

UTILIZACION DE UN LODO AEROBIO COMO SUSTITUTIVO DE FERTILIZANTES FOSFORADOS INORGANICOS

M. Ayuso, T. Hernández, C. García y F. Costa

*Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura (C.S.I.C.).
Apartado 4195. 30080 Murcia. España.*

RESUMEN

Se ha realizado una experiencia de invernadero con el fin de determinar el valor del lodo de depuradora como fertilizante fosforado. En dos suelos de diferente textura y contenido en carbonato cálcico, se cultivó *Capsicum annum* L. variedad negral. Los suelos se fertilizaron con superfosfato (18% P_2O_5), $(NH_4)_2SO_4$ y K_2SO_4 (tratamiento T_1), y con un lodo aerobio (en cantidad adecuada para suministrar la misma cantidad de P total que el fertilizante inorgánico), $(NH_4)_2SO_4$ y K_2SO_4 (tratamiento T_2). Durante el cultivo se añadió quincenalmente 0.3 g de NH_4NO_3 a las macetas del tratamiento T_1 .

En ambos suelos, la adición de lodo producía rendimientos superiores a los del control, e iguales e incluso superiores a los obtenidos con la fertilización inorgánica. El efecto positivo de la adición de lodo era más acusado en el suelo más calizo que, por sus características, era menos adecuado para el cultivo. Asimismo, el lodo favorecía la absorción de P por la planta, observándose mayor concentración de P en fruto para este tratamiento. Después de la cosecha, la cantidad de P utilizable existente en el suelo tratado con lodo, era significativamente superior a la del tratamiento T_1 y a la de los suelos control.

Los resultados mostraron que el lodo puede ser considerado como un buen fertilizante de fósforo, de acción gradual y con efecto residual.

Palabras clave: Lodo de depuradora. Pimiento. P total. P asimilable. Rendimiento.

SUMMARY

USE OF AN AEROBIC SEWAGE SLUDGE AS SUBSTITUTIVE OF INORGANIC - PHOSPHORUS FERTILIZERS

A greenhouse experiment has been carried out to estimate the value of sewage sludges as a phosphorous fertilizer. Plants of *Capsicum annum* L. var. negral were grown in pots in two soils of different texture and total $CaCO_3$ content, fertilized with phosphate (18% P_2O_5), $(NH_4)_2SO_4$ and K_2SO_4 (treatment T_1), and with aerobic sewage sludge (providing the same quantity of total P as the inorganic fertilizer), $(NH_4)_2SO_4$ and K_2SO_4 (treatment T_2). During cropping, 0.3 g of NH_4NO_3 was added every fifteen days to pots of treatment T_1 .

In both soils, sewage sludge produced a similar or even higher yield than the inorganic fertilizer, and higher than controls. The positive effect of sewage sludge on yield was more pronounced in the more calcareous soil which was the least fertile. Sewage sludge

also increased P absorption by plants giving rise to the highest contents of P in fruit. After harvest, the quantity of available P in the soils treated with sewage sludge was significantly higher than that of treatment T₁ and controls.

Results showed sewage sludge to be an efficient P fertilizer of gradual action with residual effect in soil.

Key words: Available P. Pepper. Sewage sludge. Total P. Yield.

INTRODUCCION

En la agricultura actual debido a la escasez de los abonos orgánicos tradicionalmente utilizados (estiércoles, turbas, etc.), se han buscado nuevas fuentes de materia orgánica; entre éstas podemos destacar a los residuos urbanos, y en particular, a los lodos de depuradora, puesto que éstos contienen de 50-80 % de materia orgánica y cantidades nada despreciables de nutrientes inorgánicos, principalmente nitrógeno y fósforo.

Los lodos constituyen una buena fuente de fósforo, proveniente en gran parte de detergentes (polifosfatos); presentan unos contenidos que oscilan entre 0.1 y 14.3 % (expresado en P), siendo el valor medio de 2.5 % (Pera *et al.*, 1981; Cabre *et al.*, 1990), y es de preveer que este contenido aumente en los próximos años por la necesidad de disminuir la cantidad de fósforo en las aguas depuradas, causa principal de los fenómenos de eutrofización que éstas sufren.

Aunque los lodos se consideran residuos orgánicos, el fósforo inorgánico de éstos representa entre el 65 y el 85 % del fósforo total (Somers *et al.*, 1980); dicho fósforo puede encontrarse adsorbido en óxidos e hidróxidos de hierro, aluminio o calcio o formando fosfatos

insolubles de metales pesados (Zn, Fe, etc.).

