

---

## EL VALOR FERTILITZANT NITROGENAT EN LA REUTILITZACIÓ AGRÍCOLA DE FANGS RESIDUALS

---

M. A. Garau \*

M. T. Felipó \*

### RESUM

La reutilització de fangs residuals municipals a través del sòl pot ésser considerada com la manera més racional de desfer-se d'aquests residus.

L'eficàcia nitrogenada del fang depèn de la quantitat de N-orgànic que es mineralitzi en el sòl durant el cicle vegetatiu d'un determinat conreu, ja que la major part del nitrogen del fang és orgànic i, per tant, no en poden disposar immediatament els vegetals.

En aquest treball s'ha estudiat el contingut de les formes nitrogenades de fangs provinents de diferents plantes depuradores d'aigües residuals. A més, s'ha valorat l'eficàcia nitrogenada d'una mostra de fang obtingut per tractament aeròbic, la qual s'ha mostrat superior a la d'un fertilitzant mineral en dos sòls de característiques diferents amb el mateix conreu.

MOTS CLAU: fang residual, reciclatge, eficàcia nitrogenada.

### RESUMEN

La reutilización de lodos residuales municipales a través del suelo es quizás la alternativa más racional para deshacerse de estos residuos.

La mayor parte del nitrógeno contenido en los lodos es N-orgánico; por lo tanto, la eficacia nitrogenada de estos materiales dependerá de la cantidad de nitrógeno que se mineralice en el suelo durante el ciclo vegetativo de un determinado cultivo.

Se ha estudiado el contenido en diferentes formas nitrogenadas de

\* Laboratori d'Edafologia. Facultat de Farmàcia, Univesitat de Barcelona

lodos procedentes de distintas estaciones depuradoras de aguas residuales. Además se ha valorado la eficacia nitrogenada de un lodo digerido en condiciones aerobias, siendo superior a la de un fertilizante mineral en dos suelos de características distintas y frente a un mismo cultivo.

PALABRAS CLAVE: lodo residual, reciclaje, eficacia nitrogenada.

### ABSTRACT

One of the best alternatives to sewage sludges disposal is to use them as fertilizers in order to recycle nutrients and minimize environmental and food chain pollution.

The crop N uptake depends on the available N in sludges, so the N efficiency of sludge is function of the mineralized nitrogen in soil through a crop season because organic-N is the prevailing N form in sludges.

The different N-forms in several sewage sludges has been studied. Also the N efficiency of an aerobically digested sewage sludge has been tested. The higher N efficiency of the aerobic sludge compared with an inorganic fertilizer is shown. The experiment has been done using two different soils and the same crop.

KEY WORDS: sewage sludge, recycling, N efficiency.

## 1. INTRODUCCIÓ

És evident que la qualitat del medi ambient ha estat en els darrers anys un dels principals desafiaments de la societat actual, i la depuració d'aigües residuals a Catalunya és un dels objectius fonamentals en la prevenció medioambiental. Aquest fet ha originat una creixent producció de fangs. Sortosament, des de l'any passat s'ha adoptat a l'Estat espanyol (Reial decret 1310/1990) la normativa establerta en el marc de la Comunitat Europea (Directriu del Consell 86/278/CEE) que regula la utilització de fangs de depuració en el sector agrari. Aquestes normatives estableixen les dosis d'aplicació d'aquests residus al sòl a partir de tres criteris relatius a la concentració màxima de metalls pesants en el sòl receptor i en el fang, i també les quantitats màximes acumulatives en un període de deu anys.

En diversos estats dels EUA amb legislació sobre aquesta matèria i en alguns països d'Europa (Suïssa i Dinamarca, entre d'altres) es pren com a criteri bàsic, per a l'aplicació de fangs residuals al sòl, el contingut en nitrogen i

les necessitats que en té el conreu, per tal d'afegir només la quantitat de fang equivalent a la de nitrogen necessària, i evitar així el malbaratament del medi ambient. A més, es consideren criteris restrictius referents al contingut en metalls pesants. La integració d'ambdós criteris seria la manera més racional d'establir la dosi d'aportació. En aquest treball es valorarà la importància de la fracció nitrogenada dels fangs residuals i la seva eficàcia en els conreus.

## 2. IMPORTÀNCIA DEL NITROGEN PELS CONREUS I CONSEQÜÈNCIES SANITÀRIES I MEDIOAMBIENTALS DERIVADES D'UN EXCÉS DE FERTILITZACIÓ NITROGENADA

El nitrogen, element essencial que condiona el desenvolupament i el rendiment dels conreus, està sotmès a diverses transformacions en el sistema sòl-planta-atmosfera. A més, pot escapar del sòl o bé incorporar-s'hi per camins molt diferents. Així, es pot perdre per volatilització com a  $\text{NH}_3$ , per desnitrificació en forma de  $\text{N}_2\text{O}$  i  $\text{N}_2$  i per rentat a través del sòl com a  $\text{NO}_3^-$ ; i pot entrar-hi mitjançant la pluja, per fixació biològica i per les aportacions de fertilitzants minerals o orgànics (figura 1).

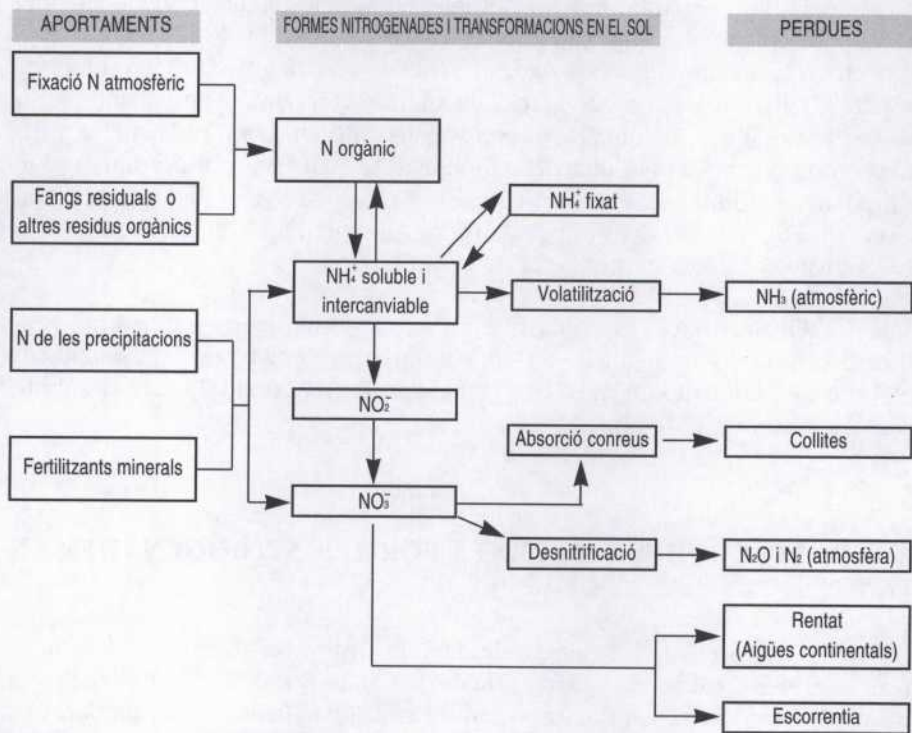


FIGURA 1. Cicle del nitrogen (Modificat de Keeney i Gardner, 1975).

