

## Capacidad de aportación de macronutrientes de un lodo de depuradora a un cultivo de ray-grass y calidad de los lixiviados

M. A. Aguilar<sup>1</sup>, R. Ordoñez<sup>2</sup> y P. González<sup>2</sup>.

1. Dpto. de Agronomía, E.T.S.I.A.M., Universidad de Córdoba (España).
2. Dpto. Suelos y Riegos, D.G.I.E.A. Junta de Andalucía (España).

**RESUMEN.** Se ha realizado un ensayo de fertilización para conocer la capacidad del lodo de depuradora para aportar macronutrientes (N, P, K, Ca y Mg) a las plantas. El ray-grass cultivado en columnas de suelo de un metro de longitud, rellenas de un suelo franco arenoso de la vega del Guadalquivir, fue enmendado con tres dosis de lodo: 0,40 y 80 Tm/Ha. Los resultados de cosecha fueron favorables a los dos tratamientos con lodo. Para determinar si es posible el uso de residuos en agricultura, se recogieron los lixiviados producidos durante los cinco meses de cultivo y se determinaron los niveles de macronutrientes en los mismos. Los tratamientos con lodos no mostraron riesgos de contaminación de zonas profundas del suelo.

**ABSTRACT.** We have tested the ability of sewage sludge to supply plants with macronutrients (N, P, K, Ca and Mg). Ray-grass was grown in soil columns, length 1 m, filled with a local sandy loam soil amended with three rates of sludge: 0, 40 and 80 Tm/Ha. The yield showed a significant positive effect over the control in the two sludge application rates used. In order to determine whether agricultural land can be used simultaneously for crop production and waste disposal, we collected macronutrient leaching losses during the five months of crop growth. The results showed no solute concentration risk for sludge treatments.

### 1.- Introducción.

Una de las líneas prioritarias de la Unión Europea relativa a la protección del medio y, en particular, de las aguas concierne tanto a la depuración de aguas residuales como a la reutilización de las mismas una vez depuradas (Directiva 91/271/CEE, D.O.C.E. de 30 de Mayo de 1991) y al control de la aplicación en suelos de los lodos así generados (Directiva 86/278/CEE, D.O.C.E. de 4 de Julio de 1986). Una mala gestión de estos lodos podría ser más impactante sobre el medio ambiente que la situación original del agua sin tratar, ya que el proceso de depuración implica una concentración de las sustancias contaminantes pasando estas del efluente al fango.

---

Correspondencia a: Manuel Angel Aguilar Torres. Dpto. de Suelos y Riegos D.G.I.E.A, C.I.F.A "Alameda del Obispo". Avda. Menéndez Pidal, s/n. 14004 Córdoba. E-mail: rfernandez@CIFA.ORG

Una de las alternativas adoptadas en diversos países es la aplicación de estos lodos de depuradora a suelos agrícolas, aprovechando la función de filtro natural del propio suelo. Este destino, adecuadamente diseñado, no sólo permite eliminar un residuo sin contaminar el medio receptor, sino que aprovecha aquellos elementos beneficiosos desde el punto de vista agronómico, como son el alto porcentaje de materia orgánica y el contenido en diversos nutrientes (Loehr et al., 1979).

Para asegurar un uso correcto de esta aplicación de residuos a suelos agrícolas es preciso conocer la respuesta del cultivo en cuanto a producción, germinación, toxicidad así como el posible movimiento de solutos hacia horizontes más profundos del suelo. La naturaleza fundamentalmente orgánica de los nutrientes contenidos en los lodos hace que los aportes efectivos de estos dependan de la mineralización de estos en el suelo (Torrey, 1979), y la fracción lixiviada del mismo estará sujeta a la naturaleza del suelo receptor, a la distribución y volumen de las precipitaciones en la zona y a las extracciones realizadas por las plantas.