La adición de lodos al suelo incrementa el contenido total de fósforo en las capas superiores de éste, pero dada la dinámica de este elemento en el medio agrícola, interesará más bien conocer su asimilabilidad que su cantidad total. Tal asimilabilidad viene determinada además de por las características propias del suelo, como su pH, por los tratamientos a que los lodos fueron sometidos durante su obtención (Furrer, 1980; Hani *et al.*, 1981; Larsen, 1981; Pommel, 1982; Gerstring *et al.*, 1982; Chaussod *et al.*, 1985).

El uso agrícola de los lodos contribuye de forma eficaz a aumentar en el suelo el fósforo asimilable, una parte del cual es rápidamente utilizado por las plantas; el resto experimenta una serie de reacciones mediante las cuales queda fijado al suelo, convirtiéndose en fósforo no asimilable.

Por otra parte, la mineralización de fósforo orgánico permite la conversión lenta del fósforo no asimilable en asimilable. De ahí que de la incorporación de lodos al suelo se mantenga un nivel relativamente alto de esta fracción de fósforo, durante

varios años después de su aplicación (Kelling *et al.*, 1977).

En el presente trabajo se pretende cuantificar la eficacia de un lodo de

depuradora como fertilizante fosforado, en relación con la conseguida con los fertilizantes fosforados minerales.

MATERIALES Y METODOS

Para el desarrollo de la experiencia se eligieron dos suelos (A y B) de diferente textura y contenido total de carbonato cálcico, y un lodo aerobio procedente de una planta depuradora de aguas residuales urbanas. Las principales características de los suelos y el lodo se exponen en las Tablas 1 y 2 respectivamente.

El lodo se añadió a los suelos en una proporción tal que la cantidad de fósforo total añadida con éste fuese equivalente a la aportada con la fertilización inorgánica.

Se utilizaron para la plantación

un total de 24 contenedores de 25 litros de capacidad, en los que se colocaron 25 kg de suelo (12 contenedores para cada suelo) realizándose dos tratamientos: T₁, suelo con 1500 kg ha⁻¹ de superfosfato (18% P₂O₅), 500 kg ha⁻¹ (NH₄)₂SO₄ y 500 kg ha⁻¹ de K₂SO₄ y T₂, suelo con 3.57 t ha⁻¹ (peso húmedo) de lodo, 500 kg ha⁻¹ de K₂SO₄ y 500 kg ha⁻¹ de (NH₄)₂SO₄. La cantidad de N inorgánico aportada con el lodo era despreciable (0.01 g maceta⁻¹), por lo que inicialmente se dio en este tratamiento la

TABLA 1

Características de los suelos.

	A	B
Arena gruesa (2.0-2.5 mm) %	1.8	41.7
Arena fina (0.25-0.05 mm) %	14.8	7.7
Limo (0.05-0.002 mm) %	46.7	33.1
Arcilla, %	36.7	27.5
Textura	Franco-arcillo limosa	Franca
pH	8.7	8.9
Conductividad eléctrica (1/5, S m ⁻¹)	0.018	0.015
Materia orgánica oxidable, %	1.34	0.21
CaCO ₃ , %	24.0	62.0
Fósforo asimilable, mmol kg ⁻¹	0.32	0.32
Potasio asimilable, cmol kg ⁻¹	0.46	0.30
Sodio soluble, cmol kg ⁻¹	0.28	0.25
Cloruros, cmol kg ⁻¹	0.15	0.20
Sulfatos, cmol kg ⁻¹	0.17	0.17

TABLA 2

Características del lodo.

pH	7.35
Humedad, %	10.02
Conductividad, S m ⁻¹	0.318
Cenizas, %	27.80
Carbono orgánico total, %	37.26
Carbono extraíble en pirofosfato, %	13.53
Nitrógeno total, %	4.81
Nitrógeno nítrico, %	0.03
Nitrógeno amónico, %	0.0082
Fósforo total, %	3.66
Fósforo asimilable, %	0.19
Potasio total, mg kg ⁻¹	8800
Potasio asimilable, mg kg ⁻¹	1770
Calcio, mg kg ⁻¹	19084
Magnesio, mg kg ⁻¹	3167
Hierro, mg kg ⁻¹	26016
Cobre, mg kg ⁻¹	134
Manganeso, mg kg ⁻¹	248
Cinc, mg kg ⁻¹	587

misma fertilización nitrogenada que en el T₁. Durante el cultivo, y afin de compensar el aporte adicional de N inorgánico que tenía lugar en el tratamiento T₂ como consecuencia de la mineralización del N orgánico del lodo, se adicionó quincenalmente 0.3 g de NH₄NO₃ a las macetas del tratamiento T₁. Los suelos A y B sin fertilizar se utilizaron como control.