Al contrari que per a altres nutrients, el sòl no té capacitat per emmagatzemar N-assimilable (formes inorgàniques solubles) a llarg termini; encara que el  $\text{NH}_4$  sigui retingut temporalment pel complex de canvi, és transformat biològicament en  $\text{NO}_2^-$  i, posteriorment, en  $\text{NO}_3^-$ , el qual, a causa de la seva naturalesa aniónica, pràcticament no és adsorbit per les argiles ni per l'humus, i és, per tant, una forma molt mòbil i que pot ésser perdut per rentat a través del sòl i passar a les aigües subterrànies.

La conseqüència directa per a l'home d'un excés de nitrats en aigües de beguda és la malaltia anomenada metahemoglobinèmia, que afecta sobretot els infants i que consisteix en la reducció en el tracte intestinal del nitrat a nitrit, que és absorbit per la sang, on oxida el  $\text{Fe}^{2+}$  de l'hemoglobina a  $\text{Fe}^{3+}$ , i es forma metahemoglobina, incapaç de transportar oxigen. Generalment no es manifesten efectes letals fins que no s'ha oxidat un 50 % de l'hemoglobina de la sang (Keeney, 1982). Un altre perill per a l'home està relacionat amb certs compostos orgànics nitrogenats; així, les amines secundàries reaccionen amb agents nitrosants per donar nitrosamines, que són substàncies cancerígenes. Llur formació és afavorida a pH baix, i l'òptim està entre 3, 5 i 4 (Mirvish, 1970 i 1975).

El nitrogen aplicat al sòl pot integrar-se a les aigües continentals per rentat o escolament i originar el fenomen d'eutrofització de les aigües, és a dir, un creixement exagerat d'algues i vegetals aquàtics; això es produeix de resultes d'una elevada concentració de nutrients, fonamentalment nitrogen i fòsfor. El perill s'esdevé quan aquests vegetals moren, ja que la matèria orgànica en descomposició té una DBO molt alta, la qual cosa pot produir la mort de peixos i d'altres espècies aquàtiques. Segons Sawyer (1947), concentracions superiors a 0,3 i 0,015 ppm de formes inorgàniques de nitrogen i fòsfor respectivament, originen problemes d'eutrofització.

Finalment, cal esmentar que un excés de nitrogen en el sòl pot produir desequilibris nutricionals en els conreus; l'aníó  $\text{NO}_2^-$ , en concentracions elevades, és fitotòxic, i a més, l'excés nitrogenat pot contribuir, per desnitrificació, a la formació de plujes àcides.

### **3. CONTINGUT DE DIFERENTS FORMES NITROGENADES EN FANGS**

S'ha estudiat el contingut de diferents formes nitrogenades dels fangs d'algunes depuradores d'aigües residuals de Catalunya, de les quals s'han pres mostres cada dos mesos durant un any. La major part de les depuradores es caracteritzen perquè l'influent és d'origen mixt (domèstic i industrial) i el fang és estabilitzat per digestió aeròbica. També s'han inclòs en l'estudi dues mos-

tres amb tractament anaeròbic provinents d'Oviedo i Palència.

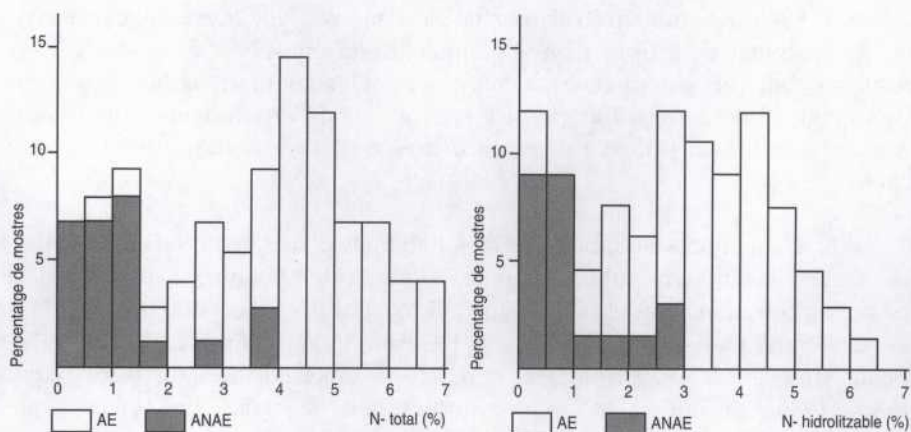


FIGURA 2. Diagrames de distribució de freqüències.

La variabilitat de les diferents formes nitrogenades dels fangs queda reflectida en els diagrames de distribució de freqüències de la figura 2. Hom pot observar que totes les mostres amb un contingut en N-total superior al 4% corresponen a fangs obtinguts per tractament aeròbic, i que les mostres que tenen menys d'un 1,5% són majorment fangs anaeròbics. El contingut mitjà és, respectivament, del 4% i de l'1,89%. El N-no hidrolitzable correspon al lligat a la fracció orgànica més resistent a la mineralització. La proporció mitjana entre el N-hidrolitzable i el N-total és més petita en els fangs anaeròbics (69%) que en els aeròbics (88%); això vol dir una major resistència a la descomposició dels anaeròbics, la qual cosa fa que es puguin considerar com una reserva nitrogenada per a un període de temps més llarg que els aeròbics.

El contingut en N-inorgànic és molt petit: el N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> està al voltant del 0,5% i el N-(NO<sub>3</sub><sup>-</sup> + NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) tan sols de l'ordre de mg / kg<sup>-1</sup>. El percentatge de N-inorgànic respecte al N-total és inferior al 10%.