El presente trabajo tiene un doble objetivo: por una parte, estudiar la capacidad de cesión de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg) de un lodo de depuradora deshidratado sobre un cultivo de ray-grass a lo largo del tiempo, aprovechando la facilidad de esta especie vegetal para brotar después de cortes sucesivos; y, por otra, estudiar las cantidades de estos nutrientes que abandonan el sistema en los lixiviados con el riesgo de contaminación de acuíferos que ello conlleva.

### 2.- Materiales y métodos.

Se dispusieron 9 tubos de PVC de 160 mm de diámetro y de un metro de longitud fijados a una estructura metálica. Los tubos se llenaron de suelo de textura franca procedente de la finca Alameda del Obispo del Centro de Investigación y Formación Agraria de Córdoba y cuyas características principales se presentan en la Tabla 1. El suelo, con una humedad gravimétrica inicial de 4.3 g/100 g, se compactó en el interior de los tubos con una varilla metálica hasta alcanzar una densidad aparente de 1.1 gr/cm<sup>3</sup>, similar a la del terreno inalterado.

Las columnas se colocaron el 20 de Noviembre de 1998 a la interperie, para que estuvieran expuestas a las condiciones climáticas propias de la zona. El diseño experimental contaba con tres tratamientos y tres

repeticiones, enmendándose los primeros 5 cm de suelo con dosis de 0, 40 y 80 T/Ha de lodo fresco de la depuradora de aguas residuales de Córdoba (La Golondrina), que contenía un 70% de humedad. Diez días más tarde se realizó la siembra de ray-grass (*Lolium perenne*, L. cv. *Trinova*) a razón de 1000 semillas por columna. Previamente a la siembra se realizó un ensayo de germinación en agua que arrojó un 90% de semillas viables.

**Tabla 1.** Características del suelo usado en el ensayo.

pH en agua:	7.8	Arcilla:	15%
Carbonatos:	20%	Limo:	44%
M.O.:	1.20%	Arena:	41%
C.I.C.:	9.33 meq/100g	Textura:	franca

Los riegos se efectuaron en superficie dependiendo de las necesidades del cultivo y de la ocurrencia de lluvia. En algunas épocas se regó por exceso con el objeto de provocar lixiviados. Las características del agua de riego empleada y del lodo de depuradora utilizado se presentan en la Tabla 2.

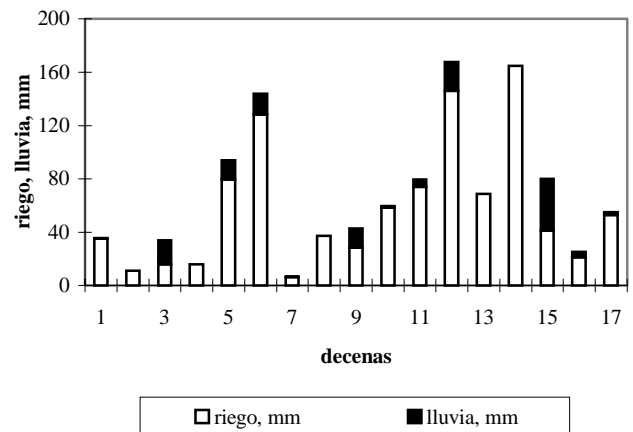
**Tabla 2.** Características del agua de riego y lodos de depuradora .

Agua de riego		Lodos de depuradora	
E.C. (dS/m)	0.22	pH en agua	6.7
Nitratos (ppm)	1.87	N (%)	3
P (ppm)	0.03	P (%)	1.3
Ca (mg/l)	29.96	Ca (%)	4
Mg (mg/l)	10.08	Mg (%)	0.35
Na (mg/l)	10.92	Na /%	0.07
K (mg/l)	3.91	K (%)	0.15

Las precipitaciones y los riegos durante la duración del ensayo se representan en la Fig. 1, sumando un total de 1123 mm, cantidad muy superior a las precipitaciones medias en la zona.

