,11	<0,02
Cadmio	0,14	0,15	0,16

TABLA 20. Evolución de los metales pesados en las hojas de *rye-grass* de la maceta dosis B (ppm).

Metales pesados	Primer corte (g)	Segundo corte (g)	Tercer corte (g)
Cromo	<10	<10	<10
Zinc	50,23	44,86	80,61
Níquel	<10	<10	<10
Cobre	15,61	14,26	10,56
Plomo	0,22	0,31	0,31
Mercurio	0,10	0,12	<0,02
Cadmio	0,15	0,10	0,13

Material y método

Las macetas utilizadas para la siembra eran circulares y tenían un diámetro de 20 cm, y las que se utilizaron después del trasplante tenían un diámetro de 36 cm.

Se aplicaron dos dosis distintas: en la siembra de las plantas ornamentales, una dosis A (240 g de lodos por macetas), y una dosis B (120 g de lodo por maceta y maceta blanco, a la que no se le añadió ningún tipo de lodos). En el trasplante se volvieron a

aplicar lodos (244 g/maceta) en la dosis A, y en la dosis B (122 g/maceta); al blanco no se le añadió ninguna cantidad ni de lodo ni de abono.

El sustrato empleado para la siembra fue tierra procedente del campo de prácticas de la Escuela Superior y Técnica de Ingeniería Agraria; para el trasplante se utilizó turba.

Tras el correspondiente aporte y mezcla de lodos con tierra, se esparcieron las semillas en la superficie de las macetas.

Resultados

Las plantas ornamentales que habían recibido lodos germinaron antes que las plantas blanco, siendo más acusado este proceso en las violetas. El crecimiento y desarrollo de las plantas también fue más intenso en las plantas con aporte de lodos, que llegaron a alcanzar un tamaño final mayor. El aporte de lodos supuso una floración más temprana, así como un mayor número de flores por planta y mayor tamaño de éstas. Se pudo observar también que el grosor de los tallos era mayor en las plantas con lodos, diferencia que se podía apreciar mejor en los amarantos.

Los amarantos sufrieron un ataque de mosca blanca, viéndose afectados de forma considerable las plantas blanco y la dosis B; sin embargo, la dosis A (dosis más alta de lodos) no fue atacada en ningún momento.

En los amarantos, la producción de semillas ha sido más grande en las plantas que habían recibido mayor cantidad de lodos; además, cuando las plantas empezaron a producir semillas comenzaron a aparecer carencias de nitrógeno, fósforo y potasio, que se caracterizaba por un color amarillo en las hojas viejas y más bajas; estas carencias aparecían en las plantas blanco y en las plantas con dosis B, mientras que en las plantas con mayor cantidad de lodos (dosis A) no aparecían y permanecieron siempre con un color verde intenso hasta que se levantó el cultivo.

Las plantas con mayor aporte de lodos no presentan ningún incremento en la concentración de metales pesados ni en hojas ni en el suelo donde se aplicaron los lodos.

Se puede apreciar en la foto el mayor desarrollo de los amarantos de la maceta con dosis más alta de lodos (dosis A) frente al blanco, y dosis más baja de lodos (dosis B).

En la foto siguiente se observa que la planta de amaranto más vigorosa, con mayor desarrollo final y con un tamaño mayor de flores, es la que se encuentra en la maceta de dosis A, es decir, la que posee la dosis más alta de lodos. También cabe destacar que esta planta tiene el color más verde, mientras que las plantas de la maceta blanco presentan un color mucho más amarillo, y las plantas de la dosis B, un color verde menos intenso.

El desarrollo, vigor y mayor contenido en flores de la planta de violeta que contenía lodos (izquierda) es mucho mayor que la planta de violeta que carece de lodos (derecha), tal y como se aprecia en la última foto.

CONCLUSIONES SOBRE LA UTILIZACIÓN DE LODOS EN LA AGRICULTURA

A la vista de lo expuesto anteriormente se pueden obtener las siguientes conclusiones:

Experiencia 1: Aporte de lodos en parcelas de cereal

Aunque no se pueden obtener resultados concluyentes sobre la producción debido a que fue un mal año para el trigo y el cultivo no se desarrolló de manera satisfactoria, lo que sí se ha podido comprobar es:

- No ha habido ningún aumento de metales pesados en el suelo después de la aplicación de lodos.

- El pH se mantiene dentro del rango de valores de 6,5-7,5, lo que indica que seguimos dentro de la neutralidad.