Cal considerar, doncs, que el contingut en nitrogen dels fangs residuals és majoritàriament orgànic i, per tant, no immediatament assimilable pels conreus, que només poden absorbir el N-inorgànic. El N-orgànic però, en el sòl, mitjançant processos microbiològics, es va mineralitzant, és a dir, transformant en compostos nitrogenats assimilables. Aquesta transformació és funció del tipus de fang, del tipus de sòl i de les condicions ambientals. Per tant, el valor fertilitzant nitrogenat del fang estarà condicionat més per la proporció de N-mineral que es vagi formant que per la quantitat total de nitrogen o de N-inorgànic que el fang pugui tenir inicialment.

#### 4. MINERALITZACIÓ DEL NITROGEN ORGÀNIC DE FANGS

S'han fet molts treballs per tal de conèixer, almenys amb aproximació, la quantitat de nitrogen que es mineralitzarà en aplicar fang al sòl, i els resultats obtinguts són diversos, a causa, fonamentalment, de la heterogeneïtat dels fangs, al tipus de sòl emprat i a les condicions experimentals utilitzades. Aquests assajos es poden incloure en dos grans grups: de laboratori i de camp.

Els mètodes de laboratori més habituals consisteixen en una incubació de les mostres en condicions controlades de temperatura i d'humitat i la posterior determinació del N-inorgànic alliberat al llarg d'un determinat període de temps (King, 1973; Chaussod i Germon, 1977; Epstein *et al.*, 1978; Beauchamp *et al.*, 1979; Sommers *et al.*, 1979; Chae i Tabatabai, 1985; Garau *et al.*, 1986). En aquest cas es prescindeix dels vegetals i dels efectes que puguin tenir.

Altres mètodes de laboratori per fer una estimació del N-disponible del fang es basen en la utilització de diferents reactius químics (Keeney i Bremner, 1966; Stanford i Smith, 1972; Chaussod, 1979; Oien i Selmer-Olsen, 1980; Keeney, 1982; Felipó i Garau, 1987), més o menys dràstics en llur acció per extreure fraccions nitrogenades amb diferent grau de resistència a la descomposició. Aquests mètodes, que són ràpids i reproduïbles amb una relativa facilitat, no s'ajusten estrictament a la realitat, perquè no hi ha reactiu químic capaç de reproduir exactament l'activitat de la microflora del sòl.

Les proves de camp tenen com a principal desavantatge que hi ha factors incontrolables que incideixen directament en els processos de mineralització, com són: temperatura, humitat, aireig...; malgrat això són les condicions que es troben a la realitat i alguns autors (Pratt *et al.*, 1973; Stewart *et al.*, 1975; Kelling *et al.*, 1977; Soon *et al.*, 1978; Furrer, 1979; Furrer i Bolliger, 1979; Larsen, 1979; Werner *et al.*, 1988) han expressat la mineralització real del nitrogen del fang determinant el N-inorgànic que s'allibera en el sòl per aportament d'aquests materials. S'han obtingut diferents taxes de mineralització en funció de la climatologia, del tipus de sòl i de la naturalesa del fang, paràmetres que condicionen la mineralització del N-orgànic. Així, segons Pratt *et al.* (1973), el 35 % del N-total d'un fang anaeròbic es mineralitza en el sòl durant el primer any d'aplicació, un 10 % del N-residual, el segon, i un 5 % del que queda, el tercer any; mentre que per Keeney *et al.* (1975) se'n mineralitza un 15 % del N-orgànic el primer any, i en anys successius, el 6, 4 i 2 % del N-residual. Segons l'EPA (1983) el percentatge de mineralització durant el primer any és del 40, 30 i 20 % per a fangs sense digerir, digerits aeròbicament i anaeròbicament, respectivament. Altres autors (Parker i Sommers, 1983) consideren valors del 40, 25, 15 i 8 % per a fangs sense digerir, activats, anaeròbics i com-

postats respectivament. En proves d'hivernacle, segons Furrer i Bolliger (1979), la taxa de mineralització varia entre el 25 i el 32 % del N-orgànic del fang.

L'estudi previ dels fangs de depuradores esmentat anteriorment va permetre triar un fang amb característiques (salinitat i contingut en metalls), *a priori*, satisfactòries per dur a terme proves de camp, mitjançant les quals es volia determinar la taxa de mineralització real del N-orgànic del fang i al mateix temps veure el valor d'aquest com a fertilitzant nitrogenat per a un conreu.

Els sòls emprats corresponen a dos Xerofluvents de característiques diferents, fonamentalment pel que fa al pH, que s'han anomenat sòl A (pH àcid, textura franc-sorrenca) i sòl B (pH bàsic, textura franc-argilo-sorrenca), situats als termes municipals de Tordera i Caldes de Montbui, respectivament. El fang utilitzat provenia de l'estació depuradora de l'Estartit. En la taula 1 s'indiquen les característiques dels sòls i del fang.

|  |    | SÒL A | SÒL B | FANG                       |
|--|----|-------|-------|----------------------------|
| Matèria orgànica %   | 1  | 0,77  | 1,74  | 50,52                      |
| N-total %  | 2  | 0,04  | 0,12  | 3'50                       |
| N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> mgkg <sup>-1</sup>            | 3  | 20    | 16    | 0,40 x 10 <sup>4</sup>     |
| N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mgkg <sup>-1</sup>            | 4  | -     | -     | 71                         |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> assimilable mgkg <sup>-1</sup> | 5  | 257   | 287   | 3,86 x 10 <sup>4</sup> (*) |
| K <sub>2</sub> O assimilable mgkg <sup>-1</sup>              | 6  | 122   | 243   | 0,30 x 10 <sup>4</sup> (*) |
| CaO assimilable mgkg <sup>-1</sup>                           | 7  | 760   | 3.890 | 9,24 x 10 <sup>4</sup> (*) |
| MgO assimilable mgkg <sup>-1</sup>                           | 7  | 55    | 140   | 0,46 x 10 <sup>4</sup> (*) |
| Cd mgkg <sup>-1</sup>  | 8  | 0,48  | 0,88  | 4                          |
| Co mgkg <sup>-1</sup>  | 8  | 3,89  | 10,22 | 25                         |
| Cr mgkg <sup>-1</sup>  | 8  | <1    | 14,67 | 35                         |
| Cu mgkg <sup>-1</sup>  | 8  | 5,33  | 21,66 | 184                        |
| Mn mgkg <sup>-1</sup>  | 8  | 434   | 371   | 1.307                      |
| Mo mgkg <sup>-1</sup>  | 8  | <3    | <3    | 9                          |
| Ni mgkg <sup>-1</sup>  | 8  | 4,66  | 16,66 | 37                         |
| Pb mgkg <sup>-1</sup>  | 8  | 13,86 | 49,34 | 297                        |
| Zn mgkg <sup>-1</sup>  | 8  | 24,66 | 56,33 | 853                        |
| CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> % mgkg <sup>-1</sup>           | 9  | -     | 7,75  | -                          |
| pH H <sub>2</sub> O  | 10 | 5,64  | 7,81  | 7,18                       |
| pH KCl   | 11 | 4,67  | 7,22  | -                          |
| Salinitat dS.m <sup>-1</sup>                                 | 10 | 0,02  | 0,08  | 4,4                        |
| CIC cmol.kg <sup>-1</sup>                                    | 12 | 2,84  | 12,50 | 38,61                      |
| Arena %  | 13 | 93,51 | 74,85 | -                          |
| Llim %   | 13 | 3,97  | 10,85 | -                          |
| Argila %   | 13 | 2,52  | 14,30 | -                          |