Las mezclas de suelo, lodo y fertilizantes se homogeneizaron previamente a colocarlas en los contenedores. En cada uno se colocó una planta de *Capsicum annuum* L. variedad negral. Se hicieron cinco

recogidas, la primera a los cuatro meses de efectuada la plantación y las siguientes a intervalos de 28, 42, 38 y 29 días respectivamente, determinando a continuación de éstas el peso fresco. Todos los tratamientos se efectuaron por cuadruplicado.

Se realizaron las siguientes determinaciones: en el fruto, molido y seco, el contenido total de fósforo y en el suelo tanto el fósforo total como el extraíble con bicarbonato sódico 0.5 M. a pH 8.5, mediante el método desarrollado por Murphy y Riley (1962).

RESULTADOS Y DISCUSION

En la Tabla 3 se muestran los valores de los rendimientos de fruto (suma de las cuatro repeticiones) en cada una de las cinco recogidas, y en la figura 1 se da el rendimiento medio de la cosecha para los distintos tratamientos.

En la primera recogida y para el

suelo A, se observa que el tratamiento con lodo dio un rendimiento menor que la fertilización inorgánica y mayor que el control, sin embargo, a partir de la tercera recogida el rendimiento es superior en el suelo tratado con lodo que en el tratado con fertilización inorgánica. Este

TABLA 3

Rendimientos de fruto en sucesivas recogidas (suma de los cuatro contenedores de cada tratamiento), g peso fresco.

TRATAMIENTO	RECOGIDAS				
	1.º	2.º	3.º	4.º	5.º
Suelo A.....	156	54	136	116	257
Suelo A-T ₁	508	238	431	292	811
Suelo A-T ₂	465	—	615	488	1053
Suelo B.....	—	—	68	41	66
Suelo B-T ₁	8	—	435	153	290
Suelo B-T ₂	146	—	511	385	823

hecho se debe posiblemente a la liberación progresiva de macronutrientes producida por la mineralización del lodo, y/o a la neoformación de compuestos orgánicos de carácter fitohormonal.

En el suelo B, ya desde la primera recogida el rendimiento del tratamiento con lodo es superior al del control y al del tratamiento T₁, debido probablemente a que al ser este suelo muy calizo y pobre en materia orgánica, sus características son menos adecuadas para el cultivo, favoreciendo en mayor medida las reacciones de insolubilización del

fósforo inorgánico añadido, por lo que es más patente en este caso el efecto positivo derivado de la fertilización orgánica y de la mineralización progresiva del P orgánico aportado por el lodo.

El análisis de la varianza de los datos correspondientes al rendimiento medio de fruto indicó que tanto los tratamientos como el tipo de suelo tenían efectos significativos al nivel de probabilidad del 0.1%. Así, se observa (Fig. 1) que para ambos suelos el mayor rendimiento corresponde al tratamiento con lodo, siendo la diferencia con T₁ y el control