- La salinidad ha aumentado de una manera más brusca en la parcela de lodos del año pasado (PL2), mientras que en las parcelas blanco (PL) y en la de lodos (PL) este aumento ha sido menos acusado. Este aumento no supone ningún problema para cultivos sucesivos.



Cultivo en invernadero de plantas ornamentales (amarantos).

- En los análisis realizados a las hojas de trigo podemos comprobar que no hay ningún incremento destacado de metales pesados, permaneciendo todos ellos dentro de la normalidad.

Experiencia 2: Aporte de lodos en cereales de invierno en invernadero

- Tanto en trigo como en cebada no existe diferencia apreciable entre



Cultivo en invernadero de plantas ornamentales (amarantos).



Cultivo en invernadero de plantas ornamentales (violetas).

macetas blanco y las macetas con lodos.

- No existe problema alguno de metales pesados en los granos que provienen de las macetas con lodos, tanto en el trigo como en la cebada.
- Mayor concentración de elementos nutritivos en las macetas con lodos que en las macetas blanco.

Experiencia 3: Aporte de lodos en cultivo de rye-grass en invernadero

- Producción mayor de materia fresca en las macetas con lodos.
- Las plantas no presentan ningún incremento de metales pesados.
- Mayor crecimiento y mejor color de las plantas con lodos frente al blanco.

Experiencia 4: Aporte de lodos en cultivo de plantas ornamentales en invernadero

- Mejor color y mayor desarrollo de las plantas con lodos frente al blanco.
- Las plantas con lodos presentan mayor desarrollo y producción de semillas.
- Los amarantos con dosis más altas de lodos presentaron resistencia a la plaga de mosca blanca.
- No hubo ningún aumento en las plantas con lodos de concentraciones de metales pesados en hojas o en el suelo.

Conclusión final

La aplicación racional de lodos en la agricultura, siempre que éstos no presenten ningún problema debido a una alta concentración de metales pesados, supone para muchos cultivos un aumento de la producción y/o vigor, sin que esto lleve consigo un aumento de metales pesados en las plantas o en el suelo. Utilizar los biosólidos puede ayudar a realizar una agricultura más ecológica y sostenible, a la vez

Las plantas ornamentales que habían recibido lodos germinaron antes que las plantas blanco, siendo más acusado este proceso en las violetas. El crecimiento y desarrollo de las plantas también fue más intenso en las plantas con aporte de lodos, que llegaron a alcanzar un tamaño final mayor. El aporte de lodos supuso una floración más temprana, así como un mayor número de flores por planta y mayor tamaño de éstas. Se pudo observar también que el grosos de los tallos era mayor en las plantas con lodos, diferencia que se podía apreciar mejor en los amarantos.

Frente a las vías tradicionales de técnicas de mantenimiento y aportes de materia orgánica, cuya disponibilidad es a veces limitada, se encuentran otras fuentes derivadas del uso de los lodos de depuración u otros residuos diversos.

que se contribuye a eliminar un residuo que supone, y supondrá, un problema para Ayuntamientos e industrias que necesiten depurar sus aguas residuales.

BIBLIOGRAFÍA

- CECIL, L., et al. (1996): «Sludge management in highly urbanized areas», *Water Science and Technology*, 35, pp. 517-524.
- Land application of biosolids. Process design Manual U.S. Environmental Protection Agency. Center for Environmental Reserch Information. Cincinnati, Ohio. TECHNOMIC Publishing Company, Inc.*
- ISAAC, R. A. (1996): «Beneficial use of biosolids: progress in controlling metals», *Water Science & Technology*, Vol. 34, n.º 3-4, pp. 493-498.
- MARTÍNEZ, G.; ESCAMILLA, E., y PÉREZ, R. (1994): «Perspectivas para el aprovechamiento de lodo industrial», *Ingeniería Química*, 298, pp. 137-140.
- MORÁN, A.; GARZÓN, E.; CASTAÑO, J., y VILLARIAS, J. (1997): «Aplicación de lodos de industria agroalimentaria», *RETEMA*, Sep., pp. 25-30.
- MUJERIEGO, R., et al. (1994): *Reutilizació dels fangs en l'agricultura*. UPC. Consorci de la Costa Brava.
- MATTHEWS, P., y WATER, A. (1994): «Uso de los lodos en agricultura en Gran Bretaña», *Residuos*, 28, pp. 52-59.