- \*. Continguts totals.
- Sòls: Mètode de Walkley-Black.  
Fangs: Calcinació a 560 °C.
  - Mètode semi-micro Kjeldahl.
  - Extracte KCl 2N. Elèctrode selectiu.
  - Extracte aquós. Elèctrode selectiu.
  - Sòls: Mètode d'Osmond-Bray.  
Fangs: Dissolució de cendres en HCl 2N i colorimetria.
  - Sòls: Extracte NH<sub>4</sub>OAc pH = 7 i fotometria de flama.  
Fangs: Dissolució de cendres en HCl 2N i fotometria de flama.
  - Sòls: Extracció NH<sub>4</sub>OAc pH = 7 i complexometria.  
Fangs: Dissolució de cendres en HCl 2N i espectrofotometria d'absorció atòmica.
  - Sòls: Digestió HNO<sub>3</sub> 2N a 100 °C i espectrofotometria d'absorció atòmica.  
Fangs: Dissolució de cendres en HCl 2N i espectrofotometria d'absorció atòmica.
  - Calçimetre de Bernard.
  - Extracte aquós 1/5 (p/V).
  - Extracte KCl 1N, 1/5 (p/V).
  - Mètode de Bascomb (Ba Cl<sub>2</sub> trietanolamina pH = 8,2).
  - Mètode de Boyoucus.

**TAULA 1.** Composició química i característiques físico-químiques dels sòls i del fang.

En cada sòl es varen realitzar cinc tractaments: tres amb diferents dosis de fang, corresponents a 20, 10 i 5 Mg·ha<sup>-1</sup>, un amb fertilitzant inorgànic (130:100:80) i un control. Per cada un dels tractaments es van fer tres repeticions i en totes les parcel·les es va sembrar ordi (*Hordeum vulgare* var. *Hop*).

Al final del cicle vegetatiu es va analitzar l'efecte de l'addició de fang sobre la quantitat de nitrogen absorbida pel conreu i la producció -taula 2- (Garau i Felipó, 1984). De l'anàlisi de la varianza efectuat amb els resultats obtinguts i posterior comparació de mitjanes segons Tukey, hom dedueix que pel N-absorbit i en els dos sòls hi ha diferències significatives ( $\alpha = 0,05$ ) entre el control i els altres tractaments; és a dir que el N-absorbit pel conreu augmenta en aportar al sòl tant fertilitzant inorgànic com fang residual.

|                                       | N-ABSORBIT                     |        | PRODUCCió                      |        |
|---------------------------------------|--------------------------------|--------|--------------------------------|--------|
|                                       | Mitjana (kg·ha <sup>-1</sup> ) | CV (%) | Mitjana (kg·ha <sup>-1</sup> ) | CV (%) |
| <b>Sòl A</b>                          |                                |        |                                |        |
| Control (C)                           | 34,66                          | 7,25   | 2.870                          | 6,83   |
| Fert. inorg. (F)                      | 78,00                          | 5,12   | 5.430                          | 3,71   |
| 20 Mg·ha <sup>-1</sup> (20)           | 91,00                          | 10,59  | 5.241                          | 9,99   |
| 10 Mg·ha <sup>-1</sup> (10)           | 83,33                          | 9,00   | 5.502                          | 8,57   |
| 5 Mg·ha <sup>-1</sup> (5)             | 74,33                          | 16,92  | 53,46                          | 19,11  |
| <b>Comparació de mitjanes (Tukey)</b> | <u>20</u> 10 5 F C             |        | 10 F 5 <u>20</u> C             |        |
| <b>Sòl B</b>                          |                                |        |                                |        |
| Control (C)                           | 60,00                          | 10,13  | 4.750                          | 12,27  |
| Fert. inorg. (F)                      | 90,33                          | 6,29   | 5.667                          | 8,82   |
| 20 Mg·ha <sup>-1</sup> (20)           | 129,33                         | 2,93   | 7.278                          | 1,31   |
| 10 Mg·ha <sup>-1</sup> (10)           | 117,00                         | 6,99   | 7.389                          | 6,89   |
| 5 Mg·ha <sup>-1</sup> (5)             | 90,66                          | 5,65   | 6.000                          | 2,78   |
| <b>Comparació de mitjanes (Tukey)</b> | <u>20</u> <u>10</u> 5 F C      |        | 10 <u>20</u> 5 F C             |        |

**TAULA 2.** Nitrogen absorbida pel conreu i producció de matèria seca. Els tractaments subratllats per la mateixa línia no són significativament diferents ( $\alpha = 0,05$ ).



Pel que fa al rendiment del conreu, expressat com a producció de matèria seca, no s'ha trobat per al sòl A cap diferència significativa ( $\alpha = 0,05$ ) entre la fertilització orgànica i la mineral, encara que amb els dos tipus d'adob el rendiment obtingut és superior que en el control. En canvi, en el sòl B la producció de matèria seca ha estat més elevada amb les dosis superiors de fang que amb els altres tractaments.

S'ha obtingut també una correlació altament significativa ( $\alpha = 0,01$ ) i positiva entre el N-absorbit pel conreu i el seu rendiment, en què  $r = 0,9545$ , incloent-hi tots els tractaments dels dos sòls ( $n = 30$ ). Això demostra, una vegada més, la importància de la fertilització nitrogenada.