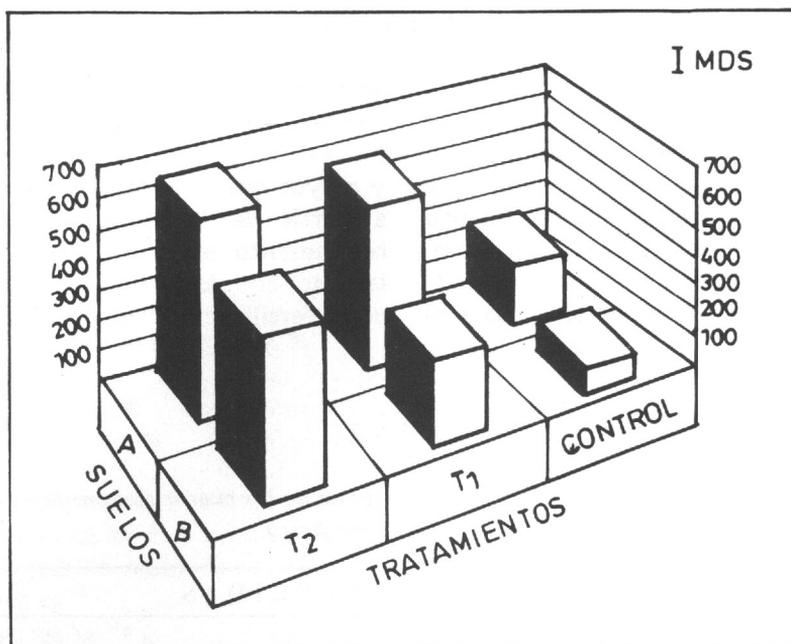


FIG. 1.—Rendimiento medio de la cosecha de pimienta (g).

mucho mayor para el suelo B que para el A. Esta mayor diferencia en el rendimiento observada en el suelo B es probablemente debido, tal como se indicó anteriormente, a las peores características de este suelo para el cultivo, que lo hacen más sensible a cualquier mejora.

Fósforo

El análisis de la varianza indicó que los tratamientos tenían un efecto significativo sobre la concentración de fósforo en fruto ($p = 0,01$) mientras que el efecto del tipo de suelo no era significativo. Se observó (Fig. 2) que las plantas del tratamiento T₂ tenían un contenido mayor de fósforo en fruto que las del tratamiento T₁, poniéndose de manifiesto que el fósforo aportado

por el lodo es más utilizable por la planta que el suministrado con la fertilización inorgánica. En las plantas control la concentración de fósforo en el fruto es superior al del tratamiento T₂ en el suelo A y similar a T₂ en el suelo B, esto podría ser debido al menor desarrollo y fructificación de estas plantas, con lo que el fósforo se encontraría mucho más concentrado en los pocos frutos que estas plantas han producido.

En general, tanto para el suelo A como para el suelo B, la mayor cantidad de fósforo asimilado se da en el tratamiento con lodo, siendo las diferencias entre los tratamientos T₁ y T₂ significativas en el suelo A y muy significativas en el suelo B.

En la figura 3 se muestra la can-

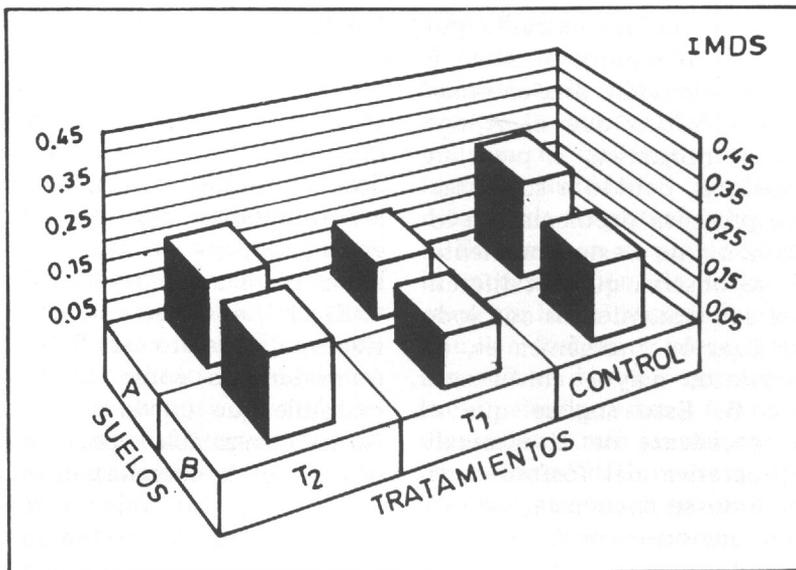


FIG. 2.—Concentración de P en fruto (%).