Durante los cinco meses y medio del ensayo se realizaron 5 cortes del ray-grass y en cada uno de ellos se controló el peso seco del vegetal producido en cada tratamiento, así como su contenido en macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg). El porcentaje de N en hoja se realizó por el método Kjeldhal, el P se determinó por la formación de un complejo coloreado y posterior medida de su intensidad en un espectrofotómetro de Uv-visible. La medida de macronutrientes se efectuó en un espectrofotómetro de adsorción y emisión atómica previa mineralización de la muestra por vía húmeda.

Se recogieron y analizaron los lixiviados de cada columna de suelo a medida que estos se generaban. Al final de la experiencia se recogieron muestras a 5 profundidades de cada una de las columnas de suelo midiendo la humedad gravimétrica en el perfil con el objeto de realizar el balance de agua del sistema.



**Fig. 1.** Precipitaciones y riegos durante las 17 decenas del ensayo.

Para el análisis estadístico se empleó el análisis general de la varianza (prueba F). La diferencia de medias se realizó con la prueba de Duncan.

### 3.- Resultados y discusión.

En la Tabla 3 se muestran los resultados de cosecha seca de ray-grass obtenidas en los distintos tratamientos y durante los sucesivos cortes. Podemos observar como hasta el tercer corte, la producción en gramos de materia seca de todos los tratamientos fue en aumento no obteniéndose diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) hasta el segundo corte. Esta tendencia de la producción con un máximo en el tercer corte no se asemeja a la encontrada por Gallardo-Lara et al. (1979) en un suelo tratado con residuos sólidos urbanos, cuyas producciones de ray-grass en invernadero a lo largo de 7 cosechas presentaron una clara tendencia a la baja ya desde el primer corte. Las escasas producciones obtenidas en el primer y segundo corte se podrían atribuir a las bajas temperaturas registradas durante el invierno.

Durante el cuarto y quinto corte las diferencias entre el testigo y los dos tratamientos con enmiendas de lodo fueron acortándose. Esta disminución, debida probablemente a la sucesiva desaceleración del proceso de mineralización del lodo y al agotamiento del mismo, también se puede observar en varios trabajos con ray-grass (García et al., 1994; Nogales et al., 1984).

Es interesante resaltar que no hubo señales de inhibición o retraso de la germinación de las semillas de ray-grass.

Las diferencias globales de producción fueron favorables al tratamiento de 80 T/Ha de lodo de depuradora seguido de la dosis de 40 T/Ha. Ambos tratamientos se mostraron muy superiores al que actuó como control.

En las Fig. 2 y 3 podemos observar las concentraciones de N, P, K, Ca y Mg en los distintos cortes de ray-grass, así como las extracciones totales de estos elementos en cada cosecha.

**Tabla 3.** Producción en gramos de materia seca de los sucesivos cortes de ray-grass. Letras diferentes indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ ).

	Testigo	40 T/Ha	80 T/Ha
1º corte	1.12	1.15	1.34
2º corte	1.65 a	2.28 b	4.92 c
3º corte	4.83 a	11.30 b	13.27 b
4ª corte	4.57 a	9.75 b	11.30 b
5º corte	3.595 a	5.83 b	6.71 c
Suma	15.77 a	30.31 b	37.55 c

La concentración de nitrógeno en planta presenta una clara tendencia descendente a lo largo del tiempo y una gran homogeneidad en cuanto a los tratamientos, lo que da idea de la existencia de una parte del nitrógeno en los lodos fácilmente disponible para la planta. La no existencia de diferencias en la concentración de nitrógeno en el vegetal podría deberse a un efecto de dilución de este nutriente debido a las enormes variaciones de producción de los distintos tratamientos. Es curioso observar como en el primer corte, donde se obtuvieron cosechas muy parecidas, se aprecian diferencias significativas en la concentración de nitrógeno a favor de las columnas enmendadas con lodo.