El fet de considerar conjuntament el N-absorbit pel conreu i el N-inorgànic que resta en el sòl al final del cicle vegetatiu, ha permès valorar un altre paràmetre que s'ha anomenat nitrogen mineralitzat quantificat (NMQ), el qual, expressat com a percentatge del N-orgànic aportat, indicarà la taxa de mineralització real del nitrogen contingut en el fang (taula 3).

|                                       | N-MIN. QUANTIF                 |        | TAXA MIN. REAL |
|---------------------------------------|--------------------------------|--------|----------------|
|                                       | Mitjana (Kg·ha <sup>-1</sup> ) | CV (%) | (%)            |
| <b>Sòl A</b>                          |                                |        |                |
| Control (C)                           | 102,5                          | 7,03   | -              |
| 20 Mg·ha <sup>-1</sup> (20)           | 238,9                          | 8,94   | 21,56          |
| 10 Mg·ha <sup>-1</sup> (10)           | 194,9                          | 3,01   | 29,29          |
| 5 Mg·ha <sup>-1</sup> (5)             | 179,7                          | 13,14  | 49,12          |
| <b>Comparació de mitjanes (Tukey)</b> | <u>20 10 5 C</u>               |        | <u>5 10 20</u> |
| <b>Sòl B</b>                          |                                |        |                |
| Control (C)                           | 145,7                          | 1,10   | -              |
| 20 Mg·ha <sup>-1</sup> (20)           | 246,0                          | 2,56   | 15,80          |
| 10 Mg·ha <sup>-1</sup> (10)           | 223,9                          | 3,73   | 24,77          |
| 5 Mg·ha <sup>-1</sup> (5)             | 213,5                          | 3,74   | 43,09          |
| <b>Comparació de mitjanes (Tukey)</b> | <u>20 10 5 C</u>               |        | <u>5 10 20</u> |

**Taula 3.** Nitrogen mineralitzat quantificat i taxa de mineralització real. Els tractaments subrallats per la mateixa línia no són significativament diferents. ( $\alpha = 0,05$ ).

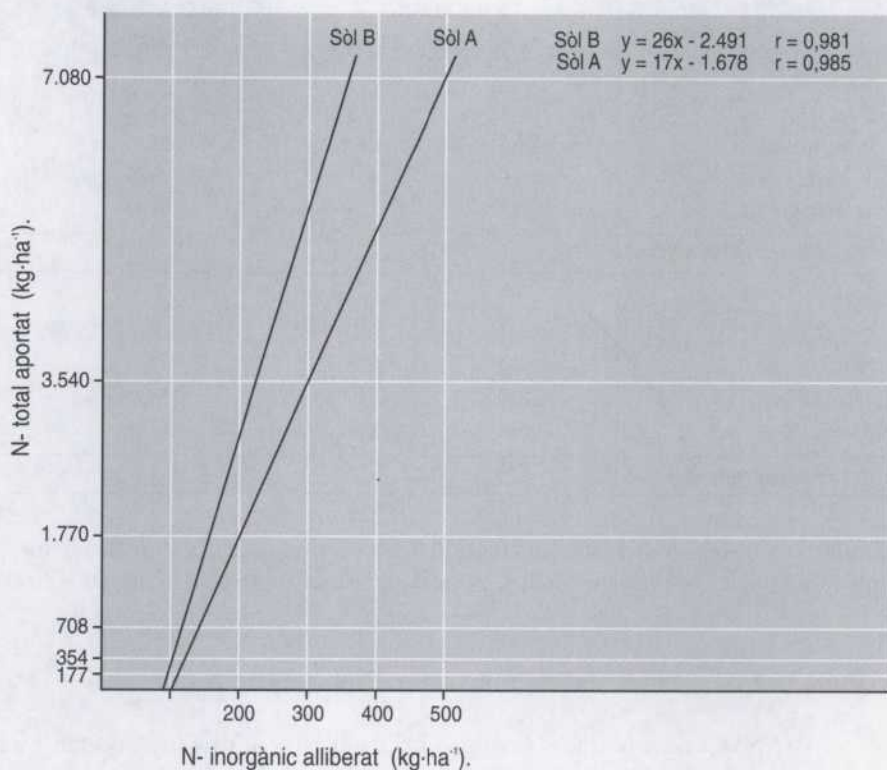
$$\text{Taxa de min. (\%)} = (\text{NMQ}_{\text{tractament}} - \text{NMQ}_{\text{control}}) / \text{N-org.}_{\text{aportat}}$$

L'NMQ en ambdós sòls augmenta amb la dosi de fang aportat, mentre que la taxa de mineralització disminueix. Això podria indicar que el procés d'immobilització de N en el sòl és més intens a mesura que augmenta la dosi. La immobilització, que és un procés invers al de la mineralització, fa que el N-

inorgànic passi a formar part de la biomassa microbiana en transformar-lo en N-orgànic. Això succeeix quan el contingut de nitrogen del substrat que es descompon és insuficient per satisfer les necessitats microbianes.

La taxa de mineralització real és del mateix ordre que l'obtinguda pel mateix fang i els dos sòls A i B mitjançant un assaig d'incubació en el laboratori en condicions controlades de temperatura (30° C) i humitat (la retenguda a 1/10 atm) durant un període de tres setmanes pel sòl A i de dues pel sòl B (Garau, 1983). Això vol dir que la taxa de mineralització real del fang durant el primer any d'aplicació, per a unes condicions climatològiques anàlogues a les d'aquest treball, es pot determinar en el laboratori, i és suficient un període d'incubació curt.

S'ha trobat una correlació altament significativa ( $\alpha = 0,01$ ) entre el N-alliberat durant la incubació i la quantitat de N-aportat (figura 3). Hom dedueix que, coneguda la quantitat de N que necessita un conreu, es pot fer una predicció de la dosi de fang en funció del N-mineralitzat que s'allibera per incubació durant un període determinat.