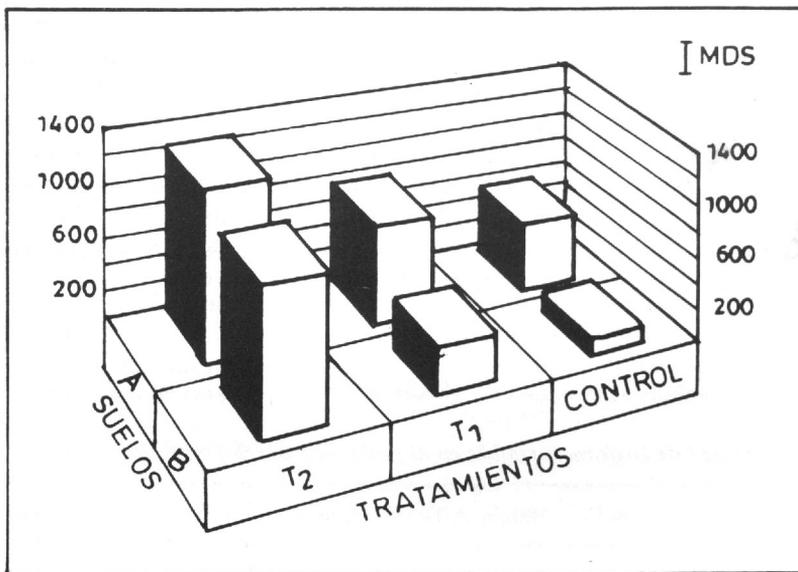


FIG. 3.— Cantidad total de P extraída por la cosecha de pimiento (mg).

tividad total de fósforo extraído por la cosecha de pimiento; el suelo B con lodo ha extraído una cantidad superior de fósforo que el A con fertilización inorgánica, a pesar de que el suelo B, debido a sus características, presenta problemas de insolubilización de este nutriente. También se observa que las diferencias entre los tratamientos con lodo y la fertilización inorgánica es, en valor absoluto, mayor en el caso del suelo B. Esto sugiere que el fósforo procedente de la mineralización progresiva del fósforo orgánico del lodo se encuentra, en este suelo, en mejores condiciones de ser asimilado por la planta que el procedente de la fertilización inorgánica, que sufre más fácilmente reacciones de insolubilización.

A partir de los datos obtenidos en este estudio, puede deducirse que la asimilabilidad del P del lodo es superior a la del superfosfato. Esto es contradictorio con los datos de algunos estudios previos que indican que el P de los lodos es menos disponible que el de los fertilizantes minerales (Pommel, 1979; Hann, 1980). Sin embargo, otros autores (Werner, 1976; Gupta and Hani, 1979; Gerstring and Jarrell, 1982; Pomares *et al.*, 1984; Furrer *et al.*,

1984) han observado que la asimilabilidad del P de los lodos es superior o similar a la de un fertilizante mineral. Esta mayor disponibilidad del P para la planta en suelos enmendados con lodos, podría ser debida a los compuestos orgánicos contenidos en el lodo, que contribuyen a evitar la insolubilización del P en el suelo.

En la Tabla 3 se exponen las cantidades de fósforo asimilable residual (considerando como tal el fósforo extraíble que queda en el suelo de forma asimilable por la planta después de la cosecha); en ella observamos que los valores más altos corresponden al tratamiento con lodo en ambos suelos, siendo las diferencias muy acusadas con respecto al suelo con fertilización inorgánica. Dado que la cantidad de fósforo añadido con la fertilización inorgánica y con el lodo fue la misma, este hecho pone de relieve la menor insolubilización del fósforo aportado con el lodo en relación al añadido con la fertilización inorgánica y confirma la progresiva mineralización del fósforo orgánico del lodo, que actúa como un fertilizante de acción gradual, paliando en cierta medida los problemas de insolubilización que este nutriente tiene en suelos calizos.

TABLA 4

Cantidad de fósforo extraíble en el suelo después del cultivo (mg kg⁻¹).

Suelo A	Suelo A-T ₁	Suelo A-T ₂	Suelo B	Suelo B-T ₁	Suelo B-T ₂
12 c	15 c	117 a	1 c	44 bc	86 a

CONCLUSIONES

Los lodos son un buen sustituto de la fertilización inorgánica de fósforo, obteniéndose con ellos rendimientos superiores a los conseguidos con esta fertilización y una mayor absorción de fósforo por la planta. La adición de lodo puede paliar en cierta medida los problemas de insolubilización del fósforo en suelos calizos, debido sobre todo a la progresiva mineralización del fósforo orgánico del lodo, actuando éste como un fertilizante de acción gradual.

Los lodos tienen un efecto residual en cuanto a fósforo en el suelo

debido a la mineralización de los compuestos fosforados orgánicos que contienen, quedando en el suelo fósforo asimilable por la planta después de un primer cultivo.

En resumen, se puede afirmar que la incorporación de lodos al suelo aumenta la facilidad de la planta para asimilar fósforo y eleva la cantidad disponible de este nutriente en el suelo, siendo estos efectos proporcionalmente más acusados cuando las condiciones del suelo favorecen la insolubilización, como es el caso de los suelos muy calizos.