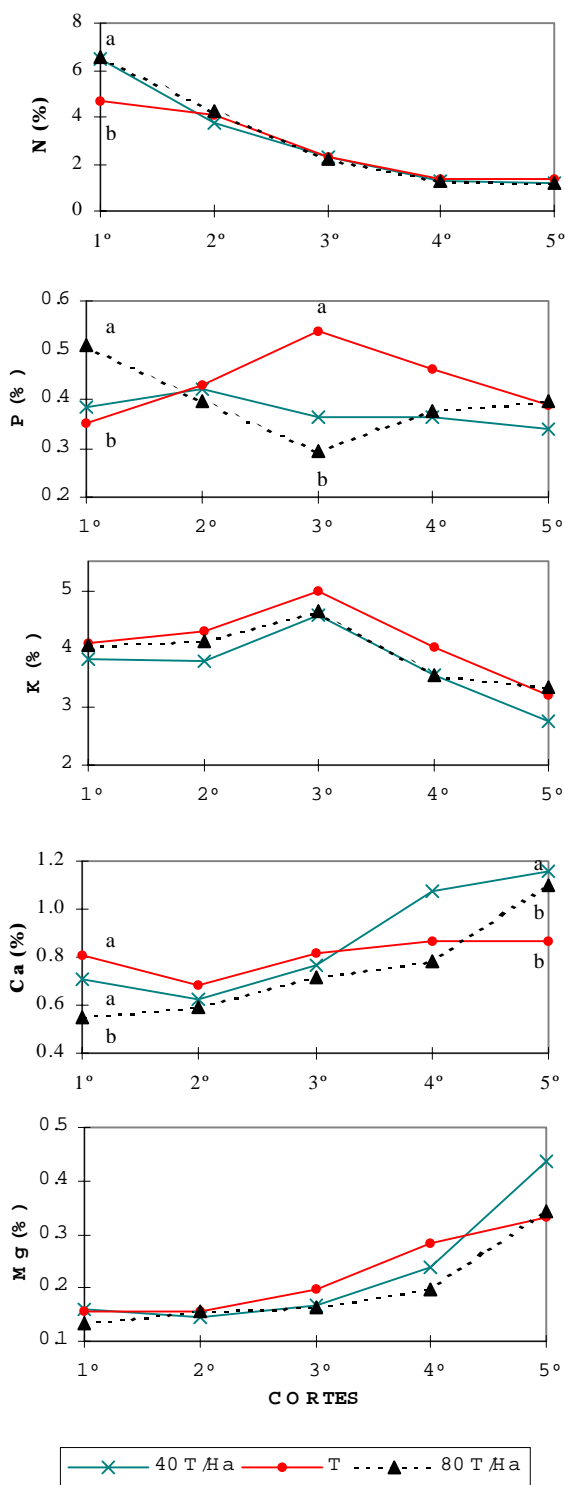
El efecto de dilución de los nutrientes en el vegetal debido a las variaciones de producción queda patente en el caso de la concentración del fósforo donde el tratamiento con 80 T/Ha presentó las concentraciones más altas en el primer corte y las más bajas en el tercero, coincidiendo con los mayores incrementos de producción de materia seca de los tratamientos con lodo respecto al testigo.

Las concentraciones de potasio en ray-grass aumentan hasta el tercer corte y a partir de aquí desciende bruscamente. La presencia de un máximo de concentración en el segundo o tercer mes fue observada por García *et al.* (1994).

Podemos ver como tanto el calcio como el magnesio presentan concentraciones que van aumentando con los sucesivos cortes.

En la gráfica correspondiente a las extracciones totales de macronutrientes en cada corte (Fig. 3) se observan claras diferencias favorables siempre a los tratamientos con lodos de depuradora. Estas extracciones evolucionando de manera muy parecida a la producción de materia seca. Los elementos extraídos en mayor cantidad fueron el potasio seguido del nitrógeno, calcio, fósforo y magnesio.

Los elementos limitantes en nuestro ensayo parecen ser el nitrógeno y el potasio, el primero por la extraordinaria respuesta del ray-grass a la disponibilidad de este elemento (Ayuso *et al.*, 1992) y el segundo por las grandes cantidades necesarias para la planta. Curiosamente son los únicos elementos que presentan una disminución en los últimos dos cortes coincidiendo con una disminución en la producción.