**FIGURA 3.** Rectes de regressió entre el N- aportat pel fang i el N-mineralitzat per incubació.

## 5. EFICÀCIA NITROGENADA

L'eficàcia nitrogenada del fang residual, valorada per comparació del rendiment obtingut amb el del fertilitzant inorgànic, és molt elevada, com a mínim del 90 %. Aquest valor és molt superior a d'altres que citen diferents autors (Coker, 1966; Soon *et al.*, 1978; Furrer, 1979; Larsen, 1979), els quals, però, utilitzaren fangs estabilitzats per digestió anaeròbica, i per tant, hom pot dir que l'eficàcia del fang aeròbic, almenys a curt termini, és superior a la de l'anaeròbic, la qual cosa és conseqüència del fet que la matèria orgànica del fang anaeròbic està més estabilitzada i és més resistent a la descomposició.

Altres autors (Stewart *et al.*, 1975; Kelling *et al.*, 1977; Sabey, 1977) valoren l'eficàcia del fang en funció de l'anomenada fracció assimilada (N-absorbit/N-aportat). Aquest paràmetre és utilitzat per Novoa i Loomis (1981) per valorar l'eficàcia nitrogenada de fertilitzants inorgànics. Però com que no tot el nitrogen aportat pel fang serà immediatament utilitzable pels conreus, sembla més adient expressar la fracció assimilada respecte al N-disponible del fang, entenent com a N-disponible el N-inorgànic inicial del fang més el N-mineralitzat al llarg del cicle vegetatiu (taula 4). La fracció assimilada serà més propera a les condicions reals si al N-absorbit pel conreu en cada tractament restem el valor corresponent al control; amb això s'obté la fracció assimilada neta, paràmetre que fa possible la comparació del fertilitzant inorgànic amb les diferents dosis de fang (taula 5).

|                                | N-DISPONIBLE                   |        | FRACCIÓ ASSIM. NETA |        |
|--------------------------------|--------------------------------|--------|---------------------|--------|
|                                | Mitjana (Kg·ha <sup>-1</sup> ) | CV (%) | Mitjana(%)          | CV (%) |
| <b>Sòl A</b>                   |                                |        |                     |        |
| Fert. inorg. (F)               | 130,0                          | -      | 33,39               | 8,36   |
| 20 Mg·ha <sup>-1</sup> (20)    | 136,4                          | 15,67  | 41,26               | 1,67   |
| 10 Mg·ha <sup>-1</sup> (10)    | 92,4                           | 6,37   | 53,10               | 21,72  |
| 5 Mg·ha <sup>-1</sup> (5)      | 77,2                           | 30,59  | 51,58               | 15,54  |
| Comparació de mitjanes (Tukey) | 20 F 10 5                      |        | 10 5 20 F           |        |
| <b>Sòl B</b>                   |                                |        |                     |        |
| Fert. inorg. (F)               | 130,0                          | -      | 23,49               | 18,08  |
| 20 Mg·ha <sup>-1</sup> (20)    | 100,3                          | 6,30   | 69,32               | 6,37   |
| 10 Mg·ha <sup>-1</sup> (10)    | 78,2                           | 10,67  | 72,58               | 7,81   |
| 5 Mg·ha <sup>-1</sup> (5)      | 67,8                           | 11,79  | 44,99               | 6,18   |
| Comparació de mitjanes (Tukey) | F 20 10 5                      |        | 10 20 5 F           |        |

**TAULA 4.** N-disponible pel conreu i fracció assimilada neta. Els tractaments subratllats per la mateixa línia no són significativament diferents ( $\alpha = 0,05$ ).

## FERTILITZANT INORGÀNIC

$$\text{Fracció assimilada} = \text{N-absorbit} / \text{N-aportat}$$

## FANG RESIDUAL

$$\begin{aligned}\text{Fracció assimilada} &= \text{N-absorbit} / \text{N-disponible} \\ \text{N-disponible} &= \text{N-inorg.}_{\text{ini}} + (\text{N-org.}_{\text{ini}} \times \text{Taxa mineralització}) \\ \text{Taxa mineralitz.} &= (\text{N.M.Q.} - \text{N.M.Q.}_{\text{control}} / \text{N-org.}_{\text{aportat}}) \times 100\end{aligned}$$

NMQ = N-absorbit + N-inorg. residual del sòl  
(Nitrogen mineralitzat quantificat)

## COMPARACIÓ FERTILITZANT INORGÀNIC-FANG RESIDUAL

$$\begin{aligned}\text{Fracció assimilada neta:} \\ * \text{ Fertilitzant inorgànic} \\ (\text{N-absorb.}) - (\text{N-absorb.}_{\text{control}}) / \text{N-aportat} \\ \\ * \text{ Fang residual} \\ (\text{N-absorb.}) - (\text{N-absorb.}_{\text{control}}) / \text{N-disponible}\end{aligned}$$

**TAULA 5.** Valoració de l'eficàcia de la fertilització nitrogenada.

Encara que la quantitat de N-disponible del fang (taula 4) sigui inferior que la de N-aportat pel fertilitzant, la seva eficàcia expressada com a fracció assimilada neta és més gran que la del fertilitzant inorgànic. Aquest fet és més clar en el sòl B que en el A.

De tot el que s'ha exposat anteriorment hom dedueix que el fang constitueix una aportació de nitrogen utilitzable pels vegetals perquè es va alliberant gradualment, i en el sòl hi haurà sempre N-inorgànic a disposició del conreu. Això fa que al mateix temps es minimitzin les pèrdues de nitrat per rentat i els perills que aquestes signifiquen per a l'home i per al medi ambient. A més, l'aportació de matèria orgànica a llarg termini sempre millora determinades propietats del sòl, com l'estructura, la capacitat de retenció d'aigua, l'intercanvi catiònic, l'aireig...

## 6. ALTRES PARÀMETRES AVALUATS

Al final del conreu s'han determinat algunes propietats físico-químiques del sòl –com pH, salinitat i capacitat d'intercanvi catiònic– per veure si l'aportació de fang les havia modificat en algun sentit. S'ha determinat també el contingut de matèria orgànica i de nitrogen total perquè aquestes, juntament amb les propietats abans esmentades, condicionen la fertilitat del sòl.