BIBLIOGRAFIA

- CABRE, J., ARRAEZ, J. y ARAGONESES, R., 1990. Eliminación de lodos de aguas residuales. La E. D. A. R. de Reus: Un ejemplo de aprovechamiento mediante compostaje. *Química e industria*, 36: 537-541.
- CHAUSSOD, R. and CATROUX, G., 1985. Determination de le valeur fertilisante des boues résiduaires. Aptitude à liberer l'azote. Ministère de l'environnement et du cadre de vie. Convention d'étude n° 74050.
- FURRER, O. J., 1980. Accumulation and leaching of phosphorus as influenced by sludge application. In: *Phosphorus in sewage sludge and animal waste slurries*, Hucker, T. W. G. and Catroux, C. (Ed.), 235-240, Reidel Publishing Co. Londres.
- FURRER, O. J., GUPTA, S. K. and STAUFFER, W., 1984. Sludge as a source of phosphorus and consequences of phosphorus accumulation in soils. In: *Processing and use of sewage sludge. Proceedings of the Third International Symposium held at Brighton, 1983*, L'Hermite P. (Ed.), 279-294, Reidel Publishing Co. Dordrecht.
- GERSTRING, W. D. and JARRELL, W. M., 1982. Plant availability of phosphorus and heavy metals in soils amended with chemically treated sewage sludge. *Environ. Qual.*, 11: 669-675.
- GUPTA, S. and HANI, H., 1979. Estimation of available phosphate content of sewage sludges. In: *Treatment and use of sewage sludge. Proceedings of the first European Symposium held in Cadarache, 1979*. Alexandre, D. and Ott, H. (Ed.). 261-268.
- HANI, H., GUPTA, S. K. and FURRER, D. J., 1980. Availability of phosphorus fractions in sewage sludge. In: *Phosphorus in sewage sludge and animal waste slurries*, Hucker, T. W. G. and Catroux, C. (Ed.), 177-190. Reidel Publishing Co. Londres.
- HANN, S. DE, 1980. Boues d'épuration comme engrais phosphatés. *Phosphore et Agriculture*, 78: 37-44.

- KELLING, K. A., WALSH, L. M., KEENEY, D. R., RYAN, J. A. and PETERSON, A. E., 1977. A field study of the agricultural use of sewage sludge: II-Effect on soil N and P. *J. Environ. Qual.*, 6: 345-352.
- LARSEN, K. E., 1981. Phosphorus effect of animal manure and sewage sludge. In: Phosphorus in sewage sludge and animal waste slurries, Hucker, T. W. G. and Catroux, C. (Ed.). 207-229. Reidel Publishing Co. London.
- MURPHY, J. and RILEY, J. P., 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chim. Acta*, 27: 31-36.
- PERA, A., GIOVANNETTI, M., VALLINO, G. and BERTOLDI, M., 1981. Land application of sludge: Effects on soil microflora. C. E. C. Seminar. organized by C.E.E. and Directorate General for Science Research and Development and the Bayerische Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzbau, Munich (F. R. G.).
- POMARES, F., ROCA, J., TARAZONA, F. and ESTELA, M., 1984. Aerobically digested sewage sludge as N and P fertilizer. In: Processing and use of sewage sludge. Proceedings of the Third International Symposium held at Brighton, 1983, L'Hermite P. (Ed.), 313-315, Reidel Publishing Co. Dordrecht.
- POMMEL, B., 1979. Comparaison de l'utilisation par le maïs du phosphore des boues résiduaires ou du phosphate monocalcique pour différents niveaux de zinc et de fer dans le sol. *Ann. Agron.*, 30: 443-453.
- POMMEL, B., 1982. Aptitude de plusieurs déchets urbains à fournir du phosphore aux cultures. *Agronomie*, 2: 851-857.
- SOMMERS, L. E. and SOTTON, A. L., 1980. Use of waste materials as sources of phosphorus. In: The role of phosphorus in agriculture. Khsawneh, F. E., Sample, E. C. and Kamprath, E. J. (Ed.). American Society of Agronomy, Madison, Wisc.
- WERNER, W., 1976. Untersuchungen zur Phosphatwirkung von Klärschlamm aus der chemischen Abwasserreinigung. *Land. Forschung*, 32: 177-183.

Recibido: 4-9-91.
Aceptado: 19-12-91.