**Fig. 2.** Concentraciones en % de N, P, K, Ca y Mg en hojas de ray-grass. Letras diferentes indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ ).

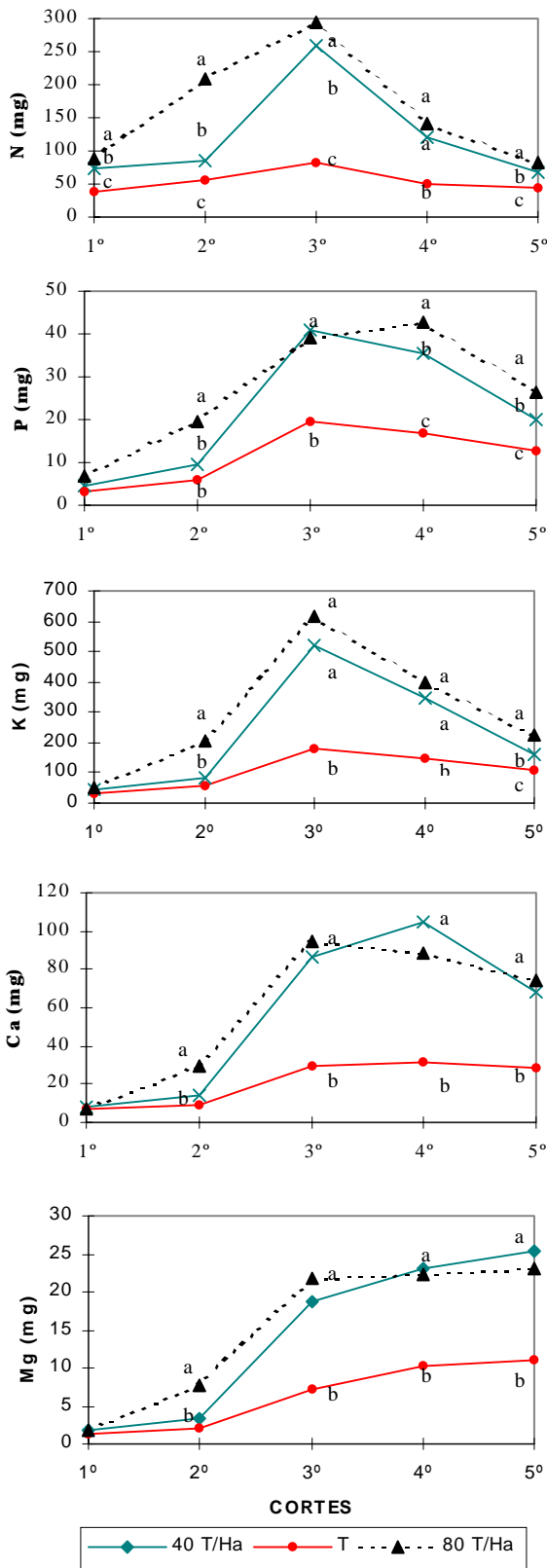


Fig. 3. Extracciones totales por corte en mg deN, P, K, Ca y Mg en el ray-grass. Letras diferentes indican diferencias significativas (p<0.05)

El balance de humedad (Tabla 4) nos permitió conocer la cantidad de agua evapotranspirada por la planta en los

distintos tratamientos según la ecuación:

$$ET = \text{Riego} + \text{Lluvia} - \text{Lixiviados} - (\text{Humedad final del suelo} - \text{Humedad inicial})$$

Tabla 4. Balance de agua en las columnas de suelo al finalizar el ensayo.

	riego, mm	lluvia, mm	Lixiv., mm	$\theta_{\text{suelo}}$ , mm	ET, mm
40 T/Ha	1078.19	137.60	52.29	7.28	1156.22
Testigo	876.79	137.60	101.85	54.29	858.25
80 T/Ha	1002.23	137.60	86.04	6.13	1047.66