Els resultats que s'indiquen en les taules 6 i 7 corresponen també a la mitjana de tres parcel·les per a cada tractament, i en tots els casos s'ha fet una anàlisi de la variança i la comparació de mitjanes segons Tukey ( $\alpha = 0,05$ ).

|                               | pH H <sub>2</sub> O |            | Salinitat                     |            | CIC                              |             |
|-------------------------------|---------------------|------------|-------------------------------|------------|----------------------------------|-------------|
|                               | Mitjana             | C. Var.(%) | Mitjana (d-Sm <sup>-1</sup> ) | C. Var.(%) | (Mitjana cmol.kg <sup>-1</sup> ) | C. Var. (%) |
| <b>Sòl A</b>                  |                     |            |                               |            |                                  |             |
| Control (C)                   | 5,48                | 1,39       | 0,02                          | 7,94       | 2,80                             | 13,09       |
| 20 Mg·ha <sup>-1</sup> (20)   | 5,95                | 6,67       | 0,02                          | 19,53      | 3,91                             | 6,57        |
| 10 Mg·ha <sup>-1</sup> (10)   | 5,62                | 1,36       | 0,02                          | 22,98      | 4,98                             | 4,40        |
| 5 Mg·ha <sup>-1</sup> (5)     | 5,33                | 1,95       | 0,02                          | 6,98       | 4,35                             | 3,46        |
| Comparació de mitjanes(Tukey) | <u>20 10 C 5</u>    |            | No hi ha dif. sign.           |            | No hi ha dif. sign.              |             |
| <b>Sòl B</b>                  |                     |            |                               |            |                                  |             |
| Control (C)                   | 8,33                | 1,08       | 0,08                          | 8,77       | 12,51                            | 4,27        |
| 20 Mg·ha <sup>-1</sup> (20)   | 8,30                | 0,72       | 0,08                          | 7,54       | 17,44                            | 5,93        |
| 10 Mg·ha <sup>-1</sup> (10)   | 8,33                | 0,55       | 0,08                          | 12,28      | 16,68                            | 10,14       |
| 5 Mg·ha <sup>-1</sup> (5)     | 8,39                | 0,56       | 0,08                          | 8,28       | 16,21                            | 3,71        |
| Comparació de mitjanes(Tukey) | No hi ha dif. sign. |            | No hi ha dif. sign.           |            | <u>20 10 5 C</u>                 |             |

**TAULA 6.** pH, salinitat i capacitat d'intercanvi catiònic del sòl després d'un cicle vegetatiu. Els tractaments subratllats per la mateixa línia no són significativament diferents ( $\alpha = 0,05$ ).

|                                | M. O.               |       | N-TOTAL                        |        |
|--------------------------------|---------------------|-------|--------------------------------|--------|
|                                | Mitjana (%)         | CV(%) | Mitjana (kg·ha <sup>-1</sup> ) | CV (%) |
| <b>Sòl A</b>                   |                     |       |                                |        |
| Control (C)                    | 0,57                | 9,60  | 1.197                          | 11,77  |
| 20 Mg·ha <sup>-1</sup> (20)    | 0,94                | 17,35 | 1.947                          | 6,11   |
| 10 Mg·ha <sup>-1</sup> (10)    | 0,88                | 1,72  | 1.600                          | 4,56   |
| 5 Mg·ha <sup>-1</sup> (5)      | 0,95                | 9,81  | 1.793                          | 7,23   |
| Comparació de mitjanes (Tukey) | <u>5 20 10 C</u>    |       | <u>20 5 10 C</u>               |        |
| <b>Sòl B</b>                   |                     |       |                                |        |
| Control (C)                    | 1,75                | 6,28  | 3.827                          | 9,34   |
| 20 Mg·ha <sup>-1</sup> (20)    | 1,80                | 5,24  | 4.507                          | 2,45   |
| 10 Mg·ha <sup>-1</sup> (10)    | 1,74                | 4,96  | 4.081                          | 9,34   |
| 5 Mg·ha <sup>-1</sup> (5)      | 1,78                | 2,97  | 4.045                          | 3,03   |
| Comparació de mitjanes (Tukey) | No hi ha dif. sign. |       | <u>20 10 5 C</u>               |        |

**TAULA 7.** Contingut de matèria orgànica i nitrogen total (N-Kjeldahl + N-NO<sub>3</sub>) en el sòl després del conreu. Els tractaments subratllats per la mateixa línia no són significativament diferents ( $\alpha = 0,05$ ).

En el sòl A només s'han observat diferències significatives de pH amb la dosi més elevada de fang, i és, per tant, aquesta la més adequada per corregir el pH d'aquest sòl; en el sòl B no s'ha detectat variació amb cap de les dosis de fang assajades, la qual cosa sembla lògica si es tenen en compte els valors inicials del pH del sòl i del fang (taula 6).

L'aportació d'aquestes dosis de fang no ha modificat d'una manera significativa la salinitat dels dos sòls estudiats. L'aportació de fang pot ésser un factor limitador del desenvolupament dels vegetals quan la salinitat és elevada; però en aquest cas, com que el fang emprat tenia una salinitat baixa (4,4 dS.m<sup>-1</sup>) no s'han observat efectes negatius.

Com a conseqüència de l'aportació al sòl de matèria orgànica, augmenta la seva capacitat d'intercanvi catiònic, que condiona la capacitat d'emmagatzemament i dosificació de nutrients en el sòl. Aquest augment es pot observar en el sòl B per a qualsevol de les dosis de fang, encara que entre elles no hi ha hagut cap diferència significativa, mentre que en el sòl A no s'ha manifestat, a causa, probablement, del fet que el coeficient de variació de la mitjana d'algunes parcel·les és elevat i ha pogut condicionar el resultat de l'anàlisi de la varianza.

El contingut de matèria orgànica del sòl A ha augmentat significativament per aportació de fang. En el sòl B, però, no s'ha observat diferència entre el control i els tractaments amb fang. Inicialment, aquest últim sòl tenia un contingut de matèria orgànica dues vegades superior al del sòl A; per tant, la proporció de MO aportada pel fang referida a la del sòl és més petita, i per això no es manifesta la diferència.

L'efecte del fang sobre el contingut en N-total ha estat més evident en el sòl A, que inicialment tenia menys nitrogen que el B, en el qual només s'ha observat diferència en la dosi de 20 Mg·ha<sup>-1</sup> de fang. Això vol dir que, principalment en sòls pobres, l'aportació de fang és una font de nitrogen, no tan sols durant el mateix any de l'aplicació, sinó que, en el decurs del temps, el N-residual s'anirà mineralitzant i podrà ser emprat pels conreus en anys successius. Per aquesta raó, a l'hora de calcular la dosi de fang necessària per a cobrir les necessitats en substàncies nitrogenades d'un conreu caldrà tenir en consideració les aportacions de fang que s'hagin pogut fer en èpoques anteriors.