La menor ET del tratamiento enmendado con 80 T/Ha con respecto a la dosis de 40 T/Ha no se corresponde con la menor producción de este último. Este hecho puede deberse a la existencia de un estrés hídrico más acusado en las plantas abonadas con 80 T/Ha de lodos por su mayor producción y por tanto mayor demanda de agua. El mayor volumen de lixiviados recogidos en el tratamiento de 80 T/Ha respecto al de 40 T/Ha podría tener su explicación en la formación de caminos preferenciales para la infiltración de agua en las columnas de suelo.

La variabilidad en la generación de lixiviados entre los distintos tratamientos hizo que la cantidad de agua de riego aportada resultase ligeramente diferente. La menor extracción radicular de agua en el tratamiento testigo provoca que en este tratamiento se genere un volumen mayor de lixiviados. En la Fig. 4 podemos ver la distribución temporal y volumen de los lixiviados producidos.

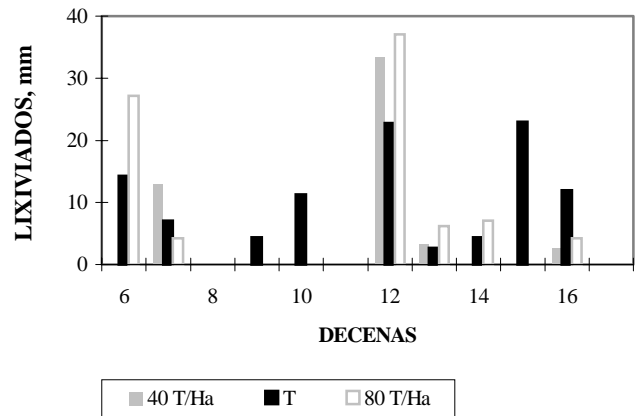


Fig. 4. Volumen de lixiviados generados.

En la Fig. 5 se puede apreciar las cantidades de los distintos macronutrientes en los lixiviados producidos en los diferentes tratamientos. Podemos comprobar como en las columnas testigo se han perdido por percolación mayor cantidad de nutrientes (excepto de sodio) que en los tratamientos con lodos. Esto puede ser debido a que la mayor cantidad de lixiviados generados en el tratamiento control ha lavado nutrientes.

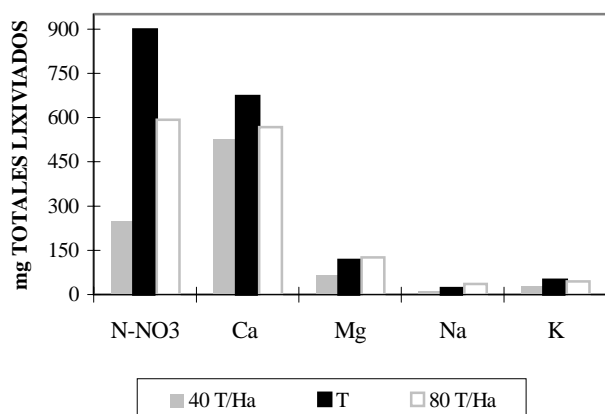


Fig. 5. Macronutrientes presentes en lixiviados.

La escasa movilidad de los iones fosfato en el suelo ya comprobada por nuestro equipo para residuos de naturaleza orgánica (Ordóñez *et al.*, 1996) podría ser la causa de la ausencia de fósforo en los lixiviados, por lo que este elemento no aparece en la Fig. 6.

El hecho de que los lodos de depuradora puedan considerarse como un fertilizante de liberación lenta (Bigeriego, 1996) demuestra tener ventajas en cuanto a una menor lixiviación de nutrientes, ya que los elementos nutritivos contenidos en el lodo en formas orgánicas principalmente se van mineralizando lentamente siendo en su mayor parte aprovechados por el cultivo.

#### 4.- Conclusiones.

- Las producciones de ray-grass obtenidas en las columnas abonadas con lodos de depuradora fueron muy superiores a las testigo no presentando problemas de fitotoxicidad.

- Las concentraciones de los distintos macronutrientes en el vegetal presentaron un efecto de dilución por la gran diferencia de producción entre tratamientos por lo que en general no hubo cambios importantes. Estas diferencias si se encontraron en las cantidades de estos elementos extraídas por la planta siendo mayores en las columnas enmendadas con lodos.

- Los lodos de depuradora no parecen presentar problemas

de contaminación de aguas profundas por lixiviación a corto plazo en suelos con cubiertas vegetales exigentes en nutrientes y capaces de explorar con su sistema radicular un importante volumen de suelo, aun cuando el agua aportada al suelo sobrepase ampliamente las precipitaciones medias en la zona. El lavado de nutrientes fue mucho más intenso en el tratamiento testigo, donde también se generó un mayor volumen de lixiviados debido al menor consumo del ray-grass.

*Agradecimientos.* A Isabel Ordóñez, Carmen del Moral, Catalina Lara, Araceli García y Manolo Armenteros, por su inestimable colaboración tanto en la recogida de muestras como en el análisis de los mismos.

Este trabajo se engloba dentro del proyecto de utilización de lodos de depuradoras en la conservación del suelo de olivar y como enmienda orgánica (CA 097-017-C5).

#### Referencias.

- Ayuso, M., Hernández, T., Costa, F., García, C., Pascual, J.A., 1992. Influencia del grado de madurez de un residuo urbano sobre la germinación y disponibilidad de nitrógeno. *Suelo y Planta* 2: 517-527.
- Bigeriego, M. 1996. Disposición final de fangos II. Aplicación en agricultura y sistemas de compostaje. *XIV Curso sobre tratamiento de aguas residuales y explotación de estaciones depuradoras*. Ministerio de Fomento (CEDEX) y Ministerio de Medio Ambiente, Madrid.
- Consejo de las Comunidades Europeas. 1986. Directiva del Consejo 86/278/CEE de 12 de Junio de 1986, relativa a la protección del medio ambiente y, en particular, de los suelos, en la utilización de los lodos de depuradora en agricultura. *Diario Oficial de las Comunidades Europeas* de 4 de Julio de 1986.
- Consejo de las Comunidades Europeas. 1991. Directiva del Consejo 91/271/CEE de 21 de Mayo de 1991, sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas. *Diario Oficial de las Comunidades Europeas* de 30 de Mayo de 1986.
- García, D., Bernal, M.P., Moreno, J.F., Roig, A., Cegarra, J., 1994. Utilización de compost y ácidos húmicos en el cultivo de ray-grass. *Actas del III Congreso Internacional de la ANQUE*. Volumen I, pp. 409-418. Puerto de la Cruz, Tenerife.
- Gallardo-Lara, F., Azcón, M., Gómez, M., Esteban, E., 1979. Poder fertilizante de un compost de basura urbana. I. Capacidad de suministro de macronutrientes. *Anales de Edafología y Agrobiología* 38:1747-1764.
- Loehr, R.C., Jewell, W.J., Novak, J.D., Clarkson, W.W., Friedman, G.S., 1979. *Land application of wastes*. Van Nostrand Reinhold, New York.
- Nogales, R., Zamora, M.A., Gómez, M., Gallardo-Lara, 1984. Evaluación del potencial fertilizante de un compost de basura urbana. Efecto sobre germinación y rendimientos secuenciales en cosecha. *Anales de Edafología y Agrobiología* XLIII (1-2): 183-194.
- Ordóñez, R., González, P., Giráldez, J.V. y Beltrán, G., 1996. Evolución temporal de determinados parámetros químicos en un suelo cultivado regado con alpechín. *Ingeniería del Agua*. Vol. 3, 1, 53-58.
- Torrey, S., 1979. *Sludge disposal by landspreading techniques*. Noyes Data Co. New Jersey.