## BIBLIOGRAFIA

- BEAUCHAMP, E. G.; SOON, Y. K.; MOYER, J. L. «Nitrate production from chemically treated sewage sludge in soil». *J. Environ Qual*, 1979, 8(4).
- CHAE, Y. M.; TABATABAI, M. A. «Mineralization of nitrogen in soils amended with organic wastes». *J Environ Qual*, 1985, 15(2): 193-198.
- CHAUSSOD, R. «Comment déterminer l'azote minéralisable des boues résiduaires?» Proc. First European Symp. on Treatment and Use of Sewage Sludge. Cadarache, 1979.
- CHAUSSOD, R.; GERMON, J. C. «Mineralization in the soil of nitrogen in the sludges from different sewage works» *Comptes rendus des Séances de l'Académie d'Agriculture de France*, 1977, 63(8).
- COKER, E. C. «The value of liquid digested sewage sludge» *J. Agric Sci Camb*, 1966, 67: 91-107.
- EPSTEIN, E.; KEANE, D. B.; MEISINGER, J. J.; LEGG, J. O. «Mineralization of nitrogen from sewage sludge and sludge compost». *J Environ Qual*, 1978, 7(2).
- FELIPÓ, M. T.; GARAU, M. A. «Comparison of biological and chemical methods to determine available nitrogen in sewage sludge amended soils» *Biol & Fertil Soils*, 1987, 5: 26-30.
- FURRER, O. J. Meeting of Working Group 4 on the «Concerted Action on Treatment and Use of Sewage Sludge of de CEE». Dijon, sept. 1979.
- FURRER, O. J.; BOLLIGER, R. «Wirksamkeit des Stikstoffs von verschiedenen Klärschlamen in vergleich zu Ammonitrat» Proc. First European Symp. on Treatment and Use of Sewage Sludge. Cadarache, 1979.
- GARAU, M. A. «Estudio de la mineralización en el suelo del nitrógeno de lodos procedentes de plantas depuradoras de aguas residuales». Tesis doctoral, 1983. Facultat de Farmàcia, Universitat de Barcelona.
- GARAU, M. A.; FELIPÓ, M. T. «Eficacia nitrogenada de un lodo residual en el suelo». I Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo, Madrid, 1984. Llibre d'Actes, vol. 1: 355-366.
- GARAU, M. A.; FELIPÓ, M. T.; RUIZ DE VILLA, M. C. «Nitrogen mineralization of sewage sludges in soils» *J Environ Qual*, 1986, 15(3): 225-228.
- KEENEY, D. R. «Nitrogen management for maximum efficiency and minimum pollution», 1982, Agronomy núm. 22, ASA, SSSA, Madison, Wi.
- KEENEY, D. R. «Nitrogen availability indices». A: *Methods of Soil analysis*, part 2. A.L. PAGE *et al.* ed., 1982, Agronomy núm. 9, ASA, SSSA, Madison, Wi.
- KEENEY, D. R.; BREMNER, J. M. «A chemical index of soil nitrogen availability» *Nature*, 1966, 211: 892-897.
- KEENEY, D. R.; GARDNER, W. R. «The dynamics of nitrogen transformations in the soil». A: *The changing global environment*. S. F. Singer ed. 1975, D. Reidel Publ. Co., Dordrech, Holanda.
- KELLING, K. A.; PETER, A. E.; WALSH, L. M.; RYAN, J. A.; KEENEY, D. R. «A field study of the agricultural use of sewage sludge. I. Effect on crop yield

- and uptake of N and P. II. Effect on soil N and P». *J Environ Qual*, 1977, 6(4): 339-345.
- KING, L. D. «Mineralization and gaseous loss of nitrogen in soil applied liquid sewage sludge». *J Environ Qual*, 1973, 2: 336-338.
- LARSEN, K. E. «Yearly application of sewage sludge on agricultural land». 2<sup>o</sup> Meeting of working group 4 of the concerted action Treatment and Use of Sewage Sludge of the EEC, Dijon, sept. 1979.
- MIRVISH, S. S. «Kinetics of dimethylamine nitrosation in relation to nitrosamine carcinogenesis» *J Natl Cancer Inst*, 1970, 44: 633-639.
- MIRVISH, S. S. «Formation of N-nitroso compounds-chemistry, kinetics and in vivo occurrence». *Toxicol Appl Pharmacol*, 1975, 31: 325-351.
- NOVOA, B.; LOOMIS, R. S. «Nitrogen and plant production». *Plant Soil*, 1981, 58: 1-3.
- OIEN, A.; SELMER-OLSEN, A. R. «A laboratory method for evaluation of available nitrogen in soil» *Acta Agric Scandinavica*, 1980, 30 (2).
- PARKER, C. F.; SOMMERS, L. E. «Mineralization of nitrogen in sewage sludges». *J Environ Qual*, 1983, 12(1): 150-156.
- PRATT, P. F.; BROADBENT, F. E.; MARTIN, J. P. «Using organic wastes as nitrogen fertilizers». *California Agriculture*, june 1973.
- RYAN, J. A.; KEENEY, D. R.; WALSH, L. N. «Nitrogen transformations and availability of an anaerobically digested sewage sludge in soil». *J Environ Qual*, 1973, 2: 489-492.
- SAWYER, C. N. «Fertilization of lakes by agricultural and urban drainage» *New England Waterworks Assoc.*, 1947, 61.
- SOMMERS, L. E.; NELSON, D. W.; SILVIERA, D. J. «Transformations of carbon, nitrogen and metals in soil treated with waste materials». *J Environ Qual*, 1979, 8(3).
- SOON, Y. K.; BATES, T. E.; BEAUCHAMP, E. G.; MOYER, J. R. «Land application of chemically treated sewage sludge». *J Environ Qual*, 1978, 7(2).
- STANFORD, G.; SMITH, S. J. «Estimating potentially mineralizable soil nitrogen from a chemical index of soil nitrogen availability». *Soil Sci*, 1976, 122: 71-76.
- STEWART, N. E.; BEAUCHAMP, E. G.; CORKE, C. T.; WEBBER, L. R. «Nitrate-nitrogen distribution in corn land following applications of digested sewage sludge». *Can J Soil Sci*, 1975, 55: 287-294.
- U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. «Process design manual for land application of municipal sludge», 1983, EPA-625/1-83-016.
- WERNER, W.; SCHERRER, H. W.; OLFS, H. W. «Influence of long term application of sewage sludge and compost from garbage with sewage sludge on soil fertility criteria». *J Agron & Crop Sci*, 1988, 160: 173-179.